



II-392 - AVALIAÇÃO DE WETLANDS SUBSUPERFICIAIS COMO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE REATORES UASB

Filipe Lima Dornelas

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Analista Ambiental do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

André Cordeiro De Paoli

Engenheiro Ambiental. Especialista em engenharia sanitária. Mestrando em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Marcos von Sperling⁽¹⁾:

Engenheiro civil. Doutor pelo Imperial College – Londres. Professor titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Av. do Contorno, nº 842 – 7º andar – Centro – Belo Horizonte – MG – Brasil – CEP 30.110-060– Tel: (31) 3409-1935 e-mail: (marcos@desa.ufmg.br; filipedornelas@yahoo.com.br; cordeiropaoli@yahoo.com.br)

RESUMO

Um sistema composto por um reator anaeróbio do tipo UASB seguido de duas wetlands horizontais de fluxo subsuperficial construídas em paralelo foi avaliado para o tratamento em escala de demonstração de águas residuárias geradas na cidade de Belo Horizonte, Brasil (50 habitantes para cada unidade). Uma unidade foi plantada com taboas (*Typha latifolia*) e a outra não foi vegetada. Amostras do esgoto bruto, do efluente do reator UASB e do efluente das unidades de wetlands foram coletadas por um período de vinte meses. O efluente final apresentou excelente qualidade em termos de matéria orgânica e sólidos suspensos, mas o sistema apresentou baixa capacidade de remoção de nutrientes. Valores médios de concentração efluente para as unidades plantadas e não plantadas foram, respectivamente: DBO: 15 e 17 mg/L; DQO: 43 e 52 mg/L; SST: 6 e 4 mg/L; NT: 29 e 32 mg/L; P Total: 1,9 e 1,9 mg/L; *E. coli*: $1,5 \times 10^5$ e $5,1 \times 10^5$ NPM/100 mL. A wetland plantada apresentou concentrações efluentes e eficiências de remoção significativamente (Wilcoxon matched-pairs test) melhores em relação à unidade não plantada para a DQO, NT e *E. coli*. O presente estudo mostrou que wetlands horizontais de fluxo subsuperficial construídas podem efetivamente tratar o efluente de reatores anaeróbios.

PALAVRAS-CHAVE: Wetlands subsuperficiais, UASB, águas residuárias, nutrientes, matéria orgânica, *Typha latifolia*.

INTRODUÇÃO

Em função da rápida e crescente urbanização e da necessidade de opções adequadas de tratamento de águas residuárias e de baixo custo, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), sendo uma tecnologia amplamente estudada, mostram-se como uma opção apropriada para o tratamento de efluentes domésticos em países tropicais em desenvolvimento (STEEN *et al.*, 1999; CHERNICHARO, 2007). Rijs e Veenstra (1990) reportam sobre as vantagens do reator UASB na produção de biogás, no baixo consumo energético e na baixa produção de lodo. As desvantagens dos reatores UASB são a necessidade adicional de tratamento para o polimento e para redução da carga de poluição no efluente.

Neste sentido, uma das tecnologias mais promissoras para o pós-tratamento de águas residuárias pré-tratadas anaerobiamente, e que podem ser aplicadas a países em desenvolvimento como o Brasil, é o sistema de wetlands construídas.

Wetlands naturais são ecossistemas onde o terreno encontra-se saturado e submerso em água por tempo suficiente para manter a sobrevivência de uma comunidade vegetal. Os pântanos, mangues e brejos são exemplos naturais de wetlands. Uma wetland construída (WC) é aquela cuja finalidade específica é o controle da poluição e o manejo de resíduos em um local diferente de onde existe uma wetland natural (USEPA, 1993). Comparado com sistemas de tratamento convencionais, as wetlands construídas são de baixo custo, de fácil



operação e manutenção, e têm um grande potencial para aplicação em países em desenvolvimento, particularmente em pequenas comunidades rurais (KIVAISI, 2001).

Dentre as wetlands construídas destacam-se as wetlands horizontais de fluxo subsuperficial, largamente aplicadas e que potencialmente promovem tratamento satisfatório, quando dimensionadas corretamente e se utilizam materiais adequados para sua construção e operação. No entanto, são necessárias mais pesquisas a respeito dessa tecnologia, já que ainda existem várias lacunas no que diz respeito ao conhecimento de seu funcionamento para, assim, prover os engenheiros de modelos e detalhes mais previsíveis.

Para este propósito, foram construídas unidades de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de um reator UASB na Estação Experimental da ETE Arrudas, na cidade de Belo Horizonte - MG. Ambas foram preenchidas com escória de alto forno e tratavam uma vazão equivalente a uma população de 50 habitantes cada.

Este trabalho descreve a análise da utilização de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de um reator UASB, comparando o desempenho de uma unidade plantada (*Typha latifolia*) e outra não plantada na remoção dos principais parâmetros de qualidade de águas residuárias municipais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Duas wetlands horizontais subsuperficiais foram construídas como pós-tratamento de efluentes de um reator UASB na Estação Experimental pertencente ao CePTS (Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento – UFMG/Copasa), localizada na ETE Arrudas nas coordenadas geográficas de 19°53'42" S e 43°52'42" O, no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Ambas foram preenchidas com escória de alto forno, com granulometria semelhante à da brita #1, e tratavam uma vazão equivalente a uma população de 50 habitantes cada.

As unidades de tratamento, dispostas em paralelo, recebiam a vazão de 7,5 m³/d cada, de forma contínua através de uma tubulação perfurada de PVC, disposta perpendicularmente ao fluxo no interior das wetlands. Uma das unidades (WP) foi plantada com taboa (*Typha latifolia*) sendo a outra (WNP) mantida sem plantas, como controle do experimento. As características operacionais para cada unidade de wetland horizontal subsuperficial são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características operacionais para cada unidade de wetland horizontal

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Valor
Altura total dos leitos	H	m	0,4
Altura do líquido nos leitos (altura útil)	H _{liq}	m	0,3
Comprimento	C	m	24,1
Largura no topo	L	m	3,0
Inclinação longitudinal do fundo	I	%	0,5
Volume total de escória em cada leito		m ³	28,9
Volume útil de escória em cada leito		m ³	21,7
Área superficial	AS	m ²	72,3
Vazão afluente	Q	m ³ .d ⁻¹	7,5
Taxa de aplicação hidráulica superficial	TAH	m ³ .m ⁻² .d ⁻¹	0,12
Tempo de detenção hidráulica (=V/Q)	TDH	d	3,3
Tempo de detenção hidráulica real (=V.porosidade/Q)	TDHr	d	1,2

A FIG. 1 representa a vista geral em planta do sistema de wetlands horizontais subsuperficiais operadas na ETE Experimental.

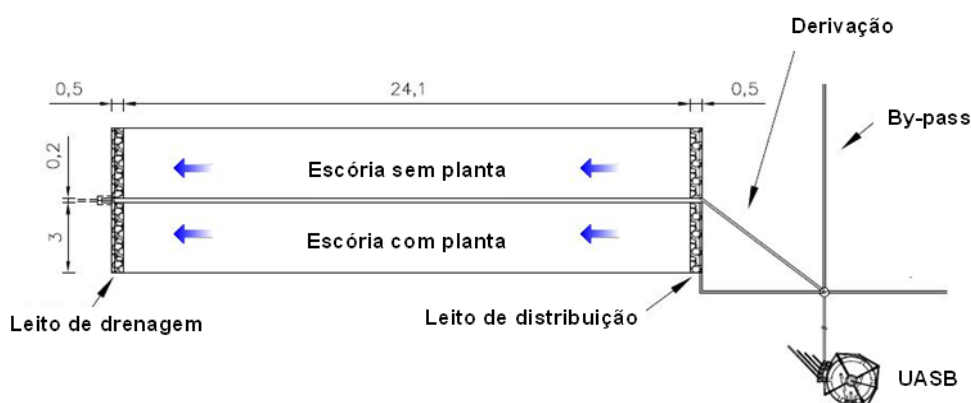


FIGURA 1: Planta do sistema de *wetlands* horizontais subsuperficiais

O período do experimento, no que diz respeito à análise da qualidade dos efluentes, foi de setembro de 2007 a abril de 2009. As coletas eram realizadas uma vez a cada semana, entre 09 e 11 horas da manhã. As amostras de efluentes eram coletadas no canal de esgoto bruto (amostras compostas) da ETE Arrudas, na tubulação da saída do reator UASB (amostras simples) e no poço de visita na saída de cada *wetland* (amostras simples).

As análises dos parâmetros de qualidade dos efluentes foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-químicas e no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, DESA-UFGM. Para o presente trabalho, os seguintes parâmetros físico-químicos foram avaliados nas amostras dos efluentes: DQO total, DBO₅ total, sólidos em suspensão totais, nitrogênio total, fósforo total, *E. coli*.

As análises dos parâmetros físico-químicos foram realizadas de acordo com os procedimentos constantes no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 1998). Para *E. coli*, adotou-se o método do Colilert (técnica cromogênica) que utiliza a tecnologia de substrato definido (Defined Substrate Technology).

A análise estatística dos dados para comparar o desempenho entre as unidades de *wetlands* subsuperficiais plantada e não plantada foi feita utilizando o teste não paramétrico entre variáveis dependentes (amostras pareadas) de Wilcoxon a 5% de nível de significância, empregando o software *Statística*.

RESULTADOS

Como mencionado, a amostragem iniciou-se em setembro de 2007, dois meses após o plantio da taboa, e finalizou-se em abril de 2009. Os resultados obtidos para as amostras analisadas no período do experimento estão apresentados na Tabela 2, evidenciando os valores de média aritmética e desvio padrão. O número de dados (n) para cada parâmetro analisado foi de 60, 23, 60, 55, 50 e 17 para DQO, DBO, SST, NT, PT, *E. coli*, respectivamente.

TABELA 2: Concentração média e desvio padrão dos parâmetros de qualidade do efluente.

Parâmetros	Esgoto Bruto		UASB		WP		WNP	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
DQO	418	124	135	45	43	16	52	28
DBO	173	69	42	17	15	8	17	9
SST	209	128	35	18	6	4	4	4
N Total	35	7	34	8	29	9	32	10
P Total	2,0	0,7	3,0	2,3	1,9	1,8	1,9	1,5
<i>E. coli</i>	1,7x10 ⁸	1,8x10 ⁸	5,7x 10 ⁶	3,2x10 ⁶	1,5x10 ⁵	1,6x10 ⁵	5,1x10 ⁵	5,7x10 ⁵

Para todos os parâmetros a unidade adotada é mg/L, com exceção de *E. coli* - NMP/100mL.



As eficiências médias para cada unidade de tratamento e as eficiências globais para os sistemas que englobam a unidade de *wetland* plantada e não plantada são mostradas na TAB. 3. Sabe-se que, devido à evapotranspiração, as eficiências de wetlands devem ser calculadas com base na carga (vazão x concentração) removida, e não apenas com base na concentração, uma vez que a vazão efluente é menor, o que faz com que o efluente saia mais concentrado. No entanto, para o presente trabalho não havia medições consistentes da vazão efluente, o que faz com que a Tabela 3 reporte apenas as eficiências com base na concentração removida.

TABELA 3 - Eficiências médias de remoção (%).

Parâmetros	UASB	WP	WNP	Global WP	Global WNP
DQO	68	68	61	90	88
DBO₅	76	63	60	91	90
SST	83	84	88	97	98
N total	2	14	6	16	8
P total	-50	35	35	5	5
<i>E. coli</i>	97	97	91	99,9	99,7

Deve ser levado em consideração o ótimo desempenho do reator UASB, principalmente no que diz respeito à eficiência de remoção de matéria orgânica (DBO₅ e DQO) e sólidos em suspensão totais, atingindo para tais parâmetros respectivamente os valores de 42 mg/L, 135 mg/L e 35 mg/L no efluente tratado anaerobiamente.

Os resultados obtidos revelam que o reator UASB utilizado no experimento possui eficiências de remoção próximas às obtidas pelas unidades de *wetlands*, principalmente em termos de remoção de matéria orgânica, fornecendo reduzidas concentrações de DBO₅ e DQO (Tabela 3) para as unidades de tratamento subseqüentes. Tal fato se repete para SST, embora, eventualmente haja a liberação pelo reator anaeróbio do lodo biológico entre carreiras de descarte do mesmo.

Com relação à eficiência global dos sistemas UASB+*wetland* plantada e UASB+*wetland* não plantada são revelados excelentes resultados em termos de remoção de matéria orgânica, atingindo para DBO₅ e DQO valores respectivamente de 91 e 90 % (WP) e 90 e 88 % (WNP). O mesmo ocorre para as duas combinações em termos de remoção de SST, produzindo efluentes finais com excelentes características (Global WP – 97% e 6 mg/L; Global WNP – 98% e 4 mg/L).

Para os nutrientes N e P, as eficiências de remoção não são expressivas, sendo que, para o nitrogênio, apenas a *wetland* plantada apresentou resultados de remoção efetiva (NT – 14%). Quanto à eficiência global do sistema UASB+*wetland* plantada, a eficiência média alcançada foi de 16%. Embora ocorra remoção de PT nas unidades de *wetlands*, deve-se ressaltar que suas concentrações no esgoto bruto são bastante reduzidas. Da mesma forma, quando são avaliados os resultados em termos de eficiência global, as eficiências para PT atingem 5% para ambas as linhas.

Através do teste não paramétrico entre variáveis dependentes (amostras pareadas) Wilcoxon a 5% de nível de significância foi constatado que os seguintes parâmetros, em termos de concentração final efluente, apresentaram diferença significativa entre a unidade plantada e o controle sem planta, com melhor desempenho para a *wetland* vegetada: DQO, NT e *E. coli*. Para o parâmetro SST, o melhor desempenho foi significativo para a unidade controle. Não houve diferença significativa no que diz respeito à concentração final de DBO e PT entre as unidades.

A Figura 2 apresenta os gráficos Box-plot das concentrações dos efluentes do reator UASB, *wetland* plantada (WP) e *wetland* não plantada (WNP) para DBO, DQO, SST, PT, NT e *E. coli*.

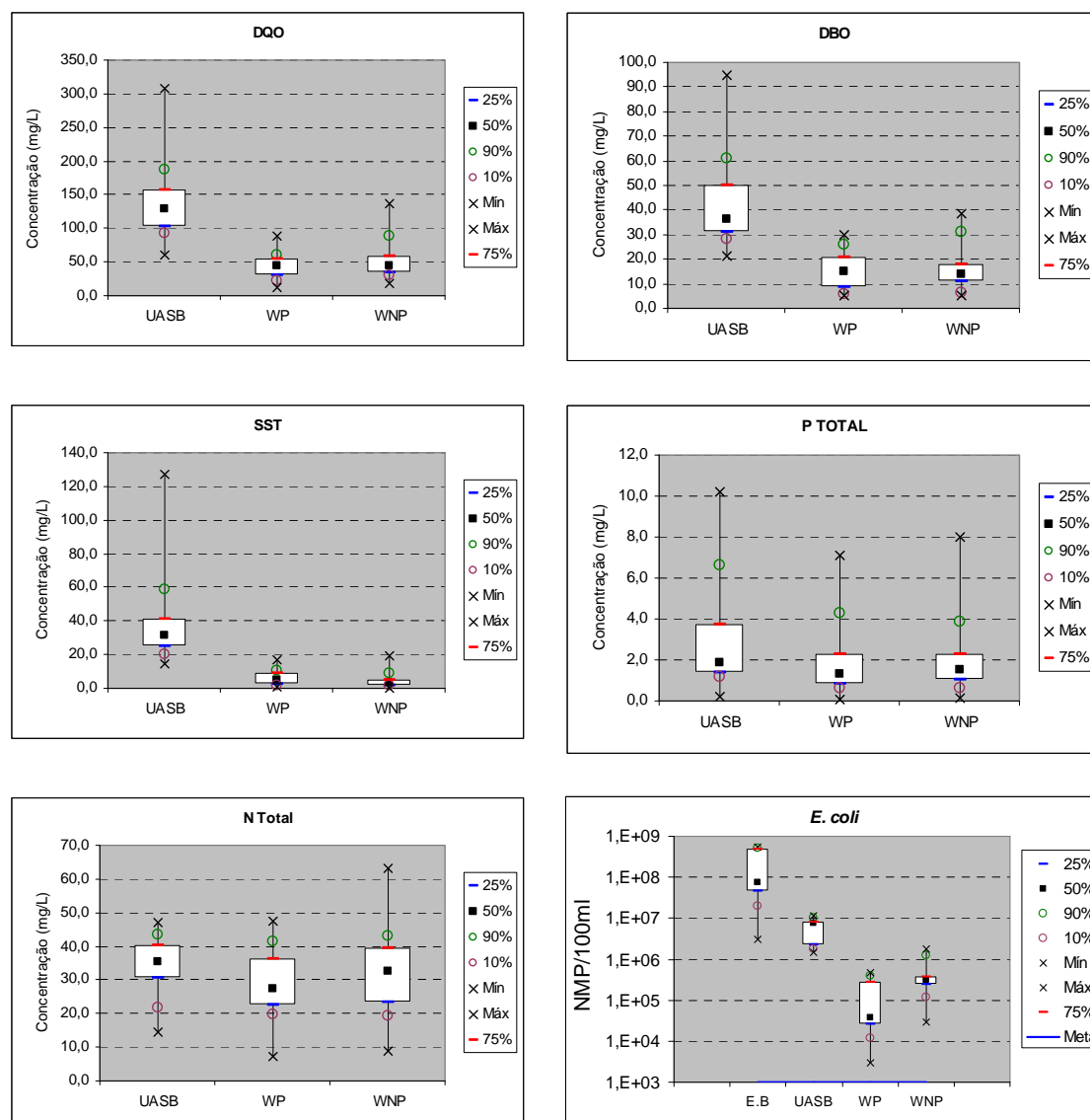


Figura 2: Concentrações efluentes de DBO, DQO, SST, NT, PT e *E. coli* do reator UASB, wetland plantada e wetland não plantada.

Observa-se a grande redução na concentração efluente, principalmente para sólidos em suspensão. Para DBO, a ausência de diferença estatística entre as duas unidades de tratamento pode ser explicada pelo aporte de matéria orgânica no efluente em tratamento através dos restos da cultura dispostos na superfície do leito de escória na WP. Periodicamente eram realizadas podas na cultura de taboa, totalizando 3 durante os 20 meses de monitoramento, e uma substancial quantidade de restos das plantas permanecia na superfície do leito. Através de eventos pluviométricos, parte da matéria orgânica retornava ao efluente, alterando sua qualidade.

De toda forma, todos os valores das concentrações efluentes de DQO, DBO e SST cumpriram, sistematicamente, com os padrões de lançamento do Estado de Minas Gerais (Resolução COPAM/CERH 01/2008; DQO: 180 mg/L; DBO: 60 mg/L; SS: 100 mg/L).

Para os nutrientes (NT e PT), as eficiências de remoção não foram expressivas, sendo que para o nitrogênio total apenas a wetland plantada apresentou resultado efetivo, embora reduzido, mas com diferença estatística entre as unidades, com melhor desempenho para a WP. Tal fato pode ser explicado pela assimilação considerável da cultura de taboa, principalmente após as podas no período de retomada de crescimento dos espécimes.



A poda das macrófitas era realizada sempre que a planta atingia a maturação, ou seja, emitisse flores, o que ocorreu em média a cada 5 meses. Entretanto, o intervalo de tempo entre uma das podas foi de aproximadamente 9 meses, o que refletiu consideravelmente na perda gradual de eficiência da WP, principalmente em termos de nitrogênio. O NT efluente do sistema plantado chegou, nos períodos mais críticos, a ser maior do que o afluente, colaborando negativamente para a eficiência média de remoção.

Em relação ao fósforo total, as duas wetlands apresentaram remoções semelhantes estatisticamente, 37% para ambas as unidades. No entanto, deve-se destacar que as concentrações de fósforo afluentes às unidades de wetlands já eram bastante baixas. Deve-se levar em conta que a escória de alto forno utilizada como meio filtrante apresenta reconhecida capacidade de adsorção de espécies de fósforo, o que poderia equilibrar as concentrações efluentes desse parâmetro e as eficiências alcançadas pelas duas unidades.

As wetlands apresentaram remoções de 1–2 unidades logarítmicas para *E. coli*, com melhor desempenho para a unidade plantada. Estes resultados são coerentes com a literatura, uma vez que se reconhece que as wetlands não são especialmente eficientes na remoção de coliformes. Além disso, o reduzido tempo de detenção hidráulica (TDH ~ 1,2 d) corrobora com esses resultados.

É importante ressaltar que há considerável perda de água por evapotranspiração na WP e evaporação na WNP, com valores médios de 42% e 22%, respectivamente, sendo registradas perdas de até 60% para a WP. Essa perda de água para a atmosfera reduz o seu nível no leito, que por consequência, proporciona a concentração dos poluentes na água residuária em tratamento. Esse fato subestima a eficiência de remoção das duas wetlands estudadas, com ênfase para a WP, uma vez que a análise foi baseada em valores afluentes e efluentes de concentração e não de carga.

CONCLUSÕES

De maneira geral o desempenho dos dois sistemas de wetlands foi amplamente satisfatório, principalmente para remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, e menos importante para os nutrientes. Sabendo-se da simplicidade desses sistemas, com ausência de mecanização e de consumo de energia, ressalta-se a importância desta alternativa para países em desenvolvimento e regiões de clima quente. Este comentário está de acordo com Souza *et al* (2005), que investigou sistema semelhante (UASB + wetland), e confirmou seu potencial para fornecimento de efluente para fertirrigação restrita.

Diversas publicações comparam wetlands horizontais subsuperficiais plantadas e não plantadas, relatando conclusões conflitantes sobre a real contribuição das macrófitas. Na pesquisa em questão, apesar da unidade plantada ter apresentado melhor desempenho para remoção de alguns constituintes, deve-se ser cauteloso para afirmar sobre a necessidade ou não das macrófitas. O monitoramento por um período de tempo mais longo, além de outras análises mais específicas, como a caracterização do desenvolvimento das plantas e do estudo hidrodinâmico, associados a aspectos operacionais e de manejo do sistema, podem fornecer importantes subsídios sobre essa questão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das seguintes instituições: FAPEMIG, CNPq, PROSAB/FINEP, FUNASA e COPASA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington: APHA, 1998.
2. CHERNICHARO, C. A. L. *Anaerobic reactors. Biological wastewater treatment series*. IWA Publishing, London, v. 4175, 2007.
3. KIVAISI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*, v. 16, p. 545–560, 2001.
4. MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento,



- bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais –COPAM e Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH, 2008.
5. RIJS, G.; VEENTRA, S. *Artificial reed beds as post treatment for anaerobic effluents—urban sanitation in developing countries*. The Netherlands: Institute for Inland Water Management and Wastewater Treatment; 1990.
 6. SOUZA, J.T., VAN HAANDEL, A.C., CAVALCANTI, P.F.F., FIGUEIREDO, A.M.F. Tratamento de esgotos para uso na agricultura do semi-árido nordestino. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 3, pp. 260-265, 2005.
 7. STEEN P.; BRENNER A.; BUUREN J.; ORON G. Post treatment of UASB reactor effluent in an integrated duckweed and stabilisation pond system. *Water Research*, v. 6, n. 3, p. 615–20, 1999.
 8. USEPA (1993). *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A technology assessment*. United States Environmental Protection Agency. 87 p.