

## **OTIMIZAÇÃO DE ECOTECNOLOGIA WETLANDS CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO DE MICROPOLUENTES E SUAS INTERAÇÕES SINÉRGICAS EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Júlio Carlos Afonso<sup>1</sup>  
Jussara Lopes de Miranda<sup>2</sup>  
Márcio Pacheco Cardoso<sup>3</sup>

Estudo das práticas de gestão de recursos hídricos, incluindo conservação, tratamento de água e políticas de uso sustentável.

### *Resumo*

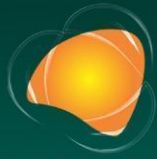
Diariamente, inúmeros contaminantes são despejados nos corpos hídricos em todo o estado do Rio de Janeiro. Dentro deste grupo estão os poluentes emergentes ou micropoluentes, cujo interesse da comunidade científica vem aumentando nas últimas décadas por não serem removidos com grande eficiência nos processos convencionais de tratamento das águas residuárias. Diante disso, esse projeto objetiva otimizar uma ecotecnologia wetland, através de um arranjo operacional com alta eficiência pelo qual se tenha um tratamento viável economicamente e capaz de diminuir os impactos ambientais provocados pela bioacumulação desses micropoluentes. Para isso, será realizado um estudo bibliográfico seguido de simulações em laboratório. Os micropoluentes analisados neste estudo serão: o herbicida glifosato, o fármaco ibropufeno e o hormônio feminino 17 $\beta$ -estradiol, em dois cenários: isolados e misturados em matrizes complexas, além de analisar possíveis interações sinérgicas entre os contaminantes. Após preparo, serão bombeados para a estação de tratamento experimental. Para identificação da eficiência do tratamento destes contaminantes será feita uma análise no efluente tratado para quantificação dos microcontaminantes em uma etapa de pré-concentração em cartucho Strata SAX e determinação dos compostos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS), passando por etapa prévia de derivatização. Este trabalho se justifica pelo fato de o tratamento de micropoluentes em águas residuárias ainda ser pouco investigado no Brasil, muito especialmente quando se tem a intenção de avaliar as interações nas matrizes. Como resultados, espera-se encontrar o melhor arranjo operacional em microescala, como forma de criar alternativa para futuras plantas-piloto.

**Palavras-chave:** microcontaminantes; esgoto; saneamento ambiental; filtro plantado com macrófitas.

<sup>1</sup>Profº Drº Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, julio@iq.ufrj.br

<sup>2</sup> Profª. Drª Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, jussara@iq.ufrj.br

<sup>3</sup> Doutorando, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, marciocard75@gmail.com

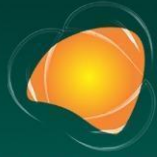


## INTRODUÇÃO

O Estado do Rio de Janeiro passou por um processo de crescimento populacional significativo, beirando aos 1,1% anuais em média até 2020, tendo aproximadamente 16 milhões de habitantes fortemente concentrados na região metropolitana (IBGE, 2022). Segundo diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, do Ministério do Desenvolvimento Regional (2019), este grande crescimento tem como consequência o aumento no consumo de água e, paralelamente, na produção de esgotos domésticos que podem ter como características, além de materiais orgânicos e sais, a presença de micropoluentes orgânicos dentre eles agrotóxicos, fármacos, produtos de higiene pessoal e hormônios.

De forma sucinta, os micropoluentes, também conhecidos como poluentes emergentes, compreendem uma ampla classe de substâncias que podem ser de origem antrópica ou natural, em que se incluem compostos farmacêuticos ativos, produtos de higiene pessoal, pesticidas, desreguladores endócrinos, drogas ilícitas e produtos industriais, como retardantes de chama, plastificantes, dentre outros (LUO et al., 2014). Chavoshani et al. (2020) define micropoluentes como sendo produtos químicos antrópicos, ou de ocorrência natural, como o caso do hormônio feminino  $17\beta$ -estradiol, e que ocorrem no ambiente aquático com concentrações em níveis de traços. Esses tipos de contaminantes apresentam uma divisão bem ampla, associando produtos farmacêuticos (antidepressivos, antibióticos, analgésicos, bronco dilatadores, quimioterápicos, betabloqueadores), hipolipemiantes, hormônios (naturais e sintéticos), orgânicos sintéticos (pesticidas, hidrocarbonetos, solventes, detergentes, cosméticos e outros produtos de cuidado pessoal, como produtos de maquiagem, sabonete para as mãos, limpador facial, sabonete líquido, pomada, perfume, creme de barbear e hidratante).

Objeto deste estudo, a presença de micropoluentes no esgoto é preocupante, pois sua remoção não é alcançada nas estações convencionais de tratamento de esgoto (ETEs), já que essas são dimensionadas basicamente para a remoção da matéria orgânica biodegradável. Com isso, os micropoluentes presentes no efluente tratado são lançados nos cursos d'água, o que prejudica a qualidade da água coletada a jusante para distribuição e consumo, já que as estações de tratamento de água (ETAs) também não são planejadas para a remoção destes contaminantes (KÜMMERER, 2010).



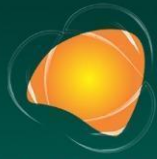
## EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Diversos artigos científicos catalogados em livro especializado (SEZERINO, 2021) já destacaram que essas substâncias, quando presentes nos recursos hídricos, são prejudiciais aos organismos aquáticos e à saúde humana, tornando sua remoção dos efluentes como fundamental para a proteção da biodiversidade local. Por essa razão, cabe toda a atenção da sociedade e, por parte dos poderes públicos, a busca por tecnologias capazes de remover essas substâncias do esgoto e água, seja por processos físicos, químicos e/ou microbiológicos. Entretanto, muitas das tecnologias apresentadas são formas de tratamento que exigem altos investimentos de instalação e manutenção, inviáveis para localidades onde não há recursos para o investimento em coleta e tratamento do esgoto. Logo, faz-se necessário o desenvolvimento de sistemas de tratamento que tenham como objetivo a remoção dessas substâncias e que sejam economicamente viáveis (SEZERINO, 2021).

Essa condição de contaminação das águas utilizadas para abastecimento é ainda mais crítica em municípios pequenos, em regiões distantes de grandes centros urbanos e em comunidades rurais, em face das deficiências na coleta e tratamento de esgotos. Uma alternativa seria o investimento em sistemas de tratamento de efluentes descentralizados e de baixo custo, sendo possível, ainda, alcançar pequenas comunidades (STACKELBERG et al., 2004 e 2007).

O tratamento de micropoluentes em águas residuárias ainda é pouco investigado no Brasil de modo que são necessários mais estudos sobre essa temática, sob a ótica da realidade nacional. As estações de tratamento de efluentes (ETE) não foram projetadas considerando que seja feita a redução ou eliminação desses micropoluentes (KANOPF, 2019), o que faz com que essas espécies químicas sejam transportadas por meio do sistema de tratamento sem que haja remoção significativa dos mesmos (KLOEPFER et al., 2005; BESTER, 2007a; ANDRESEN et al., 2007; ZHANG, et al., 2008).

Sob o ponto de vista do tipo de tratamento do efluente, existem inúmeras tecnologias disponíveis, sendo possível classificá-las em grupos distintos: sistemas passivos e intensivos, biológicos ou físico-químicos, compactos ou extensivos, naturais ou mecanizados. Em termos qualitativos podemos afirmar que todas elas são adequadas ao tratamento de efluentes, não sendo possível segregá-las entre "boas" ou "más". A melhor tecnologia de tratamento é aquela que melhor se compatibiliza com os condicionantes e critérios do contexto socioambiental, técnico e econômico de aplicação no local escolhido (VON SPERLING, 2014).



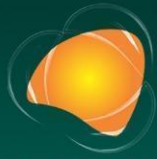
Conforme recomendação da ABNT NBR 12.209/2011 (Projeto de estações de esgoto sanitário) a seleção de uma entre as diversas tecnologias disponíveis, deve ser realizada com base em uma análise de multicritérios que leve em conta, em resumo, os seguintes aspectos:

- Intensidade da rotina operacional (controle diário / controle semanal / controle quinzenal);
- Consumo energético (aeradores, bombas de recirculação, elementos eletromecânicos);
- Geração de subprodutos (lodo, espuma, odores, gases);
- Custo operacional (reúne os itens acima);
- Sensibilidade a problemas/falhas operacionais (descarte de lodos, limpeza de equipamentos, troca de equipamentos, interrupção de energia, falha na dosagem de produtos químicos);
- Confiabilidade do processo em atender os objetivos de tratamento (legislação ambiental, água para reúso)
- Impacto sócio-ambiental (estética, apropriação da comunidade, percepção do usuário sobre a ETE, odores, proliferação de vetores, ruídos).

Para efluentes domésticos, com equivalência populacional da ordem de 20 a 30 mil habitantes, as tecnologias de tratamento de efluentes devem, comumente, serem selecionadas conforme aspectos de simplicidade operacional, baixos custos de implantação, operação e manutenção, tratamento local do lodo, e, possivelmente, o mais importante, a percepção da comunidade sobre o sistema de tratamento.

Para este contexto a tecnologia wetlands construídos, além da simplicidade operacional e eficiência comprovada (alcança concentrações finais de DBO inferiores a 25 mg/L) apresenta importante vantagem dada a possibilidade de configurar-se como um ícone de sustentabilidade e paisagismo (SEZERINO, 2021; VON SPERLING, 2014).

Nesse contexto, surgiu a necessidade de aplicações de tecnologias que tenham ocorrência simultânea de diversos mecanismos de tratamento, tanto como sedimentação, floculação, absorção, coprecipitação, precipitação, oxidação, redução, troca catiônica, hidrólise, fotólise, ação biológica de absorção e metabolismo da planta, bem como processos bioquímicos microbianos de degradação sendo, portanto, capazes de remover essa variedade de produtos (DECEZARO, 2018). Nesse caso, Vymazal e Březinová (2015) apontam os wetlands construídos com potencial para essa diversidade simultânea de caminhos para o tratamento dos passivos ambientais dos micropoluentes, dentre as alternativas e



tecnologias existentes.

Em geral a remoção de micropoluentes, como fármacos e desreguladores endócrinos, ocorre por conta de interações físicas com a matéria orgânica, a biodegradação, a assimilação por microorganismos e plantas, a volatilização, a hidrólise e a fotodegradação. Esse último processo ocorrerá apenas em wetland construído em que houver a exposição direta da água residuária à luz solar (MATAMOROS; BAYONA, 2008; MATAMOROS et al., 2012).

No campo de avaliação da remoção de micropoluentes pela utilização de wetlands construídos, Ávila et al. (2014) afirmam que estudos sobre os fatores que interferem na remoção de micropoluentes podem auxiliar na otimização do design e do modo de operação de wetland. O interesse no efeito de design e dos parâmetros operacionais na remoção desses contaminantes em wetlands aumentaram na década de 2010. Variáveis como a profundidade da água (MATAMOROS; GARCÍA; BAYONA, 2005; MATAMOROS; BAYONA, 2006), tipo de matéria orgânica (MATAMOROS; BAYONA, 2008), tipo de material de recheio (DORDIO et al., 2009; DORDIO; CARVALHO, 2013), e modo de operação (HIJOSA-VALSERO et al., 2010; HIJOSA-VALSERO et al., 2011) têm sido tema de recentes pesquisas sobre wetlands.

Para o aprofundamento dos conhecimentos sobre as ecotecnologias e aprimoramento da eficiência dos wetlands construídos na remoção de micropoluentes desses efluentes, se faz necessário ampliar as análises onde incorporem o fator da interferência das interações entre os poluentes e suas potencialidades em diminuir a eficiência no tratamento. Como existe uma demanda urgente devido ao aumento no uso de medicamentos, agrotóxicos e outros poluentes emergentes, este estudo tem o objetivo contribuir com as políticas de saneamento ambiental identificando um arranjo operacional com alta eficiência (tipos de plantas macrófitas, elementos filtrantes e dimensões operacionais) pela qual se tenha um tratamento viável economicamente e capaz de diminuir os impactos ambientais provocados pela bioacumulação desses micropoluentes



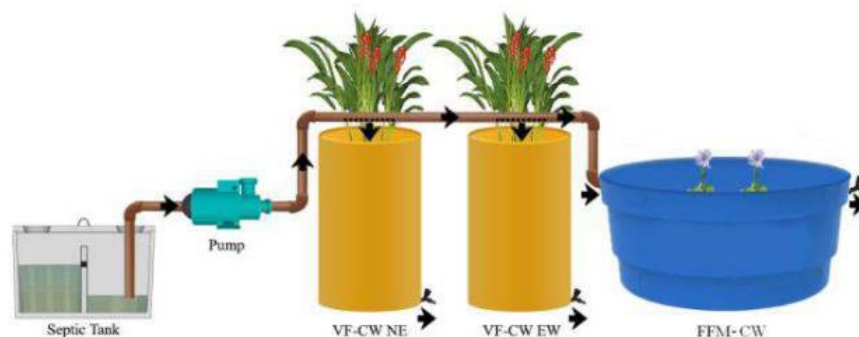
## METODOLOGIA

Sob o aspecto metodológico, este trabalho partirá de um prévio estudo bibliográfico sobre os wetlands construídos testados no tratamento de efluentes variados. Partindo disso, as pesquisas em laboratório se darão com uma estação montada em bancada, em escala reduzida, capaz de simular cenários que reflitam o que de fato ocorre na composição dos efluentes despejados nos rios pelo Estado do Rio de Janeiro, incluindo os micropoluentes: glifosato, dipirona e 17 $\beta$ -estradiol. Os ensaios hidrodinâmicos serão conduzidos em dois tipos de wetlands construídos (CWs): (i) fluxo vertical construído wetland (VF-CW) plantado com *Heliconia rostrata* utilizando areia e brita como meio filtrante; (ii) wetland construído de fluxo horizontal de superfície flutuante com macrófita *Eichhornia crassipes* (FFM-CW), como esquematizado na figura 1 (OLIVEIRA, 2019).

Para avaliar a eficiência de remoção de poluentes para cada sistema (VF-CW NE e VF-CW EW com meio filtrante e FFM-CW), serão realizadas análises na saída desses reatores biológicos. Os parâmetros químicos estudados serão: demanda de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), total fósforo (TP), nitrogênio total (TN), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) e sólidos totais (ST) de acordo com o manual técnico oficial dos órgãos federais: “Métodos Padrão para o Exame de Água e Águas Residuais” (APHA, 2012).

A análise dos compostos emergentes será na saída de cada sistema CW. Serão através de cromatografia de fase reversa em sistema RP-HPLC (Waters e 2695 Módulo de Separações) com coluna analítica C18 (Waters XTerra MS C18, coluna 4,6x250 mm), usando um gradiente linear de 5–95% de acetonitrila (ACN) em ácido trifluoroacético 0,1% (v:v), com vazão de 1,0 mL.min<sup>-1</sup>, onde as amostras serão lidas em triplicata. Para avaliar os poluentes emergentes em questão será através de detecção com UV onde o comprimento de onda será o determinante para cada composto (ZHANG, et al, 2017) em seu teste nas macrófitas flutuantes. Os testes de correlação estatística serão realizados entre os parâmetros físico-químicos (carga orgânica) e temperatura (°C) vs. eficiência de remoção dos poluentes emergentes em questão (%) (OLIVEIRA, 2019).

A escolha desta técnica analítica se justifica por já ter sido validada com outros tipos de poluentes emergentes em estudos anteriores, como nos estudos de Oliveira M. et al (2019), podendo ser adaptada conforme possíveis restrições na Universidade Federal do Rio de Janeiro.



**Figura 1** – Configuração interna de estação para testes em laboratório

Fonte: Oliveira, M. et al, 2019

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os wetlands construídos são sistemas conhecidamente eficientes na remoção de matéria orgânica carbonácea e nitrogenada, podendo ser aplicados para o tratamento descentralizado. Novas pesquisas têm mostrado que esses sistemas podem também remover micropoluentes, com eficiências medianas, tanto em configurações de fluxo hidráulico horizontal como vertical, de forma a minimizar as concentrações desses poluentes em corpos hídricos. Desta forma, este projeto tem como resultado esperado a possibilidade de aplicação de sistemas naturais de tratamento de esgotos que possam remover poluentes emergentes num rearranjo operacional capaz de atender aos três contaminantes em questão: glifosato, dipirona e  $17\beta$ -estradiol, tendo em vista que as ecotecnologias ainda não foram exploradas em todo o seu potencial nos municípios e pequenas comunidades do Estado do Rio de Janeiro.

Um detalhe importante e inovador encontra-se no fato de avaliar as possíveis atividades sinérgicas entre os micropoluentes através de matrizes simulando o efluente representativo encontrado nos corpos hídricos do Estado do Rio de Janeiro.



## CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os autores deste projeto pretendem colaborar com políticas de saneamento básico sugerindo uma alternativa eficiente e econômica com ecotecnologia capaz de descontaminar os corpos d'água, diminuindo os riscos à saúde da população fluminense.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. de et al. Cation and anion monitoring in a wastewater treatment pilot project. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, Medellín, n. 76, p. 82-89, 2015.

ARAÚJO, R. K. Redução de micropoluentes em sistema de tanque séptico e wetland construído vertical. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

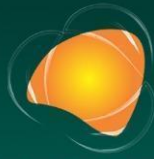
ÁVILA, C. et al. Emerging organic contaminants in vertical subsurface flow constructed wetlands: influence of media size, loading frequency and use of active aeration. Science of the Total Environment, [s. l.], v. 494, p. 211-217, 2014.

CHAVOSHANI, A. et al. Emerging in the Aquatic Environments and Treatment Processes. In: CHAVOSHANI, A. et al. Micropollutants and Challenges. Amsterdam: Elsevier, 2020. 292 p.

CARVALHO, P. N.; ARIAS, C. A.; BRIX, H. Constructed wetlands for water treatment: New developments. Water, [s. l.], v. 9, n. 6, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9060397>. DE FILIPPIS, L. F. Role of Phytoremediation in Radioactive Waste Treatment.

HAKEEM, K. R. (Eds.). Soil Remediation and Plants. London: Academic Press, 2015. cap. 8, p. 207-254.





DECEZARO, S. T. Sistema de tanque séptico e wetland construído vertical com recirculação para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de esgoto doméstico. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

DEHDASHTI, B.; AMIM, M. M.; CHAVOSHANI, A. Micropollutants and Challenges: Emerging in the Aquatic Environments and Treatment Processes, 2020. 292 p.

DELL'OSBEL, N. et al. Bibliometric Analysis of Phosphorous Removal Through Constructed Wetlands. Water, Air, and Soil Pollution, [s. l.], v. 231, n. 3, p. 1-18, 2020.

DORDIO, A. et al. Toxicity and removal efficiency of pharmaceutical metabolite clofibric acid by typha spp. - potential use for phytoremediation? Bioresource Technology, [s. l.], v. 100, p. 1156-1161, 2009.

DORDIO, A.; CARVALHO, A. J. P. Constructed wetlands with light expanded clay aggregates for agricultural wastewater treatment. Science of the Total Environment, [s. l.], v. 463, p. 454-461, 2013.

HIJOSA-VALSERO, M. et al. Assessment of full-scale natural systems for the removal of PPCPs from wastewater in small communities. Water Research, [s. l.], v. 44, n. 5, p. 1429- 1439, 2010.

HIJOSA-VALSERO, M. et al. Removal of antibiotics from urban wastewater by constructed wetland optimization. Chemosphere, [s. l.], v. 83, n. 5, p. 713-719, 2011.

KÜMMERER, K. Pharmaceuticals in the environment. Annual Review of Environment and Resources, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 57-75, 2010.

LUO, Y. et al. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. Science of the Total Environment, [s. l.], v. 473, p. 619-641, 2014.

LUTTERBECK, C. A. et al. Hospital laundry wastewaters: a review on treatment alternatives, life cycle assessment and prognosis scenarios. Journal of Cleaner Production, [s. l.], v. 273, p. 122851, 2020.



**EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS**

LUTTERBECK, C. A.; MACHADO, Ê. L.; KÜMMERER, K. Degradation and Elimination of Anticancer Drugs by Water and Wastewater Treatment – Toxicity and Biodegradability Before and After the Treatment. p. 139-168. In: HEATH, E.; ISIDORI, M.; KOSJEK, T.;

FILIPČIĆ, M. (Eds.). Fate and Effects of Anticancer Drugs in the Environment. Berlin: Springer International Publishing, 2020. DOI: [http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-030-21048-9\\_7](http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-030-21048-9_7).

MATAMOROS, V. et al. Evaluation of aquatic plants for removing polar microcontaminants: a microcosm experiment. *Chemosphere*, [s. l.], v. 88, n. 10, p. 1257-1264, 2012.

MATAMOROS, V.; BAYONA, J. M. Behavior of emerging pollutants in constructed wetlands. *The Handbook of Environmental Chemistry*, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 199-217, 2008.

MATAMOROS, V.; BAYONA, J. M. Elimination of pharmaceuticals and personal care products in subsurface flow constructed wetlands. *Environmental Science and Technology*, Washington, v. 40, n. 18, p. 5811-5816, 2006.

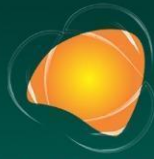
MATAMOROS, V.; GARCÍA, J.; BAYONA, J. M. Behavior of selected pharmaceuticals in subsurface flow constructed wetlands: a pilot-scale study. *Environmental Science and Technology*

OLIVEIRA, M. et al. Ibuprofen and caffeine removal in vertical flow and free-floating macrophyte constructed wetlands with *Heliconia rostrata* and *Eichornia crassipes*. *Washington*, v. 39, n. 14, p. 5449-5454, 2005.

Contents lists available at ScienceDirect *Chemical Engineering Journal*. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/cej](http://www.elsevier.com/locate/cej)

PAT-ESPADAS, A. M. et al. Review of Constructed Wetlands for Acid Mine Drainage Treatment. *Water*, [s. l.], v. 10, n. 11, p. 1-25, 2018.

RUPPELT, J. P. et al. Assessing the role of microbial communities in the performance of constructed wetlands used to treat combined sewer overflows. *Science of The Total Environment*, [s. l.], v. 736, p. 139519, 2020.



SILVEIRA, D. D. Estudos Fenológicos da Macrófita *Hymenachne grumosa* (Magnoliophyta- Poaceae) na aplicação de Wetlands Construídos para o Tratamento de Efluentes Secundários de Campus Universitário. 2010. 108 p. Dissertação (Mestrado em Concentração Gestão e Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2010.

SEZERINO, Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras [recurso eletrônico] / organização de Pablo Heleno Sezerino, Catiane Pelissari – 1.ed. - Curitiba: Brazil Publishing, 2021

VYMAZAL, J.; BŘEZINOVÁ, T. The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: A review. *Environment International*, [s. l.], v. 75, p. 11-20, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.026>.

ZHANG, L.V. Tao, Y. Zhang, O.R. Stein, C.A. Arias, H. Brix, P.N. Carvalho, Effects of constructed wetland design on ibuprofen removal – a mesocosm scale study, *Sci. Total Environ.* 31 (2017) 38–45, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.130>.

ZHANG, R. Jing, X. Feng, Y. Dai, R. Tao, J. Vymazal, N. Cai, Y. Yang, Removal of acidic pharmaceuticals by small-scale constructed wetlands using different design configurations, *Sci. Total Environ.* 639 (2018) 640–647, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.198>.

ZHANG, P.N. Carvalho, T. LV, L. Zhang, C.A. Arias, Z. Chen, H. Brix, Ibuprofen and iohexol removal in saturated constructed wetland mesocosms, *Ecol. Eng.* 98 (2017) 394–402, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.077>.

APHA, Awwa, WEF, Standard methods for examination of water and wastewater, 22<sup>nd</sup> ed., American Public Health Association, Washington, 2012, p. 1360