



"CLEANER PRODUCTION TOWARDS A SUSTAINABLE TRANSITION"

# Avaliação de um Sistema de Tratamento de Águas Residuárias por Wetland Construído com Etapa Aerada

ANDRADE, H. H. B. a\*

a. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, EACH-USP, São Paulo

\*Corresponding author, helisson@usp.br

#### Resumo

Os wetlands construídos (WC) representam uma forma cada vez mais utilizado em todo o mundo para o tratamento de aguas residuárias, esta tecnologia é baseada em processos naturais de ciclagem de nutrientes e da degradação da matéria orgânica presente na água residuária em taxas similares as encontradas na natureza. Os WC apresentam eficiências satisfatórias na remoção de compostos como matéria orgânica, tem baixo consumo de energia e simplicidade operacional, no entanto, pode requerer significativas áreas para a construção e apresenta instabilidade na remoção de nutrientes. O objetivo deste trabalho é demonstrar o desempenho inicial de um sistema de tratamento de águas residuárias através da avaliação de parâmetros físico-químicos realizado em um aparato em escala de bancada tratando substrato sintético. O ssub-superficialistema composto por tanque séptico, decantador, wetland de fluxo livre aerado e wetland de fluxo sub-superficial vertical afogado. Foram obtidas eficiências de até 89% de remoção de matéria orgânica em termos de COT, 87% de remoção de nitrogênio total e 8% de fosforo livre.

Palavras-chave: wetlands construídos, aeração, tratamento de aguas residuárias, remoção de nitrogênio.

## 1. INTRODUÇÃO

Os wetlands construídos (WC) são classificados como "Sistemas Naturais de Tratamento de Águas Residuárias", que de maneira oposta aos sistemas biológicos convencionais apresenta em sua concepção clássica a primazia pela mínima utilização das fontes externas de energia, de modo que seu funcionamento estará sujeito aos fenômenos químicos, físicos e biológicos em velocidades próximas as encontradas na natureza. Tais sistemas utilizam-se dos processos supracitados para ciclagem e degradação de compostos com potencial poluente. Dentre as tecnologias que também podem ser classificadas sob esta ótica estão os filtros biológicos e lagoas de estabilização (KADLEC; WALLACE, 2009; SEZERINO, 2006; STOTTMEISTER et al., 2003).

Um WC constitui-se de uma complexa reunião de agentes, meio liquido (água residuária), substrato (matéria orgânica e nutrientes), plantas (vasculares e algas), meio suporte (brita, solo etc.), animais invertebrados (larvas de insetos) e uma ampla gama de microrganismos (principalmente bactérias), interagindo através de diversos processos, como sedimentação, filtração, precipitação

química, transformação química e biológica, adsorção e sorção de compostos, além de predação e morte natural de patógenos (KADLEC et al., 2000).

A utilização dos sistemas naturais de tratamento de esgotos como os Wetlands Construídos (WC) pode se demonstrar como uma alternativa favorável do ponto de vista de operação, com menores demandas tecnológicas para sua implantação e eficiência no tratamento secundário de esgotos sanitários e industriais, favorecendo sua aplicação na realidade de um país em desenvolvimento (VYMAZAL, 2008; WU et al., 2015).

Entretanto, os sistemas de tratamento por WC requerem maiores áreas de instalação e muitas vezes não apresentam a remoção de nutrientes esperada, seja por problemas de operação ou pelas características desfavoráveis do modelo escolhido.

Rousseau, (2006) descreve em sua pesquisa que para os WC de fluxo livre seriam necessários cerca de 7m²/hab., para o de fluxo sub-superficial horizontal 4,8m²/hab., nos de fluxo vertical 3,8m²/hab. e sistemas para polimento 1,5m²/hab., sendo esses valores obtidos para países de clima frio.

Este fato tem conduzido a realização de estudos visando a melhoria do desempenho quanto a remoção de nitrogênio e fósforo, por exemplo, e também visando uma maior compactação dos aparatos, para sua aplicação em regiões onde não há muita disponibilidade de área ou possuem valor muito elevado, inviabilizando sua implantação.

Dentre as alterações potenciais para melhoria do desempenho dos sistemas de WC, pode-se listar as de cunho estrutural, onde os fluxos hidráulicos são alterados visando melhorar as taxas de aeração e contato com as camadas mais ativas do meio filtrante, as de inclusão de etapas químicas, as de introdução de areação artificial, entre outras. Aos sistemas com tais alterações pode-se dar o nome de WC intensificados ou melhorados (do inglês *Enhanced Constructed Wetlands; Constructed Wetlands Intensification Performance*) (FONDER; HEADLEY, 2013).

Mesmo com as comprovadas taxas naturais de aeração em sistemas de WC, sejam por difusão atmosférica, convecção ou pelas raízes das macrófitas, ainda são insuficientes para manutenção de uma significativa oxidação de formas nitrogenadas e de matéria orgânica, assim, um conjunto de modificações nos sistemas de tratamento por wetlands pode ser implementado para aumentar o aporte de oxigênio (NIVALA et al., 2013).

Dentre as possibilidades de aeração artificial, a utilização de ar pressurizado em sistemas de WC tem se demostrado uma alternativa plausível para a otimização do desempenho dos modelos convencionais.

Embora sejam necessários maiores investimentos para operação e instalação, estima-se que que para manutenção de uma condição em torno de  $2mgO_2/L$  no interior dos sistemas de WC de escoamento sub-superficial, seja preciso cerca de metade do consumo energético de um sistema de lodos ativados com nitrificação (AUSTIN; NIVALA, 2009; NIVALA et al., 2013; WU et al., 2014).

A areação artificial através de ar comprimido pode ser aplicada em diferentes tipos de WC, sua utilização tem sido estudada em WC de fluxo sub-superficial vertical e horizontal (FAN et al., 2013; OUELLET-PLAMONDON et al., 2006; ZHANG et al., 2010) e em WC de fluxo livre (OSEM et al., 2006; YI et al., 2014; ZHANG et al., 2014), na maioria dos casos buscando melhorar a remoção de nitrogênio total e fósforo.

O objetivo do trabalho aqui descrito é apresentar os dados prévios do estudo denominado "Desenvolvimento e Avaliação de um Sistema Intensificado de Tratamento de Esgoto Sanitário por Wetland Construído", o trabalho contempla os dados obtidos nos meses de novembro de dezembro

de 2014 no aparato em escala de bancada montado com intuito de obtenção de informações para dimensionamento e construção de um sistema em escala real para adequação de esgotos sanitários.

### 2. METODOLOGIA

O sistema descentralizado de tratamento de águas residuárias adotado compõe-se por uma sequência constituída por tanque séptico, wetland construída de fluxo livre com aeração, decantador secundário e wetland construído de fluxo vertical sub-superficial. Na aplicação real está previsto uma qualidade final de efluente suficiente para sua disposição segura em corpo hídrico mais restritivo como em áreas de manancial ou recarga de aquíferos.

O tanque séptico utilizado dimensionado conforme o descrito pela NBR ABNT 7229 de 1993. Esta etapa do tratamento tem por finalidade a remoção de matéria orgânica sedimentável e/ou flotante bem como possível digestão anaeróbia.

Posterior ao tanque séptico, o efluente é aplicado em *wetland* construído de fluxo livre com aeração, este sistema funciona como um reator com baixa taxa de aeração serão cultivadas macrófitas aquáticas flutuantes ou macrófitas fixas em sistemas de flutuação artificial para assimilação de nutrientes e favorecer o desenvolvimento da comunidade microbiana relacionada ao sistema radicular das plantas contribuindo assim para maior estabilidade do sistema e eficiência no tratamento.

O sistema de fluxo livre adotado neste projeto tem como referência os descritos como "Solar Aquatic Aerated Tanks" descrito por Peterson e Teal (1996) aplicado na adequação de esgotos domésticos de pequenas comunidades. Em sua utilização original o sistema foi construído em uma estufa agrícola, e consistia em 9 tanques aerados com TDH total de 6,5 dias cultivados com Eichhornia crassipes seguidos por WC de fluxo sub-superficial, tinha como meta atender eficiências bastante elevadas, 96% para remoção de nitrogênio total e 86% para fósforo total. Nesta pesquisa a utilização da etapa de aeração será prevista com menor TDH (entre 24 e 12h) visando a redução de área de implantação e preparação para etapa posterior de tratamento.

Neste tipo de sistema pode-se empregar o cultivo de macrófitas fixas sobre leitos flutuantes como nos sistemas estudados Tanner et al, (2011) e Weragoda et al., (2012), que apesar de não possuírem sistema de aeração apresentaram valores consideráveis de remoção de matéria orgânica e principalmente nutrientes pela incorporação das plantas pela raiz em contato com os efluentes.

O efluente oriundo dos tanques de aeração será encaminhado ao um decantador secundário sem mecanização para remoção de material suspenso que pode ser produzido na etapa anterior, seu dimensionamento seguirá a NBR ABNT 12.209 de 2009 com a taxa de escoamento superficial igual ou inferior a 24 m³/m².d.

Posterior a passagem pelo decantador o efluente é aplicado em um wetland construído de fluxo vertical afogado. O objetivo nesta etapa é remover a matéria orgânica remanescente pela via anóxica e induzir a desnitrificação através da redução do nitrato e nitrito a nitrogênio atmosférico, além de propiciar processos de adsorção de compostos no meio filtrante e incorporação nas plantas.

O modelo em escala de bancada tem como objetivo principal o estabelecimento de critérios prévios, dimensionamento e operação para o modelo em escala real a ser implementado, e obtenção de dados iniciais sobre a dinâmica de remoção de nutrientes e matéria orgânica.

O sistema está sendo submetido ao tratamento de substrato sintético similar a esgoto doméstico desenvolvido por Torres (1992) que utiliza extrato de carne como fonte de materia organica e solução de sais para micro e macro nutrientes.

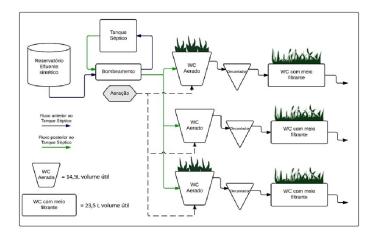


Fig. 1. Fluxograma das linhas de tratamento do modelo de bancada.

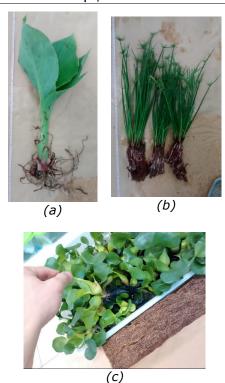
A vazão de alimentação é determinada por uma bomba peristáltica de 8 canais (PolyCanal  $5000^{\circ}$  Provitec), com vazão máxima de 6,2 ml/min por canal.

Os módulos de WC aerados são constituídos em recipientes de polietileno com volume total de 18,3L e volume útil de 14,5L considerando a borda livre de 5,5cm. Para remoção dos sólidos suspensos que podem se formar nos WC aerados foram adaptados cones de Imhoff, com saída perfurada a 5 cm da borda, com volume útil de 1L.

Para cada um dos módulos WC de fluxo subsupeficial foram utilizados recipientes plásticos de 0,22 m² de superfície, totalizando 26cm de profundidade total com volume total de 57,2L considerando a porosidade média do meio filtrante de 49% (Ø 0,5mm) e o enchimento até 21cm (com 5cm de borda livre) obtém-se o volume útil d 23,5L. A distribuição foi acomodada na parte superior do meio filtrante e o tubo de coleta do efluente na parte inferior com saída elevada para criar um volume de liquido dentro do sistema fazendo com que o modelo hidráulico seja escoamento vertical afogado como o descrito por KAICK *et al.* (2011).

Estão sendo testadas duas espécies de plantas, *Cyperus* spp. e *Eichhornia crassipes* e um sistema de controle (não plantado). No *wetland* de fluxo vertical sub-superficial serão cultivadas plantas da espécie *Canna x generalis* (Fig. **2**).

As espécies de plantas selecionadas tiveram como critérios principais de escolha um crescimento vegetativo vigoroso sob as condições climáticas locais, tolerância a água residuária relatada e apresentar potencial paisagístico (YI et al., 2014; ZHANG et al., 2014).



**Fig. 2.** Plantas utilizadas no sistema de bancada: (a) C. x generalis cultivada nos módulos de WC de fluxo sub-superficial; (b) Cyperus spp. cultivada em um dos aparatos de WC aerado; (c) E. Crassipes cultivada em outro dos aparatos de WC aerado.

O monitoramento do aparato em escala de bancada terá 3 fases, cada uma com aproximadamente 60 dias de duração, considerando o tempo necessário para estabilização da atividade biológica em cada fase. Estas fases serão diferenciadas pelas vazões de aplicação, incorrendo em alteração nas taxas e cargas dos sistemas, o objetivo destas alterações é definir com segurança o limite de aplicação sem que haja perca significativa de eficiência na remoção dos parâmetros de interesse. As vazões e outros parâmetros hidráulicos estão apresentados na tabela abaixo, os dados apresentados neste estudo correspondem a primeira fase de operação.

Tabela 1 - Vazões e tempo de detenção hidráulica em cada aparato nas diferentes etapas de monitoramento.

0	Vazão (L/h)	W	C aerado	WC vertical sub- superficial		
Орегаçао		TDH (horas)	Taxa (m3/m².dia)	TDH (horas)	Taxa (m3/m².dia)	
Fase 1	0,15	96	0,06	155	0,02	
Fase 2	0,30	48	0,11	77	0,03	
Fase 3	0,61	24	0,23	39	0,07	

Para o monitoramento do funcionamento do sistema estão sendo realizada amostragem para análise de pH, Temperatura, Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio Total Kjeldahl, Nitrogênio amoniacal, Nitrito (N-NO2-), Nitrato(N-NO3), Fósforo Livre e Carbono Orgânico Total – COT, todos os ensaios realizados como base o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005).

#### 3. RESULTADOS

Foi dado início a operação do sistema em escala laboratorial (Fig 3. Vistas do sistema de bancada montado no laboratório de saneamento com 25 dias de operação: a) vista frontal com detalhe nos WC aerados plantados e controle, seguidos pelos WC de fluxo sub-superficial; b) Vista da saída dos WC de fluxo sub-superficial.) no dia 13/10/2014 com o plantio das macrófitas aquáticas e introdução do efluente sintético para enchimento de todo o aparato, a fim de auxiliar a atividade biológica foi misturado ao substrato sintético uma fração de 1/3 de esgoto sanitário do campus universitário da EACH/USP.



**Fig 3.** Vistas do sistema de bancada montado no laboratório de saneamento com 25 dias de operação: a) vista frontal com detalhe nos WC aerados plantados e controle, seguidos pelos WC de fluxo sub-superficial; b) Vista da saída dos WC de fluxo sub-superficial.

No tocante as condições operacionais no interior do sistema são apresentadas os valores de pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido (OD) na tabela abaixo, suas características podem variar dependendo aplicação de areação (nos WC iniciais) ou refrigeração (no reservatório).

	рН		Temperatura °C		OD mg/L	
	Média	DP*	Média	DP	Média	DP
Res	6,3	0,3	14,6	7,5	0,3	0,3
TS	6,5	0,1	23,5	1,5	0,3	0,2
A1	7,5	0,6	23,1	1,6	1,5	1,2
<b>A2</b>	7,6	0,4	22,8	1,6	1,4	1,1
<b>A3</b>	7,5	0,3	23,3	1,5	1,3	1,5
D1	7,4	0,2	23,5	1,4	2,2	3,1
D2	7,5	0,1	23,5	1,4	1,5	1,3
D3	7,7	0,1	23,6	1,4	1,7	1,3
WC1	7,2	0,1	22,1	1,5	0,6	0,2
WC2	7,2	0,1	22,3	2,0	0,7	0,3
WC3	7,2	0,1	22,5	2,1	0,7	0,2

Tabela 2 – Condições ambientais das etapas de tratamento.

DP = Desvio Padrão; Pontos de coleta: Res = Reservatório; TS = Tanque Séptico; A1= WC aerado cultivado com  $e.\ crassipes$ ; A2 = WC aerado controle (não-plantado); A3 = WC aerado cultivado com Cyperus spp.; D (1,2 e 3) = Decantadores subsequentes aos WCs aerados; WC (1, 2 e 3) = WC de fluxo sub-superficial referente a cada linha de tratamento.

Os valores de pH apresentaram baixam variação entre os sistemas, permanecendo dentro da neutralidade não afetando drasticamente a atividade microbiana, valores de pH entre 7,00 e 7,99 , considerada como estando dentro da faixa de neutralidade, propicia crescimento microbiano de bactérias generalistas adaptadas a estes valores, como as nitrificantes, por exemplo, com ressalvas as acidófilas que possui como pH ótimo com valores entre 2 e 3,5 e também fungos que desenvolvem-se preferencialmente em pH < 5 (HE et al., 2012).

Os valores de temperatura permaneceram estáveis não representando um fator ao decréscimo de atividade biológica, no reservatório (Res) foram encontrados valores mais baixos devidos a refrigeração aproximadamente a 10°C em estufa.

O oxigênio dissolvido nos sistemas aerados foi mantido medias entre 1,5mg/L e 1,2mg/L, nesta pesquisa busca-se a manutenção de baixa areação para verificar o mínimo de utilização de energia no sistema, nas etapas não aeradas as concentrações ficaram próximas a 0mg/L com o intuito de induzir a desnitrificação e a degradação anaeróbia no sistema.

A concentração média de matéria orgânica em termos de COT aplicada no aparato é igual a 374 mg/L, o sistema apresentou valores finais entre 41 e 50mg/L, representando uma eficiência de até 89% de remoção de matéria orgânica.

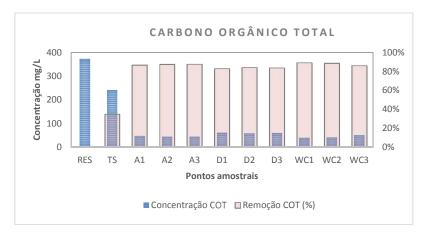
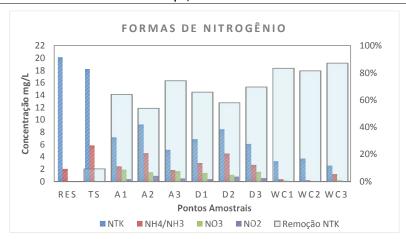


Fig. 4. Gráfico das concentrações de carbono orgânico total e as eficiências de remoção do mesmo.

Para as formas nitrogenadas verifica-se a amonificação no tanque séptico e posteriormente oxidação a nitrito e nitrato na etapa aerada, a eficiências de remoção de nitrogênio em um WC podem ser atribuídas também a incorporação das plantas, o sistema estudado apresentou uma remoção máxima de 87% de remoção de nitrogênio total.



**Fig. 5.** Gráfico das concentrações nitrogênio total kjeldahl, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato bem eficiências de remoção de nitrogênio total.

No tocante a remoção de nitrogênio dos sistemas de WC aerados artificialmente os resultados têm indicado um desempenho bastante favorável, com ressalvas aos sistemas de único modulo aerado de maneira continua, fato que limita a remoção de nitrogênio total pela ausência de fase anóxica. Os sistemas com aeração intermitente apresentaram em alguns estudos entre 90% na remoção de nitrogênio amoniacal e 80% de nitrogênio total (FAN et al., 2013), chegando até a valores acima de 90% de NTK, conforme demostrado por Hu et al., (2012).

Os fenômenos envolvidos na remoção de fósforo de águas residuárias em sistemas de WC, são incorporação nas plantas e microrganismo, adsorção no meio filtrante e precipitação química. As formas mais facilmente disponíveis ao metabolismo biológico são os ortofosfatos (PO43-, HPO42-, H2PO4-, H3PO4), já os polifosfatos necessitam de uma quebra antes de sua assimilação (KADLEC et al., 2000; VYMAZAL, 2008).



**Fig. 6.** Gráfico das concentrações de fósforo livre.

O sistemas estudados apresentaram remoção máxima de fósforo livre na ordem de 8%, bem inferiores os valores obtidos por Piedade (2010) estudando a dinâmica de fósforo em leitos cultivados com plantas do gênero Typha sem aeração, tratando esgoto doméstico, obteve valores médios de remoção de fósforo de até 41,9%.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados apresentados demostram o potencial de aplicação da aeração nos sistemas de WC, elevando consideravelmente a remoção de matéria orgânica e principalmente de nitrogênio total, Pelissari et al., (2014) em estudo realizado no sul do Brasil comparando as formas nitrogenadas de

um WC sub-superficial vertical e um horizontal tratando esgoto sanitário de mesma origem sem areação observou uma remoção média de nitrogênio total na ordem de 59%, bem abaixo no obtido na pesquisa até o momento.

A baixa remoção de fósforo pode estar relacionada concentração de matéria orgânica, estudos utilizando areia grossa para avaliar a remoção de fósforos em água residuária sintética, utilizando um sistema de wetland intensificado, com enchimento e esvaziamento periódico para aumento da taxa de oxigenação, Li; Wu e Dong (2015), verificaram aumento de 13% para 88% na remoção P-PO4, aumentando as concentrações de COT de 30mg/L para 1147mg/L, estes estudos também indicam que em meios filtrantes com baixa reatividade como utilizados na pesquisa a forma mais representativa de remoção de fosforo seria a incorporação biológica no biofilme e nas plantas.

Outros fatores ainda devem ser considerados como a quantidade de energia aplicada para aeração, considerando custos adicionais e maior complexidade de instalação e operação, também deve-se considerar o desempenho do sistema nas próximas fases de operação verificando possíveis instabilidades.

### **5. REFERENCIAS**

AUSTIN, D.; NIVALA, J. Energy requirements for nitrification and biological nitrogen removal in engineered wetlands. Ecological Engineering, v. 35, n. 2, p. 184–192, fev. 2009.

FAN, J. et al. Intermittent aeration strategy to enhance organics and nitrogen removal in subsurface flow constructed wetlands. Bioresource Technology, v. 141, p. 117–122, 2013.

FONDER, N.; HEADLEY, T. The taxonomy of treatment wetlands: A proposed classification and nomenclature system. Ecological Engineering, v. 51, p. 203–211, fev. 2013.

HE, Y. et al. Effects of pH and seasonal temperature variation on simultaneous partial nitrification and anammox in free-water surface wetlands. Journal of Environmental Management, v. 110, p. 103–109, 2012.

HU, Y. et al. High rate nitrogen removal in an alum sludge-based intermittent aeration constructed wetland. Environmental Science and Technology, v. 46, p. 4583–4590, 2012.

KADLEC, H. R.; WALLACE, D. S. TREATMENT WETLANDS. 2. ed. Ne: CRC Press, 2009. p. 965

KADLEC, R. H. et al. Constructed wetlands for pollution control. p. 156, 2000.

KAICK, T. S. VAN et al. RELAÇÃO À CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS APÓS UMA. n. 1, p. 1–6, 2011.

LI, C.; WU, S.; DONG, R. Dynamics of organic matter , nitrogen and phosphorus removal and their interactions in a tidal operated constructed wetland. Journal of Environmental Management, v. 151, p. 310–316, 2015.

NIVALA, J. et al. Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands. Ecological Engineering, v. 61, p. 544–554, dez. 2013.

OSEM, Y. et al. The effects of plant roots on microbial community structure in aerated wastewater-treatment reactors. 2006.

OUELLET-PLAMONDON, C. et al. Artificial aeration to increase pollutant removal efficiency of constructed wetlands in cold climate. Ecological Engineering, v. 27, p. 258–264, 2006.

PELISSARI, C. et al. Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil. Ecological Engineering, v. 73, p. 307–310, dez. 2014.

PIEDADE, A. R. Dinâmica da Remoção de Fósforo em Leitos Cultivados com Typha sp. [s.l.] Unicamp, 2010.

ROUSSEAU, D. Performance of Constructed Treatment Wetlands: Model-Based Evaluation and Impact of Operation and Maintenance Werking Van Aangelegde Zuiveringsmoerassen: Modelgebaseerde Evaluatie En Impact Van. [s.l.] Ghent University, 2006.

SEZERINO, P. H. Potencialidade dos Filtros Plantados Com Macrófitas (Constructed Wetlands) no Pós-Tratamento de Lagoas de Estabilização sob Condições De Clima SubTropical. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

STOTTMEISTER, U. et al. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances, v. 22, n. 1-2, p. 93–117, dez. 2003.

TANNER, C. C. et al. Floating treatment wetlands: a new tool for nutrient management in lakes and waterways. 24th Annual FLRC Workshop, 8-10 February 2011, n. Figure 1, p. 1–12, 2011.

TORRES, P. Desempenho de um reator de manta de lodo (UASB) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgotos sanitários. [s.l.] Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.

VYMAZAL, J. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. p. 965–980, 2008.

WASTEWATER, S. M. FOR THE E. OF W. AND. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition. [s.l: s.n.].

WERAGODA, S. K. et al. Tropical Application of Floating Treatment Wetlands. Wetlands, v. 32, n. 5, p. 955–961, 29 ago. 2012.

WU, H. et al. Bioresource Technology A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. Bioresource Technology, v. 175, p. 594–601, 2015.

WU, S. et al. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: a nitrogen and organic matter targeted review. Water research, v. 57, p. 40–55, 15 jun. 2014.

YI, N. et al. Eichhornia crassipes Cleans Wetlands by Enhancing the Nitrogen Removal and Modulating Denitrifying Bacteria Community. v. 42, n. 5, p. 664–673, 2014.

ZHANG, C. et al. Comparison of effects of plant and bio fi lm bacterial community parameters on removal performances of pollutants in fl oating island systems. Ecological Engineering, v. 73, p. 58–63, 2014.

ZHANG, L. et al. Effect of limited artificial aeration on constructed wetland treatment of domestic wastewater. Desalination, v. 250, n. 3, p. 915–920, jan. 2010.