

Artigo Técnico

Incorporação de nitrogênio e fósforo no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. durante o tratamento de efluente da bovinocultura leiteira em *wetlands* construídos

Incorporation of nitrogen and phosphorus in the leaves of Typha domingensis Pers. macrophyte during treat dairy cattle wastewater in constructed wetlands

Catiane Pelissari*¹ , Pablo Heleno Sezerino¹ , Alessandra Pellizzaro Bento² , Orlando de Carvalho Junior³ , Samara Terezinha Decezaro⁴ , Delmira Beatriz Wolff⁴ 

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho da macrófita *Typha domingensis* Pers., em diferentes etapas de seu desenvolvimento, na remoção de nitrogênio (N) e fósforo (P) em um *wetland* construído horizontal (WCH) aplicado no tratamento de efluente de bovinocultura leiteira. Para isso, foi realizado o monitoramento do crescimento e dos teores de N e P no tecido foliar das macrófitas, durante um período de 120 dias de crescimento. A macrófita *Typha domingensis* Pers. foi responsável por uma remoção média de 5,12 e 3,16% das cargas de N e P aplicadas no WCH, respectivamente. As maiores taxas de remoções de nutrientes (30,2 e 6,4 g P kg⁻¹) foram identificadas quando ocorreram as maiores taxas de crescimento foliar (24,17 cm semana⁻¹).

Palavras-chave: *wetland* construído; nitrogênio; fósforo; taxa de crescimento.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the performance of macrophyte *Typha domingensis* Pers. in different development stages in the nitrogen and phosphorus removal from a horizontal flow constructed wetland (WCH) applied for dairy cattle wastewater treatment. In this way, growth, nitrogen and phosphorus levels in the leaf tissue of macrophytes were monitored during a 120-day growth period. *Typha domingensis* Pers. macrophyte was responsible for a mean removal of 5.12 and 3.16% of the applied loads in the WCH, for nitrogen and phosphorus, respectively. The higher nutrients removal rates (30.2 and 6.4 g P kg⁻¹) were identified when the higher tissue growth rates occurred (24.17 cm week⁻¹).

Keywords: constructed wetland; nitrogen; phosphorus; growth rate.

INTRODUÇÃO

Os *wetlands* construídos (WC) são sistemas amplamente utilizados para o tratamento de diversos tipos de efluentes, tais como domésticos, industriais e agrícolas. São conhecidos como tecnologia de baixo custo de implantação, operação e manutenção, e estão em constante desenvolvimento em todo o mundo. Além disso, essa tecnologia vem demonstrando boa adaptação nos mais variados cenários, apresentando-se como um sistema naturalmente integrado ao ambiente, sendo atrativo na manutenção dos aspectos paisagísticos.

Entre as modalidades de WC, o *wetland* construído horizontal (WCH) pode atingir eficiência de tratamento em nível secundário e avançado. Essa modalidade de WC pode ser uma boa alternativa quando busca-se tratar o efluente em locais povoados ou em áreas recreativas, em razão, principalmente, da ausência de aspersão de esgoto por bombeamento (evitando formação de aerossóis), bem como da inexistência de insetos (GARCÍA *et al.*, 2010). Nesses sistemas, a depuração das águas residuárias ocorre por meio da interação do material filtrante, os micro-organismos e as macrófitas (KADLEC & WALLACE, 2009).

¹Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis (SC), Brasil.

²Fundação Municipal de Meio Ambiente de Florianópolis - Florianópolis (SC), Brasil.

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba (PR), Brasil.

⁴Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria (RS), Brasil.

*Autor correspondente: catianebti@gmail.com

Recebido: 08/01/2013 - Aceito: 15/05/2018 - Reg. ABES: 109345

Atualmente, o papel das macrófitas como um componente essencial nos WC está bem estabelecido, uma vez que elas atuam diretamente nos mecanismos de remoção de poluentes (BRIX, 1997; KADLEC & WALLACE, 2009). A assimilação de nutrientes, apesar de ser em baixa magnitude, é uma das principais atribuições dadas às macrófitas nessa tecnologia de tratamento. No Brasil, vários estudos já foram conduzidos a fim de quantificar a assimilação de nutrientes pelas macrófitas em WC (BRASIL *et al.*, 2007; MATOS *et al.*, 2008; 2010; FIA *et al.*, 2008; 2011).

No entanto, a assimilação de nutrientes pelas macrófitas está associada a vários fatores, como a modalidade de WC, as cargas orgânicas e inorgânicas aplicadas no sistema, as condições ambientais, bem como a espécie empregada (SAEED & SUN, 2012). Recentemente, um estudo mostrou que, no Brasil, *Typha* spp (popularmente conhecida como taboa) se destaca como a espécie de macrófita mais empregada em WCH (SEZERINO *et al.*, 2015).

Além disso, estudos mostraram que, para efluente proveniente de bovinocultura leiteira, os WCH apresentaram desempenho de tratamento satisfatório (PELLISSARI *et al.*, 2014). No entanto, pouco se conhece sobre a magnitude de assimilação de nutrientes pela macrófita *Typha* associado a esse tipo de efluente. Ademais, o mecanismo de assimilação de nutrientes ao longo das diferentes fases do crescimento da macrófita *Typha* ainda não está elucidado. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de remoção de nitrogênio (N) e fósforo (P) pela macrófita *Typha domingensis* Pers., em um WCH empregado para o tratamento de efluente de bovinocultura leiteira.

METODOLOGIA

Descrição da estação de tratamento de efluente

O estudo foi conduzido nas dependências de uma instalação de bovinocultura leiteira com capacidade de produção diária de 140 L de leite, situada na cidade de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul (altitude 27°21'33" sul, longitude 53°23'40" oeste e 566 m de altitude). A planta de tratamento de efluente produzido nas instalações da bovinocultura leiteira era composta por uma lagoa de armazenamento (LA), a qual atuou como tratamento primário e recebeu todo o volume de efluente produzido, e um WCH operado em série. Parte do efluente da LA era conduzida por gravidade para o WCH, que, após o tratamento, era infiltrado no solo por meio de valas de infiltração (Figura 1).

O WCH tinha uma área superficial de 26,5 m², plantado com a macrófita *Typha domingensis* Pers (plantadas em uma razão de 4,5 plantas por m²), e areia grossa (diâmetro efetivo $d_{10} = 0,3$ mm e uniformidade = 2,5) como material filtrante. A vazão média diária de efluente aplicada no WCH foi de 995 L⁻¹, distribuída ao longo de 4 horas do dia (das 9 às 13h), resultando em uma taxa hidráulica aplicada de 37,5 mm d⁻¹. O regime hidráulico operado no WCH foi intercalando ciclos de alimentação e repouso de 4 e 3 dias, respectivamente, ao longo da semana.

Durante o período do estudo (maio a outubro de 2012), análises das concentrações de N total e P ortofosfato do afluente e do efluente do WCH foram realizadas uma vez por semana, segundo recomendações de American Public Health Association (APHA, 2005).

Monitoramento do crescimento e assimilação de nitrogênio e fósforo das macrófitas

Para monitorar o crescimento das macrófitas, foi realizada a poda de todos os indivíduos presentes no WCH, em uma altura de 30 cm acima da superfície do material filtrante. Em seguida, o WCH foi dividido em seis quadrantes (Figura 2) para a obtenção de amostras aleatórias

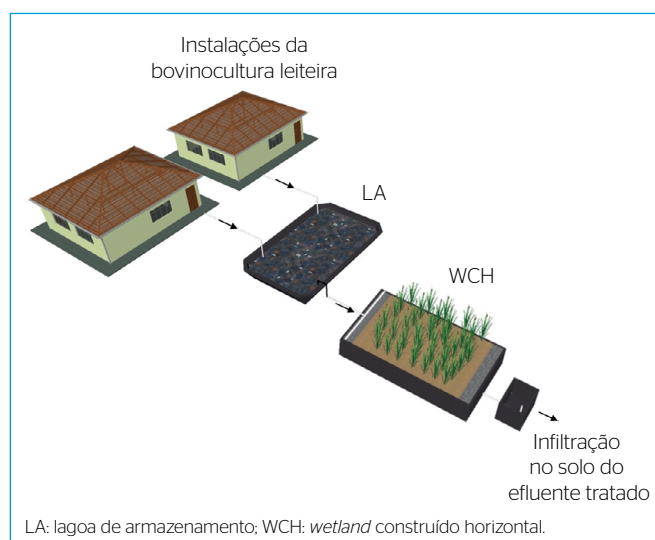


Figura 1 - Diagrama da planta de tratamento de efluente implantada nas instalações da bovinocultura leiteira.

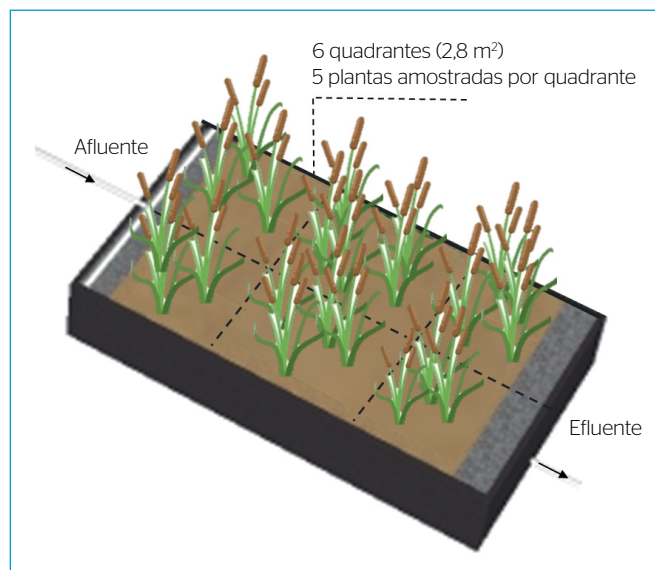


Figura 2 - Esquema representando a área superficial do wetland construído horizontal dividido em quadrantes.

e estatisticamente representativas da biomassa vegetal emergente no sistema. O acompanhamento do crescimento das macrófitas foi feito semanalmente, a partir da poda. Para tanto, realizou-se um sorteio aleatório de cinco plantas por quadrante, as quais foram identificadas ao longo do período amostrado. As medições de crescimento deram-se com o auxílio de fita métrica. A taxa de crescimento das macrófitas amostradas foi calculada, seguindo recomendações de Esteves (1998), conforme descrito na Equação 1.

$$TA = \left(\frac{C^2}{T^2} - \frac{C^1}{T^1} \right) \quad (1)$$

Em que:

TA = taxa de crescimento (cm d⁻¹);

C₂ e C₁ = comprimento médio das folhas nos tempos 1 e 2 (cm);

T₂-T₁ = intervalo entre as coletas (dias).

Para avaliar os teores de N e P no tecido vegetal das macrófitas, foi coletada 1 planta por quadrante do WCH, em diferentes fases do crescimento das macrófitas (44, 58, 92, 105, 133 e 150 dias de crescimento), totalizando 6 plantas amostradas por fase de crescimento. Após a coleta, a parte aérea das macrófitas foi levada à estufa, sob temperatura de 60°C, até atingir peso constante. Após essa etapa, parte das amostras foi separada para a análise nutricional e o restante das amostras permaneceu na estufa sob temperatura de 105°C, até atingir peso constante, para a quantificação da massa seca total. As análises dos teores de N e P no tecido foliar seguiram as recomendações de Tedesco *et al.* (1995).

Para os cálculos de assimilação de nutrientes pelas macrófitas, foi considerada uma relação entre teor de N e P (g kg⁻¹) no tecido

foliar, massa seca foliar (kg), crescimento das macrófitas (cm) e sua densidade no filtro (plantas m⁻²). O número de plantas foi determinado contando todas as plantas, sem distinguir os colmos das emissões laterais (brotos), sendo adotado o conceito de que cada broto corresponde a um indivíduo. Ressalta-se que as cargas de P assimiladas pelas macrófitas foram baseadas nas cargas de P ortofosfato aplicadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desenvolvimento da macrófita *Typha domingensis* Pers. no wetland construído horizontal

Decorridos 100 dias de crescimento, as macrófitas atingiram a altura máxima (207 cm). Após esse período, ocorreu a estabilização do crescimento, concomitantemente ao início da inflorescência e senescência das macrófitas (Figura 3A). Com base nesse comportamento, as maiores taxas de crescimento deram-se no início do ciclo de desenvolvimento das macrófitas, ocorrendo variação entre 1,35 e 24,17 cm semana⁻¹ (Figura 3B). Esse mesmo comportamento já foi relatado por outros estudos realizados em WCH, em que ocorreu maior crescimento da *Typha domingensis* Pers. na primeira semana após o plantio (crescimento médio de 19 cm); após esse período, a altura média identificada foi de 130 cm com 90 dias de crescimento e de 210 cm em um período de 150 dias (SOUZA, 2003).

Além disso, identificou-se maior desenvolvimento das macrófitas na zona de entrada do WCH (quadrantes 1 e 2). Esse fato pode estar associado com a maior disponibilidade de nutrientes nessa seção, pela proximidade desta com a zona de entrada de efluente (Figura 4).

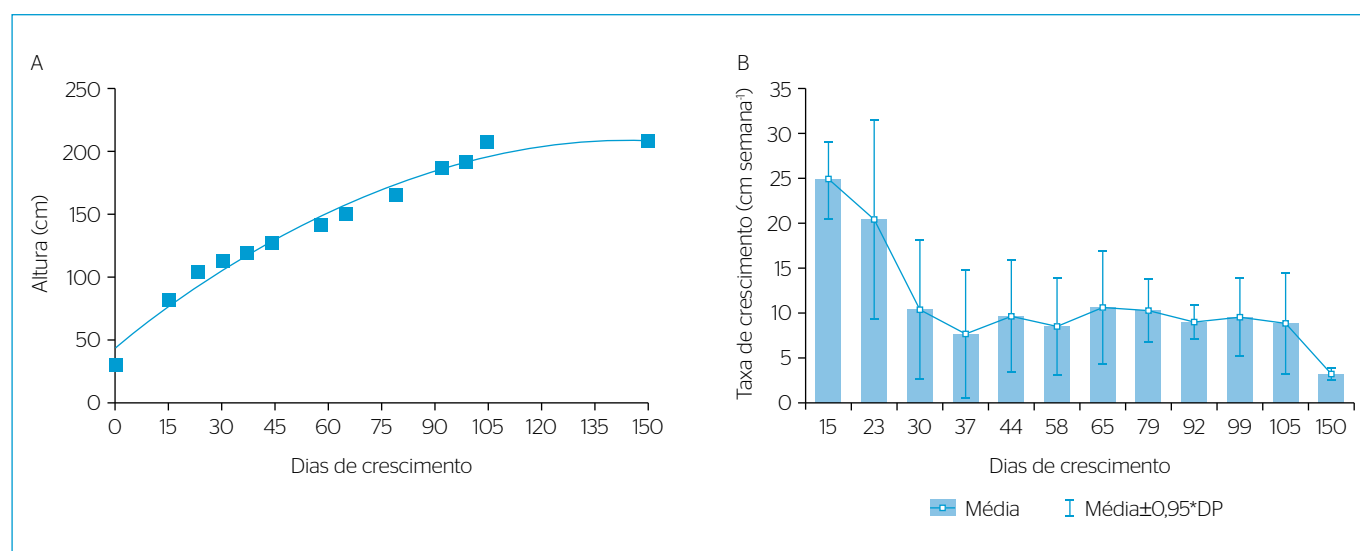


Figura 3 - Desenvolvimento da macrófita *Typha domingensis* Pers ao longo de 150 dias de monitoramento. (A) Altura média; (B) taxa de crescimento.

Teores de nitrogênio e fósforo no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers.

As maiores concentrações de nutrientes tanto de N quanto de P (30,2 e 6,4 g P kg⁻¹) no tecido foliar das macrófitas foram identificadas no início do desenvolvimento das macrófitas, ou seja, próximo de 60 dias de crescimento (Figura 5). Esses valores de concentrações coincidiram com as maiores taxas de crescimento (Figura 3), apresentando diminuição nos teores de nutrientes decorridos cerca de 90 dias de crescimento (25,5 e 2,4 g P kg⁻¹). Esse fato pode estar associado com a translocação de nutrientes para as gemas reprodutivas das plantas. A maior parte dos nutrientes transcoláveis é produzida durante a passagem da fase vegetativa para a fase reprodutiva de desenvolvimento e durante a mobilização das proteínas estocadas para novos ramos da planta (LARCHER, 2000). Trabalhos conduzidos no Brasil reportam grande variação da concentração de nutrientes no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. Brasil et al. (2007), ao utilizarem *Typha* no tratamento de esgoto doméstico, obtiveram valores de 15 e 2,8 g kg⁻¹ para N e P, respectivamente, Freitas (2006) verificou valores na ordem de 21,30 g K N g⁻¹ e 4,4 g P Kg⁻¹. Em outro trabalho, Fia et al. (2011) encontraram valores variando de 29,90 a 32,7 g N kg⁻¹ e de 2 a 3,2 g P kg⁻¹. Essa variação pode estar associada com a disponibilidade de nutrientes no meio, a natureza do efluente e a fase de desenvolvimento das plantas analisadas (SAEED & SUN, 2012).

Influência da macrófita *Typha domingensis* Pers. no desempenho de tratamento do *wetland* construído horizontal em relação à remoção de nitrogênio e fósforo

As remoções médias de N e P foram de 1,07 e 0,17 g m⁻² semana⁻¹, respectivamente. Esses valores correspondem a uma remoção média de 5,12 % da carga total de N e de 3,16% da carga total de P aplicadas no WCH (Tabela 1). Esses valores são superiores aos encontrados por Brasil et al. (2007) (1,69% para N e 1,64% para P). Como comentado, as

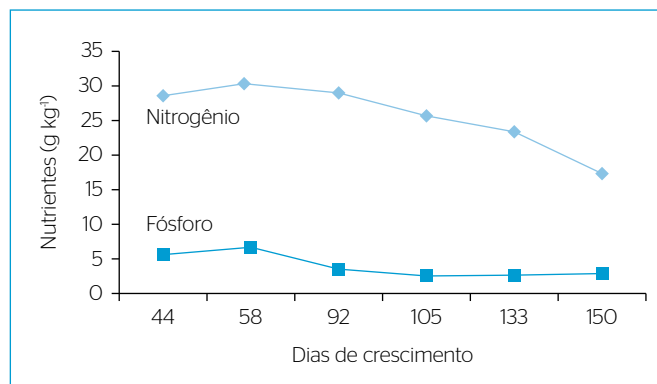


Figura 5 - Concentração de nitrogênio e fósforo no tecido vegetal da macrófita *Typha domingensis* Pers.

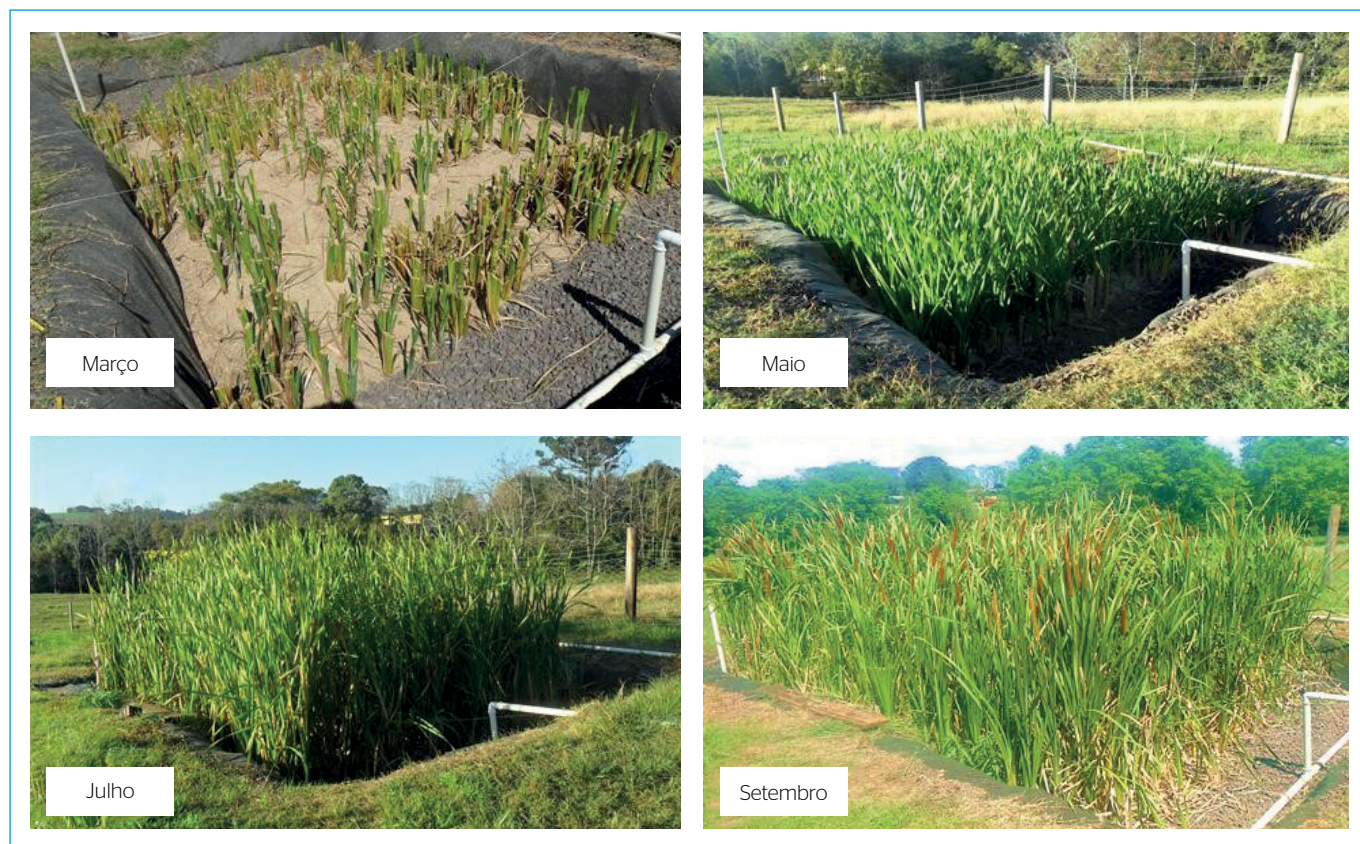


Figura 4 - Desenvolvimento da macrófita *Typha domingensis* Pers. no *wetland* construído horizontal ao longo do período de março a setembro de 2012.

Tabela 1 - Desenvolvimento e incorporação de nutrientes no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. presente no wetland construído horizontal*.

Dias de crescimento	Crescimento (m)	Carga NT aplicada (kg)	Carga NT incorporada tecido vegetal (kg)	N removido pelo tecido vegetal (%)	Carga P-PO ₄ ³⁻ aplicada (kg)	Carga P incorporada tecido vegetal (kg)	P removido pelo tecido vegetal (%)
0-30	0,83	2,00	0,15	7,5	0,49	0,03	5,75
31-60	0,28	1,71	0,05	3,10	0,41	0,01	2,79
61-90	0,45	1,54	0,08	5,28	0,38	0,01	2,53
91-120	0,21	0,81	0,03	4,13	0,30	0,003	1,07
Total	1,77	6,06	0,31	5,12	1,58	0,05	3,16

*Os cálculos de remoção de nutrientes pelo tecido foliar foram realizados com base na relação massa seca (7,35 g de massa seca por metro de tecido foliar), crescimento e densidade de macrófitas (850 plantas, ou seja, uma densidade de 50 plantas por m² de filtro plantado); NT: nitrogênio total; N: nitrogênio; P: fósforo.

maiores remoções de nutrientes obtidas no presente trabalho, em comparação a outros realizados no Brasil, podem estar relacionadas com as maiores cargas de nutrientes aplicadas, quando comparadas com os demais autores. Além disso, as remoções de nutrientes pelas macrófitas nos WCH dependem, em grande parte, da densidade de plantas e também do clima, o qual influencia na sua taxa de crescimento. É visível que a maior remoção de nutrientes ocorreu no primeiro mês de crescimento das macrófitas, em função das suas maiores taxas de crescimento.

Com base nos resultados obtidos pode-se sugerir que o período ideal para a poda é aquele em que as macrófitas atingem seu máximo desenvolvimento, ou seja, quando se reduzem significativamente as taxas de crescimento, o que no presente estudo se deu entre 60 e 90 dias após a poda, corroborando os estudos de Vera *et al.* (2010).

CONCLUSÕES

Por meio do monitoramento do crescimento e dos teores de N e P no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. presentes em um WCH aplicado no tratamento de efluente de bovinocultura leiteira, pode-se concluir:

- A remoção de nutrientes pelas macrófitas no WCH está relacionada com as taxas de crescimento e com a fase de desenvolvimento das plantas;
- Os teores médios de N e P no tecido foliar foram de 25,6 e 3,8 g kg⁻¹, respectivamente;
- A macrófita foi responsável pela remoção média de 5,12 e 3,16% das cargas de N e P aplicadas no WCH, respectivamente;
- A poda de *Typha domingensis* Pers. em WCH deve ser realizada quando a macrófita atingir seu crescimento máximo, o que, neste estudo, se deu entre 60 e 90 dias após a poda.

FONTE DE FINANCIAMENTO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o financiamento da pesquisa (Edital MCT/CNPq nº 014/2010).

REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.
- BRASIL, M. da S.; MATOS, A.T. de; SOARES, A.A. (2007) Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Typha sp.*) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistemas alagados construídos. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 266-272. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522007000300006>
- BRIX, H. (1997) Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology*, v. 35, n. 5, p. 11-17. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00047-4](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00047-4)
- ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998. 575p.
- FIA, F.R.L.; MATOS, A.T. de; FIA, R.; LAMBERT, T.F.; MATOS, M.P. de. (2011) Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon spp.* cultivadas em sistemas alagados construídos. *Ambiente & Água*, v. 6, n. 1, p. 77-89. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.17>
- FIA, R.; MATOS, A.T. de; FERREIRA, P.A.; TEODORO, P.E.P.; SCHUERY, F.C.; LUIZ, F.A.R. (2008) Desempenho agrônomico da *Typha sp.* e *Alternanthera philoxeroides* mart utilizadas no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro em sistema alagado construído. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 16, n. 4, p. 436-448.

- FREITAS, W.S. (2006) *Desempenho de sistemas alagados construídos, cultivados com diferentes espécies vegetais, no tratamento de águas residuárias da suinocultura*. 159f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- GARCÍA, J.; ROUSSEAU, D.P.L.; MORATÓ, J.; LESAGE, E.; MATAMOROS, V.; BAYONA, J.M. (2010) Contaminant removal processes in subsurface-flow constructed wetlands: a review. *Environmental Science Technology*, v. 40, n. 7, p. 561-661. <https://doi.org/10.1080/10643380802471076>
- KADLEC, R.H.; WALLACE, S.D. (2009) *Treatment wetlands*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press. 1016 p.
- LARCHER, W. (2000) *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Editora RIMA. 519 p.
- MATOS, A.T. de; ABRAHÃO, S.S.; MONACO, P.L.V.A.; SARMENTO, A.P.; MATOS, M.P. (2010) Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizadas no tratamento de águas residuárias de laticínios. *Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 14, n. 12, p. 1311-1317.
- MATOS, A.T. de; ABRAHÃO, S.S.; PEREIRA, O.G. (2008) Desempenho agrônômico do capim tifton 85 (*Cynodon spp*) cultivados em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. *Ambiente & Água*, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 43-53. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.41>
- PELISSARI, C.; SEZERINO, P.H.; DECEZARO, S.T.; WOLFF, D.B.; BENTO, A.P.; CARVALHO JÚNIOR, O.; PHILIPPI, L.S. (2014) Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil. *Ecological Engineering*, v. 73, p. 307-310. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.085>
- SEZERINO, H.P.; BENTO, A.P.; DECEZARO, S.T.; MAGRI, M.E.; PHILIPPI, L.S. (2015) Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 151-158. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000096615>
- SAEED, T.; SUN, G. (2012) A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *Journal of Environmental Management*, v. 112, p. 429-488. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.011>
- SOUZA, L.M.I. de. (2003) *Avaliação da macrófita Typha domingensis Pers. no pós-tratamento de efluentes do campus da UFMS e do hospital universitário, em banhados construídos de fluxo subsuperficial*. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Híbridos) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. (1995) *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174 p.
- VERA, A.; ANDRADE, C.; FLORES, E.; NÚÑEZ, M.; CÁRDENAS, C.; MORALES, E. (2010) Removal of nutrients and organic matter in a constructed wetland, in function of the development of the macrophyte *Typha domingensis* Pers. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, v. 33, n. 2, p. 153-163.