

## **II-406 - CAPACIDADE DESNITRIFICANTE DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS OPERADOS EM BATELADAS SEQUENCIAIS**

**Alisson Carraro Borges<sup>(1)</sup>**

Professor Adjunto da UFV. Doutor em Eng. Hidráulica e Saneamento pela USP.

**Benatti Resende Zaparoli<sup>(2)</sup>**

Mestre em Eng. Agrícola (Rec. Hídricos e Ambientais) pela UFV. Eng. Agrícola e Ambiental pela UFV.

**Suymara Toledo Miranda<sup>(3)</sup>**

Mestranda em Eng. Agrícola (Rec. Hídricos e Ambientais) na UFV. Eng. Agrícola e Ambiental pela UFV.

**Amanda Rodrigues Moreira<sup>(4)</sup>**

Mestranda em Eng. Agrícola (Rec. Hídricos e Ambientais) na UFV. Eng. Agrícola e Ambiental pela UFV.

**Antonio Teixeira de Matos<sup>(1)</sup>**

Professor Associado da UFV. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela UFV.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Peter Henry Rolfs s/n - DEA/Campus - Viçosa – MG. CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: (31) 38991914 - e-mail: [borges@ufv.br](mailto:borges@ufv.br)

### **RESUMO**

Com o objetivo de se aprofundar os conhecimentos nos mecanismos de remoção de nitrato em águas, procurou-se estudar na pesquisa em questão, os fenômenos de desnitrificação e de absorção pelas plantas, em SACs. Para tanto, aplicou-se nitrato como única fonte de nitrogênio, em diferentes SACs, operados em bateladas sequenciais. Os sistemas receberam uma concentração afluente média de  $52,8 \text{ g m}^{-3}$  de  $\text{N-NO}_3^-$  sendo que em um total de 6 unidades, 3 receberam 10 mL de etanol como fonte externa de carbono. O experimento foi constituído de diferentes fases, com tempo de ciclo (tc) de 3 dias (fase I) e de 1 dia (fase II). Houve também uma etapa final de análises (fase III), na qual foi realizado um estudo de decaimento de valores de concentração de solutos ao longo de um tc de 3 dias. Os resultados de eficiência de remoção de nitrato (fase I) foram de 11,7 ~ 54,8% para os SACs sem etanol e 98,0 ~ 99,9% para os SACs que receberam fonte externa de carbono. Durante a fase II, a remoção de nitrato foi de 3,6 ~ 15,7%, nos SACs sem etanol e de 94,7 ~ 97,5%, nos SACs com adição de etanol. Os sistemas foram eficientes na remoção de nitrato, com destaque para os sistemas plantados. Dentre os sistemas plantados, o cultivado com vetiver foi o que apresentou melhores resultados, tanto na remoção de nitrogênio, como também em termos de condições de equilíbrio do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nitrato, nitrogênio, desnitrificação, wetlands, taboa, vetiver.

### **INTRODUÇÃO**

O nitrogênio é um elemento presente em grandes quantidades na natureza. Grande variedade de efluentes possui nitrogênio em alta concentração na sua composição. Almasri e Kaluarachchi (2007) citam como principais fontes de nitrogênio em cursos de água o esterco de frango/galinha, aplicação de fertilizantes à base de nitrogênio, deposição atmosférica, irrigação com águas subterrâneas contendo nitrogênio, efluentes de fossas sépticas e o nitrogênio fixado pelas leguminosas.

Os alagados construídos para a purificação de águas residuárias são caracterizados pelas vantagens de apresentarem moderados custos para implantação, bem como de muito baixo consumo de energia e requisitos de manutenção (IWA, 2000). Esses sistemas naturais de tratamento têm sido utilizados para tratar as águas residuárias municipais, drenagem ácida de mina, águas residuárias industriais, águas de drenagem agrícola, águas de chuva e efluentes de atividades agropecuárias. Baker (1998) propôs que os SACs poderiam representar uma alternativa viável para remediar nitrato de águas subterrâneas contaminadas.

Sistemas alagados naturais tem mostrado serem eficientes na remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) de águas residuárias (Leverenz et al., 2010). Segundo Lautebschlager, (2001), a remoção de nutrientes pelas plantas é um dos principais fatores responsáveis pela reciclagem de sais minerais em sistemas alagados construídos. Essas plantas removem, ainda, substâncias contendo metais pesados e compostos orgânicos tóxicos

Srivivedhin e Gray (2006) afirmam que entre os muitos benefícios dos sistemas alagados destaca-se a capacidade de reduzir os níveis de nitrato via desnitrificação e ressaltam que a qualidade orgânica é importante para acelerar as taxas de desnitrificação em SACs. Em sistemas alagados, o carbono orgânico para a desnitrificação pode ser fornecido pela vegetação, em águas de baixa carga orgânica, e é usado como fonte de carbono e de energia para bactérias heterotróficas, como as bactérias desnitrificantes.

Sistemas alagados providos de comunidades vegetais tendem a remover, de forma expressivamente mais eficaz, o nitrato que os sistemas não plantados (McIntyre e Riha, 1991; Zhu e Sikora, 1995; Lin et al., 2002). Contudo, Lin et al. (2002) afirmaram existir espécies mais eficientes na remoção de nitrato ao encontrarem diferenças significativas entre os sistemas plantados, sendo a remoção superior em SACs plantados com *Pennisetum purpureum*, em relação às outras macrófitas (*Phragmites australis*, *Commelina communis*, *Ipomoea aquatica* e *Pistia stratiotes*). Zhu e Sikora (1995) já haviam relatado que SACs plantados com capim amarelo (*Phalaris arundinacea*) e caniço de água (*Phragmites communis*) proporcionaram maiores taxas de remoção de nitrato do que quando plantados com navalha de mico (*Scirpus atrovirens georgianus*) e taboa (*Typha latifolia*). Contudo, grande parte dessa remoção, segundo os autores, está associada à desnitrificação e não somente à absorção pelas plantas. Na presente pesquisa, teve-se por objetivo principal se estudar a desnitrificação biológica em sistemas alagados construídos operados em bateladas sequenciais e cultivados com diferentes espécies vegetais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Recipientes do tipo “bombona”, fabricados de polietileno de alta densidade (PEAD) foram utilizados como sistemas alagados construídos (SACs). Cada SAC apresentava formato cilíndrico com dimensões de 55 cm de diâmetro e 90 cm de altura, apresentando 0,24 m<sup>2</sup> de área superficial e um volume total de 214 dm<sup>3</sup>. Ao todo, foram utilizados na experimentação, 6 sistemas, operados em batelada, com enchimento e deságue do líquido no sentido vertical.

Como meio suporte, utilizou-se brita “Ø” (diâmetro D60 igual a 7 mm, coeficiente de uniformidade D60/D10 de 1,6 e volume de vazios de 40%) ao longo das unidades, até a altura de 85 cm. Das 6 unidades de sistemas alagados, 2 constituíam-se de sistemas sem vegetação (controles). Nas demais unidades, foram estudadas as espécies *Typha latifolia* (taboa) e *Chrysopogon zizanioides* (vetiver).

Para a formulação da solução afluyente, foi adicionada à água bruta, uma mistura de nitrogênio na proporção aproximada de 50 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio-nitrato (N- NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Os reagentes para a solução de nitrato adicionada em cada SAC foram pesados individualmente em balança de precisão, com valores de 17,15 g de nitrato de sódio (NaNO<sub>3</sub>), 4,04 g de nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) e 3,28 g de nitrato de cálcio (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), perfazendo um total de 3,97 g de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Também foi adicionada uma quantidade de 10 g de superfosfato simples (CaH(PO<sub>4</sub>)) em cada SAC, para suprir as necessidades nutricionais das plantas e micro-organismos. Em metade das 6 soluções afluentes formuladas para cada ciclo nos SACs, foram aplicados 10 mL de etanol combustível (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH), como fonte externa de carbono, para que a desnitrificação biológica em SACs fosse estudada.

Os SACs foram nomeados de acordo com a espécie vegetal cultivada e de acordo com adição ou não-adição de etanol na solução afluyente:

- SAC<sub>C</sub> Não cultivado e sem adição de etanol,
- SAC<sub>C\*</sub> Não cultivado e com adição de etanol,
- SAC<sub>T</sub> Cultivado com *Typha latifolia* (taboa) e sem adição de etanol,
- SAC<sub>T\*</sub> Cultivado com *T. latifolia* e com adição de etanol,
- SAC<sub>V</sub> Cultivado com *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) e sem etanol,
- SAC<sub>V\*</sub> Cultivado com *C. zizanioides* e com adição de etanol.

O experimento foi dividido em três etapas: fase I com duração de 40 dias, fase II com duração de 34 e fase III realizada em 3 dias.

As análises de nitrato foram efetuadas segundo o *Standard Methods for the Examination Water and Wastewater* (APHA et al., 2005). O nitrogênio total (NT) quantificado em análise foliar foi obtido utilizando-se

o método semimicro Kjeldahl com adição de ácido salicílico, adaptado de Kiehl (1985). O teste de médias realizado foi o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

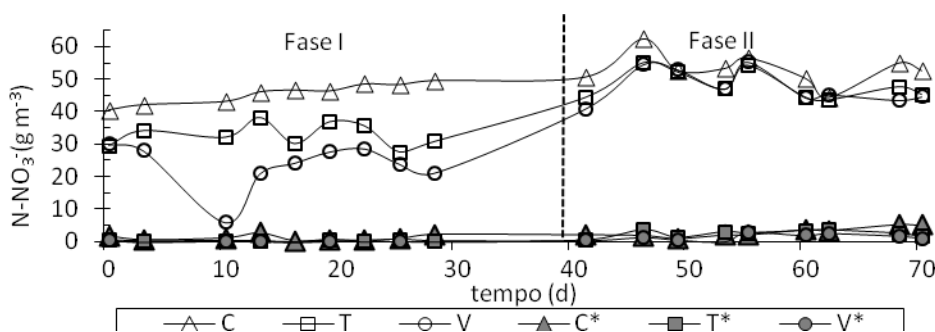
Com o encerramento das atividades, realizou-se o corte da parte aérea das plantas para análise de nitrogênio foliar, com o propósito de se quantificar a proporção de nitrogênio que foi incorporado pelas plantas. Para as análises das plantas estudadas, foram encaminhadas amostras para o LSRS/DEA, que foram secas em estufa com recirculação de ar, sob temperatura de 65 °C por 72 horas, para posterior trituração em moinho tipo Wiley.

## RESULTADOS

Na fase I, a carga superficial aplicada (Ls) de nitrogênio-nitrato foi de 5,8 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> enquanto que na fase II a Ls foi de 18,1 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para cada SAC. A diferença nas Ls aplicadas para as fases I e II são devidas apenas ao tempo de ciclo (t<sub>c</sub>), já que a massa de nitrato aplicada por ciclo foi idêntica em ambas as fases.

No presente estudo, à carga de nitrogênio aplicada por volume (Lv) correspondeu à 6,8 e 21,3 g m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, respectivamente para as fases I e II, considerando-se a carga aplicada pelo volume total de cada unidade. Ressalta-se que as avaliações foram feitas considerando-se os sistemas como reatores de leito fixo operados em batelada, sendo que em quatro unidades, foi avaliada a contribuição das espécies vegetais na remoção de nitrogênio do sistema. As plantas podem contribuir de duas maneiras distintas: (a) pela absorção de nitrogênio pelas raízes e (b) melhorando as condições para a desnitrificação via liberação de exsudatos pelas raízes como também pela contribuição das raízes como meio suporte.

Na Figura 1 estão apresentados os valores das concentrações de nitrogênio-nitrato no efluente dos seis SACs monitorados.



**Figura 1: Concentração efluente de nitrogênio-nitrato nos SACs.**

Nota-se que os SACs que não receberam fonte externa de carbono apresentaram um efluente com quantidades totais de nitrogênio muito superiores às encontradas no efluente dos SACs alimentados com solução de nitrato e etanol. Essa variação na concentração efluente é devido à necessidade da presença de carbono orgânico (doador de elétrons) para que as bactérias redutoras de nitrato (BRN) convertam o nitrato em NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub> (forma mais estável).

Durante a fase I, os SACs que não receberam fonte externa de carbono apresentaram remoção média de nitrato da ordem de 11,8% (SAC controle) e de 45,8% (SACs vegetados). Já na fase II, as eficiências médias de remoção de nitrato foram, respectivamente, de 2,0% e 11,5% para o SAC não vegetado e para os SACs vegetados. Nota-se que para 1 dia de t<sub>c</sub> (fase II) a remoção de nitrato foi pequena nos sistemas sem adição de etanol. Porém a eficiência de remoção de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pode ser considerada satisfatória nos SACs vegetados com t<sub>c</sub> de 3 dias (fase I), mesmo sem adição de carbono.

Na fase I, com o acréscimo de etanol, a remoção de nitrato foi da ordem de 98,0% e 99,8% para o SAC não vegetado e para os SACs vegetados, respectivamente. Na fase II, as remoções foram de 94,7% no SAC não vegetado e de 96,5% nos SACs vegetados.

A fim de se encontrar a proporção de nitrogênio que foi removido pelas plantas por absorção, realizou-se a análise foliar. O resultado encontrado foi de 0,06 e de 0,05 g d<sup>-1</sup> (0,23 e 0,26 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) de nitrogênio nas plantas coletadas no SAC<sub>T</sub>\* e SAC<sub>V</sub>\*, respectivamente, durante a fase II. Esse valor é expressivo, porém pequeno se comparado com a remoção diária de 0,6 e 0,7 g (2,7 e 3,0 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) de nitrogênio, obtida na mesma fase, nos SAC<sub>T</sub> e SAC<sub>V</sub>, respectivamente. Nota-se que, mesmos nestes SACs, que não receberam fonte externa de carbono, a maior parte da remoção de nitrato deve ser atribuída à desnitrificação. Nestes casos específicos, a fonte de carbono orgânico provavelmente é proveniente da liberação de exsudatos pelas raízes das plantas. O nitrogênio absorvido pelas plantas durante a fase II correspondeu, em média, a 9,7% de todo o nitrogênio removido nos SACs vegetados sem fonte externa de carbono e a apenas 1,4% do nitrogênio removido nos SAC vegetados com fonte externa de carbono.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de remoção de nitrogênio por área superficial. Ressalta-se que a análise de taxas de aplicação e remoção com base na área dos sistemas é muito comum na literatura sobre alagados construídos.

**Tabela 1: Remoção de N em função da quantidade aplicada por área, nos SACs nas fases I e II.**

REMOÇÃO (g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )		Fase I			Fase II		
		controle	taboa	vetiver	controle	taboa	vetiver
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Sem etanol	0,7	2,1	3,2	0,7	2,7	3,0
	Com etanol	5,7	5,8	5,8	17,2	17,3	17,7

Como observado na Tabela 1, os valores de remoção de nitrato por dia, com base na área superficial, nos SACs que receberam fonte externa de carbono, foram superiores na fase II, quando o tc era de apenas um dia. Tamaña variação nos resultados entre as fases, para os SACs que receberam fonte externa de carbono, se deve ao fato de que todo o nitrato foi degradado em praticamente um único dia, o que faz com que os valores de remoção diária, na fase I, sejam reduzidos se comparados aos obtidos na fase II.

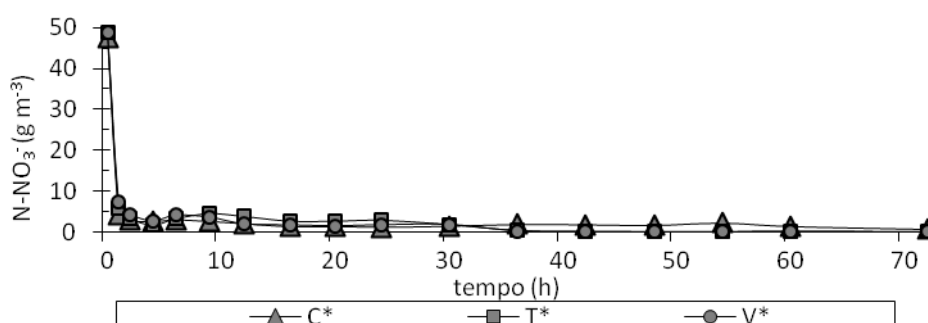
Na Tabela 2 estão apresentados os valores de remoção de nitrogênio por volume total do SAC.

**Tabela 2: Remoção de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em função da quantidade aplicada por volume total, nos SACs, nas fases I e II.**

REMOÇÃO (g m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup> )		Fase I			Fase II		
		controle	taboa	vetiver	controle	taboa	vetiver
Sem etanol		0,8	2,5	3,7	0,9	3,2	3,5
Com etanol		6,7	6,8	6,8	20,2	20,4	20,8

Com um maior tc na fase I, os exsudatos das plantas permanecem no sistema por mais tempo, o que foi importante para a ocorrência das reações e melhor desenvolvimento dos microrganismos. Observando os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2, nota-se que no SAC com vetiver, sem fonte externa de carbono, a remoção média por dia de nitrato foi superior na fase I, mesmo a desnitrificação sendo diretamente dependente da concentração de nitrato.

Foram realizadas análises de perfis de decaimento, onde foram obtidos resultados em intervalos de poucas horas, durante um período de 3 dias (fase III). Nas análises, foi observado que o nitrato foi rapidamente consumido nos sistemas com adição de etanol, conforme pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2:** Concentração residente de  $\text{N-NO}_3^-$  na fase do perfil de decaimento, corrigida em função da evapotranspiração nos SACs.

## CONCLUSÕES

Os sistemas foram eficientes na remoção de nitrato, com destaque para os sistemas plantados. Dentre os sistemas plantados, o cultivado com vetiver foi o que apresentou melhores resultados, tanto na remoção de nitrogênio, como também em termos de condições de equilíbrio do sistema. A adição de etanol proporcionou aumento na eficiência de desnitrificação. Com a pesquisa, pode-se afirmar que sistemas alagados construídos podem ser utilizados na desnitrificação de águas ou efluentes contaminados com nitrato.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMASRI, M. N.; KALUARACHCHI, J. J. Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds. *Journal of Hydrology*, v.343, n.3-4, p.211-229. 2007.
2. APHA [American Public Health Association]; AWWA [American Water Works Association]; WEF [Water Environment Federation], 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd ed. APHA/AWWA/WEF, Washington.
3. BAKER, L. A., 1998. Design considerations and applications for wetland treatment of high-nitrate waters. *Water Sci. Technol.* 38, 389-395.
4. IWA [International Water Association], 2000. *Constructed Wetlands for Pollution Control. Processes, Performance, Design and Operation*. IWA Publishing, London.
5. KIEHL, J. E. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda., 1985. 492 p.
6. LAUTEBSCHLAGER, S. R. Modelagem do desempenho de Wetlands construídas. (Dissertação). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. 90 p.
7. LEVERENZ, H. L.; HAUNSCHILD, K.; HOPES, G.; TCHOBANOGLOUS, G.; DARBY, J. L. Anoxic treatment wetlands for denitrification. *Ecological Engineering*, v.36, n.11, p.1544-1551. 2010.
8. LIN, Y.F., JING, S.R., WANG, T.W., LEE, D.Y., 2002. Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal from groundwater in constructed wetlands. *Environ. Pollut.*, 119, 413-420.
9. MCINTYRE, B. D.; RIHA, S. J. Hydraulic conductivity and nitrogen removal in an artificial wetland system. *Journal of Environmental Quality*, v.20, n.1, p.259-263. 1991.
10. SIRIVEDHIN, T., GRAY, K. A., 2006. Factors affecting denitrification rates in experimental wetlands: Field and laboratory studies. *Ecol. Eng.*, 26, 167-181.
11. ZHU, T., SIKORA, F. J., 1995. Ammonium and nitrate removal in vegetated and unvegetated gravel bed microcosm wetlands. *Water Sci. Technol.*, 32, 219-228.