

T3 – Recursos Hídricos, Saneamento e Gestão de Resíduos

**TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS EM FILTRO
ANAERÓBIO DE FLUXO DESCENDENTE UTILIZANDO BORRACHA DE PNEU
TRITURADO COMO MATERIAL SUPORTE**

Rafael Santos Carvalho ¹; Leandro Marinho Damasceno ²; João Victor Tenório da Silva Santos ³; Rafael Alves da Silva ⁴; Rafael Silva Pereira de Santana ⁵; Antonio Pedro de Oliveira Netto ⁶.

RESUMO

A busca pela expansão e aprimoramento dos sistemas de saneamento é uma das mais fortes preocupações globais da atualidade, sendo o desenvolvimento de tecnologias com eficiências cada vez melhores e que também atendam aos requisitos de sustentabilidade um dos principais focos de pesquisas desta área. Neste contexto, atentando-se a busca por novas alternativas dentro do tratamento biológico de esgoto sanitário, o presente trabalho consiste em analisar a utilização de borracha de pneu inservível triturado como meio suporte de um filtro anaeróbio de fluxo descendente, com o intuito de avaliar o seu desempenho. A operação teve duração de 59 dias contínuos, realizando o tratamento do esgoto sanitário do Campus Sertão da Universidade Federal de Alagoas. O despejo apresentou carga orgânica volumétrica média de 0,271 kgDBO/m³.dia para um tempo de detenção hidráulica (TDH) aplicado de 24h. Entre os principais resultados obtidos foram observados valores médios de eficiência de remoção de 90,20 e 89,80% para sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos totais (SST), respectivamente. Quanto a remoção de matéria orgânica, medida em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO Bruta e DQO Filtrada) obteve-se, respectivamente, valores de eficiência de 81,50 e 84,70%. Com base nos dados de desempenho observados, concluiu-se que a utilização do pneu triturado como material suporte de reatores anaeróbios para o tratamento de águas residuárias mostra-se uma alternativa promissora, sendo recomendada a realização de maiores estudos sobre sua aplicação no desenvolvimento de novas tecnologias.

Palavras-Chave: Filtração anaeróbia; Crescimento aderido; Remoção de sólidos suspensos.

¹Afiliação: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos
Email: rafa.tsubasa98@gmail.com

²Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão
Email: leomarinho18@gmail.com@email.com

³Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão
Email: joaovtss95@gmail.com

⁴Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão
Email: rafaalves36@hotmail.com

⁵Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão
Email: rafasantana05@gmail.com

⁶Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão
Email: oliveirannetto82@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, a expansão do processo de urbanização, o desenvolvimento industrial, entre outros fatores provocaram a aceleração e intensificação dos impactos sobre os recursos naturais, que por sua vez estão intimamente atrelados às condições sociais e econômicas da população, tanto em abordagens locais quanto numa esfera global. Assim, o trabalho e discussão acerca do desenvolvimento de soluções e alternativas que anulem ou minimizem estes impactos, tem recebido forte atenção, tanto no campo científico como também político.

O saneamento é, sem dúvida, um dos eixos principais dentro desta busca pelo desenvolvimento sustentável (UN GENERAL ASSEMBLY, 2015), estando atrelados a ele diversos problemas, dentre os quais está o lançamento inadequado de efluentes no meio ambiente, sendo grande a importância dada ao aprimoramento dos sistemas de tratamento e a sua adaptação para diferentes realidades. Neste sentido, de acordo com Costa et al. (2018) o tratamento biológico de águas residuárias tem recebido grande atenção de pesquisadores, especialmente nas últimas décadas, podendo ser classificado basicamente em dois tipos: digestão aeróbia e anaeróbia (VON SPERLING, 2018). Esse tipo de tratamento retrata, basicamente, a ação de organismos vivos na degradação dos resíduos contidos nos efluentes, podendo variar de acordo com cada tipo e composição.

O tratamento biológico pode ocorrer diferentemente em relação ao crescimento celular: disperso ou aderido. Para Baettker (2018), no tratamento de esgoto doméstico em meio aderido utiliza-se materiais suporte que viabilizem a fixação dos microrganismos responsáveis pelo tratamento. Também pode-se citar a criação e utilização de biofilmes, utilizados, em sua maior parte, em filtros biológicos. Os filtros são sistemas utilizados no tratamento de esgoto sanitário de pequena a larga escala, se mostrando um eficiente componente, principalmente, no pós-tratamento de águas residuárias.

Mostrando-se uma opção muito eficiente e de baixo custo para o tratamento de esgoto sanitário, o tratamento anaeróbio tem sido largamente aplicado em estações de tratamento de esgoto (ETE) tanto para despejos domésticos, quanto para alguns efluentes industriais, tendo como principal justificativa a redução do consumo de energia das ETE, e a possibilidade de geração de biogás, o que torna atrativa também economicamente a sua adoção, sendo os reatores de manta de lodo e os filtros anaeróbios as tecnologias mais disseminadas (TORRES, 2012; STAZI E TOMEI, 2018; ZHANG et al., 2018).

Segundo Chernicharo (2016), os filtros anaeróbios são reatores responsáveis pelo tratamento biológico de esgoto sanitário, constituídos por partes fixas de material suporte, onde os microrganismos crescem fixados e atuam degradando a matéria orgânica. Em filtros anaeróbios, a pedra britada (número 4) é muito utilizada como material suporte. No entanto, seu uso deve ser avaliado devido ao peso incorporado à estrutura e, bem como, ao preço do produto.

Devido a esse problema, a busca por novos materiais suporte para o tratamento de esgoto sanitário é uma questão atual e importante, sendo possível citar os trabalhos realizados por Almeida (2007), utilizando escória de alto forno, anéis plásticos randômicos e aparas de conduíte corrugado, e Baettker (2018), trabalhando com carvão ativado, cerâmica de argila e borracha como materiais suporte em filtros biológicos percoladores, visando diversificar e atestar a viabilidade de uso desses novos materiais.

Assim, buscando novos materiais que sejam relevantes para o tratamento de águas residuárias, o presente trabalho utilizou a borracha de pneu triturado como material suporte de um filtro anaeróbio de leito fixo e fluxo descendente, com base em análises laboratoriais dos

parâmetros de remoção: Demanda Química de Oxigênio (DQO), bruta e filtrada, Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e o potencial hidrogeniônico (pH), com o objetivo de avaliar a aplicabilidade deste material.

2 METODOLOGIA

O filtro anaeróbico de fluxo descendente foi desenvolvido em um recipiente circular de policloreto de vinila (PVC), possuindo sistema de alimentação que propicia a distribuição homogênea, como demonstrado na Figura 1. O filtro foi introduzido em outro recipiente circular, de diâmetro ligeiramente superior, de forma a obter-se um fundo falso. Por esse dispositivo eram realizadas as coletas de amostra e descarte do efluente tratado, como demonstrado na Figura 2.

Para compor o meio suporte do filtro anaeróbico utilizou-se borracha de pneu triturada, surgindo como opção favorável ao meio ambiente, por aproveitar material que antes poderia ser inutilizado, destinando-o para a aplicação no tratamento biológico de esgoto sanitário. A borracha apresentou facilidade na mudança de granulometria e mostrou-se bom material pela sua baixa densidade, boa rugosidade e porosidade, mostrando, para os aspectos citados, melhores características se comparada a outros materiais largamente utilizados em filtros, como a brita.

Figura 1: Alimentação do filtro anaeróbico.



Fonte: Autores, 2018.

Figura 2: Sistema completo.



Fonte: Autores, 2018.

O recipiente do filtro tinha aproximadamente 12 litros de volume total e 9 litros de volume de material suporte (volume reacional). Com isso, e de acordo com a NBR 13969:1997, o tempo de detenção hidráulica foi fixado em 24 horas, com vazão mantida em 6,25 mL/min e controlada por meio de uma bomba dosadora tipo diafragma com fluxo em pulso. O sistema foi montado com objetivo de manter o fluxo afluente o mais constante possível, a fim de evitar possíveis problemas operacionais e prejudicar os resultados.

O esgoto afluente que alimentava o sistema era coletado da fossa séptica do prédio da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, na cidade de Delmiro Gouveia - AL, diariamente e no horário da manhã, fazendo com que houvesse mínima diferença nas características dos afluentes. O esgoto, após coletado, era armazenado num recipiente também de PVC com a função de manter o fluxo constante, através da bomba, no sistema. Ressalta-se que a coleta era realizada num ponto intermediário da profundidade da fossa séptica, evitando-se coleta de material sedimentado, com intuito de preservar as características de esgoto sanitário bruto.

O monitoramento do desempenho do sistema de tratamento foi realizado de forma periódica, conforme o Quadro 1. Os parâmetros foram calculados segundo metodologia descrita pela APHA (2005). O pH foi medido no laboratório do campus do sertão, e os demais parâmetros foram condicionados e, posteriormente, encaminhados ao Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões.

Quadro 1: Parâmetros analisados, métodos utilizados e frequência de amostragem.

Parâmetros	Unidade	Método	Frequência
Vazão	mL/min	-	Diária
pH	-	Potenciométrico	2x/semana
DQO bruta	mg/L	Espectofotométrico	2x/semana
DQO filtrada	mg/L	Espectofotométrico	2x/semana
SST	mg/L	Gravimétrico	2x/semana
SSV	mg/L	Gravimétrico	2x/semana

Fonte: Autores, 2018.

Visando a aceleração da estabilização do sistema, promoveu-se o aumento da adesão da população microbiana ao meio suporte utilizando o lodo proveniente da fossa séptica do Campus da UFAL, para a inoculação do material utilizado, conforme procedimento descrito por Oliveira Netto (2007).

Ao todo, a operação do filtro ocorreu num período de 59 dias, com a coleta dos pares de amostras para análise sendo realizada duas vezes por semana, totalizando, portanto, 16 pares de amostras (afluente-efluente).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, obtendo-se os valores para a concentração de matéria orgânica do afluente, bem como do efluente, foi possível calcular a carga orgânica volumétrica (COV) aplicada e removida pelo reator. De acordo com Carvalho (2019), este parâmetro é importante por fornecer a relação de entrada e saída de matéria orgânica do reator, permitindo assim a classificação e indicação das tecnologias de tratamento de efluentes. A COV é encontrada através da Equação 1:

$$COV = \frac{Q \times C}{V} \quad (\text{Equação 1})$$

Q = vazão (m^3/d);

C = concentração de matéria orgânica ($KgDQO/m^3$);

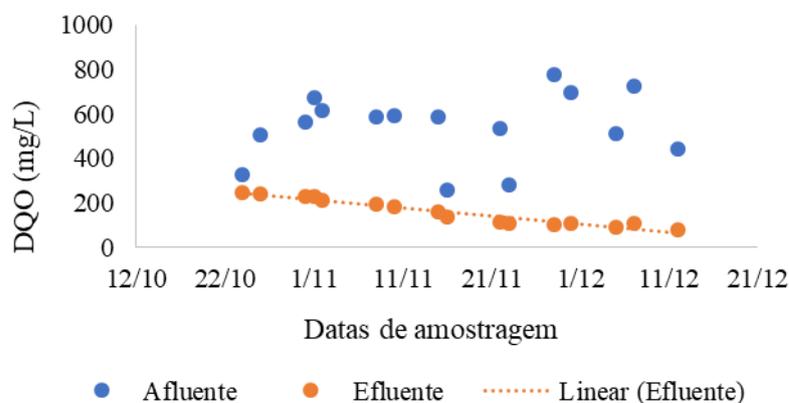
V = volume reacional (m^3);

Considerando as médias de entrada e saída de DQO bruta, obteve-se os valores médios de 0,543 e 0,445 $KgDQO/m^3.d$ para a COV aplicada e COV removida, respectivamente, estando estes valores de carga dentro da faixa colocada como adequada por Chernicharo (2016).

Buscou-se avaliar a capacidade do filtro também estimando-se a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) por meio da relação DQO/DBO igual a 2,0, dentro do intervalo colocado por Chernicharo (2016) situado entre 2,0 e 3,0 para tal relação. Desta forma, obtiveram-se os valores estimados de DBO que forneceram valores para carga orgânica volumétrica (COV) média de 0,271 $kgDBO/m^3.dia$. Segundo Jordão e Pessoa (2011), filtros que utilizam plástico como meio suporte e carga orgânica de até 3 $kgDBO/m^3.dia$ são considerados filtros de alta capacidade. Logo, percebe-se que, ao analisar o valor médio da carga orgânica volumétrica aplicada ao filtro com pneu triturado como meio suporte, é possível classificá-lo como filtro de alta capacidade.

Analisando o comportamento do reator em termos de remoção de matéria orgânica foi possível avaliar a sua eficiência. A Figura 3 e a Figura 4, mostram as concentrações para afluente e efluente em relação a DQO bruta e filtrada, respectivamente.

Figura 3: Concentração de DQO bruta para afluente e efluente durante toda a operação.

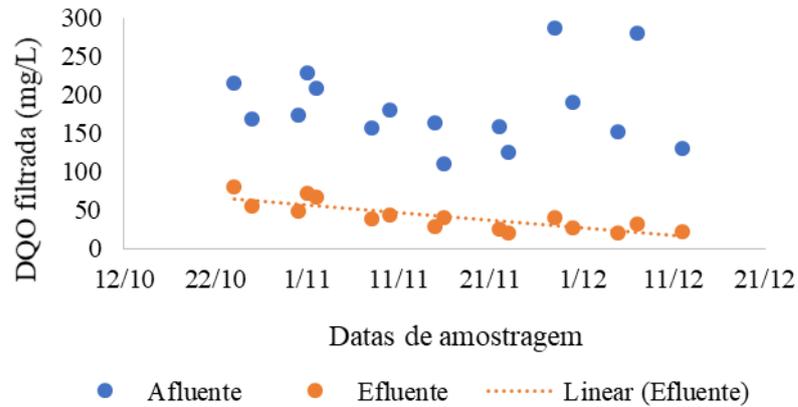


Fonte: Autores, 2018.

Nota-se que os valores de concentração de DQO, tanto bruta como filtrada, para as amostras de efluentes do filtro, diminuem com o passar do tempo. Isso mostra que, no decorrer do tempo de operação, houve o aumento da eficiência do reator justificada pela estabilização da população microbiana aderida ao meio suporte.

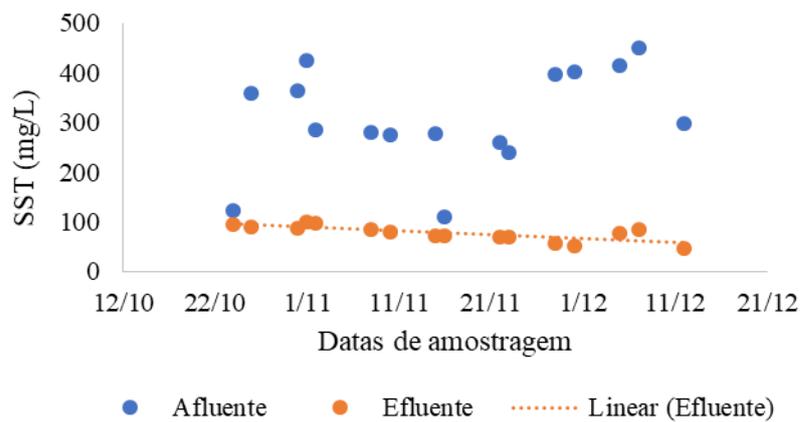
O mesmo padrão se repete quando analisados os parâmetros de remoção de sólidos em suspensão, cujos perfis temporais são apresentados na Figura 5 e Figura 6. Observando a Figura 5 nota-se que, desde as primeiras amostras, há uma remoção considerável de sólidos suspensos totais, esta que aumenta sinuosamente com o decorrer da operação, seguindo o mesmo padrão para remoção de DQO. O mesmo acontece para as análises de sólidos suspensos voláteis (Figura 6) onde há grande eficiência desde as primeiras amostras.

Figura 4: Concentração de DQO filtrada para afluente e efluente durante toda a operação.



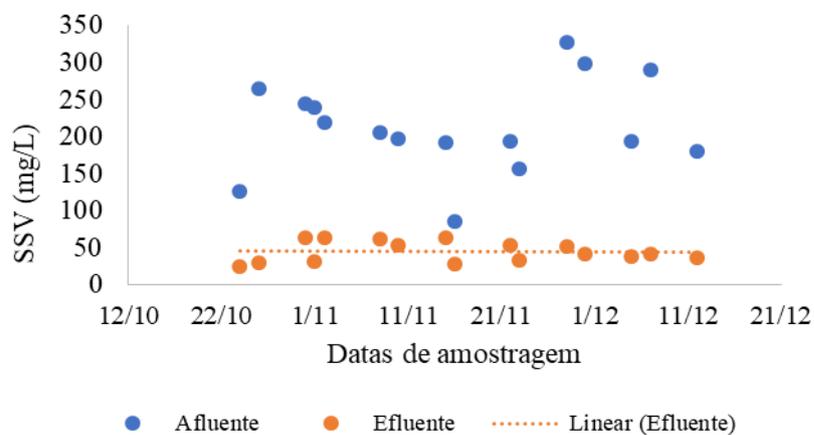
Fonte: Autores, 2018.

Figura 5: Concentração de SST para afluente e efluente durante toda a operação.



Fonte: Autores, 2018.

Figura 6: Concentração de SSV para afluente e efluente durante toda a operação.



Fonte: Autores, 2018.

A Tabela 1 apresenta os resultados médios das amostras do esgoto bruto (afluente), e o esgoto tratado com filtro anaeróbio (efluente) após a estabilização do reator.

Tabela 1: Valores médios obtidos para os parâmetros analisados.

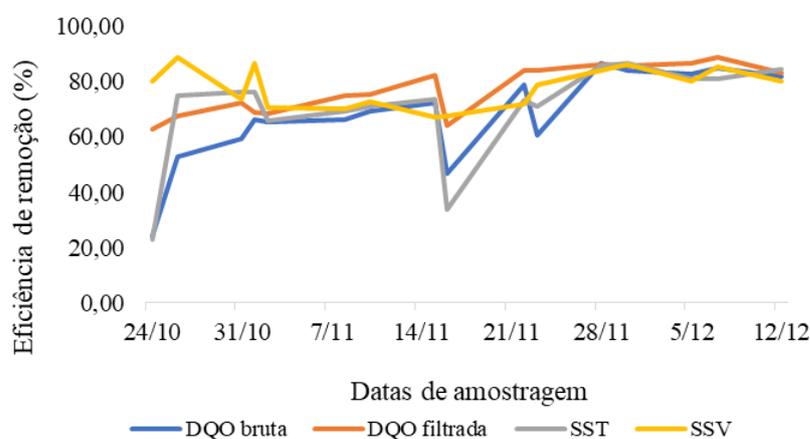
Parâmetros	Afluente	Efluente	Quantidade de Amostras
DQO bruta (mg/L)	543 ± 153,45	98,60 ± 13,50	16
DQO filtrada (mg/L)	183,13 ± 50,57	28,00 ± 8,00	16
SST (mg/L)	310,06 ± 100,77	31,80 ± 8,50	16
SSV (mg/L)	213,44 ± 63,50	20,90 ± 3,10	16
pH	8,35 ± 0,27	7,35 ± 0,25	16

Fonte: Autores, 2018.

Os valores médios do afluente para a DQO bruta e filtrada foram, respectivamente, de 543,19 e 183,13 mg/L. Os valores máximos e mínimos encontrados foram, respectivamente, 780 e 257 mg/L, para DQO bruta e 287 e 111 mg/L para DQO filtrada. Em relação ao efluente, para os mesmos parâmetros, os valores médios respectivos encontrados foram 98,60 e 28,00 mg/L, obtendo, para DQO bruta, 248 mg/L como valor máximo, e 80 mg/L como valor mínimo. Já para DQO filtrada, os valores máximos e mínimos encontrados foram de 80 e 20 mg/L, respectivamente. Os dois parâmetros obtiveram, cada um, uma eficiência média de 81,50% e 84,70%, podendo ser consideradas satisfatórias.

Ao analisar os valores de SST e SSV, o esgoto bruto apresentou valores médios de 310,06 mg/L e 213,44 mg/L, respectivamente. Para o esgoto tratado, o valor médio de SST foi de 31,80 mg/L, e para SSV 20,90 mg/L. Dessa forma, o sistema apresentou eficiência de 89,80% e 90,20% para cada parâmetro respectivo. Com base nesses valores de eficiência, se pode considerar que o sistema se comportou de maneira satisfatória. O pH para o afluente variou entre os valores de 7,89 e 8,75. Já os valores do pH para o efluente variaram entre 7,08 e 7,89. Assim, observa-se que o pH no sistema variou significativamente em relação aos valores encontrados para o afluente. Isso não afetou o desempenho do filtro, tendo em vista que as arqueas metanogênicas, apesar de sensíveis ao pH e com crescimento ótimo em faixa relativamente estreita, podem se desenvolver em reator operado em pH entre 6,5 e 8,2 (Madigan, 2016). Segundo esse autor, em determinadas condições, é possível a operação satisfatória do reator em pH de até 6.

Figura 7: Eficiências de remoção dos parâmetros analisados.



Fonte: Autores, 2018.

A partir da análise da Figura 07 nota-se que as eficiências atingiram seus maiores valores e apresentaram menor variação a partir do dia 28/11, com 34 dias de operação, consistindo assim, a data onde o sistema atingiu sua estabilidade. Por comparação, tem-se o estudo realizado por (Niciura, 2005), utilizando um reator anaeróbio de leito expansível (RALEx), com banda de rodagem de pneus triturada, alcançando a estabilidade aparente do sistema aos 80 dias.

Como análise inicial da viabilidade da utilização do pneu triturado como material suporte, a comparação foi feita com auxílio da NBR 13969:1997 para as faixas prováveis de remoção de poluentes em filtros anaeróbios, onde os valores são de 40 a 70% para DQO Bruta e 70% ou mais para sólidos sedimentáveis. Os valores encontrados no presente trabalho foram valores médios de remoção de aproximadamente 81,50% para DQO Bruta e 90,00% para sólidos sedimentáveis, atestando a eficiência do material suporte utilizado na operação.

Também pode-se citar o trabalho realizado por (Niciura, 2005), onde utilizou-se banda de rodagem de pneu trituradas em reator anaeróbio de leito expansível (RALEx), com tempo de detenção hidráulico médio de 3,2 horas e carga orgânica volumétrica média de 5,4 kgDBO/m³.dia, obtendo 70% de eficiência de remoção da matéria orgânica, em termos de DBO, e 65% de eficiência de remoção para sólidos em suspensão. Observa-se que o uso do material suporte, no presente trabalho, foi mais eficiente em relação à remoção de matéria orgânica e sólidos sedimentáveis com o uso do RALEx.

Por fim, é interessante comparar o desempenho do pneu triturado como material suporte com o encontrado no trabalho realizado por (Almeida, 2007), utilizando escória de alto forno, anéis plásticos randômicos e aparas de conduíte corrugado como materiais suporte, em filtros biológicos percoladores com cargas orgânicas volumétricas de 0,24 e 0,43 kgDBO/m³.dia, obtendo resultados efluentes de 90 mg/L para DQO e 60 mg/L para SST. Logo, nota-se a semelhança para SST, onde se obtém valores médios dos efluentes de 31,80 mg/L, e a comparação entre as concentrações de DQO, onde foram obtidos efluentes com valores médios de 98,60 mg/L.

Embora os resultados obtidos com o reator de leito fixo operado no presente trabalho tenham se mostrado muito bons para os fatores analisados, salienta-se a importância de analisar mais parâmetros referentes a qualidade dos efluentes para que se possa confirmar a boa aplicação do material usado para os variados aspectos existentes.

4 CONCLUSÕES

Apesar de ser usualmente utilizado na fase de pós-tratamento do esgoto, com base nos resultados encontrados, pode-se afirmar que o filtro anaeróbio apresentou um excelente desempenho como tratamento primário, pois, em termos de remoção de matéria orgânica e sólidos, apresentou eficiências médias superiores a 80% e 89%, respectivamente, comparando-se a outras tecnologias utilizadas atualmente. Além disso, os resultados mostraram rápida estabilização do sistema, comprovando, também, a boa imobilização celular deste material suporte.

Dessa forma, nota-se que na tentativa de diversificar a utilização de materiais suporte, o pneu triturado se mostrou como boa alternativa para ser utilizado em sistemas para tratar esgoto sanitário, demonstrando excelente eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos, sendo uma interessante alternativa para compor sistemas de tratamento de águas residuárias.

Por meio deste trabalho, expressa-se o agradecimento a Universidade Federal de Alagoas pela disponibilização da estrutura que viabilizou a pesquisa. Vale, também, agradecer aos laboratórios de Saneamento Ambiental do Campus do Sertão e A. C. Simões pela grande colaboração.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P.G.S. de. **Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, com ênfase na nitrificação.** 2007. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Washington, DC, USA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, 1997.

BAETTKER, E. C. et al. Materiais alternativos como meio suporte de filtro anaeróbico para o tratamento de esgoto sanitário sintético. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 23, n. 6, p1091–1102, 2018.

CARVALHO, R. S. **Avaliação do desempenho de reator anaeróbico de leito fixo e fluxo contínuo, em escoamento ascendente, preenchido com pneu triturado sob diferentes cargas orgânicas aplicadas.** 77p. Trabalho de conclusão de curso. (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, 2019.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias volume 5: reatores anaeróbios 2 ed.** Belo Horizonte: UFMG, 2016.

COSTA, F. J. et al. Avaliação do desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluente de reator UASB, com base em quatro anos de monitoramento. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 23, n. 1, 2018. DOI: 10.1590/s1413-4152201890370

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos, 6. Ed.** Rio de Janeiro: ABES, 2011.

MADIGAN, M.T. **Microbiologia de Brock. 14. ed.** Porto Alegre: Artmed, 2016. 1160 p.

NICIURA, C. L. **Avaliação do uso da banda de rodagem de pneus inservíveis triturada como suporte ao desenvolvimento de biofilmes em um reator anaeróbico de leito expansível.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA NETTO, A. P. de. **Reator anaeróbico-aeróbico de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário.** 207p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

STAZI, V.; TOMEI, M. C. Enhancing anaerobic treatment of domestic wastewater: State of the art, innovative technologies and future perspectives. **Science of The Total Environment**, v. 635, p.78-91, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.071

TORRES, P. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. **Escuela de Ingeniería de Antioquia.** v. 18, p.115–129. 2012.

UN GENERAL ASSEMBLY. **Draft Outcome Document of the United Nations Summit for the Adoption of the Post-2015 Development Agenda.** 2015. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199560103.003.0005

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018.

ZHANG, L. et al. Anaerobic treatment of raw domestic wastewater in a UASB-digester at 10 °C and microbial community dynamics. **Chemical Engineering Journal**, v. 334, p.2088-2097, 2018. DOI: 10.1016/j.cej.2017.11.073

Promoção e realização:



ANAIS DA VII SEMANA DE ENGENHARIA - SEMENGE