

## II-332 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO VERTICAL – SISTEMA FRANCÊS

**Amanda de Moraes Motta<sup>(1)</sup>**

Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Camila Maria Trein<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental. Doutoranda em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Marcos von Sperling<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil. Doutor pelo Imperial College em Londres. Professor titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Avenida Presidente Antônio Carlos, nº 6627 – Escola de Engenharia – Bloco 1, 4º andar, sala 4622 – CEP 31270-901 – Belo Horizonte – MG. E-mail: amandammotta@outlook.com

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de uma unidade de *wetlands* construído vertical pertencente ao primeiro estágio do Sistema Francês que opera com área reduzida (duas unidades em paralelo, ou 0,6 m<sup>2</sup>/pessoa) e com maior tempo no ciclo de alimentação (sete dias, ao invés de três dias e meio), proporcionando menor requisito operacional comparado ao sistema clássico Francês. Almeja-se conhecer melhor as particularidades condições de contorno como, por exemplo, o clima, capazes de influenciar nos os resultados, os quais atingiram valores satisfatórios comparados também ao sistema Francês. As concentrações de oxigênio dissolvido no efluente foram positivas, com mediana de 3,3 mg O<sub>2</sub>/L, por fim, análise mostrou que o sistema atendeu 69% do requisito em termos de eficiência de remoção e 85% em termos de concentração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de esgoto, nutrientes, esgoto bruto, sistema descentralizado.

### INTRODUÇÃO

*Wetlands* construídos (WC) têm sido cada vez mais estudados e utilizados no mundo para o tratamento de diferentes tipos de águas residuárias. Os WC podem ser divididos em sistemas de fluxo superficial e subsuperficial. Este último, por sua vez, em escoamento horizontal (WC-H) ou vertical (WC-V). Dentro das variantes do modelo de fluxo vertical, encontram-se os sistemas que recebem esgotos brutos, denominados *wetland* construído vertical - sistema Francês (WCV-SF) (FONDER & HEADLEY, 2013), o qual será o foco deste trabalho.

Desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisa em Ciência e Tecnologia para o Meio Ambiente e Agricultura (IRSTEA) da França, tal sistema é composto por dois estágios em série. O primeiro estágio, com três unidades em paralelo, visa principalmente a remoção da matéria orgânica e sólidos em suspensão, além de remoção parcial do nitrogênio amoniacal por nitrificação. O segundo estágio, constituído por duas unidades em paralelo, permite uma remoção complementar dos poluentes. A Figura 1 apresenta as principais características construtivas e operacionais das unidades pertencentes ao primeiro e segundo estágio, segundo as diretrizes do IRSTEA para o Sistema Francês.

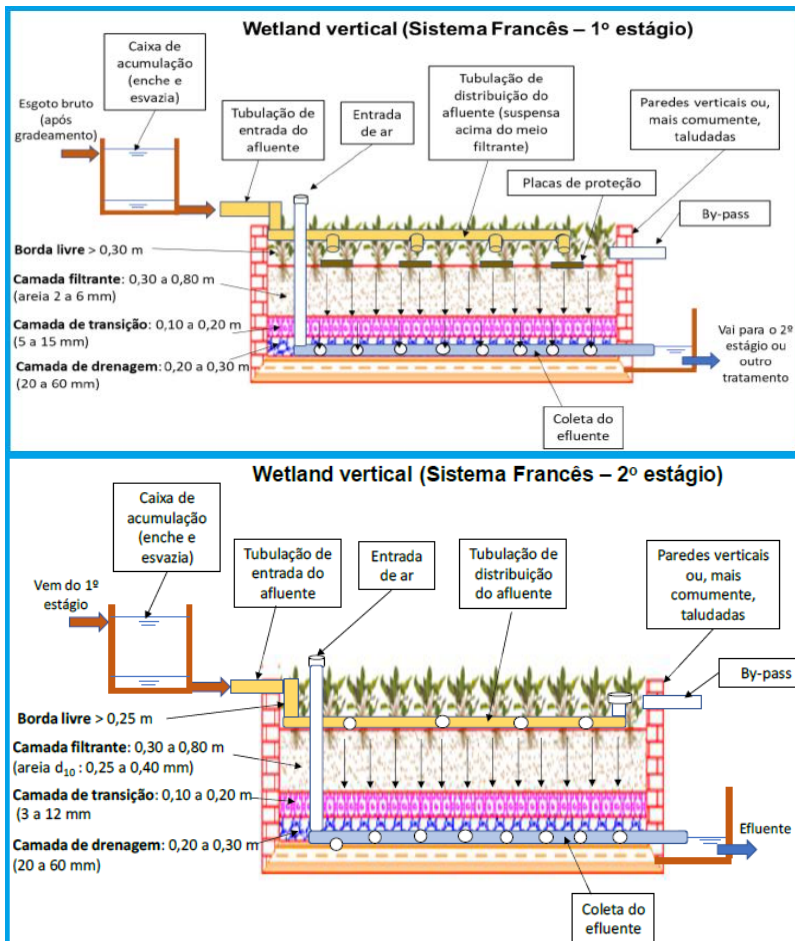


Figura 1 - Características construtivas das unidades pertencentes ao 1º e 2º estágio do modelo clássico de WCV-SF.

Fonte: von Sperling, (2018).

1º estágio  
Afluente: esgoto bruto  
~1,2 m<sup>2</sup>/hab.

Países temperados:  
3 unidades  
3,5 dias de alimentação  
7 dias de descanso  
2 visitas semanais do operador

2º estágio  
Afluente: efluente do 1º estágio  
~0,8 m<sup>2</sup>/hab.

Países temperados:  
2 unidades  
3,5 dias de alimentação  
3,5 dias de descanso  
2 visitas semanais do operador

O sistema, todavia, em cada local construído pelo mundo, tem suas devidas particularidades influenciadas pelas condições de contorno como, por exemplo, o clima. Em países de clima quente, o sistema consegue manter resultados satisfatórios referentes à maioria dos processos de conversão que ocorrem no primeiro estágio, corroborando com a premissa de obter consideráveis economias nos custos de construção e movimentação de terra, além dos requisitos operacionais (GARCIA ZUMALACARREGUI, 2018).

Visto que para o Brasil (país de clima tropical) a tecnologia *wetlands* pode ser largamente proveitosa para um grande número de pequenas comunidades no interior do país, as quais são desprovidas de saneamento, é importante analisar, através de pesquisas, a adequação desta tecnologia em cenários socioeconômicos carentes de um tratamento de esgoto de baixo custo. Ademais, ressalta-se a busca por um sistema de baixo impacto social, o qual não exija dos cidadãos das comunidades manutenções que requeiram conhecimentos técnicos avançados ou demandem muito tempo de serviço, que sejam de baixo impacto ambiental e que possibilitem o atendimento aos padrões de lançamento especificados na legislação.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de uma unidade pertencente ao primeiro estágio do SF que opera com área reduzida (duas unidades em paralelo, ou 0,6 m<sup>2</sup>/pessoa) e com maior tempo no ciclo de alimentação (sete dias, ao invés de três dias e meio), proporcionando menor requisito operacional comparado ao sistema clássico Francês.



## METODOLOGIA

O sistema WCV-SF investigado está instalado no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) UFMG/COPASA, na ETE Arrudas, Belo Horizonte. O WCV-SF, construído em 2007 com início de operação em 2009, foi dimensionado para tratar águas residuárias geradas por uma população equivalente de 100 habitantes (vazão média de 13 m<sup>3</sup>/d). Concebido de acordo com as recomendações e especificações do CEMAGREF/IRSTEA, o primeiro estágio possui três leitos filtrantes, cada um com área superficial de 29,4 m<sup>2</sup> (largura de 3,1 m e comprimento de 9,4 m), totalizando 88,2 m<sup>2</sup> (0,9 m<sup>2</sup>/e.p.). Na presente pesquisa, apenas duas unidades estão em operação (representando área total de 0,6 m<sup>2</sup>/e.p.). A Figura 2 apresenta esquematicamente o primeiro estágio do WCV-SF.

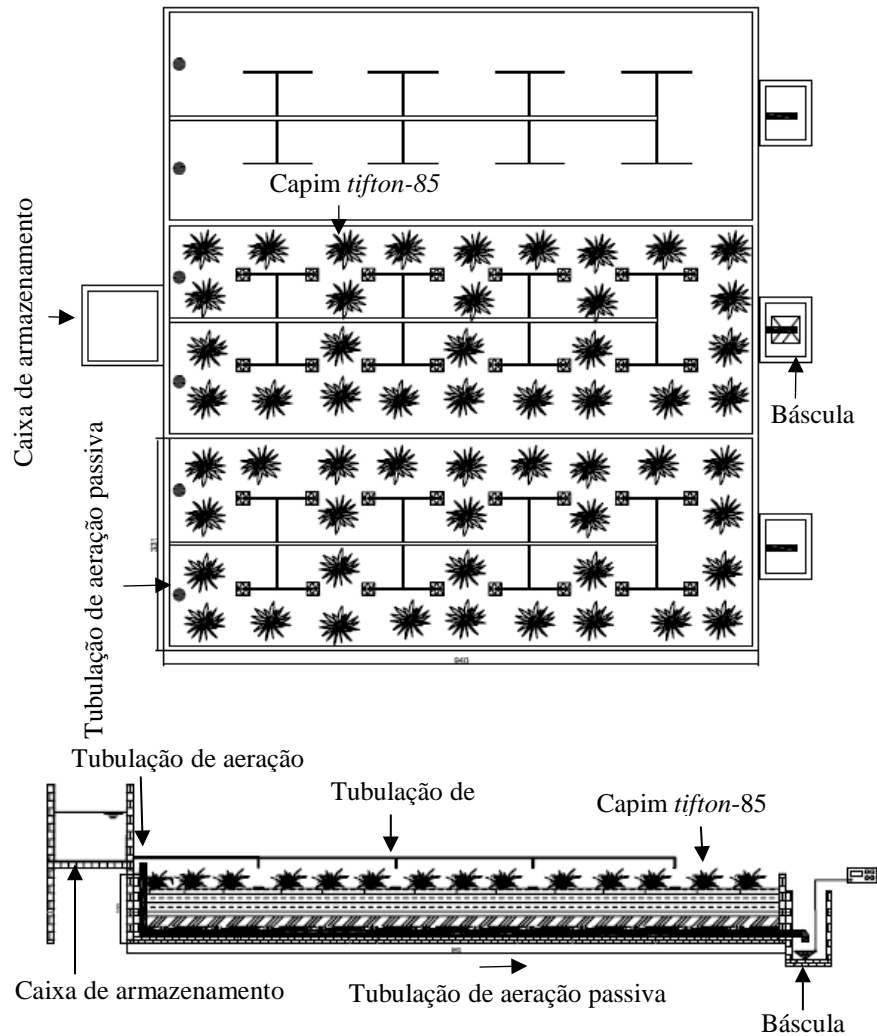


Figura 2 - Wetland construído de fluxo vertical – Sistema Francês (WCV-SF).

a) vista em planta; b) corte longitudinal.

A Figura 3 apresenta o sistema em estudo, destacando a caixa de armazenamento de esgoto bruto, juntamente com o ponto em que foi realizada a amostragem no efluente da unidade.



2 unidades (0,6 m<sup>2</sup>/hab.)  
 Dimensões de cada unidade:  
 3,1 m comp. x 9,4 m larg.  
 Área: 29,4 m<sup>2</sup>  
 7 dias de alimentação  
 7 dias de descanso  
 24 pulsos/d  
 1 visita semanal do operador

**Figura 3 - Estação de tratamento de efluentes experimental localizada na ETE Arrudas.**  
**Fonte: Salim (2017).**

Na Tabela 1 estão resumidas as características do material filtrante utilizado nas unidades, conforme classificação da ABNT 7211 (2005).

**Tabela 1 – Resumo das características do material filtrante utilizado no WCV-SF.**

Camada	Profundidade	Características do material filtrante*	Análise da curva granulométrica**	CU (d <sub>60</sub> /d <sub>10</sub> )**
Superficial	0,40 m	Brita #0 (4,8 – 9,5 mm)	d <sub>10</sub> = 0,8 mm d <sub>60</sub> = 7 mm	8,75
Transição	0,15 m	Brita #1 (9,5 – 19,0 mm)	d <sub>10</sub> = 7 mm d <sub>60</sub> = 19 mm	2,71
Drenagem	0,15 m	Brita #3 (25 – 38 mm)	Não efetuado	-

\*Classificação ABNT 7211 (2005);

\*\*Cota (2011);

Nota: Material utilizado foi diferente das especificações francesas.

Em todas as unidades é cultivado o capim Tifton-85 (*Cynodon dactylon Pers.*). A escolha desse capim deu-se em função da elevada eficiência na extração de nutrientes e poluentes presentes nas águas residuárias, além do seu aproveitamento destinado à alimentação animal (bovinos e equinos) e à sua resistência à seca (MATOS *et al.*, 2008; 2010; COTA, 2011).

Para monitoramento, foram escolhidos dois pontos para a coleta das amostras: entrada (esgoto bruto) e saída do WCV-SF. O período de monitoramento compreendeu nove meses, sendo de agosto de 2016 até abril de 2017.

As amostras foram coletadas uma vez por semana, sempre no período da manhã, mais especificamente no segundo dia do ciclo operacional, que tem duração de uma semana. Na entrada, o esgoto bruto foi caracterizado por meio de amostras simples e a saída por meio de amostragem composta. Alíquotas de mesmo volume (300 mL), foram coletadas ao longo do tempo de drenagem (a cada cinco minutos) e misturadas em um balde (cinco litros) para obter uma única amostra - composta (volume total de um litro).

Após coletadas, as amostras foram preservadas e encaminhadas para o laboratório do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Minas Gerais. As análises seguiram as recomendações do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF; 2012) e analisadas em termos de demanda química de oxigênio (DQO), série nitrogenada: nitrogênio total kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrogênio nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e nitrogênio nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Além desses,

alguns parâmetros foram analisados *in loco*, como o potencial hidrogeniônico (pH), temperatura e oxigênio dissolvido (OD).

## RESULTADOS

Conforme esperado e mostrado na Tabela 2, as concentrações de oxigênio dissolvido no efluente foram positivas, com mediana de 3,3 mg O<sub>2</sub>/L. A transferência de oxigênio para o leito pode ser alcançada pela diluição no afluente, por convecção, que promove o arraste do oxigênio para o interior do leito em cada pulso, por difusão durante o período de repouso e por tubos de aeração passiva instalados no interior do sistema que comunica-se com a parte externa (PLATZER, 1999; MOLLE *et al.*, 2006).

É válido destacar que o efluente foi coletado no segundo dia do ciclo de alimentação. Acredita-se que, com o avanço dos dias, a concentração do oxigênio vai diminuindo, influenciada pelo acúmulo de líquido na camada superior do sistema. Foi possível visualizar dificuldade na drenagem a partir do sexto dia de alimentação.

A camada de lodo influencia na retenção de líquido que obstrui os espaços livres para o fluxo de ar, desta forma dificultando a passagem para o interior do filtro. No entanto, a unidade permaneceu em condições aeróbias que suportaram a remoção da matéria orgânica e a nitrificação, conforme discutido abaixo.

De acordo com Molle *et al.*, (2015) essa camada de depósito de lodo é considerada um fator chave no processo de tratamento, relacionada com o maior desenvolvimento de microrganismos, tornando-se uma zona ativa do sistema, promove uma melhora na remoção de sólidos pelo processo de filtração, reduz a permeabilidade e melhora a distribuição do líquido na superfície do sistema e favorece a adsorção do nitrogênio amoniacal para ser nitrificado no período de repouso.

Com oito anos de operação, a unidade avaliada possui cerca de 7,2 cm de lodo na camada superior, disposta de forma heterogênea. A taxa média de acúmulo de lodo na unidade estudada foi de 0,80 cm/ano, valores bem inferiores ao relatado na literatura internacional, que varia de 1,5 cm/ano a 3,0 cm/ano (MOLLE *et al.*, 2005; DOTRO *et al.*, 2017). Destaca-se que a altura medida diz respeito apenas ao lodo acumulado ao longo do tempo, não tendo contribuição dos restos vegetais do capim Tifton-85 após o corte da parte aérea e do acúmulo de areia, que fica retirada no desarenador da ETE Arrudas.

Os valores das concentrações afluentes em termos de DQO variaram de 177 mg/L a 924 mg/L, mínimo e máximo, respectivamente. Com mediana de 487 mg DQO/L e vazão de 13 m<sup>3</sup>/d, a unidade avaliada recebeu 215 g DQO/m<sup>2</sup>.d (72% da carga nominal, considerando parâmetros de projeto de 300 g DQO/m<sup>2</sup>.d). Esse menor carregamento foi justificado pelas características de esgoto mais diluído do nosso país, comparado com o produzido pela comunidade europeia. Além do menor carregamento orgânico, as condições climáticas mais quentes favoreceram o processo de mineralização do lodo, resultando em uma taxa de acúmulo inferior a 1 cm/ano.

Operando com essas condições (recebendo esgoto bruto e com apenas duas unidades), a unidade avaliada obteve eficiência de remoção em termos de DQO de 68%, estando de acordo com os objetivos de tratamento do primeiro estágio, demonstrando a robustez do sistema. Seguindo as recomendações sugeridas por Molle *et al.* (2005), dados de monitoramentos do primeiro estágio (com três unidades) indicam eficiência na ordem de 79% para DQO, trabalhando com carregamentos de aproximadamente 300 g DQO/m<sup>2</sup>.d. Melhores eficiências foram encontradas por Morvannou *et al.* (2015), avaliando 51 unidades (primeiro estágio também com três unidades) em operação na França, com valores médios de 77% para DQO.

Em termos de nitrogênio, a remoção de NTK, bem como a produção de nitrogênio oxidado (NO<sub>x</sub> = N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NO<sub>2</sub>), estão apresentados também na Tabela 2. Com 57% de eficiência de remoção em termos de NTK e 52% de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, certifica-se por um desempenho similar comparado aos sistemas operados na França, que varia em torno de 50% para cargas variando entre 25 a 30 g NTK/m<sup>2</sup>.d (MOLLE *et al.*, 2005).



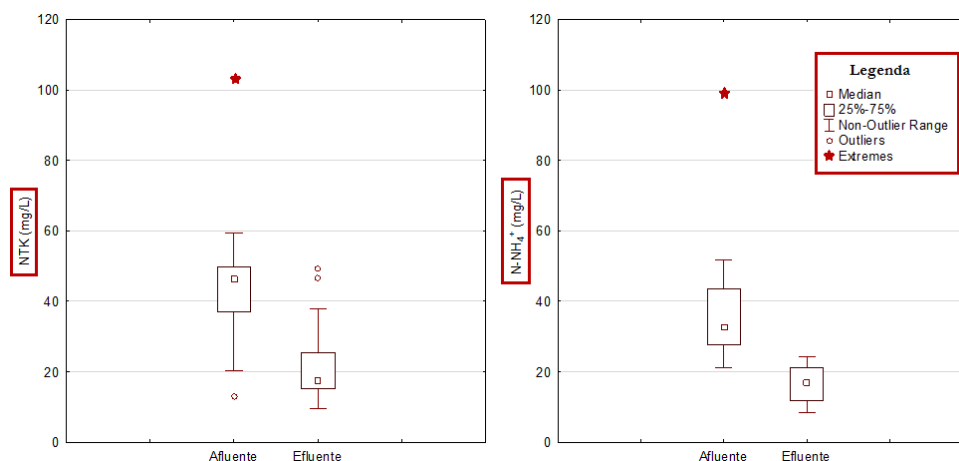
**Tabela 2 – Mediana das concentrações afluente e efluente e eficiências de remoção ao longo do monitoramento rotineiro.**

Parâmetro	Unidade	n	Afluente	Efluente	Eficiência de remoção (%)
pH	-	11	0,4	3,3	-
OD	mg/L	11	7,3	7,1	-
Temperatura	°C	11	25,5	26,1	-
DQO	mg/L	13	487	157	68
NT	mg/L	13	78,9	50,0	37
NTK	mg/L	13	43,3	18,6	57
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	12	35,6	17,2	52
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	12	0,0	0,2	-
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	9	0,0	14,0	-

n = número de amostras

Eficiência de remoção (%) = 100 x (mediana afluente – mediana efluente) / mediana afluente

O processo de nitrificação foi observado, com concentração de nitrogênio nitrato no efluente de 14 mg/L. As baixas concentrações de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> no efluente indicam rápida transformação na etapa da nitratação. Destaca-se que a nitrificação é o principal mecanismo de remoção ou transformação do nitrogênio amoniacal em WCV, contudo não é o único, devendo ser considerada a absorção pelas plantas e a adsorção no material filtrante, não contabilizados nesse trabalho. Menores valores de pH no efluente, comparados com o afluente, reforçam a ideia de que a nitrificação esteja envolvida no sistema. A Figura 4 mostra a concentração de NTK e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no afluente e efluente da unidade avaliada.



**Figura 4 - Box-plot das concentrações de NTK e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no afluente e efluente.**

O potencial do WCV-SF em promover a nitrificação está associado à operação e estrutura física dos sistemas, que devem fornecer tempo suficiente de percolação do líquido através do sistema, de forma a permitir contato com as bactérias que são responsáveis pela oxidação do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (KANTAWANICHKUL *et al.*, 2009). Segundo Molle *et al.* (2006), esse processo é influenciado principalmente pelas condições de operação (frequência de pulso, taxas de carregamento hidráulico instantâneo, intervalos entre alimentação e repouso).

Com base nas concentrações de NTK, a desnitrificação aconteceu simultaneamente com a nitrificação, contudo, a desnitrificação não foi completa, sendo liberado nitrogênio na forma oxidada no efluente final. A remoção de NTK na unidade ficou próxima de 57%. A transformação e remoção de nitrogênio é um processo dinâmico, dependente de muitos fatores (por exemplo, temperatura, pH, absorção pelas plantas, fonte de carbono, tempo de retenção hidráulica) que direta ou indiretamente afetam o desempenho do tratamento.

Além do processo da desnitrificação, as plantas contribuem para a remoção do nitrogênio, porém considerado de forma minoritária. Sua limitação está atrelada à produtividade (taxa de crescimento) e concentração de nutrientes nos tecidos das mesmas (IWA, 2006). Para aumentar a eficiência de remoção de nitrogênio em WCV,

algumas configurações têm sido propostas na literatura, como a saturação parcial do filtro (SILVEIRA *et al.*, 2015) e recirculação (PROST-BOUCLE & MOLLE, 2012).

Uma das limitações do WCV é a rápida passagem do líquido pelo sistema, promovendo tempo de percolação insuficiente no meio para contato com as bactérias, as quais são responsáveis pela oxidação do  $\text{N-NH}_4^+$  (KANTAWANICHKUL *et al.*, 2009). Nesses sistemas, o período de descanso é extremamente importante para permitir a oxidação do  $\text{N-NH}_4^+$  adsorvido durante o período de alimentação, conforme relatado por Molle *et al.* (2006).

De forma geral, os valores das concentrações dos poluentes no efluente ou eficiência de remoção estão de acordo com os objetivos de tratamento do primeiro estágio, destacando como vantagem relevante a menor área utilizada para atingir esses resultados.

Deve-se considerar ainda o atendimento ao padrão de lançamento estadual de Minas Gerais, disposto na Resolução COPAM/CERH 01/2008, e federal, Resolução CONAMA 430/2011, no que diz respeito aos requisitos de sistemas de tratamento de esgoto sanitário. Para a DQO, o padrão de descarga do estado de Minas Gerais, é de 180 mg/L e a eficiência mínima de remoção é de 55%.

Com base nos valores reportados, o padrão de lançamento foi atendido em termos de concentração e eficiência de remoção. Com base no exposto, avaliou-se a distribuição das eficiências de remoção e a vinculação com a legislação regional. A análise mostrou que o sistema atendeu 69% do requisito em termos de eficiência de remoção e 85% em termos de concentração.

A análise de atendimento aos padrões de lançamento de matéria orgânica demonstra a aplicabilidade do sistema às condições brasileiras, já que a unidade estudada teve um desempenho satisfatório em relação aos padrões dispostos na legislação do estado de Minas Gerais, que é mais restritiva que a legislação do país (limite de 120 mg/L e eficiência de remoção mínima de 60%).

Lombard Latune *et al.* (2018) confirmam a robustez do WCV-SF por meio da análise de confiabilidade, e destacam que, é uma tecnologia confiável para ser utilizada em áreas tropicais, pois proporcionam efluente com qualidade estável, e parece ser efetivamente capaz de atender os limites de lançamento.

Com área reduzida, o WCV-SF aqui estudado apresenta-se como uma alternativa para o tratamento de esgoto produzido em locais onde tem-se limitação de área e os recursos financeiros são escassos.

## CONCLUSÕES

Considerando a menor demanda de área (0,6 m<sup>2</sup>/e.p.) comparada ao típico sistema Francês (1,2 m<sup>2</sup>/e.p para o primeiro estágio e 2,0 m<sup>2</sup>/e.p. para os dois estágios), as eficiências de remoção de DQO podem ser consideradas satisfatórias e o sistema apto em produzir um efluente capaz de cumprir com padrões de descarga do nosso país.

A remoção de NTK e  $\text{N-NH}_4^+$  também foi satisfatória, as quais se beneficiaram das condições aeróbias que foram mantidas durante o período de monitoramento.

Em função da complexidade dos fenômenos que ocorrem nos *wetlands*, há grande necessidade de experiências com esses sistemas em países de clima tropical, de modo que sua real capacidade de tratamento seja aproveitada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências CNPq, CAPES, FAPEMIG, FUNASA, UFMG e IHE-Delft por todo apoio e envolvimento no desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF, 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20st ed. APHA, Washington.
2. BRASIL. Resolução CONAMA nº 430. *Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA*. Brasília, *Diário Oficial da União*, Poder Executivo. Brasília, DF, 16 de maio de 2011.
3. DOTRO, G.; LANGERGRABER, G.; MOLLE, P.; NIVALA, J.; PUIGAGUT, J.; STEIN, O.; VON SPERLING, M. Treatment Wetlands. Biological Wastewater Treatment Series. IWA Publishing. Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental, v. 7, 172 p., 2017.
4. FONDER, N.; HEADLEY, T. The taxonomy of treatment wetlands: A proposed classification and nomenclature system. *Ecological Engineering*, v. 51, p. 203-211, 2013.
5. GARCIA ZUMALACARREGUI, J.A. *Influência das condições hidrodinâmicas nos processos de conversão aeróbia em wetlands construídos de escoamento vertical no tratamento de esgoto doméstico bruto*. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia, Belo Horizonte. 201 p., 2018.
6. INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION – IWA. Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation. Scientific and Technical. Report Nº. 8. London, England: IWA Publishing, 156 p. 2006.
7. KANTAWANICHKUL, S.; KLADPRASERT, S., BRIX, H. Treatment of high-strength wastewater in tropical vertical flow constructed wetlands planted with *Typha angustifolia* and *Cyperus involucratus*. *Ecological Engineering*, v. 35, n. 2, p. 238-247, 2009.
8. LOMBARD-LATUNE, R., PELUS L., FINA, N., L'ETANGD, F., LE GUENNEC, B., MOLLE, P. Resilience and reliability of compact vertical-flow treatment wetlands designed for tropical climates. *Science of the Total Environment*, 642, p. 208–215, 2018.
9. MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; PEREIRA, O. G. Desempenho agrônômico de capim-tifton 85 (*Cynodon spp*) cultivado em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. *Revista Ambi-Água*, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 43-53, 2008.
10. MATOS, A. T.; ABRHÃO, S. S.; MONACO, P. L. V.; A; SARMENTO, A. P.; MATOS, M. P. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizadas no tratamento de águas residuárias de laticínios. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.12, p.1311-1317, 2010.
11. MINAS GERAIS - *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n. 01*, Diário executivo Minas Gerais de 17 de mar. 2008. *Diário Oficial de Minas Gerais*, Poder executivo, Belo Horizonte, MG, 13 de maio 2008.
12. MOLLE, P.; LIÉNARD, A.; BOUTIN, C.; MERLIN, G.; IWEMA, A. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems. *Water Science & Technology*, v. 51, n. 9, p. 11-21, 2005.
13. MOLLE, P.; LIÉNARD, A.; GRASMICK, A.; IWEMA, A. Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads. *Water Research*, v. 40, n. 3, p. 606-612, 2006.
14. MOLLE, P.; LOMBARD LATUNE, R.; RIEGEL, C.; LACOMBE, G.; ESSER, D.; MANGEOT, L. French vertical-flow constructed wetland design: adaptations for tropical climates. *Water Science & Technology*, v. 71.10, p. 1516- 1523, 2015.
15. MORVANNOU, A.; FORQUET, N.; MICHEL, S.; TROESCH, S.; MOLLE, P. Treatment performances of french constructed wetlands: results from a database collected over the last 30 years. *Water Science & Technology*, v. 71.9, 2015.
16. PLATZER, C. Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. *Water Science and Technology*, v. 40, nº 3, p. 257-263, 1999.
17. PROST-BOUCLE, S.; MOLLE, P. Recirculation on a single stage of vertical flow constructed wetland: Treatment limits and operation modes. *Ecological Engineering*, v. 43, p. 81-84, 2012.
18. SALIM, D. H. C. *Imagem área obtida por drone do wetland construído vertical – sistema francês instalado no Centro Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS)*, 2017. 1 Figura.
19. SILVEIRA, D. D.; BELLI FILHO, P.; PHILIPPI, L. S.; KIM, B.; MOLLE, P. Influence of partial saturation on total nitrogen removal in a single-stage french constructed wetland treating raw domestic wastewater. *Ecological Engineering*, v. 77, p. 257-264, 2015.