



II-168 – DESEMPENHO DE UM SISTEMA COMBINADO REATOR UASB E LODO ATIVADO NO PROCESSO DE DESNITRIFICAÇÃO EM ESGOTO SANITÁRIO

Israel Nunes Henrique⁽¹⁾

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo PRODEMA (UEPB/UEPB). Doutorando em Recursos Naturais na CTRN/UFCG.

José Tavares de Sousa

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP. Professor da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Beatriz Susana Ovruski de Ceballos

Bioquímica pela Universidade Nacional de Tucumán. Mestre em Microbiologia e Imunologia pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP/EPM). Doutora em Ciências (Microbiologia Ambiental) na USP. Professora da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Eclésio Cavalcanti Santos

Farmácia e Bioquímica pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestrando em Ciências e Tecnologia Ambiental na Universidade Estadual da Paraíba (MCTA/UEPB).

Vanessa Gomes Miná

Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestranda em Ciências e Tecnologia Ambiental na Universidade Estadual da Paraíba (MCTA/UEPB).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Assis Chateaubriand, 626 – Campina Grande - Paraíba - PB - CEP: 58105-420 - Brasil - Tel: (83) 33225307 - e-mail: israelnunes@yahoo.com.br

RESUMO

A desnitrificação é o processo de redução do nitrato a nitrogênio molecular, que esta associada a ganho de elétrons. Neste processo as bactérias atuantes são heterotróficas que utilizam carbono orgânico como fonte doadora de elétrons. Em alguns casos os esgotos sanitários não possuem material carbonáceo suficiente ou apresentam baixo teor desse material solúvel, dificultando o processo de desnitrificação em sistemas de lodos ativados, exigindo fonte externa de carbono. Este trabalho avaliou o desempenho de um sistema combinado reator anaeróbio tipo UASB e lodo ativado não-convencional denominado de Reator Aerado com Meio Suporte Submerso Imobilizado (RAMSI), tratando esgoto bruto doméstico com o objetivo de promover a desnitrificação com conseqüente remoção de material carbonáceo, utilizando como fonte de carbono o lodo anaeróbio produzido no próprio reator UASB. Os resultados mostraram que o sistema combinado UASB + RAMSI foi capaz de remover de forma eficiente o material carbonáceo (81%) e NTK (89,3%).

PALAVRAS-CHAVE: Reator UASB, Lodo Ativado, Desnitrificação.

INTRODUÇÃO

No tratamento biológico de esgotos, diversas configurações de sistemas experimentais têm sido utilizadas, na busca de melhoria na remoção dos macronutrientes presentes nas águas residuárias, como nitrogênio e fósforo. Ao longo dos anos estes sistemas têm passado por transformações consideráveis, resultando em tratamento cada vez mais econômico e eficiente (Guimarães, 2003).

Os reatores anaeróbios utilizados no tratamento de esgotos domésticos apresentam eficiência de remoção de material carbonáceo em torno de 70% e baixíssima remoção de nutrientes, exigindo pós-tratamento.

Os sistemas aeróbios de tratamento de esgotos apresentam-se como uma das principais tecnologias utilizada para tratamento de esgotos domésticos e industriais face à boa qualidade do efluente gerado, com baixas concentrações de DBO, DQO, sólidos em suspensão e a possibilidade de remoção de nutrientes.

Dentre os sistemas de tratamento de esgotos, os sistemas conjugados anaeróbio-aeróbio vêm se destacando desde a década de 80 (van Haandel & Marais, 1999). Com a remoção de grande parte do material orgânico

afluente no pré-tratamento anaeróbico, diminui a capacidade de oxigenação para o tratamento no processo aeróbico, reduzindo importantes custos operacionais, mantendo-se a mesma qualidade do efluente.

Este trabalho teve como objetivo verificar o desempenho de um reator UASB seguido de lodo ativado não-convencional, quanto à remoção de matéria orgânica, sólidos e nitrogênio, aplicando um procedimento de recirculação (UASB – RAMSI) com o propósito de estimular a desnitrificação.

MATERIAIS E MÉTODOS

A fase experimental ocorreu durante os meses de maio a julho de 2008. O experimento foi realizado na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES) localizada em área pertencente à Companhia de Águas e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), no município de Campina Grande – PB, com coordenadas geográficas de 07° 14' 22''S e 35° 53'05''W e altitude de 550 m, e onde está instalado o laboratório do grupo de Pesquisa do Programa em Saneamento Básico (PROSAB).

Foram operados dois sistemas em escala piloto, um reator UASB construído em acrílico com forma cilíndrica e capacidade volumétrica de 8,4 litros, seguido de um sistema de lodo ativado não-convencional denominado de reator aerado com meio suporte submerso imobilizado (RAMSI), também em acrílico e de forma cilíndrica com capacidade volumétrica de 12,6 litros. O esquema da Figura 1 ilustra a configuração dos dois sistemas.

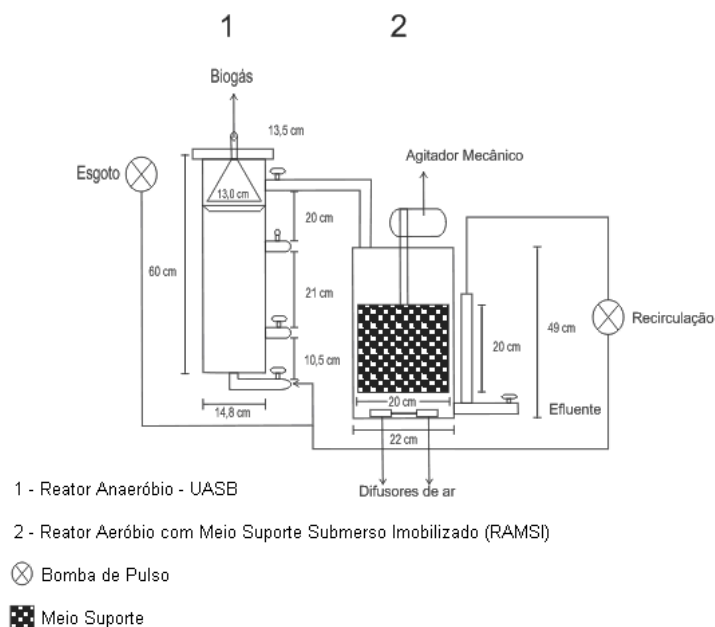


FIGURA 1. Esquema de alimentação e recirculação do reator anaeróbico UASB seguido de reator de lodo ativado

O reator UASB funcionou com tempo de retenção celular (TRC) de 30 dias e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 4,0 horas, enquanto que o sistema de lodo ativado trabalhou com idade de lodo de 10 dias e TDH de 2,0 horas.

O meio suporte empregado foi esponja de fibra sintética com dimensões de 12 x 8 x 2 cm, cortada em cubos de 2 cm³ (Figura 2a) e fixadas em uma cesta metálica acoplada a um agitador mecânico (Figura 2b). A esponja sintética possui um volume ocupacional de 5%.



(a)



(b)

FIGURA 2: (a) Corte da esponja sintética para utilização como meio suporte (b) Esponja no interior da cesta aderida ao agitador mecânico.

O sistema experimental foi programado para funcionar em bateladas sequenciais com ciclos de 12 horas cada e, portanto, 2 ciclos.dia⁻¹. A Figura 3 mostra a configuração operacional do sistema com o tempo de duração dos períodos expresso em horas.

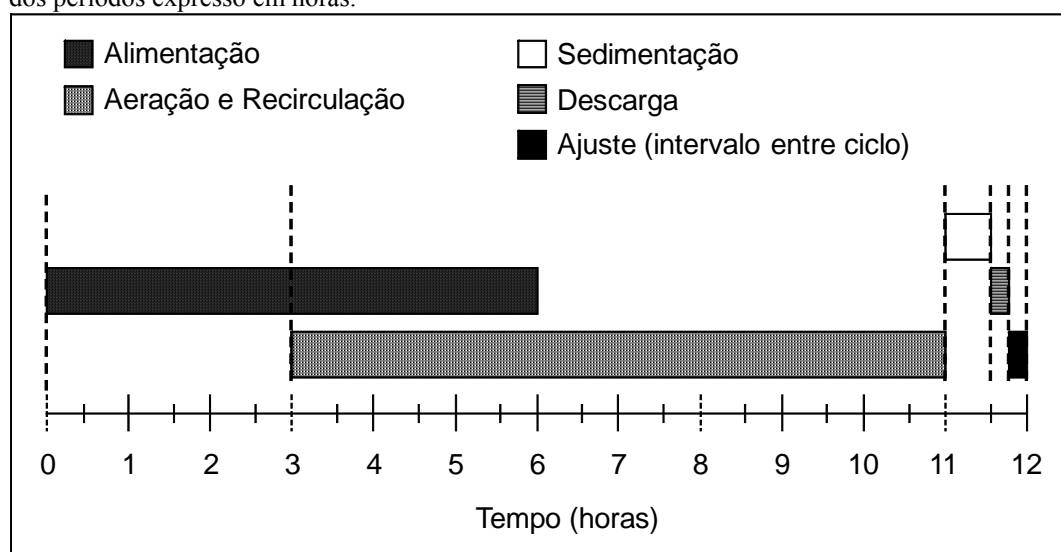


FIGURA 3. Distribuição temporal das fases operacionais do sistema combinado UASB-RAMSI

Procedimento de alimentação e recirculação do sistema combinado

- (1) o reator UASB foi alimentado com esgoto bruto (EB) pela parte inferior do sistema;
- (2) o efluente digerido advindo do reator UASB alimentava o sistema de Lodo Ativado (sistema com meio suporte e aerado);
- (3) o efluente contido no sistema de lodo ativado era mantido aerando e recirculando pelo reator UASB, entrando simultaneamente pela parte inferior do sistema anaeróbio;
- (4) o volume recirculado foi de 2 vezes o volume afluente do reator UASB, compreendendo *Afluente-Recirculação 1:2*.
- (5) depois de finalizada o tempo de recirculação o efluente do RAMSI foi sedimentado e descartado como efluente final.

A Tabela 1 contém os principais parâmetros operacionais avaliados durante a investigação experimental.



TABELA 1. Parâmetros operacionais utilizados durante a fase experimental

Parâmetros	Valor
Vazão média aplicada de EB ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$)	0,024
Vazão média de recirculação ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$)	0,072
Carga orgânica média aplicada ($\text{KgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1}$)	0,452
Carga nitrogenada média aplicada ($\text{KgNTK} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1}$)	0,050

Procedimento analítico

Os parâmetros analíticos determinados foram Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Alcalinidade Total (AT), Ácidos Graxos Voláteis (AGV), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Sólidos Sedimentáveis, Fósforo total e solúvel, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), N-amoniaco (N-NH_4^+), Nitrato (N-NO_3^-) e Nitrito (N-NO_2^-).

As determinações de alcalinidade e ácidos graxos voláteis obedeceram ao método Kapp (1994) apud Buchauer (1998), enquanto que as demais análises seguiram as recomendações analíticas do Standard Methods – APHA, 1998.

RESULTADOS

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios e desvio padrão dos resultados dos parâmetros físicos e químicos avaliados.

Os sistemas estudados se mantiveram na faixa de pH em torno de 7 – 8 e os valores de temperatura próximos de 23°C, considerados adequados para os processos sob estudo; as pequenas oscilações observadas não comprometeram o experimento.

Verifica-se na Tabela 2 que a concentração de DQO ao final do processo de tratamento apresentou percentual de remoção em torno de 90%. Essa porcentagem é superior ao encontrado por Isoldi et al., (2005) tratando efluentes de parboilização com o mesmo propósito de desnitrificação em reator anaeróbio (84%) trabalhando com tempo de detenção hidráulica de 16 horas e monitorado por 10 meses.

Mesmo com baixo tempo de detenção hidráulico o reator UASB apresentou eficiência de remoção de DQO de 81%. A distribuição das concentrações da DQO é apresentada na Figura 4.

TABELA 2. Características físicas e químicas do esgoto bruto e dos efluentes

Parâmetros	EB	UASB	RAMSI
pH	7,15 - 7,90	7,59 - 8,00	7,30 - 8,12
Temperatura (°C)	23,8 ± 1,1	22,9 ± 0,8	23,1 ± 1,1
AT ($\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$)	442,7 ± 76	310,9 ± 74	175,2 ± 59
DQOt ($\text{mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$)	452 ± 104	87 ± 24	44 ± 18
NTK ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	49,6 ± 14	18 ± 6	5,3 ± 3
N-NH ₄ ⁺ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	39,9 ± 11	16,7 ± 7	4,1 ± 2
N-NO ₂ ⁻ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	-	0,6 ± 0,2	1,1 ± 0,6
N-NO ₃ ⁻ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	-	14,5 ± 2,8	22,7 ± 2,9
Pt ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	6,9 ± 2,7	5,0 ± 2,2	5,2 ± 2,0
P-PO ₄ ³⁻ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	4,9 ± 1,9	4,8 ± 2,0	4,6 ± 1,6
ST ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1084 ± 179	947 ± 176	928 ± 172
STV ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	262 ± 124	162 ± 94	140 ± 75
SST ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	145 ± 109	25 ± 13	21 ± 3
SSV ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	84 ± 68	15 ± 5	11 ± 3



Os sistemas foram configurados para favorecer a remoção de matéria orgânica e nitrogênio, portanto, não apresentaram condições favoráveis para possível remoção de fósforo, conforme mostrado na Tabela 2.

O sistema combinado UASB + RAMSI produziu um efluente final com baixa concentração de sólidos suspensos voláteis, apresentando-se bastante clarificado com 11mgSSV.L^{-1} , o qual representa uma remoção de 87%.

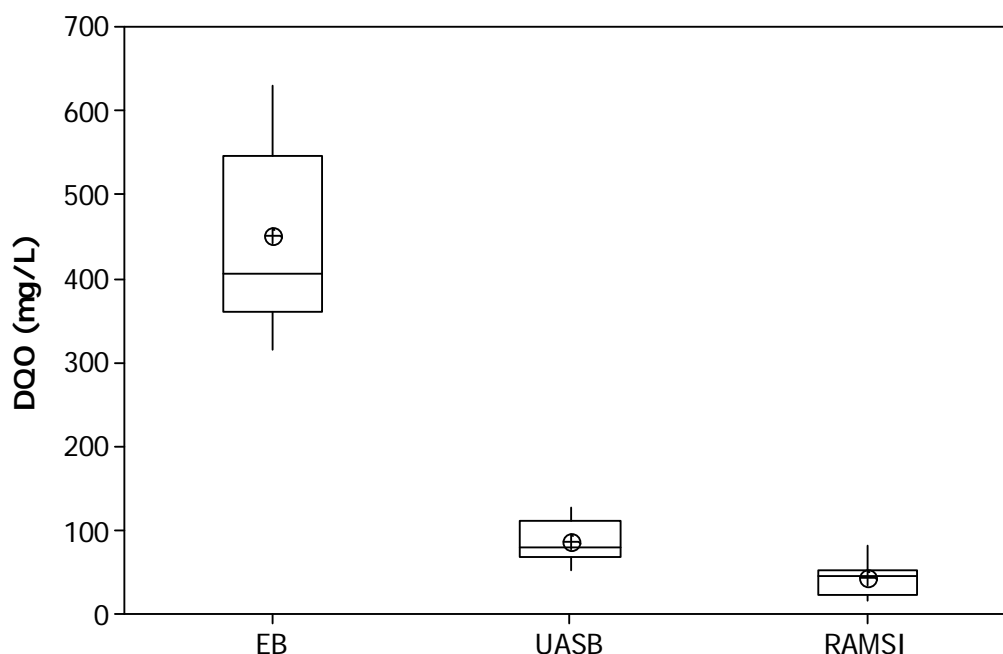


FIGURA 4. Representação dos valores de DQO nos sistemas estudados (box-plot) durante a fase experimental

Observa-se na Figura 4 que 50% dos dados de DQO estiveram entre 361 e 547mgDQO.L^{-1} com uma amplitude de intervalo interquartil (d) de 185mgDQO.L^{-1} , para um intervalo de confiança de 95%.

Com o processo de recirculação no reator UASB os valores de DQO variaram de 51 a 128mgDQO.L^{-1} , e o efluente final descarregado pelo sistema RAMSI teve variações entre 16 e 81mgDQO.L^{-1} , culminando com uma remoção total de DQO de 90%.

O consumo médio de $268\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$ da alcalinidade mostrou a capacidade de nitrificação do sistema de lodo ativado (Figura 5). Através da estequiometria é possível calcular o valor teórico da nitrificação completa, que fica em torno de $37,5\text{mgN-NO}_3.\text{L}^{-1}$.

No processo de desnitrificação ocorre recuperação de alcalinidade no sistema. O efeito da amonificação, nitrificação e desnitrificação sobre a alcalinidade pode ser deduzido por simples relação estequiométrica (van Haandel e Marais, 1999). No processo de amonificação há produção de alcalinidade ou de 50g por mol de amônia (14g N) amonificado; no processo de nitrificação há consumo de alcalinidade de $2 \times 50 = 100\text{g CaCO}_3$ por mol N (14g) e no processo de desnitrificação produz-se 50g CaCO_3 por mol N. As variações da alcalinidade podem ser expressas como:

$$\begin{aligned} (\Delta\text{Alc}/\Delta\text{N})_{\text{amonificado}} &= 50/14 = \mathbf{3,57\text{ mgCaCO}_3.\text{mg.N}^{-1}} & (a) \\ (\Delta\text{Alc}/\Delta\text{N})_{\text{nitrificação}} &= -50/14 = \mathbf{-7,14\text{ mgCaCO}_3.\text{mg.N}^{-1}} & (b) \\ (\Delta\text{Alc}/\Delta\text{N})_{\text{desnitrificação}} &= 50/14 = \mathbf{3,57\text{ mgCaCO}_3.\text{mg.N}^{-1}} & (c) \end{aligned}$$

O sistema RAMSI apresentou pouca variabilidade de alcalinidade, mantendo os valores num intervalo interquartil de $62\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$.

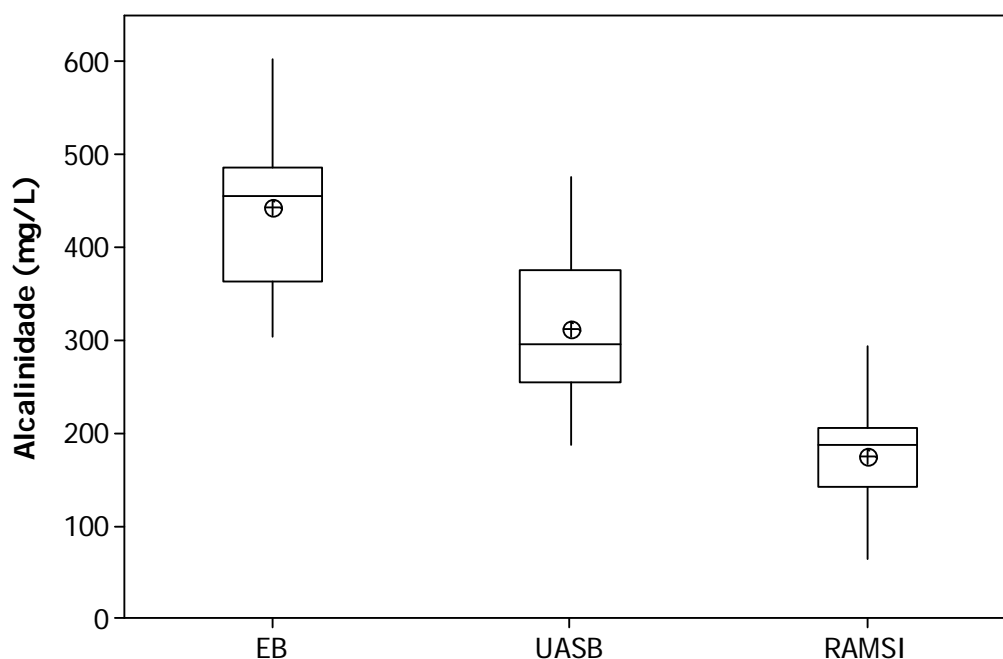


FIGURA 5. Representação dos valores de alcalinidade total nos sistemas estudados (box-plot) durante a fase experimental

A concentração de NTK no EB durante a fase experimental expressa a um nível de significância de 95%, mostrou que 50% dos dados variaram entre 38 e 59mgNTK.L⁻¹ com concentração média de 50mgNTK.L⁻¹ (Figura 6).

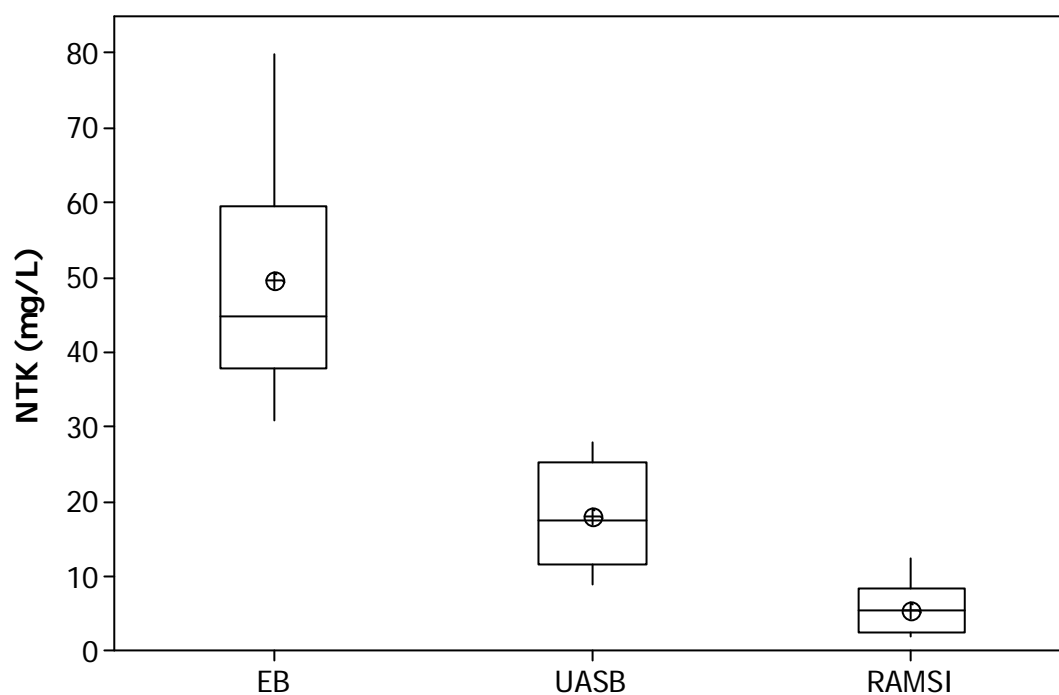
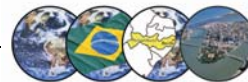


FIGURA 6. Representação dos valores de NTK nos sistemas estudados (box-plot) durante a fase experimental



As concentrações de NTK no efluente do UASB mostrou que 50% dos dados representados pelos quartis Q1 e Q3, mantiveram-se entre 12 e 25mgNTK.L⁻¹, respectivamente, e para o efluente final (efluente descarregado pelo sistema RAMSI) esses valores flutuaram entre 2 e 8mgNTK.L⁻¹.

Os dados obtidos evidenciam que o sistema combinado UASB + RAMSI apresentou boa capacidade de remoção de NTK no efluente final de 89,3%, entretanto, teve modesto percentual de desnitrificação (36%).

Sousa e Foresti (1999), usando lodo anaeróbio e passando o efluente nitrificado por fluxo ascendente, durante 30 semanas, alcançaram eficiência de remoção de nitrato de 72%. Isoldi et al. (2005), tratando efluente de parboilização com sistema combinado UASB + reator aeróbio e volume de 4L e 3,6L, respectivamente, obtiveram eficiência de remoção de NTK de 83%, com expressiva desnitrificação, removendo 94% do nitrato para uma carga aplicada de aproximadamente 0,07kgN-NO₃.m⁻³.d⁻¹, num período de 5 meses.

CONCLUSÕES

Os autores concluem que:

O sistema combinado UASB + RAMSI mesmo operando com baixo TDH foi capaz de remover de forma eficiente o material carbonáceo (81%), SST (86%), NTK (89,3%) e N-amoniaco (89,7%).

Durante a fase de operação do sistema combinado UASB + RAMSI, a remoção do nitrato foi considerada favorável, portanto, o material orgânico presente no reator se mostrou boa fonte de carbono para a desnitrificação, no entanto, insuficiente.

O sistema combinado UASB + RAMSI mostrou-se promissor quanto à remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão e boa parte do material nitrogenado.

Para melhorar o desempenho do sistema os autores propõem modificações com relação à concentração de oxigênio, período de aeração e melhoria na distribuição do efluente nitrificado dentro do reator anaeróbio, com intuito de favorecer a desnitrificação no processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. Washington: American Public Health Association, 1998.
2. BUCHAUER, K. A. A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in effluents to waste – water and sludge treatment processes. **Water S. A.** v. 1, n.24, p. 49 – 56, 1998.
3. GUIMARÃES, P. **Sistema de lodo ativado em bateladas sequenciais para pós-tratamento de esgoto digerido em um reator UASB**. 2003. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 199p. 2003.
4. ISOLDI, L. A.; KOETZ, P. R.; ISOLDI, L. A. Pós-tratamento de efluente nitrificado da parboilização de arroz utilizando desnitrificação em reator UASB. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.10 n.4, 7p, 2005.
5. SOUSA, J. T.; FORESTI, E. Utilização de lodo anaeróbio como fonte externa de carbono no processo de desnitrificação de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.69-73, 1999.
6. VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. O. **O comportamento do sistema de lodo ativado – Teoria e aplicação para projeto e operação**. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Epgraf, 472 p. 1999.