

UTILIZAÇÃO DE BIORREATOR ANAERÓBIO DE MEMBRANA DINÂMICA PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA PARA REUSO AGRÍCOLA

André Luiz Muniz Brito¹
Juanne Nogueira Nascimento²
Rafaela Barbosa Santos³
José Raniery Rodrigues Cirne⁴
Wilton Silva Lopes⁵

RESUMO

O tratamento de esgotos e seus lodos provenientes de residências está se tornando foco, assim como também a atenção no desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento, o presente trabalho foca no Biorreator Anaeróbico de Membrana Dinâmica (BRAnMD), devido suas vantagens comparadas a tecnologias mais consolidadas, como fácil manutenção da membrana, baixo custo, controle dos tempos de retenção celular e *fouling*. As pesquisas envolvendo a tecnologia do BRAnMD são relativamente recentes, assim ainda não havendo definição das condições ótimas de operação. Tendo em vista o reaproveitamento do efluente para atividade agrícola, o objetivo do projeto foi analisar o percentual de remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), assim como também a quantidade de ovos de Helmintos após o tratamento, visando enquadramento dentro dos parâmetros determinados pela literatura, para uso agrícola. Os resultados dos trabalhos analisados mostram remoções de até 89% de DQO, 80% de NTK e 75% de ovos de Helmintos.

Palavras-chave: Digestão Anaeróbia, Membrana Dinâmica, Água de reuso.

INTRODUÇÃO

As águas residuais ou esgotos estão presentes nas sociedades humanas desde suas origens. O esgoto é a água de abastecimento que foi utilizada nas diversas atividades humanas, advindas das residências (esgotos domésticos), das industriais (esgotos industriais) e das chuvas, entre outras origens, contendo constituintes de natureza física, química e biológica, que sem devido tratamento são uma das principais causas da poluição ambiental. Cada tipo de esgoto contém materiais orgânicos e inorgânicos diferentes e até alguns tóxicos,

¹ Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, andrebruito@email.com;

² Mestranda em ciência e tecnologia ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, juanne.nogueira@gmail.com

³ Mestranda em ciência e tecnologia ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, rafaelab.esa@gmail.com

⁴ Doutorando em Engenharia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, raniery_rodrigues@hotmail.com

⁵ Professor orientador: Doutor, Universidade Estadual da Paraíba, wiltonuepb@gmail.com.

e para cada um desses tipos são aplicados tratamentos específicos com a finalidade de diminuir ou eliminar os impactos ambientais associados com seu descarte (METCALF; EDDY, 2016). Na atualidade as Estações de Tratamento (ETEs) tratam os esgotos buscando reciclar a água, com recuperação e aproveitamento dos nutrientes e dos metais ali presentes, além de produzir energia a partir da matéria orgânica na forma de biogás que pode ser transformado em energia elétrica. Na problemática dos esgotos são desenvolvidas diversas maneiras de tratamento, como Lagoas de Estabilização, sistemas de Lodos Ativados, Digestão Anaeróbia, etc.

A demanda de água para o setor agrícola brasileira atualmente é de 70% do uso total, com números crescentes. Portanto, o significado que essas grandes vazões assumem em termos de gestão de recursos hídricos é de extrema importância que se atribua prioridade para institucionalizar, promover e regulamentar o reuso para fins agrícolas em âmbito nacional (ANA, 2018). O dano pode se estender até o consumo da água, o tratamento de potabilização elevam seus custos pela necessidade de maior consumo de produtos químicos, com o agravante que o método convencional usado na maioria das estações de tratamento de água do Brasil não elimina diversos tóxicos, entre eles as cianotoxinas. (CARRERE et al, 2010).

A infecção por geo-helminthos por contato com o solo contaminado com ovos embrionados ou larvas dos parasitos sendo mais recorrente em países em desenvolvimento, onde as precárias condições socioeconômicas estão vinculadas à falta de acesso à água potável e ao saneamento adequado. A associação desses fatores com a falta de informação específica sobre os parasitos se tornam um grave problema de saúde pública. No Brasil, estas infecções ocorrem principalmente em zonas rurais e periferias de centros urbanos. Em 2001, a 54^a Assembléia Mundial de Saúde aprovou por unanimidade a resolução WHA54.19 e instou os países membros endêmicos, entre eles o Brasil, a realizarem intervenções para o controle das geo-helminthias. Os problemas da infecção podem produzir redução no desenvolvimento físico e mental, uma diversidade de sintomas que incluem diarreia, dores abdominais, inapetência, perda de peso, e em casos extremos ao óbito do paciente. De acordo com o Plano de Ação estabelecido pela Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) para 2016 a 2022, os objetivos e as prioridades gerais para o enfrentamento dos geo-helminthos podem ser alcançados por meio de linhas de ação estratégicas que visam a prevenção, o controle e a redução da carga destas infecções. Diante da problemática iremos avaliar o desempenho de um biorreator anaeróbio de membrana dinâmica no tratamento de águas residuárias, visando

produzir água para reuso na agricultura com nível de segurança aceitável. Avaliando o desempenho da membrana na remoção de ovos de helmintos do esgoto doméstico.

METODOLOGIA

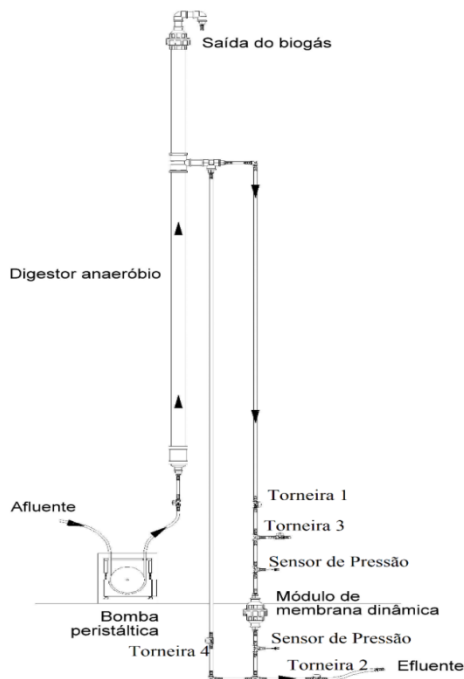
Os sistemas experimentais foram projetados, construídos e monitorados nas dependências físicas da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgoto Sanitário (EXTRABES/UEPB). Esses laboratórios são pertencentes à Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), situados no bairro do Tambor, na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, a uma altitude média de 551 metros. Nessa área se localizava na antiga depuradora da Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). O experimento recebeu como afluente o esgoto advindo do mesmo ponto de captação.

O sistema experimental utilizado durante o estudo foi composto por um digestor anaeróbio construído a partir de tubos de e conexões de Policloreto de polivinila (PVC) e um módulo de membrana. O módulo de membrana dinâmica, por sua vez, é composto de uma estrutura de PVC e apresenta configuração externa de forma circular, com área total de filtração com dimensões de 4x4cm. No seu interior é encontrada uma malha de polietileno (suporte de membrana) com porosidade média de 90 μ m e uma malha de metal utilizada junto ao suporte de membrana para oferecer maior resistência à mesma quando for submetida a elevados gradientes de pressão dentro do reator, com filtração em fluxo tipo perpendicular. Na Figura 1 pode ser visualizado um esquema do sistema experimental com todos os seus componentes.

O efluente resultante do digestor anaeróbio era encaminhado por pressão hidráulica para o módulo membrana externa. Após passar pela membrana, o efluente saía por gravidade para um recipiente de coleta. Para o acompanhamento do crescimento da membrana, tinha dois pontos de medição da pressão por sensores de pressão MPX4250, um antes e outro após o módulo de membrana, com acompanhamento constante online através da internet, utilizando a placa micro controladora ATmega328 do Arduino Uno, responsável pela comunicação entre o biorreator e o computador, ou seja, armazena os valores de pressões e, assim, disponibiliza através de relatórios gerados por um *software*. O *software* mostra informações em tempo real, como também disponibiliza uma ferramenta onde é possível consultar dados do biorreator de acordo com a data desejada.

O módulo de membrana dinâmica, por sua vez, é composto de uma estrutura de PVC e apresenta configuração externa de forma circular, com área total de filtração com dimensões de 4x4cm.

Figura 1: Esquema do sistema experimental



Fonte: Autor (2018).

Na tabela 1 são apresentados os parâmetros operacionais adotados para o biorreator anaeróbio de membrana dinâmica.

Tabela 1: Parâmetros operacionais do Biorreator anaeróbio de Membrana Dinâmica

Parâmetros Operacionais	
Tempo de detenção hidráulica (TDH)	8 hrs
Tempo de retenção celular (TRC)	160dias
Vazão do permeado	0,3 L/h
Volume útil	3L
Altura do digestor	2m
Forma de Operação	Contínuo
Fluxo	Perpendicular

No seu interior é encontrada uma malha de metal (Figura 3) utilizada junto ao suporte de membrana para oferecer maior resistência à mesma quando for submetida a elevados

gradientes de pressão dentro do reator e uma malha de polietileno (suporte de membrana) com porosidade média de 90 μ m (Figura 2, com filtração em fluxo tipo perpendicular).

Figura 2: Suporte de PVC e malha



Figura 3: Malha de metal



Fonte: Autor (2018)

O processo de alimentação de esgoto bruto no sistema foi realizado continuamente. Durante esse período de 24h o sistema produzia uma quantidade média de 10L de permeado, que era armazenado em um recipiente de coleta. Para manter o volume do reator constante a bomba ficava ligada constantemente, para que o sistema mantivesse sempre alimentado.

O reator era alimentado com esgoto doméstico bruto, por uma bomba peristáltica, programada para bombear 10L.dia⁻¹ do esgoto bruto no reservatório de alimentação diretamente para o digestor anaeróbio de fluxo ascensional. O lodo utilizado para alimentar o sistema tratava-se de lodo em excesso produzido por um reator sequencial em batelada, alimentado com esgoto municipal.

Tabela 2: Parâmetros (e metodologias) para caracterização das amostras afluentes e efluentes do sistema BRAnMD

Parâmetro (Unidade)	Metodologia
pH	APHA (2012) – Método 4500-H+ A
DQOt (mg.L ⁻¹)	APHA (2012) – Método 5220 D
NTK (mg.L ⁻¹)	APHA (2012) - Método N 4500 B
Ovos de Helminthos (Ovo/L)	(AYRES & MARA, 1996)

pH: Potencial Hidrogeniônico; DQOt: Demanda Química de Oxigênio total; NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl

DESENVOLVIMENTO

A pauta de reuso de água em nível nacional é apenas abordada a questão na NBR 13969 que aborda o reuso como alternativa para destinação dos esgotos tratados e a Resolução 54 de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que contém definições de reusos e dá orientações gerais e que não há uma norma específica que estabelece padrões de qualidade da água para quaisquer tipos de reuso. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece diretrizes e padrões de qualidade da água de reuso, de acordo com a destinação planejada da água. De acordo com Organização Mundial de Saúde, as diretrizes para a utilização de esgotos tratados na irrigação de culturas agrícola são apresentadas na tabela seguinte:

Tabela 3: Diretrizes de qualidade microbiológica recomendada para esgotos

Categoria	Tipos de Irrigação	Grupos de Exposição	Ovos de Helmintos (ovos/100mL)
A	Irrigação de vegetais consumidos crus, campos de esporte, parques públicos	Trabalhadores e consumidores públicos	≤1
B	Irrigação de culturas de cereais, culturas forrageiras e árvores	Trabalhadores	≤1
C	Irrigação localizada de culturas na categoria "B", sem exposição de trabalhadores e do público em geral.	Não existentes	Não aplicável

Fonte: Organização Mundial da Saúde

Na década de 1970, houve a concepção dos reatores anaeróbios compactos tais como o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo- UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor). Contemporânea a tais concepções, por volta de 1980, se passou a considerar a remoção de constituintes com alto impacto no meio ambiente, entre eles os macronutrientes fósforo e nitrogênio (METCALF; EDDY, 2016).

Processos anaeróbios de alta produção são caracterizados pela separação do Tempo de detenção hidráulico (TDH) do tempo de retenção celular (TRC). O TRC elevado é o resultado da retenção efetiva da biomassa, amplamente facilitada pela (auto) imobilização das bactérias

anaeróbias nos biofilmes das membranas formando parte de biofilme do lodo. É comumente aceito que a formação da camada da torta é o principal agente do *fouling* em membranas aeróbias e anaeróbias, na maioria dos casos. A matéria acumulada na superfície se torna mais densa ao longo do tempo e forma uma camada grossa denominada torta que comanda a formação do *fouling* e provoca a limitação do fluxo. Assim, de fato, a camada de torta é a principal barreira em sistemas de BRAnMs. A formação e uso efetivo desta torta em uma camada suporte como malha ou pano de tecido que funcionem como filtro (ao invés da membrana tradicional) apresentam um novo conceito, chamado de filtração de membrana dinâmica (MD), Como o grau de crescimento dos microrganismos anaeróbios é muito menor do que os aeróbios são necessárias altas concentrações de biomassa (HU et. al, 2018; ERSAHIN et. al, 2013).

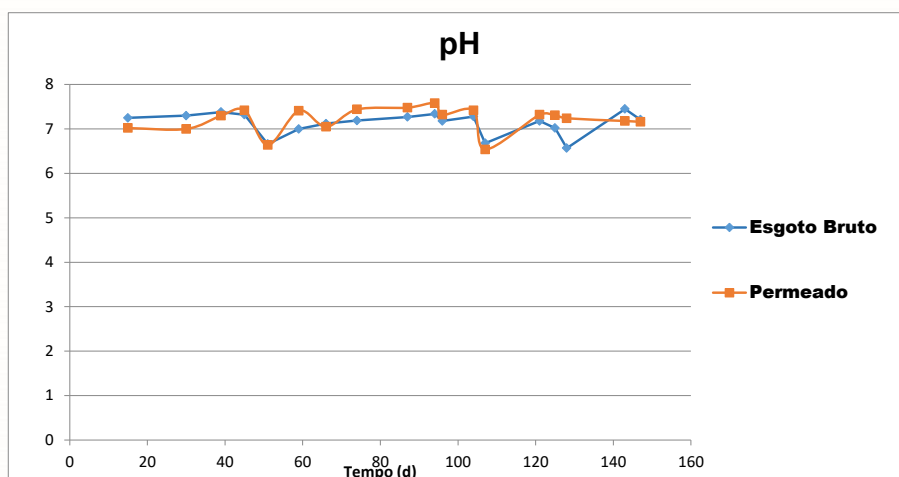
Nessa concepção, a camada de torta formada pode funcionar como um filtro adicional (membrana secundária ou membrana dinâmica) devido a sua capacidade de rejeitar vários poluentes e microorganismos patogênicos, assim, as propriedades de rejeição são mais com a torta em vez da membrana subjacente, dependente da camada de material de suporte mais baratos. Pode ser usada para membranas de microfiltração e ultrafiltração (MF/UF). A tecnologia BRAnMs e BRAnMD está sendo considerada uma alternativa apropriada por providenciar completa retenção de biomassa. O TRH e o TRC em BRAnMs podem ser controlados independentemente e pode ser aplicado para desenvolver um processo para tratamento de efluentes recalcitrantes, de indústrias e municípios (HU et. al, 2018; ERSAHIN et. al, 2013; Von SPERLING, 2005).

Microrganismos como bactérias (*E. coli*), cisto e oocistos de protozoários indicam, o nível de risco à saúde ao qual está exposta à população consumidora direta e/ou indireta da água. É necessária a preocupação do tratamento tendo em vista o aproveitamento da mesma, como: produção de água potável, consumo animal, aquicultura, irrigação restrita ou irrestrita, recreação, etc. Ceballos (2016) afirma que as doenças de veiculação hídrica e relacionadas com a água consistem basicamente na circulação contínua de agentes infecciosos, sendo transmitidos em sua maioria pelas fezes, podendo transportar bactérias patogênicas, vírus, protozoários e helmintos. O ovo de helminto se constitui como um agente transmissor bastante resistente às condições ambientais, por possuir em seu ovo uma camada termotolerante e forte as mudanças de pH. No presente trabalho ele será utilizado como indicador de descontaminação, pela sua dada resistência, garantindo a eliminação dos outros indicadores biológicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência do tratamento por membrana dinâmica foi analisada através da remoção de matéria orgânica através de análises de DQO e NTK, além de ser observada a viabilidade de uso em agricultura a partir da remoção de ovos de Helmintos. Ao se realizar a um tratamento do efluente por digestão anaeróbia por membrana dinâmica, o objetivo inicial é a remoção de matéria orgânica e utilização dos seus nutrientes para futura utilização em agricultura e demais atividades que não exigem utilização de água potável. No gráfico 1 está representados os valores de pH observado na pesquisa, afim de verificar sua variabilidade ao longo do processo.

Gráfico 1. Variação do pH ao longo da pesquisa:



A faixa de pH se encontra dentro previsível em diversas literaturas e em manual de Metcalf & Eddy (2016) circulando pela faixa de 6,5-7,5. Uma vez que o pH pode alterar o equilíbrio do solo, a faixa apresentada se encontra em uma faixa neutra.

Pode-se observar nos gráficos 3 e 4 que por volta do centésimo dia de funcionamento do reator anaeróbio, o percentual de remoção de ambos se estabilizou. A remoção da demanda química de oxigênio total conseguiu obter uma média de remoção de aproximadamente 80%, chegando até 89%. Valor similar encontrado à pesquisa de Robledo et. al (2009), no qual conseguiram obter uma remoção de até 87%, trabalhando com um tempo de retenção celular de 100 dias e um TDH de 3 horas; já em Ersahin et. al (2013, 2018), foi alcançado um aproveitamento de até 99%, com TRC's de até 40 dias, sugerindo uma faixa ótima de trabalho, não excedendo o tempo de cem dias.

Gráfico 2. Eficiência na remoção da Demanda Química de Oxigênio total:

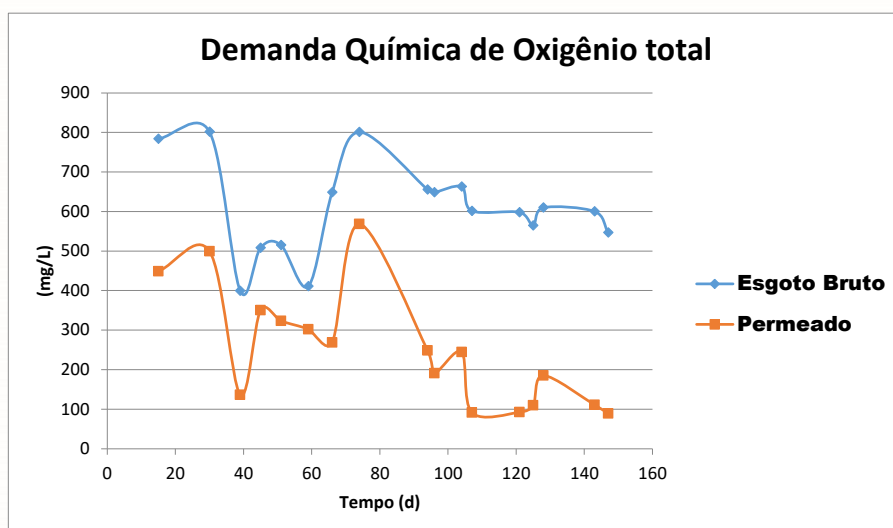
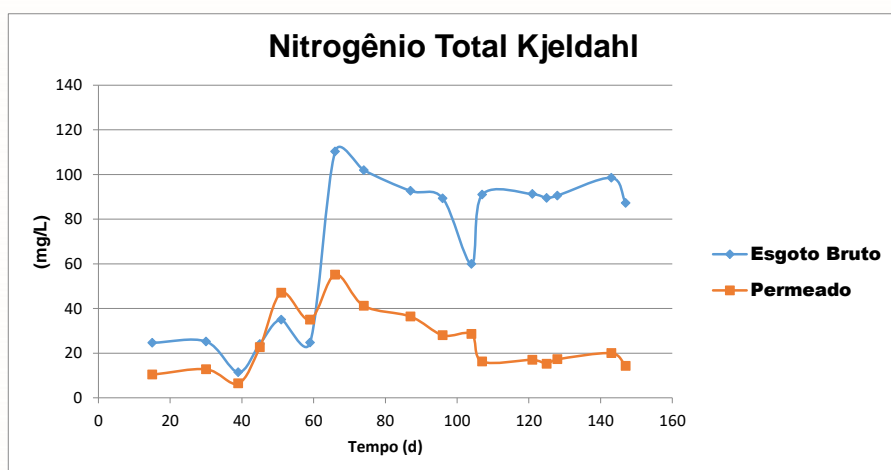


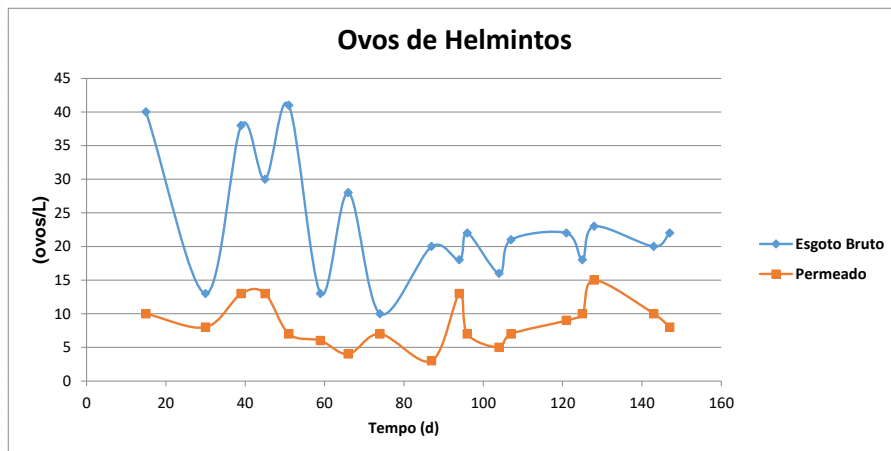
Gráfico 3. Eficiência na remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl:



A faixa de remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl se apresentou bastante elevada (chegando a 80%), se apresentando superior às pesquisas de Saddoud (2007), Dagnew (2010) e Tyagi & Lo (2013), dos quais obtiveram remoção de 75; 41,66 e 53,3%, respectivamente. Apresentando valores satisfatórios, tendo em vista que a presença de nitrogênio, em quantidades adequadas, é importante para a manutenção e desenvolvimento de culturas em solo.

No efluente do reator foram obtidas contagens mais reduzidas, com média geral de 8 ovos/L, representando uma eficiência de remoção no reator da ordem de 61%. A remoção dos ovos, nos reatores UASB é decorrente dos processos da adsorção em flocos, além da sedimentação simples. A alta eficiência uma consequência de altos tempos de detenção hidráulica.

Gráfico 4. Ovos de Helmintos do Esgoto Bruto e permeado durante o período de operação:



Santos *et al.* (2012) avaliando ovos de helmintos em efluentes oriundo de reatores UASB observa-se que houve uma diminuição do número de ovos após o processamento do esgoto digerido por UASB, obtiveram uma eficiência média de remoção desses ovos foi 54%.

Em estudos feitos por van Lier *et al.* (2006), encontraram resultados para todo o período da pesquisa uma concentração média total de ovos de helmintos muito alta nas águas residuais, chegando a 194 ± 79 ovos / L. Mascarenhas *et al.* (2004), na cidade de Itabira-MG, observaram uma concentração de 111 ovos/L de esgoto bruto. No presente trabalho a concentração média observada, 22 ovos/L. A concentração de ovos de helmintos no esgoto bruto depende de fatores que vão desde a oferta de saneamento básico até as condições de saúde da população e varia muito conforme as especificidades de cada região. O desempenho de reatores anaeróbios na remoção de ovos de helmintos foi relatada por autores como Von Sperling *et al.* (2005), que estudaram a eficiência de um reator UASB (TDH = 5,5 horas) associado a uma lagoa de estabilização em chicana. O trabalho revelou que 75% dos ovos presentes no esgoto bruto foi removido pelo UASB. Já Mascarenhas *et al.* (2004), utilizando um TDH de 7,5 horas, conseguiram obter uma remoção de 85,5% dos ovos presentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O esgoto doméstico teve uma qualidade microbiológica satisfatória, havendo grande remoção dos ovos de helmintos, conseqüentemente dos outros parâmetros, por dedução e constatação em trabalhos que avaliaram o mesmo e demais variáveis, como em Saddoud *et al.* Com o fim do trabalho, observou-se que a tecnologia se mostra eficiente com relação a remoção de ovos de helmintos para se encaixar de acordo com a resolução que estabelece a relação de ≤ 1 ovo/mL, possibilitando o uso da água tratada para irrigação irrestrita.

Como o uso se refere a destinação não potável, a pesquisa se faz de grande importância, pelo fato de haver economia técnica e de capital. Além disso, trazendo a grande

vantagem de preservar a água potável, para usos que necessitam da mesma.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS < <https://www.ana.gov.br/>>. Acesso em 5 de julho, 2019.

APHA-American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: 22 ed.** Washington, 2012.

BRASIL, Resolução CONAMA N° 430/2011 – “Dispões sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio. DOU de n° 92, de 16/05/2011, pag 89.<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em 10 de junho de 2019.

CARRÈRE, H.; DUMAS, C.; BATTIMELLI, A.; BATSTONE, D.J.; DELGENÈS, J. P.; STEYER, J. P.; FERRER, L. **Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: A review.** Journal of Hazardous Materials, v. 183, p. 1-15, 2010.

CEBALLOS, B. S. O de; DINIZ, C. R. **TÉCNICAS DE MICROBIOLOGIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.** Pág. 7-30. EDUEPB, Campina Grande, 2017.

DAGNEW, M.; PARKER, W. J.; SETO, P. **A pilot study of anaerobic Membrane digesters for concurrent thickening and digestion of waste activated sludge (WAS).** Water Science & Technology—WST. 2010.

ERSAHIN, M. E.; OZGUN, H.; TAO, Y.; van LIER, J. B. **Applicability of dynamics membrane technology in anaerobic membrane bioreactors.** Water research 48, pg. 420-429,2013.

Guia Prático para o Controle das Geo-helminthíases. MINISTÉRIO DA SAÚDE Secretaria de Vigilância em Saúde. Tiragem: 1ª edição – versão eletrônica – 2018.

JEISON, D.; van LIER, J. B.; **Cake formation and consolidation: Main factors governing the applicable flux in anaerobic submerged membrane bioreactors (AnSMBR) treating acidified wastewaters.** *Separation and Purification Technology* 56 pg. 71–78. 2006.

MASCARENHAS, L.C.; SPERLING, M. Von; CHERNICHARO, C.A.L. de. **Avaliação de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.45-54, 2004.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** 5a ed. Porto Alegre, AMGH 2016.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Brasil. Set, 1997.

ROBLEDO, M. H.; SAGASTUME, J. M. M. ; NOYOLA, A. **Biofouling and pollutant removal during longterm operation of an anaerobic membrane bioreactor treating municipal wastewater.** *Biofouling, The Journal of Bioadhesion and Biofilm*. Research. Vol. 26, pp. 23–30. 2010.

SADDOUD, A.; ELLOUZE, M.; DHOUIB, A.; SAYADI, S. **Anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater in Tunisia.** *Desalination* 207, pg. 205–215. 2007.

SANTOS, M. C.; SILVA, B. F.; AMARANTE, A. F. T. **Environmental Factors Influencing the Transmission of *Haemonchus contortus*.** *Vet. Parasitol.* v.188, p.277-84, 2012.

TYAGI, V. K.; LO S-L. **Microwave irradiation: A sustainable way for sludge treatment and resource recovery.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18 288–305, 2013.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed., DESA-UFMG, Belo Horizonte, 2005.