

TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA PROCESSADORA DE AVES E SUÍNOS – ESTUDO EM COLUNAS DE AREIA

TERTIARY TREATMENT OF SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER – STUDIES IN SAND COLUMNS

Pablo Heleno Sezerino¹; Valeria Reginatto²; Alexandre Mater³; Alessandra Pellizzaro Bento⁴; Hugo Moreira Soares⁵; Luiz Sérgio Philippi⁶

RESUMO

No presente trabalho, duas areias comerciais foram utilizadas em ensaios laboratoriais para verificar a potencialidade de uso das mesmas como material filtrante em unidades do tipo wetlands de fluxo vertical. Avaliou-se a influência das areias nos processos de transformação e remoção de macro-nutrientes e material carbonáceo remanescentes de um sistema de lagoas de estabilização utilizado no tratamento de efluente de indústria processadora de aves e suínos. Neste estudo foram utilizadas duas colunas de PVC (diâmetro de 150 mm) preenchidas com areias de granulometrias distintas, caracterizadas como areia 1 (contendo 57% de finos) e areia 2 (contendo 29% de finos). O acompanhamento das colunas foi realizado por um período de 186 dias, analisando-se a concentração do nitrogênio amoniacal (NH₄-N), nitrogênio nitrato (NO₃-N), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo ortofosfato (PO₄-P) e potencial hidrogeniônico (pH) no percolado. Após aproximadamente 50 dias, a eficiência média da remoção de DQO, em ambas as areias testadas, foi de 78%, produzindo efluentes com concentrações médias em torno de 65 mg DQO L⁻¹. Com relação aos compostos nitrogenados observou-se uma eficiência média de remoção da amônia entre 93% e 98%, sendo que deste percentual, aproximadamente 80% foram oxidados a nitrato pelo processo da nitrificação em ambas as areias. Entretanto, no que se refere à remoção de fósforo a areia com 57% de finos na sua composição foi mais eficiente comparada a areia com 29% de finos, evidenciado pela presença de concentrações de fósforo no efluente desta, após 120 dias de operação do sistema.

Palavras-chave: efluente agroindustrial, colunas de areia, nitrificação, remoção de fósforo.

ABSTRACT

In this work two different commercial sands were tested in lab scale in order to verify their potential use as filtering material for vertical constructed wetlands. The influence of the sands on the transformation and removal of macro-nutrients and residual COD of an effluent from a pond system treating slaughterhouse wastewater was evaluated. This study was carried out using two PVC columns (150 mm of diameter) filled up with two different sands (sand 1 – 57% of fine material; sand 2 – 29% of fine material). Columns performances were evaluated during 186 days analyzing ammonia nitrogen (NH₄-N), nitrate nitrogen (NO₃-N), chemical oxygen demand (COD) and ortho-phosphate (PO₄-P) concentrations and pH in their effluent. After the first 50 days, for both sands, COD average removal was 78% and the effluent average concentration was 65 mg COD L⁻¹. Concerning to the nitrogen compounds the average ammonia removal ranged from 93% to 98%, which about 80% were related to nitrification. However, phosphorus removal was more effective in the sand with 57% of fine material compared to the sand with 29%, due to the presence of phosphorus concentration in the effluent after 120 system operation days.

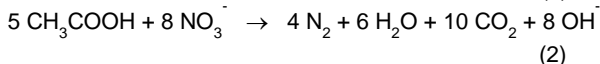
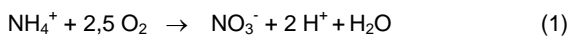
Key words: agroindustrial wastewater, sand columns, nitrification, phosphorus removal.

INTRODUÇÃO

No Brasil, notadamente no estado de Santa Catarina, grande parte dos efluentes gerados pela indústria processadora de aves e suínos é tratada por sistemas de lagoas de estabilização. Apesar das lagoas apresentarem uma satisfatória remoção da demanda química de oxigênio (DQO), os macro-nutrientes, nitrogênio e fósforo, permanecem no efluente em concentrações bastante elevadas (cerca de 150 mg NH₄-N L⁻¹ e 15 mg PO₄-P L⁻¹), necessitando de um pós-tratamento para atender aos padrões de emissão de efluentes líquidos previstos na legislação ambiental – 10 mg N L⁻¹ e 1 mg P L⁻¹ - (Lei Estadual nº 5793 de 1995 – SANTA CATARINA, 1998).

Sistemas de tratamento que se baseiam na disposição de efluentes sob leitos filtrantes, assim como os filtros de areia e unidades conhecidas como *constructed wetlands*, têm sido descritos na literatura como uma alternativa tecnológica economicamente viável para transformar e/ou remover nitrogênio, fósforo e matéria orgânica carbonácea remanescentes de efluentes de diferentes naturezas (STEINMANN et al., 2003; SEZERINO et al., 2003; JUNSAN et al., 2000; KANTAWANICHKUL et al., 2000; FINLAYSON et al., 1987).

A eliminação do nitrogênio via processos biológicos, é realizada em duas etapas: primeiramente, em presença de oxigênio, a amônia ionizada é oxidada a uma forma nitrogenada menos tóxica, o nitrato, pelo processo da nitrificação. Posteriormente, em ausência de oxigênio, o nitrato é reduzido até nitrogênio gasoso tendo matéria orgânica como doador final de elétrons, processo este conhecido como desnitrificação. As reações envolvidas na eliminação biológica do nitrogênio estão descritas nas equações 1 e 2 abaixo relacionadas:



Os filtros de areia e *constructed wetlands* de fluxo vertical, vêm sendo empregados na promoção da primeira etapa de remoção biológica de nitrogênio – a nitrificação, devido, principalmente, a incorporação de oxigênio no

¹ Eng. Sanitarista, MSc., Dr., Professor da Área de Ciências Exatas e da Terra da Universidade do Oeste de Santa Catarina – Unoesc, Campus de Videira.

² Bioquímica, Dra., Bolsista programa PROFIX – CNPq no Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos (UFSC).

³ Eng. Sanitarista, Responsável pelo setor de Meio Ambiente da SADIA S/A.

⁴ Bióloga, MSc., Dra., Professora da Área de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade do Oeste de Santa Catarina – Unoesc, Campus de Videira.

⁵ Eng. Químico, MSc., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

⁶ Eng. Civil, MSc., PhD., Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

* Rua Paese, 198. Bairro das Torres, Videira / SC. CEP 89560-000. e-mail: sezerino@unoescvda.edu.br

(Recebido para Publicação em 30/11/2004, Aprovado em 22/01/2007)

sistema via convecção e difusão atmosférica (PLATZER, 1999).

Estudos como os de KAYSER et al. (2003) demonstraram que o carbono e o nitrogênio podem ser removidos de águas residuárias domésticas combinando-se o uso de lagoas de estabilização e *constructed wetlands*. Neste tipo de combinação a matéria orgânica remanescente do sistema de lagoas e a amônia são oxidadas em uma unidade de *wetland* de fluxo vertical e a eliminação do nitrogênio seria favorecida fazendo-se a recirculação do efluente “nitrificado” para as lagoas de estabilização, onde a concentração de matéria orgânica é, normalmente, suficiente para promover a desnitrificação.

Paralelamente à eliminação biológica de nitrogênio, a remoção de fósforo nos filtros de areia e nos *wetlands* ocorre, principalmente, por processos físicos-químicos, envolvendo fenômenos de precipitação, sedimentação e adsorção no material filtrante (ARIAS et al., 2001; BRIX, 1997).

No presente trabalho, duas areias comerciais com granulometrias distintas foram usadas em ensaios de laboratório com o objetivo de estudar a sua influência perante os processos de transformação e remoção de macro-nutrientes e material carbonáceo de um efluente de indústria processadora de aves e suínos, previamente tratado em lagoas de estabilização.

MATERIAL E MÉTODOS

Características da Água Residuária

O efluente utilizado nos ensaios em laboratório foi proveniente da saída de uma planta de tratamento de efluentes de uma indústria processadora de aves e suínos localizada no oeste de Santa Catarina. O sistema de tratamento desta indústria constitui-se por três lagoas de estabilização consecutivas, sendo duas anaeróbias e uma terceira lagoa, facultativa. Três lotes distintos de efluentes da terceira lagoa foram utilizados no decorrer do trabalho.

A caracterização físico-química de cada lote de efluente usado na alimentação das colunas compreendeu as análises químicas descritas no item métodos analíticos. Após a caracterização química, o efluente foi conservado a uma temperatura de 4°C. A partir do 50º dia de operação foi adicionado bicarbonato ao efluente numa relação de 8,0 mg de HCO_3^- para cada mg de $\text{NH}_4\text{-N}$, para a correção do pH e como fonte de carbono inorgânico para as bactérias nitrificantes.

Ensaio Laboratorial em Colunas de Areia

(a) Colunas de Areia

Dois colunas de PVC, denominadas de colunas 1 e 2, com diâmetro de 150 mm (área superficial de 0,018 m²) e altura de 0,90 m foram preenchidas com areias distintas, e alimentadas conforme representado na Figura 1.

Durante o período do ensaio de 186 dias as taxas hidráulicas variaram em 30 e 42 mm dia⁻¹.

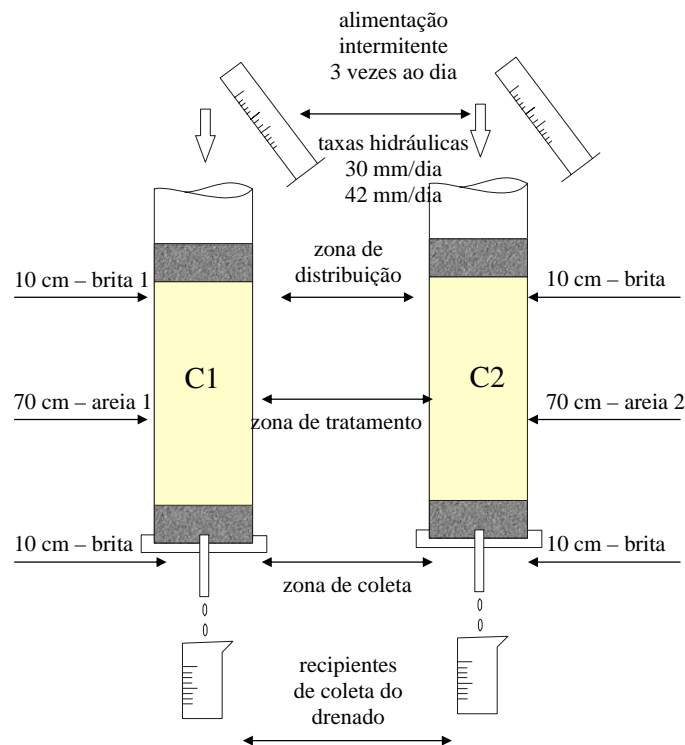


Figura 1 - Esquema das colunas de areias utilizadas no experimento.

(b) Escolha das Areias

A escolha das areias utilizadas como material filtrante nas colunas foi baseada na disponibilidade destas na região de estudo obedecendo a critérios visuais (areia 1 – visualmente mais fina; areia 2 – visualmente mais grossa). A granulometria (curva granulométrica) foi determinada segundo norma técnica NBR 7181 (ABNT, 1984). As características granulométricas das areias 1 e 2 encontram-se apresentadas na Tabela 1.

Métodos Analíticos

Os efluentes das colunas de areia foram coletados duas vezes por semana e as determinações químicas para caracterizar a performance do sistema de tratamento, foram: demanda química de oxigênio (DQO), potencial Hidrogeniônico (pH), nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrogênio nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$) e fósforo ortofosfato ($\text{PO}_4\text{-P}$).

Tabela 1 - Características físico-químicas das areias utilizadas nas colunas de areia. Valores para d_{10} , d_{60} , coeficiente de uniformidade (d_{60}/d_{10}), condutividade hidráulica (Ks) e porcentagem de finos.

Areia	d_{10} (mm)	d_{60} (mm)	d_{60}/d_{10}	Ks (m s^{-1})	% de Finos
1	0,21	0,45	2,14	10^{-4}	57
2	0,23	1,38	6,00	10^{-4}	29

A DQO foi determinada pelo método do refluxo fechado de acordo com *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 1995). A determinação do pH foi realizada com o auxílio de um potenciômetro. N-NH_4 foi analisado pelo método colorimétrico de Nessler segundo VOGEL (1981). $\text{NO}_3\text{-N}$ e $\text{PO}_4\text{-P}$ foram determinados por colorimetria utilizando kits de reagente da HACH®.

A nitrificação, ou seja, a transformação de nitrogênio amoniacal em nitrato foi determinada conforme a equação 3:

$$\left[\frac{(\text{NO}_3\text{-N}_{\text{afiuente}} - \text{NO}_3\text{-N}_{\text{efluente}}) \cdot 100}{\text{NH}_4\text{-N}_{\text{afiuente}} - \text{NH}_4\text{-N}_{\text{efluente}}} \right] \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média dos valores de concentração dos afluentes e efluentes das colunas, bem como as taxas hidráulicas e cargas aplicadas encontram-se descritos na Tabela 2. A variação das cargas específicas deve-se ao fato dos lotes de efluentes apresentarem concentrações diferentes e ao aumento da taxa hidráulica aplicada.

Tabela 2 - Concentrações médias do afluente e dos efluentes das colunas com a areia 1 e areia 2, em termos de DQO, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ e $\text{PO}_4\text{-P}$, e as respectivas remoções (período de estudo: 186 dias).

	taxa hidráulica aplicada (mm dia ⁻¹)	carga aplicada (g m^{-2} dia)	afluente (mg L^{-1})	C_1 efluente (mg L^{-1})	C_1 remoção (%)	C_2 efluente (mg L^{-1})	C_2 remoção (%)
DQO	30	7,20	240,21	29,50	88	44,47	81,5
	42	12,11	290,80	63,99	78	64,10	78
$\text{NH}_4\text{-N}$	30	4,26	142,17	20,69	85	8,99	94
	42	6,32	151,48	6,57	96	2,01	99
$\text{NO}_3\text{-N}$	30	0,50	16,77	77,13	—	100,83	—
	42	0,41	17,58	136,41	—	144,59	—
$\text{PO}_4\text{-P}$	30	0,53	31,91	ND	>99	ND	>99
	42	0,35	15,12	ND	>99	2,59	83

ND – não detectável, C_1 – coluna preenchida com areia 1, C_2 – coluna preenchida com areia 2

Os resultados expressos na Figura 2 (a, b e c), referem-se à evolução temporal do pH, $\text{NH}_4\text{-N}$ e $\text{NO}_3\text{-N}$, no período de 186 dias de acompanhamento das colunas com as areias 1 e 2. A partir destes resultados pode-se observar que após o 50º dia de operação houve uma diminuição dos valores de $\text{NH}_4\text{-N}$ (Figura 2b) com o concomitante aumento do $\text{NO}_3\text{-N}$ (Figura 2c) em ambas as areias utilizadas, fato este que evidencia o fenômeno da nitrificação.

Nos primeiros 50 dias de operação entende-se que tenha ocorrido a adaptação dos microrganismos ao efluente e a adesão dos mesmos ao material filtrante com formação de biofilme, tendo em vista que neste período não foi observada uma diminuição efetiva da concentração de amônia. SEZERINO et al. (2003), reportaram comportamento semelhante quando empregado a areia como material filtrante de unidades tipo *wetlands* de fluxo vertical no pós-tratamento de efluentes de suínos.

O decréscimo do pH observado na Figura 2a, particularmente, entre o 30º e o 50º dias de operação, pode

ser atribuído tanto ao consumo da alcalinidade do efluente pelas bactérias autotróficas, responsáveis pela nitrificação, quanto a própria reação de oxidação da amônia liberando íons H^+ , conforme representado na equação 1. Deve-se ressaltar ainda que inicialmente não foi realizado nenhum controle do pH no sistema. Contudo, a partir de 50 dias de operação adicionou-se bicarbonato ao efluente a ser tratado a fim de evitar uma queda ainda mais acentuada do pH, o que poderia causar a inibição dos processos biológicos (USEPA, 1993).

A Figura 3 mostra a eficiência da nitrificação (calculada a partir da equação 3) nas duas areias estudadas ao longo de diferentes períodos, nos quais foram aplicadas cargas hidráulicas distintas. Cabe salientar que a carga específica de $\text{NH}_4\text{-N}$ oscilou de 6,0 a 6,5 $\text{mg de NH}_4\text{-N m}^{-2}$ dia no decorrer do período estudado, estando o valor mais elevado no limite da carga recomendada para a nitrificação em sistemas tipo *constructed wetlands* de fluxo vertical (PLATZER, 1999).

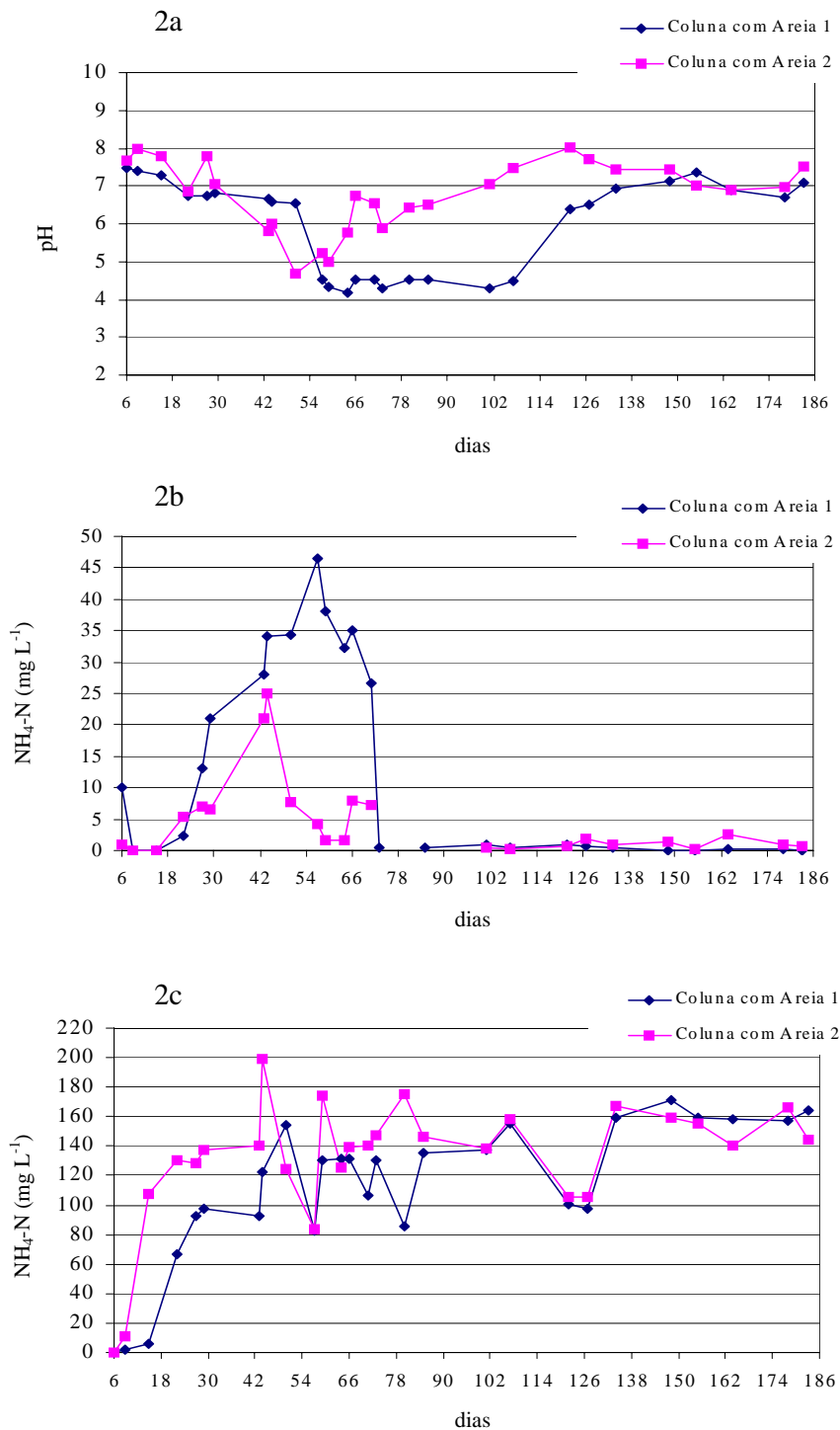


Figura 2 - Evolução do pH (2a), concentrações de nitrogênio amoniacal (2b) e nitrogênio nitrato (2c) nos efluentes das colunas ao longo do período de operação de 186 dias, considerando os valores médios de entrada de $\text{NH}_4\text{-N}$ e $\text{NO}_3\text{-N}$ no afluente de $151 \pm 6 \text{ mg L}^{-1}$ e $15 \pm 2 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

Considerando-se que a máxima carga hidráulica aplicada (42 mm dia^{-1}) ainda foi bastante inferior a capacidade deste tipo de sistema (250 mm dia^{-1} – PLATZER, 1999) supõe-se que este suportaria maiores cargas específicas de amônia, inferindo a potencialidade de otimização de área superficial quando do emprego da unidade de tratamento em escala real. Estudos anteriores demonstraram que é possível trabalhar acima da carga

específica proposta de $6,5 \text{ g NTK m}^{-2} \text{ dia}$. KANTAWANICHKUL et al. (2000), reportaram 99% de remoção de amônia para uma carga de $9,52 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-2} \text{ dia}$ (obtendo 64% de transformação de amônia a nitrato), para o tratamento de efluentes de dejetos de animais contendo $170 \text{ mg NH}_4\text{-N L}^{-1}$. Cargas ainda superiores, da ordem de $14 \text{ g N m}^{-2} \text{ dia}$, foram aplicadas por SEZERINO et al. (2003) no tratamento terciário de dejetos de suínos, obtendo-se

uma eficiência média de 58% de remoção de amônia, sendo que deste percentual de remoção 49% foi devido a nitrificação.

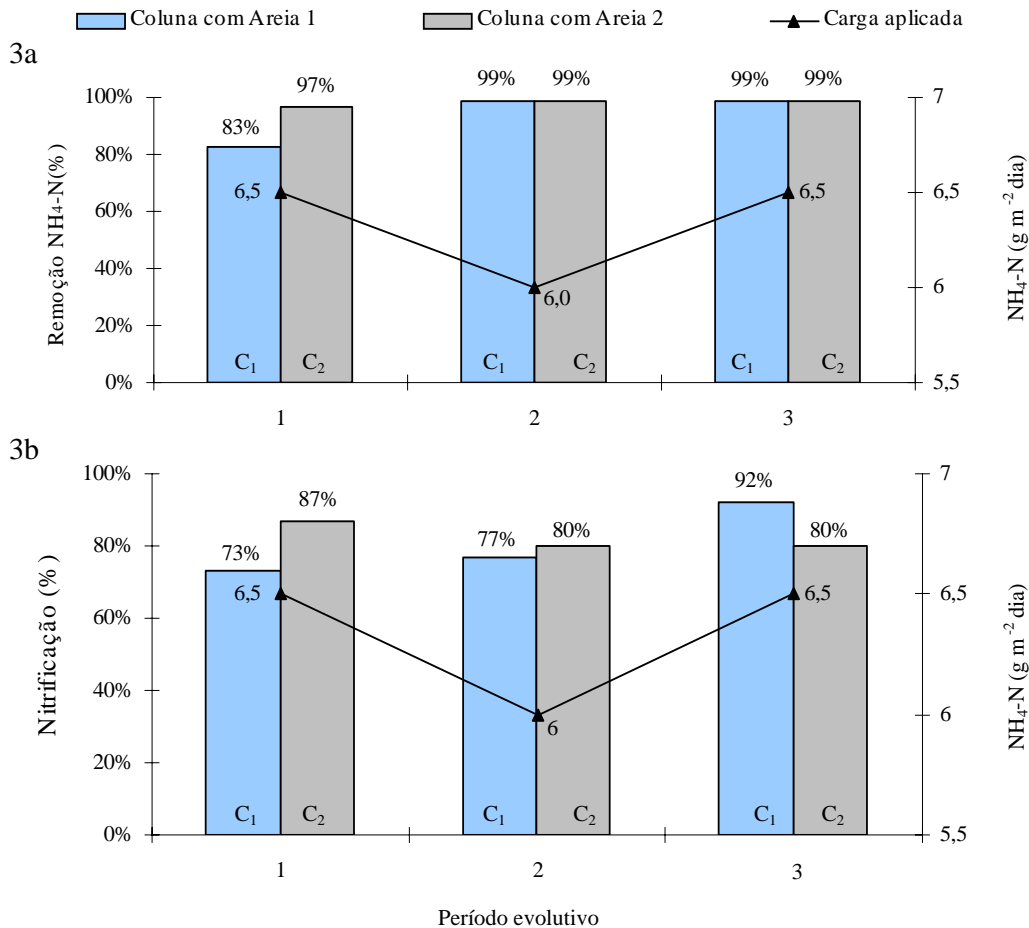


Figura 3 - Remoção de amônia e a respectiva nitrificação (calculada segundo a equação 3) ao longo do período evolutivo. Onde: 1 – período compreendido entre o 50^o e o 85^o dia (taxa hidráulica de 30 mm dia⁻¹); 2 – período compreendido entre o 86^o e o 127^o dia (taxa hidráulica de 42 mm dia⁻¹); 3 – período compreendido entre o 128^o e o 186^o dia de operação (taxa hidráulica de 42 mm dia⁻¹).

A partir do 85^o dia de operação das colunas (Fase 2 – Figura 3a), nota-se uma eficiência média de remoção da amônia de 99% para ambas as areias estudadas, sendo que deste percentual, em média 77% e 80% foram oxidados a nitrato pelo processo da nitrificação na coluna com areia 1 e areia 2, respectivamente (Figura 3b). A amônia restante foi, provavelmente, utilizada para o crescimento celular. Além disso, há a possibilidade de que outras formas de eliminação de nitrogênio, como a oxidação anaeróbia da amônia ionizada e a desnitrificação autotrófica possam ser as responsáveis pela eliminação observada (JETTEN et al., 1999).

No geral, pode-se afirmar que não houve diferença significativa (ANOVA fator único; $\alpha = 0,05$) na performance de nitrificação entre as areias estudadas, o que pode ser compreendido observando-se a semelhança entre as características apresentadas pelas areias 1 e 2 (Tabela 1). Aparentemente, a areia mais grossa (areia 2) atingiu mais rápido maiores eficiências de nitrificação, conforme representado nas Figuras 3a e 3b, pois a entrada de oxigênio pelos processos de convecção /difusão seria facilitada. Porém, no período, entre o 128^o e o 186^o dias de operação (Fase 3 – Figura 3b), a eficiência de nitrificação da

coluna com a areia 2 ficou um pouco abaixo da obtida com a areia mais fina (areia 1).

Deve-se ressaltar ainda que a eficiência da nitrificação foi elevada considerando-se que o oxigênio disponível no sistema foi utilizado não apenas pelas bactérias autotróficas nitrificantes, mas também pelas heterotróficas responsáveis pela remoção do carbono orgânico no afluente (concentração média de 291 ± 71 mg L⁻¹), potencial consumidor de oxigênio (USEPA, 1993).

O acompanhamento da concentração de DQO nos efluentes das colunas durante o período de operação pode ser observado na Figura 4. A eficiência média da remoção de DQO, após o 50^o dia foi semelhante para ambas as areias investigadas, em torno de 78%, produzindo efluentes com concentrações médias em torno de 66 ± 34 mg DQO L⁻¹.

O acompanhamento da remoção de fósforo nas colunas estudadas encontra-se representado na Figura 5. Observa-se que a partir do 120^o dia de operação a areia 2 saturou a sua capacidade de adsorção de fósforo o que acarretou no aparecimento deste no efluente da coluna 2.

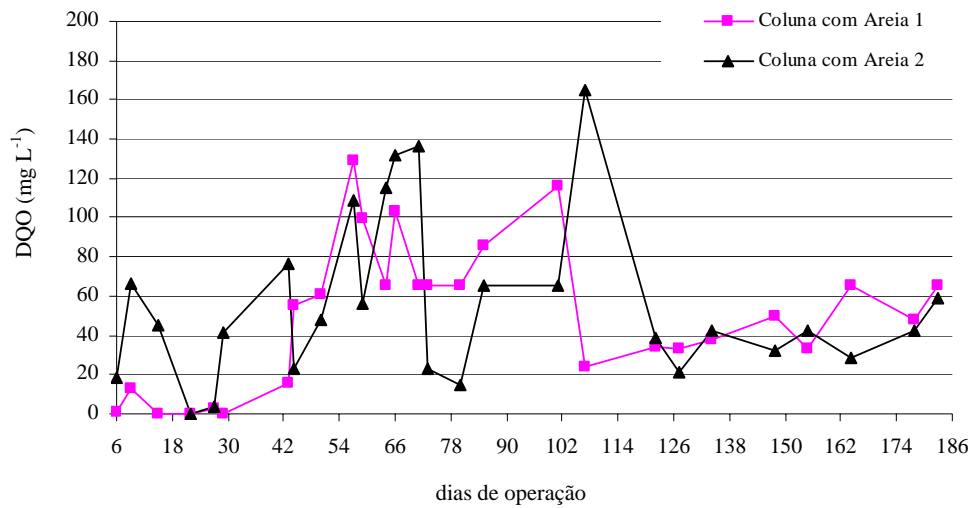


Figura 4 - Concentração de DQO nos efluentes das colunas de areia 1 e 2 ao longo do período de operação de 186 dias, considerando valores de DQO no afluente de $291 \pm 71 \text{ mg L}^{-1}$.

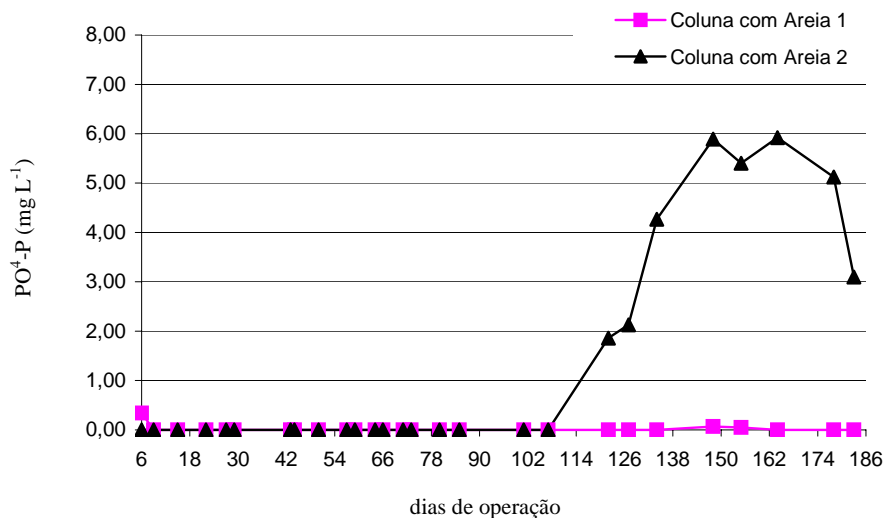


Figura 5 - Concentração de $\text{PO}_4\text{-P}$ nos efluentes das colunas de areia ao longo do período de operação de 186 dias, considerando valores de $\text{PO}_4\text{-P}$ afluente de $19,99 \pm 14,37 \text{ mg L}^{-1}$.

Conforme destacado anteriormente as areias empregadas como material filtrante no presente estudo foram escolhidas visualmente, sem que fosse efetuada qualquer alteração na sua composição química, como a adição de compostos com maior valor de capacidade de troca catiônica (CTC). Estas areias apresentavam teores de Fe, Ca e Mg muito abaixo dos valores encontrados na literatura para a remoção de fósforo (ARIAS et al., 2001; RUSTIGE & PLATZER, 2000; DRIZO et al., 1999), sendo portanto, praticamente negligenciado o potencial de adsorção das mesmas.

Contudo, mesmo com baixos teores de minerais nas areias testadas, cargas de fósforo variando de 0,5 a 0,9 g $\text{PO}_4\text{-P m}^{-2}$ dia foram aplicadas nas colunas, ao longo do estudo. As performances médias de remoção obtidas foram de 99% para a coluna com a areia 1 e 85% para a coluna com a areia 2. As concentrações absolutas do efluente da

coluna com areia 2, todavia, ainda permanecem acima da legislação ambiental do estado de Santa Catarina, apresentando valor médio de $2,25 \pm 2,16 \text{ mg PO}_4\text{-P L}^{-1}$. Resultados semelhantes foram obtidos por SOUZA et al. (2001), tratando efluentes domésticos após reator anaeróbio, os quais destacam o comportamento da retenção e da liberação de fósforo em maciços filtrantes, onde cerca de 80% do $\text{PO}_4\text{-P}$ ficaram retidos ao longo dos primeiros 90 dias de utilização, sendo contudo liberados no efluente, após este período, praticamente toda a carga de fósforo aplicada.

CONCLUSÃO

O presente estudo, realizado em escala laboratorial, demonstrou que a utilização de materiais filtrantes compostos por areias não selecionadas (com 29% e 57% de

finos) possuem um potencial de tratabilidade satisfatório perante a remoção da DQO remanescente de unidades biológicas de tratamento de efluentes da indústria processadora de aves e suínos.

Entretanto, no que se refere à remoção de fósforo a areia com menor granulometria (57% de finos na sua composição) foi mais eficiente comparada a areia com 29% de finos, evidenciado pela presença de concentrações de fósforo no efluente após 120^o dia de operação do sistema.

A elevada eficiência da nitrificação permitiria ainda alguns estudos no sentido da eliminação do nitrogênio pela recirculação do efluente contendo nitrato para uma das lagoas de estabilização, onde haveria matéria orgânica suficiente para a desnitrificação, uma vez que sistemas com esta configuração já são amplamente utilizados na Europa.

REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1995. p.53-74.
- ARIAS, C.A.; DEL BUBBA, M.; BRIX, H. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds. **Water Research**, London, v.35, n.5, p.1159-1168, 2001.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181 – Solo: Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.
- BRIX, H. Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands. **Water Science and Technology**, London, v.35, n.5, p.11-17, 1997.
- DRIZO, A.; FROST, C.A.; GRACE, J. et al. Physico-chemical screening of phosphate removing substrates for use in constructed wetlands systems. **Water Research**, London, v.33, n.17, p.3595-3602, 1999.
- FINLAYSON, C.M.; CHICK, A.J.; Van OERTZEN, I. et al. Treatment of piggery effluent by an aquatic plant filter. **Biological Wastes**, London, v.19, n.3, p.179-196, 1987.
- JETTEN, M.S.; STROUS, M.; PAS-SCHOONEN, K.T. et al. The anaerobic oxidation of ammonium. **FEMS Microbiology Reviews**, London, v.22, n.1, p.421-437, 1999.
- JUNSAN, W.; YUHUA, C.; OIAN, S. The application of constructed wetlands to effluent purification in pig farm. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 7., 2000, Lake Buena Vista, **Proceedings...** Lake Buena Vista, FL: University of Florida / IWA, 2000. p.1477-1480.
- KANTAWANICHKUL, S.; NEAMKAM, P.; SHUTES, R.B.E. Nitrogen removal in a combined system: vertical vegetated bed over horizontal flow sand bed. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 7., 2000, Lake Buena Vista, **Proceedings...** Lake Buena Vista, FL: University of Florida / IWA, 2000. p.293-299.
- KAYSER, K.; KUNST, S.; FEHR, G. et al. Controlling a combined lagoon/reed bed system using the oxidation-reduction potential (ORP). **Water Science and Technology**, London, v.48, n.5, p.167-174, 2003.
- PLATZER, C. Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. **Water Science and Technology**, London, v.40, n.3, p.257-263, 1999.
- RUSTIGE, H., PLATZER, C. Nutrient removal in subsurface flow constructed wetlands for application in sensitive regions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 7., 2000, Lake Buena Vista, **Proceedings...** Lake Buena Vista, FL: University of Florida / IWA, 2000. p.309-316.
- SANTA CATARINA. **Legislação Ambiental Básica do Estado de Santa Catarina. Lei No 5.793 de 15 de outubro de 1980, atualizada em maio de 1995**. Tubarão: UNISUL. 1998. 50p.
- STEINMANN, C.R.; WEINHART, S.; MELZER, A. A combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment. **Water Research**, London, v.37, n.9, p.2035-2042, 2003.
- SEZERINO, P.H.; REGINATTO, V.; SANTOS, M.A. et al. Nutrient removal of piggery effluent using vertical flow constructed wetlands in southern Brazil. **Water Science and Technology**, London, v.48, n.2, p.129-135, 2003.
- SOUZA, J. T de; van HAANDEL, A.C.; GUIMARÃES, A.V.A. Acumulação de fósforo em sistemas wetlands. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa, **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. 6p. CD ROOM.
- USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. **Nitrogen control manual**. EPA/625/R-93/010, Office of Water, Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 1993. 311p.
- VOGEL, A.I. **Análise Inorgânica Quantitativa**. 4.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1981. 200p.