

## II-072 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UNIDADES PLANTADA E NÃO PLANTADA DE WETLANDS CONSTRUÍDAS DE ESCOAMENTO VERTICAL NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

**Elias Sete Manjate** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Florestal pela Universidade Eduardo Mondlane (UEM). Maputo – Moçambique. Mestre em Ciências Florestais e Ambientais pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Cynthia Franco Andrade**

Engenheira Ambiental pela Universidade Fumec. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Marcos von Sperling**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College London. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Leandro Jefferson Martins**

Graduando de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

**Pamella Thereza Martins**

Graduanda de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Barão de Nepomuceno, 38 Bloco 04, APT 203 – Indaiá – MG - CEP: 31270-110 - Brasil – Tel: (31) 7575-5230 - e-mail: [eliasmanjate@yahoo.com.br](mailto:eliasmanjate@yahoo.com.br)

### RESUMO

O estudo visou avaliar o desempenho de unidades plantada e não plantada de wetlands construídas de fluxo vertical (WCFV) em relação à remoção da matéria orgânica, sólidos em suspensão e amônia. Três unidades de wetlands de escoamento vertical foram construídas no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) da Universidade Federal de Minas Gerais e Companhia de Saneamento de Minas Gerais, UFMG/COPASA, na cidade de Belo Horizonte. A construção das unidades de tratamento obedeceu parcialmente aos critérios do primeiro estágio do sistema Francês com alimentação intermitente para tratar esgotos domésticos gerados por 100 habitantes, sendo constituída apenas por duas unidades em paralelo. Na primeira fase de monitoramento, o sistema operou com uma unidade plantada (Tifton 85) e outra unidade controle. A taxa de aplicação hidráulica (TAH) foi de  $0,22 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ . Na segunda fase, o sistema operou com duas unidades plantadas, com a mesma taxa de aplicação hidráulica. Em relação ao desempenho das unidades plantadas e controle e entre fases de monitoramento os dados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas a 5% do nível de significância. A eficiência de remoção de DBO nas unidades plantada e controle foi de 74% e 76% respectivamente. A eficiência de remoção de DQO nas unidades plantada e controle foi de 76% e 61% respectivamente. O sistema demonstrou capacidade de nitrificação parcial, com eficiências de remoção de amônia nas unidades plantada e controle de 52% e 44% respectivamente. A eficiência de remoção de sólidos nas unidades plantada e controle foi de 76% e 60% respectivamente. Com a pesquisa, concluiu-se que as unidades plantada e controle apresentaram desempenho satisfatório e boa robustez no tratamento de esgotos domésticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas alagados construídos de escoamento vertical, unidade plantada, unidade controle, tratamento de esgotos domésticos.

### INTRODUÇÃO

A falta de infraestrutura adequada para o esgotamento sanitário e tratamento de esgotos domésticos tem como resultados diversos impactos ambientais e a proliferação de várias doenças de veiculação hídrica, principalmente nos países em desenvolvimento. Muitos estudos apontam cobertura limitada do sistema de esgotamento sanitário na África. Na África Sub-Sahariana, cerca de 70% da população não tem acesso a

serviços básicos de saneamento (AMCOW/WHO/UNICEF, 2014). No Brasil, os índices de atendimento de serviços de coleta de esgoto beneficiam cerca de 57,4% da população urbana, e apenas 5,3% da população rural (PROSAB, 2009). Como forma de reverter o cenário atual, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas e aplicadas para o tratamento de esgotos domésticos. Por este motivo, são necessários sistemas de tratamento de esgotos simples, sustentáveis, eficientes e econômicos para as regiões em desenvolvimento.

Atualmente, observa-se uma tendência crescente da utilização de wetlands construídas de fluxo vertical (WCFV), sistema Francês, no tratamento de esgotos domésticos. Na França, estima-se em mais de 2.500 sistemas de WCFV em operação para o tratamento de esgotos domésticos (MOLLE, 2014). Tratam-se de sistemas com bom desempenho na remoção de matéria orgânica, baixo custo de operação e manutenção, simplicidade operacional, descentralizados, com elevada robustez e adequados à diferentes realidades de regiões tropicais (KOOTTATEP *et al.* 2008; MOLLE *et al.* 2005; HOFFMANN e PLATZER, 2010). Para além disso, esses sistemas recebem diretamente o esgoto bruto e suportam elevadas cargas orgânicas (MOLLE, 2005).

O sistema Francês de WCFV é uma variante caracterizada pela alimentação intermitente, com alternância entre os leitos. É um sistema promissor também para países em desenvolvimento, desprovidos de tecnologias convencionais de tratamento de esgotos domésticos (MOLLE, 2005). Este sistema compreende dois estágios, o primeiro visando a remoção da matéria orgânica e o segundo com a finalidade da remoção de amônia, recebendo o esgoto tratado na primeira fase. A utilização apenas do primeiro estágio de variante Francês de WCFV principalmente em países de clima tropical têm produzidos resultados aceitáveis no que concerne a remoção matéria orgânica e amônia (LANA *et al.* 2013 & MANJATE *et al.* 2015).

A presença de plantas (macrófitas) em unidades das WCFV influencia a remoção de poluentes (TANNER, 2001; BRIX, 1997; CIRIA *et al.* 2005). No entanto, o presente estudo tinha como objetivo principal avaliar o desempenho de unidades plantada e não plantada de wetlands construídas de fluxo vertical em relação à remoção da matéria orgânica, sólidos em suspensão e amônia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As unidades de WCFV estudadas foram implantadas no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) da Universidade Federal de Minas Gerais e Companhia de Saneamento de Minas Gerais, UFMG/COPASA, na cidade de Belo Horizonte. O sistema foi construído apenas com o primeiro estágio do sistema francês, compreendendo 3 unidades de wetlands de fluxo vertical (duas plantadas e uma não plantada, atuando como controle) funcionando em paralelo, com o objetivo de tratar esgotos domésticos. O sistema foi construído no ano de 2007 e projetado para o tratamento de esgotos gerados por 100 habitantes, de acordo com os critérios do sistema Francês. As unidades são plantadas com uma gramínea tropical de nome *Tifton 85* (*Cynodon dactylon Pers*). As dimensões de cada unidade são de 3,1 m de largura e 9,4 m de comprimento, resultando numa área de 29,1 m<sup>2</sup>. O meio filtrante do sistema possui uma altura de 0,70 m, constituídos por 3 camadas de britas. A camada superior foi preenchida por 0,40 m de brita 0 (2,4 a 12,5 mm), a camada intermediária foi preenchida por 0,15 m de brita 1 (4,8 a 25 mm) e a camada inferior preenchida por 0,15 m de brita 3 (19 a 50 mm). A área total ocupada pelas unidades é de 87,3 m<sup>2</sup> (aproximadamente 0,9 m<sup>2</sup>/hab.). Nesta pesquisa, é considerada apenas uma área de 58,2 m<sup>2</sup> (correspondendo a duas unidades), uma vez que se operou com apenas duas unidades em paralelo, visando verificar o desempenho do sistema Francês em condições de redução de 1/3 da área (ocupando apenas 0,6 m<sup>2</sup>/hab.). A pesquisa foi dividida em duas fases (ver Figura 1 e 2), a seguir descritas:

**Primeira fase:** Esta fase de monitoramento compreendeu o período de Fevereiro a Setembro de 2013. Neste período, o sistema funcionou com duas unidades em paralelo, sendo uma Unidade Plantada (UP) e outra Não Plantada ou Unidade Controle (UC). O sistema alimentava uma unidade durante 7 dias, enquanto a outra entrava num período de descanso durante 7 dias. Após 7 dias de funcionamento a operação era mudada para a outra unidade, completando um ciclo de 14 dias. A vazão afluente na unidade em operação era de 13 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>, dividida em 24 bateladas a cada uma hora, resultando na taxa de aplicação hidráulica (TAH) na unidade em funcionamento de 13 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> / 29,1 m<sup>2</sup> = 0,45 m<sup>3</sup>.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup>. Como o total era de duas unidades, a TAH em todo o sistema correspondia a 0,22 m<sup>3</sup>.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup>. Semanalmente, amostras de afluentes e efluentes foram coletadas e

analisadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2005).

**Segunda fase:** esta fase de monitoramento refere-se ao período de Outubro de 2013 a Março de 2015. Diferentemente da primeira fase, neste período o sistema operou com duas unidades plantadas, Unidade Plantada 1 – UP1 (a que era unidade controle – UC da primeira fase) e Unidade Plantada (UP, a mesma unidade plantada, ou seja, UP na primeira fase) - ver Figura 2. Portanto, a UP1 (anterior UC) foi deliberadamente também plantada com *Tifton 85* (*Cynodon dactylon Pers*). As condições hidráulicas e o regime de alimentação mantiveram-se iguais aos da primeira fase. Amostras de afluentes e efluentes foram também coletadas e analisadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2005).

#### Medição da vazão do efluente

A medição da vazão do efluente foi feita nas unidades plantada e não plantada. Sendo assim, foram feitas duas medições para a unidade plantada e duas medições para a unidade controle. Foi usado o método direto usando um cronômetro e balde com volumes graduado. Assim, foram construídos hidrogramas que ilustram a variação da vazão efluente ao longo do tempo.



Figura 1: UP (esquerda) e UC (centro) alimentadas pelo esgoto na primeira fase



Figura 2: UP1 (centro) e UP (esquerda) alimentadas pelo esgoto na segunda fase

#### Análise de dados

Para análise de dados, foi aplicado o teste estatístico Mann-Whitney U a 5% do nível de significância para determinar diferenças das unidades em relação às eficiências de remoção. Na primeira fase, o teste foi usado para determinar diferenças entre a unidade plantada e o controle. Na segunda fase entre a unidade plantada 1 e a unidade plantada e por último, o teste foi aplicado para determinar diferenças entre a unidade controle da primeira fase e a unidade plantada da segunda fase.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Concentrações e eficiências de remoção

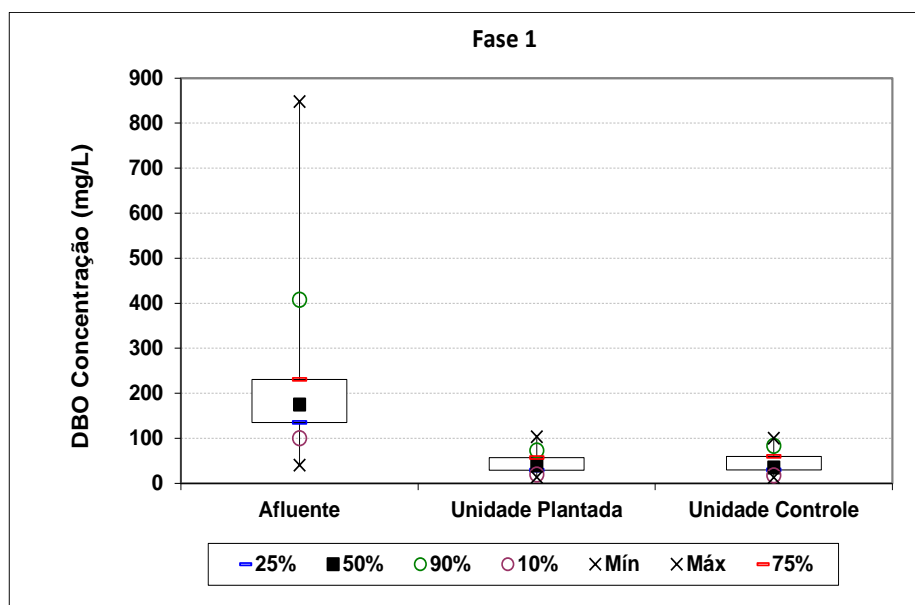
Na tabela 1 são apresentadas as concentrações e as eficiências obtidas dos parâmetros analisados nas unidades plantadas e não plantada em ambas as fases de monitoramento.

**Tabela 1:** Concentrações médias do afluente e efluente e das eficiências de remoção de parâmetros físico-químicos monitorados na primeira e segunda fase.

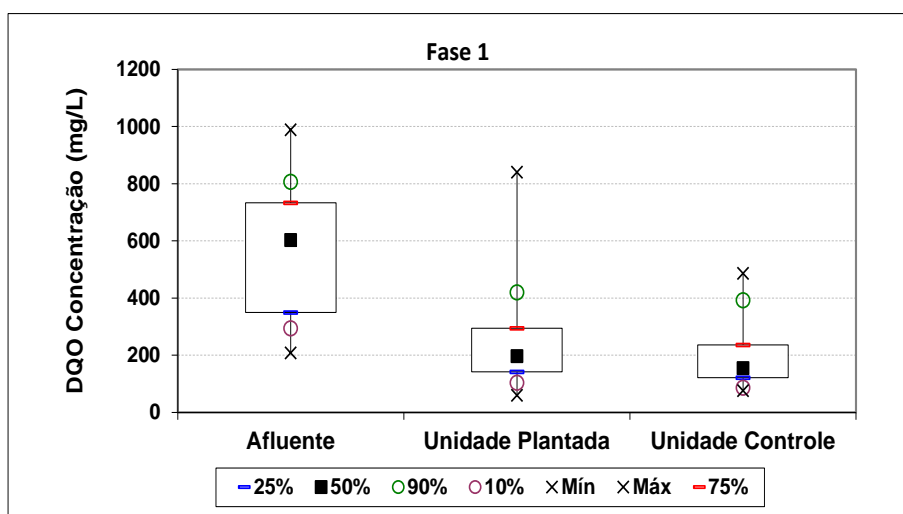
Parâmetro	Estatística Descritiva	Primeira Fase			Segunda Fase		
		Afluente	Plantada UP	Não plantada UC	Afluente	Plantada UP1	Plantada UP
Concentração (mg/l)	DBO	<i>N</i>	15	15	42	18	24
	<b>Média</b>	<b>229</b>	<b>46</b>	<b>45</b>	<b>269</b>	<b>72</b>	<b>63</b>
	DQO	<i>N</i>	28	22	26	11	15
	<b>Média</b>	<b>561</b>	<b>245</b>	<b>194</b>	<b>506</b>	<b>119</b>	<b>154</b>
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<i>N</i>	23	21	39	17	22
	<b>Média</b>	<b>34</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>14</b>
	SST	<i>N</i>	27	18	25	10	15
	<b>Média</b>	<b>218</b>	<b>61</b>	<b>73</b>	<b>210</b>	<b>43</b>	<b>53</b>
	NTK	<i>N</i>	27	18	36	18	18
	<b>Média</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>29</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Eficiência (%) (Média)	DBO		74	76		74	74
	DQO		59	61		76	67
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		51	44		45	52
	SST		68	60		76	72
	NTK		49	42		49	48

UP- Unidade Plantada; UC – Unidade Controle; UP1- Unidade Plantada 1; UP – Unidade Plantada

Observando a tabela 1, constatou-se que as concentrações afluentes obtidas em ambas fases de monitoramento estão dentro da faixa típica das concentrações de esgotos sanitários citadas por von Sperling (2014). A proximidade dos valores das concentrações obtidas ao limite da faixa típica sugere esgoto doméstico mais diluído. Porém, em ambas fases de monitoramento, observou-se a diminuição das concentrações do efluente em todas as unidades pesquisadas (plantada e controle) o que sugere o desempenho positivo do sistema no que concerne à redução dos principais contaminantes. As figuras 3 e 4 ilustram os gráficos box whisker das concentrações da DBO e DQO obtidas do afluente e efluente nas unidades plantada e controle durante o monitoramento da primeira fase.



**Figura 3:** Box Whisker da concentração afluente e efluente de DBO nas unidades plantada e não plantada



**Figura 4:** Box Whisker da concentração afluente e efluente de DQO nas unidades plantada e não plantada

Com base na análise das figuras 3 e 4, foram observadas elevadas concentrações do afluente e maior variabilidade dos seus constituintes. Quanto à remoção da DQO, a análise demonstrou que mais de 65% das amostras analisadas na unidade controle atendem aos padrões de lançamento de esgoto em Minas Gerais, segundo a DN COPAM/CERH 01/2008 (padrão de lançamento de DQO, 180 mg/L) enquanto que apenas 35% das amostras analisadas na unidade plantada atendem os padrões de lançamento. A Tabela 1 aponta uma eficiência de remoção da DQO de 59% na unidade plantada e 61% na unidade controle. A maior percentagem de atendimento à legislação quanto à remoção da DQO, associada a maior eficiência de remoção da DQO na unidade controle, podem estar relacionados aos mecanismos de tratamento de esgotos envolvidos no meio filtrante, principalmente a sedimentação e filtração (CIRIA *et al.* 2005; TANNER, 2001 & KOOTTATEP *et al.* 2008). Contudo, foram observadas elevadas eficiências de remoção da DQO nas unidades plantadas durante a segunda fase de monitoramento. Para esse fato, Molle *et al.* (2005) sustentam que pode ocorrer menor homogeneidade na distribuição do esgoto na superfície do leito, o que pode resultar em variações da eficiência de remoção da DQO. Os autores ressaltam que a remoção da DQO é sensível à taxa de infiltração do sistema. Quanto à remoção da DBO, foi verificado que 80% das amostras analisadas nas unidades plantada e controle atendem aos padrões de lançamento de esgotos estabelecidos em Minas Gerais (padrão de lançamento, 60 mg/L). A eficiência de remoção desse parâmetro foi de 74% na unidade plantada e 76% na unidade controle. A eficiência de 74% da remoção da DBO foi a mesma determinada nas unidades plantadas avaliadas na segunda fase de monitoramento, conforme ilustra a Tabela 1. Isso demonstra um desempenho satisfatório do sistema quanto à remoção da matéria orgânica e maior robustez do sistema em diferentes condições ambientais (MOLLE, *et al.* 2005). A eficiência em relação à remoção de sólidos foi de 72% para a unidade plantada e 60% para a unidade controle. Quanto à remoção de NTK foram obtidas eficiências de 49% na unidade plantada e 42% na unidade controle. Os valores das eficiências de remoção dos parâmetros DQO, SST e NTK obtidos foram similares aos valores médios obtidos por Molle *et al.* (2005) na avaliação do primeiro estágio de tratamento em centenas de sistemas na França (79%, 86% e 54% de remoção de DQO, SST e NTK respectivamente).

Na Tabela 2 são apresentados valores de  $p$  do teste Mann-Whitney U comparando as eficiências de remoção de contaminantes entre as unidades plantada e controle dentro de cada fase e entre fases de monitoramento.

**Tabela 2:** Valores de  $p$  do teste Mann-Whitney U comparando as eficiências dentro e entre fases

Parâmetro	Fase 1 UP X UC	Fase 2 UP1 X UP	Fase 1 x Fase 2 UC X UP
DBO	0,6333	0,6176	0,9880
DQO	0,4343	0,1690	0,5566
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,0760	0,3079	0,0845
NTK	0,0952	0,9369	0,2820
SST	0,2989	0,5417	0,1295

\* $p \leq 0.05$  amostras das medianas são significativamente diferentes

UP- Unidade Plantada; UC – Unidade Controle; UP1- Unidade Plantada 1



A análise da tabela 2 indicou que não foram observadas diferenças estatisticamente significativas a 5% do nível de significância entre todos os parâmetros avaliados, unidades plantadas e controle e entre fases de monitoramento. No geral, observou-se bom desempenho das unidades em relação à remoção de matéria orgânica em ambas fases de monitoramento. Resultados similares foram encontrados por LANA *et al.* (2013) em pesquisa nas mesmas unidades plantada e controle de WCFV, embora com estratégias de alimentação e taxas de aplicação diferentes. Os resultados da presente pesquisa mostraram que não existem diferenças significativas das unidades plantada e controle quanto à remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Amônia e Sólidos Suspensos Totais (SST), fato também observado por outros autores (CIRIA *et al.* 2005). Porém, as plantas em wetlands construídas estabilizam a superfície das unidades, providenciam boas condições de filtração e evitam a colmatação do meio filtrante (BRIX, 1997), fato observado na presente pesquisa, com o bom desempenho das unidades plantadas e ausência de colmatação. A remoção da DBO em WCFV é devida a processos físicos e biológicos que envolvem a sedimentação e a degradação microbiana, principalmente pelas bactérias aeróbias encontradas nas raízes das plantas (CIRIA *et al.* 2005). A eficiência de remoção da DQO e SST na unidade plantada não foi estatisticamente diferente da unidade controle. Esse resultado, foi constatado também pelos autores Ciria *et al.* (2005) e Tanner (2001) em wetlands construídas de escoamento horizontal sustentando que a remoção desses parâmetros é principalmente feita pela sedimentação e filtração. Ainda na primeira fase, observou-se boa eficiência de remoção da amônia na unidade plantada relativamente à unidade controle. Autores sustentam que na remoção da amônia as plantas macrófitas tem o papel de translocação do oxigênio das zonas superiores da planta até as raízes, o que facilita o processo da nitrificação (TORRENS, 2009 & CIRIA *et al.* 2005).

### Hidrogramas da vazão efluente

As figuras 5 e 6 apresentam resultados das medições de vazão do efluente ao longo do tempo nas unidades controle e plantada. Vários autores, como Kadlec e Wallace (2008); Kayser e Kunst (2005); Freire *et al.* (2010) reportaram que sistemas de fluxo intermitente são caracterizados pelo aumento da vazão até ao pico num certo intervalo de tempo seguido da diminuição da mesma.

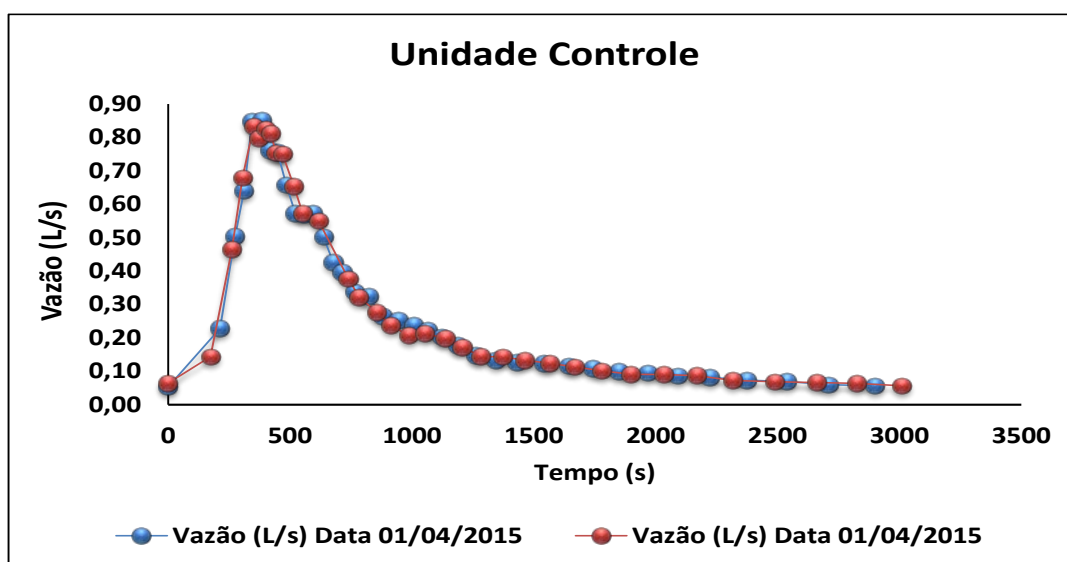
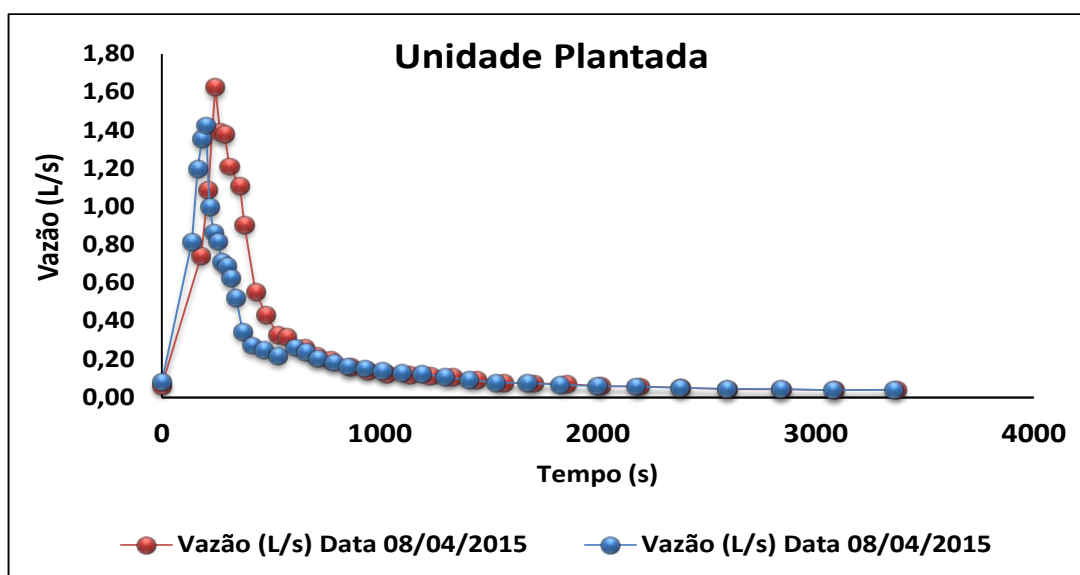


Figura 5: Resultados de duas medições de vazão na unidade controle



**Figura 6:** Resultados de duas medições de vazão na unidade plantada

Como observado na Figura 5, na unidade controle existe um aumento da vazão do efluente após o início de cada batelada, chegando ao pico de 0,85 L/s nos primeiros 6 minutos. Após esse período, observa-se um decréscimo da vazão atingindo o mínimo de 0,06 L/s em 51 minutos. Na Figura 6, a vazão do efluente seguiu o mesmo comportamento da unidade controle, tendo atingido o pico, que variou de 1,40 L/s a 1,60 L/s nos primeiros 4 minutos após o início de cada batelada. A análise demonstrou picos maiores da vazão na unidade plantada comparativamente à unidade controle, isto pode estar associado à maior taxa de filtração favorecida pelas raízes das plantas, elevada saturação da unidade controle e caminhos preferenciais da água (MOLLE *et al.* 2006). O comportamento da curva caracterizado pelo aumento e diminuição da vazão efluente demonstra um bom desempenho das unidades e sugere uma transferência efetiva de oxigênio através de convecção e difusão (KAYSER & KUNST, 2005).

Pela observação no campo experimental das unidades de wetlands verticais e pela análise das curvas da variação de vazão ao longo do tempo representadas nas figuras 5 e 6, não existem evidências da colmatagem nas unidades plantada e não plantadas. Por outro lado, a transferência de oxigênio nas unidades plantadas e controle foi demonstrada pela capacidade de nitrificação do sistema, sendo que a eficiência na remoção de amônia esteve em torno de 52% na unidade plantada e 44% na unidade controle.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Considerando a operação com apenas 2/3 da área do primeiro estágio típico do sistema Francês, as unidades plantada e não plantada apresentaram bom desempenho em relação à remoção dos principais constituintes dos esgotos brutos.

As eficiências de remoção na unidade plantada não foram estatisticamente diferentes da unidade não plantada.

Nas unidades plantadas observou-se maior possibilidade de nitrificação relativamente à unidade não plantada, mas mesmo assim não houve diferença significativa.

A presença das plantas da espécie *Cynodon dactylon Pers* contribuiu para o bom desempenho do sistema e evitou a ocorrência de colmatagem do meio filtrante e providenciou condições adequadas para a filtração.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, Capes, Fapemig, Funasa, Copasa e Fundação Bill e Melinda Gates (projeto “Saneamento para o pobre urbano”, coordenado pelo Unesco-IHE).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMCOW/WHO/UNICEF. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. A Snapshot of Drinking Water and Sanitation in Africa – 2012 Update. Geneva. New York. 2012.
2. APHA/AWWA/WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, pp.1220. 2005
3. BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science Technology*. Vol. 35, pp. 11-17. 1997
4. CIRIA, M.P; SOLANO, M.L; SORIANO, P. Role of macrophyte *Typha latifolia* in a constructed wetland for wastewater treatment and assessment of its potential as a biomass fuel. Madrid. *Biosystems Engineering*. (92). Vol.4. 535-544. 2005
5. FREIRE, F.G; NOVAIS, J.M & DIAS, M. A Simple approach to VFCW dynamic modelling. Lisboa. 2010
6. HOFFMANN, H & PLATZER, C. Technology review “Constructed Wetlands”: Constructed Wetlands for greywater and domestic wastewater treatment in developing countries. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH Sustainable Sanitation and Ecosan Program, Eschborn, German. 2010
7. KADLEC, R.H. & WALLACE, S.D. Treatment Wetlands. Second edition. Boca Raton, FL. USA: CRC Press, 2008
8. KAYSER, K & KUNST, S. Processes in vertical-flow reed beds: nitrification, oxygen transfer and soil clogging. *Water Science & Technology*. Vol. 51.9. pp. 177-184. 2005
9. KOOTTATEP, T, POLPRASERT, C; OANH, N; HEINSS U; MONTANGERO, A & STRAUSS, M. Potentials of vertical-flow constructed wetlands for septage treatment in tropical region. Thailand, Switzerland. 2008
10. LANA, L.C.O; MORAES, D.C; SPERLING, M.V. Performance of a single vertical flow constructed wetland system treating raw domestic sewage in Brazil. Belo Horizonte. UFMG. pp. 2013
11. MANJATE, E. S; LANA, L.C.O; MORAES, D.C; VASCONCELLOS, G. R.M & Von Sperling. M. First stage of the French vertical flow constructed wetland system: experiments with the reduction of surface area and number of units. *Water Science and Technology*. Vol. 05.1. pp 50-55. 2015
12. MOLLE, P. French vertical flow constructed wetlands: a need of a better understanding of the role of the deposit layer. *Water Science & Technology*. 69.1 pp. 106-112. 2014
13. MOLLE, P; LIÉNARD, A. BOUTIN, C; MERLIN, G; IWEMA, A. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of French systems. *Water Science & Technology*, v. 51, p. 11-21, 2005.
14. MOLLE, P; LIENARD, A; GRASMICK, A & IWENA, A. Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads. *Water research*. 40, 606-612. 2005
15. PROSAB. Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento de destino final. Rede cooperativa de pesquisas. ABES. Rio de Janeiro. 2009
16. TANNER, C.C. Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. *Water Science Technology*. Vol. 44. pp. 9 – 17. 2001.
17. TORRENS, A; MOLLE, P; BOUTIN, C; SALGOT; M. Impact of design and operation variables on the performance of vertical-flow constructed wetlands and intermittent sand filters treating pond effluent. *Water Research*. Vol. 43. 1851 – 1858. 2009
18. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4 ed. Editora UFMG. Belo Horizonte. 2014