

II-051 - WETLANDS CONSTRUÍDOS SEQUENCIAIS DE FLUXOS HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL + LIVRE ALTERNADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES URBANOS

Gustavo Stolzenberg Colares⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista – Mestrando em Tecnologia Ambiental – PPGTA – UNISC-RS. Bolsista do Programa BIPSS - Bolsas Institucionais para Programas de Pós-Graduação da Universidade de Santa Cruz do Sul, RS, Edital 01/2017

Tamara Bianca Horn⁽²⁾

Bióloga, Mestre em Tecnologia Ambiental – PPGTA-UNISC-RS

Fagner Pereira da Silva⁽³⁾

Engenheiro Ambiental – Pesquisador do Grupo de Ciência e Tecnologia Ambiental GCTA - UNISC/RS.

Lourdes Teresinha Kist⁽⁴⁾

Doutora em Química – UFSC. Professora do PPGTA-UNISC-RS

Ênio Leandro Machado⁽⁵⁾

Doutor em Engenharia – UFRGS. Professor do PPGTA-UNISC-RS

Endereço⁽¹⁾: Avenida Independência, 2293. Bairro Universitário. Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: (51) 3717-7545 - e-mail: gutuscs@hotmail.com

RESUMO

Neste trabalho foram investigadas a aplicação de duas configurações de *Wetlands* Construídos de fluxos mistos sequenciais em um total de três compartimentos, sendo que para a **Primeira Configuração** as caixas inicial e final de *wetlands* construídos foram de fluxo subsuperficial (**WCFSS**), tendo vegetação com *Hymenachne grumosa* (condições operacionais para o sistema em triplo estágio de 0,8 g Ptotal m² d⁻¹; 3,5 g N-NH₃ m² d⁻¹ para os agentes eutrofizantes). Já a intermediária apresentou fluxo superficial alternado e foi mantida por um período sem vegetação, cujos resultados serviram para atuar como o controle (testemunha). No período pós-poda da planta emergente, a caixa intermediária foi vegetada pela macrófita aquática submersa *Myriophyllum aquaticum*. A Segunda Configuração *grumosa* (condições operacionais para o sistema em triplo estágio de 0,11 g Ptotal m² d⁻¹; 2,4 g N-NH₃ m² d⁻¹ para os agentes eutrofizantes) foi com *Wetlands* Construídos de Fluxo Superficial com sistema Flotante - **WCFWS** – com a *Hymenachne grumosa*/*Lentilha D'água - lemna Sp.a*/*Alface d'água - Pistia stratiotes* + **WCFWS ALTERNADO** – com *Lentilha D'água - lemna Sp.a* + *Alface d'água - Pistia stratiotes* + *Wetlands* Construído de Fluxo Vertical Parcialmente Saturado **WCFV** – com a *Hymenachne grumosa*. Nas diferentes condições operacionais a Segunda Configuração foi mais efetiva para a remoção de nitrogênio amoniacal e fósforo total, embora tenha menor fator de carga e maior tempo de detenção.

PALAVRAS-CHAVE: *Wetlands* Construídos, Efluentes de Campus Universitário, *Hymenachne grumosa*, *Pistia stratiotes*, *Myriophyllum aquaticum*.

INTRODUÇÃO

Os chamados setores de serviços (*universidades*, escolas, centros de eventos, teatro, etc.) se distinguem por serem geradores de efluentes domésticos com potencial descarte de nitrogênio amoniacal, uma vez que o público temporário geralmente utiliza os sanitários mais como mictórios. Assim, o esgoto doméstico gerado em uma universidade, por exemplo, tende a ser pobre em matéria orgânica e rico em nitrogênio amoniacal. Em termos de quantidade, a geração de esgoto doméstico em uma universidade pode ser considerada tanto para a população temporária quanto para os funcionários, como sendo de 50 L pessoa⁻¹ d⁻¹, pois os funcionários se enquadrariam como funcionários de escritório conforme a NBR 7229 (ABNT, 1993)

Remediar este passivo com processos combinados com fossas/filtros biológicos e *wetlands* construídos (WCs) pode ser alternativa para conter ações eutrofizantes no tratamento de esgotos urbanos. De acordo com Wu et al. (2015), a potencialidade dos WCs para reduzir a eutrofização está ampliada nas diferentes configurações que estes sistemas vêm ganhando no seu desenvolvimento.

De acordo com sua hidrologia os WCs podem ser divididos em duas configurações (VYMAZAL, 2013): livres e subsuperficiais, considerando neste último caso os WCs de fluxo vertical e horizontal. Quando a configuração agrega diferentes estágios podem ser consideradas divisões quanto a sistemas híbridos (duplo estágio de vários sistemas em paralelo em série, como fluxo vertical-FV + fluxo horizontal subsuperficial-FHSS; superfície livre-FWS, do inglês *free water surface*, + FH), bem como, de múltiplos estágios que considerem mais do que três estágios sequenciais (KADLEC AND WALLACE, 2009). Por exemplo, WCs com aeração artificial+WCs compartimentados e sistema híbrido do tipo coluna com cascadeamento.

Condições operacionais dos WCs FWS incluem tempos de detenção entre 5-30 dias; profundidade entre 0,3-0,5 m e fatores de carga de 3g de DBO₅ m⁻² dia⁻¹ (PEDESCOLL et al., 2013).

Assim sendo, neste trabalho foram investigadas configurações de sistemas de WCs em múltiplos estágios e com fluxo contínuo (**WCFHSS** – com a *Hymenachne grumosa* + **WCFWS** – com *Myriophyllum aquaticum*+

WCFHSS – com a *Hymenachne grumosa*) em uma **primeira parte do estudo** (sendo no resumo expandido a que está apresentada de forma mais completa). Esta parte do trabalho é considerada concluída neste primeiro estágio quanto à concepção, montagem e operação. Em um segundo estágio está em desenvolvimento a combinação do sistema **WCFWS** – com a *Hymenachne grumosa*/*Lentilha D'água - lemna Sp.a*/*Alface d'agua - Pistia stratiotes* + **WCFWS ALTERNADO** – com *Lentilha D'água - lemna Sp.a* + *Alface d'agua - Pistia stratiotes* + **WCFV** – com a *Hymenachne grumosa*. Nesta etapa a partida foi feita, sendo o acompanhamento estabelecido para o controle da aclimação e crescimento das macrófitas, bem como, operacionalidade do sistema em batelada.

Os objetivos deste trabalho foram centrados em desenvolver unidade com aplicações para pequenas propriedades, com geração de equivalente populacional de DBO₅ de até 360 g dia⁻¹, para permitir que os efluentes tratados alcancem parâmetros de reuso classe 2 de acordo com a ABNT 13969 (1997).

METODOLOGIA

A unidade dos WCs para os estudos foi instalada na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), no Campus da UNISC – Universidade de Santa Cruz do Sul, RS. Os efluentes estudados foram bombeados a partir do tanque equalizador. A ETE em escala real foi constituída pelas seguintes etapas de tratamento: gradeamento, desarenador, tanque equalizador, reator anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB), biofiltro aerado, decantador e leito de secagem de lodo (Figura 1). A ETE opera com vazão máxima de 129,6 m³ dia⁻¹ e mínima de 57,6 m³ dia⁻¹ sendo que a média é 103,2 m³ dia⁻¹.

Os efluentes brutos e tratados foram caracterizados inicialmente nos estudos com a **Primeira Configuração** (fluxo contínuo de 6 L h⁻¹) **WCFHSS** – com a *Hymenachne grumosa* + **WCFWS** – com *Myriophyllum aquaticum* + **WCFHSS** – com a *Hymenachne grumosa* (Figura 1). Os parâmetros analíticos caracterizados foram DQO, DBO₅, Sólidos Sedimentáveis, Turbidez, pH, Condutividade, Cor aparente (420nm), Fósforo Total, N-NH₃, NTK, N-NO₃⁻, Ecotoxicidade aguda e Coliformes totais. Todos os parâmetros foram determinados com recomendações de amostragem e execução dos procedimentos experimentais do APHA/AWWA, 2005. Exceções foram estabelecidas para os ensaios de ecotoxicidade aguda (ABNT 12.713, 2004) e Coliformes totais (AOAC, 2000).

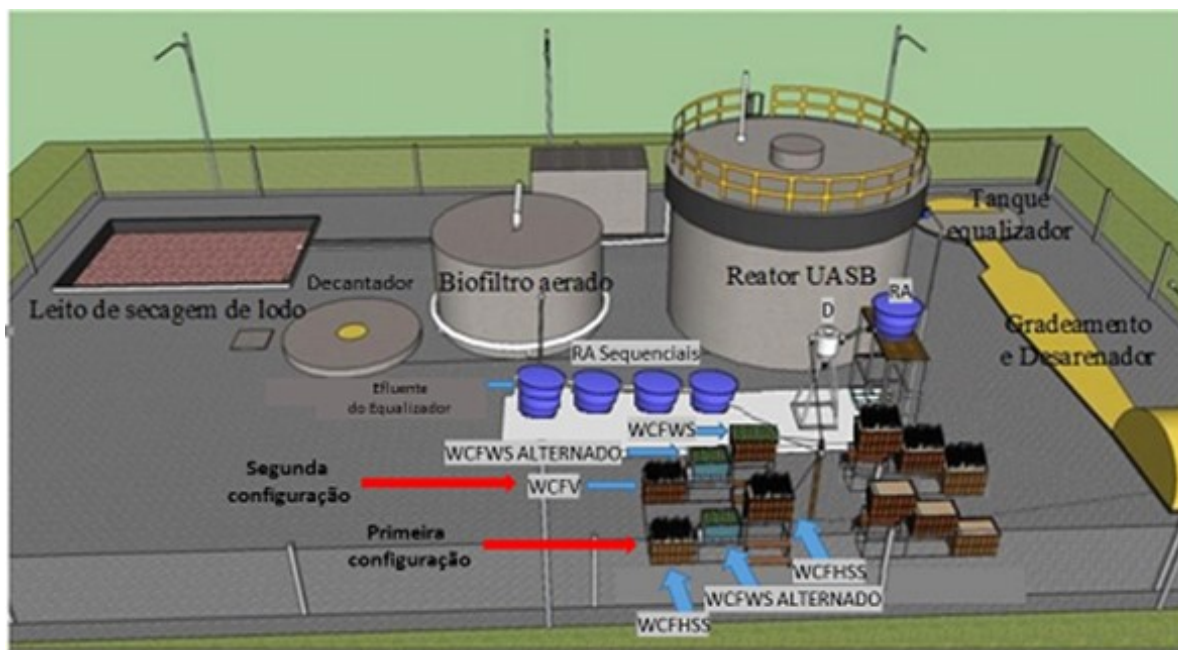


Figura 1: Configurações das unidades integradas de Wetlands Construídos estudados. Primeira Configuração – Sistema Contínuo: WCFHSS 1 – com a *Hymenachne grumosa* + WCFWS ALTERNADO – com *Myriophyllum aquaticum* + WCFHSS 2 – com a *Hymenachne grumosa*. **Segunda Configuração - Sistema Batelada:** WCFWS – com a *Hymenachne grumosa* / *Lentilha D'água - lemna Sp.a* / *Alface d'agua – Pistia stratiotes* + WCFWS ALTERNADO – com *Lentilha D'água - lemna Sp.a* + *Alface d'agua – Pistia stratiotes* + WCFV – com a *Hymenachne grumosa*. **RA Sequenciais:** Reatores Anaeróbios Sequenciais de polietileno de 180 L de volume útil; D = Decantador de 300 L de volume útil; RA: Reator Anaeróbio de 800 L de volume útil.

O reator em fluxo alternado possui volume útil de 100L, com cinco compartimentos de fluxos verticais alternados divididos em partes iguais no reator feito em caixa de fibra de vidro. As macrófitas foram coletadas junto a ecossistema próximo da universidade em área alagada no município de Vera Cruz-RS. Na **Segunda Configuração** o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) foi de sete dias para cada carga de efluente, totalizando 21 dias na sequência das três caixas apresentadas na Figura 1.

RESULTADOS

O desempenho geral quanto ao tratamento dos efluentes está apresentada na Tabela 1, considerando o operacional de 1 ano de trabalho para a Primeira Configuração.

Tabela 1: Tratamento do afluente a partir do tanque equalizador com o sistema WCFHSS (*Hymenachne grumosa*) + WCFWS ALTERNADO (*Myriophyllum aquaticum*) + WCFHSS (*Hymenachne grumosa*).

Parâmetros	Afluente - Tanque Equalizador	Efluente	Resolução CONSEMA/RS- 128/06 e 129/06 $100 \leq Q < 200 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
DQO	264,5	35	≤ 330
DBO ₅	224,3	19	≤ 120
NTK	41,8	28	-
NH ₃	36,8	24	≤ 20
Ptotal	8,6	3	-
Condutividade	832,7	669,3	-
pH	7,9	6,9	-
Turbidez	139,6	13,5	≤ 40
Cor (420 nm)	0,21	0,05	-
SSedim	5,4	0	Não conferir mudança ao corpo receptor
CE(I) ₅₀	51,3	80	átxico
Coliformes termotolerantes	$1,2 \times 10^6$	$3,1 \times 10^5$	**

Para os parâmetros a unidades adotada é mg L^{-1} , com exceção de Coliformes totais e *E. coli* - UFC/100mL; condutividade - $\mu\text{s cm}^{-1}$; turbidez - NTU e cor λ 420 nm; CE(I)₅₀ 48h e CI(I)₅₀ em %. * Resolução CONSEMA 129/06. ** Sem exigência de limite para esta vazão.

Para efluente de setor de serviços os dados da Tabela 1 mostram o maior impacto da ação eutrofizante, bem como a toxicidade aguda. Valores de nitrogênio amoniacal são referendados em trabalhos anteriores com limites superiores para este parâmetro eutrofizante (Dupont, 2010). A Resolução 129/2006 do CONSEMA/RS que trata sobre os limites máximos de toxicidade para o descarte de efluentes, é aplicada somente quando a vazão mínima do efluente doméstico for igual ou superior a $10.000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. No entanto a redução significativa da CE(I)₅₀ deve ser destacada como resultado positivo do processo. O reuso também necessita de melhorias, pois somente padrão classe 4 seria possível (ABNT 13.969/97).

As cargas médias aplicadas **na Configuração 1** dos WCs foram de: 25,1 g DQO $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$; 3,9 g NTK $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$; 0,8 g Ptotal $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$; 3,5 g N-NH₃ $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$. Sousa *et al.* (2004) trabalharam com valores nas faixas de 5,01 a 9,45 g DQO $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$, 1,16 a 1,93 g NTK $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$ e 0,15 a 0,22 g Ptotal $\text{m}^2 \text{ d}^{-1}$. Este comparativo indica a necessidade de compensação do TDH para adequação dos fatores de carga na partida do sistema em fluxo contínuo, no entanto, como descrito anteriormente, a menor vazão passível de controle foi a de 100 mL min^{-1} , que estabelece TDH de 1,87 dias contra valores de 7 a 10 dias também citados por Sousa *et al.* (2004). As reduções de N-NH₃ e P total foram de 35 e 64% respectivamente neste sistema. A maior redução de P total pode estar associada a redução de sólidos sedimentáveis, especialmente no tanque compartimentado com *Myriophyllum aquaticum*.

Quanto à geração de biomassa durante o período da primeira poda (4 meses), deve ser destacado o comportamento das unidades com *Hymenachne grumosa* e com *Myriophyllum aquaticum*. Na Tabela 2 podem ser vistos os dados de produtividade de biomassa do sistema estudado.

Tabela 2: Dados de produção de biomassa do sistema WCFHSS (*Hymenachne grumosa*) + WCFWS ALTERNADO (*Myriophyllum aquaticum*) + WCFHSS (*Hymenachne grumosa*) durante quatro meses.

Parâmetro	WCFHSS 1	WCFWS ALTERNADO	WCFHSS 2
Biomassa (kg)/0,5 m ²	1,5	0,32	5
Comprimento <i>Hymenachne grumosa</i> (cm)	70	-	140

A maior quantidade de biomassa para o compartimento WCFHSS 2 envolveu o dobro em comprimento e, três vezes em quantidade de biomassa gerada. A menor produtividade do WCFHSS1 também pode estar atrelada à menor incidência de radiação solar, pois este permanecia a maior parte do dia sombreado. As condições ambientais do período estudado para operação aparecem na Figura 1.

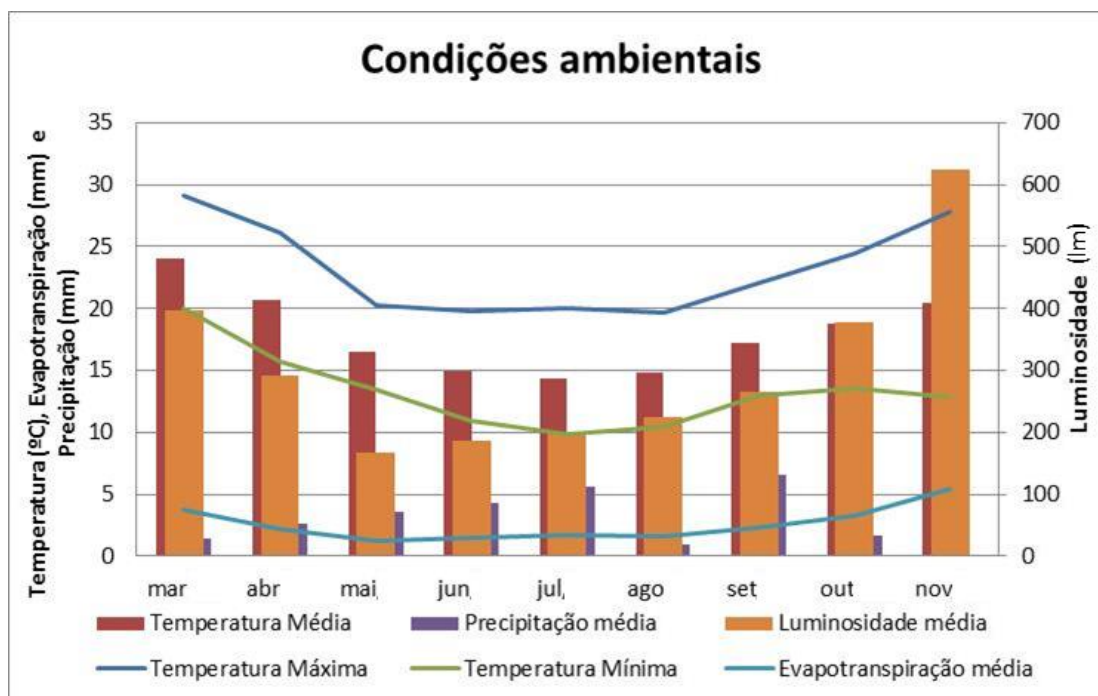


Figura 1: Condições climáticas durante o experimento

As perdas de água por evaporação e evapotranspiração (ET) chegam a 54% no tempo de detenção de 1,87 dias. Também deve ser considerado que as perdas por ET na escala realizada para este trabalho serão bem maiores do que para escala real, fato que é destacado por Kadlec (1998) em função da incapacidade de compensação do chamado efeito de borda.

Quanto a **Configuração 2** vários aspectos foram modificados. O TDH foi de 7 dias, considerando referências de Sousa *et al.* (2004). Aspectos operacionais de análise também foram levados em conta para permitir melhor organização das análises. Cargas de 25% do efluente do tanque equalizador estão sendo aplicadas nas primeiras semanas (até 4 semanas), avançando para carga total dos mesmos efluentes da Primeira Configuração. O sistema de fluxo livre superficial WCFWS foi fixado com manta EVA de 10 mm. Nos sistemas FWS a combinação *Hymenachne grumosa* / *Lentilha D'água - lemna Sp.a* / *Alface d'agua - Pistia stratiotes* foi providenciada para permitir controle de mosquitos, problemáticos nos períodos de primavera, verão e parte do outono no local estudado. A partir de janeiro de 2017 o sistema inicia o recebimento dos efluentes do tanque equalizador sem diluição. Os principais resultados de redução da carga poluente podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3: Dados de desempenho do sistema WCFWS – com a *Hymenachne grumosa* / *Lentilha D'água - lemna Sp.a* / *Alface d'água – Pistia stratiotes* + WCFWS ALTERNADO – com *Lentilha D'água - lemna Sp.a* + *Alface d'água – Pistia stratiotes* + WCFV – com a *Hymenachne grumosa*.

Parâmetro	Bruto	WCFWS <i>Hymenachne grumosa</i> / <i>Lentilha D'água - lemna Sp.a</i> / <i>Alface d'água – Pistia stratiotes</i>	WCFWS ALTERNADO – com <i>Lentilha D'água - lemna Sp.a</i> + <i>Alface d'água – Pistia stratiotes</i>	WCFV – com a <i>Hymenachne grumosa</i> .
N-NH ₃ (mg L ⁻¹)	84,2	28,4	12,8	0,0
P total (mg L ⁻¹)	4,0	3,4	2,83	0,3
COT (mg L ⁻¹)	19	7,5	8,25	7,0
Turbidez (NTU)	51	5,7	4,1	0,5

O desenvolvimento de todas as macrófitas tem ocorrido normalmente, com crescimento da *Hymenachne grumosa* de forma semelhante aos dados observados na Primeira Configuração. No entanto o desenvolvimento da *Alface d'água – Pistia stratiotes* sofre com ataques de pragas, especialmente pulgões, dificultando a manutenção no sistema.

Em comparação do sistema da Configuração 1 a remoção do nitrogênio amoniacal é muito mais satisfatória na Configuração 2. O aumento dos tempos de detenção, bem como a superfície livre do sistema flutuante, permitem melhor condicionamento para sistemas óxico e anóxico

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam da Primeira Configuração estudada possibilidades de redução dos potenciais ecotóxico agudo e eutrofizante do efluente urbano estudado com o sistema de configuração de múltiplos estágios dos WCs, isto, aplicando a *Hymenachne grumosa* e a *Myriophyllum aquaticum*. Apesar da menor geração de biomassa a *Myriophyllum aquaticum* simplifica o sistema de construção dos WCs, permitindo também uma maior possibilidade quanto as potencialidades de remoção de nitrogênio total com os mecanismos óxico e anóxico da unidade compartimentada estuda.

Da mesma forma, a Segunda Configuração em batelada, inicia estudos para permitir uso de unidades FWS com Fluxo Alternado, podendo ser também compartimentado, para verificar o desempenho quanto a redução de materiais de suporte dos WCs, reduzindo seu impacto ambiental na questão de fluxos de materiais necessários para construção.

AGRADECIMENTOS

Os estudos desta pesquisa possuem financiamentos do CNPq (481620/2013-3 e 307257/2015-0) e BIPPS para o acadêmico Gustavo S. Colares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.
2. AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Method 990. n. 12 Official methods of analysis of AOAC International. 17. ed. Gaithersburg: AOAC International, p. 22-23. 2000
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7229*: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7229*: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
5. _____. *NBR 13969*: projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementares e disposição final dos efluentes de tanques sépticos: procedimentos. Rio de Janeiro, 1997.

6. KADLEC, R.H., WALLACE, S.D., 2009. *Treatment Wetlands*, second ed. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL 33487-2742, USA.
7. PEDESCOLL, A., SIDRACH-CARDONA, R., SANCHEZ, J.C., CARRETERO, J., GARFI, M., BECARES, E. Design configurations affecting flow pattern and solids accumulation in horizontal free water and subsurface flow constructed wetlands water research 47-1448 e1458,2013.
8. SAEED, T., SUN, G. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *J. Environ. Manage.* 112, 429–448, 2012.
9. WU, H., ZHANG, J., NGO, H. H., GUO, W., HU, Z., LIANG, S., FAN, J., LIU, H. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. *Bioresource Technology* 175, 594–60, 2015.
10. SOUSA, J. T.; VAN HAANDEL, A.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. Utilização de *wetland* construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. *Eng. Sanit. Ambient.* Rio de Janeiro, n. 4, p. 285-290, v. 9, 2004.