

II-147 – DESEMPENHO DE UM REATOR DE LEITO MOVEL (MBBR) EM ESCALA DE BANCADA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE CARGA ORGÂNICA

Patricia Camara de Brito⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Veiga de Almeida (UVA). Especialista em Gestão e Tecnologias do Saneamento pela Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ). Mestranda em Saúde Pública e Meio Ambiente com ênfase em Gestão e Saneamento Ambiental pela Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ).

Debora Cynamon Kligerman⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela (UERJ). Mestre em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Doutora em Planejamento Ambiental pela (UFRJ). Pós Doc pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e pela Universidade Johns Hopkins. Pesquisadora Titular em Saúde Pública na Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ).

Jaime Lopes da Mota Oliveira⁽³⁾

Biólogo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre e Doutor em Microbiologia Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Pesquisador em Saúde Pública na Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ).

Endereço⁽¹⁾: Rua Leopoldo Bulhões, 1480, Prédio ENSP, 5º andar, sala 20, Manguinhos – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21041-210 - Brasil - Tel: (21) 96513-7464 - e-mail: pbrito.camara@gmail.com

RESUMO

Esse estudo avaliou o desempenho do sistema MBBR sujeito a variações de concentração de carga orgânica como também ao Fluxo de ar em relação a remoção de matéria orgânica, à nitrificação, bem como a dinâmica de sólidos. Para isso, foi construído um reator de bancada de 19,5 L, de fluxo contínuo, de vazão fixa de 2,5 L/h, com tempo de retenção hidráulico de 7,8 horas, com 45% de volume de recheio e alimentado com efluente sintético por um período de 210 dias. Os resultados experimentais apontam que a eficiência média de remoção de matéria orgânica em termos de DQO foi acima de 90% em todos os regimes investigados. No que se refere a eficiência de remoção de N-NH₃, os resultados com maiores fluxos de ar foram os melhores independente da carga orgânica afluente, enquanto que a remoção máxima de NT foi somente no sistema com alta carga. A nitrificação também foi mais expressiva nas condições de maior fluxo de ar. Na melhor condição do sistemas que foi com alto fluxo de ar e com alta carga orgânica foi observada a menor produção de lodo; no entanto, quando a carga foi menor foi observada uma maior produção de lodo. Portanto, para que o sistema esteja ajustado a variação de carga afluente é necessário um ajuste no fluxo de ar para favorecer a remoção de N-NH₃ e NT, bem como menor geração de lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento Biológico, MBBR, Bancada, Carga Orgânica, Nitrificação.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta baixos índices de cobertura de coleta e tratamento de esgoto, onde 55% da população urbana dispõem desse sistema (ANA, 2017). Além do baixo índice de cobertura, os níveis de eficiência de remoção de matéria orgânica em termos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) não são satisfatórios de acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011. Desse modo, apenas 14% das cidades brasileiras atingem uma remoção de DBO superior a 60% e o restante (4.801 cidades) aponta para índices inferiores ao permitido pela norma (ANA, 2017). Ainda de acordo com o Atlas de Esgotos publicada pela Agência Nacional de Água (ANA, 2017), somente 5% dos processos em operação conseguem remover simultaneamente matéria orgânica e nutrientes (nitrogênio e fósforo). Esses dados são preocupantes uma vez que o acesso ao esgotamento sanitário atingindo níveis de tratamento satisfatórios são importantes para assegurar a qualidade de vida da população (SOUZA et al., 2015).

Grande parte das tecnologias utilizadas nas ETEs brasileiras apresentam-se para remoção de DBO. Quando há remoção de nitrogênio (N), em sua maioria, apenas realiza a conversão de suas formas, sem a adequada remoção do nitrogênio total (NT) (OLIVEIRA, VON SPERLING, 2005). No entanto, os crescentes níveis de poluição hídrica atrelado ao crescimento urbano desordenado em que o Brasil se encontra, faz com que haja a necessidade de buscar soluções tecnológicas que tragam condições eficientes, compactas e que sejam fáceis de serem adaptadas as estações já em operação (WOLFF *et al.*, 2010; VON SPERLING, 1996).

O processo mais utilizado nas áreas urbanas brasileiras é o por lodos ativados (ANA, 2017) por ser mais compacto que as lagoas podendo ser usado em áreas com grande densidade populacional. Este processo é composto por um tanque de aeração onde o lodo biológico se mistura com o esgoto bruto sob condições aeróbias e um decantador onde se separa o lodo do esgoto tratado. Uma variante deste processo é o reator biológico de leito móvel com biomassa aderida (MBBR - *moving bed biofilm reactor*). O funcionamento do MBBR é baseado na inserção de suportes plásticos denominados de biomídias no tanque de aeração para o desenvolvimento de uma biomassa aderida (biofilme) capaz de degradar a matéria orgânica do esgoto bruto. Nesta variante, é possível se obter uma maior concentração de biomassa no tanque sem a necessidade de recirculação do lodo como ocorrem nos processos de lodos ativados viabilizando a construção de reatores mais compactos (WOLFF *et al.*, 2005). Essa tecnologia surgiu na Noruega na década de 1980 visando melhorar o desempenho e a capacidade das estações de lodos ativados, sem aumentar o espaço físico dos reatores biológicos (ØDEGAARD, 1994).

Nos últimos 20 anos, o MBBR foi estabelecido como uma tecnologia flexível, capaz de atender uma ampla gama de efluentes (JENKINS, 2012). Na literatura encontramos estudos com de uso desse processo tratando efluentes industriais (VAIDHEGI, 2013), domésticos (WANG *et al.*, 2006), com a abordagem na remoção de fármacos (BRINKLEY, J.; JOHNSON, C. H.; SOUZA, 2007) e nutrientes (ZINATIZADEH; GHAYTOOLI, 2015). Embora haja diversas pesquisas realizadas ao redor do mundo com foco no desempenho do MBBR com os mais diversos efluentes e aplicação de carga orgânica volumétrica, ainda foram constatadas divergências na literatura quanto ao impacto dessas variações de cargas orgânicas e a remoção de nutrientes. Sendo assim, o presente trabalho buscou estudar a influência da utilização de duas diferentes concentrações de carga orgânica volumétrica no MBBR, com o intuito de avaliar o desempenho do reator quanto a eficiência de remoção de matéria orgânica, comportamento dos sólidos no sistema e a metabolização do nitrogênio. Dessa forma, o presente trabalho buscou contribuir para o conhecimento acerca dessas configurações operacionais em sistemas MBBR.

OBJETIVOS

Este trabalho teve o objetivo de verificar o desempenho de um reator biológico de leito móvel (MBBR) em escala de bancada sob a influência de duas diferentes concentrações de carga orgânica e fluxos de ar. A partir desta abordagem foi possível realizar uma avaliação da eficiência de remoção de matéria orgânica carbonácea e de nitrogênio amoniacal e total, bem como a provável nitrificação e a produção de lodo.

METODOLOGIA

Um sistema composto por um reator retangular de acrílico com volume útil de 19,5 L dividido em quatro câmaras, seguido de três decantadores de formato cônico com volume aproximado de 1,5L em cada foi utilizado para simular o MBBR. O reator possuía formato retangular e apresentava dimensões totais de: 45 cm de comprimento, 12 cm de largura e 54,5 cm de profundidade. O reator foi equipado por um difusor de polietileno poroso tubular de bolha fina que promoveu a sua aeração. A operação do sistema foi de fluxo contínuo com o auxílio de uma bomba peristáltica com vazão fixa de 2,5 L/h que alimentava o reator com esgoto sintético preparado conforme Holler e Trösh (2001) com variações. O tempo de retenção hidráulico foi de 7,8 horas. Duas sondas de Oxigênio Dissolvido (OD) modelo 700DO (WTW) foram colocadas nas câmaras 2 e 3 do reator e uma outra sonda multiparamétrica modelo HI9828 (HANNA) foi colocada na câmara 1 para o monitoramento do potencial de oxirredução (redox). As biomédias aplicadas nessa pesquisa possuem área superficial total de 774, 6 m²/m³, diâmetro de 15 mm e altura de 10 mm, sendo produzido em polietileno de alta densidade. A Figura 1 demonstra o esquema do aparato experimental utilizado em bancada.

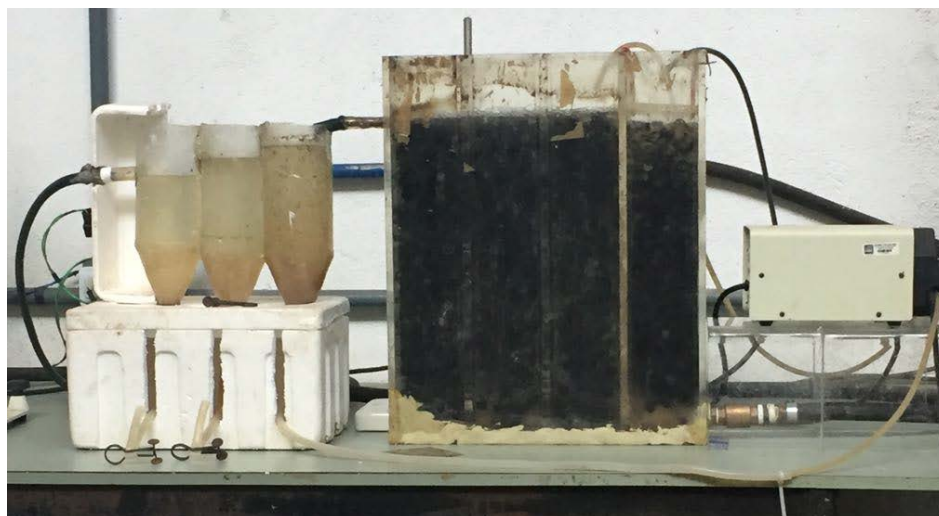


Figura 1. Esquema do aparato experimental.

Inicialmente, o reator foi inoculado com 5 L de lodo biológico coletado de uma Estação de Tratamento de Esgotos de uma unidade de pesquisa do Estado do Rio de Janeiro com as biomédias e os reagentes para a formulação do esgoto sintético. Foram adicionadas cerca de 45% do volume do reator em biomédias, ou seja, um total de 5.100 peças. A aclimação ocorreu por um período de 2 meses com o acréscimo dos reagentes orgânicos do esgoto sintético (peptona de caseína, extrato de carne e ureia). Após a aclimação, o reator foi dividido em 4 câmaras por conta do diferente Fluxo de Ar no tanque, onde as biomédias foram redistribuídas igualmente, contando com 45% do volume de recheio em cada câmara.

O delineamento experimental foi dividido em duas etapas, onde foi variada a concentração dos reagentes do esgoto sintético para promover diferentes concentrações de carga orgânica volumétrica (COV) e duas diferentes concentrações de Fluxo de Ar promovida por um sistema de válvula de controle de aeração. Na primeira etapa o reator recebeu uma COV média de 1,70 kg de DQO/m³.dia (ETAPA 1), tendo sido promovido duas diferentes condições de aeração: uma com Fluxo de ar variando entre 0,2 a 0,4 mL/min (Fluxo de Ar Baixo) e outra com Fluxo de ar variando de 0,8 a 2,6 mL/min (Fluxo de Ar Alto). Na segunda etapa do sistema, o reator recebeu uma COV média de 0,85 kg de DQO/m³.dia (ETAPA 2), também sendo operado com as mesmas condições de aeração (Fluxo de Ar Alto e Baixo). Desse modo, foram realizadas quatro diferentes condições operacionais do MBBR.

O OD foi monitorado ao longo do estudo. Quando o reator operava sob a condição de ETAPA 1 e fluxo de ar alto, o OD nas câmaras 2 e 3 apresentava uma média de 7,8 mg/L; quando ele era operado sob fluxo de ar baixo, o OD na câmara 2 e 3 apresentavam médias de 0,7 e 2,0 mg/L, respectivamente. Na ETAPA 2 sob o fluxo de ar alto as câmaras 2 e 3 apresentavam um OD em média de 6,5 mg/L, já com o fluxo de ar baixo, o OD apresentou uma média de 1,8 e 3,0 mg/L nas câmaras 2 e 3, respectivamente.

O monitoramento do sistema nas diferentes condições operacionais (ETAPA 1 e ETAPA 2) contou com uma coleta diária por um período de 10 dias para avaliar o seu desempenho. A Tabela 1 mostra as matrizes e os diferentes parâmetros analisados das amostras. Todos os parâmetros foram analisados conforme a recomendação do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). A eficiência do processo foi avaliada pelas análises de matéria orgânica através da Demanda química de oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT), nitrogênio total (NT), Amônia (N-NH₄⁺) e Nitrito e Nitrato (N-NO₂⁻ e N-NO₃⁻). Também foram analisados o teor de biomassa no reator e o volume/massa de sólidos gerados.

Tabela 1. Pontos de amostragens e seus respectivos parâmetros.

Local da coleta	Parâmetros a serem analisados
Esgoto bruto	DQO, COT, NT, N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₂ ⁻ e N-NO ₃ ⁻
Esgoto tratado	DQO, COT, NT, N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₂ ⁻ e N-NO ₃ ⁻
Lodo	ST e SVT

O sistema operou por um período de 210 dias e entre o monitoramento das duas etapas o reator ficou em aclimação por um mês. Nas mudanças na aeração (Fluxo de Ar), o reator ficou uma semana estabilizando para então ser monitorado

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos no monitoramento do MBBR com alta carga orgânica (ETAPA 1) no que se refere as concentrações de DQO, COT, NT, N-NH₃, N-NO₂⁻ e N-NO₃⁻ no efluente bruto e tratado e a turbidez do efluente tratado.

Tabela 2. Concentrações de matéria orgânica e nitrogênio no esgoto bruto e tratado durante a ETAPA 1 (Carga Orgânica Volumétrica de 1,7 Kg de DQO/m³.dia).

Parâmetros	Matriz	Fluxo de Ar Baixo			Fluxo de Ar Alto		
		Min	Max	Média	Min	Max	Média
DQO (mg/L)	Bruto	506,0	650,0	573,8	506,0	650,0	573,8
	Tratado	19,0	43,0	32,8	25,0	79,0	46,6
COT (mg/L)	Bruto	111,1	260,0	213,2	111,1	260,0	213,2
	Tratado	11,0	18,0	13,8	15,0	20,0	17,4
NT (mg/L)	Bruto	72,2	91,8	83,0	72,2	91,8	83,0
	Tratado	49,0	76,0	60,9	42,0	45,0	45,0
N-NH ₃ (mg/L)	Bruto	44,2	84,0	64,2	44,2	84,0	64,2
	Tratado	30,7	80,0	53,7	22,0	38,0	28,1
N-NO ₂ (mg/L)	Bruto	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Tratado	0,0	3,2	0,7	0,0	1,2	0,6
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	Bruto	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Tratado	0,0	35,6	19,7	19,2	34,0	27,0

As concentrações médias de DQO no efluente tratado foi menor que 50 mg/L e em termos de COT, os resultados das concentrações no efluente tratado foram abaixo de 20 mg/L em toda a ETAPA 1. No que se refere a eficiência na remoção de matéria orgânica em termos de DQO e COT foi em média de 92%, tanto nos ensaios com Fluxo de Ar Alto como com Fluxo de Ar Baixo na etapa com Alta Carga. Os processos com biofilme, em geral, possuem um potencial maior de depuração da matéria orgânica. Isso se deve, principalmente, à alta atividade e variedade microbiana presente nesses ambientes (BOTROUS *et al.*, 2004).

As eficiências de remoção de NT e N-NH₃ durante a ETAPA 1 com o fluxo de ar alto foram superiores ao sistema com o fluxo de ar baixo. Inclusive a nitrificação foi mais expressiva no sistema sob maior fluxo de ar. Isso mostra que a metabolização do nitrogênio quando em maiores cargas é dependente do fluxo de ar do sistema MBBR.

Na segunda fase deste estudo (ETAPA 2) o reator foi operado com menor carga orgânica (0,85 Kg de DQO/m³.dia) sob diferentes fluxos de ar. A Tabela 3 mostra as concentrações mínima, máxima e média de DQO, COT, NT, N-NH₃, N-NO₂⁻ e N-NO₃⁻ no efluente bruto e tratado durante a ETAPA 2.

Tabela 3. Concentrações de matéria orgânica e nitrogênio no esgoto bruto e tratado durante a ETAPA 2 (Carga Orgânica Volumétrica de 0,85 Kg de DQO/m³.dia).

Parâmetros	Matriz	Fluxo de Ar Baixo			Fluxo de Ar Alto		
		Min	Max	Média	Min	Max	Média
DQO (mg/L)	Bruto	200,0	306,0	261,9	200,0	306,0	261,9
	Tratado	4,0	17,0	10,8	4,0	30,0	18,0
COT (mg/L)	Bruto	52,5	97,0	86,8	52,5	97,0	86,8
	Tratado	9,0	11,0	10,0	10,0	11,0	10,4
NT (mg/L)	Bruto	40,0	45,0	42,2	40,0	45,0	42,2
	Tratado	39,0	29,0	33,0	32,0	25,0	27,9
N-NH ₃ (mg/L)	Bruto	18,6	38,7	30,7	18,6	38,7	30,7
	Tratado	13,0	22,0	15,7	9,0	14,0	11,8
N-NO ₂ (mg/L)	Bruto	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Tratado	0,2	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	Bruto	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	Tratado	10,5	16,1	13,2	19,0	22,4	20,3

A remoção de matéria orgânica (DQO e COT) no sistema durante a ETAPA 2 teve um desempenho médio de eficiência acima de 90% nos dois regimes de fluxo de ar investigados (alto e baixo). FONSECA, (2016) também teve um ótimo desempenho para remoção de matéria orgânica em termos de DQO em um sistema MBBR alimentado por esgoto sintético e com um OD controlado entre 4,5 a 7,5.

A remoção de N-NH₃ ao longo do monitoramento da ETAPA 2, diferentemente da ETAPA1, sofreu pouca influência em relação a variação no fluxo de ar. As eficiências foram acima de 50%, chegando a 62% com maior fluxo de ar.

Por outro lado, a remoção de NT na ETAPA 2 nos processos com o fluxo de ar alto e baixo foram semelhantes, diferentemente dos resultados observados na ETAPA 1. Destaca-se ainda que a nitrificação foi mais efetiva no sistema com maior fluxo de ar na ETAPA 2.

A produção de lodo gerado durante os dois regimes investigados está apresentada na Tabela 4 que mostra os dados com as informações dos sólidos decantáveis e a média de Lodo gerado em (g/dia) na ETAPA 1 e ETAPA 2 sob a variação de fluxo de ar.

Tabela 4. Resultados dos sólidos decantáveis e a média de Lodo gerado por dia durante a ETAPA 1 e ETAPA 2 do estudo.

Parâmetros		Sólidos Decantáveis (g/dia)		Média de Lodo Gerado (g/dia)
ETAPA 1	Fluxo de Ar Alto	0,5	0,8	0,7
	Fluxo de Ar Baixo	2,1	6,3	4,2
ETAPA 2	Fluxo de Ar Alto	2	2,8	2,4
	Fluxo de Ar Baixo	0,2	1,3	0,8

Durante a ETAPA 1 com o fluxo de ar alto foi obtido a menor produção de lodo. Por outro lado, o sistema com menor fluxo de ar teve maior produção de lodo. Isto pode ter ocorrido devido a menor disponibilidade de oxigênio para a biomassa aderida provocando um desprendimento do biofilme na biomídia (OLIVEIRA, 2008).

Já no sistema da ETAPA 2, o maior fluxo de ar aumentou a turbulência promovendo o desprendimento do biofilme; ao contrário, o sistema com menor fluxo não promoveu este fenômeno gerando menor quantidade de lodo.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O MBBR operando com as duas diferentes cargas orgânicas volumétricas (COV) e diferentes fluxos de ar apresentou um bom desempenho na remoção de matéria orgânica, com índices de remoção de DQO acima de 90%. No entanto, mesmo com uma carga orgânica volumétrica considerada alta, o sistema não apresentou instabilidade demonstrando ser bem estável para elevadas cargas orgânicas no processo.

O fluxo de ar foi determinante para a eficiência de remoções de NT e N-NH₃ quando o sistema operou com uma maior COV (1,75 kg de DQO/m³.dia). Já em condições que a COV foi reduzida (0,85 kg de DQO/m³.dia), essas remoções não foram dependentes da aeração do sistema.

A nitrificação total foi atingida quando o reator operou sob condições de fluxo de ar alto. No entanto, quando o MBBR foi submetido a condições de fluxo de ar baixo sob maior COV, a nitrificação total foi menor.

Os ensaios no que dizem respeito ao monitoramento da produção de lodo no sistema indicaram que a altas cargas orgânicas volumétricas levaram a uma maior produção de lodo no sistema, mas a questão do Fluxo de Ar e a sua contribuição para uma maior ou menor geração de lodo precisam ser melhor investigadas.

Portanto, o MBBR mostrou-se muito apropriado na degradação da matéria orgânica alcançando, em determinadas condições, a nitrificação total. No entanto, apesar dos bons desempenhos do processo, mesmo quando submetido a carga orgânica volumétrica alta, alguns ajustes operacionais devem ser verificados e investigados afim de permitir melhores condições na metabolização/remoção de nitrogênio total.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas/Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017.
2. APHA. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22th ed. Washington, DC, 2012.
3. BASSIN, J. P; DIAS, I.N; CAO S.M.S; SENRA, E.; LARAJEIRA, Y.; DEZOTTI, M. *Effect of increasing organic loading rates on the performance of moving-bed biofilm reactors filled with different support media: Assessing the activity of suspended and attached biomass fractions. Process Safety and Environmental Protection*, v. 100, p. 131–141, mar. 2016.
4. BOTROUS, A.E.F.; DAHAB, M.F.; MIHÁLTZ, P. *Nitrification of high-strength ammonium wastewater by fluidized-bed reactor. Water science and Technology*, v.49, n. 5-6, p.65-71, 2004.
5. BRASIL. Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2018.
6. BRINKLEY, J.; JOHNSON, C. H.; SOUZA, R. Moving Bed Biofilm Reactor Technology - A Full Scale Installation for Treatment of Pharmaceutical Wastewater. In: *87th Annual Conference - North Carolina American Water Works Association and the North Carolina Water Environment Association, Charlotte, Carolina do Norte, EUA*, 2007.
7. FONSECA, D. L. Desempenho de sistema MBBR em diferentes condições de recheio e vazão: Estudo em escala piloto e laboratorial. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, p.127, 2016.
8. HOLLER, S.; TRÖSCH, W. *Treatment of urban wastewater in a membrane bioreactor at high organic loading rates. Journal of Biotechnology*. V.92. p.95-101, 2001.
9. JENKINS, A. M. *Introduction to Fixed-Film Bio-Reactors for Decentralized Wastewater Treatment*.

- Introduction to fixed-film bio- reactors for decentralized wastewater treatment*, p. 8, 2012.
10. OLIVEIRA, S. M. A.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETES em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: Análise de desempenho. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.
 11. OLIVEIRA, DVM. Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de Desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR). Dissertação (Mestrado), Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, 2008
 12. ØDEGAARD, H; RUSTEN, B; WESTRUM, T. *A new moving bed biofilm reactor – application and results. Water Science and Technology.* v. 29, p.157-165. 1994
 13. SOUZA C.M.N., COSTA A.M., MORAES L.R.S, FREITAS C.M. Saneamento: promoção da saúde, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental. Rio de Janeiro (RJ): Editora Fiocruz, 2015.
 14. VAIDHEGI, K. *Treatment of Bagasse based pulp and paper industry effluent using moving bed biofilm reactor. International Journal of ChemTech Research*, v. 5, n. 3, p. 1313-1319, 2013.
 15. VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 2a Ed. v.2 211p. 1996.
 16. WANG, X. J; XIA, S.Q.; CHEN, L; ZHAO, J.F; RENAULT, N.J.; CHOVELON, J.M. *Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor. Process Biochemistry*, v. 41, n. 4, p. 824–828, abr. 2006
 17. WOLFF, D. B.; OCHOA, J. C.; PAUL, E.; COSTA, R. H. R. D. Produção e decantabilidade do lodo em reatores híbridos usados no tratamento de esgoto sanitário. In: 23 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 1-5. ABES, 2005.
 18. WOLFF, D. B. *et al.* Influência do tipo de material suporte no desempenho de reatores biológicos de leito móvel na remoção de carbono e nitrificação de esgoto sanitário. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 15, n. 2, p. 149-154, 2010.
 19. ZINATIZADEH, A. A. L.; GHAYTOOLI, E. *Simultaneous nitrogen and carbon removal from wastewater at different operating conditions in a moving bed biofilm reactor (MBBR): Process modeling and optimization. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 53, p. 98–111, ago. 2015.