

Análise de desempenho de soluções descentralizadas de esgoto de condomínios residenciais multifamiliares em Aracaju

Matheus Carvalho Conceição

Mestre em Engenharia Civil, UFS, Brasil
matheusconceicao76@gmail.com

Luciana Coêlho Mendonça

Professora Doutora, UFS, Brasil
lumendon@gmail.com

Tatiana Máximo Almeida Albuquerque

Professora Doutora, IFS, Brasil
tatianamaximoalmeida@gmail.com

RESUMO

A adoção de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos surge como alternativa para regiões carentes de infraestrutura sanitária. No tocante aos municípios brasileiros, esses apresentaram, em 2020, um índice de atendimento de coleta de esgotos da população urbana igual a 63,2%. Ainda de acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento, no município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, o índice de coleta de esgotos gerados é de apenas 53,5%. Diante dessa realidade, o investimento em sistemas individuais de tratamento de efluentes torna uma valiosa alternativa para atendimento nas áreas descobertas de infraestrutura sanitária. Neste trabalho, avaliou-se o desempenho dos sistemas de tratamento de esgotos domésticos, utilizados como soluções individuais de tratamento em dois condomínios multifamiliares na capital sergipana. Realizou-se monitoramento físico-químico dos sistemas de tratamento individual de esgotos, e os resultados indicaram eficiências negativas na maior parte dos parâmetros analisados. Quanto às exigências da legislação ambiental vigente para o lançamento de efluentes, ocorreu descumprimento da legislação na quase totalidade do tempo observado. A falta de fiscalização da operação dos sistemas, pelos órgãos públicos, acarreta em falhas que causam degradação de águas subterrâneas e superficiais, além da falta de comprometimento com as inspeções e manutenção dos sistemas por parte dos responsáveis pelos condomínios. Pelos tipos de soluções adotadas, esgotos tratados de maior qualidade deveriam ser alcançados e assim, efluentes com elevadas cargas de poluentes não seriam lançados nos corpos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgotos. Desempenho. Soluções individuais.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas descentralizados de tratamento de águas residuais são aqueles cujas etapas de coleta, tratamento e disposição realizam-se próximas à fonte geradora (LIBRALATO et al., 2012). Quando bem projetados, construídos e operados, são alternativas para a garantia da saúde pública e da manutenção da integridade ambiental (CAPODAGLIO et al., 2017).

A adoção de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos, notadamente em países em desenvolvimento (SINGH et al., 2009), surge como alternativa para regiões carentes de infraestrutura sanitária, cujas consequências são, dentre outras: elevados níveis de poluição dos corpos d'água, processos de eutrofização e surgimento de doenças de veiculação hídrica (SINGH et al., 2017; AHMED et al., 2016).

Em relação ao Brasil, os municípios do País apresentaram, no ano de 2020, um índice de atendimento de coleta de esgotos da população urbana igual a 63,2%. Ainda de acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), o percentual referente à existência de rede coletora de esgotos na região Nordeste apresentou valor de 39,3% (SNIS, 2022).

No tocante ao serviço de coleta de águas residuárias por sistema público, Aracaju apresenta um índice de coleta de esgoto de 53,5%, superior à média do estado de Sergipe, correspondente a 32,5% e próximo à média nacional, que possui um índice de 63,2% (SNIS, 2022).

Pelos dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), também foi verificado um baixo índice de esgoto coletado no estado sergipano, com valor de 32,5%, dos quais 33,2% não passam por nenhum tipo de tratamento. Em relação à utilização de soluções individuais de esgoto, por meio de fossas sépticas sucedidas por pós-tratamento, a pesquisa da ANA apontou um índice de 11,5% para o estado de Sergipe e 15,6% para o município de Aracaju.

Na capital sergipana, todo o esgoto coletado passa por tratamento nas unidades

operacionais da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) que devolvem o efluente tratado aos corpos d'água receptores. Apesar do alto índice de tratamento do esgoto coletado, quase metade da população aracajuana ainda carece de rede de coleta e tratamento. A falta de regularidade de investimento de recursos financeiros no setor, em meio à crise fiscal e à queda na disponibilidade de recursos públicos, corrobora para essa realidade (BRASIL, 2019).

Posto isso, as edificações localizadas em regiões não servidas de infraestrutura de esgotamento sanitário, quando não despejam seus efluentes *in natura* de forma indiscriminada no solo e nos corpos hídricos, utilizam soluções descentralizadas de tratamento de esgoto.

Diante deste panorama, a adoção em soluções descentralizadas, também denominadas de soluções de tratamento de esgoto *in situ* se torna uma valiosa alternativa para atendimento de áreas localizadas distantes de infraestrutura de esgotos (BRASIL, 2019).

Tais sistemas, quando bem geridos, promovem aumento da qualidade da água residuária e consequente proteção dos ecossistemas, ao evitar os efeitos negativos dos poluentes descarregados em excesso no meio ambiente, além da proteção e da promoção da saúde humana, ao quebrar o ciclo das doenças (CAPODAGLIO et al., 2017).

Todavia, pelo fato da operação e manutenção das soluções individuais de esgoto estarem sob a responsabilidade dos proprietários, ocorrem em muitos casos, falhas nos sistemas, devido a gestões inadequadas (MESQUITA et al., 2021).

Dentre os métodos de tratamento individual de águas residuais surgem como alternativa, a associação do tanque séptico com o filtro anaeróbio (MASSOUD et al., 2009; ABNT, 1993) e as estações compactas de tratamento, dotadas de câmaras anaeróbias e aeróbias, pelas suas simplicidades funcionais, pouca exigência de mecanização, facilidade na construção e operação dos sistemas e baixo consumo de energia das estações compactas (RIBEIRO e SILVA, 2018; ABNT, 1997).

2 OBJETIVOS

Neste trabalho, propõe-se avaliar o desempenho dos sistemas de tratamento, utilizados como soluções descentralizadas no tratamento de esgotos domésticos em dois condomínios multifamiliares, situados no município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, comparando suas eficiências de remoção entre si, além do atendimento à Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011) que dispõe sobre o lançamento de efluentes tratados em corpos d'água receptores.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em dois condomínios multifamiliares situados em regiões ainda desprovidas de rede de esgotamento sanitário, no município de Aracaju, estado de Sergipe.

Os condomínios em questão foram escolhidos pela possibilidade de acesso às caixas de inspeção, para coleta das amostras de águas residuárias, além do fato de um condomínio

fazer uso de processo anaeróbio de tratamento de esgotos, enquanto o outro, utilizar processo combinado de tecnologia anaeróbia e aeróbia ao tratar seus efluentes.

O condomínio A, cuja ocupação ocorreu há três anos, está situado no bairro Japãozinho, zona Norte do município de Aracaju, já na área limítrofe com o município de Nossa Senhora do Socorro.

Em relação ao empreendimento, este se constitui como um condomínio verticalizado com 216 apartamentos distribuídos em 10 torres com quatro pavimentos cada. Do total de apartamentos, 209 unidades possuem 2 quartos e as 7 unidades restantes apresentam 1 quarto. As áreas úteis dos apartamentos variam de 35 a 45 m² e, dessa forma, enquadra o empreendimento como popular, voltado para a população de baixa renda, cuja receita familiar varia de 0 a 3 salários mínimos.

O sistema de tratamento do esgoto do condomínio A é composto por um módulo cilíndrico confeccionado em fibra de vidro compacto constituído por duas câmaras anaeróbias de fluxo ascendente consecutivas, seguidas de uma câmara aeróbia, correspondente a um biofiltro aerado submerso (BAS), conectado a uma câmara de decantação secundária. O último compartimento do sistema é a câmara de desinfecção, na qual a ação dos patógenos é atenuada por meio da utilização de pastilhas de hipoclorito de sódio. Após o tratamento, o efluente é lançado na rede pública de águas pluviais. As principais vantagens do sistema compacto são: pequeno custo de construção, operação e manutenção, baixo consumo de energia, simplicidade de operação e baixo impacto no ambiente a ser inserido (CHUNG et al., 2016).

Inicialmente, o esgoto bruto do condomínio A é submetido ao tratamento preliminar, por intermédio de gradeamento, instalado na entrada do sistema, para remoção dos sólidos grosseiros (METCALF e EDDY, 2016).

Após passar pela etapa de retenção de sólidos, o esgoto segue para a câmara primária do UASB, onde predominam principalmente os processos de hidrólise e acidogênese, nos quais a atividade bacteriana, promotora da hidrólise e da fermentação ácida, transforma compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples (CHERNICHARO, 1997).

Para a câmara secundária do UASB, o efluente oriundo da câmara primária é direcionado através de tubulação existente na parede divisória dos dois compartimentos do reator. O esgoto é conduzido até o fundo da câmara secundária, de forma a ocorrer o fluxo ascendente. Nesta etapa, as reações de acetogênese e metanogênese complementam o processo anaeróbio do sistema (CASSINI et al., 2003; CHERNICHARO, 1997). Os gases gerados nas duas câmaras anaeróbias são drenados por meio de uma tubulação de 75 mm de diâmetro até o ponto de dispersão.

Na etapa de tratamento aeróbio, o efluente é submetido a um biofiltro aerado submerso, cujo fluxo ascendente, ocasiona o seu contato com o meio suporte (aparas de eletroduto de policloreto de vinila [PVC] corrugado) em suspensão e, por conseguinte, o biofilme formado promove a degradação da matéria orgânica remanescente do processo anaeróbio (ABNT, 1997).

Utiliza-se um aerador submersível tipo *Spider Jet*, para garantir o processo de aeração dessa fase.

Depois da passagem pelo filtro, o efluente segue até a câmara de decantação, na qual o lodo remanescente da etapa anterior tende a se deslocar para o fundo do compartimento. No caso de detecção de perda excessiva de sólidos nessa câmara, realiza-se uma manobra de descarte de lodo, por meio do acionamento do sistema de recirculação, que recalca esse lodo, através de bomba autoaspirante, modelo SCHNEIDER BCA 2 - 2,0 cv - trifásica, para a câmara primária do reator anaeróbio.

Na última etapa do sistema compacto de tratamento, ocorre a desinfecção do efluente mediante processo de cloração, promovido pelo contato do esgoto com pastilhas de hipoclorito de sódio, na câmara de desinfecção.

Posteriormente a todas as etapas de tratamento do sistema do condomínio A, o efluente é direcionado para o sistema condominial de águas pluviais que deságua na rede pública de drenagem.

Em relação ao condomínio B, sua ocupação ocorreu há aproximadamente vinte e dois anos e está situado no bairro Jardins, zona Sul do município de Aracaju. O empreendimento é composto de 2 edifícios residenciais com 12 pavimentos tipo para cada torre, 4 apartamentos de 3 quartos sociais por andar, em um total de 96 apartamentos. As unidades possuem área útil de 110 m² e a edificação pode ser considerada voltada para parcela da população situada na classe média alta.

O sistema de tratamento do condomínio B é constituído por 2 tanques sépticos de forma prismática retangular de câmara única, 2 filtros anaeróbios de fluxo ascendente e 2 unidades de cloração. De forma isolada, cada edifício residencial possui 1 tanque séptico associado a 1 filtro anaeróbio. A última etapa do tratamento consiste em uma unidade de cloração, que recebe o efluente oriundo do filtro antes do lançamento do esgoto tratado no canal de drenagem de águas pluviais.

Inicialmente o esgoto *in natura* é coletado por meio das instalações prediais sanitárias das unidades domiciliares do edifício e conduzido através de tubos de queda e caixas de passagem até o tanque séptico, onde os sólidos suspensos sedimentam e a matéria orgânica sofre decomposição anaeróbia. A parte menos densa flutua e bolhas de gases propiciam a subida de algumas partículas sólidas e formam a espuma na superfície do líquido (ANDRADE NETO et al., 1999).

Para o filtro anaeróbio, segue apenas a fração líquida do esgoto, uma vez que os sólidos e a espuma são retidos pelos anteparos existentes na entrada e saída do tanque (ABNT, 1993). A entrada do efluente líquido proveniente do tanque séptico ocorre pela parte inferior, por meio de um fundo falso, e flui pela camada de brita nº 04 (meio suporte), de 1,20 m de altura, na qual há estabilização da matéria orgânica resultante da ação dos microrganismos retidos nos interstícios ou aderidos ao material de enchimento. Na parte superior do filtro, após a passagem pela camada de brita, o despejo escoava através de uma calha retangular de concreto armado até ser conduzido a uma caixa de passagem, para depois passar pela unidade de cloração, na qual se reduz a contaminação bacteriana pela adição de hipoclorito de sódio, antes do lançamento do efluente na rede de drenagem de águas pluviais (ABNT, 1997).

Foram coletadas onze amostras de esgoto das soluções individuais de tratamento, nas caixas de entrada e saída de cada sistema, no período compreendido entre os meses de novembro de 2018 a março de 2019.

Nas entradas e saídas de cada sistema individual, foram realizadas leituras com sonda multiparâmetros Horiba U-52G, nas quais foram verificadas a temperatura e o pH. Os dados dessas leituras foram armazenados na memória do equipamento na unidade de controle e, posteriormente, descarregados através do programa *Data Collection Software U-50PC*.

Em relação às amostras coletadas foram analisados os índices de DQO, nitrogênio amoniacal e sólidos (totais, fixos, voláteis e sedimentáveis), conforme os procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Devido à impossibilidade da realização de ensaio para obtenção dos valores de DBO, e pela sua importância na determinação do nível de poluição das águas, além de ser parâmetro de qualidade contido na Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011), utilizou-se de relação entre DQO e DBO para obtenção da demanda biológica de oxigênio.

De acordo com Von Sperling (2014), a relação DQO/DBO para esgotos domésticos brutos varia em torno de 1,7 a 2,4 e atinge valores superiores a 2,5 no efluente final do tratamento biológico.

Nesse trabalho foi adotada a relação DQO/DBO igual a 2 no esgoto bruto e 3 para o efluente final das soluções individuais.

Após a análise e obtenção dos valores referentes aos parâmetros físico-químicos, dos sistemas de tratamento individual de esgotos pesquisados, esses foram comparados entre si, e aos limites estabelecidos pela Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011).

A Tabela 1 mostra os parâmetros exigidos e seus limites estabelecidos pela Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011) para condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

Tabela 1: Condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários

pH	Temperatura	Materiais sedimentáveis	DBO	Óleos e graxas	Materiais flutuantes
Entre 5 e 9	< 40 °C	≤ 1 mL/L	≤ 120 mg/L*	≤ 100 mg/L	Ausentes

*: Admitida concentração superior a 120 mg/L desde que a eficiência de remoção seja no mínimo 60%.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2011).

Os dados foram organizados no programa *Microsoft Office Excel* versão 2016 e analisados por meio do software R (*Project for Statistical Computing*) versão 3.5.0. Com as concentrações dos parâmetros de entrada e saída conhecidas, foram realizados cálculos de eficiência, através dos quais obteve-se a capacidade de remoção de poluentes dos sistemas de tratamento individuais. A normalidade dos dados foi testada ao se aplicar o teste Shapiro-Wilk (RAZALE e WAH, 2011). O nível de confiança foi de 95%.

Depois da aplicação do teste de normalidade, foi verificada a influência de dados fora do padrão existentes na determinação dos resultados. Diante disso, foi necessário verificar a influência de pontos destoantes do conjunto de dados das amostras (*outliers*).

Foi realizada esta análise pelo método de identificação de *outlier* usando o Teste Tau Modificado de Thompson (CIMBALA, 2011).

O nível de significância adotado foi de 5%. Após a retirada dos *outliers*, foram obtidas médias de remoção mais próximas da realidade, sem influência de valores discrepantes.

Além da obtenção dos dados, foram coletadas informações para a pesquisa mediante a realização de visitas técnicas nas quais foi observado o estado de conservação das unidades de tratamento e dos equipamentos nas soluções individuais de esgotos condominiais e também a forma de controle dos processos de tratamento dos esgotos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às análises das soluções individuais de esgotos dos condomínios residenciais multifamiliares A e B, os valores médios de eficiência estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Eficiência de remoção média nos condomínios

Parâmetros	Soluções individuais de esgotos	
	Condomínio A	Condomínio B
DQO (%)	20,2	13,0
DBO (%)	42,9	40,3
Nitrogênio Amoniacal (%)	- 27,8	- 413,0
Sólidos Sedimentáveis (%)	- 7.953,8	- 397,0
Sólidos Totais (%)	- 42,6	- 6,0
Sólidos Totais Fixos (%)	- 32,6	4,0
Sólidos Totais Voláteis (%)	- 148,0	- 24,0

Fonte: Autores (2022).

Diante dos valores da Tabela 2, observa-se que as eficiências de remoção, com exceção da DQO e da DBO nos dois condomínios estudados e dos sólidos totais fixos no condomínio B, apresentam valores negativos, ou seja, os sistemas, ao contrário de tratarem os esgotos com a redução de suas cargas poluentes, potencializam os impactos ambientais quando do lançamento desses efluentes nos corpos hídricos receptores.

Os resultados, de forma geral, mostram desempenhos ruins dos dispositivos de tratamento de esgotos dos condomínios A e B. Vale ressaltar a carência de regulamentação no Brasil, definidora da responsabilização pela manutenção e operação dos sistemas descentralizados. Existem apenas regulamentações definidoras da responsabilidade pela gestão dos sistemas de esgotos descentralizados, nos estados do Maranhão e de Santa Catarina (MESQUITA et al., 2021).

Nos dois sistemas avaliados, a estação compacta de tratamento, referente ao condomínio A, apresentou uma remoção de DQO de 20,2%, enquanto no condomínio B, dotado de conjunto associado de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio de fluxo ascendente, verificou-se uma eficiência de remover DQO igual a 13%. Para os dois tratamentos, os valores de desempenho estão bem abaixo dos índices observados na literatura.

Um sistema compacto de tratamento de esgotos, similar ao utilizado pelo condomínio A, ao tratar efluentes de aproximadamente 1.700 habitantes no município de Uru, estado de São Paulo, obteve valor médio de 85% na remoção de DQO (RIBEIRO e SILVA, 2018).

Um melhor desempenho em degradar matéria orgânica no sistema do condomínio A poderia ser alcançado com a instalação de defletores nas duas câmaras anaeróbias do sistema, como forma de tornar mais eficiente a separação sólido-líquido do afluente. Dessa maneira, a perda de biomassa seria diminuída e não haveria uma sobrecarga de sólidos no biofiltro aerado submerso e no decantador.

A eficiência verificada no sistema do condomínio B em remover a DQO foi 13%, pouco inferior à do condomínio A. Diferentemente dos valores obtidos por Arrubla et al. (2016), em um sistema também dotado de filtro anaeróbio precedido de tanque séptico, cuja eficiência de remoção de DQO foi 56,8%, ainda considerada baixa para esse tipo de tratamento, que ao operar em boas condições atinge em torno de 80% de desempenho (JORDÃO e ALEM SOBRINHO, 2009).

O provável acúmulo de lodo no tanque séptico, causado pela falta de manutenção periódica do sistema, compromete sua capacidade de tratamento primário e também implica na inexpressiva retenção de sólidos sedimentáveis. A passagem de um esgoto de concentração maior de sólidos para o filtro anaeróbio implica na possibilidade de maior acúmulo dessas partículas nos interstícios da camada de brita. À medida que os espaços vazios da camada suporte ficam menores, há uma tendência de aumento na velocidade ascensional do esgoto líquido, juntamente com maior arraste e perda desses sólidos no efluente, causando impactos negativos em relação à remoção da DQO.

Em quatro das onze análises, o efluente apresentou maior concentração de DQO em relação ao afluente.

Foram verificadas baixas remoções de DBO nos condomínios A e B, iguais a 42,9% e 40,3%, respectivamente. Mesmo assim, apenas o condomínio B não atendeu à Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011) durante o período monitorado, em uma das onze análises realizadas. Na amostra coletada em 19 de novembro de 2018, a concentração de DBO no esgoto tratado foi de 149,3 mg/L, superior ao limite de 120 mg/L da legislação, e eficiência de 5,8%, inferior a 60%. O condomínio A atendeu à legislação referente à DBO em todas as análises realizadas.

A falta de uma programação no descarte do lodo sobressalente e da sua recirculação para as câmaras anaeróbias da unidade de tratamento do condomínio A contribuíram na sua baixa eficiência. Da mesma forma, a ausência de limpeza do biofiltro aerado submerso, durante todo o período de três anos de operação, implicou no desempenho abaixo do esperado.

A inexistência e/ou programação ineficiente do gerenciamento do lodo em reatores UASB compromete a eficiência do sistema de tratamento, cuja consequência principal é a perda excessiva de sólidos, que impactam de forma negativa na qualidade do efluente e na eficiência física de remoção de material particulado, decorrente do esgotamento da capacidade de armazenamento de lodo no interior do reator. Por conseguinte, ocorre sobrecarga nas unidades de pós-tratamento, a exemplo da colmatação do meio suporte de filtros biológicos (LOBATO et al., 2018).

O condomínio B apresentou, para o tipo de tratamento adotado, eficiência de remoção de DBO abaixo do valor encontrado em pesquisas nas quais foram avaliadas soluções individuais similares.

Arrubla et al. (2016), ao monitorarem um sistema localizado em uma zona rural da Colômbia e semelhante ao do condomínio B, obtiveram eficiência de remoção de DBO de 50,1%. Foi proposto pelos autores o aumento do TDH nas unidades de tratamento e melhores

condições ambientais para os processos biológicos ocorridos dentro dos reatores como forma de aumento de seu desempenho.

Apesar dos sistemas dos dois condomínios atenderem à legislação, em relação ao parâmetro DBO, na quase totalidade do período estudado, há possibilidade destes, alcançarem melhores eficiências por meio de medidas programadas de manutenção, adequações e monitoramento dos seus dispositivos de tratamento.

Nos sistemas condominiais de tratamento de esgotos avaliados, foram verificadas eficiências negativas quanto à remoção de nitrogênio amoniacal. Os valores das concentrações nos efluentes nos dois sistemas foram superiores às concentrações nos afluentes em quase todas as análises realizadas.

Na prática, o esgoto bruto dos condomínios, ao passar pelos dispositivos de tratamento, eleva sua concentração de nitrogênio amoniacal, para posterior lançamento, com suas cargas poluentes referentes a este parâmetro, aumentadas, na infraestrutura de drenagem, conectada a um corpo hídrico. Como consequência, há mais contaminação e maiores chances de eutrofização deste ambiente aquático.

Em apenas quatro das onze amostras coletadas no condomínio A, houve desempenho positivo do sistema de tratamento.

Um sistema semelhante ao do condomínio A, analisado por Abou-Elela et al. (2016), tratou esgoto por meio de um conjunto composto de reator UASB seguido de biofiltro aerado e, por último, um decantador dotado de defletores inclinados, com o intuito de reter biomassa e melhorar a qualidade do efluente tratado, concebido em escala piloto na cidade do Cairo, no Egito. O sistema foi operado durante quase dois anos, à temperatura ambiente variável entre 10 °C e 40 °C. Verificou-se o desempenho do reator UASB quanto à remoção de nitrogênio amoniacal, e obteve-se uma eficiência negativa igual a -10,9%.

Uma possível aeração ineficaz, nesse caso, pode afetar de forma contundente o processo de nitrificação no esgoto. Outra hipótese seria a presença considerável de matéria orgânica no filtro, decorrente da ineficiência dos reatores anaeróbios, e a consequente inibição do processo de nitrificação devido à competição por matéria orgânica.

No condomínio B, a remoção do nitrogênio amoniacal ainda foi pior. Não houve remoção do parâmetro analisado e todas as amostras de saída apresentaram concentrações superiores às da entrada.

Mesmo ao utilizar uma forma anaeróbia de tratamento, como o tanque séptico convencional utilizado no condomínio B, Nasr e Mikhaeil (2015) conseguiram remoção de nitrogênio amoniacal entre 17,7% e 26,8%.

Em relação aos sólidos sedimentáveis, inicialmente, o sistema de tratamento do condomínio A se mostrou eficiente. Nas análises das cinco primeiras coletas, houve bom desempenho de remoção, porém, nas análises das coletas restantes, houve aumento significativo da ineficiência do sistema e desobediência à supracitada resolução. Uma manutenção nas câmaras anaeróbias efetuada de forma incorreta pode ter sido a causa do aumento da presença de sólidos sedimentáveis a partir da sexta coleta. Na intenção de se retirar o excesso de lodo, boa parte da biomassa foi apenas revirada, e ao permanecer dentro do sistema, e desprendida da manta, foi carregada para o efluente final.

Ribeiro e Silva (2018) relataram a importância da correta operação de descarte e retorno do lodo na contribuição da melhoria em um sistema compacto de tratamento similar ao do condomínio A.

No condomínio B, o conjunto composto pela associação de tanque séptico e filtro anaeróbio não removeu sólidos sedimentáveis. Pelo fato de o sistema ser composto de tanque séptico, cuja retenção de sólidos sedimentáveis é uma de suas principais funções, presume-se que a não remoção periódica do lodo do tanque séptico, torna-o uma caixa de passagem na qual o efluente líquido carrega partículas e microrganismos para o meio físico (PEREIRA et al., 2009).

Como consequência há colmatação dos interstícios do leito de pedra no filtro anaeróbio, pelos sólidos não retidos no tanque séptico, e perda de funcionalidade do conjunto, corroborada pela falta de retrolavagem da camada suporte do filtro e da remoção do lodo envelhecido no seu fundo falso.

Já para a fração de sólidos, no condomínio A, não houve remoção de sólidos totais. Notou-se que, após o tratamento pelo sistema compacto, houve aumento considerável na concentração de sólidos totais, diferente do desempenho obtido por Ribeiro e Silva (2018), igual a 54%, ao analisarem a eficiência da associação de filtro aerado submerso precedido de reator UASB.

No condomínio B, também não ocorreu remoção de sólidos totais, diferentemente de Colares e Sandri (2013), que ao medir o desempenho de um conjunto de três tanques sépticos compartimentados, dispostos em série, seguidos por três leitos cultivados, ao tratar esgotos sanitários, conseguiu uma eficiência no conjunto de tanques igual a apenas 37,56% quanto à remoção de sólidos totais.

No tocante aos sólidos fixos, indicadores da quantidade de matéria inorgânica presente nas águas residuais, correspondente à fração de sólidos restante após o processo de calcinação a 550 °C, e volatilização da matéria orgânica, o condomínio A apresentou maior valor na concentração média no efluente comparado ao afluente. Pelo fato de não ter havido remoção desses sólidos, possivelmente, há carreamento de substâncias mineralizadas do biofiltro junto ao esgoto tratado.

Da mesma forma, a concentração média de sólidos voláteis mostrou-se superior na saída do sistema comparada à entrada. A maior presença de sólidos voláteis no esgoto tratado ratifica a baixa remoção de DBO e DQO e a ineficiência do sistema em degradar matéria orgânica nas câmaras anaeróbias, bem como o mau desempenho do processo de sedimentação ocorrido no decantador.

O gerenciamento ineficiente do lodo em excesso nos reatores anaeróbios também pode propiciar a perda excessiva de sólidos no efluente final do sistema.

Grandes acúmulos de lodo dentro do reator ocasionam elevadas perdas de sólidos no efluente tratado, pois sendo a biomassa retida no decantador, devido à elevada carga de sólidos, parte destes não sedimenta e, por consequência, há degradação da qualidade do esgoto tratado, ocasionada pela perda de eficiência do sistema de tratamento em remover matéria orgânica e reter sólidos (FLORIPES; CHERNICHARO; MOTA FILHO, 2018).

A eficiência na remoção de sólidos fixos referente ao condomínio B atingiu apenas 4%. Verificou-se também uma elevada concentração de sólidos voláteis no efluente comprovando a baixa retenção de matéria orgânica no sistema do condomínio B, corroborada pelas baixas eficiências de DBO e DQO obtidas nas análises.

Para o pH, os dois condomínios apresentaram em seus sistemas de tratamento, valores próximos à neutralidade, favoráveis a existência da maioria da vida aquática, e do crescimento de bactérias, por estar no intervalo de pH ideal, compreendido entre 6,5 e 7,5 (METCALF e EDDY, 2016). O pH do esgoto tratado relativo ao condomínio A variou entre 5,7 e 7,2 e após o

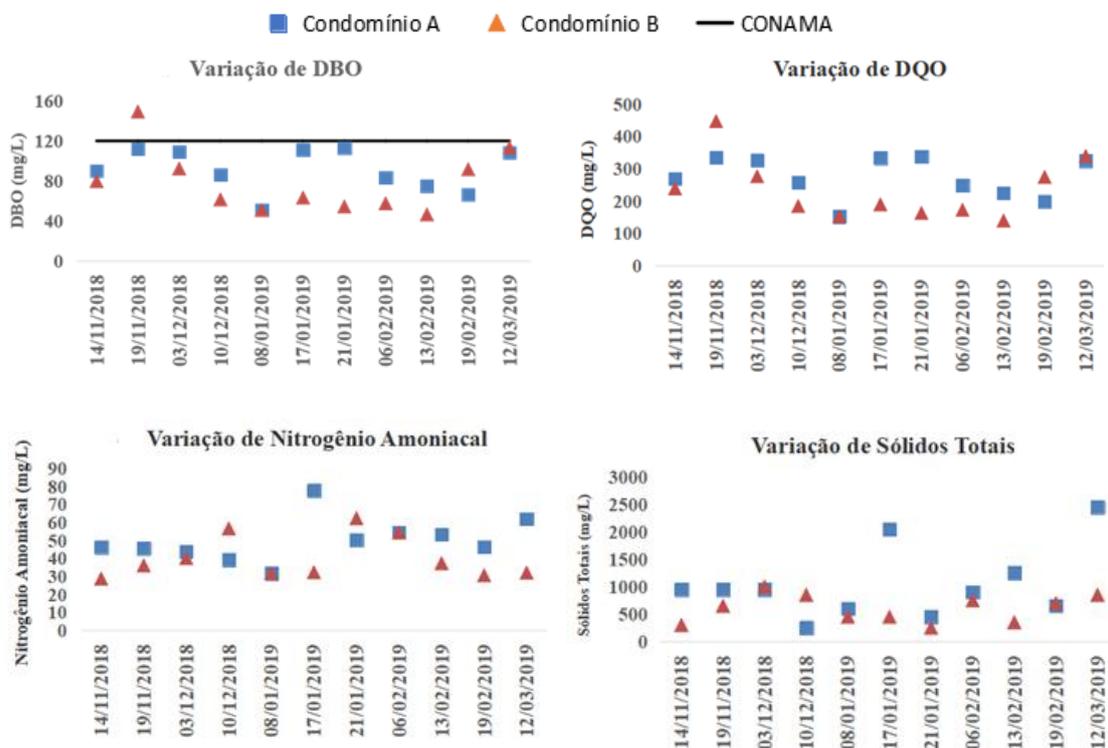
tratamento biológico, em conformidade com os limites de lançamento estabelecidos pela Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011), cuja faixa de pH varia de 5 a 9, para o esgoto tratado.

No tocante ao condomínio B, os valores do pH do efluente final estiveram em um faixa entre 5,6 e 7,3, semelhantes aos obtidos por Daija et al. (2016), Merino-Solís et al. (2015) e Colares e Sandri (2013), ao pesquisarem eficiências de tanques sépticos e filtros anaeróbios.

No caso da temperatura, os dois condomínios atenderam à legislação. As temperaturas médias no afluente e no efluente do condomínio A foram 30,6 °C e 31,3 °C, respectivamente. Assim, estiveram dentro da faixa de temperatura ótima para a atividade biológica, compreendida entre 25 °C e 35 °C. Santos et al. (2018), através de experimento com reatores UASB, estabeleceram além da idade do lodo, a temperatura como a principal variável operacional que afeta a eficiência do tratamento anaeróbio. No condomínio B, os valores médios no esgoto bruto e no tratado foram de 30,8 °C e 31 °C, respectivamente.

A Figura 1 apresenta a variação de parâmetros (DBO, DQO, nitrogênio amoniacal e sólidos totais) analisados no efluente das soluções individuais dos condomínios.

Figura 1: Parâmetros analisados no efluente das soluções individuais dos condomínios.



Fonte: Autores (2022).

4 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, as eficiências na remoção de poluentes dos tratamentos individuais condominiais, observou-se que estes apresentaram valores muito abaixo do esperado, pelo tipo de tratamento utilizado. As eficiências de remoção de DBO e DQO dos condomínios A e B, juntamente com a eficiência de remoção de sólidos fixos do condomínio B foram os únicos valores positivos de eficiência, enquanto as demais apresentaram valores negativos.

Em relação às soluções individuais dos condomínios A e B, quanto ao cumprimento da Resolução 430 do CONAMA (BRASIL, 2011), dos parâmetros analisados, houve atendimento dos parâmetros DBO, pH e temperatura. Para os sólidos sedimentáveis, ocorreu cumprimento à legislação na metade do período analisado. E a eficiência média em remover nitrogênio amoniacal, sólidos totais e sólidos voláteis foi negativa nos dois condomínios.

Por se encontrarem enterrados, inexistem compromissos com as inspeções e manutenção dos sistemas por parte dos responsáveis pelos condomínios, apesar da operação ser simples e de baixo custo. Medidas são apenas tomadas quando os sistemas apresentam graves problemas, tal como, esgoto aflorando na superfície do terreno, através das caixas de inspeção.

A falta de fiscalização da operação dos sistemas condominiais de tratamento de esgotos pelos órgãos públicos acarreta em falhas, causadoras de degradação das águas superficiais. Inexistem compromissos com as inspeções e manutenção dos sistemas por parte dos responsáveis pelos condomínios, apesar da operação ser simples e de baixo custo.

Para que se garanta um desempenho mínimo destas soluções pontuais, faz-se necessária a adoção de dispositivos legais, tais como licença de construção e de operação, nos quais as autoridades fiscalizadoras e reguladoras, representantes do poder público, garantam o bom funcionamento dos sistemas conforme projetados, comprovados periodicamente por meio de inspeções visuais e através de ensaios físicos, químicos e bacteriológicos.

Na prática, a licença de operação somente é cobrada quando do funcionamento inicial do sistema. Sem a exigência de sua renovação periódica, os sistemas são vistoriados e operados pelos funcionários dos condomínios, os quais não possuem nenhuma qualidade técnica para tal fim. No caso de cobrança efetiva pelo poder público de renovação da licença, haveria manutenção realizada por profissionais da área de saneamento, e também seriam realizadas análises para comprovar o bom funcionamento das soluções individuais de esgoto.

Pelos tipos de soluções adotadas, esgotos tratados de maior qualidade deveriam ser alcançados e assim, efluentes com elevadas cargas de poluentes não seriam lançados nos corpos hídricos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOU-ELELA, S. I.; HELLAL, M. S.; HARB, A. H. Assessment of seasonal variations on the performance of P- UASB/BAF for municipal wastewater treatment. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 36, p. 17087-17094, 2016.

AHMED, W.; SIDHU, J. P. S.; SMITH, K.; BEALE, D. J.; GYAWALI, P.; TOZE, S. Distributions of fecal markers in wastewater from different climatic zones for human fecal pollution tracking in Australian surface waters. **Applied and environmental microbiology**, v. 82, n. 4, p. 1316-1323, 2016.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas Esgotos: Despolição de Bacias Hidrográficas**. Brasília, DF, 2017. 88p.

ANDRADE NETO, C. O.; ALEM SOBRINHO, P.; SOUZA MELO, H. N.; AISSE, M. M. Decanto-Digestores. In: CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico: ABES, 1999, p. 117-138.

APHA. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 22. ed., American Public Health Association, Washington, D.C., Estados Unidos. 2012.

ARRUBLA, J. P.; CUBILLOS, J. A.; RAMÍREZ, C. A.; ARREDONDO, J. A.; ARIAS, C. A.; PAREDES, D. Pharmaceutical and personal care products in domestic wastewater and their removal in anaerobic treatment systems: septic tank-up flow anaerobic filter. **Ingeniería e Investigación**, v. 36, n. 1, p. 70-78, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.969: **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro, 1993.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB)**. Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília-DF, 2019.

BRASIL. **Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011**. 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. Brasília-DF, 2011.

CAPODAGLIO, A. G.; CALLEGARI, A.; CECCONET, D.; MOLOGNONI, D. Sustainability of decentralized wastewater treatment technologies. **Water Practice and Technology**, v. 12, n. 2, p. 463-477, 2017.

CASSINI, S. T.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDREOLI, C. V.; FRANÇA, M.; BORGES, E. S. M.; GONÇALVES, R. F. Hidrólise e Atividade Anaeróbia em Lodos. In: CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico: ABES, 2003, p. 11-52.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Reatores Anaeróbios**. v. 5, 1. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 245 p.

CHUNG, J.; TIAN, D. J.; LEE, J. S.; LIM, H. S.; JUN, H. B. Separation of organic matter from domestic sewage in a UASB-ABF system with anoxic bio-flocculation. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 2, p. 620-628, 2016.

CIMBALA, J. M. **Outliers**. Penn State - A Public Research University, Department of Mechanical and Nuclear Engineering, 2011. 84p.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 1, 2013.

DAIJA, L.; SELBERG, A.; RIKMANN, E.; ZEKKER, I.; TENNO, T.; TENNO, T. The influence of lower temperature, influent fluctuations and long retention time on the performance of an upflow mode laboratory-scale septic tank. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 40, p. 18679-18687, 2016.

FLORIPES, T. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; MOTA FILHO, C. R. Avaliação do descarte de excesso de lodo secundário de FBP sobre o desempenho de reatores UASB em escala plena: estudo de caso da ETE Laboreaux-Itabira-MG. **Revista DAE**, v. 66, n. 211, p. 89-104, 2018.

GONÇALVES, R. F.; SIMÕES, G. M. S.; WANKE, R. Reúso de águas cinzas em edificações urbanas estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, v. 3, n. 1, p. 120-131, 2010.

JORDÃO, E. P.; ALEM SOBRINHO, P. Lodo de Fossas Sépticas: Uma Análise Crítica. In: ANDREOLI, V. A. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico: ABES, 2009, p. 375-383.

LIBRALATO, G.; GHIRARDINI, A. V.; AVEZZÙ, F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. **Journal of environmental management**, v. 94, n. 1, p. 61-68, 2012.

LOBATO, L. C. S.; RIBEIRO, T. B.; SILVA, B. S.; FLÓREZ, C. A. D.; NEVES, P. N. P. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário-Parte 3: Gerenciamento de lodo e espuma. **Revista DAE**, v. 66, p. 30-55, 2018.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. **Journal of environmental management**, v. 90, n. 1, p. 652-659, 2009.

MERINO-SOLÍS, M. L.; VILLEGAS, E.; ANDA, J.; LÓPEZ-PÓPEZ, A. The effect of the hydraulic retention time on the performance of an ecological wastewater treatment system: An anaerobic filter with a constructed wetland. **Water**, v. 7, n. 3, p. 1149-1163, 2015.

MESQUITA, T. C. R.; ROSA, A. P.; GOMES, U. A. F.; BORGES, A. C. Gestão descentralizada de soluções de esgotamento sanitário no Brasil: Aspectos conceituais, normativos e alternativas tecnológicas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 56, 2021.

METCALF, E.; EDDY, M. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980 p.

NASR, F. A.; MIKHAEL, B. Treatment of domestic wastewater using modified septic tank. **Desalination and Water Treatment**, v. 56, n. 8, p. 2073-2081, 2015.

PEREIRA, J. A. R.; PIMENTEL, A. C.; SANTOS, A.; NAKAZATO, C. D.; MUNIZ, S. T. G. Gestão do lodo de fossa/tanque séptico. In: ANDREOLI, C. V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico: ABES, 2009, p. 283-326.

RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of statistical modeling and analytics**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2011.

RIBEIRO, J. C.; SILVA, G. H. R. Acompanhamento operacional e avaliação de uma estação compacta de tratamento de esgoto sanitário: Reator UASB seguido de filtro aerado submerso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, 2018.

SANTOS, S. L.; CHAVES, S. R. M.; VAN HAANDEL, A. Influence of temperature on the performance of anaerobic treatment systems of municipal wastewater. **Water Sa**, v. 44, n. 2, p. 211-222, 2018.

SINGH, R.; BIRRU, R.; SIBI, G. Nutrient removal efficiencies of *Chlorella vulgaris* from urban wastewater for reduced eutrophication. **Journal of Environmental Protection**, v. 8, n. 01, p. 1, 2017.

SINGH, S.; HARBEL, R.; MOOG, O.; SHRESTHA, R. R.; SHRESTHA, P.; SHRESTHA, R. Performance of an anaerobic baffled reactor and hybrid constructed wetland treating high-strength wastewater in Nepal—A model for DEWATS. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 5, p. 654-660, 2009.

SNIS. **Diagnóstico Temático. Serviços de Água e Esgoto. Gestão Técnica de Esgoto 2020**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2022. 31p. Disponível em <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_GESTAO_TECNICA_DE_ESGOTO_AE_SNIS_2022.pdf> Acesso em: 15 set. 2022.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v. 1, 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.