



II-152 – IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UM FILTRO DE AREIA COMO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES ANAERÓBIOS

Rafael Pereira da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Faculdade Santa Rita. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto. Engenheiro de Meio Ambiente pela Cemig Geração e Transmissão.

Adriano Campos Lemos⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Especialista em Planejamento e Gestão Ambiental pelo Centro Universitário UNIFEMM. MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas. MBA em Gestão de Negócios pela Fundação Dom Cabral. Engenheiro de Meio Ambiente pela Cemig Geração e Transmissão.

Henrique Oliveira da Cunha⁽³⁾

Técnico em Meio Ambiente pela Escola Politécnica Brasileira. Graduando em Gestão Ambiental e Engenharia Ambiental e Sanitária pela Uniasselvi. Técnico de Meio Ambiente pela Cemig Geração e Transmissão.

Luiz Felipe do Couto⁽⁴⁾

Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Sul de Minas. Graduando em Geografia pela Universidade Estadual de Montes Claros. Técnico de Meio Ambiente pela Cemig Geração e Transmissão.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Sebastião Ramos Guimarães, 5, Vila Mauriceia – Montes Claros - MG - CEP: 39401-717 - Brasil - Tel: (38) 2104-5649 - e-mail: rafael.psilva@cemig.com.br

RESUMO

O presente estudo objetivou avaliar o uso de um filtro de areia como pós-tratamento dos efluentes de um sistema simplificado de tratamento de esgotos domésticos, composto por fossa séptica e filtro anaeróbio, em escala real. Construiu-se um filtro de areia com estrutura de concreto armado, em forma quadrática, preenchido com uma camada de areia média lavada, granulometria entre 0,25 mm e 1,2 mm. A unidade foi instalada estrategicamente em cota inferior ao nível do solo, a fim de possibilitar o escoamento por gravidade e, secundariamente, causar um menor impacto visual. O dimensionamento resultou em 3,5 m de lado e área superficial de 12,25 m². A altura do leito filtrante foi definida conforme indicado na NBR 13.969/1997, limitada a 0,70 m, ao passo que a taxa de aplicação superficial utilizada levou em consideração a produção de esgotos produzidos por uma população de 25 contribuintes, classificados como temporários, perfazendo uma carga hidráulica estimada de 143 L.m⁻².d⁻¹. Previu-se ainda uma abertura na parte superior da estrutura, a fim de possibilitar a entrada de oxigênio no sistema, diminuindo a possibilidade da ocorrência de condições anaeróbias ou anóxicas no leito filtrante. Monitoraram-se os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (N-NH₃), fósforo total (P) sólidos suspensos totais (SST) e turbidez (uT). Complementarmente verificou-se a presença de nitrato (N-NO₃⁻), sulfetos (S⁻²) e oxigênio dissolvido (OD). Os pontos de coleta situaram-se a montante da fossa séptica (P1), a jusante do filtro anaeróbio (P2) e a jusante do filtro de areia (P3). Os resultados indicaram uma melhoria significativa na qualidade do efluente final, garantindo o atendimento aos restritivos padrões de lançamento de efluentes sanitários vigentes na legislação do estado de Minas Gerais.

Palavras-chave: esgotos sanitários, filtro de areia, efluentes anaeróbios, tratamento simplificado, pós-tratamento

INTRODUÇÃO



O panorama dos indicadores de qualidade dos serviços de saneamento básico no Brasil não é animador. Segundo dados da última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, referenciada ao ano de 2017, no tocante ao esgotamento sanitário, apenas 59% dos municípios eram servidos com redes de coleta e afastamento de águas residuárias e quando o assunto se relaciona ao percentual de tratamento dos esgotos produzidos a situação ainda é mais precária, tendo apenas 36% de cobertura (IBGE, 2020). Com o advento da Lei Federal 14.026 de 2020, conhecida como marco legal do saneamento básico, e visando atender ao princípio da universalização do acesso aos serviços do setor, estabeleceu-se como meta o atendimento de 90% de cobertura para a coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033, porém, consoante os dados disponíveis no painel do Sistema Nacional de Saneamento (SNIS), os valores investidos nos anos de 2021 e 2022 são bastante inferiores ao necessário.

Tal condição apresenta uma situação conflitante com a Constituição Federal de 1988 que em seu Art. 225 assegura o direito da coletividade ao ambiente ecologicamente equilibrado e salubre. Nessa esteira, a melhoria dos indicadores de esgotamento sanitário é condição essencial para se assegurar um direito fundamental, o qual se vincula à preservação da vida e ao fundamento da dignidade humana (SARLET, 2012). Adicionalmente, benefícios econômicos seriam auferidos ao se diminuir as externalidades ocasionadas pela degradação da qualidade da água dos corpos hídricos (CHEN, 2017).

As tecnologias existentes para aplicação no tratamento de esgotos sanitários baseiam-se em operações unitárias seguidas por processos químicos e/ou biológicos. Uma vez que esses efluentes líquidos possuem boa receptividade à depuração biológica, esta via torna-se naturalmente a primeira opção de escolha em função dos baixos custos de construção e operação, bem como pela simplicidade operacional. Emergem, nesse sentido, duas rotas principais, sendo percorridas pelas vias anaeróbia e aeróbia (VON SPERLING, 1996). Os processos anaeróbios possuem como vantagens incontestáveis o baixo custo operacional, a baixa produção de lodo e a possibilidade de recuperação energética, todavia possuem limitações quanto ao atendimento dos padrões de lançamento restritivos impostos pela legislação ambiental (BAËTA et al., 2012; PASSOS; FERREIRA; VON SPERLING, 2019; TREIN et al., 2020; MORA et al., 2023). Em outra vertente, os processos aeróbios são capazes de promover uma depuração mais avançada, entretanto os maiores inconvenientes recaem sobre a maior produção de lodos e o conseqüente aumento nos custos de manutenção e operação (MISHRA et al., 2023).

Adicionalmente à definição da tecnologia de tratamento, o contexto no qual se insere a população a ser atendida deve ser bem compreendido. Em localidades com dimensões territoriais expressivas e condições geográficas desfavoráveis, o atendimento apenas pelos sistemas centralizados de esgotamento sanitário, que compreendem aqueles responsáveis por receber uma maior carga orgânica e hidráulica aplicadas, não é factível. Em função da distância das regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos, a viabilidade econômica torna-se comprometida, ensejando o estabelecimento de sistemas descentralizados. Segundo a recém edita da norma ABNT 17.076/2024, sistemas locais de saneamento são aqueles em que as distâncias entre as fontes geradoras de esgotos, seu tratamento e disposição final são próximas entre si, não necessitando normalmente de rede coletora extensa, coletor-tronco, poços de visita, emissários e afins. Para efeito de classificação, esse documento técnico estabeleceu como sistemas de menor porte aqueles que produzem até 12.000 L.d⁻¹ e carga orgânica até 3,80 kg DBO.d⁻¹ (ABNT, 2024). Emerge assim uma dicotomia que se estabelece entre a existência de sistemas isolados com um menor grau de investimento e maior simplicidade operacional e a necessidade de atender aos restritivos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental.

Vários estudos têm sido realizados avaliando a eficiência e a aplicabilidade das tecnologias tradicionais, como lagoas de estabilização, lagoas aeradas, lagoas de alta taxa, reatores UASB, lodos ativados e *wetlands* em tratamento de esgotos domésticos (COUTO et al., 2015; PASSOS; FERREIRA; VON SPERLING, 2019; RAMOS et al., 2023; TREIN et al., 2020). Em outra vertente, um menor esforço é observado relacionado aos sistemas de menor porte e suas formas mais recorrentes de disposição final (TONETTI et al., 2018). Nestes usualmente, recorrem-se à construção de sumidouros e valas de infiltração e em meios em que há geração de efluente como as valas de filtração e filtros de areia. Poucos estudos foram empregados utilizando a filtração em areia de esgotos sanitários, como forma de pós-tratamento (MAGALHÃES et al., 2016; TONETTI et al., 2005). Tal tecnologia é classicamente utilizada em tratamento de água para consumo humano, geralmente,



posteriormente a uma etapa de clarificação, a qual já removeu a maior parte dos sólidos suspensos e coloidais. Embora relativamente raros, bons resultados foram observados nesses estudos executados para a remoção de matéria orgânica proveniente dos despejos domésticos.

Nessa senda, o presente trabalho pretende contribuir com informações acerca de aspectos construtivos e operacionais sobre a aplicação dessa tecnologia, em um contexto permeado pelo cumprimento de requisitos legais. O projeto foi concebido tendo como premissa o entendimento de que o principal diferenciador dessa alternativa é ocupar uma área menor, possuir maior integração com o entorno, uma vez construído sob o solo, e capacidade de atingir elevada eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes, com simplicidade operacional, baixo custo de implantação e virtualmente nulo de operação, quando cotejada a outras soluções.

OBJETIVO

O principal objetivo do trabalho foi avaliar a utilização de um filtro de areia como pós-tratamento de um efluente anaeróbio proveniente de um sistema simplificado de tratamento de esgotos sanitários, composto por fossa séptica e filtro anaeróbio, em escala real.

MATERIAIS E MÉTODOS

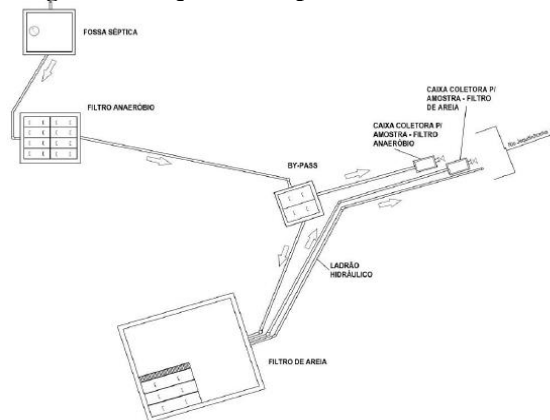
Visando aumentar o grau de eficiência do sistema existente, composto por uma fossa séptica e um filtro anaeróbio submerso de fluxo ascendente, construiu-se uma unidade com estrutura de concreto armado, em forma quadrática, preenchida com uma camada de areia média lavada, granulometria entre 0,25 mm e 1,2 mm. O filtro foi instalado em cota inferior ao nível do solo, a fim de possibilitar o escoamento por gravidade. O dimensionamento resultou em 3,5 m de lado e área superficial de 12,25 m². A altura do leito filtrante foi definida conforme indicado na NBR 13969/1997, limitada a 0,70 m, ao passo que a taxa de aplicação superficial utilizada levou em consideração a geração de esgotos de uma população de 25 contribuintes, classificados como temporários, perfazendo uma carga hidráulica estimada de 143 L.m².d⁻¹ (ABNT, 1997). A taxa aplicada buscou situar-se dentro da faixa intermediária de valores consoante indicado na referida norma. Embora a estrutura tenha sido construída com cobertura e sob o solo, foi aplicada uma abertura na parte superior, a fim de possibilitar a entrada de oxigênio no sistema, visando diminuir a possibilidade da existência de condições anaeróbias ou anóxicas no leito filtrante.

Durante todo o período de acompanhamento, o sistema foi alimentado em escala real sem intercorrências, excetuando-se a intermitência natural em função do regime de trabalho dos contribuintes em horário comercial.

Monitoraram-se os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e fósforo total (P). Complementarmente verificaram-se o potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), nitrato (N-NO₃⁻) e sulfetos (S₂⁻). Todos estes parâmetros foram acompanhados na Fase 2 (incluída a unidade de pós-tratamento), ao passo que na Fase 1 (sistema simplificado) são apresentados apenas os resultados de DBO e DQO. Os pontos de coleta situaram-se a montante da fossa séptica (P1), a jusante do filtro anaeróbio (P2) e a jusante do filtro de areia (P3). A justificativa para tal escolha prendeu-se à necessidade de conhecimento das características do esgoto bruto (carga orgânica produzida), bem como a eficiência de remoção no sistema simplificado de tratamento e, posteriormente, com a nova unidade construída. Na Figura 1, é apresentada uma visão esquemática do sistema de tratamento.



Figura 1 - Esquema Simplificado - Planta Baixa



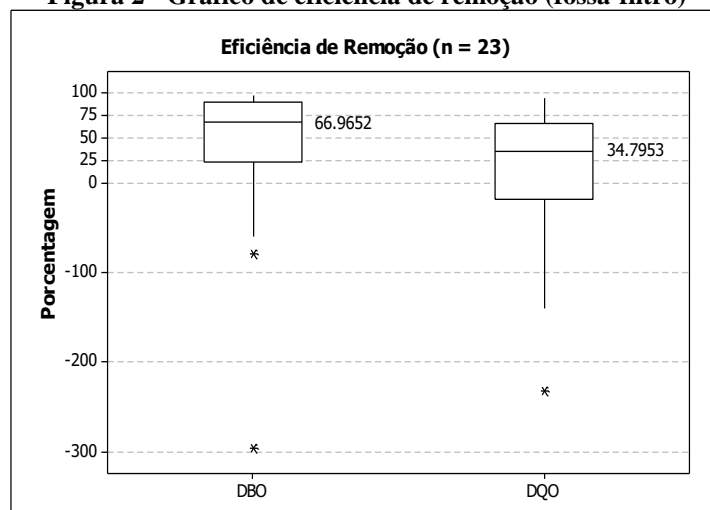
Realizaram-se seis campanhas no período 2023/2024, após um período de três meses de aclimação do leito de filtração, sendo os resultados obtidos em dois laboratórios distintos, ambos acreditados por organismos capacitados. Todas as análises levaram em consideração as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fase 1 – Sistema fossa-filtro

Anteriormente à implantação do filtro de areia, o sistema de tratamento operava com o efluente passando pela fossa séptica, fazendo a dupla função de tratamento preliminar e primário e, na sequência, pelo filtro anaeróbio, representativo do tratamento secundário. O histórico dos resultados de eficiência dos parâmetros representativos de carga orgânica pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Gráfico de eficiência de remoção (fossa-filtro)



Em relação ao perfil de contribuição de carga orgânica, os parâmetros DBO e DQO tiveram como mediana 319 e 730 mg.L^{-1} , respectivamente, estando dentro da faixa de variação esperada. Considerando a relação DQO/DBO e a mediana como medida de tendência central, obteve-se o valor de 2,29. Segundo Von Sperling,

(1996), este valor é indicativo de aplicabilidade da tecnologia de tratamento biológico de efluentes e situa-se dentro da faixa típica de esgotos domésticos.

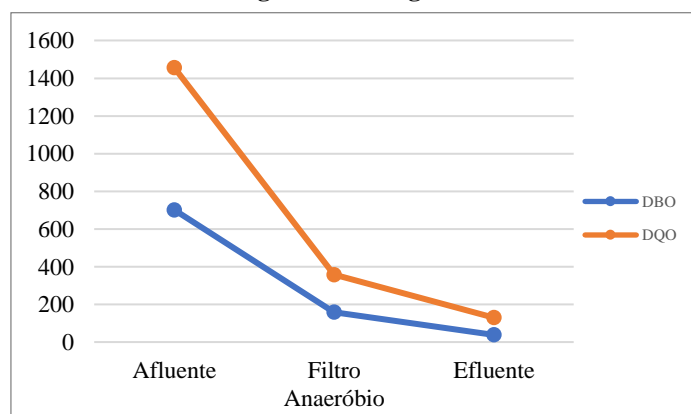
Como pode ser visualizado, mais da metade dos resultados situaram-se abaixo do valor 66,9 % de eficiência de remoção de DBO e 34, 7% de DQO, não atingindo assim os limites impostos pela legislação ambiental. Embora haja valores que não atendam aos padrões de lançamento, a carga orgânica lançada é de baixa monta, em função da diminuta vazão do sistema, estimada em $0,06 \text{ L.s}^{-1}$. Essa situação se constitui em uma fragilidade normativa quando são impostos patamares fixos a serem atendidos por empreendimentos que lançam seus efluentes dentro de condições hidráulicas ou hidrológicas distintas, configurando a conhecida e anacrônica política de comando e controle (MAY, 2010).

Naturalmente, o perfil de sólidos do efluente apresentou também baixa eficiência de remoção, sendo que em 31% das amostragens foram obtidos valores acima do limite normativo de 100 mg.L^{-1} de sólidos suspensos totais (SST). A principal justificativa provavelmente esteve associada ao desprendimento de biomassa do filtro anaeróbio e a ausência de unidade com decantação para clarificação final.

Fase 2 – Sistema fossa-filtro seguido de filtro de areia

Realizada a inserção da unidade de filtração em de areia, obtiveram-se os seguintes resultados dos parâmetros representativos da carga orgânica, ao longo da linha de tratamento, considerando seis campanhas amostrais ($n = 6$), conforme Figura 3.

Figura 3 - Perfil de matéria orgânica ao longo da linha de tratamento (mg.L^{-1})



Os valores apresentados foram consolidados utilizando a média como medida de tendência central, buscando suavizar alguns possíveis vieses de amostragem. Observa-se que a concentração de matéria orgânica no afluente esteve consideravelmente acima daquelas apresentadas na Figura 1 (DBO, DQO; 701 e 1425 mg.L^{-1}), respectivamente. A explicação prende-se à mudança do local de amostragem que foi transferido da entrada da fossa séptica, para a tubulação de saída da elevatória de esgoto de parte da instalação, o qual possui um perfil de consumo de água distinto do restante do empreendimento.

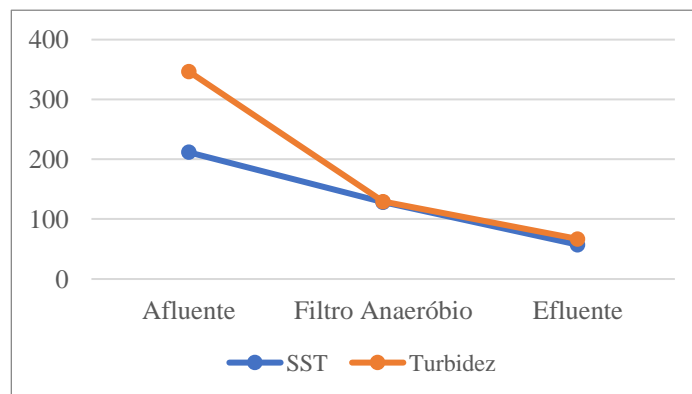
A utilização da estação elevatória como ponto de amostragem atua suavizando as flutuações naturalmente esperadas em sistemas com baixa produção de despejos. Nesse sentido, como ocorre o acúmulo do esgoto bruto e conseqüentemente uma melhor homogeneização da carga orgânica produzida, espera-se uma amostragem mais fiel ao que realmente é produzido. Corrobora tal assertiva a obtenção de valores na mesma ordem de grandeza que aquela indicada por ocupante temporário na NBR 13.969/1997. Os 25 gramas de $\text{DBO}_{5,20}$ esperados alcançariam o valor de 694 mg.L^{-1} . Realizada tal consideração, como não houve uma mudança na real carga orgânica aplicada, tão somente uma melhoria no processo de amostragem, a análise da eficiência de remoção na Fase 1 estaria parcialmente comprometida, todavia o cotejo entre valores de lançamento antes e após a intervenção permanece pertinente.



O efluente do filtro anaeróbio apresentou o mesmo padrão de comportamento da Fase 1, lançando carga remanescente com concentração semelhante, não havendo diferenças significativas, todavia quando comparado à qualidade do produto final, percebem-se mudanças pronunciadas, com o despejo sendo lançado com média de 38,6 mg.L⁻¹ de DBO e 130,5 mg.L⁻¹ de DQO, atendendo plenamente aos critérios normativos, tanto eficiência mínima de remoção (> 70% DBO e > 65% DQO), quanto valor máximo permitido (60 mg.L⁻¹ de DBO e 180 mg.L⁻¹ de DQO). A eficiência de remoção de DBO neste estudo (95%) corrobora os valores encontrados por Tonetti e colaboradores (96%), em condições similares, com uma taxa de aplicação superficial de 150 L.m⁻².d⁻¹ e um leito de filtração de 0,75 m (TONETTI et al., 2012).

Em relação ao perfil de sólidos, ao longo da linha de tratamento, houve um decaimento esperado com a inserção do processo de filtração em areia, como apresentado na Figura 4. Nesta etapa, atuam importantes mecanismos de retenção física, no sentido de coação, atrelados a mecanismos biológicos relacionados à existência de biomassa aderida no leito filtrante (LIBÂNIO, 2010). Os resultados obtidos apenas com o efluente do filtro anaeróbio indicam a dificuldade de atendimento ao valor normativo de 100 mg.L⁻¹ de SST corroborando com as contribuições encontradas na literatura acerca das limitações da tecnologia anaeróbia, caso prescindida alguma etapa de pós-tratamento (RAMOS et al., 2023). Entretanto, ao passar pela filtração em areia, o valor médio encontrado foi de 57 mg.L⁻¹ de SST, sendo uma redução de 55% em relação à etapa anterior. Esses resultados são ligeiramente inferiores aos obtidos por Tonetti e colaboradores (83%), todavia a carga de sólidos afluente ao sistema era consideravelmente inferior, sendo aproximadamente a metade da aplicada no presente estudo. Em relação ao atendimento à legislação, os resultados foram satisfatórios não sendo observado valor algum acima do máximo permitido.

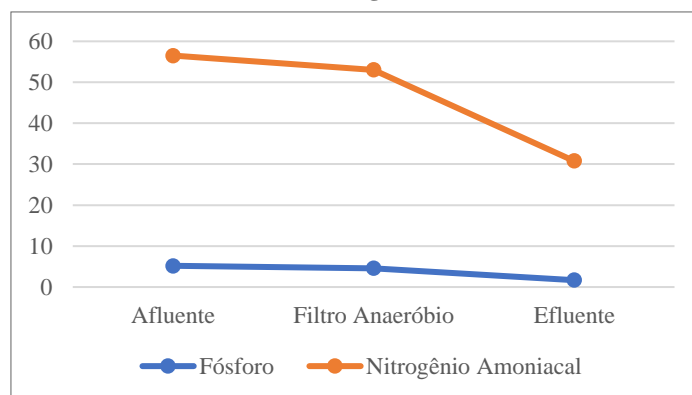
Figura 4 - Perfil de sólidos ao longo da linha de tratamento (mg.L⁻¹, uT)



Avaliou-se o perfil de nutrientes, ao longo do sistema de tratamento, representado pelos parâmetros nitrogênio amoniacal e fósforo total. Houve um decaimento da concentração de fósforo, indicando provavelmente o mecanismo de absorção pela biomassa, uma vez que a precipitação na forma de fosfato seja pouco provável nas condições existentes dentro do reator (PAPP et al., 2023). A remoção média de fósforo global foi de 67%, sendo verificada predominantemente no filtro de areia com contribuição de 84% da remoção total.

Já o nitrogênio amoniacal apresentou valores médios próximos nos pontos P1 e P2 (56,5 e 53 mg.L⁻¹). Verificou-se eficiência de remoção de 42%, restando como concentração média residual 30,8 mg.L⁻¹, após a filtração em areia. Esses resultados apresentam uma certa similaridade com os reportados por Tonetti e colaboradores, quando consideradas taxa de aplicação superficial e altura do leito próximas (TONETTI et al., 2005). Alguns autores hipotetizam que a principal via de remoção se relaciona com rotas de absorção pela biomassa e conversão a nitrato (MAGALHÃES et al., 2016). A presença confirmada desse íon no efluente final em torno de 4,0 mg.L⁻¹, a presença de oxigênio dissolvido em valores superiores a 1,0 mg.L⁻¹ e a ausência de sulfetos (S⁻²) em todas as análises corroboram essa teoria. Apresenta-se, na Figura 5, o comportamento dos parâmetros nitrogênio amoniacal e fósforo total.

Figura 5 - Perfil de nutrientes ao longo da linha de tratamento (mg.L⁻¹)



CONCLUSÕES

A construção da unidade de pós-tratamento aumentou a robustez do sistema e promoveu uma melhoria significativa na qualidade do efluente final, verificada pelo atendimento aos padrões vigentes de lançamento de efluentes sanitários em curso d'água. A taxa de aplicação utilizada foi conservadora (143 .m².d⁻¹) e eficaz, tendo como referência de amplitude a ABNT NBR 13.969/1997 e estudos realizados com escopo semelhante (TONON et al., 2015).

Considerando o aspecto construtivo de ter sido instalado sob o solo, a previsão de abertura na parte superior foi um aspecto importante para o suprimento de oxigênio, visando garantir as condições aeróbias no processo de filtração, o que facilitou a maior presença de íons em estágio oxidado, como os nitratos e ausência de sulfetos. Adicionalmente, a intermitência natural de aplicação do afluente do sistema pode ter contribuído para a manutenção de oxigênio dissolvido, como já hipotetizado por Tonetti e colaboradores.

O custo construtivo foi pouco pronunciado, com baixo requisito de área, ao passo que o operativo é virtualmente nulo, embasado no fato de não serem necessárias manutenções constantes. Argumenta-se que essa solução tecnológica seja aplicável a situações que exijam baixo custo construtivo, operacional e com elevada eficiência de remoção.

Sugere-se, como ponto de aprimoramento, que eventuais novas propostas dessa natureza sejam concebidas com a possibilidade da utilização de chicanas, a fim de maximizar o contato da biomassa com o fluido e evitar curtos-circuitos hidráulicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 17.076. Projeto de sistemas de tratamento de esgoto de menor porte - Requisitos. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 13.969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- BAÊTA, B. E. L. et al. Anaerobic degradation of azo dye Drimaren blue HFRL in UASB reactor in the presence of yeast extract a source of carbon and redox mediator. Biodegradation, v. 23, n. 2, p. 199–208, 2012.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



- CHEN, W. Y. Environmental externalities of urban river pollution and restoration: A hedonic analysis in Guangzhou (China). *Landscape and Urban Planning*, v. 157, p. 170–179, 1 jan. 2017.
- COUTO, E. A. et al. Influence of solar radiation on nitrogen recovery by the biomass grown in high rate ponds. *Ecological Engineering*, v. 81, p. 140–145, 1 ago. 2015.
- IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário. Rio de Janeiro, 2020.
- LIBÂNIO, M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água. 2. ed. Campinas, 2010.
- MAGALHÃES, T. M. et al. Nitrification process modeling in intermittent sand filter applied for wastewater treatment. *Ecological Engineering*, v. 93, p. 18–23, 1 ago. 2016.
- MAY, P. H. (ORG). A Economia do Meio Ambiente: teoria e prática. 2. ed. GEN LTC. Rio de Janeiro, 2010.
- MISHRA, S. et al. Anaerobic–aerobic treatment of wastewater and leachate: A review of process integration, system design, performance and associated energy revenue. *Journal of Environmental Management*, v. 327, p. 116898, 1 fev. 2023.
- MORA, E. C. et al. Characterisation and perspectives of energetic use of dissolved gas recovered from anaerobic effluent with membrane contactor. *Bioresource Technology*, v. 367, p. 128223, 1 jan. 2023.
- PAPP, L. A. et al. Total phosphorus contents currently found in the raw wastewater – Problems and technical solutions for its removal in full-scale wastewater treatment plants. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 196, p. 107026, 1 set. 2023.
- PASSOS, R. G.; FERREIRA, V. V. M.; VON SPERLING, M. A dynamic and unified model of hydrodynamics in waste stabilization ponds. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 144, p. 434–443, 1 abr. 2019.
- RAMOS, M. D. N. et al. Sewage treatment in cities of the state of Minas Gerais, Brazil, that use the UASB reactor as the only biological treatment: A case study. *Journal of Water Process Engineering*, v. 56, p. 104509, 1 dez. 2023.
- SARLET, I. W. A Eficácia dos Direitos Fundamentais. 11. ed. Livraria do Advogado. Porto Alegre, 2012.
- TONETTI, A. L. et al. Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos por filtros de areia. *Revista de Eng. Sanit. Ambiental*, v. 209, p. 209–218, 2005.
- TONETTI, A. L. et al. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. Biblioteca Unicamp. Campinas, 2018.
- TONETTI, A. L. et al. Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia. *Revista de Eng. Sanit. Ambiental*, v. 17 n.3, jul/set. 2012.
- TONON, D. et al. Wastewater treatment by anaerobic filter and sand filter: Hydraulic loading rates for removing organic matter, phosphorus, pathogens and nitrogen in tropical countries. *Ecological Engineering*, v. 82, p. 583–589, 1 set. 2015.
- TREIN, C. M. et al. French vertical flow treatment wetlands in a subtropical climate: Characterization of the organic deposit layer and comparison with systems in France. *Science of The Total Environment*, v. 742, p. 140608, 10 nov. 2020.
- VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. 1. ed. v. 2. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 1996.