



PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR UASB UTILIZANDO SISTEMAS “WETLANDS” CONSTRUÍDOS

José Tavares de Sousa¹, Adrianus C. van Haandel², Paulo Rogério da Silva Cosentino³ &
Adriana Valéria Arruda Guimarães⁴

RESUMO

O presente trabalho avalia o desempenho de sistemas “wetlands” utilizados no pós-tratamento de efluente de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), com relação à remoção de matéria orgânica e formas de nitrogênio e fósforo. O reator UASB tratava esgotos sanitários brutos provenientes da cidade de Campina Grande, PB, e o efluente produzido era bombeado para os quatro sistemas “wetlands”, em escala piloto, sendo três cultivados com macrófitas emergentes (*Juncus sp*) e um sem cultivo, para o controle da pesquisa. Todos os sistemas foram operados com diferentes cargas hidráulicas: 4,5; 3,3 e 2,3 cm dia⁻¹. Os resultados obtidos durante as vinte e seis semanas de operação foram promissores e se observaram eficiências médias de remoção de matéria orgânica (DQO) entre 76 e 84%, para cargas aplicadas variando de 6,58 a 14,2 g DQO m⁻² dia⁻¹. Na remoção de nutrientes, verificou-se a produção de efluentes com concentrações médias de 6,1 mg N-NH₄⁺L⁻¹ e com relação ao nitrogênio total: 7,6 NTK mg L⁻¹ com remoção respectivamente de 86 e 87%; já para fósforo total, o sistema “wetlands”, operando com carga hidráulica de 2,3 cm dia⁻¹, produziu efluente sem presença de fósforo (100% de remoção).

Palavras-chave: “wetlands” construído, pós-tratamento, remoção de nutrientes, macrófitas

POST TREATMENT OF THE EFFLUENT FROM A UASB REACTOR USING CONSTRUCTED “WETLANDS” SYSTEMS

ABSTRACT

In this paper an evaluation is made of the performance of “wetlands” systems used for post treatment of the effluent from a UASB reactor. The removal of organic material, forms of nitrogen and phosphorus were evaluated. The UASB reactor treats municipal sewage in the City of Campina Grande-Brazil. The produced effluent was pumped to four pilot scale “wetlands” units. Three of these were cultivated with emerging macrophytes (*Juncus sp*) whereas the fourth was operated without vegetation as a control unit. The three units with vegetation were operated with different hydraulic loads: 4.5, 3.3 and 2.3 cm d⁻¹. The results obtained during the operation period of twenty six weeks were promising. The observed removal efficiencies of organic matter (measured as COD) ranged from 76 to 84% for application load varying from 6.58 to 14.2 g COD m² d⁻¹. With respect to nutrient removal, it is shown that it was possible to produce an effluent with 6.1 mg L⁻¹ N-NH₄⁺L⁻¹ and 7.6 mg L⁻¹ of TKN with about 86 and 87% removal, respectively, whereas the removal of phosphorus was observed to be 100% in the “wetlands” system operating with a hydraulic load of 2.3 cm d⁻¹.

Key words: constructed “wetlands”, post treatment, nutrient removal macrophytes

Recebido em 10/08/1999, Protocolo 088/99

¹ Professor Doutor do Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba, R. Basílio Araújo 836, Catolé, CEP 58104 - 693, Campina Grande, PB. Fone:(0xx83) 337 1548. E-mail: jtavares@paqtc.rpp.br

² Professor, Ph.D. do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, CEP 58109 - 970, Campina Grande, PB. Telefax: (0xx83) 331 4809. E-mail: prosab@cgnet.com.br

³ Graduado em Química Industrial na Universidade Estadual da Paraíba

⁴ Mestranda do Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA UFPB/UEPB, Sub-Área Saneamento Ambiental

INTRODUÇÃO

Em regiões de climas tropical e subtropical, a digestão anaeróbia apresenta-se como solução econômica e confiável para o tratamento de esgotos sanitários, mas o processo anaeróbio fornece efluente com constituintes residuais, como gases dissolvidos, matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes (fósforo e nitrogênio) e organismos patogênicos. Desta forma, efluentes advindos de reator anaeróbio de manta de lodo (reator UASB) necessitam de um pós-tratamento. A disposição de águas residuárias no solo, juntamente com a presença de microrganismos, macrófitas aquáticas e energia solar, resulta na produção de biomassa e energia química, removendo, portanto, carga poluidora e mantendo a conservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos. “Wetlands” constituído é um sistema artificialmente projetado para utilizar plantas aquáticas (macrófitas) em substratos (como areia, solo ou cascalho), onde ocorre a proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos que, através de processos biológicos, químicos e físicos, tratam águas residuárias.

Existem diversos tipos de “wetlands”, desde os naturais (charcos, brejos, várzeas e pântanos) até os construídos, que podem ser de fluxo superficial ou subsuperficial (Crites, 1994).

Diversas macrófitas aquáticas (emergentes e flutuantes) vêm sendo utilizadas nos sistemas “wetlands” construídos. Segundo Mitchell (1978) *apud* Thomas et al. (1995) deve-se selecionar as macrófitas obedecendo aos seguintes critérios: (1) fácil propagação e crescimento rápido; (2) alta capacidade de absorção de poluentes; (3) tolerância a ambiente eutrofizado e (4) fácil colheita e manejo.

As macrófitas aquáticas emergentes mais frequentemente utilizadas são: *Typha spp*, *Phragmites*, *Juncus ingens* e *Schoenoplectus validus*; por outro lado, tem-se as seguintes macrófitas flutuantes: *Eichhornia crassipes* (aguapé), *Spirodela* (erva de pato), *Salvinia molesta* (salvinia) e *Hydrocotyle umbellata*.

O presente trabalho teve como objetivo verificar o desempenho de sistema composto por reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) seguido de “wetlands” construído, no tratamento de esgotos sanitários, com ênfase na remoção de matéria orgânica carbonácea e nutrientes eutrofizantes (nitrogênio e fósforo).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e monitorado nas instalações do Programa de Pesquisa em Saneamento Básica (PROSAB), vinculado à Universidade Federal da Paraíba, localizado na cidade de Campina Grande, Paraíba. O sistema foi operado durante o período de vinte e seis semanas (dezembro de 1998 a junho de 1999) divididas em duas fases de 18 e 8 semanas, respectivamente.

O sistema de tratamento constitui-se de duas unidades: a primeira compreende um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), cujas características são apresentadas na Tabela 1. Já para a segunda unidade foram construídos em alvenaria e revestidos internamente com massa impermeabilizante, quatro “wetlands” com área de 10 m² cada um, conforme Figura 1.

Para melhor distribuição tanto do fluxo de entrada quanto da saída de cada unidade construída, foi depositada uma camada de 30 cm de largura e 60 cm de altura de cascalho, com granulometria variando de 15 a 20 mm. O substrato utilizado foi areia grossa lavada com granulometria variando de 2,88 a 4,8 mm, formando uma camada de 60 cm de altura (Tabela 2), que suportava uma densidade de macrófitas (*Juncus sp*) de 25 propágulos vegetativos por metro quadrado. Após colocar-se o substrato, transplantaram-se 25 propágulos de *Juncus sp* coletados no açude de Bodocongó; em seguida, adicionou-se água de abastecimento no sistema “wetlands”, objetivando-se remover material orgânico eventualmente presente no substrato. O controle do experimento foi realizado por um sistema “wetlands”, contendo apenas substrato não vegetado.

Tabela 1. Características físicas e operacionais do reator UASB

Características	Magnitude
Altura do reator (m)	3,00
Diâmetro (m)	0,80
Volume do reator (m ³)	1,50
Inóculo	Sem inóculo
Tempo de detenção hidráulica (h)	3,0
Carga orgânica específica kg DQO m ⁻³ dia ⁻¹	4,9

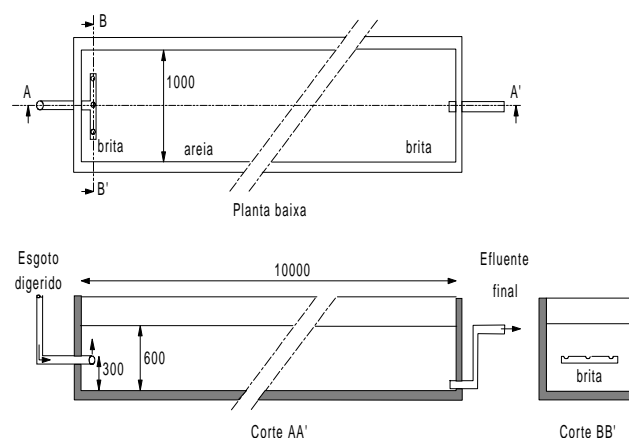


Figura 1. Representação esquemática de uma unidade de “wetlands” (Dimensões em mm)

Tabela 2. Características físicas e operacionais dos sistemas “wetlands”

Características Físicas	Magnitude
Altura do “wetland” construído (m)	0,80
Altura do substrato (m)	0,60
Largura (m)	1,0
Comprimento (m)	10,0
Área unitária disponível (m ²)	10,0
Coefficiente de uniformidade (d ₆₀ /d ₁₀) do substrato	2,4 e 3,2
Granulometria do substrato (mm)	2,88 - 4,8

A alimentação do sistema foi efetuada continuamente. O efluente proveniente do reator UASB era armazenado numa caixa de 100 L de capacidade, de onde o efluente era bombeado através de bomba peristáltica. As características do efluente do reator UASB, durante todo o período de operação, estão apresentadas na Tabela 3. As vazões eram controladas no início e no final do dia; por outro lado, o afluente do sistema “wetlands” escoava de forma subsuperficial, com vazão diferenciada para cada “wetlands”. A carga hidráulica aplicada variou de 2,3 a 4,5 cm dia⁻¹,

mas o “wetlands” 3 foi alimentado com a mesma carga do “wetlands” 0, tido como o controle dos sistemas.

Tabela 3. Características do efluente UASB durante o período de operação

Parâmetros	Fase	n*	Valores Médios	Desvio-Padrão	Coefficiente de Variação (%)
pH	1 ^a	10	6,8	0,1	1,7
	2 ^a	10	6,9	0,2	1,7
DQO (mg L ⁻¹)	1 ^a	20	289	103	36
	2 ^a	20	310	79	25
Nitrogênio Total (mg NTK L ⁻¹)	1 ^a	10	57,5	12,5	21
	2 ^a	09	59,9	14	24
N-amoniaco (mg N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹)	1 ^a	10	42,5	8,8	20
	2 ^a	09	45,2	6,7	15
Fósforo (mg P L ⁻¹)	1 ^a	12	5,3	1,6	30
	2 ^a	14	7,2	1,2	16
CE (dS m ⁻¹)	1 ^a	08	1,7	0,2	12
	2 ^a	05	1,7	0,1	10

*n: número de determinações

As amostras para determinação de DQO e pH foram coletadas com frequência semanal, porém as formas de nitrogênio, fósforo, sólidos e condutividade elétrica foram determinadas, após as doze semanas do início da operação, com frequência de duas vezes por semana, durante a primeira e a segunda fases.

Os parâmetros analisados durante o monitoramento foram: temperatura, pH, condutividade elétrica, DQO, N-NH₄⁺, NTK e fósforo total; com exceção das três primeiras determinações, as demais seguiram métodos de análise descritos pelo APHA (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condições de operação do sistema

O reator UASB foi monitorado com tempo de detenção hidráulica de apenas 3 h (0,125 dia) e o efluente produzido era dividido para os quatro “wetlands”, com vazões diferenciadas; conseqüentemente, com tempo de detenção hidráulica variando de 5 a 10 dias. A carga aplicada de DQO, de fósforo e das formas de nitrogênio durante o monitoramento dos quatro sistemas “wetlands” está apresentada na Tabela 4.

Os resultados obtidos durante o monitoramento do efluente do reator UASB e dos efluentes dos quatro sistemas “wetlands” estão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 4. Vazão, tempo de detenção hidráulica e carga aplicada durante o período experimental

Parâmetros	Efluente do “Wetland”				
	0	1	2	3	
Carga Hidráulica Média (cm dia ⁻¹)	2,3	4,50	3,30	2,30	
TDH médio (dia)	10	5,00	7,00	10,00	
Carga Aplicada (g DQO m ⁻² dia ⁻¹)	1 ^a fase	6,58	13,17	9,16	6,58
	2 ^a fase	7,06	14,12	10,10	7,06
Carga Aplicada (g NTK m ⁻² dia ⁻¹)	1 ^a fase	1,31	2,62	1,87	1,31
	2 ^a fase	1,33	2,67	1,91	1,33
Carga Aplicada (g P m ⁻² dia ⁻¹)	1 ^a fase	0,12	0,25	0,18	0,12
	2 ^a fase	0,14	0,29	0,21	0,14

Tabela 5. Concentração média dos parâmetros monitorados durante o período experimental

Parâmetros	Efluente UASB	Efluente do “Wetlands”									
		0		1		2		3			
		Fase	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	
DQO (mg L ⁻¹)		282,0	310,0	78,0	80,0	54,0	65,0	45,0	59,0	46,0	50,0
Nitrogênio Total (mg NTK L ⁻¹)		57,5	59,9	42,2	40,1	23,5	21,0	23,8	20,7	13,8	7,6
N-amoniaco (mg N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹)		42,5	45,2	35,4	35,5	20,5	18,8	20,8	18,5	11,0	6,1
Fósforo (mg P L ⁻¹)		5,3	7,2	2,5	3,6	0,6	1,55	0,6	1,15	0,0	0,0

Tabela 6. Percentagem média de remoção dos parâmetros monitorados durante o período experimental

Parâmetros	“Wetlands”								
	0		1		2		3		
	Fase	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a
DQO (mg L ⁻¹)		76	74	81	79	84	81	84	84
Nitrogênio Total (mg NTK L ⁻¹)		27	31	59	65	59	65	76	87
N-amoniaco (mg N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹)		17	27	52	58	51	59	74	86
Fósforo (mg P L ⁻¹)		53	50	88	78	88	84	99,9	100

Matéria orgânica

Observando-se a Figura 2, verifica-se que a DQO efluente dos quatro “wetlands” se manteve na média de 78 a 45 mg L⁻¹, durante a primeira fase de operação.

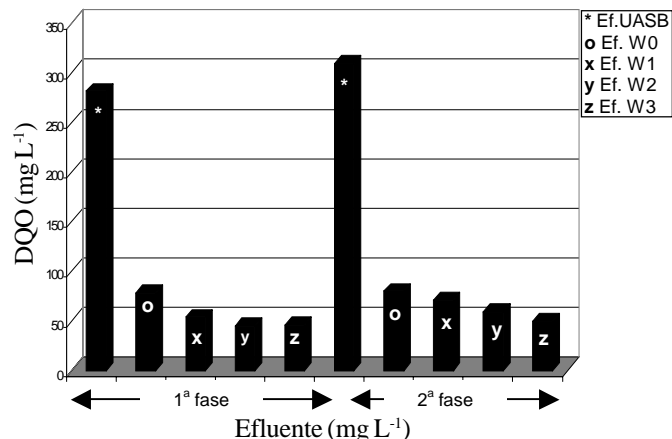


Figura 2. Valores efluentes das concentrações de DQO durante o período de operação dos sistemas “wetlands”, à temperatura variando de 19° a 33° C

Conforme os dados médios apresentados nas Tabelas 5 e 6, o aumento da carga hidráulica aplicada não interferiu na qualidade do efluente produzido pelos sistemas. Concluiu-se, então, que os sistemas “wetlands” estavam subcarregados de matéria orgânica e que removeram todo o material biodegradável. Valores de DQO abaixo de 50 mg L⁻¹ nos “wetlands” 2 e 3 (Figura 2) estão na faixa recomendada para descargas em corpos de água (Mendonça, 1990).

As eficiências de cada sistema “wetlands” foram um tanto similar, muito embora o controle (“wetlands” 0) tenha produzido efluente com maior concentração de material orgânico entendendo-se, portanto, que a presença de macrófitas nos sistemas pouco influenciou na remoção de matéria orgânica, enquanto que na segunda fase houve um aumento de 10% na carga orgânica aplicada e o efluente produzido nos “wetlands” 0 e 1 manteve-se com maior concentração de material orgânico, quando comparado com o da primeira fase (Tabela 5).

A eficiência de remoção, em termos de DQO, durante o período experimental, variou de 79 a 84% nos três “wetlands” vegetados, (Tabela 6). Sistemas de “wetlands” construídos utilizando cascalhos como substrato, com três diferentes macrófitas, foram estudados por Marques (1999) que obteve remoção, em termos de DBO₅, de 74 a 96%, cujos dados confirmam a eficiência na remoção de material orgânico.

Nitrogênio

As principais transformações com composto de nitrogênio são: assimilação, amonificação, fixação, nitrificação e desnitrificação. Inicialmente, ocorre a amonificação, que é a transformação da matéria orgânica nitrogenada dissolvida ou particulada, mediada por organismos heterótrofos, provavelmente ocorrida no reator UASB (Tabela 5); as demais transformações ocorreram nos sistemas “wetlands”.

Neste sentido, as Figuras 3 e 4 apresentam o comportamento das concentrações de nitrogênio total Kjeldhal (NTK) e nitrogênio amoniacal, respectivamente. Observando-se a Figura 3,

verifica-se que houve remoção de NTK em todos os sistemas “wetlands”, durante a primeira fase de operação, mas a remoção no “wetlands” 0 foi de apenas 27% na 1ª fase e de 31% na 2ª fase, de acordo com a Tabela 6. Entende-se, portanto, que esta remoção se deve apenas ao processo assimilatório das bactérias presentes no biofilme do substrato, na incorporação de N-NH₄⁺ na estrutura fisiológica celular bacteriana; já na segunda fase de operação, o efluente produzido no “wetlands” 3 manteve-se na média de 6,0 mg L⁻¹ de nitrogênio na forma de amônia, (Figura 4). Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 20, de 1986, o valor máximo admissível para N - NH₄⁺ é de 5,0 mg N L⁻¹, porém Reis & Mendonça (1998) asseguram que este valor-limite estabelecido para o efluente é muito rigoroso, sobretudo para pH do corpo d’água mais ou menos neutro.

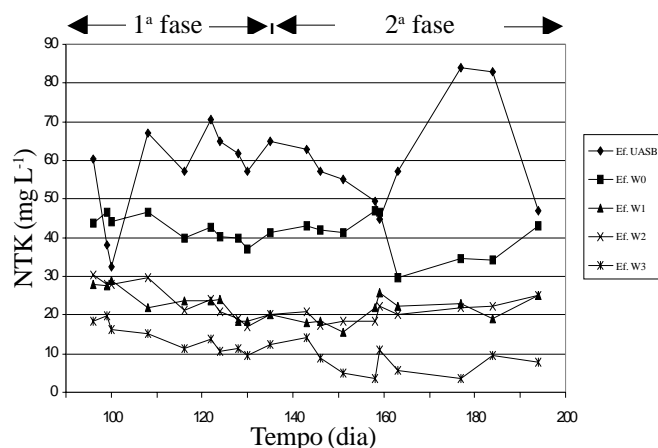


Figura 3. Valores efluentes das concentrações de nitrogênio total durante o período de operação dos sistemas “wetlands”, a temperatura variando de 19° a 33° C

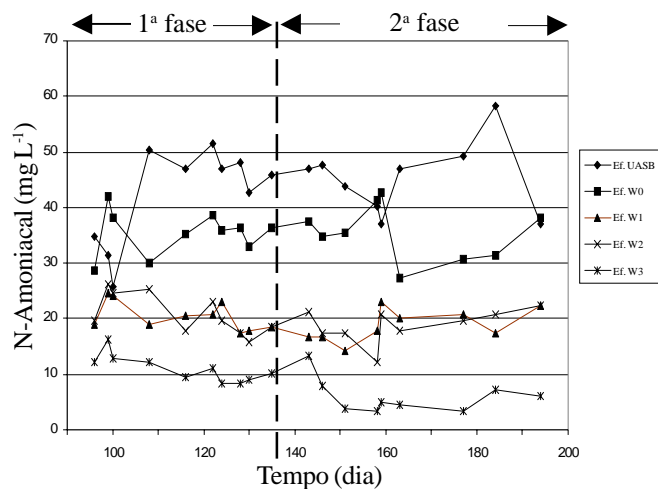


Figura 4. Valores efluentes das concentrações de nitrogênio amoniacal durante o período de operação dos sistemas “wetlands”, a temperatura variando de 19° a 33° C

Conclui-se, então, que, a conversão do nitrogênio amoniacal nos três “wetlands” se deve principalmente a dois fatores básicos: processo assimilatório de microrganismos e macrófitas presentes nos sistemas e nitrificação devido à provável transferência de oxigênio do ar atmosférico pelas folhas das macrófitas aquáticas que, através do aerenquima, permite a distribuição do oxigênio para os rizomas e raízes das plantas (Cooper et al., 1996).

Fósforo

O fósforo presente nas águas residuárias, quer seja na forma iônica ou complexada, encontra-se, geralmente, como fosfato e sua remoção por disposição dos esgotos em "wetlands" é controlada pelos processos biótico e abiótico (Reddy & D'Angelo, 1997).

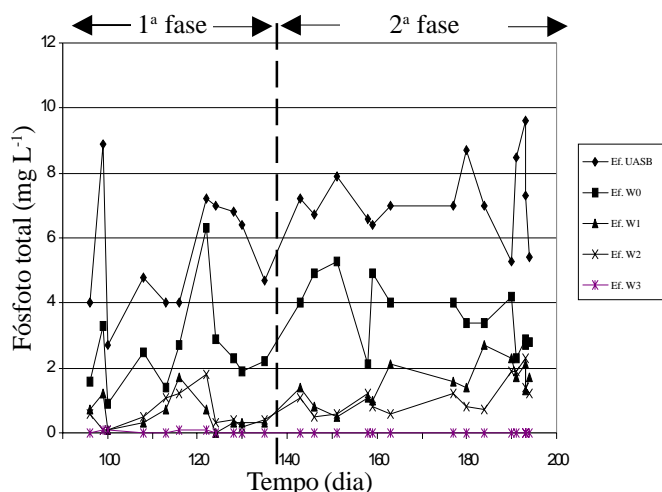


Figura 5. Valores efluentes das concentrações de Fósforo Total durante o período de operação dos sistemas "wetlands", à temperatura variando de 19° a 33°C

A percentagem média de remoção de fosfato na forma de fósforo total, durante o período de monitoramento dos sistemas "wetlands", está apresentada na Tabela 6, se observa que a remoção no "wetlands" 0 se manteve em torno de 50%; no entanto, à medida que aumentava o tempo de detenção hidráulica, aumentava também a eficiência de remoção dos sistemas vegetados (Figura 6). O "wetlands" 3, com carga hidráulica de 2,3 cm dia⁻¹, teve eficiência total na remoção de fósforo (100%).

Sousa et al. (1998) ao estudarem um "wetlands" natural com área de 110 m² e profundidade média de 0,60 m, constituído de macrófitas (*Typha sp* e *Eichhornia crassipes*) alimentado com esgotos sanitários (6,6 cm dia⁻¹), constataram remoção de fósforo total de apenas 66%. Sistema "wetlands" construído, contendo 70% de areia e 30% de solo como substratos, foi operado com esgotos sanitários com carga hidráulica de 5 cm dia⁻¹ e a eficiência de remoção de fósforo total variou de 28 a 41% (Juwarkar et al., 1995).

Os resultados de remoção de fósforo obtidos (Figura 6), superaram todas as eficiências observadas em sistemas similares (Thomas et al., 1995; Juwarkar et al., 1995); assim, entende-se que a total remoção observada se deve à utilização de fósforo por vegetais, perfitos e microrganismos, sedimentação, adsorção, precipitação e processos de troca entre o substrato e a camada de água que se mantém no sistema (Reddy & D'Angelo, 1997).

CONCLUSÕES

1. Os sistemas "wetlands" funcionaram de forma satisfatória; durante as vinte e seis semanas de operação dos sistemas. A eficiência de remoção de matéria orgânica (DQO) variou de 79 a 84%, enquanto que para nitrogênio total e fósforo essa percentagem foi de 76 a 87 % e de 78 a 100% portanto, pode-se considerá-los eficientes no pós-tratamento de esgotos sanitários pré-tratados anaerobiamente.

2. A maior eficiência de remoção, tanto de matéria orgânica quanto de nutrientes, ocorreu no "wetlands" que foi monitorado com menor carga hidráulica (2,3 cm dia⁻¹).

3. Nas condições do experimento, o sistema "wetlands" foi capaz de remover fósforo com eficiência de 100% e produzir efluente com 6,1 mg N L⁻¹ de nitrogênio amoniacal (NH₃ + NH₄⁺); já o ecossistema "wetlands" se comporta como alternativa viável, no pós-tratamento de esgotos sanitários, proveniente de reator UASB.

4. Macrófitas do gênero *Juncus sp.* apresentaram-se capazes de remover nitrogênio e fósforo de efluente pré-tratado anaerobiamente.

AGRADECIMENTOS

A investigação experimental foi realizada com apoio do Governo Federal, através da FINEP (PROSAB) e do CNPq e o trabalho foi realizado nas dependências da CAGEPA (Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba) em Campina Grande, PB. Os autores agradecem todo o apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. AWWA. WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 15 ed. Washington, D.C.: American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1995, 1134p.
- BRASIL. Leis, Decretos, etc. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. In.: Diário Oficial da União. Distrito Federal, jul. 1986.
- COOPER, P.F.; GREEN, M.D.; SHUTES, R.B.E. Reed beds and constructed "wetlands" for wastewater treatment. Buckinghamshire: WRC Publications, 1996, 206p.
- CRITES, R.W. Design criteria and practice for constructed wetlands, Water Science Technology, London, v. 29, n. 4, p. 1 - 6, 1994.
- JUWARKAR, A.S.; OKE, B.; JUWARKAR, A.; PATNAIK, S.M. Domestic wastewater treatment through constructed wetland in India. Water Science Technology, London, v. 32, 3, p. 291 - 294, 1995.
- MARQUES, D. de M. Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial. In.: CAMPOS, J.R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e dispersão controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. 405p., cap. 15, p. 409 - 435.
- MENDONÇA, S.R. Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: Novos conceitos. João Pessoa, UFPB, 1990. 388p.
- REDDY, K.R.; D'ANGELO, E.M. Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands, Water Science Technology, London, v. 35, n. 5, p. 1 - 10, 1997.
- REIS, J.A.T. dos; MENDONÇA, A.S.F. Análise dos padrões para compostos amoniacais segundo a resolução CONAMA 20/86. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 3, n. 3 e 4, p.146-154, jul./dez. 1998.
- SOUSA, J.T. de; OLIVEIRA, J.E.G. de; FLORENTINO, E.R.; GUIMARÃES, A. V.A. Remoção de fósforo através de sistema wetland In.: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 26, 1998. CD Rom, Lima: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitária y Ambiental, Lima - Peru: 1998, p. 1 - 8.
- THOMAS, P.R.; GLOVER, P.; KALAROOPAN, T. An evaluation of pollutant removal from secondary treated sewage effluent using a constructed "wetland" system. Water Science Technology, London, vol. 32, n. 3, p.87 - 93, 1995.