
Tratamento de efluentes sépticos em *wetlands* construídos de uma unidade universitária

Treatment of septic effluents in constructed wetlands by a university unit

Tratamiento de efluentes sépticos en humedales construidos en una unidad universitaria

Bruno Henrique Rabelo Vieira

Instituto Federal de Goiás – Câmpus Goiânia
brunohenriqueravi@gmail.com

Douglas Pereira da Silva Pitaluga

Instituto Federal de Goiás – Câmpus Goiânia
douglas.pitaluga@ifg.edu.br

Jéssica Rodrigues Silveira

Universidade Federal de Goiás
jessicarodrigues1960@gmail.com

Jordana Portilho Neves

Instituto Federal de Goiás – Câmpus Goiânia
jordanapn@hotmail.com

Marianne Stella Córrea dos Santos

Instituto Federal de Goiás – Câmpus Goiânia
mariannecorreia@hotmail.com

Resumo

*O uso de sistemas descentralizados para tratamento de efluentes é uma alternativa para amenizar a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, reduzindo assim os custos com a saúde pública e com os serviços públicos de coleta e tratamento de efluentes. Como alternativa acessível à população e benéfica ao meio ambiente, tem-se os sistemas *wetlands* construídos para tratamento de águas residuais. O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho no tratamento de efluentes sépticos em três *wetlands* construídos de escoamento horizontal subsuperficial, seguidos de filtros lentos com distintos materiais, de um campus universitário, equiparando as variáveis avaliadas aos limites normativos para lançamento de efluentes em águas superficiais. O sistema de tratamento deste*

estudo foi dividido em cinco unidades, sendo: tanque de equalização e tanque séptico (tratamento primário), wetlands construídos (tratamento secundário) de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal, preenchidos com brita 0 e cultivados com *Typha latifolia*, filtros lentos (tratamento terciário) de brita, areia e solo, e reservatório do efluente tratado. As análises físico-químicas e biológicas avaliadas foram demanda química de oxigênio, cor aparente, turbidez, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, dureza, pH, oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes no efluente séptico e nos efluentes dos wetlands construídos e dos filtros. Os efluentes finais do sistema atenderam aos padrões de lançamento em águas de Classe 2 para turbidez, pH e oxigênio dissolvido. Entretanto, os valores de coliformes termotolerantes não foram alcançados.

Palavras-chave: Esgoto sanitário. Tanque séptico. Zona de raízes. Filtros lentos.

Resumen

El uso de sistemas descentralizados para el tratamiento de efluentes es una alternativa para mitigar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, reduciendo así los costos con la salud pública y con servicios públicos para la recolección y tratamiento de efluentes. Como una alternativa accesible para la población y beneficiosa para el medio ambiente, existen sistemas de wetlands construídos para el tratamiento de aguas residuales. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño en el tratamiento de efluentes sépticos en tres wetlands construídos con flujo subsuperficial horizontal, seguido de filtros lentos con diferentes materiales, desde un campus universitario, ajustando las variables evaluadas a los límites normativos para la descarga de efluentes en aguas superficiales. El sistema de tratamiento de este estudio se dividió en cinco unidades, que son: tanque de equalización y tanque séptico (tratamiento primario), wetlands construídos (tratamiento secundario) con flujo subsuperficial de flujo horizontal, lleno de grava 0 y cultivado con espadañas, filtros lentos (tratamiento terciario) de grava, arena y suelo, y depósito de efluentes tratados. Los análisis físicoquímicos y biológicos evaluados fueron la demanda química de oxígeno, color aparente, turbidez, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, dureza, pH, oxígeno disuelto y coliformes termotolerantes en el efluente séptico y en los efluentes de los wetlands construídos y filtros. Los efluentes finales del sistema cumplieron con los estándares de liberación de agua de Clase 2 para turbidez, pH y oxígeno disuelto. Sin embargo, no se han alcanzado los valores de coliformes termotolerantes.

Palabras clave: Alcantarillado sanitario. Tanque séptico. Zona de la raíz. Filtros lentos.

Abstract

The use of decentralized systems for wastewater treatment is an alternative to mitigate the contamination of surface and groundwater, reducing costs with as public health and public wastewater collection and treatment services. As an accessible alternative to the population and benefit to the environment, it has constructed wetland systems for wastewater treatment. The present study aimed to evaluate the performance in the treatment of septic effluents in three constructed wetlands of subsurface horizontal flow, followed by slow filters with different materials, of a university campus, equipped as variables evaluated to the normative limits for the purposes of surface waters. The treatment system of this study was divided into five units, namely: equalization tank and septic tank (primary treatment), constructed wetlands (secondary treatment) with horizontal subsurface

flow, filled with gravel 0 and cultivated with cattails, slow filters (tertiary treatment) of sand, sand and soil and treated effluent reservoir. The physico-chemical and biological analysis evaluated were chemical oxygen demand, apparent color, turbidity, total suspended solids, total dissolved solids, electrical conductivity, hardness, pH, dissolved oxygen and thermotolerant coliforms in the septic effluent and the effluents of constructed wetlands and filters. The final effluents from the system met the Class 2 water release standards for turbidity, pH and dissolved oxygen. However, the values of coliform thermotolerants have not been reached.

Keywords: Sanitary sewage. Septic tank. Root zone. Slow filters.

Introdução

O esgotamento sanitário integra o conjunto de atividades do saneamento básico a serem ofertadas pela administração pública, mas as áreas urbanas ainda têm índices de cobertura insatisfatórios. Somente 61,40% da população urbana brasileira é atendida pelas redes coletoras de esgoto, destes, 42,60% dos esgotos são coletados e tratados e 18,80% não são favorecidos pelo tratamento. A parcela restante de esgotos não coletados e não tratados representa 38,60%. Os índices em zonas rurais são relativamente mais baixos comparados à zona urbana, em virtude da extensão e da distância entre as propriedades (ANA, 2017).

O uso de sistemas descentralizados para tratamento de efluentes é uma alternativa para amenizar a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, reduzindo assim os custos com a saúde pública e com os serviços públicos de coleta e tratamento de efluentes (BENASSI, 2018). No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece normas para a classificação de corpos hídricos (BRASIL, 2005) e para o lançamento de efluentes nestes (BRASIL, 2011). Como tecnologia descentralizada acessível à população e benéfica ao meio ambiente, tem-se os wetlands construídos para tratamento de águas residuais domésticas, industriais e agrícolas (DOTRO *et al.*, 2017).

Os wetlands construídos são sistemas de tratamento biológico, constituídos de compartimento artificial, de baixa profundidade, preenchido com meio suporte inerte e cultivado com vegetação adaptada a ambientes aeróbios, anóxicos e anaeróbios, como macrófitas aquáticas. O tratamento ocorre pela ação conjunta da vegetação e do crescimento de biomassa aderida no meio suporte, atuando na

transformação de contaminantes, como a matéria orgânica em substâncias inócuas (TONETTI *et al.*, 2018).

Tratando-se de uma tecnologia sustentável, cujo processo de tratamento é natural sob condições controláveis, a aplicação de wetlands construídos possui diversas vantagens, como baixo custo de construção, baixa demanda energética, boa eficiência na melhoria de qualidade da água e flexibilidade do sistema (BENASSI, 2018). No entanto, as desvantagens estão relacionadas a necessidade de áreas maiores para instalação da tecnologia e a ineficiência em regiões com baixas temperaturas (SALATI, 2006).

Existe uma ampla diversidade de wetlands construídos, variando o tipo de efluente tratado, tipo de substrato e tipo de fluxo do sistema, tipo de vegetação implantada e os parâmetros analisados, assim como, a eficiência do sistema no tratamento dos efluentes (SEZERINO *et al.*, 2015). Diversas pesquisas científicas têm sido realizadas na investigação e comprovação dos benefícios relacionados a esses sistemas de tratamento na purificação hídrica de efluentes (COSTA *et al.*, 2018; FIA *et al.*, 2017; PITALUGA; ALMEIDA; REIS, 2015; SEZERINO *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2015). Ainda, existe outras alternativas, de baixo custo e de baixa manutenção, para melhorar o polimento de efluentes de pós-tratamento, como os sistemas de filtração que removem contaminantes por processos biológicos e de adsorção (PAREDES *et al.*, 2016).

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho no tratamento de efluentes sépticos em três wetlands construídos de escoamento horizontal subsuperficial, seguidos de filtros lentos com distintos materiais, de um campus universitário, equiparando as variáveis avaliadas aos limites normativos para lançamento de efluentes em águas superficiais.

Materiais e métodos

O experimento foi conduzido na Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgotos com Plantas (EPTEP), na Universidade Federal de Goiás, no Campus Colemar Natal e Silva, localizada no município de Goiânia, Estado de Goiás, nas coordenadas latitude 16°40'38.90" Sul e longitude 49°14'32.02"O Oeste, no período de julho a novembro de

2018. O clima local, de acordo com a classificação Köppen-Geiger é do tipo Aw, que se caracteriza como temperado úmido com inverno seco e verão temperado (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014). O efluente sanitário é proveniente de laboratórios de análises físicas, químicas e banheiros das edificações mais antigas do Campus.

A vazão do efluente sanitário, demandada ao sistema de tratamento de esgoto, foi aferida por método volumétrico, coletando-se a amostra em um recipiente de 1000 mL com aferição do tempo por meio de um cronômetro, no ponto de coleta antecedente ao tanque de equalização. O volume foi medido com auxílio de uma proveta de 1000 mL. O procedimento foi realizado de hora em hora, a partir das 7h00 às 22h00, durante uma semana. Este horário foi definido com base em estudos realizados por Pitaluga *et al.* (2015), onde observaram que a vazão era nula no intervalo de 23h00 a 7h00, devido à ausência de atividades no Campus.

O sistema de tratamento deste estudo foi dividido em cinco unidades, como ilustra a Figura 1, sendo: tanque de equalização e tanque séptico (tratamento primário), wetlands construídos (tratamento secundário), filtros lentos (tratamento terciário) e reservatório do efluente tratado. Excepcionalmente os filtros lentos, as demais unidades foram dimensionadas por Pitaluga *et al.* (2015), conforme as seguintes especificações:

- Tanque de equalização, pré-fabricado de fibra de vidro, de volume útil de $8,0 \text{ m}^3$ (2,6 m de diâmetro superior, 2,0 m de diâmetro inferior e 2,0 m de altura útil).
- Tanque séptico, pré-fabricado de fibra de vidro, de volume útil de $8,0 \text{ m}^3$ (2,6 m de diâmetro superior, 2,0 m de diâmetro inferior e 2,0 m de altura útil).
- Wetlands construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal, constituídos de alvenaria, reboco e contrapiso, três unidades com volumes iguais de $1,65 \text{ m}^3$ (3,0 m de comprimento, 1,0 m de largura e 0,55 m de altura útil). O efluente séptico era distribuído por meio de bombonas plásticas, de volumes iguais de 143 L, nos wetlands construídos.

- Filtros lentos, pré-fabricados de polietileno, três unidades com volume iguais de $0,15 \text{ m}^3$ (0,87 m de diâmetro superior, 0,61 m de diâmetro inferior e 0,53 m de altura útil).
- Reservatório de efluente tratado, pré-fabricado de fibra de vidro, de volume útil de $2,5 \text{ m}^3$ (1,5 m de diâmetro superior, 1,5 m de diâmetro inferior e 1,4 m de altura útil). O volume de efluente excedente retornava à rede pública de esgoto.

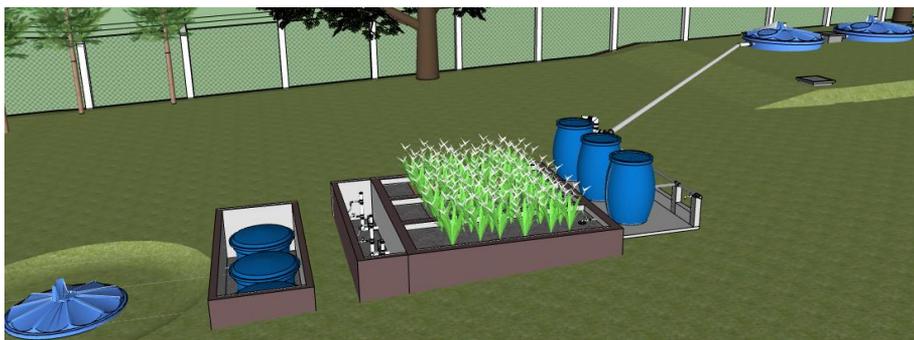


Figura 1 – Desenho esquemático do sistema de tratamento de efluentes, constituído das unidades: (1) tanque de equalização; (2) tanque séptico; (3) wetlands construídos; (4) filtros lentos; e, (5) reservatório de efluente tratado.

Fonte: Autores (2018).

Este sistema encontrava-se desativado e sem alimentação de efluente sanitário. A partida deste experimento foi iniciada em julho de 2018 e envolveu diversas atividades como a retirada de materiais do tanque séptico, a limpeza dos wetlands construídos para posterior preenchimento do meio suporte e plantio das espécies vegetais, a substituição de peças e tubulações com inconformidades e a instalação dos filtros lentos, além da resolução do problema de chegada de efluente sanitário ao sistema.

Os wetlands construídos foram preenchidos, a partir do fundo, com brita zero (Figura 2a) (diâmetro D60 de 9,5 mm e coeficiente de uniformidade de 1,5) até a altura 0,50 m, deixando-se uma borda livre de 0,05 m para evitar qualquer tipo de transbordamento do efluente. Sezerino *et al.* (2015) identificaram que mais de 64% das pesquisas brasileiras utilizam a brita como substrato dos wetlands construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal.

Estas unidades foram cultivadas com a taboa (*Typha latifolia* L.), uma das plantas mais utilizadas por serem de fácil adaptação a diferentes condições climáticas (BENASSI, 2018; VON SPERLING; SEZERINO, 2018) (Figura 2b). Para tal, 90 mudas de *T. latifolia* foram coletadas em habitat natural e suas folhas foram cortadas a 0,30 cm de altura, sendo imediatamente transplantadas para os wetlands. Para tanto, antes do plantio, saturou-se os leitos com água oriunda do sistema público de abastecimento. A densidade de plantio foi de 10 propágulos por m², Von Sperling e Sezerino (2018) recomendaram aproximadamente 4 propágulos por m².



Figura 2 – (a) Preenchimento dos wetlands construídos com brita 0 e (b) Plantio das mudas nos wetlands construídos.

Fonte: Autores (2018).

A instalação de filtros lentos de escoamento ascendente foi realizada após cada wetland construído, onde cada unidade continha um material distinto. Estes filtros foram preenchidos com brita 0 (diâmetro D60 de 9,5 mm e coeficiente de uniformidade de 1,5) peneirada, areia fina (diâmetro efetivo D10 de 0,75 mm, coeficiente de uniformidade de 0,3 e tamanho máximo dos grãos de 1,18 mm) lavada e, solo areno-argiloso (diâmetros D10 de 0,4 mm e D60 de 0,0017 mm e coeficiente de uniformidade de 0,004) peneirado, respectivamente. Os materiais foram caracterizados pelos ensaios de granulometria do agregado graúdo e agregado miúdo, constantes na Norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), e granulometria por peneiramento e sedimentação, fundamentada na Norma NBR 7181 (ABNT, 2016). Definiu-se por incluir uma camada de brita 0 de 0,05 m sobre o material dos filtros de areia e solo, a fim de evitar o carreamento de partículas.

Transcorridos 30 dias do plantio das espécies vegetais realizou-se a descarga de água dos wetlands construídos nos reguladores de nível, com a posterior liberação do efluente séptico. O monitoramento do sistema foi realizado por meio de amostragens simples em pontos de coleta entre as unidades de tratamentos primário e secundário, conforme ilustrado nas Figuras 3a e 3b, sendo que o primeiro ponto coletado foi efluente séptico. Para isto, foram utilizados frascos esterilizados e encaminhados, no mesmo momento, ao Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária do IFG, Campus Goiânia.

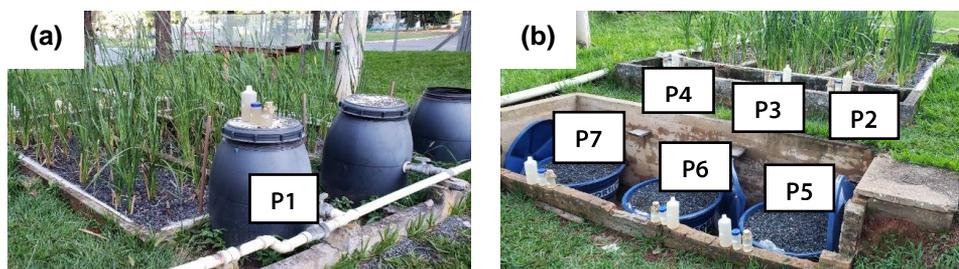


Figura 3 – Vista das unidades do sistema *wetland* construído e seus respectivos pontos de coleta: (a) P1, afluente séptico, advindo do tanque séptico; (b) P2, efluente tratado após WC₁; P3, após WC₂; P4, após WC₃; P5, após filtro de brita, antecedido pelo WC₁; P6, após filtro de areia, antecedido pelo WC₂; e, P7, após filtro de solo, antecedido pelo WC₃

Fonte: Autores (2018).

Durante o período de 30 dias (novembro de 2018) foram realizadas amostragens semanais em 7 pontos de coleta (Figuras 3a e 3b), e a caracterização físico-química e biológica, em termos de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), turbidez, cor aparente, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT), dureza, potencial hidrogeniônico (pH) e coliformes termotolerantes, totalizando 3 dias de coletas de amostras e 21 amostras analisadas.

As coletas foram realizadas no período matutino, utilizando-se frascos plásticos esterilizados de 1,0 L e 0,5 L, os quais eram encaminhados, no mesmo momento, ao Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária do IFG, Campus Goiânia, de acordo com os procedimentos constantes no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF, 2017). Destaca-se que o

curto período de monitoramento foi influenciado pela reativação do sistema de tratamento de esgoto.

A eficiência de remoção destes compostos foi avaliada percentualmente pela diferença na concentração dos substratos considerados na entrada e saída das unidades de tratamento secundário e terciário. A análise estatística dos dados para comparar o desempenho entre os wetlands construídos e entre os filtros foi realizada pela análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), por meio do software Statistica.

Resultados e discussões

O sistema de tratamento estava recebendo a vazão média diária de 2189 L d⁻¹ de efluente sanitário. Transcorridos 30 dias do plantio e 16 dias de liberação do efluente séptico aos wetlands construídos, WC1, WC2 e WC3 haviam 24, 31 e 24 mudas, respectivamente. Atendendo a quantidade mínima de 4 propágulos por m², optou-se por não fazer o replantio das mudas que morreram. Ainda se observava espécies vegetais brotando e floração de apenas uma *Typha latifolia*.

As caracterizações do efluente séptico e dos efluentes dos wetlands construídos estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Valores remanescentes médios e desvio padrão do efluente séptico e efluentes dos WCs de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), cor aparente e turbidez durante o monitoramento do experimento.

Variáveis	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹) (3)	SST (mg.L ⁻¹) (2)	Cor aparente (PtCo) (3)	Turbidez (UNT) (3)
Efluente séptico	56,2±10,8	154,0±140,0	818,7±314,1	100,0±0,0
WC1	52,0±10,7a	37,5±50,2	355,7±257,8a	24,7±8,5a
WC2	58,3±10,5a	23,5±26,2	348,0±208,3a	26,0±5,3a
WC3	55,6±8,8a	29,0±31,1	367,3±188,0a	31,0±1,0a

(n) Número de amostras consideradas para o cálculo da média; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Conforme a Tabela 1, o valor médio de entrada de DQO do efluente séptico nos wetlands construídos foi de 56,2 mg O₂ L⁻¹, cujo resultado está inferior aos limites referenciados de 339 a 1016 mg L⁻¹ (METCALF; EDDY, 2016). Entretanto, essas concentrações, mínima e máxima, referem-se à composição típica de efluente doméstico bruto. A matéria orgânica particulada é removida por processos físicos, como sedimentação e filtração, enquanto que a solúvel é degradada biologicamente (DOTRO *et al.*, 2017). Assim, o período de retenção do efluente sanitário na unidade de tratamento primário pode ter influenciado na DQO do afluente, em virtude da eficiência de remoção média de matéria orgânica do tanque séptico (SOUZA *et al.*, 2015; TONETTI *et al.*, 2018). Além disso, o efluente sanitário foi liberado 60 dias antes da demanda aos wetlands construídos para as unidades de tratamento primário.

Apesar de não haver diferença estatística entre as médias, ocorreu baixa redução da matéria orgânica, na forma de DQO, nos WC1 e WC3, enquanto que no WC2 houve um acréscimo nessa variável. A conversão da matéria orgânica solúvel ocorre pela formação de biofilme no meio suporte e nas raízes das plantas, por meio da ação de microrganismos (BENASSI, 2018), assim, tais resultados podem ter sido influenciados pelo curto período de monitoramento. Pode-se observar que a matéria orgânica particulada foi retida, visto que houve redução média de 83,8 a 87,2% de sólidos suspensos totais nos três wetlands construídos. Dotro *et al.* (2017) informaram que os principais mecanismos envolvidos na remoção de SST são a sedimentação e filtração. Outro fator pode estar relacionado ao desenvolvimento das *Typha latifolia*, visto que as raízes dessas plantas são capazes de absorver a matéria orgânica (BENASSI, 2018).

Em trabalhos conduzidos em sistemas alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal e cultivados com *Typha latifolia*, Fia *et al.* (2017) verificaram as eficiências médias de remoção de 79% de DQO e 84% de SST de efluente industrial (suinocultura), após um mês de implantação do sistema, monitorado por 120 dias. Enquanto que, Costa *et al.* (2018), com sistema monitorado por quatro anos, obtiveram eficiências de remoção de 72% de DQO e 87% de SST de efluente sanitário. Em dois anos de monitoramento, alguns autores observaram eficiências de remoção de 98% de DQO e 99% de SST (BRASIL, 2018). Ainda, Dotro *et al.* (2017)

indicaram que a eficiência de remoção de matéria orgânica é superior a 80% para essa configuração de wetland construído.

Em relação as variáveis cor aparente e turbidez, não foi observado diferenças significativas conforme a Tabela 1. Pode-se observar que ocorreu uma redução média de 55,1 a 56,6% de cor aparente e de 69,0 a 75,3% de turbidez dos efluentes dos wetlands construídos em relação ao efluente séptico. Colares e Sandri (2013) verificaram a eficiência média de 82,54% na remoção de turbidez em sistema alagado construído cultivado com *Typha latifolia*, monitorado por 180 dias. Estudos comprovaram a eficiência de remoção de matéria orgânica, em forma de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e DQO, sólidos suspensos totais, nutrientes, como fósforo e nitrogênio, e coliformes termotolerantes (BENASSI, 2018; SEZERINO *et al.*, 2015). Há poucos estudos que avaliaram os parâmetros cor e turbidez, porém verifica-se que ocorreu redução destes.

A Resolução Conama n. 357 (BRASIL, 2005) permite o lançamento de efluentes em águas de classe 2 para valores inferiores a 100 UNT de turbidez, assim os efluentes dos leitos estão adequados aos limites estabelecidos. De acordo com a Tabela 2, constata-se que não houve diferença significativa nas variáveis condutividade elétrica (CE), dureza, pH e oxigênio dissolvido (OD) entre os WCs avaliados.

Verifica-se que houve uma redução da condutividade dos efluentes dos wetlands construídos em relação ao efluente séptico, o que pode estar ligado à baixa degradação e remoção nula de matéria orgânica. Fia *et al.* (2017) explicaram que a remoção de matéria orgânica promove a liberação de íons no meio, resultando no aumento da condutividade elétrica. Outro fator de influência está ligado a precipitação de sais no meio (FIA *et al.*, 2017), o que se confirma pelo acréscimo nos valores de dureza e na redução de sólidos dissolvidos totais nos efluentes dos wetlands construídos em relação ao efluente séptico.

Quanto ao pH, não ocorreram variações consideráveis em relação aos efluentes séptico e dos WCs. Observa-se que os valores de oxigênio dissolvido variaram de 8,3 a 8,5 mg O₂.L⁻¹ e pH de 7,9, ambos parâmetros estiveram na faixa ideal para o desenvolvimento dos microrganismos. A

presença de oxigênio e pH de 6,0 a 9,0 representam condições favoráveis para sobrevivência de microrganismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica (METCALF; EDDY, 2016).

Tabela 2 – Valores remanescentes médios e desvio padrão do efluente séptico e efluentes dos WCs de condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT), dureza, pH e oxigênio dissolvido (OD) durante o monitoramento do experimento.

Variáveis	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) (3)	SDT (mg.L^{-1}) (3)	Dureza ($\text{mg CaCO}_3\text{.L}^{-1}$) (3)	pH (3)	OD ($\text{mg O}_2\text{.L}^{-1}$) (3)
Efluente séptico	1730,0 \pm 65,9	874,8 \pm 46,1	112,7 \pm 2,3	8,1 \pm 0,7	8,4 \pm 0,2
WC1	1466,7 \pm 129,5a	726,5 \pm 63,5a	142,0 \pm 25,1a	7,9 \pm 0,5a	8,5 \pm 0,1a
WC2	1486,7 \pm 65,0a	738,7 \pm 34,7a	124,0 \pm 14,0a	7,9 \pm 0,6a	8,4 \pm 0,2a
WC3	1526,0 \pm 59,0a	764,2 \pm 43,5a	140,7 \pm 26,1a	7,9 \pm 0,6a	8,3 \pm 0,3a

(n) Número de amostras consideradas para o cálculo da média; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os valores de OD estão adequados ao valor mínimo estabelecido de 5 mg O₂.L⁻¹ para lançamento de efluentes em águas de classe 2, conforme a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).

As caracterizações dos efluentes dos filtros estão apresentadas nas Tabela 3 e 4, onde não foi verificada diferença significativa entre as variáveis avaliadas.

Tabela 3 – Valores remanescentes médios e desvio padrão dos efluentes dos filtros de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), cor aparente e turbidez durante o monitoramento do experimento.

Variáveis	Unidade antecessora	DQO ($\text{mg O}_2\text{.L}^{-1}$) (3)	SST (mg.L^{-1}) (2)	Cor aparente (PtCo) (3)	Turbidez (UNT) (3)
Filtro de brita	WC1	56,7 \pm 7,9a	38,5 \pm 33,2	359,0 \pm 235,5a	26,3 \pm 5,8a
Filtro de areia	WC2	39,4 \pm 27,3a	74,5 \pm 31,8	488,7 \pm 30,6a	55,0 \pm 39,0a
Filtro de solo	WC3	50,3 \pm 16,1a	47,0 \pm 5,7	427,0 \pm 86,5a	44,7 \pm 32,6a

(n) Número de amostras consideradas para o cálculo da média; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quanto a variável DQO, o efluente do filtro de brita teve um acréscimo de matéria orgânica em relação ao WC1. Os filtros de areia e solo contribuíram na redução de matéria orgânica, conforme os WC2 e WC3, respectivamente. Paredes *et al.* (2016) avaliaram biofiltros de areia como unidades de pós-tratamento de efluentes secundários e verificaram a remoção de matéria orgânica, com e sem atividade biológica. Castro *et al.* (2017) verificaram a eficiência média de remoção de 33,7% de DQO no pós-tratamento em filtro de areia de efluente tratado de uma ETE.

Pode-se observar não houve remoção das variáveis SST, cor aparente e turbidez nos efluentes dos filtros em relação aos seus respectivos wetlands construídos. Acredita-se que essas interferências no desempenho dos filtros tenham relação com uma possível contaminação dos materiais, em virtude da falta de esterilização destes, ao carregamento de partículas na saída dos filtros de areia e de solo, apesar da existência de uma camada superior de brita 0, e ao subdimensionamento dessas unidades em relação às vazões de entrada. Castro *et al.* (2017) observaram a remoção média de 45,6% de SST em filtro de areia de efluente tratado em ETE.

Ainda com o aumento da turbidez, os efluentes dos filtros estão dentro do limite admissível pela Resolução Conama n. 357 (BRASIL, 2005) para o lançamento de efluentes em águas de classe 2. Pela Tabela 4, observa-se que houve uma redução de condutividade elétrica e SDT nos efluentes, relacionados a baixa degradação e remoção nula de matéria orgânica, em virtude da não liberação de íons no meio (FIA *et al.*, 2017). Castro *et al.* (2017) verificaram a remoção média de 48,3% de SDT em filtro de areia de efluente tratado em ETE.

Tabela 4 – Valores médios e desvio padrão dos efluentes dos filtros de condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT), pH e oxigênio dissolvido (OD) durante o monitoramento do experimento.

Variáveis	Unidade anteses.	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) ⁽³⁾	SDT (mg.L^{-1}) ⁽³⁾	Dureza ($\text{mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$) ⁽³⁾	pH ⁽³⁾	OD ($\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$) ⁽³⁾
Filtro de brita	WC ₁	1401,7±192,7a	701,3±80,5	134,0±22,5a	7,9±0,6a	8,3±0,3a
Filtro de areia	WC ₂	1203,0±376,9a	603,7±192,2a	172,0±73,4a	7,9±0,4a	8,4±0,3a
Filtro de solo	WC ₃	1465,7±108,9a	744,0±45,7a	146,0±24,2a	7,9±0,6a	8,4±0,3a

⁽ⁿ⁾ Número de amostras consideradas para o cálculo da média; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quanto ao pH, não ocorreram variações consideráveis em relação aos efluentes dos WCs e dos filtros. Ainda, pode-se verificar que os valores de oxigênio dissolvido variaram de 8,3 a 8,4 mg O₂ L⁻¹ e pH de 7,9, dentro da faixa de condições ideais para sobrevivência de microrganismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica (METCALF; EDDY, 2016).

Os valores de OD estão adequados ao limite mínimo admissível de 5 mg O₂ L⁻¹ para lançamento de efluentes em águas de classe 2, conforme a Resolução CONAMA n. 357 (BRASIL, 2005).

Em relação a variável coliformes termotolerantes, os efluentes dos wetlands construídos e dos filtros lentos resultaram em valores de coliformes termotolerantes acima de 1000 NMP.100 mL⁻¹, desconforme aos valores permissíveis para os usos da água pela Resolução CONAMA n. 357 (BRASIL, 2005).

Conclusões

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir:

- verificou-se que não houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre as variáveis avaliadas nos WCs e nos filtros.
- as unidades de tratamento secundário, os WCs, promoveram baixa degradação e remoção nula de matéria orgânica, em forma de DQO. O desenvolvimento das *Typha latifolia* e o período curto de monitoramento foram fatores de interferência nos resultados.
- nos WCs, ocorreu uma redução média de 83,8 a 87,2% de sólidos suspensos totais, de 55,1 a 56,6% de cor aparente, e de 69,0 a 75,3% de turbidez em relação ao efluente séptico.
- as unidades de tratamento terciário, os filtros, resultaram em baixa degradação e remoção nula de matéria orgânica, em forma de DQO. A falta de esterilização dos materiais e as unidades subdimensionadas foram fatores de interferência nos resultados.
- nos filtros, as variáveis sólidos suspensos totais, cor aparente e turbidez aumentaram as concentrações comparadas a seu respectivo WC, devido às interferências supracitadas.
- o desempenho das unidades de tratamento de efluentes foi prejudicado pelo curto período de monitoramento, o qual foi

influenciado pelas diversas atividades envolvidas na reativação e nos problemas operacionais do sistema.

- das variáveis avaliadas, turbidez, pH e oxigênio dissolvido, estão adequadas aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n. 357 para lançamento de efluentes em águas de classe 2 (BRASIL, 2005), tanto os efluentes dos WCs quanto os efluentes dos filtros. Entretanto, os valores de coliformes termotolerantes não foram alcançados.

Referências

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). *NBR 7181: Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). *NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

ANA (Agência Nacional de Águas). *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017.

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23.ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

BENASSI, R. F. (org.). *Manual de sistemas wetlands construídos para o tratamento de esgotos sanitários: implantação, operação e manutenção*. Santo André: Ed. UFABC, 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Conama n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 53, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Conama n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 92, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção*. Florianópolis: UFSC, 2018.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. *ACTA Geográfica*, v. 8, n. 16, p.40-55, 2014.

CASTRO, L. V. de.; BRANDT, E. M. F.; CAMPOS, A. C. V.; AFONSO, R. J. de C. F.; MOTA FILHO, C. R. Avaliação da remoção de microcontaminantes em filtros lentos de baixo custo para o polimento de efluentes de estações de tratamento de esgoto. In: CONGRESSO ABES FENASAN, 2017, São Paulo. *Trabalhos completos* [...]. Rio de Janeiro: ABES, 2017. p. 1-16. Disponível em: <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/II-430.pdf>. Acesso em: 5 maio 2020.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013.

COSTA, J. F.; PAOLI, A. O.; VON SPERLING, M.; SEIDI, M. Avaliação do desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluente de reator UASB, com base em quatro anos de monitoramento. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 1, p. 191-200, 2018.

DOTRO, G.; LANGERGRABER, G.; MOLLE, P.; NIVALA, J., PUIGAGUT, J.; STEIN, O.; VON SPERLING, M. *Treatment wetlands*. IWA Publishing, 2017.

FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; FIA, R.; BORGES, A. C.; C-ECON, P. R. Efeito da vegetação em sistemas alagados construídos para tratar águas residuárias da suinocultura. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 2, p. 303-311, 2017.

METCALF, L.; EDDY, H. P. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. Trad. Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

PAREDES, L., FERNANDEZ-FONTAINA, E., LEMA, J. M., OMIL, F., CARBALLA, M. Understanding the fate of organic micropollutants in

sand and granular activated carbon biofiltration systems. *Science of the total environment*, v. 551-552, p. 640-648, 2016.

PITALUGA, D. P. da S.; ALMEIDA, R. A.; REIS, R. P. A. *Wetland construído no tratamento de esgotos sanitários: substratos*. Goiânia: Novas Edições Acadêmicas, 2015.

SALATI, E. *Controle de qualidade de água através de sistemas de wetland construídos*. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2006.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, p. 151-158, 2015.

SOUZA, C. F.; BASTOS, R. G.; GOMES, M. P. de M.; PULSCHEN, A. A. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. *Revista Ambiente & Água*, v. 10, n. 3, 2015.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; MADRID, F. J. P. y L.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. de O.; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. *Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para escolha de soluções*. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P.H. Dimensionamento de *wetlands* construídos no Brasil: documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. *Boletim Wetlands Brasil*, Edição Especial, 2018.