

## Sistema Wetland construído para o tratamento de águas residuais domésticas utilizando *Cyperus surinamensis*

PAULO RENAN GOMES FERREIRA  
GENILSON PEREIRA SANTANA  
SIOMARA DIAS DA ROCHA

Programa de Pós-Graduação em Química, Departamento de Química  
Instituto de Ciências Exatas | Universidade Federal do Amazonas  
Manaus, Estado do Amazonas, Brasil

JELMIR CRAVEIRO DE ANDRADE

Programa de Pós-Graduação em Química,  
Instituto de Química | Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro, Brasil

ANDERSON DA SILVA LAGES

Departamento de Recursos Hídricos, Laboratório de Química Ambiental  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia  
Manaus, Estado do Amazonas, Brasil

MAURO CÉLIO DA SILVEIRA PIO

Instituto Federal do Amazonas, Departamento de Química e Alimentos  
Manaus, Estado do Amazonas, Brasil

WAMBER BRONI DE SOUZA

Instituto de Ciências Sociais, Educação e Zootecnia  
Universidade Federal do Amazonas, Parintins, Estado do Amazonas, Brasil

### Abstract

*Constructed wetlands (WC), which mimic nature, stand out for efficiently remediating contaminated water from the most diverse origins by means of physical, biological, and chemical mechanisms. They are known for being considered low cost, sustainable, robust, efficient, and easy to maintain and operate. The present work had as objective the treatment of domestic wastewater using a WC operated with Arduino with species of *Cyperus surinamensis* (Cyperaceae). Good results were achieved for organic matter ( $BOD_5$  and COD), nutrients (P and N) and coliforms (thermotolerant coliforms), which showed that the WC performed satisfactorily in the removal of contaminants according to local legislation during its period of operation.*

Paulo Renan Gomes Ferreira, Genilson Pereira Santana, Siomara Dias da Rocha, Jelmir Craveiro de Andrade, Anderson da Silva Lages, Mauro Célio da Silveira Pio, Wamber Broni de Souza– **Sistema Wetland construído para o tratamento de águas residuais domésticas utilizando *Cyperus surinamensis***

---

**Keywords:** Wetland constructed; Domestic wastewater treatment; *Cyperus surinamensis*; Arduino.

## Resumo

*Sistemas wetlands construídos (SWC), que imitam a natureza, destacam-se por remediar eficientemente águas contaminadas das mais diversas origens por meios de mecanismos físicos, químicos biológicos. São amplamente reconhecidos por serem de baixo custo, sustentáveis, robustos, eficientes e de fácil manutenção e operação. O presente trabalho teve como objetivo o tratamento de águas residuais domésticas utilizando um SWC operado com Arduino com espécies de *Cyperus surinamensis* (Cyperaceae). Foram obtidos bons resultados para matéria orgânica (DBO<sub>5</sub> e DQO), nutrientes (P e N) e coliformes (coliformes termotolerantes), o que mostrou que o SWC atuou de modo satisfatório na remoção de contaminantes segundo as legislações locais vigentes durante o seu período de operação.*

**Palavras-chave:** Sistemas wetlands construídos; Tratamento de águas residuais domésticas; *Cyperus surinamensis*; Arduino.

## INTRODUÇÃO

A degradação de recursos hídricos causada pela poluição e aumento da população e urbanização descontrolados é um sério problema em diversas regiões do mundo. Consequentemente, observam-se diversos efeitos adversos como eutrofização de sistemas aquáticos, perda considerável da flora e fauna aquática e doenças como diarreias, verminoses, esquistossomose, leptospirose, dermatites e hepatite A, transmitidas por águas eutrofizadas. Além disso, focos do mosquito *Aedes aegypti* presentes em águas contaminadas causam Zika, Dengue e Chikungunya (NUAMAH et al., 2020; WEST et al., 2017; WU et al., 2016).

A água pode ser tratada para diversos fins, destacando o reuso como uma forma de reduzir o impacto ambiental. Existem diversas estratégias de tratamentos de águas residuais para reuso com as mais diversas aplicações não potáveis, tais como a descarga em vasos sanitários, lavagem de carros, limpeza de pisos e calçadas, além da irrigação de jardins e campos de futebol, entre outros (ALCAMO 2019). Lamentavelmente, fatores notáveis como custos exorbitantes e

elevados conhecimentos técnicos muitas vezes limitam os processos de tratamento de águas residuais para reuso mundialmente. As áreas rurais/descentralizadas ou em pequenas populações, onde não há serviço de esgoto ou as construções estão amplamente dispersas, o reuso de água é muito mais difícil (OTTER et al., 2020; WU et al., 2015). Portanto, a busca por uma tecnologia de tratamento de águas residuais de baixo custo com potencial para a manutenção da integridade ambiental se tornaram um desafio global.

Por outro lado, sistemas wetlands construídos (SWC), reconhecidos em diversos trabalhos recentes, tem se apresentado como boa alternativa de tratamento de águas para reuso. Além de usarem a própria natureza para tratar a água, eles são de baixo custo financeiro, usam pouca quantidade de energia, causam menos impactos ambientais, possuem alta eficácia de tratamento e menor requisito operacional e de manutenção (ABOU-ELELA et al., 2013; CASELLES-OSORIO et al., 2017; GARCÍA-ÁVILA et al., 2019; LINLAN et al., 2019). SWC são projetados para mimetizar wetlands naturais e são usados para remediar diversos tipos de poluentes, como nitrogênio (N), fósforo (P), matéria orgânica, metais e coliformes. Para isso, os SWC são projetados em um sistema complexo interconectado por plantas, substratos, água e comunidades microbianas (VYMAZAL 2009; WU et al., 2014). As principais aplicações dos SWC são em áreas rurais, remotas e em pequenas comunidades, principalmente para tratar águas residuais ricas em nutrientes como nitrogênio e fósforo (GIKAS et al., 2018; MA et al., 2020; DE ROZARI et al., 2021; SUN et al., 2006).

Todavia, a eficácia do tratamento de água está diretamente relacionada à capacidade de remoção de contaminantes pela planta escolhida para ser usada no SWC, juntamente com as interações das plantas com o substrato e os microrganismos. Dentre os principais fatores que uma planta deve ter em um SWC é que ela seja capaz de remover nitrogênio, fósforo, matéria orgânica e bactérias de águas residuais (ILYAS; MASIH 2017; VYMAZAL; KRÖPFELOVÁ 2011; YANG et al., 2017). Uma das espécies de plantas mais utilizadas em SWC são espécies do gênero *Cyperus* (pertencentes à família *Cyperaceae*), amplamente reconhecidas por serem de fácil adaptação e propagação. Espécies do gênero *Cyperus* são capazes de crescer em

condições eutróficas, possuem boas taxas de crescimento e produção de biomassa que refletem sua capacidade de absorver e acumular nutrientes, o que justifica o seu uso em vários tipos de SWC no tratamento de diversos tipos de águas residuais (CASIERRA-MARTÍNEZ et al., 2017; HAMAD 2020; SEPÚLVEDA; LEIVA; VIDAL 2020; THONGTHA et al., 2014). No Brasil, são registradas cerca de 100 espécies do gênero *Cyperus*, que são encontradas em variados habitats e tipos de vegetação (RIBEIRO et al., 2015).

A literatura reporta que as espécies *Cyperus alternifolius* e *Cyperus papyrus* são as mais estudadas do gênero *Cyperus* em SWC. Os resultados sobre a eficiência de descontaminação de águas em SWC com as espécies de *Cyperus* se mostraram promissores na região onde elas são plantas nativas, o que inclui capacidade de tolerância a toxicidade e adaptabilidade a águas contaminadas por esgoto doméstico (FERREIRA, PIO e SANTANA 2020; LETO et al., 2013). Dessa forma, uma avaliação da potencialidade de novas espécies de *Cyperus* no tratamento de águas residuais em SWC é importante para aumentar o acervo de conhecimentos desse gênero. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da espécie *Cyperus surinamensis*, espécie nativa das américas, para tratar águas residuais contaminadas principalmente por esgotos domésticos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Construção do filtro de sedimentação

Para fazer um pré-tratamento da água residual contaminada, construiu-se um filtro de sedimentação (também chamado de filtro agroecológico). A construção desse filtro foi baseada no trabalho do pesquisador Gilmar Tavares da Universidade Federal de Lavras (LAVRAS 2018). O filtro tem como princípio o uso de uma tecnologia socioambiental sustentável aplicável mundialmente.

O filtro foi construído com materiais simples, baratos e fáceis de serem encontrados, sendo constituído por uma bombona de 50 L e uma torneira de polipropileno fixada com resina epóxi, areia fina (diâmetro de 0,06 mm a 0,2 mm), seixo rolado (pedregulho) (diâmetro de 3 a 6 mm) e carvão vegetal (325 mesh). A Figura 1 mostra o filtro, cuja parte superior foi furada para a alimentação da água

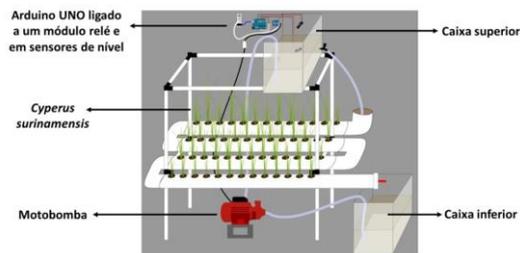
contaminada. Na parte inferior foi adaptada a torneira e internamente foram adicionadas camadas de seixo, seguidas por carvão e areia conforme mostrado na Figura 1.



**Figura 1: Filtro de sedimentação (agroecológico) para limpeza de água contaminada.**

### **Montagem do SWC com fluxo de água controlado com placa Arduino**

O SWC consistiu em quatro canos de PVC de 100 mm, conectados com joelhos (Figura 2). Na extremidade final dos canos, colocou-se um tampo com uma torneira de polietileno. Para apoiar os canos de PVC, utilizou-se uma estante horizontal construída com os materiais *leantech* e *flourack* com as seguintes dimensões: A: 1,10 m; L: 0,30 m; C: 1,00 m. De modo a fixar com mais segurança os canos na estante, foram utilizados fios metálicos. Além de apoio para os canos de PVC, a estante serviu para sustentar duas caixas organizadoras (uma superior e outra inferior) de 60 L.



**Figura 2: Esquema geral do SWC automatizado com Arduino.**

Na caixa superior, tem-se uma torneira de polietileno conectada a uma mangueira de PVC flexível transparente de 40 mm, além de dois sensores de nível de água lateral do tipo boia (modelo: Boia Magnética

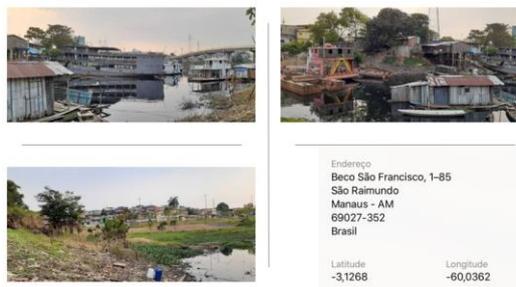
10W – 100 Ohm), localizados de forma horizontal na caixa. A caixa superior tem uma placa Arduino modelo UNO que controla os níveis de água para acionar uma motobomba periférica (modelo: QB 60 – 110v).

Na caixa inferior, uma outra mangueira de PVC conectada a bomba faz o contato com a caixa superior. Toda a programação foi realizada utilizando o programa IDE Arduino, disponível no site oficial do Arduino na seção *software* (ARDUINO.cc 2018), segundo as recomendações de MATTEDE (2016) do site "Mundo da Elétrica".

### Coleta das amostras de água

As amostras de águas residuais contaminadas por esgoto doméstico foram coletadas na bacia hidrográfica do igarapé do São Raimundo, zona oeste de Manaus. A bacia do igarapé do São Raimundo possui aproximadamente 122 km<sup>2</sup>, com pouca declividade e intensa ocupação urbana. É a mais representativa em extensão, cruza a cidade no sentido nordeste sudoeste, englobando todas as suas zonas administrativas. Tem como principais afluentes os igarapés Bindá, Franceses e Mindú (MACHADO 2012; COSTA 2017).

As amostras de água contaminada foram coletadas no Beco São Francisco, no período de setembro a novembro de 2020 (Figura 3). Coletou-se cerca de 20 L de amostras de água contaminada com o auxílio de um balde de plástico e uma corda, em bombonas plásticas. Em seguida, essas amostras foram filtradas no filtro de sedimentação no Laboratório, e, posteriormente, sendo submetidas a uma batelada de experimentos.



**Figura 3: Beco São Francisco, bairro São Raimundo.**

Paulo Renan Gomes Ferreira, Genilson Pereira Santana, Siomara Dias da Rocha, Jelmir Craveiro de Andrade, Anderson da Silva Lages, Mauro Célio da Silveira Pio, Wamber Broni de Souza– **Sistema Wetland construído para o tratamento de águas residuais domésticas utilizando *Cyperus surinamensis***

---

### **Coleta e preparo das plantas - *Cyperus surinamensis***

As espécies de *Cyperus surinamensis* foram coletadas no Conjunto Jardim de Versailles, bairro Planalto, zona Centro-Oeste de Manaus, com auxílio de uma pequena pá de alumínio e uma tesoura de poda simples no período de setembro de 2020 (Figura 4).



**Figura 4: Plantas da espécie *Cyperus surinamensis*.**

As plantas foram acondicionadas em sacos plásticos de 1 L e levadas até o Laboratório onde foram lavadas com água destilada e todo o lixo (pedras, pedaços de plástico e alumínio) foram retirados das raízes.

### ***Montagem do experimento***

A montagem do experimento consistiu na seleção e plantio de 52 plantas com tamanho aproximado de 10 cm na parte aérea e com raízes de cerca de 18 cm no SWC (Figura 5). O plantio consistiu em fixar as raízes com areia fina (diâmetro de 0,06 mm a 0,2 mm) e seixo (diâmetro de 3 a 6 mm), conforme MACHADO e colaboradores (2017). Adaptou-se as plantas com adição de cargas de 70 L água contaminada filtrada por um período de duas semanas, com fluxo contínuo de 0,005 m s<sup>-1</sup>.



**Figura 5: SWC controlado com Arduino utilizando a espécie *Cyperus surinamensis*.**

### ***Batelada de experimentos no tratamento de águas residuais***

Para avaliar a qualidade das águas residuais domésticas do São Raimundo tratadas no SWC com Arduino, foram feitas análises de demanda bioquímica de oxigênio no período de cinco dias (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (PT), nitrogênio nitrato (N-NO<sub>3</sub>), nitrogênio amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrogênio total (NT) e coliformes termotolerantes (CT). Seis amostras de água foram coletadas para análises nos meses de outubro e novembro de 2020, com um intervalo de tempo de 0 (entrada de água no SWC) a 96h (saída) por um período de três semanas consecutivas (assim, foram coletadas duas amostras por semana, e cada semana correspondeu a um experimento).

Todos os parâmetros mencionados acima foram determinados baseado no método padrão (APHA 2017), e avaliados quanto aos valores máximos permitidos pelo Artigo 15 (das condições e padrões de qualidade das águas) da resolução CONAMA nº 357 de 2005 (BRASIL 2005), e pelos Artigos 16 (das condições e padrões de lançamento de efluentes) e 21 (das condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários) da resolução CONAMA nº 430 de 2011 (BRASIL 2011). A porcentagem de eficiência de remoção foi calculada usando a seguinte equação:

$$\text{Remoção (\%)} = \frac{C(\text{entrada}) - C(\text{saída})}{C(\text{entrada})} \times 100\% \quad (1)$$

onde C<sub>entrada</sub> e C<sub>saída</sub> são as concentrações de entrada e saída de DBO<sub>5</sub>, DQO, PT, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NT e CT (DE ROZARI et al., 2021). No laboratório, foram feitas medidas de pH, condutividade elétrica e temperatura em um pHmetro de bancada (Kasvi – Modelo: K39-1014B).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Medidas de pH, condutividade elétrica e temperatura**

Durante o tempo de operação do SWC, os valores de pH registrados foram de 7,35 ± 0,10; para temperatura foram de 26,3 ± 0,66 °C e de condutividade 133,7 ± 5,66 μS/cm<sup>3</sup> (Tabela 1). Os valores de pH,

temperatura e condutividade se mantiveram praticamente constante durante toda a batelada de experimentos.

Os valores de pH e temperatura encontram-se em conformidade com o artigo 15 da resolução CONAMA nº357/2005 (valores permitidos de pH entre 6 e 9) e com os artigos 16 e 21 da resolução CONAMA nº 430/2011 (valores permitidos de pH entre 5 e 9 e temperatura inferior a 40 °C). Para condutividade elétrica, não há valores limites para esse parâmetro estabelecido pelo CONAMA.

Os valores de pH sugerem que o processo de remoção de nutrientes pelas plantas ocorre em um sistema tamponado, o que é muito reportado na literatura para SWC. Para os autores SHEN et al., (2011) e GARCÍA et al.. (2010) a existência de um sistema de tamponamento em SWC é uma consequência do tipo de rizosfera formado. Além disso, a capacidade de tamponamento depende diretamente da atividade microbológica, de condições redutoras e da genética das plantas. Para sistemas tamponados no intervalo de pH encontrado neste trabalho a eficiência para a remoção de P e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é mais eficiente.

Nesse contexto, é importante afirmar que o processo de tamponamento depende diretamente da quantidade liberada de íons como citrato, maleato e oxalato pela rizosfera. No processo de remoção de nutrientes, esses íons são os principais responsáveis por capturar por quelação ou troca iônica de íons nutrientes como P e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Segundo VYMAZAL (2007) o processo de remoção de nutrientes em SWC ocorre com o estabelecimento de um equilíbrio de adsorção/dessorção entre a rizosfera e água; ou seja, um equilíbrio sólido-líquido.

**Tabela 1: Medidas de pH, temperatura e condutividade elétrica nas amostras de águas residuais no SWC com Arduino.**

Medidas	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µs/cm)
1	7,30	26,1	136
2	7,43	27,5	139
3	7,34	26,3	133
4	7,53	26,8	131
5	7,28	26,0	127
6	7,39	25,5	126
7	7,21	26,2	130
8	7,19	25,2	132
9	7,36	26,4	140
10	7,42	26,8	143

Paulo Renan Gomes Ferreira, Genilson Pereira Santana, Siomara Dias da Rocha, Jelmir Craveiro de Andrade, Anderson da Silva Lages, Mauro Célio da Silveira Pio, Wamber Broni de Souza– **Sistema Wetland construído para o tratamento de águas residuais domésticas utilizando *Cyperus surinamensis***

Média	7,35	26,3	133,7
Desvio-padrão	0,10	0,66	5,66
VMP <sup>1</sup>	6 – 9	NA	NA
VMP <sup>2</sup>	5 – 9	< 40 °C	NA

Legenda: VMP<sup>1</sup>: Valores máximos permitidos Art. 15 e 16 CONAMA nº357 de 2005; VMP<sup>2</sup>: Valores máximos permitidos Art. 21 CONAMA nº 430 de 2011 e NA: Não aplicável.

### Nutrientes, matéria orgânica e coliformes

A Tabela 2 mostra os resultados de análises de nutrientes (P e N), matéria orgânica (DBO<sub>5</sub> e DQO) e coliformes termotolerantes (CT) para as águas residuais domésticas do São Raimundo no SWC. De modo geral, os resultados mostram que o SWC alterou todas as variáveis durante a batelada de experimentos. Considerando todo o período de análises (com exceção dos resultados obtidos na primeira semana), os valores de DBO<sub>5</sub> e DQO apresentaram diminuições, o que indica uma melhoria da qualidade dos parâmetros orgânicos de acordo com as resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011. Da mesma forma foram observadas diminuições para PT, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (exceto para a primeira semana de análises), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NT, bem como para coliformes termotolerantes seguindo as mesmas resoluções. Assim, mesmo com os resultados obtidos em um curto período é possível verificar que as espécies de *Cyperus surinamensis* no SWC se mostraram eficientes no tratamento de matéria orgânica, nutrientes e coliformes.

**Tabela 2. Concentrações de matéria orgânica, nutrientes e coliformes termotolerantes nas águas residuais obtidas com o SWC com Arduino**

Experimento	Horas	DBO <sub>5</sub>	DQO	PT	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NT	CT
		mgO <sub>2</sub> /L		mgP/L	mgN/L			NMP/100 mL
1	0	15	47	0,63	14,81	11,24	16,45	0,92
	96	17	59	0,30	18,47	0,190	7,29	Ausente
2	0	14	45	0,20	15,59	0,26	15,35	0,45
	96	10	40	0,10	9,46	0,16	12,61	Ausente
3	0	9	26	0,11	6,54	0,211	18,62	0,2
	96	8	22	0,10	0,09	0,14	11,33	Ausente
VMP <sup>1</sup>		10	NA	0,05	10	13,3	NA	2500
VMP <sup>2</sup>		120 - 60%	NA	NA	NA	20	NA	NA

Legenda: VMP<sup>1</sup>: Valores máximos permitidos Art. 15 e 16 CONAMA nº357 de 2005; VMP<sup>2</sup>: Valores máximos permitidos Art. 21 CONAMA nº 430 de 2011; NA: Não aplicável. NMP/100 mL: Número mais provável em 100 mililitros de amostra. NA: Não aplicável.

Nos três experimentos observa-se uma redução de CT, além de valores tidos como “ausentes”. Nossos resultados corroboram com a proposta elaborada pelos autores ZURITA e CARREÓN-ÁLVAREZ (2015), que

afirmam que a redução de CT completa está diretamente relacionada à quantidade de plantas por área. Todavia, esses autores acreditam que o design, a granulometria do solo e a profundidade da SWC são os fatores primordiais para a remoção de CT. Por outro lado, TOET e colaboradores (2005) afirmam que o processo de remoção de CT está diretamente ligado ao tempo de retenção da água contaminada no SWC. Em seu trabalho, os autores obtiveram as maiores reduções de CT no intervalo de tempo de 96 horas, atingindo assim os critérios desejados de balneabilidade segundo as legislações locais para águas residuais de esgotos domésticos na ilha de Texel, na Holanda. Contudo, ao final do experimento desse trabalho ainda existia CT a serem removidos, não chegando a ficar ausente como os resultados aqui alcançados. Outra evidência de que a eficiência na remoção de coliformes está diretamente ligada ao tempo de retenção hidráulica foi defendida pelo autor AYAZ (2008), onde em seu trabalho o autor não encontrou diferenças significantes na remoção de coliformes termotolerantes nos períodos de inverno e verão. De acordo com CALIJURI e colaboradores (2009), a literatura mostra que a remoção de CT de 1 a 2  $\log_{10}$  em sistemas de fluxo subsuperficial ocorre com um tempo de retenção hidráulica entre 72 e 144 horas (THURSTON et al., 2001; VALENTIM, 2003). Para sistemas de fluxo superficial, há sugestões de quem para remoção de 1 a 2  $\log_{10}$ , é necessário um tempo de retenção de 144 a 240 horas (MERZ, 2000).

Todos os resultados anteriores são baseados em aspectos de poucas plantas, temperatura do ambiente e substrato utilizado. Em nosso trabalho, observamos que o alto número de plantas por área é a variável mais importante para eliminar CT. É importante mencionar que as espécies do gênero *Cyperus* possuem grande capacidade de remoção de CT em SWC. Como exemplo, pode-se citar o trabalho do autor AYAZ (2008) que observou durante o tratamento de efluentes terciários com *Cyperus spp.* uma eficiência de 94% de remoção para CT. O mesmo nível de remoção foi observado pelos autores GARCÍA-ÁVILA et al. (2019) no tratamento de águas municipais com *Cyperus papyrus*, alcançando uma eficiência de remoção de 98,08% de CT. No caso da *Cyperus surinamensis*, tal espécie se mostrou mais eficiente na remoção de CT do que outras espécies do gênero, muito embora as condições experimentais deste trabalho tenham sido diferentes. É

importante destacar que o número de plantas (da mesma espécie) por área neste trabalho é muito superior a outros trabalhos normalmente encontrados na literatura.

Por outro lado, os valores de DQO e DBO<sub>5</sub> tiveram baixas alterações em relação a literatura. Durante todo o tempo de operação do SWC, obteve-se uma eficiência de remoção de 46,6% para DBO<sub>5</sub> e 53,2% para DQO, ou seja, um número maior de plantas provocou apenas uma leve melhora na remoção dessas duas variáveis. De certa forma, é de se esperar a essa leve melhoria, pois o SWC deste trabalho desfavorece um processo de oxigenação mais efeito, pois apresenta-se com design horizontal e com fluxo contínuo de água residual. Sistemas com esse design são conhecidos por serem sistemas de tratamento anaeróbicos (devido a fortes condições redutoras) por estarem permanentemente inundados e assim, a concentração de oxigênio é geralmente muito baixa ou indetectável. Em sistemas com condições anóxicas, a matéria orgânica pode ser removida por organismos aeróbios que podem usar nitrato ou nitrito como acceptor de elétrons (desnitrificação – redução de nitrato para N<sub>2</sub>O e N<sub>2</sub>) além do oxigênio (quando este estiver esgotado). Condições anaeróbicas presentes em sistemas horizontais permitem o desenvolvimento de muitos grupos de bactérias aeróbicas facultativas heterotróficas, diversas etapas intermediárias e caminhos bioquímicos alternativos. Em diversos trabalhos com SWC horizontais, a desnitrificação foi a reação bioquímica mais importante na remoção de matéria orgânica dissolvida (GARCÍA et al., 2004; MÜNCH, KUSCHK e RÖSKE 2005; BAPTISTA et al., 2003).

Além disso, o substrato desempenha papel importante no processo de remoção de DBO<sub>5</sub>/DQO; uma vez que, nele desenvolvem toda uma comunidade de bactéria, principalmente heterotróficas. Nesse contexto deve ser citado ZHANG e colaboradores (2014) cujo argumento de remoção de DBO<sub>5</sub>/DQO está altamente relacionado a taxa de transferência de oxigênio disponível. Segundo o argumento desses autores, muitas bactérias heterotróficas que usam o oxigênio como acceptor final de elétrons degradam a matéria orgânica por respiração aeróbica. No contato com o substrato e com as águas residuais, as plantas são importantes para a remoção de matéria orgânica pois fornecem o suporte necessário para a degradação

microbiana e para o transporte de oxigênio para a superfície das raízes ou da rizosfera por meio da formação do biofilme. Segundo os autores, outro mecanismo de remoção para matéria orgânica pode ser explicado pelo aumento da concentração de  $N-NO_3^-$ ; o que foi verificado na primeira semana de análises (ver experimento 1/Tabela 2).

Espécies do gênero *Cyperus* possuem boas capacidades no tratamento de matéria orgânica em águas residuais. Como exemplo, pode-se citar o trabalho dos autores AKINBILE, YUSOFF e ZUKI (2012) que alcançaram remoções da ordem de 39,2 – 91,8% para DQO e 60,8 – 78,7% para  $DBO_5$  usando a espécie *Cyperus haspan* cultivada em substrato de solo em um fluxo horizontal. Os autores CASELLES-OSORIO e colaboradores (2017) com a *Cyperus articulatus* tiveram uma melhoria de 91% na duas variáveis em sistemas plantados e os autores NWAJUAKU e OKEY-ONYESOLU (2017) obtiveram eficiências de 59% para DQO e 70% para  $DBO_5$  utilizando a espécie *Cyperus esculentus* no tratamento de águas residuais domésticas.

Para PT, o SWC mostrou uma eficiência de remoção de 84% considerando todo o tempo de experimento. Ao final do experimento, obteve-se o valor de 0,100 mgP/L, um valor acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/2005 (não se aplica um valor limite para a resolução CONAMA nº 430 de 2011). Com essa observação, pode ser necessário mais tempo de operação do SWC para alcançar menores valores de concentração de saída para PT. Na remoção de PT, observa-se a mesma dependência do substrato para a remoção deste contaminante. Classicamente, a fixação do fósforo está diretamente ligada à capacidade do substrato em absorvê-lo. A princípio, a imobilização de P em SWC ocorre por adsorção ao substrato, precipitação química, imobilização bacteriana, absorção por plantas e algas, incorporação em matéria orgânica e acréscimo em sedimentos para depois ser biodisponibilizado para as plantas (VYMAZAL 2005).

Nesse sentido, a disponibilidade de fósforo (P) para as plantas é controlada predominantemente por dois processos-chaves:

- Disponibilidade espacial e aquisição de fósforo em termos de arquitetura da raiz da planta, bem como associação micorrízica e;

- Biodisponibilidade e aquisição de fósforo baseada em processos químicos e biológicos na rizosfera.

Os processos químicos e biológicos na rizosfera não só determinam a mobilização e aquisição de nutrientes, bem como a dinâmica microbiana, mas também controlam a eficiência do uso de nutrientes nas plantações, influenciando profundamente em suas produtividades (BALLANTINE e TANNER 2010; SHEN et al. 2011). CUI e colaboradores (2008) em uma extensa revisão concluíram que a capacidade geral de remoção de P de um SWC é fortemente dependente de características de sorção do substrato. SWC que utilizaram o substrato formado pela mistura seixo e areia apresentaram bons resultados para DBO<sub>5</sub>, DQO e nutrientes (P e N) em diversos trabalhos pois não saturam facilmente (Paulo et al. 2009; Pelissari et al., 2014; Trein et al., 2015) . O uso dessa mistura no SWC com Arduino pode justificar as boas remoções obtidas para PT.

Para N e suas principais formas, foram obtidas as seguintes eficiências de remoção: 31,73% para NT; 98,75% para N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 99,40% para N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Remoções mais gradativas foram obtidas para a forma N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, o que indica que as espécies de *Cyperus surinamensis* utilizaram principalmente essa forma de N como nutriente, além do P. Várias espécies de plantas diferem em suas formas favoritas de N absorvido, dependendo das formas disponíveis no SWC. A preferência por N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é comum em macrófitas que vivem em ambientes com nitrificação limitada, onde NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é abundante (GARNETT et al., 2001). Em SWC, os principais mecanismos de tratamento para N incluem: volatilização de NH<sub>3</sub>; nitrificação (oxidação de amônia para nitrato); desnitrificação; fixação de nitrogênio; interações microbianas; absorção pelas plantas; mineralização (amonificação); redução de nitrato em amônio (nitrato-amonificação); oxidação anaeróbica de amônia (do inglês “anaerobic ammonia oxidation” – ANAMMOX), fragmentação; adsorção química; soterramento e lixiviação (VYMAZAL 2008). Os processos de nitrificação – desnitrificação são geralmente os caminhos dominantes, responsáveis por cerca de 25 – 85% da remoção do N (GARCÍA et al., 2010; LEE, FLETCHER e SUN 2009). Em águas residuais domésticas, tais processos tornam-se efetivos após 5 - 8 dias, o que pode explicar o aumento na concentração

de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no experimento 1. Um tempo de detenção de 15 dias é necessário para este método (BANJOKO e SRIDHAR 2016).

## CONCLUSÃO

O trabalho como um todo mostrou o grande potencial de um sistema de tratamento simples para águas residuais domésticas, baseado na tecnologia de wetland construída. Durante todo o processo foram obtidos resultados satisfatórios segundo as resoluções de 2005 e 2011 do CONAMA principalmente para pH, temperatura, coliformes termotolerantes, DBO<sub>5</sub>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e PT. Para DQO e NT, mesmo tais parâmetros não sendo contemplados nas resoluções, eles também sofreram reduções importantes no tratamento das águas residuais do São Raimundo Assim, o SWC foi capaz de melhorar a qualidade da água, ou seja, ele é capaz de remover contaminantes típicos de esgoto doméstico. Evidentemente em experimentos futuros, pode ser necessário agregar substratos com maiores capacidades de adsorção/dessorção (principalmente para uma melhor remoção de fósforo), além de um pré-cultivo das plantas selecionadas.

## REFERÊNCIAS

- ABOU-ELELA, S. I.; GOLINIELLI, G., ABOU-TALEB, E. M.; HELLAL, M. S. 2013. "Municipal wastewater treatment in horizontal and vertical flows constructed wetlands". *Ecological Engineering* 61: 460–68. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.010>.
- AKINBILE, C. O.; YUSOFF, M. S.; ZUKI, A. Z. A. 2012. "Landfill leachate treatment using subsurface flow constructed wetland by *Cyperus haspan*". *Waste Management* 32: 1387–93. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.002>.
- ALCAMO, J. 2019. "Water Quality and its interlinkages with the sustainable development goals." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 36: 126–40. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.11.005>.
- ARDUINO.cc. 2018. "What is Arduino?" Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em 07/01/2020.
- APHA. 2017. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". In *23 RD EDITION. Editora American Public Health Association, EUA*.
- AYAZ, S. Ç. 2008. "Post-treatment and reuse of tertiary treated wastewater by constructed wetlands". *Desalination* 226: 249–55. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.110>.
- BALLANTINE, D. J.; TANNER, C. C. 2010. "Substrate and filter materials to enhance phosphorus removal in constructed wetlands treating diffuse farm runoff: a review". *New Zealand Journal of Agricultural Research* 53 (1): 71–95. <https://doi.org/10.1080/00288231003685843>.
- BAPTISTA, J. D. C.; DONNELLY, T.; RAYNE, D.; DAVENPORT, R. J. 2003. "Microbial mechanisms of carbon removal in subsurface flow wetlands". *Water Science and Technology* 48 (5): 127–34. <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0298>.

Paulo Renan Gomes Ferreira, Genilson Pereira Santana, Siomara Dias da Rocha, Jelmir Craveiro de Andrade, Anderson da Silva Lages, Mauro Célio da Silveira Pio, Wamber Broni de Souza– **Sistema Wetland construído para o tratamento de águas residuais domésticas utilizando *Cyperus surinamensis***

---

- BANJOKO, B.; SRIDHAR, C. K. M. 2016. "Upgrading Wastewater Treatment Systems for Urban Water Reuse". *Urban Water Reuse Handbook*, by Taylor & Francis Group, LLC 461, 462–79.
- BRASIL. Resolução n 357, 18 de março de 2005. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. 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. Brasília., p. 23, 2005.
- BRASIL. Resolução N° 430, De 13 De Maio De 2011. Resolução CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília., p. 8, 2011.
- CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; MAGALHÃES, T. DE B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. 2009. "Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: Eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes". *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 14 (3): 421–30. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522009000300016>.
- CASIERRA-MARTÍNEZ, H. A.; CHARRIS-OLMOS, J. C.; CASELLES-OSORIO, A.; Parody-Muñoz, A. L. 2017. "Organic Matter and Nutrients Removal in Tropical Constructed Wetlands Using *Cyperus Ligularis* (Cyperaceae) and *Echinocloa Colona* (Poaceae)." *Water, Air, and Soil Pollution* 9: 228–38. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3531-1>.
- CASELLES-OSORIO, A.; VEGA, H.; LANCHEROS, J. C.; CASIERRA-MARTÍNEZ, H. A.; MOSQUERA, J. E. 2017. "Horizontal subsurface-slow constructed wetland removal efficiency using *Cyperus Articulatus* L." *Ecological Engineering* 99: 479–85. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.062>.
- COSTA, R. C. 2017. "RISCOS, FRAGILIDADES & PROBLEMAS AMBIENTAIS URBANOS EM MANAUS." In (organizador). -- *Manaus: Editora INPA.*, 189 p.
- CUI, L.; ZHU, X.; MA, M.; OUYANG, Y.; DONG, M.; ZHU, W.; LUO, S. 2008. "Phosphorus Sorption Capacities and Physicochemical Properties of Nine Substrate Materials for Constructed Wetland". *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55: 210–17. <https://doi.org/10.1007/s00244-007-9109-y>.
- DE ROZARI, P.; KRISNAYANTI, D. S.; REFLI.; YORDANIS, K. V.; ATIE, M. R. R. 2021. "The Use of Pumice Amended with Sand Media for Domestic Wastewater Treatment in Vertical Flow Constructed Wetlands Planted with Lemongrass (*Cymbopogon Citratus*)." *Heliyon* 7: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07423>.
- FERREIRA, P. R. G.; PIO, M. C. da S.; SANTANA, G. P. 2020. "Wetlands construídas com espécies do gênero *Cyperus* para tratar águas residuais". *Scientia Amazonia* 9 (4): 8–27.
- GARCÍA, J.; AGUIRRE, P.; MUJERIEGO, R.; HUANG, Y.; ORTIZ, L.; BAYONA, J. M. 2004. "Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater". *Water Research* 38: 1669–78. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.011>.
- GARCÍA-ÁVILA, F.; PATIÑO-CHÁVEZ, J.; ZHINÍN-CHIMBO, F.; DONOSO-MOSCOSO, F.; DEL PINO, L. F.; AVILÉS-AÑAZCO, A. 2019. "Performance of *Phragmites Australis* and *Cyperus Papyrus* in the Treatment of Municipal Wastewater by Vertical Flow Subsurface Constructed Wetlands." *International Soil and Water Conservation Research* 7: 286–96. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.04.001>.
- GARCÍA, J.; ROUSSEAU, D. P. L.; MORATÓ, J.; LESAGE, E.; MATAMOROS, V.; BAYONA, J. M. 2010. "Contaminant Removal Processes in Subsurface-Flow Constructed Wetlands: A Review". *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 40 (7): 37–41.
- GARNETT, T. P.; SHABALA, S. N.; SMETHURST, P. J.; NEWMAN, I. A. 2001. "Simultaneous measurement of ammonium, nitrate and proton fluxes along the length of eucalypt roots". *Plant and Soil* 236: 55–62. <https://doi.org/10.1023/A>.
- GIKAS, G. D.; PÉREZ-VILLANUEVA, M.; MATHAIOS T.; ALEXOUDIS C.; PÉREZ-ROJAS, G.; MASÍS-MORA, M.; LIZANO-FALLAS, V. 2018. "Low-Cost Approaches for the Removal of Terbutylazine from Agricultural Wastewater: Constructed Wetlands and Biopuri Fi Cation System." *Chemical Engineering Journal* 335: 647–56. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.11.031>.

Paulo Renan Gomes Ferreira, Genilson Pereira Santana, Siomara Dias da Rocha, Jelmir Craveiro de Andrade, Anderson da Silva Lages, Mauro Célio da Silveira Pio, Wamber Broni de Souza– **Sistema Wetland construído para o tratamento de águas residuais domésticas utilizando *Cyperus surinamensis***

- HAMAD, M. T. M. H. 2020. "Chemosphere Comparative Study on the Performance of Typha Latifolia and Cyperus Papyrus on the Removal of Heavy Metals and Enteric Bacteria from Wastewater by Surface Constructed Wetlands." *Chemosphere* 260: 127551. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127551>.
- ILYAS, H.; ILYAS, M. 2017. "Intensification of Constructed Wetlands for Land Area Reduction: A Review." *Environmental Science and Pollution Research*, DOI <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8740-z>.
- LAVRAS, 24 horas. 2018. "Projeto de extensão da UFLA inicia uso de filtro agroecológico em Moçambique". Lavras 24 horas. Disponível em: <http://www.lavras24horas.com.br/portal/projeto-de-extensao-da-ufla-inicia-uso-de-filtro-agroecologico-em-mocambique/>. Acesso em 19/09/2021.
- LETO, C.; TUTTOLOMONDO, T.; LA BELLA, S.; LEONE, R.; LICATA, M. 2013. "Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland – phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy)". *Ecological Engineering* 61: 282–91. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.014>.
- LEE, C. G.; FLETCHER, T. D.; SUN, G. 2009. "Nitrogen removal in constructed wetland systems". *Engineering in Life Sciences* 9 (1): 11–22. <https://doi.org/10.1002/elsc.200800049>.
- LIN-LAN, Z.; TING, Y.; JIAN, Z.; XIANGZHENG, L. 2019. "The Configuration, Purification Effect and Mechanism of Intensified Constructed Wetland for Wastewater Treatment from the aspect of Nitrogen Removal: A Review." *Bioresource Technology* 293: 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122086>.
- MA, Y.; ZHAI, Y.; ZHENG, X.; HE, S.; ZHAO, M. 2020. "Rural domestic wastewater treatment in constructed ditch wetlands: Effects of influent flow ratio distribution". *Journal of Cleaner Production* 225: 350–58. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.235>.
- MACHADO, A. L. S. 2012. "A Educação Ambiental Para a Gestão Sustentável Da Água: Estudo de Caso Do Igarapé Do Mindu - Manaus, AM." *UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CDS. Doutorado Interinstitucional - Dinter UnB/UEA*, 245 p.
- MACHADO, A. I.; BERETTA, M.; FRAGOSO, R.; DUARTE, E. 2017. "Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil". *Journal of Environmental Management* 187: 560–70. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.015>.
- MATTEDE, H. 2016. "Automação de reservatórios com Arduino e sensores de nível." Faça você mesmo - Eletricidade. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/automacao-de-reservatorios-com-arduino-e-sensores-de-nivel/>. Acesso em 20/09/2020.
- MERZ, S. K. 2000. Guidelines for using free water surface constructed wetlands to treat municipal sewage. Brisbane: Department of Natural Resources, Government of Queensland, Disponível em: [http://www.epa.qld.gov.au/publications/p00424aa.pdf/Guidelines\\_for\\_using\\_free\\_water\\_surface\\_constructed\\_wetlands\\_to\\_treat\\_municipal\\_sewage.pdf](http://www.epa.qld.gov.au/publications/p00424aa.pdf/Guidelines_for_using_free_water_surface_constructed_wetlands_to_treat_municipal_sewage.pdf). Acesso em 24/09/2020.
- MÜNCH, CH.; KUSCHK, P.; RÖSKE, I. 2005. "Root stimulated nitrogen removal: Only a local effect or important for water treatment?" *Water Science and Technology* 51 (9): 185–92. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0316>.
- NUAMAH, L. A.; YIPING, L.; PU, Y.; NWANKWEGU, A. S.; HAIKUO, Z.; NORGBEY, E.; BANAHENE, P.; BOFAH-BUOH, R. 2020. "Constructed Wetlands, status, progress, and challenges. The need for critical operational reassessment for a cleaner productive ecosystem." *Journal of Cleaner Production* 269: 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122340>.
- NWAJUAKU, I. I.; OKEY-ONYESOLU, C.F. 2017. "Efficiency of *Cyperus esculentus* as a biofilter in treatment of domestic wastewater". *Saudi Journal of Engineering and Technology* 2 (4): 159–70. <https://doi.org/10.21276/sjeat>.
- OTTER, P.; HERTEL, S.; ANSARI, J.; LARA, E.; CANO, R.; ARIAS, C.; GREGERSEN, P.; GRISCHEK, T.; BENZ, F.; GOLDMAIER, A.; ALVAREZ, J. A. 2020. "Disinfection for decentralized wastewater reuse in rural areas through wetlands and solar driven onsite chlorination." *Science of the Total Environment* 721: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137595>.

Paulo Renan Gomes Ferreira, Genilson Pereira Santana, Siomara Dias da Rocha, Jelmir Craveiro de Andrade, Anderson da Silva Lages, Mauro Célio da Silveira Pio, Wamber Broni de Souza– **Sistema Wetland construído para o tratamento de águas residuais domésticas utilizando *Cyperus surinamensis***

---

- PAULO, P. L.; BEGOSSO, L.; PANSONATO, N.; SHRESTHA, R. R.; BONCZ, M. A. 2009. "Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater". *Water Science and Technology* 60 (8): 2001–7. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.542>.
- PELLISSARI, C.; SEZERINO, P. H.; DECEZARO, S. T.; WOLFF, D. B.; BENTO, A. P.; JUNIOR, O. DE C.; PHILIPPI, L. S. 2014. "Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil". *Ecological Engineering* 73: 307–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.085>.
- RIBEIRO, A. R. DE O.; ALVES, M.; PRATA, A. P. DO N.; DE OLIVEIRA, O. F.; DE SOUSA, L. DE O. F.; DE OLIVEIRA, R. C. 2015. "The Genus *Cyperus* (Cyperaceae) in Rio Grande Do Norte State, Brazil." *Rodriguesia* 66 (2): 571–97. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566221>.
- SEPÚLVEDA, R.; LEIVA, A. M.; VIDAL, G. 2020. "Performance of *Cyperus Papyrus* in Constructed Wetland Mesocosms under Different Levels of Salinity." *Ecological Engineering* 151: 105820. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105820>.
- SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. 2011. "Phosphorus dynamics: From soil to plant". *Plant Physiology* 156: 997–1005. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>.
- SUN, G.; ZHAO, Y.; ALLEN, S.; COOPER, D. 2006. "Generating 'Tide' in Pilot-Scale Constructed Wetlands to Enhance Agricultural Wastewater Treatment." *Engineering in Life Sciences* 6 (6): 560–65. <https://doi.org/10.1002/elsc.200620156>.
- THONGTHA, S.; TEAMKAO, P.; BOONAPATCHAROEN, N.; TRIPETCHKUL, S.; TECHKARNJARARUK, S.; THIRAVETYAN, P. 2014. "Phosphorus Removal from Domestic Wastewater by *Nelumbo Nucifera Gaertn* and *Cyperus Alternifolius* L." *Journal of Environmental Management* 137: 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.003>.
- THURSTON, J. A.; GERBA, C. P.; FOSTER, K. E.; KARPISCAK, M. M. 2001. Fate of indicator microorganisms, *Giardia* and *Cryptosporidium* in subsurface flow constructed wetlands. *Water Research*, 35(6): 1547-51. doi: 10.1016/s0043-1354(00)00414-0. PMID: 11317902
- TOET, S.; VAN LOGTESTIJN, R. S. P.; KAMPF, R.; SCHREIJER, M.; VERHOEVEN, J. T. A. 2005. "The effect of hydraulic retention time on the removal of pollutants from sewage treatment plant effluent in a surface-flow wetland system". *Wetlands* 25 (2): 375–91. <https://doi.org/10.1672/13>.
- TREIN, C. M.; PELLISSARI, C.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H. 2015. "Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comerciais e residenciais empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos". *Ambiente Construído, Porto Alegre* 15 (4): 351–67.
- VALENTIM, M. A. A. Desempenho de leitos cultivados ("constructed wetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, Campinas, 2003.
- VYMAZAL, J. 2005. "Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment". *Ecological Engineering* 25: 478–90. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.07.010>.
- VYMAZAL, J. 2009. "The Use Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow for Various Types of Wastewater." *Ecological Engineering* 35: 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.08.016>.
- VYMAZAL, J. 2007. "Removal of nutrients in various types of constructed wetlands". *Science of the Total Environment* 380: 48–65. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.09.014>.
- VYMAZAL, J. 2008. "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment." *Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference*, 965–80. <https://doi.org/10.1080/20016491089253>.
- VYMAZAL, J.; KRÖPFLOVÁ, L. 2011. "A Three-Stage Experimental Constructed Wetland for Treatment of Domestic Sewage: First 2 Years of Operation." *Ecological Engineering* 37: 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.03.004>.
- WEST, M.; FENNER, N.; GOUGH, R.; FREEMAN, C. 2017. "Evaluation of Algal Bloom Mitigation and Nutrient Removal in Floating Constructed Wetlands with Different Macrophyte Species." *Ecological Engineering* 108: 581–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.033>.
- WU, S.; WALLACE, S.; BRIX, H.; KUSCHK, P.; KIRUI, W. K.; MASI, F.; DONG, R. 2015. "Treatment of Industrial Effluents in Constructed Wetlands: Challenges, Operational Strategies and

Paulo Renan Gomes Ferreira, Genilson Pereira Santana, Siomara Dias da Rocha, Jelmir Craveiro de Andrade, Anderson da Silva Lages, Mauro Célio da Silveira Pio, Wamber Broni de Souza– **Sistema Wetland construído para o tratamento de águas residuais domésticas utilizando *Cyperus surinamensis***

---

- Overall Performance.” *Environmental Pollution* 201: 107–20. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.006>.
- WU, S.; KUSCHK, P.; BRIX, H.; VYMAZAL, J.; DONG, R. 2014. “Development of Constructed Wetlands in Performance Intensifications for Wastewater Treatment: A Nitrogen and Organic Matter Targeted Review.” *Water Research* 57: 40–55. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.020>.
- WU, S.; CARVALHO, P. N.; MÜLLER, J. A.; MANOJ, V. R.; DONG, R. 2016. “Sanitation in constructed wetlands: A review on the removal of human pathogens and fecal indicators”. *Science of the Total Environment* 541: 8–22. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.047>.
- YANG, Z.; YANG, L.; WEI, C.; WU, W.; ZHAO, X.; LU, T. 2017. “Enhanced Nitrogen Removal Using Solid Carbon Source in Constructed Wetland with Limited Aeration.” *Bioresource Technology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.188>.
- ZHANG, C.; LIU, W.; PAN, X.; GUAN, M.; LIU, S. 2014. “Comparison of effects of plant and biofilm bacterial community parameters on removal performances of pollutants in floating island systems”. *Ecological Engineering* 73: 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.023>.
- ZURITA, F.; CARREÓN-ÁLVAREZ, A. 2015. “Performance of three pilot-scale hybrid constructed wetlands for total coliforms and *Escherichia coli* removal from primary effluent – a 2-year study in a subtropical climate”. *Journal of Water and Health* 13.2: 446–58. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.135>.