

INFLUÊNCIA DA MACRÓFITA E DO TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS POR WETLANDS CONSTRUÍDAS

JULYENNE M. CAMPOS¹, GUSTAVO M. NAGASAKA², ANTONIO L. BERALDO³,
SONIA C. N. QUEIROZ⁴, DENIS M. ROSTON⁵.

¹ Tecnóloga Ambiental, Doutoranda em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), UNICAMP, Campinas – SP, Fone: (19) 3521-1029, julyenne.mc@gmail.com.

² Graduando em Eng. Agrícola, aluno de Iniciação Científica Voluntária (PICV), FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

³ Engenheiro Agrícola, Prof. Livre-docente, Departamento de Construções Rurais, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

⁴ Química, Pesquisadora no Laboratório de Resíduos e Contaminantes na Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna – SP.

⁵ Engenheiro Civil, Prof. Livre -docente, Departamento de Água e Solos, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: *Wetlands* construídas são sistemas simplificados de tratamento de águas residuárias de baixo custo de implantação, operação e manutenção, sendo assim uma boa opção de tratamento em comunidades rurais e isoladas. Com o intuito de comparar diversas configurações, foram instaladas quatro *wetlands* laboratoriais sob condições controladas, sem sofrer interferência climática. Todos sistemas utilizaram brita como meio suporte, exceto WLC (*wetland* laboratorial C), na qual se utilizou brita e carvão de bambu. WLC e WL1 foram cultivadas com mini-papiro, WL3 com aguapé, e WL2 permaneceu sem macrófita (controle). Cada *wetland* possuía volume de 54L, e o abastecimento foi realizado com água residuária sintética. Os parâmetros analisados foram pH, oxigênio dissolvido (OD), cor aparente, turbidez e demanda química de oxigênio (DQO). Também foram avaliados tempos de detenção hidráulica (TDH) de 2 e 4 dias, sendo o experimento realizado em triplicata. Com o nível 5% de significância estatística a *wetland* mais eficiente para remoção de DQO foi WL1 (independente do TDH), para remoção de cor foi WLC com TDH de 4 dias, e para remoção de turbidez os tratamentos não diferiram entre si. O TDH de 4 dias foi mais eficiente para remoção de cor e turbidez, sem apresentar diferença em relação a DQO.

PALAVRAS-CHAVE: leitões cultivados; carvão de bambu; *Eichhornia crassipes*.

INFLUENCE OF MACROPHYTE AND HYDRAULIC RETENTION TIME ON WASTEWATER TREATMENT BY CONSTRUCTED WETLANDS

ABSTRACT: Constructed wetlands are simplified wastewater treatment systems with low implantation, operation and maintenance costs proving to be an excellent treatment alternative for rural and isolated communities. In order to compare different configurations, four laboratory scale wetlands were installed under controlled conditions, without suffering any climatic interference. Gravel was used as support medium, except for WLC (laboratory wetland C), which was filled with gravel and bamboo coal. WLC and WL1 were cultivated with dwarf papyrus, WL3 with water hyacinth, and WL2 remained without macrophyte (control). Each wetland had a volume of 54L, and they were fed with synthetic wastewater. The parameters analyzed were: pH, dissolved oxygen (DO), apparent color, turbidity and chemical oxygen demand (COD). Two hydraulic retention times (HRT), 2 and 4 days, were also evaluated. All data were obtained in triplicate. At 5% level of statistical significance, the most efficient wetland for COD removal was WL1 (independent of HRT); for color removal

was WLC with HRT of 4 days, and for turbidity removal no difference was found. The HRT of 4 days was more efficient for color and turbidity removal, presenting no difference in relation to COD.

KEYWORDS: wetlands; bamboo coal; *Eichhornia crassipes*.

INTRODUÇÃO

Constructed wetlands (CW) são sistemas de tratamento de águas residuárias que simulam a estrutura de *wetlands* naturais (brejos, pântanos, manguezais) mitigando bioquimicamente os poluentes por meio de interações que envolvem o solo, a vegetação e os micro-organismos presentes neste tipo de sistema (ITRC, 2003; VYMAZAL, 2007).

Diversos processos físicos e biológicos são responsáveis pelo tratamento dos poluentes em *wetlands* como adsorção, precipitação, nitrificação, decomposição, filtração física, e biológica - que é realizada pelo biofilme bacteriano aderido ao meio suporte e raízes da macrófita (GIZ, 2011). O tipo e a profundidade do meio suporte utilizado em *wetlands* pode aumentar ou diminuir a eficiência de remoção de determinados poluentes, e certos tipos de materiais utilizados como meio suporte podem aumentar a adesão de matéria orgânica e crescimento do biofilme bacteriano no mesmo (GORITO et al., 2017). Além disso, a degradação de matéria orgânica em *wetlands* é aumentada pelo oxigênio liberado pela zona de raízes neste tipo de sistema (REHMAN et al., 2017).

Podem-se citar como vantagens das *wetlands* simples operação e pouca manutenção do sistema, possível aplicação em comunidades isoladas, baixa produção de resíduos secundários do processo, baixos custos de operação e manutenção, criação de um habitat para espécies animais e incorporação à paisagem local – o que aumenta a aceitação pela população (ITRC, 2003; USEPA, 1988).

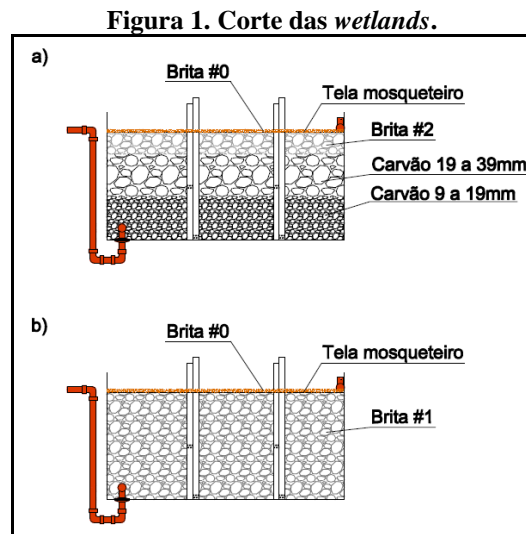
Alguns parâmetros de análise são capazes de indicar a quantidade de matéria orgânica em águas residuárias. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica em um corpo d'água ou em água residuária, menor serão seus valores de oxigênio dissolvido (OD). De acordo com APHA (2005), os parâmetros turbidez e cor aparente indicam a quantidade de substâncias coloidais e material suspenso na amostra de água residuária, que são causadas basicamente por matéria orgânica e inorgânica de origem natural.

Outro parâmetro muito utilizado para medição da quantidade de matéria orgânica e poluentes em águas residuárias é a demanda química de oxigênio (DQO), que por definição é a quantidade necessária de determinado oxidante que reage com a amostra em questão APHA (2005). Com o intuito de comparar diversas configurações para remoção de matéria orgânica presente em águas residuárias, foram instaladas quatro *wetlands* laboratoriais sob condições controladas, sem sofrer interferência climática, para avaliar qual macrófita, meio suporte ou tempo de detenção hidráulica seria mais eficiente na retenção de poluentes.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de tratamento está instalado no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, FEAGRI/UNICAMP. As *wetlands* laboratoriais (WL) foram confeccionadas em caixas de polipropileno (PP) com dimensões de 60 x 40 x 32 cm. WL1, WL2 e WL3 (*wetland* laboratorial 1, 2 e 3) utilizaram brita n.º 1 como meio suporte (9,5 a 19,0 mm), enquanto que WLC (*wetland* laboratorial carvão) foi preenchido com 20 cm de carvão de bambu com granulometria de 9,0 a 39,0 mm e coberto com 5 cm de brita n.º 2 (19,0 a 25,0 mm). Em ambas *wetlands* foi deixado na superfície 5 cm sem meio suporte. Observa-se na Figura 1 o

corte de WLC (a) e WL1/WL2/WL3 (b).



Fonte: Campos (2015).

Seis mudas da macrófita *Cyperus isocladius*, mais conhecido como mini-papiro, foram cultivadas no WLC e WL1, a WL2 permaneceu apenas com meio suporte e a WL3 foi cultivada com seis mudas de *Eichhornia crassipes* (mais conhecida como aguapé). Cada wetland conta com uma lâmpada LED de 18 W para auxiliar no crescimento e desenvolvimento das macrófitas, tendo em vista que o sistema está instalado em um ambiente fechado, com pouca luz.

Um reservatório de 150 L é utilizado para armazenar a água residuária sintética. Quatro bombas dosadoras com filtro para retenção de sólidos na extremidade bombeiam o esgoto sintético para as quatro wetlands. Todas as bombas possuem vazão máxima de $1,5 \text{ L.h}^{-1}$. O esgoto sintético entra por meio de uma tubulação perfurada com o intuito de distribuir o afluente. A saída da água residuária das wetlands também é realizada em tubulação perfurada. Na Figura 2 observa-se a tubulação perfurada afluente e efluente da wetland, e uma wetland após a colocação da primeira camada de carvão.

Figura 2. Tubulações perfuradas nas wetlands.



Fonte: Campos (2015).

Decidiu-se por utilizar esgoto sintético de baixa carga orgânica ao invés de esgoto *in natura* para que fosse possível ter uma composição conhecida de matéria orgânica e

nutrientes durante todo o experimento. O esgoto escolhido foi o empregado por PROCHASKA E ZOUBOULIS (2006) que, segundo os autores, corresponde a um esgoto municipal de carga média com relação C:N:P de 200:50:8, e adição de bicarbonato de sódio para tamponar o pH do meio (SCHULTZE-NOBRE et al., 2015). Na Figura 3 observa-se o sistema de tratamento instalado.

Figura 3. Wetlands laboratoriais.

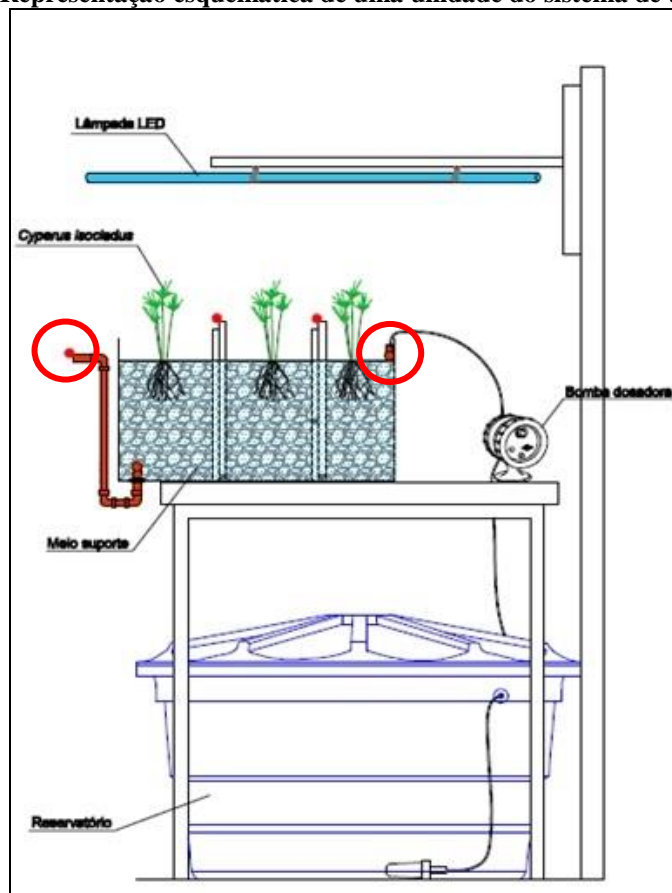


Fonte: Arquivo pessoal (2015).

As análises físico-químicas tiveram como referência o “*Standard Methods – for Examination of Water and Wastewater*” (APHA, 2005). Os parâmetros analisados foram pH (Método Eletrométrico - 4500-H+B) em pHmetro *Digimed DM 20*, oxigênio dissolvido (OD) pelo “Método do Eletrodo com Membrana” (4500-O G) em oxímetro *YSI 55* portátil, cor aparente pelo programa n.º 120 do espectrofotômetro *Hach DR-2010*, turbidez em turbidímetro *Hach 2100AN* e demanda química de oxigênio (DQO) pelo “Método Colorimétrico do Refluxo Fechado” (5220D) em *Hach COD Reactor* (digestão) e leitura em espectrofotômetro *Hach DR-4000U*.

A coleta de amostras aconteceu de 10/08/16 à 06/09/16 com três repetições para cada TDH, de 2 e 4 dias. A cada dia de coleta foi coletada uma amostra composta da entrada das *wetlands* (um quarto do volume total da amostra, de cada *wetland*), e uma amostra de cada saída das *wetlands*. Na Figura 4 pode-se observar uma representação esquemática de uma unidade do sistema de tratamento, com os pontos de coleta circulosados em vermelho.

Figura 4. Representação esquemática de uma unidade do sistema de tratamento.



Fonte: Figura desenhada por Julyenne M. Campos (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estão apresentados na Tabela 1 os valores médios de pH e oxigênio dissolvido (OD), com suas respectivas diferenças, e temperatura no período de monitoramento. Observa-se que em todos os dias houve aumento de pH na saída do sistema, mostrando que as *wetlands* são capazes de agir como um tampão, tornando o pH do meio mais próximo da neutralidade. É interessante observar no período de TDH de 2 dias que a água residuária entrou no sistema ácida, e saiu do mesmo mais próximo da neutralidade.

Tabela 1. Valores médios de entrada e saída de pH, OD e temperatura no período de monitoramento, com suas respectivas diferenças.

TDH (dias)	Wetlands	pH		Dif. ⁽³⁾ pH	OD (mg.L ⁻¹)		Dif. ⁽³⁾ OD (mg.L ⁻¹)	Temperatura	
		médio E ⁽¹⁾	médio S ⁽²⁾		médio E ⁽¹⁾	médio S ⁽²⁾		E ⁽¹⁾ (°C)	S ⁽²⁾ (°C)
2	WLC	5,3	7,6	-2,2	3,4	5,4	-2,1	23,9	23,1
2	WL1	5,3	7,7	-2,3	3,4	5,9	-2,5	23,9	23,9
2	WL2	5,3	7,3	-1,9	3,4	1,9	1,5	23,9	25,4
2	WL3	5,3	7,3	-2,0	3,4	4,0	-0,7	23,9	27,5
4	WLC	7,0	7,7	-0,6	0,5	4,1	-3,6	24,6	24,7
4	WL1	7,0	7,6	-0,6	0,5	4,4	-3,9	24,6	25,2
4	WL2	7,0	7,6	-0,5	0,5	3,5	-3,0	24,6	24,7
4	WL3	7,0	7,5	-0,5	0,5	4,1	-3,6	24,6	25,2

(1) - entrada do sistema, (2) - saída do sistema, (3) - diferença.

Quanto ao parâmetro oxigênio dissolvido fica claro observar que nas *wetlands*

cultivadas (WLC, WL1 e WL3) a água residuária sai com maiores valores de oxigênio do que na entrada, possivelmente pela aeração promovida pelo rizoma das macrófitas. Em WL2 (sem macrófita) houve diminuição de OD no TDH de 2 dias e aumento de OD no TDH de 4 dias, porém em menor quantidade que nas *wetlands* cultivadas. Observa-se também que o TDH de 4 dias proporcionou maior aeração à água residuária do que o TDH de 2 dias, provavelmente pelo maior tempo da água no sistema.

A Resolução CONAMA 430/2011 estabelece que o pH de lançamento de águas residuárias deve estar de 5,0 à 9,0 e temperatura máxima de 40°C, então os pHs e as temperaturas obtidas neste estudo ficaram dentro do padrão de lançamento estabelecido. JU et al. (2014) trabalharam com pH afluente variando de 6,1 à 7,2 afluente e de 5,8 a 7,1 em *wetlands* laboratoriais de escala de bancada cultivadas com *Juncus effusus*, de fluxo vertical. O oxigênio dissolvido afluente variou de 0,6 a 5,1 mg.L⁻¹ e efluente de 0,6 a 1,9 mg.L⁻¹, menores que os encontrados neste estudo, com temperaturas médias de 20,4 a 31,9 °C (JU et al., 2014).

CHANG et al. (2014) trabalharam com *wetlands* laboratoriais de fluxo vertical, utilizando areia como meio suporte e cultivada com *Juncus effusus*, obtiveram pH afluente variando de 7,2 a 7,4 e efluente de 5,5 a 6,3. Oxigênio dissolvido afluente variou de 2,7 a 7,2 mg.L⁻¹, e de 1,2 a 2,2 mg.L⁻¹ no efluente, menores que os encontrados neste estudo (CHANG et al., 2014). Utilizando o mesmo tipo de *wetlands*, LV et al. (2013) trabalharam com pH variando de 6,1 a 6,7 em média, e oxigênio dissolvido médio de 1,4 mg.L⁻¹ cultivadas com *Juncus effusus*, e 1,0 mg.L⁻¹ nas que continham apenas meio suporte.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios de remoção de DQO, cor aparente e turbidez de acordo com a *wetland* e o TDH do período. Para DQO a maior média de remoção foi para WL1 (mini-papiro e brita), tanto no TDH de 2 dias quanto no de 4 dias, e a menor média ocorreu em WL2 (somente brita, sem macrófita) em ambos TDH. A maior média de remoção para o parâmetro cor aparente foi para WL1 no TDH de 2 dias, e para WLC (mini-papiro e carvão) no TDH de 4 dias. As menores médias de remoção de cor aparente também ocorreram em WL2. A maior média de remoção de turbidez ocorreu em WL1 no TDH de dois dias, e WL3 (aguapé e brita) no TDH de 4 dias. As menores remoções deste parâmetro foram em WL2 no TDH de 2 dias e WLC no TDH de 4 dias.

Tabela 2. Remoções médias de DQO, cor aparente e turbidez no período de monitoramento do sistema.

TDH (dias)	Wetlands	Remoção média DQO (%)	Remoção média cor aparente (%)	Remoção média turbidez (%)
2	WLC	81,5	76,8	70,5
2	WL1	86,6	79,4	72,7
2	WL2	68,8	61,7	61,5
2	WL3	75,9	72,6	63,8
4	WLC	85,1	91,9	66,5
4	WL1	88,0	89,1	85,8
4	WL2	76,1	88,1	86,3
4	WL3	83,6	90,7	89,3

Remoção mínima de 24,3% e máxima de 91,2% foram encontrados por JU et al. (2014) em *wetlands* laboratoriais de fluxo vertical, valores mínimos menores que os apresentados neste estudo (Tabela 2). CHANG et al. (2014) obtiveram remoção mínima de DQO de 84% e máxima de 94% em *wetlands* laboratoriais de fluxo vertical, remoções mais eficientes que as apresentadas neste estudo.

A análise estatística dos dados foi realizada em várias etapas, utilizando o software ASSISTAT Versão 7.7 (SILVA, 2016). Primeiramente foram testadas a normalidade dos dados

com o teste de Kolmogorov Smirnov com nível de 5% de significância, sendo os dados de cor aparente e DQO normais, e os de turbidez não. Para dados normais foi aplicado o teste de Análise de Variância (ANOVA) e o Teste de Tukey, testes paramétricos, e para os dados de turbidez foram aplicados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney, dependendo do número de tratamentos a ser analisado.

Os resultados foram agrupados e comparados de três maneiras diferentes: por tipo de *wetland* independente do TDH, por TDH independente do tipo de *wetland*, e agrupando os diferentes TDH e *wetland*, por exemplo, WLC com TDH 2 dias e WLC com TDH 4 dias (o que resultou em 8 tratamentos).

A análise estatística do parâmetro DQO resultou que não houve diferença entre os diferentes TDH, nem entre as diferentes combinações de TDH e *wetland* (ANOVA a 5% de confiança). Quanto à comparação das *wetlands* utilizando o Teste de Tukey com 5% de confiança, a *wetland* mais eficiente foi WL1, e a pior foi WL2.

Para os resultados de cor aparente analisados com 5% de significância estatística, o tratamento mais eficiente foi WLC com TDH de 4 dias e o menos eficiente foi WL2 com TDH de 2 dias. As *wetlands* não diferiram entre si (ANOVA a 5% de confiança), e o melhor TDH para remoção de cor aparente foi de 4 dias, com 5% de significância (Tukey).

Os resultados de turbidez não diferiram entre si nem quanto ao tipo de *wetland*, nem quanto ao tipo de tratamento (Kruskal-Wallis a 5% de significância). Somente houve diferença quanto ao TDH, sendo o de 4 dias mais eficiente na remoção de turbidez (Mann-Whitney a 5% de significância).

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos é possível concluir que *wetlands* construídas são sistemas de tratamento eficientes para remoção de matéria orgânica, e devido ao seu baixo custo de implantação e manutenção, além de sua facilidade de operação, podem ser apropriadas para tratamento de águas residuárias em comunidades rurais e isoladas.

No geral, o trabalho demonstrou que as *wetlands* com macrófitas foram mais eficientes do que a *wetland* sem planta. Além disso, a *wetland* laboratorial 1 (WL1), com a macrófita mini-papiro e brita como meio suporte, foi o tratamento mais eficiente nos parâmetros monitorados com 5% de significância estatística. Quanto ao TDH, não houve diferença significativa entre 2 dias e 4 dias (5% de significância).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado concedida (Processo n.º 149364/2014-8), ao FAEPEX-UNICAMP (Fundo de Apoio ao Ensino, à Pesquisa e Extensão), à Embrapa Meio Ambiente e à Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP).

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION; EATON, A. D.; et al. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera

a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário da União**, Brasília, maio/2011.

CHANG, Y.; WU, S.; ZHANG, T.; MAZUR, M.; PANG, C.; DONG, R. Dynamics of nitrogen transformation depending on different operational strategies in laboratory-scale tidal flow constructed wetlands. **Science of the Total Environment**. v. 487, p. 49 – 56, 2014.

GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH. **Technology review of constructed wetlands: Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Sustainable sanitation – ecosan program.** 36p. Eschborn, 2011.

GORITO, A. M.; RIBEIRO, A. R.; ALMEIDA, C. M. R.; SILVA, A. M. T. A review on the application of constructed wetlands for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern listed in recently launched EU legislation. **Environmental Pollution**. v. 227, p. 428 – 443, 2017.

ITRC - INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL. Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands. Washington, D. C., U.S.A. 128p. 2003.

JU, X.; WU, S.; HUANG, X.; ZHANG, Y.; DONG, R. How the novel integration of electrolysis in tidal flow constructed wetlands intensifies nutrient removal and odor control. **Bioresource Technology**. v. 169, p. 605 – 613, 2014.

LV, T.; WU, S.; HONG, H.; CHEN, L.; DONG, R. Dynamics of nitrobenzene degradation and interactions with nitrogen transformations in laboratory-scale constructed wetlands. **Bioresource Technology**. v. 133, p. 529 – 536, 2013.

PROCHASKA, C. A.; ZOUBOULIS, A. I. Removal of phosphates by pilot vertical-flow constructed wetlands using a mixture of sand and dolomite as substrate. **Ecological Engineering**. v. 26, p. 293 – 303, 2006.

REHMAN, F.; PERVEZ, A.; MAHMOOD, Q.; NAWAB, B. Wastewater remediation by optimum dissolve oxygen enhanced by macrophytes in constructed wetlands. **Ecological Engineering**. v. 102, p. 112 – 126, 2017.

SCHULTZE-NOBRE, L.; WIESSNER, A.; WANG, D.; BARTSCH, C.; KAPPELMEYER, U.; PASCHKE, H.; MATTUSCH, J.; KUSCHK, P. Removal of dimethylphenols from an artificial wastewater in a laboratory-scale wetland system planted with *Juncus effusus*. **Ecological Engineering**. v. 80, p. 151 – 155, 2015.

SILVA FAS, AZEVEDO CAV. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res.** Vol. 11(39), pp. 3733-3740, 29 September, 2016.

USEPA. **Design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment.** EPA/625/1-88/022, CERI, Cincinnati – OH/USA, 1988. 83p.

VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Science of the Total Environment**. v. 380, p. 48 - 65, 2007.