

## WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL EMPREGADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE BOVINOCULTURA LEITEIRA

### Catiane Pelissari

Doutoranda em Engenharia Ambiental/UFSC. Bolsista CAPES. (catianebti@gmail.com )

### Samara Terezinha Decezaro

Graduanda em Engenharia Ambiental/UFSC-Campus Frederico Westphalen. Bolsista REUNI da Universidade Federal de Santa Maria. (samaradecezaro@hotmail.com)

### Pablo Heleno Sezerino

Doutor em Engenharia Ambiental/UFSC. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. (pablo.sezerino@ufsc.br)

### Orlando de Carvalho Junior

Doutor em Engenharia Civil/EESC-USP. Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. (orlandocarvalhojr@yahoo.com.br)

### Delmira Beatriz Wolff

Doutora em Engenharia Ambiental/UFSC. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria-RS. (delmirawolff@hotmail.com)

### Luiz Sérgio Philippi

Doutor em Saneamento Ambiental/Université de Montpellier I-FR. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. (l.philippi@yahoo.com.br)

### Resumo

Os efluentes gerados nas instalações de bovinocultura leiteira, quando mal gerenciados, originam impactos ambientais significativos, necessitando da implantação de alternativas tecnológicas com vistas à manutenção da qualidade dos cursos d'água. Diante disso, o objetivo deste estudo é avaliar o desempenho de um *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) plantado com a macrófita *Typha domingensis* Pers. aplicado no tratamento de efluentes de bovinocultura leiteira. O filtro operou com uma vazão de 1.500 L/dia (4.500 L/semana). Por meio do monitoramento físico-químico ao longo de 12 meses, verificaram-se eficiências médias de remoção em termos de carga de 70% de DQO, 70% de SS, 73% de NTK, 81% de N-NH<sub>4</sub> e 16% de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Observou-se, ainda, dificuldade de adaptação da macrófita ao filtro, sendo que a mesma apresentou baixas velocidades de crescimento, área foliar reduzida e baixa densidade de planta por m<sup>2</sup>, devido ao estresse hídrico proporcionado pela baixa umidade presente no WCFV.

**Palavras-chave:** *Wetland* construído de fluxo vertical, bovinocultura leiteira, efluente líquido, macrófitas.

### Abstract

The dairy cattle wastewater, when poorly managed can promote significant environmental impacts, requiring therefore the deployment of alternative technologies in order to maintain the quality of water courses. Thus, the aim of this study was to evaluate the performance of a vertical flow constructed wetland planted with macrophytes *Typha domingensis* Pers. applied as wastewater treatment of dairy cattle. The filter was operated with an average flow of 1,500 L/ day (4,500 L / week). During 12 months of operation time, the filter showed an average removal efficiencies in terms of load of 70% COD, 70% SS, KTN 73%, 81% NH<sub>4</sub>-N and 16% P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. It was observed difficulty in the adaptation of the macrophytes in the filter, with low growth rates, reduced area and low density plants per m<sup>2</sup>, due to water stress provided by low humidity present in VFCW.

**Keywords:** Vertical flow constructed wetland, dairy cattle, wastewater, macrophytes.

## INTRODUÇÃO

Os efluentes provenientes das atividades de bovinocultura leiteira são compostos principalmente, por urina, esterco dos animais, detergentes provenientes da limpeza, resíduos de leite, águas de lavagem, células mortas e muco dos animais (HEALY, *et al.*, 2007; SCHAFFASMA, *et al.*, 2000). Esses efluentes possuem altas concentrações de matéria orgânica carbonácea e, em especial, nutrientes, como nitrogênio e fósforo que são os principais causadores de impactos ambientais como a eutrofização. Essa situação agrava-se, sobretudo, em áreas relativamente pequenas, onde a disponibilidade de espaço é limitada e concentra-se uma grande quantidade de animais no local, como é o caso da sala de ordenha que recebe fluxo constante de bovinos.

A maioria das unidades produtoras de leite armazena seus efluentes em lagoas e, em seguida, lança esses resíduos diretamente no solo ou em corpo hídrico sem qualquer tratamento, implicando na poluição dos compartimentos ambientais por altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes.

Diante de tal cenário, destaca-se a necessidade de estudos de tecnologias que possibilitem o tratamento apropriado desses resíduos, proporcionando melhor qualidade no efluente e a seleção de uma tecnologia que seja apropriada às características das regiões onde estão inseridas as propriedades produtoras de leite.

Os *wetlands* construídos são sistemas que se apropriam de processos naturais e vêm demonstrando boa adaptação aos mais variados cenários, além de integrar-se, harmoniosamente, ao ambiente de entorno, sendo atrativo na manutenção dos aspectos paisagísticos do meio rural. Quanto ao seu fluxo hidráulico, esses sistemas são comumente classificados de duas formas: de fluxo horizontal ou vertical. No caso do *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV), objeto do presente estudo, trata-se de um módulo impermeabilizado, com material filtrante, tubulação

de alimentação e coleta do efluente e macrófitas do tipo emergente. Esses sistemas possuem como característica a alimentação intermitente, promovendo um grande arraste de oxigênio atmosférico para o material filtrante por meio da convecção e difusão, o que favorece a nitrificação (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Atualmente, essa tecnologia é utilizada para tratar os mais variados tipos de efluentes, desde esgoto doméstico até efluentes inorgânicos. Todavia, ressalta-se a necessidade de estudos que demonstrem a performance desses sistemas diante das mais variadas condições, como é o caso da sua utilização no tratamento de efluente proveniente da atividade de bovinocultura leiteira. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar o desempenho de um *wetlands* construído de fluxo vertical plantado com a macrófita *Typha domingensis* Pers. no tratamento de efluentes de bovinocultura leiteira.

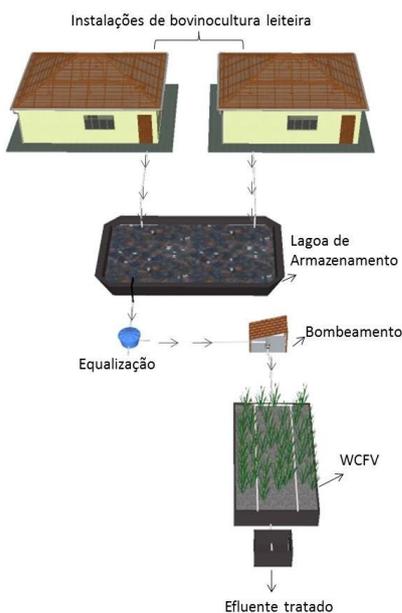
## METODOLOGIA

### Estação de tratamento

O WCFV foi implantado junto à estação de tratamento de efluentes da bovinocultura leiteira do Colégio Agrícola de Frederico Westphalen, área anexa à Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen (latitude 27°21'33" sul, longitude 53°23'40" oeste e a 566 metros de altitude).

A estação de tratamento estudada foi composta por uma lagoa de armazenamento (LA), a qual atuou como unidade de tratamento primário de todo efluente produzido nas instalações de bovinocultura leiteira, e um WCFV. O efluente da LA foi conduzido por gravidade até o reservatório equalizador e, posteriormente, bombeado para a alimentação do WCFV. O efluente tratado foi disposto no solo por meio de valas de infiltração (Figura 1).

Figura 1 - Esquema demonstrando a estação de tratamento estudada.



Fonte: próprio autor.

### Implantação e operação do WCFV

O WCFV foi implantado em março de 2011 e dimensionado considerando um carregamento médio de 20g DQO/m<sup>2</sup>.dia, seguindo

recomendações de Winter e Goetz (2003). A área superficial adotada foi de 14,30m<sup>2</sup>, sendo 4,40m de comprimento, 3,25m de largura e 0,80m de profundidade útil.

O filtro foi escavado no solo e impermeabilizado com duas camadas de lona plástica e uma camada de manta de poliéster. O assentamento do material filtrante iniciou-se com uma camada de 10cm de brita, na qual foi assentada a tubulação de drenagem do efluente tratado e, em seguida, foi depositada mais uma camada de brita de 5cm para proteção da tubulação. Após o assentamento da tubulação de coleta, o filtro foi preenchido com uma camada de 60cm de areia grossa ( $d_{10}= 0,30$ ;  $d_{60}= 0,75$ ; Uniformidade = 2,5), e sobre a areia foi depositado mais uma camada de 5cm de brita para melhor distribuição do efluente na alimentação.

A macrófita empregada foi a *Typha domingensis* Pers., plantada em uma razão de 2 plantas/m<sup>2</sup>. Estas foram retiradas do seu *habitat* natural, próximo do local de estudo e mantido no rizoma matéria orgânica para melhor adaptação das mesmas. Na Figura 2, são apresentadas as principais etapas da construção do WCFV.

Figura 2 – Etapas da construção e implantação do WCFV. a) escavação no solo; b) impermeabilização com lona; c) assentamento de manta de poliéster; d) primeira camada de brita utilizada na confecção do material filtrante; e) detalhe da tubulação de coleta do efluente; f) areia distribuída no WCFV; g) detalhe da última camada de brita; h) término do assentamento do material filtrante; i) WCFV plantado.



Fonte: próprio autor.

A alimentação do WCFV foi realizada de forma intermitente três vezes por semana, nas segundas, quartas e sextas-feiras, sendo 1.500 litros dia, dividido em quatro pulsos de 375 litros, em uma sucção de cinco minutos, totalizando uma vazão de 4.500L/semana.

Durante o período de novembro 2011 a outubro de 2012, foram realizadas análises do afluente e efluente do WCFV com periodicidade semanal, a fim de obter suficiência estatística amostral. Os parâmetros analisados, a fim de verificar o desempenho dos sistemas, foram: pH, Alcalinidade, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos (SS), Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK), Nitrogênio Amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), Nitrogênio Nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Nitrogênio Nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e Fósforo Ortofosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Todos os parâmetros seguiram recomendações do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005; 1998), com exceção do nitrogênio amoniacal que seguiu recomendações de Vogel (1983).

#### Monitoramento do crescimento das macrófitas

O monitoramento do crescimento das macrófitas consistiu de três atividades: (i) replantio

das macrófitas; (ii) poda das macrófitas; e (iii) medição do crescimento das macrófitas.

O primeiro replantio foi realizado 180 dias após o plantio das macrófitas no WCFV, sendo adicionadas 15 novas mudas. Após essa etapa, foi efetuado um segundo replantio, adicionando mais 20 mudas no WCFV.

A poda das macrófitas foi realizada 30cm acima do material filtrante, em um ângulo de 45°, de forma que dificultasse a penetração de água no interior da planta (Figura 3). Durante o período de estudo, foram feitas duas podas nas macrófitas, sendo a primeira, após 9 meses de operação do filtro e a segunda, após 14 meses de operação.

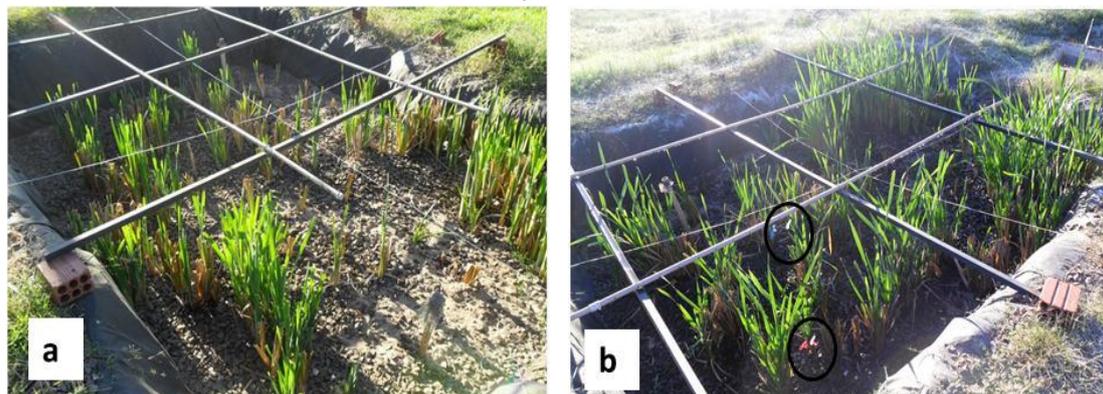
O monitoramento do crescimento da macrófita *Typha domingensis* Pers. iniciou-se após a poda das mesmas, 30cm acima da superfície do material filtrante. O WCFV foi dividido em quatro quadrantes de mesma área cada e, dentro de cada quadrante, escolheram-se, aleatoriamente, cinco plantas para monitoramento do crescimento foliar. Essas plantas foram marcadas com fitas de diferentes cores para facilitar sua identificação. O crescimento foliar foi avaliado a partir de medições semanais, com auxílio de fita métrica (Figura 4).

Figura 3 - Detalhe da poda das macrófitas no WCFV. a) corte realizado nas macrófitas; b) poda realizada 30 cm acima do material filtrante; c) WCFV podado.



Fonte: próprio autor.

Figura 4 - Monitoramento do crescimento das macrófitas no WCFV. WCFV dividido em quadrantes; b) detalhe das macrófitas marcadas para análise do crescimento.



Fonte: próprio autor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, apresentam-se os resultados obtidos referentes ao monitoramento físico-químico do afluente e efluente do WCFV, durante o período de novembro de 2011 a outubro de 2012.

O WCFV operou com, aproximadamente, duas vezes mais carga que o parâmetro de projeto (140g DQO/m<sup>2</sup> semana). A carga média de DQO aplicada foi de 317g/m<sup>2</sup> semana e, mesmo assim,

o filtro atingiu uma remoção média de carga de 70%.

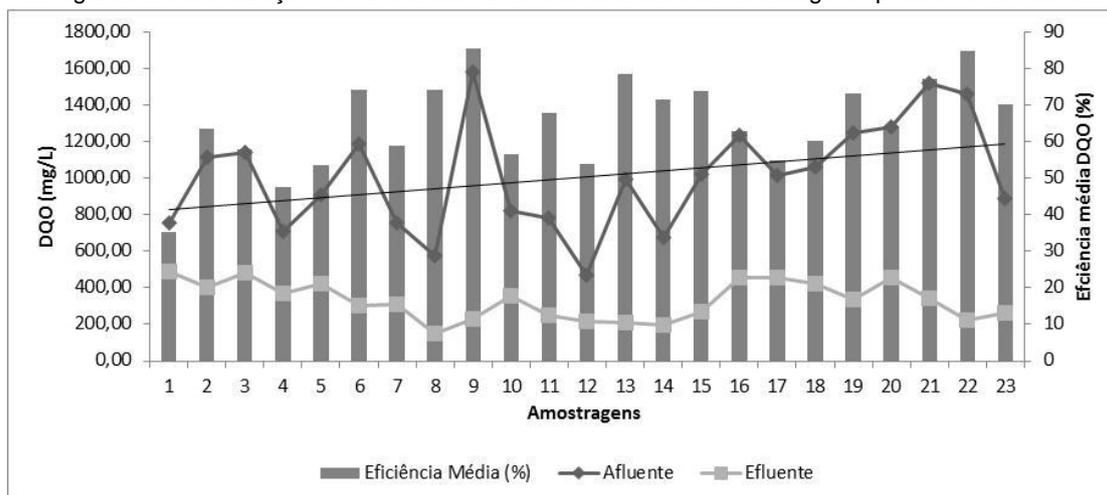
Na Figura 5, apresentam-se as concentrações médias, afluente e efluente do WCFV, juntamente com a eficiência média de remoção de DQO do sistema. Pode-se observar uma tendência de aumento na eficiência de remoção de DQO ao longo do período avaliado. Esse fato pode estar relacionado com a adaptação gradativa da comunidade microbiana a este substrato.

Tabela 1 - Monitoramento físico-químico do afluente e efluente do WCFV. (Nov./2011 a Out./2012)

Parâmetros	Afluente do WCFV		Efluente do WCFV		Eficiência Média (%)
	Média ±DP	N*	Média ±DP	N*	
pH	7,2	35	6,9	35	-
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	668,3±300,0	35	290,2±141,2	35	-
DQO (mg/L)	1.008,2±297,6	23	322,9±101,1	23	68
NTK (mg/L)	68,8±29,6	23	19,6±9,2	23	71
N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	55,09±27,2	35	11,1±10,7	35	80
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,0±0,0	35	0,1±0,2	35	-
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	5,2±3,9	35	37,2±15,3	35	-
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	23,3±6,9	35	20,9±7,3	35	10
SS (mg/L)	254,1±100,6	35	80,2±44,8	35	68

N\* = número de amostragens válidas. Fonte: próprio autor.

Figura 5 - Concentrações de DQO afluente e efluente do WCFV ao longo do período de estudo.



Fonte: próprio autor.

O WCFV operou com uma taxa hidráulica de 105mm/dia e um carregamento médio de SS de 80g.m<sup>2</sup> semana, e obteve-se eficiência de remoção média de 68%.

O carregamento hidráulico e de sólidos operados no WCFV foi semelhante aos trabalhados por Langergraber *et al.* (2003), que estudaram WCFV em escala piloto. Os autores relataram que os sistemas apresentaram problemas de colmatação com taxas acima de 100mm/dia e com carregamento de 75,6g SS/m<sup>2</sup> semana, após 18 meses de operação. Ressalta-se que trabalhando com essas condições, até o término do presente estudo, não se verificou indícios de escoamento superficial.

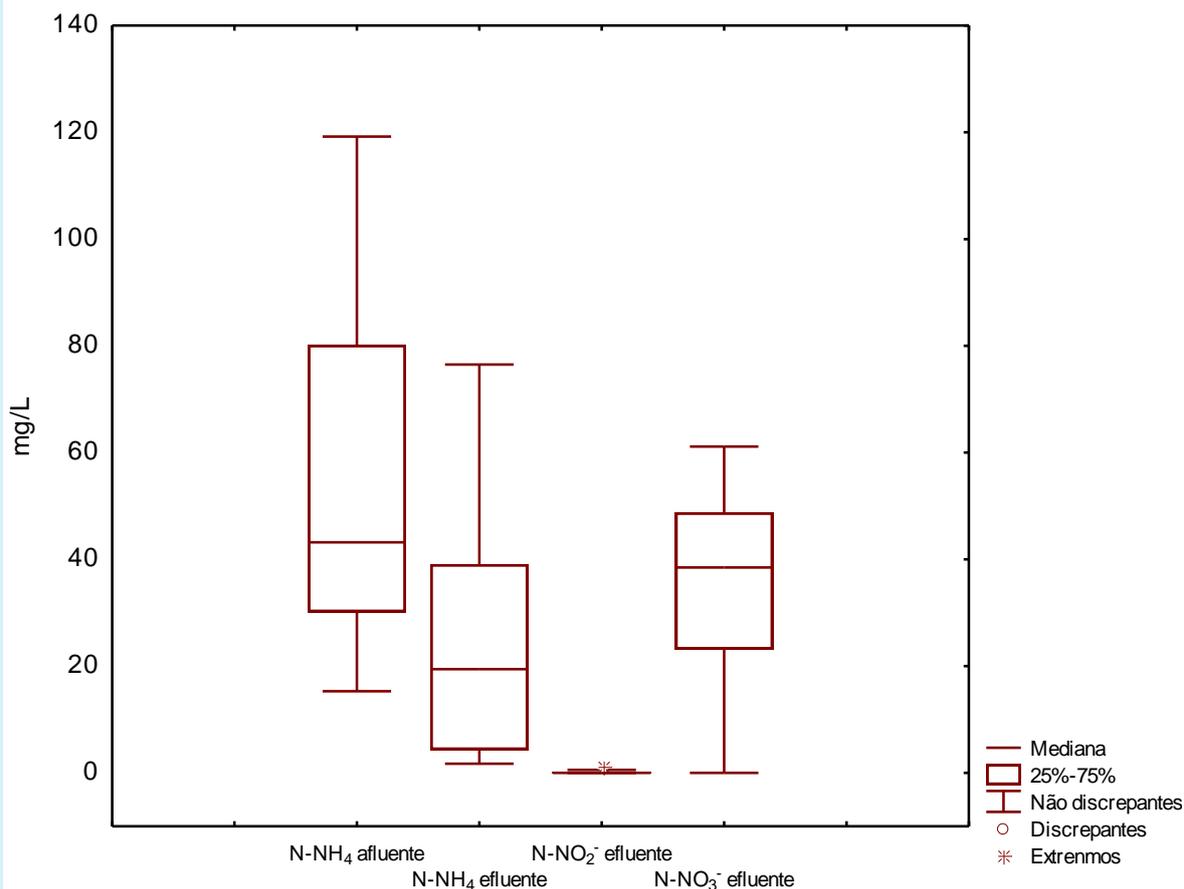
Foi possível verificar uma remoção média de nitrogênio amoniacal de 80%, que pode estar associada principalmente com a nitrificação (Figura 6). Como pode ser observado na Tabela 1,

ocorreu um consumo da alcalinidade e um aumento do nitrogênio nitrato nesse módulo.

Um dos principais fatores que contribuíram para que a nitrificação ocorresse, além da boa adaptação da microbiota nitrificante, foi a efetiva transferência de oxigênio no maciço filtrante, devido à alimentação intermitente. Na Tabela 2, pode-se verificar o saldo positivo de oxigênio (entrada de O<sub>2</sub> superior à demanda de O<sub>2</sub> para a matéria carbonácea e nitrogenada) realizado junto ao WCFV, conforme modelo proposto por Platzer (1999).

Segundo Tanner *et al.* (1999), o processo de alimentação e drenagem do efluente dentro do WCFV promove um arraste de oxigênio para dentro da interfase biofilme/material filtrante, o que favorece a nitrificação e melhora o desempenho do tratamento em comparação com os sistemas com um nível de água estático.

Figura 6 - Concentrações de nitrogênio amoniacal, do afluente e efluente do WCFV, e concentrações de nitrogênio nítrico e nitrogênio nitrato do efluente WCFV ao longo do período de estudo.



Fonte: próprio autor.

Tabela 2 - Balanço de oxigênio realizado junto ao WCFV, a partir do modelo de Platzer (1999)

Módulo	Taxa Hidráulica (mm/pulso)	Carga de DQO (g/pulso)	Carga de NTK (g/pulso)	Demanda de O <sub>2</sub> (g/pulso)	Entrada Convecção (g/pulso)	Entrada Difusão (g/pulso)	Balanço de O <sub>2</sub> (g/pulso)
WCFV	26,20	378	26	288,98	112,50	321,80	145,32

Área superficial do filtro: 14, 3m<sup>2</sup>

Considerando 1 aplicação de 1 pulso (375L)

Foi considerada uma remoção média de DQO de 68%

Fonte: próprio autor.

Na Figura 7, apresenta-se o comportamento do P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ao longo do período de estudo. A eficiência de remoção desse nutriente foi baixa desde o início do monitoramento.

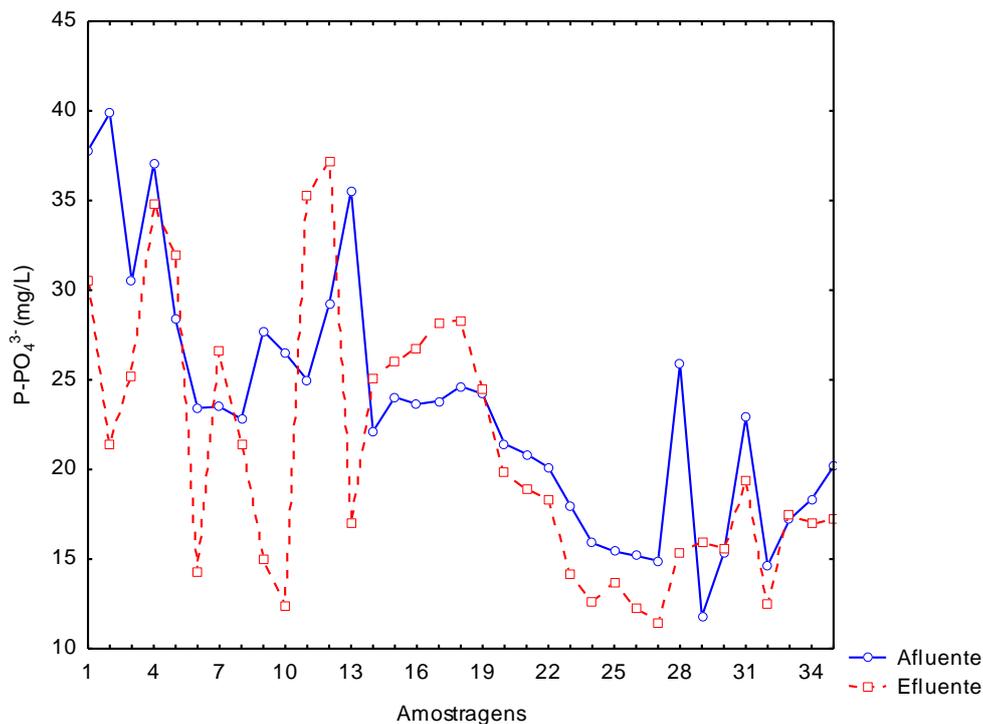
A remoção média de fósforo durante todo o período de estudo foi de 10%, aplicando-se uma carga média de 7,35 g/m<sup>2</sup> semana. Esse comportamento foi relatado por vários autores.

Mazzola *et al.* (2005) verificaram baixas remoções de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> no WCFV, tendo uma remoção média de 11,4% em um leito, utilizando brita como material filtrante. O mesmo foi relatado por Stefanakis e Tsihrintzis (2012). Segundo os mesmos, as baixas remoções de P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> nos WCFV estão relacionadas com as características hidráulicas do filtro, pois neste módulo o efluente é

rapidamente drenado até a saída, tendo menos tempo para que ocorra a adsorção do  $P-PO_4^{3-}$  no

material filtrante.

Figura 7: Concentrações afluente e efluente de  $P-PO_4^{3-}$  ao longo do período de estudo.



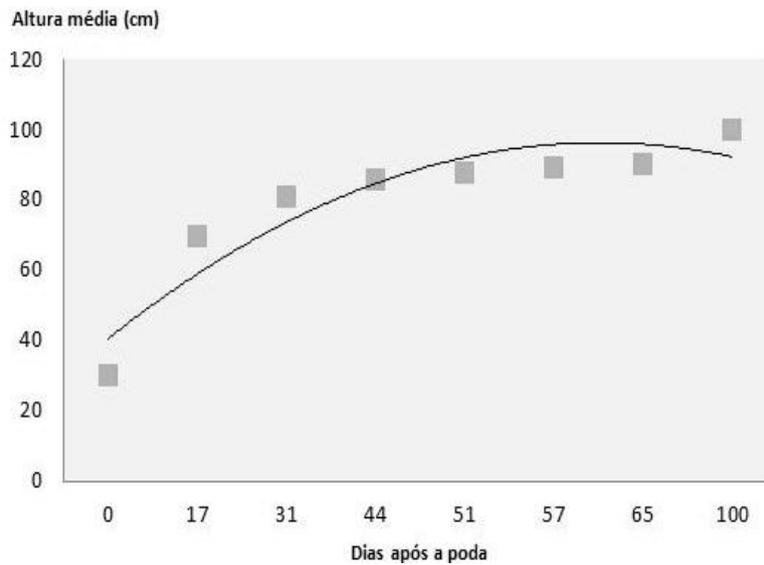
Fonte: próprio autor.

### Desenvolvimento das macrófitas

A altura média observada para as macrófitas, após 100 dias da poda, foi de 100cm. Na Figura 8, apresenta-se a altura média das macrófitas no decorrer do período avaliado. Verificou-se que as maiores velocidades de crescimento se deram no início do ciclo de desenvolvimento das plantas, o que coincidiu com as maiores temperaturas climáticas, ocorrendo uma variação de 2,29 a 16,33 cm/semana (Figura

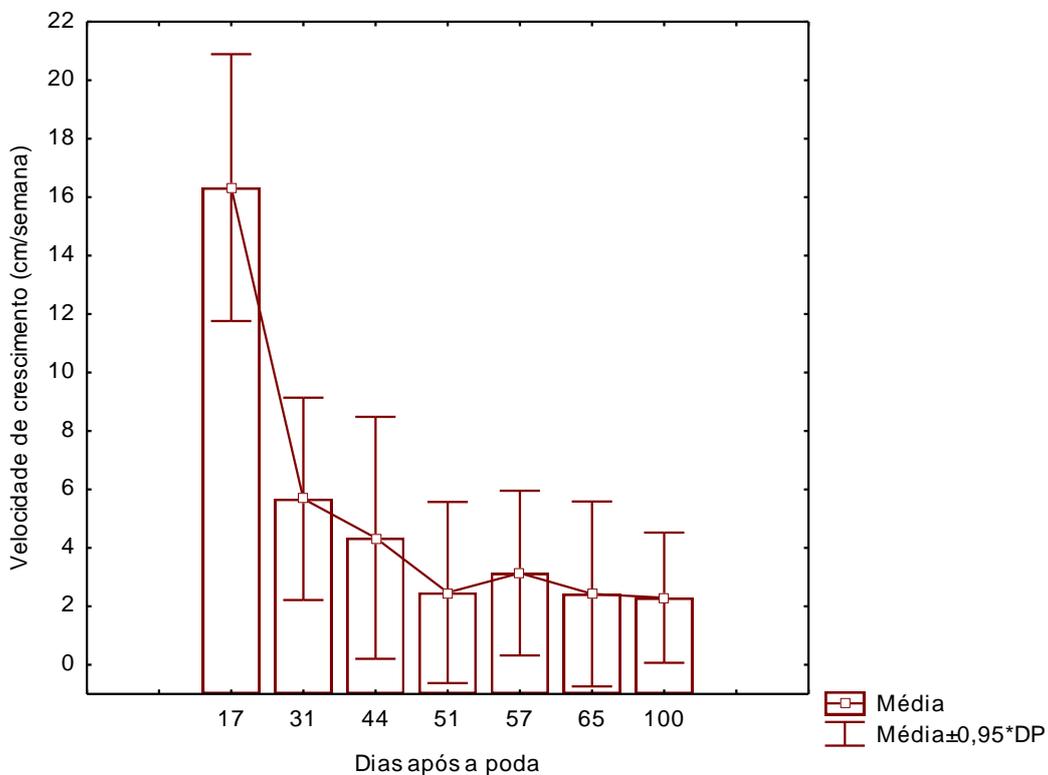
9). Ressalta-se que no WCFV as taxas de crescimento das macrófitas foram significativamente inferiores quando comparadas ao crescimento das macrófitas em seu *habitat* natural. Taiz e Zeiger (2009) afirmam que a área foliar diminuída é uma resposta precoce ao *déficit* hídrico. Os autores argumentam que o estresse hídrico limita não só o tamanho, mas, também, o número de folhas, pois ele diminui o número e a velocidade de crescimento dos ramos.

Figura 8: Altura média das macrófitas no WCFV.



Fonte: próprio autor.

Figura 9- Velocidade de crescimento da macrófitas *Typha domingensis* Pers. no WCFV.



Fonte: próprio autor.

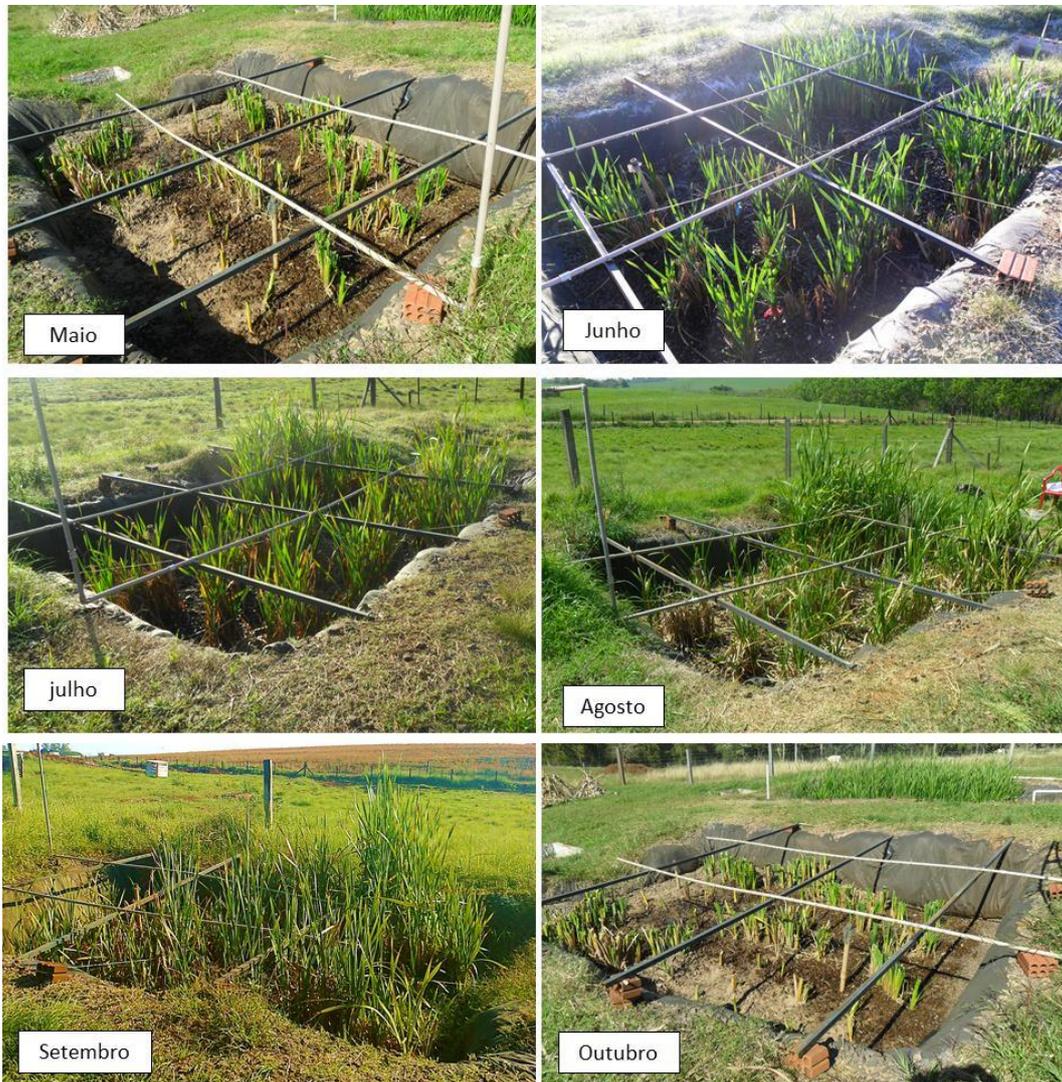
Ocorreu grande dificuldade de adaptação das macrófitas nesse filtro. Apesar das duas tentativas realizadas com o replantio, até o término do estudo, as macrófitas não se desenvolveram

satisfatoriamente. Esse fato pode estar associado com as características hidráulicas do filtro, o qual não permanecia saturado com efluente.

O mesmo fato foi reportado por Kantawanichkul *et al.*(2009), os quais analisaram que a *Typha* demonstrou um comportamento de estresse, com baixo crescimento, apresentando folhas murchas. Os autores ainda relatam que essa macrófita é uma planta que exige uma

demanda de água muito alta e contém uma capacidade limitada para fechar os estômatos. Na Figura10, apresenta-se o desenvolvimento das macrófitas durante o período de monitoramento do crescimento. Ressalta-se que, em outubro de 2012, foi realizada uma nova poda nas macrófitas.

Figura 10: Desenvolvimento mensal da macrófita *Typha dominguensis* Pers. no WCFV, durante os meses de maio a outubro de 2012.



Fonte: próprio autor.

### CONCLUSÃO

Com base no monitoramento físico-químico do afluente e efluente ao WCFV, ao longo de um ano de estudo, bem como o regime hidráulico aplicado e o desenvolvimento das macrófitas, pôde-se concluir que:

- o WCFV apresentou eficiência de remoção de carga de 70 % de DQO, operando com um carregamento médio de 317 g/m<sup>2</sup> semana;

- a nitrificação foi o principal mecanismo de transformação do nitrogênio amoniacal afluente, sendo responsável por 73% dos 80% do nitrogênio amoniacal removido;
- a nitrificação está diretamente relacionada com a taxa hidráulica aplicada, constatação possível pelo balanço de oxigênio realizado no WCFV;

- o rápido tempo de drenagem do efluente no WCFV influenciou diretamente no processo de adsorção de  $P-PO_4^{3-}$  no material filtrante, resultando na baixa remoção de  $P-PO_4^{3-}$  nesse módulo;
- a macrófita estudada apresentou dificuldades de adaptação no WCFV;
- as características hidráulicas do WCFV influenciaram no desenvolvimento das macrófitas;
- a poda deve ser realizada entre os 60 e 90 dias após o plantio das macrófitas; e
- não se observou a liberação de odores desagradáveis;

Assim, podemos afirmar que o WCFV demonstrou ser uma tecnologia viável para ser empregada no tratamento de efluentes oriundos das atividades de bovinocultura leiteira.

#### Agradecimento

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa (edital MCT/CNPq N 014/2010).

#### REFERÊNCIAS

APHA – American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2005. 1368p.

\_\_\_\_\_. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 1998. 1195p.

HEALY, M.G.; RODGERS, M.; MULQUEEN, J. Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 2268-2281, 2007.

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, p. 238-247, 2009.

LANGERGRABER, G.; HABERL, R.; LABER, J.; PRESSL, A. Evaluation of substrate clogging process in vertical flow constructed wetlands.

*Water Science and Technology*, v. 48, n. 5, p. 25-34, 2003.

MAZZOLA, M.; ROSTON, D.M.; VALENTIM, M.A.A. Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 276-283, 2005.

PLATZER, C. Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. *Water Science and Technology*, v. 40, n. 3, p. 257-263, 1999.

PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis: Editora do Autor, 2004. 144p.

SCHAAFSMA, J.A.; BALDWIN, A.H.; STREB, C.A. An evaluation of a constructed wetland to treat wastewater from a dairy farm in Maryland, USA. *Ecological Engineering*, v. 14, p. 199-206, 2000.

STEFANAKIS, I.A.; TSIHRINTZIS, V.A. Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands. *Chemical Engineering Journal*, v. 181-182, p. 416-430, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TANNER, C.C., D'EUGENIO, J.; MCBRIDE, G.B.; SUKIAS, J.P.S.; THOMPSON, K. Effect of water level fluctuation on nitrogen removal from constructed wetland mesocosms. *Ecological Engineering*, v. 12, p. 67-92, 1999.

VOGEL, A.I. Química analítica qualitativa. 5 ed. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1981, p.665.

WINTER, K. J.; GOETZ, D. The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 5, p. 9-14, 2003.