



## **Wetlands construídas com espécies do gênero *Cyperus* para tratar águas residuais<sup>1</sup>**

Paulo Renan Gomes Ferreira<sup>2</sup>, Mauro Célio da Silveira Pio<sup>3</sup>, Genilson Pereira Santana<sup>4</sup>

### **Resumo**

A poluição aquática é um problema ambiental mundial, causado principalmente por águas residuais industriais e domésticas não tratadas. A falta de tratamento de esgoto tem aumentado o número de transmissão de doenças como a cólera, diarreia, hepatite entre outras. Há muitas tecnologias para o tratamento de águas residuais industriais e domésticas, contudo, elas são caras, principalmente para pequenas comunidades. Alternativamente, a *wetland* construída, uma tecnologia baseada em plantas para a remoção de poluição, é adequada para o tratamento de águas residuais em pequenas comunidades. Este trabalho discute a capacidade de remoção de poluentes em águas residuais por espécies do gênero *Cyperus* (família *Cyperaceae*) em *wetlands* construídas. Metodologicamente, foram pesquisados artigos publicados e patentes de 2004 a 2019 nos seguintes portais: Science Direct, CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e Google Scholar e Patents. Estrategicamente, a *Cyperus* é usada em *wetlands* construídas em sistemas de monocultura (principalmente as espécies *esculentus*, *articulatus*, *rotundus*, *haspan*, *papyrus* e *alternifolius*) e policultura (principalmente as espécies *papyrus* e *alternifolius* com outras plantas). Ambos os sistemas possuem dois designs principais: horizontal e vertical, que podem remover principalmente formas de nitrogênio, fósforo, DBO<sub>5</sub> e DQO. As *wetlands* construídas em policultura e com design vertical são mais eficientes na remoção de poluentes do que os sistemas em monocultura, principalmente aqueles com *Cyperus* em conjunto com três ou mais plantas.

**Palavras-chaves:** Pequenas comunidades; nutrientes aquáticos; fósforo, nitrogênio, *Wetlands* em Policultura.

**Constructed wetlands with species of the genus *Cyperus* for wastewater treatments.** Aquatic pollution is an environmental problem in worldwide, caused mainly by unrestrained industrial and domestic wastewater. The missing sewage treatment has risen the number of transmissions of disease as cholera, diarrhea, hepatitis, and others. There are many technologies for the treatment of industrial and domestic wastewater, however, they are expensive, principally to the village. Alternatively, the constructed *wetland*, a technology based on plants for removing the pollution, is appropriated to treat wastewater in the vil-

<sup>1</sup> Parte do trabalho de tese no PPGQ/UFAM. É o autor para correspondência

<sup>2</sup> Doutorando do PPGQ/UFAM, Manaus, AM, Brasil, e-mail: [pferreira29@gmail.com](mailto:pferreira29@gmail.com)

<sup>3</sup> Professor IFAM, Manaus, AM, Brasil, [mauro.pio@ifam.edu.br](mailto:mauro.pio@ifam.edu.br)

<sup>4</sup> Professor Titular ICE-DQ/UFAM, Manaus, AM, Brasil, [gsantana2005@gmail.com](mailto:gsantana2005@gmail.com)



lage. This work discusses the removal capacity pollutants in wastewater by species of the genus *Cyperus* (*Cyperaceae* family) on the constructed wetlands. Methodologically, we researched papers and patents published from 2004-2019 in the following portals: Science Direct, CAPES (Coordination for Higher Education Staff Development), and Google Scholar and Patents. Strategically *Cyperus* is used on the constructed wetland in monoculture (mainly *esculentus*, *articulatus*, *rotundus*, *haspan*, *papyrus* and *alternifolius* species) and polyculture (mainly *papyrus* and *alternifolius* with other plants) systems. Both systems can have two designs: horizontal and vertical, that can mostly remove nitrogenous forms, phosphates, DBO<sub>5</sub> and DQO. The constructed wetlands made by polyculture and with vertical design are more efficient at removing pollutants than monoculture systems, especially those with *Cyperus* in conjunction with three or more plants.

**Keywords:** Village; aquatic nutrients; phosphorus, nitrogen, Wetland Polyculture.

## 1. Introdução

A poluição aquática, causada principalmente pela descarga e falta de tratamento de efluentes domésticos, industriais e agrícolas tornou-se um problema mundial (MAGRI et al., 2016; CASELLES-OSORIO et al., 2017). Esses fatos vêm causando a depleção de oxigênio, morte de peixes e proliferação de algas em sistemas hídricos de todo o planeta. Os poluentes estão sendo acumulados em sistemas aquáticos, terrestres e subterrâneos. Os poluentes são divididas em quatro classes: nutrientes (ex. P, N), compostos orgânicos (ex. hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, bifenilos policlorados e pesticidas), xenobióticos derivados da indústria farmacêutica (produtos para cuidados pessoais, hormônios, etc.) e metais/não-metais (ex. Cu, Zn, Fe, Cd, Ni, Pb, Hg, Cr, Sr, Al, Ba, Se e As) (e.g. AKSOY; DEMIREZAN; DUMAN, 2005; MARCHAND et al., 2010).

A falta de tratamento de efluentes domésticos e industriais tem causado um aumento dos índices de transmissão de doenças

como cólera, diarreia, disenteria, hepatite A, febre tifoide e pólio. É comum encontrar diversos valores elevados de DBO<sub>5</sub> (Demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (Demanda química de oxigênio) em vários sistemas hídricos importantes em todo o mundo (SAEED; HAQUE; KHAN, 2019). Dados de 2017 da Organização Mundial da Saúde (OMS) mostram que 2,2 bilhões de pessoas não tem água potável para consumir com segurança. Tais dados incluem (OMS, 2019):

- 144 milhões de pessoas coletando águas superficiais não tratadas de lagos, lagoas, rios e córregos.
- 206 milhões de pessoas com serviços limitados, ou com uma fonte de água adequada;
- 435 milhões de pessoas coletando água de poços e fontes não protegidas;
- 1,4 bilhões de pessoas com serviços básicos;

A OMS espera que até 2025 metade da população mundial viverá em áreas deficientes de água potável, fato que exige que



sejam estabelecidas várias estratégias importantes para recuperar águas residuais, nutrientes e energia (OMS, 2019). Dentre as soluções, encontra-se o tratamento de águas residuais para o seu reuso em diversas aplicações cotidianas, como lavagem de calçadas, resfriamento, entre outros. Nas regiões urbanas, o sistema de tratamento é realizado com a construção e operação de grandes e sofisticadas estações de tratamento de águas residuais. Para isso, diversas tecnologias são utilizadas, como processos de lodo ativado, biorreatores de membrana, fotocatalise e eletrocoagulação (GILPAVAS; DOBROSZ-GÓMEZ; GÓMEZ-GARCÍA, 2018; GOSWAMI; MAZUMDER, 2016).

A implementação de sistemas de tratamento de esgoto e água poluídas possui um custo inicial muito alto e depende de orçamento público, com baixa relação custo/benefício. A priorização da alocação de recurso público, aliado ao fato da limitação em termos de padrões rigorosos de tratamento de água e efluentes dificultam a implementação de estações de tratamento em diversas localidades (WU et al., 2013; CHEN et al., 2014; RAMPRASAD et al., 2017). A dificuldade é ainda maior em cidades/comunidades de pequeno porte, cuja relação custo/benefício é muito baixa. Especificamente no Brasil, com precário saneamento básico, a implantação de estações de tratamento de água e esgoto é muito insuficiente (MACHADO et al., 2017). Nesse contexto, o uso de tecnologias alternativas de baixo custo e eficientes para o tratamento de águas residuais se apresenta como uma solução viável, especi-

almente em regiões mais pobres. Para este propósito, os sistemas *wetlands* construídos (SWC) tem atraído grande atenção, como uma opção razoável para tratar águas residuais domésticas (ANDREO-MARTÍNEZ et al., 2017; BARCO; BORIN, 2017), tratamento de efluentes industriais (KHAN et al., 2009; DI LUCA et al., 2017), agrícolas (DÍAZ; GEEN; DAHLGREN, 2012; MENDES et al., 2018), rios/lagos poluídos (MARTÍN et al., 2013; WU et al., 2013), esgotos sanitários (MAGRI et al., 2016), águas de rodovias (GILL et al., 2014) e hospitais (AUVINEN et al., 2017).

Os SWC para o tratamento de águas residuais, também conhecidos como *wetlands* de tratamento, são sistemas projetados e construídos que usam processos naturais de fitorremediação para remover poluentes de águas em condições físicas e químicas controladas. Esses sistemas se desenvolveram rapidamente nas últimas décadas, sendo reconhecidos mundialmente como uma alternativa viável aos sistemas de tratamento de águas residuais domésticas convencionais (VYMAZAL, 2011a). Os SWC vem sendo recomendados para pequenas comunidades com o objetivo de remover de águas residuais uma ampla variedade de poluentes, como compostos orgânicos, sólidos suspensos, patógenos, metais, nutrientes (JÁCOME et al., 2016; RAMPRASAD et al., 2017; SAEED; HAQUE; KHAN, 2019), produtos farmacêuticos e entre outros (HIJOSAVALSERO et al., 2016; VYSTAVNA et al., 2017). A vantagem desses sistemas é a robustez, baixo consumo energético e facilidade de operação e manutenção. Essas caracte-



rística tornam os SWC adequados para o tratamento de águas residuárias em pequenas comunidades, distantes de grandes centros urbanos (VYMAZAL, 2009).

Os SWC são divididos em cinco tipos básicos, amplamente difundidos na literatura. Os tipos básicos são: sistemas *wetlands* construídos de fluxo superficial livre (SWC-FSL); sistemas *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial horizontal (SWC-FSSH); sistemas *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial vertical (SWC-FSSV); sistemas *wetlands* construídos combinados/integrados/híbridos (SWCH) e sistemas *wetlands* construídos intensificados (SWCI). É importante destacar que a eficiência de tratamento de águas residuárias em um SWC depende do design da *wetland*, da qualidade da água, da carga hidráulica, do tipo de substrato, da comunidade microbiana e da fauna e flora (HSU et al., 2011; WU et al., 2014; WU et al., 2015).

No SWC, as plantas são consideradas o componente essencial para tratar as águas residuárias, pois desempenham o papel mais importante. Elas influenciam nas características físico-químicas do SWC, como absorção de nutrientes, liberação de oxigênio para a rizosfera e hospedagem de microorganismos, melhorando a qualidade da água (SHEORAN; SHEORAN; POONIA, 2016). Para HSU et al. (2011) além da cobertura e diversidade de plantas, características do *habitat*, e comunidades bióticas de algas, aves, peixes e macroinvertebrados aquáticos nos SWC também são fatores importantes no tratamento de águas residuais.

Dentre as plantas utilizadas

para o tratamento de águas contaminadas, destacam-se as espécies: *Phragmites*, *Typha*., *Scirpus* (*Schoenoplectus*), *Phalaris arundinacea* e *Iris*. Além dessas espécies mencionadas, em muitos países, especialmente nos trópicos e subtropicais, plantas locais podem ser incluídas, com destaque para as plantas ornamentais da família *Cyperaceae* (VYMAZAL, 2011b; VYMAZAL, 2013).

As *Cyperaceae* (Juncos – termo usado coletivamente para se referir a todas as espécies da família), estão entre as 10 maiores famílias de plantas com flores. Elas contêm cerca de 5.000 espécies e dependendo da classificação usada, entre 75 e 115 gêneros. Os membros são bem distribuídos e possuem grande diversidade, principalmente na África e nos Neotrópicos. Os seis grandes gêneros dentro da família *Cyperaceae* representam 3.500 espécies, quase três quartos das espécies totais. São eles: *Carex*, com cerca de 2.000 espécies; *Cyperus*, com cerca de 650 espécies; *Rhynchospora*, com aproximadamente 250 espécies, juntamente com *Fimbristylis*, *Eleocharis* e *Scleria*, cada uma com cerca de 200 espécies (JOPPA; ROBERTS; PIMM, 2011; ESCUDERO et al., 2012).

A diversidade ecológica da *Cyperaceae* é muito grande, com espécies ocorrendo em quase todos os *habitats* do mundo, mas em menor grau em ecossistemas desérticos, marinhos e de água profunda. Geralmente, os seus *habitats* são ensolarados (secos) à úmidos, como pântanos, lagos, lagoas, prados, brejos, pradarias, savanas e tundras (LECK; SCHU, 2005; ALVES et al., 2009). Essas espécies também



podem ocorrer em *habitats* criados pelo homem, como valas e margens de canais. Muitas espécies dessa família também ocorrem em bosques secundários de diversos tipos de florestas, tanto temperadas como tropicais. Algumas são adaptadas a *habitats* especializados, incluindo dunas de areia, lagos e riachos de água doce e falésias. As *Cyperaceae* são consideradas indicadores de *habitats* com alta qualidade, além de serem também fonte significativa de alimento e refúgio para insetos, pássaros e animais (JOG et al., 2006; SPALINK et al., 2018). As suas frutas são comumente aquênios, e as sementes contêm um pequeno embrião envolvido por um abundante albúmen carnudo, podendo chegar a 1,0 cm x 1,5 cm (LECK; SCHU, 2005).

No Brasil, é possível encontrar 675 espécies da família *Cyperaceae*, distribuídas em 39 gêneros, sendo encontradas principalmente em áreas abertas e alagáveis. Os gêneros da *Cyperaceae* comumente encontrados no Brasil são *Rhynchospora* Vahl (140 espécies),

*Cyperus* L. (101 espécies), *Eleocharis* R. Br. (63 espécies), *Bulbostylis* Kunth (48 espécies), *Hypolytrum* Rick (28 espécies), *Carex* L. (23 espécies), *Pleurostachys* Brongn (21 espécies), *Lagenocarpus* Nees (18 espécies), *Cryptangium* Schrad ex Nees (15 espécies), e *Mapania* Aubl. (12 espécies) (ALVES et al., 2009; SOARES; VILLAR; HEFLER, 2015)

Neste trabalho é apresentado e discutido estudos de SWC feitos com as espécies da família *Cyperaceae*, mais especificamente o gênero *cyperus*, principalmente aqueles relacionados ao tratamento de águas residuárias como domésticas, industriais, entre outras, mostrando o potencial desta espécie em SWC e alguns registros tecnológicos associados ao seu uso.

## 2. Metodologia

A pesquisa bibliográfica que subsidiou a presente revisão foi baseada na consulta de trabalhos publicados entre 2004 - 2019, conforme palavras-chaves e base de dados, apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Palavras-chaves e número de trabalhos publicados em três bases de dados.

Palavras chaves	Google acadêmico	Periódicos Capes	Science Direct
<i>Cyperaceae</i> ; phytoremediation	1.280	172	63
<i>Cyperus</i> ; constructed wetlands	10.400	172	452
<i>Cyperaceae</i> ; constructed wetlands	7.840	313	530
<i>Cyperus</i> ; phytoremediation	2.880	409	127

Para seleção de trabalhos, foram utilizados os seguintes critérios de inclusão: 1) Artigos de pesquisa completos publicados nas bases de dados *Google Acadêmico*, *Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)* e *Science Direct*; 2) Artigos em inglês e português, publicados entre 2004 - 2019; 3) Traba-

lhos completos aplicados, utilizando sistemas *wetlands* construídos com o gênero *cyperus*; 4) Tratamentos em efluentes domésticos, agrícolas e industriais (ou sistemas artificiais que simulem estas amostras); 5) Trabalhos revisados por pares e aplicando os seguintes tópicos de filtros: "Water Pollutants, Chemical"; "*Cyperaceae*; *Wetlands*"; "Cons-



tructed Wetlands"; "Artificial Wetlands"; "Freshwater Pollution"; "Plants"; "Macrophytes"; "Vegetation"; "Aquatic Plants"; "Bioremediation; Metals"; "Engineering"; "Heavy Metals"; "Environmental Sciences"; "Wastewater"; "Wastewater Treatment"; "Biodegradation", "Environmental"; "Phytoremediation"; "Ecosystems"; "Environmental Management"; "Ecosystem and Ecology Studies"; "Issues in Sustainable Development". A lista inicial de trabalhos foi analisada e foram aplicados os seguintes critérios de exclusão: 1) Trabalhos de revisão, teses, dissertações, resumos expandidos ou publicados em anais de congresso; 2) Trabalhos incompletos, resenhas e patentes; 3) Publicações em outros idiomas; 4) Outros títulos de periódicos; 5) Estudos que não estivessem relacionados aos objetivos da pesquisa. Baseado nestes critérios, foram selecionados quarenta (40) artigos para esta revisão.

### 3. O uso geral da *Cyperus* em SWC

A Figura 1 mostra que as espécies do gênero *Cyperus* usadas em SWC ocorrem mais em países emergentes de climas tropicais, subtropicais e desérticos quentes, principalmente China, Tailândia e Brasil. Destacam-se as espécies *Cyperus papyrus* e *Cyperus alternifolius*, pela quantidade de trabalhos publicados em tratamento de águas residuais contaminadas em SWC (cerca de 55%).

Essas espécies foram usadas em SWC-FSSV, SWC-FSSH e SWC-FSL, representando 88% dos trabalhos publicados nesta revisão. Cerca de 75% dos trabalhos são com as espécies do gênero *Cyperus* em SWC

policultura (SWC que utiliza mais de uma espécie) e os outros 25% em sistemas monocultura (SWC que utiliza uma única espécie). Em SWC monocultura, as principais espécies do gênero *Cyperus* encontradas foram: *Cyperus alternifolius*, *Cyperus papyrus* e em menor quantidade as espécies *rotundus*, *haspan* e *esculentus*. No caso do sistema policultura, as principais espécies de plantas são em conjunto com *Cyperus* são: *Typha*, *Phragmites*, *Canna*, *Thalia*, *Echinochloa*, *Pistia*, *Juncus* e *Ipomoea*.

Com relação aos principais tipos de amostras de águas analisadas com espécies do gênero *Cyperus* em SWC destacam-se principalmente águas residuais domésticas (53%) e águas residuais industriais (20%). Os 27% restantes estão distribuídos nos tratamentos de águas residuais mistas (9%) (provenientes de aterros sanitários e tanques sépticos, por exemplo), águas residuais agrícolas (9%), águas residuais produzidas artificialmente (5%), e águas residuais poluídas por metais (4%).

De modo geral, a qualidade química das águas residuais tratadas em SWC são avaliadas usando as seguintes variáveis físico-químicas (comparando o nível de parâmetros na entrada e na saída do SWC): pH; temperatura; oxigênio dissolvido; condutividade elétrica; cor; turbidez; potencial redox; alcalinidade (carbonato e bicarbonato); sulfato (em menor escala); demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>), nitrogênio total (N<sub>Total</sub>), os nitrogenados (amônio - N-NH<sub>4</sub>, nitrato - N-NO<sub>3</sub> e em menor quantidade nitrito - NO<sub>2</sub>), fósforo total (P<sub>Total</sub>), dissolvi-

do e solúvel, sólidos totais ( $S_{\text{Totais}}$ ), em suspensão e sólidos dissolvidos e

em menor escala sólidos voláteis.

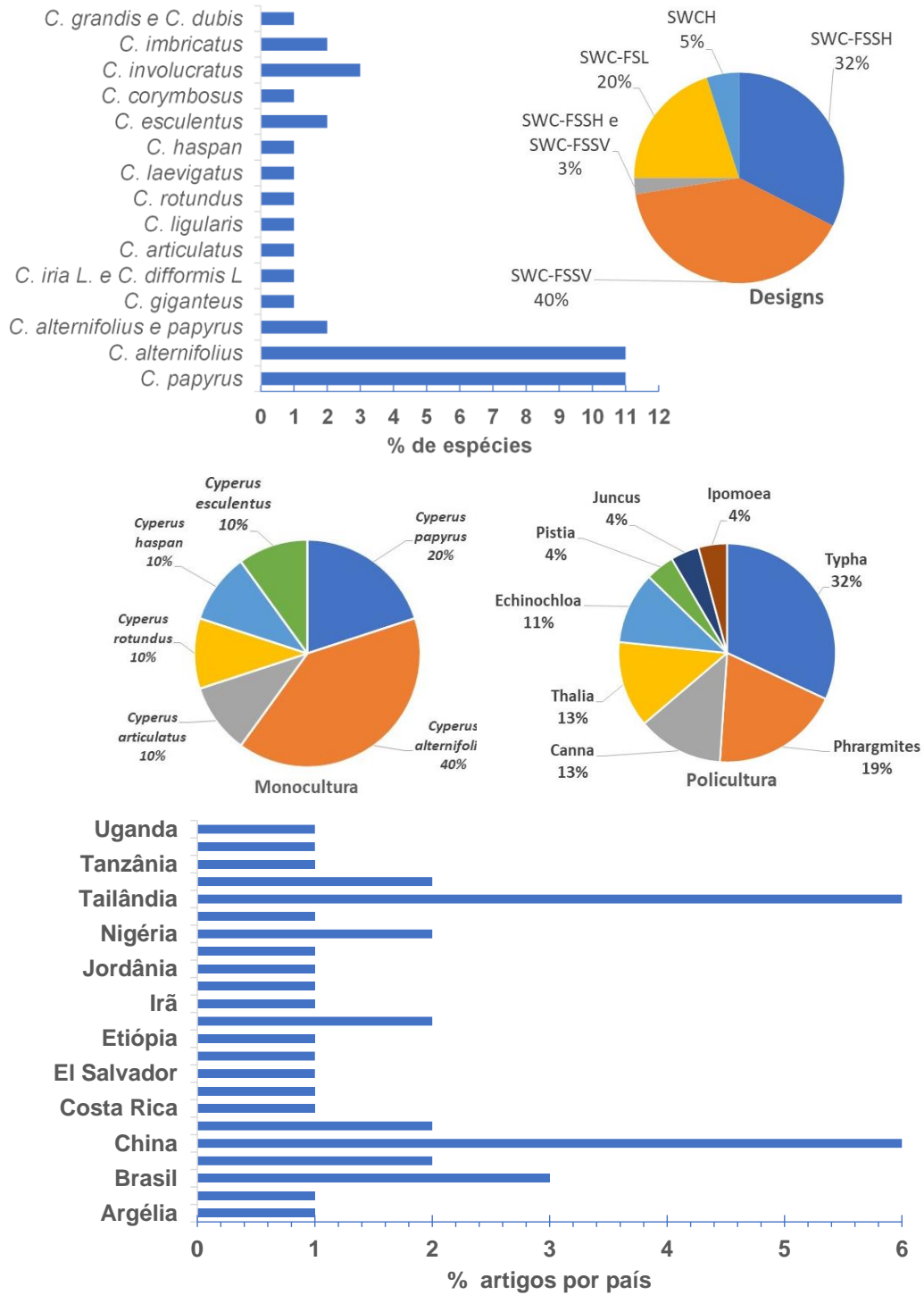


Figura 1 – Principais espécies, designs, tipos de SWC e países encontrados na literatura com o gênero *Cyperus*



Em termos de análises microbiológicas, os principais parâmetros determinados são coliformes totais ( $C_{Totalis}$ ) e fecais (CF) (CF - *Streptococcus* e *E. coli*) e bactérias nitrificantes e desnitrificantes (em menor escala). O crescimento e a saúde de plantas são determinados também em termos de biomassa total, estimativa de evapotranspiração (balanço hídrico) e taxa de carga hidráulica.

Além disso, os seguintes metais também são determinados, tanto nas amostras de água como nas plantas: Ca e Mg (elementos minerais) e Fe, Cr, Ni, Co, Hg, Cd, Pb, Zn, Mn, Sr, Zr, Ru, Pd, Ag, Cd, In, Sb, Sn, Pt, Au, Pb e Bi para avaliar o nível de remediação da água e acumulação nas plantas.

Na literatura, observou-se que não houve uma medida de todas as variáveis. Assim, nesse trabalho, foram selecionadas as variáveis mais efetivamente encontradas e que podem ser comparadas na maioria dos trabalhos, sendo elas:  $DBO_5$ , DQO,  $N_{Total}$ ,  $N-NH_4$ ,  $N-NO_3$  (no caso de SWC em monocultura) e  $P_{Total}$ .

#### 4. SWC em monocultura

Os sistemas em monocultura são usados geralmente para tratar águas residuais de origem domésticas e industriais. O tratamento é realizado principalmente com as seguintes espécies de *Cyperus*: *esculentus*, *articulatus*, *rotundus*, *haspan*, *papyrus* e *alternifolius*. Dentre as *Cyperus*, destaca-se a *alternifolius* que demonstrou ser eficiente para remover os nitrogenados, normalmente encontrados em águas residuárias, destacando  $N_{Total}$ ,  $N-NH_4$  e  $N-NO_3$  (Figura 2). A eficiência

para remover os nitrogenados varia geralmente da quantidade de nutrientes, tipo de substrato (carvão, solo, areia, seixo entre outros) e design de SWC (vertical e/ou horizontal).

CUI et al., (2009), por exemplo, mostrou que o processo de remoção de  $N_{Total}$  ocorre pelas raízes da *Cyperus alternifolius* e em menor escala pelo substrato (carvão amarelo e preto). As raízes da *Alternifolius* removem cerca de 30% de  $N_{Total}$  com um aumento considerável de biomassa e o substrato remove na faixa de 2,6 a 17,12%. Essa eficiência foi constatada também por EBRAHIMI et al., (2013) e BILGIN; SIMSEK; TULUN, (2014). A capacidade de remover  $N_{Total}$  pela *alternifolius* é atribuída a sua tolerância à toxicidade da amônia (BRITTO; KRONZUCKER, 2002). Por outro lado, TAO; HAN; LI, (2015) afirmam que a capacidade de remoção de  $N_{Total}$  pela *alternifolius* está limitada a quantidade de  $N-NH_4$ , que não pode ser acima  $29 \text{ mg L}^{-1}$ .

A capacidade de remoção de  $N_{Total}$  pela *alternifolius* é reduzida consideravelmente em até 50%, pois a ação de bactérias nitrificante é mais efetiva para esses níveis de  $N-NH_4$ . Deve ser destacado o papel das raízes da *Cyperus* para remover  $N_{Total}$ . Em princípio nessa parte da planta a ação da comunidade bacteriana exerce papel importante na desnitrificação das águas. Essa afirmação está baseada nos resultados de PELISSARI et al., (2017) que caracterizaram as comunidades bacterianas nitrificantes ( $\beta$ -proteobactéria, *Nitrospirae*, *Nitrospina gracilis*) e desnitrificantes (*Pseudomonas* spp., *Paracoccus denitrificans* e *versutus*, e *Thiobaci-*



*illus denitrificans*) em SWC usando *cyperus papyrus*. Outra variável a ser considerada é  $P_{Total}$ , pois este elemento devido ao seu efeito tóxi-

co interfere diretamente no processo de remoção de  $N_{Total}$  pela *alternifolius* (EBRAHIMI et al., 2013).

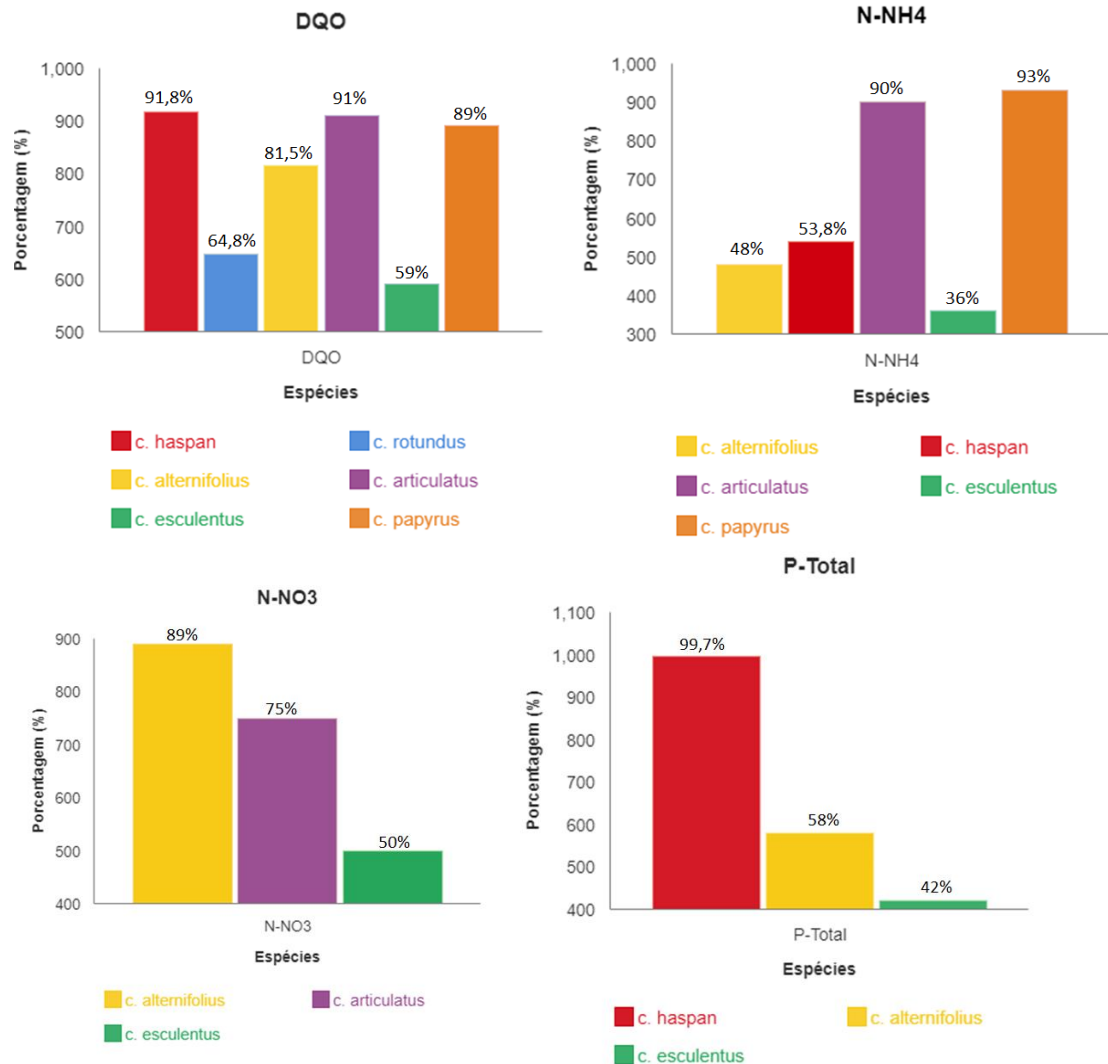


Figura 2: Capacidade de remoção de N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub> de diferentes espécies do gênero *cyperus*, DQO e  $P_{Total}$  de diferentes espécies do gênero *cyperus*.

Como nos trabalhos a quantidade de matéria orgânica era variável e com valores muito baixos, os trabalhos não discutem o caso específico do N-NO<sub>3</sub>. Uma das razões para a discussão a respeito do processo de nitrificação/desnitrificação não serem tratados se deve a dois fatores: O primeiro é a

razão C:N para uma condição ótima de nitrificação/desnitrificação, que deve ser da ordem de 3:1. O outro é o tempo de operação ideal para que a nitrificação/desnitrificação ocorram nos SWC com *cyperus* que deve ser de 15 dias (BILGIN; SIMSEK; TULUN, 2014; CASELLES-OSORIO et al., 2017).

Em termos de remoção de nitrogenados, a literatura mostra que as espécies *cyperus esculentus* (NWAJUAKU; OKEY-ONYESOLU, 2017), *articulatus* (CASELLES-OSORIO et al., 2017), *rotundus* (PATEL et al., 2012), *Haspan* (AKINBILE; YUSOFF; ZUKI (2012) e *papyrus* (PERBANGKHEM; POLPRASERT, 2010; PELISSARI et al., 2017) tem praticamente a mesma capacidade da *Alternifolius*.

Todavia, as espécies *cyperus papyrus*, *articulatus*, *haspan*, *alternifolius* e *esculentus* apresentaram eficiências altas para remover N-NH<sub>4</sub> (Figura 2). Além da grande capacidade de remoção das espécies de nitrogênio, as espécies de *cyperus* se destacam também por ter grande capacidade de melhorar a DQO principalmente pelas espécies *cyperus haspan* e *articulatus*, bem como redução significativa de fósforo realizada pela *cyperus haspan*.

### 5. SWC em policultura

Os SWC em policultura são formados por designs horizontais, verticais, com quatro tipos de arranjos mais comuns: FSL, FSSH, FSSV e H. Na literatura não há um consenso a respeito da quantidade de plantas associadas a *cyperus*. É possível encontrar associações de *cyperus* + uma planta; *cyperus* + duas plan-

tas, *cyperus* + três plantas e *cyperus* ≥ quatro plantas. A Tabela 2 mostra as plantas associadas à *cyperus* e os principais arranjos de SWC. Basicamente, os SWC em policultura foram estudados usando *cyperus alternifolius* e *papyrus*, representando 50% dos trabalhos publicados, dentre os quais foram publicados cinco trabalhos com *alternifolius* e dez de *papyrus*.

As duas espécies de *cyperus* em SWC em policultura possuem basicamente a mesma eficiência média na remoção de P<sub>Total</sub>, DBO<sub>5</sub>, DQO, N<sub>Total</sub> e N-NH<sub>4</sub> (Figura 3). A maior diferença está na capacidade de remover N<sub>Total</sub>, cuja espécie *papyrus* tem maior capacidade de remover N<sub>Total</sub> do que a espécie *alternifolius*. Em relação ao sistema em monocultura, nota-se que no sistema em policultura para praticamente todas as *cyperus* a eficiência é melhorada consideravelmente para P<sub>Total</sub>, DBO<sub>5</sub> e N-NH<sub>4</sub>. Evidentemente, há uma necessidade de realização de mais análises para estabelecer a taxa de aumento da eficiência. A Figura 3 mostra também que nos sistemas em policultura a dispersão da eficiência de remoção fica em baixa (0-15%) para DBO<sub>5</sub> e DQO; média (15-30%) para P<sub>Total</sub> e N<sub>Total</sub> e alta (>30%) para N-NH<sub>4</sub>.

Tabela 2 - Plantas associadas à *cyperus* e as respectivos SWC.

Cyperus	SWC	Plantas	Ref.
<i>papyrus</i>	FSSH	<i>Laurus nobilis</i> ; <i>Cymbopogon</i> ; <i>Ficus carica</i> ; <i>Jasminum grandiflora</i> ; <i>Lantana camara</i> ; <i>Chrysopogon</i> ; <i>Rosa Banksia</i> ; <i>Hibiscus rosa sinensis</i> ; <i>Nerium oleander</i> ; <i>Mentha spicata</i> ; <i>Canna indica</i> ; <i>Typha latifolia</i> ; <i>Evonimus japonica</i> ; <i>Lonicera caprifolium</i> ; <i>Pelargonium rosa</i> ; <i>Punica granatum</i> ; <i>Morus nigra</i> L; <i>Carica papaya</i> ; <i>Musa ssp</i> ; <i>Psidium guajava</i> ; <i>Atriplex halumis</i> ; <i>Juncus effusus</i> ; <i>Washingtonia robusta</i> ; <i>Lolium perenne</i> .	(1)



	FSSV	<i>Iris pseudacorus; Eichhornia crassipes, Tulbaghia violacea;</i>	(2)
	FSSH	<i>Zantedeschia aethiopica.</i>	(3)
	FSSV	<i>Zizaniopsis bonariensis; Typha domingensis</i>	(4)
	FSSH/FSSV	<i>Canna e Phragmites australis</i>	(5)
	FSSV	<i>Phragmites australis</i>	(6)
	FSSH	<i>Scirpus validus</i>	(7)
	FSL	<i>Echinochloa pyramidalis.</i>	(8)
	FSSV	<i>Miscanthidium violaceum (K. Schum.)</i>	(9)
	FSL	<i>Pistia stratiotes L.; Eichhornia crassipes (Mart.) Solms.; Salvinia herzogii De la Sota; Eryngium eburneum Decaisn.; Panicum elephantipes Ness, ex Trin.; Thalia geniculata L.; Polygonum punctatum Elliott.; Pontederia cordata L.; Pontederia rotundifolia L. f.; Typha domingensis Pers.</i>	(10)
alternifolius	H	<i>Hedychium coronarium Koen, Schoenoplectus lacustris e canna indica.</i>	(11)
	FSSH	<i>Phragmites australis, Typha orientalis, Thalia dealbata e Arundo donax.</i>	(12)
	FSS – AA/FL	<i>Phragmites australis, Thalia geniculata, Brachiaria mutica, Typha angustifolia.</i>	(13)
	FSSH	<i>Acorus gramineus; Iris pseudacorus; Lythrum anceps; Myosotis scorpioides; Phyla nodiflora L.; Zantedeschia aethiopica</i>	(14)
	FSSV	<i>Canna indica L. e Typha angustifolia L.</i>	(15)
	FSSV	<i>Nelumbo nucifera Gaertn.</i>	(16)
alternifolius e papyrus	H	<i>Cannaceae indica var. flava, Thalia dealbata, Pontederia cordata, Elodea nuttallii, Ceratophyllum demersum L., e Nymphaea alba.</i>	(17)
	FSSH	<i>Em conjunto com: Agapanthus africanus (L.) Hoffmanns; Canna generalis L. H. Bailey; Chlorophytum comosum (Thunb.) Jacques; Heliconia caribaea Lam.; Heliconia rostrata Ruiz &amp; Pav; Renealmia alpinia (Rottb.) Maas.</i>	(18)
giganteus	FSSH	<i>Typha domingensis; Pontederia cordata.</i>	(19)
iria L. e difformis L.	FSSV	<i>Polygonum lapathifolium L.; Polygonum hydropiper L.; Eclipta prostrata L.; Aster subulatus Michx.; Fimbristylis miliacea (L.) Vahl.; Aeschynomene indica L.; Monochoria vaginalis (Burm. f.) Presl.; Alternanthera philoxeroides (Mart.) Griseb.; Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.; Echinochloa caudata Roshev.; Echinochloa oryzicola (Ard.) Fritsch.; Zizania latifolia (Griseb.) Stapf.; Digitaria sanguinalis (L.) Scop.; Eleusine indica (L.) Gaertn.; Phragmites communis Trin.; Isachne globosa (Thunb.) Kuntze.; Oryza sativa L.</i>	(20)
	FSSH	<i>Echinochloa colona.</i>	(21)
ligularis	FSSV	<i>Juncus acutus e Phragmites spp.</i>	(22)
laevigatus	FSSV	<i>Cynodon dactylon (L.) Pers.</i>	(23)
esculentus	FSSV	<i>Typha angustifolia Linn., Brachiaria mutica (Forssk.),</i>	(24)
corymbosus	FSL	<i>Digitaria bicornis, Vetiveria zizaniodes Nash., Spartina patentes, Leptochloa fusca (Linn.) e Echinodorus cor-</i>	

		<i>difolius</i> (Linn.).	
<i>involutratus</i> Rottb.	FSSV	<i>Typha angustifolia</i> L.	(25)
<i>involutratus</i>	FSL	<i>Typha angustifolia</i> e <i>Thalia dealbata</i> J. Fraser.	(26)
<i>involutratus</i> .	FSL	<i>Canna siamensis</i> , <i>Heliconia</i> spp., <i>Hymenocallis littoralis</i> , <i>Typha angustifolia</i> e <i>Thalia dealbata</i> J. Fraser.	(27)
<i>imbricatus</i>		<i>Brachiaria mutica</i> , <i>Colocasia esculenta</i> , <i>Eichhornia</i> <i>crassipes</i> , <i>Eleocharis dulcis</i> , <i>Hygrophila pogonocalyx</i> , <i>Ipomoea aquatica</i> , <i>Lemna aequinoctialis</i> , <i>Leersia he-</i> <i>xandra</i> , <i>Ludwigia x taiwanensis</i> , <i>Murdannia keisak</i> , <i>Polygonum glabrum</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Pistia stratio-</i> <i>tes</i> , <i>Salix warburgii</i> , <i>Typha orientalis</i> , <i>Zizania latifolia</i> .	(28)
<i>imbricatus</i>	FSSH	<i>Brachiaria mutica</i> ; <i>Ipomoea aquatica</i> ; <i>Typha orienta-</i> <i>lis</i> ; <i>Phragmites australis</i> .	(29)
<i>grandis</i> e <i>dubis</i>	FSSH	<i>Kyllinga erectus</i> , <i>Phragmites mauritanus</i> , <i>Typha do-</i> <i>mingensis</i> e <i>T. capensis</i> .	(30)

Fontes: Saggöi et al., (2017)<sup>1</sup>, Burgos et al., (2017)<sup>2</sup>, Leiva et al., (2018)<sup>3</sup>, Magri et al., (2016)<sup>4</sup>, Abou-Elela et al., (2013)<sup>5</sup>, García-Ávila et al., (2019)<sup>6</sup>, Hadis et al., (2019)<sup>7</sup>, Bojcevska; Tonderski (2007)<sup>8</sup>, Kyambadde et al., (2004)<sup>9</sup>, Hadad; Maine; Bonetto (2006)<sup>10</sup>, Wen et al., (2011)<sup>11</sup>, Vincent et al., (2018)<sup>12</sup>, Katsenovich et al., (2009)<sup>13</sup>, Soda et al., (2012)<sup>14</sup>, Yadav et al., (2012)<sup>15</sup>, Thongtha et al., (2014)<sup>16</sup>, WU et al., (2017)<sup>17</sup>, Pérez-Salazar et al., (2019)<sup>18</sup>, Travaini-Lima; Sipaúba-Tavares (2012)<sup>19</sup>, Jian-Guo et al., (2010)<sup>20</sup>, Casierra-Martínez et al., (2017)<sup>21</sup>, Nivala et al., (2019)<sup>22</sup>, Mustapha; van Bruggen; Lens (2015)<sup>23</sup>, Klomjek; Nitisoravut (2005)<sup>24</sup>, Kantawanichkul; Kladprasert; Brix (2009)<sup>25</sup>, Sohsalam; Sirianuntapiboon (2008)<sup>26</sup>, Sohsalam; Joseph; Sirianuntapiboon (2008)<sup>27</sup>, Hsu et al., (2011)<sup>28</sup>, Tan et al., (2017)<sup>29</sup>, Haule et al., (2013)<sup>30</sup>.

Em termos de *design* dos SWC vertical e horizontal, nota-se que o sistema vertical é mais eficiente. Isso acontece devido ao fluxo vertical da vazão que permite a penetração de mais oxigênio ao redor das raízes das plantas (o que cria condições mais adequadas para atividades microbianas), além do menor tamanho do sistema, longo tempo de retenção hidráulica e menor taxa de evapotranspiração (ABOU-ELELA et al., (2013).

## 6. Mono versus policultura

Na literatura, nota-se que ainda não há um consenso se o SWC em monocultura ou em policultura é o mais eficiente no tratamento de águas residuais. Alguns estudos indicam que a policultura supera a monocultura, enquanto outros mostram resultados variados. Por exemplo, COLEMAN et al., (2001), LIANG

et al., (2011) e ZHOU et al., (2017) relataram que o desempenho de um SWC se beneficia de uma maior diversidade de plantas, e a mistura de diferentes plantas pode aumentar a eficiência dos SWC. Essa afirmação foi atribuída à compensação temporal e espacial, distribuição radicular, maior biomassa vegetal, menor suscetibilidade à variações sazonais, maior diversidade de populações microbianas e preferências por nutrientes predominantes em configurações de policultura (ZHANG et al., 2010; LIANG et al., 2011).

Todavia, baixas capacidades de remoção foram encontradas em SWC em policultura, quando comparados a SWC em monocultura. ZHANG; RENGEL; MENEY, (2007) consideraram que a competição entre plantas em um SWC em policultura resultou em uma menor re-

moção de nutrientes. Segundo esses autores, em SWC pode ocorrer uma competição mais severa principalmente devido às formas de crescimento similares ou iguais, tamanho individual e demanda de luz similares (poucas são tolerantes à sombra) entre as plantas usadas. Tudo isso pode resultar em uma comunidade de plantas instável em um SWC. Para uma eficiência ótima de um SWC em policultura em comparação aos de monocultura é necessária uma boa seleção de plantas (características como: velocidade de crescimento, biomassa e habilidade de competição, são de extrema importância) a serem consorciadas com as espécies de *Cyperus*. Espécies que não competem severamente entre si e que mantenham um estado relativamente estável são as mais recomendadas para compor o SWC em policultura (ZHANG; RENGEL; MENEY, 2007; LIANG et al., 2011).

Os dados da literatura indicam as seguintes características que atuam no desempenho de um SWC em policultura, que podem ser resumidas no quadro abaixo (Quadro 1).

No entanto, autores como FRASER; CARTY; STEER, (2004) e YANRAN et al., (2014) afirmam que a policultura não tem influência significativa no desempenho de um SWC. Essa afirmação é corroborada por LEIVA et al., (2018) ao compararem um sistema em monocultura e outro em policultura usando as seguintes espécies: *Cyperus Papyrus* e *Zantedeschia Aethiopica* para o tratamento de águas residuais de uma comunidade rural. A comparação estatística dos resultados na

eficiência de remoção de matéria orgânica (DQO e DBO<sub>5</sub>), sólidos totais, N<sub>Total</sub>, P<sub>Total</sub> e patógenos, segundo esses autores, indicam que não há diferenças significativas entre SWC em monocultura e em policultura.

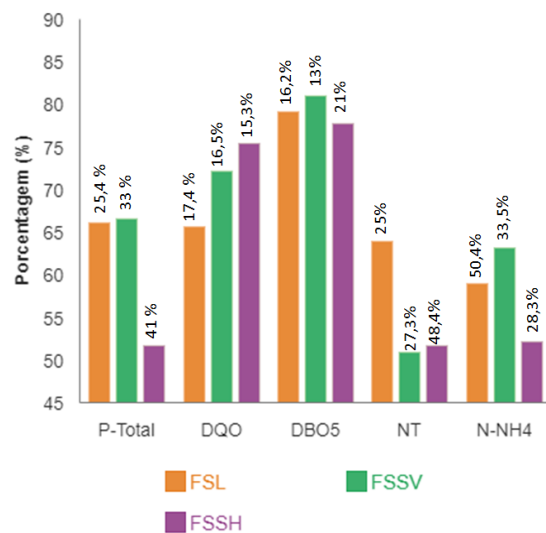
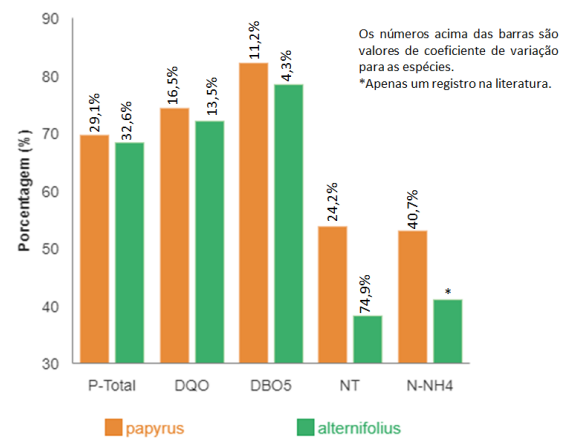


Figura 3 – A eficiência média na remoção de P<sub>Total</sub>, BBO<sub>5</sub>, DQO, NT e N-NH<sub>4</sub> de duas espécies de *Cyperus* em SWC em policultura nos principais designs.



Quadro 1: Principais características encontradas nos SWC em policultura.

Principais características	Referências
Quanto mais eficiente é o sistema em relação à remoção de sólidos em suspensão e DBO <sub>5</sub> , maior será a remoção de CF.	MAGRI et al., 2016; KATSENOVICH et al., 2009.
A estrutura radicular das plantas atua na fixação microbiana, tempo de permanência de águas residuais em quantidade suficiente, captação e assentamento de partículas suspensas, área superficial para adsorção e absorção de poluentes, assimilação de tecidos vegetais e oxigênio para a oxidação de substâncias orgânicas e inorgânicas.	KYAMBADDE et al., 2004.
A eficiência na remoção de matéria orgânica depende da presença de bactérias totais, principalmente nos sistemas plantados.	MUSTAPHA; VAN BRUGGEN; LENS, 2015.
O processo de sedimentação é a principal variável considerada responsável pela remoção de metais.	JIAN-GUO et al., 2010.
A profundidade da <i>wetland</i> e o tempo de permanência da água residual influenciam diretamente na eficiência do SWC em policultura.	YADAV et al., 2012.
A eficiência é considerada satisfatória mesmo em condições de fluxo hidráulico irregular	HADDIS; VAN DER BRUGGEN; SMETS, 2019.

## 7. Patentes registradas

Além das aplicações ambientais, as plantas do gênero *cyperus* possuem potencial de aplicações em diferentes áreas, como produção de biodiesel (WANG et al., 2013), propriedades medicinais (PARK et al., 2019), inseticidas (JANAKI et al., 2018) e alimentícias (RUBERT et al., 2017). Na Tabela 3 constam alguns dos depósitos de patentes envolvendo o uso de *cyperus*.

A partir de uma investigação sobre a utilização do gênero *cyperus* na geração de tecnologias, os autores SPÓSITO; VIRGENS; PUNGARTNIK, (2016) observaram

que o país com maior titularidade depositadas foi a China (cerca de 97%). A maioria das patentes depositadas, relaciona-se ao potencial terapêutico do gênero *cyperus*. No Brasil existe apenas uma patente (WO2009082797A1). Essa reivindica o uso formulações com ações antibacterianas e de remoção de biofilme compreendendo extratos das plantas que compreendem o gênero *protium*, *guatteria* e *cyperus* em um veículo adequado. As formulações antibacterianas são aplicadas na odontologia, medicina, veterinária, higiene pessoal, limpeza e composição farmacêuticas para uso humano e animal.

Tabela 3: Depósitos de patentes relacionados ao gênero *Cyperus*.

País	Reivindicação	Comentário	No. Patente
Coreia do Sul	Prevenção e tratamento da menorragia e dismenorreia, além de constipação, dermatite, dor nas costas e sensibilidade ao frio.	Chá de <i>Cyperus rotundus</i> , <i>Angelica gigas</i> Nakai, <i>Curcuma zedoaria</i> Roscoe, <i>Moutan Cortex Radicis</i> , <i>Artemisiae Argyi Folium</i> , <i>Linderae Radix</i> , <i>Ligustici Rhizoma</i> , <i>Corydalis Tuber</i> , <i>Scirpi Rhizoma</i> , <i>Cartami Flos</i> e <i>Mume Fructus</i>	KR20050004950A (2005)
EUA	Composição antiviral natural	Extratos de <i>Cyperus rotundus</i> / <i>Cyperus scariosus</i>	US20060110479A1 (2006)
China	Tratamento de esgoto doméstico	SWC com Coix, <i>H. littoralis</i> , gengibre branco, <i>Heliconia</i> , <i>Cyperus</i> e plantas do pantanal da China	CN100422098C (2008)
EUA	Produto antiviral para tratar AIDS* e suas variantes.	<i>Cyperus articulatus</i>	US2012000289A1 (2012)
China	Tratamento de verrugas	<i>Cyperus rotundus</i>	CN104257973A (2015)
China	Creme dental e enxaguante bucal	<i>Cyperus rotundus</i>	CN106377481A (2017)
China	Tratamento da distensão abdominal	<i>Cyperus rotundus</i> com rizoma de <i>atractylodes</i> e casca de tangerina	CN106606625A (2017)
Coréia do Sul	Tratamento da obesidade	Planta <i>Cyperus microiria</i> Steud	KR101908221B1 (2018)

\* Síndrome de Imunodeficiência Adquirida

## 8. Considerações finais

A análise dos artigos publicados e patentes mostra que a *Cyperus* é uma planta promissora para uma série de aplicações tecnológicas, inclusive para ser usada em SWC. Como até o momento só existe uma concessão de patente relacionada ao uso da *Cyperus* em sistema de tratamento de água residuárias, os artigos mostram que há possibilidade para o depósito de mais sistemas *wetlands* baseados nesta planta. Academicamente, esta revisão mostrou que as espécies *Cyperus alternifolius* e *papyrus* são as duas espécies da família *Cyperaceae* mais estudadas em SWC. As pesquisas sobre a eficiência de SWC com *Cyperus* mostrou

também que o sistema policultura com *design* vertical é o mais eficiente para tratar águas poluídas, principalmente para DBO<sub>5</sub>, DQO, compostos de nitrogênio e fósforo. Os resultados publicados indicam que SWC em sistema policultura são ideais quando produzidos com outras três espécies de plantas associativas com a *Cyperus*; ou seja, plantas que ajudam a *Cyperus* a remover os poluentes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Química da UFAM (PPGQ/UFAM), e a UFAM, por toda a infraestrutura disponível para a realização deste trabalho.



## Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

## Referências

- ALVES, M. et al. Diversity of Cyperaceae in Brazil. *Rodriguésia*, v. 60, n. 4, p. 771–782, 2009.
- ALVES, M. et al. Diversidade de Cyperaceae no Brasil. In: BARBOSA, L. M.; SANTOS JUNIOR, N. A dos (org.) *A Botânica no Brasil: Pesquisa, Ensino e Políticas ambientais*. Mod. I. São Paulo: Percepção Design, p. 286-290, 2007.
- ABOU-ELELA, S. I. . et al. Municipal wastewater treatment in horizontal and vertical flows constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 61, p. 460–468, 2013.
- AKINBILE, C. O.; YUSOFF, M. S.; ZUKI, A. Z. A. Landfill leachate treatment using subsurface flow constructed wetland by *Cyperus haspan*. **Waste Management**, v. 32, p. 1387–1393, 2012.
- AKSOY, A.; DEMIREZAN, D.; DUMAN, F. METAL POLLUTION IN SULTAN MARSH AND ITS ENVIRONMENT. **Water Research**, v. 164, p. 241–255, 2005.
- ALVES, M. et al. Diversity of Cyperaceae in Brazil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 4, p. 771–782, 2009.
- ANDREO-MARTÍNEZ, P. et al. Domestic wastewaters reuse reclaimed by an improved horizontal subsurface-flow constructed wetland: A case study in the southeast of Spain. **Bioresource Technology**, v. 233, p. 236–246, 2017.
- AUVINEN, H. et al. Removal of pharmaceuticals by a pilot aerated subsurface flow constructed wetland treating municipal and hospital wastewater. **Ecological Engineering**, v. 100, p. 157–164, 2017.
- BARCO, A.; BORIN, M. Treatment performance and macrophytes growth in a restored hybrid constructed wetland for municipal wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v. 107, p. 160–171, 2017.
- BILGIN, M.; SIMSEK, I.; TULUN, S. Treatment of domestic wastewater using a lab-scale activated sludge / vertical flow subsurface constructed wetlands by using *Cyperus alternifolius*. **Ecological Engineering**, v. 70, p. 362–365, 2014.
- BOJCEVSKA, H.; TONDERSKI, K. Impact of loads , season , and plant species on the performance of a tropical constructed wetland polishing effluent from sugar factory stabilization ponds. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 66–76, 2007.
- BRITTO, D. T. .; KRONZUCKER, H. J. NH<sub>4</sub> + toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, p. 567–584, 2002.
- BURGOS, V. et al. Performance of ornamental plants in mesocosm subsurface constructed wetlands under different organic sewage loading. **Ecological Engineering**, v. 99, p. 246–255, 2017.
- CASELLES-OSORIO, A. et al. Horizontal subsurface-flow constructed wetland removal efficiency using *Cyperus articulatus* L . **Ecological Engineering**, v. 99, p. 479–485, 2017.
- CASIERRA-MARTÍNEZ, H. A. et al. Organic Matter and Nutrients Removal in Tropical Constructed Wetlands Using *Cyperus ligularis* (Cyperaceae) and *Echinocloa colona* (Poaceae). **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 9, p. 228–238, 2017.
- CHEN, Y. et al. Bioresource Technology Effects of plant biomass on denitrifying genes in subsurface-flow constructed wetlands. **Bioresource Technology**, v. 157, p. 341–345, 2014.





- COLEMAN, J. et al. TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER BY THREE PLANT SPECIES IN CONSTRUCTED WETLANDS. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 128, n. 3–4, p. 283–295, 2001.
- CUI, L. et al. Removal of total nitrogen by *Cyperus alternifolius* from wastewaters in simulated vertical-flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 35, p. 1271–1274, 2009.
- DI LUCA, G. A. et al. Phosphorus distribution pattern in sediments of natural and constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 108, n. April, p. 227–233, 2017.
- DÍAZ, F. J.; GEEN, A. T. O.; DAHLGREN, R. A. Agricultural pollutant removal by constructed wetlands: Implications for water management and design. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 171–183, 2012.
- EBRAHIMI, A. et al. Efficiency of Constructed Wetland Vegetated with *Cyperus alternifolius* Applied for Municipal Wastewater Treatment. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2013, p. 1–6, 2013.
- ESCUADERO, M. et al. Diversification rates and chromosome evolution in the most diverse angiosperm genus of the temperate zone (*Carex*, Cyperaceae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 63, n. 3, p. 650–655, 2012.
- FRASER, L. H.; CARTY, S. M.; STEER, D. A test of four plant species to reduce total nitrogen and total phosphorus from soil leachate in subsurface wetland microcosms. **Bioresource Technology**, v. 94, p. 185–192, 2004.
- GILL, L. W. et al. Accumulation of heavy metals in a constructed wetland treating road runoff. **Ecological Engineering**, v. 70, p. 133–139, 2014.
- GILPAVAS, E.; DOBROSZ-GÓMEZ, I.; GÓMEZ-GARCÍA, M. Á. Optimization of sequential chemical coagulation - electro-oxidation process for the treatment of an industrial textile wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v. 22, p. 73–79, 2018.
- GOSWAMI, S.; MAZUMDER, D. Comparative study between activated sludge process (ASP) and moving bed bioreactor (MBBR) for treating composite chrome tannery wastewater. **Materials Today: Proceedings**, v. 3, p. 3337–3342, 2016.
- HADAD, H. R.; MAINE, M. A.; BONETTO, C. A. Macrophyte growth in a pilot-scale constructed wetland for industrial wastewater treatment. **Chemosphere**, v. 63, p. 1744–1753, 2006.
- HADDIS, A.; VAN DER BRUGGEN, B.; SMETS, I. Constructed wetlands as nature based solutions in removing organic pollutants from wastewater under irregular flow conditions in a tropical climate. **Ecohydrology and Hydrobiology**, n. 2018, 2019.
- HAULE, A. T. et al. Potential Macrophytes for Nitrogen Removal from Domestic Wastewater in Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands in Tanzania. **The Open Environmental Engineering Journal**, v. 6, p. 14–21, 2013.
- HSU, C.-B. et al. Biodiversity of constructed wetlands for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v. 37, p. 1533–1545, 2011.
- JÁCOME, J. A. et al. Performance of constructed wetland applied for domestic wastewater treatment: Case study at Boimorto (Galicia, Spain). **Ecological Engineering**, v. 95, p. 324–329, 2016.
- JANAKI, S. et al. Chemical composition and insecticidal efficacy of *Cyperus rotundus* essential oil against three stored product pests. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 133, n. February, p. 93–98, 2018.
- JIAN-GUO, L. et al. Variations in Uptake and Translocation of Copper, Chromium and Nickel Among Nineteen Wetland Plant Species \* 1. **Pedosphere**, v. 20, n. 1, p. 96–103, 2010.
- JOG, S. et al. Floristic Quality as an Indicator of Native Species Diversity in Managed Grasslands. **Natural Areas**



**Journal**, v. 26, p. 149–167, 2006.

JOPPA, L. N.; ROBERTS, D. L.; PIMM, S. L. How many species of flowering plants are there? **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 278, n. 1705, p. 554–559, 2011.

KANTAWANICHKUL, S.; KLADPRASERT, S.; BRIX, H. Treatment of high-strength wastewater in tropical vertical flow constructed wetlands planted with *Typha angustifolia* and *Cyperus involucreatus*. **Ecological Engineering**, v. 5, p. 238–247, 2009.

KATSENOVICH, Y. P. et al. Performance evaluation of constructed wetlands in a tropical region. **Ecological Engineering**, v. 35, p. 1529–1537, 2009.

KHAN, S. et al. Use of constructed wetland for the removal of heavy metals from industrial wastewater. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 3451–3457, 2009.

KLOMJEK, P.; NITISORAVUT, S. Constructed treatment wetland: a study of eight plant species under saline conditions. **Chemosphere**, v. 58, p. 585–593, 2005.

KYAMBADDE, J. et al. A comparative study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium violaceum* - based constructed wetlands for wastewater treatment in a tropical climate. **Water Research**, v. 38, p. 475–485, 2004.

LECK, A. M.; SCHU, W. Regeneration of Cyperaceae, with particular reference to seed ecology and seed banks. **Perspectives in Plant Ecology, Evolutions and Systematics**, v. 7, p. 95–133, 2005.

LEIVA, A. M. et al. Performance of ornamental plants in monoculture and polyculture horizontal subsurface flow constructed wetlands for treating wastewater. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 116–125, 2018.

LIANG, M. Q. et al. Plant growth, community structure, and nutrient removal in monoculture and mixed constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 37,

p. 309–316, 2011.

MACHADO, A. I. et al. Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 187, p. 560–570, 2017.

MAGRI, M. E. et al. Constructed wetlands for sludge dewatering with high solids loading rate and effluent recirculation: Characteristics of effluent produced and accumulated sludge. **Ecological Engineering**, v. 95, p. 316–323, 2016.

MARCHAND, L. et al. Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements: A review. **Environmental Pollution**, v. 158, p. 3447–3461, 2010.

MARTÍN, M. et al. The use of free water surface constructed wetland to treat the eutrophicated waters of lake L' Albufera de Valencia (Spain). **Ecological Engineering**, v. 50, p. 52–61, 2013.

MENDES, L. R. D. et al. Phosphorus retention in surface-flow constructed wetlands targeting agricultural drainage water. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 94–103, 2018.

MUSTAPHA, H. I.; VAN BRUGGEN, J. J.; LENS, P. N. L. Vertical subsurface flow constructed wetlands for polishing secondary Kaduna refinery wastewater in Nigeria. **Ecological Engineering**, v. 84, p. 588–595, 2015.

NIVALA, J. et al. Vertical flow constructed wetlands for decentralized wastewater treatment in Jordan: Optimization of total nitrogen removal. **Science of the Total Environment**, v. 671, p. 495–504, 2019.

NWAJUAKU, I. I.; OKEY-ONYESOLU, C. F. Efficiency of *Cyperus esculentus* as a biofilter in treatment of domestic waste water. **Saudi Journal of Engineering and Technology**, v. 2, n. 4, p. 159–170, 2017.

PARK, Y. J. et al. Sesquiterpenes from *Cyperus rotundus* and 4 $\alpha$ ,5 $\alpha$ -oxidoeudesm-11-en-3-one as a potential selective



- estrogen receptor modulator. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 109, p. 1313–1318, 2019.
- PATEL, S. S. . et al. The pilot study of COD Removal in Industrial complex effluent by wetland plants *Cyperus rotundus* Linn. **Universal Journal of Environmental Research and Technology**, v. 2, n. 5, p. 439–442, 2012.
- PELLISSARI, C. et al. Nitrogen transforming bacteria within a full-scale partially saturated vertical subsurface flow constructed wetland treating urban wastewater. **Science of the Total Environment**, v. 574, p. 390–399, 2017.
- PERBANGKHEM, T.; POLPRASERT, C. Bioresource Technology Biomass production of papyrus ( *Cyperus papyrus* ) in constructed wetland treating low-strength domestic wastewater. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 833–835, 2010.
- PÉREZ-SALAZAR, R. et al. Science of the Total Environment Biogardens as constructed wetlands in tropical climate : A case study in the Central Pacific Coast of Costa Rica. **Science of the Total Environment**, v. 658, p. 1023–1028, 2019.
- RAMPRASAD, C. et al. Removal of chemical and microbial contaminants from greywater using a novel constructed wetland: GROW. **Ecological Engineering**, v. 106, p. 55–65, 2017.
- RUBERT, J. et al. Untargeted metabolomics of fresh and heat treatment Tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) milks reveals further insight into food quality and nutrition. **Journal of Chromatography A**, v. 1514, p. 80–87, 2017.
- SAEED, T.; HAQUE, I.; KHAN, T. Organic matter and nutrients removal in hybrid constructed wetlands: Influence of saturation. **Chemical Engineering Journal**, v. 371, p. 154–165, 2019.
- SAGGAI, M. M. et al. Long-term investigation of constructed wetland wastewater treatment and reuse : Selection of adapted plant species for metaremediation. **Journal of Environmental Management**, v. 201, p. 120–128, 2017.
- SHEORAN, V.; SHEORAN, A. S.; POONIA, P. Factors Affecting Phytoextraction: A Review. **Pedosphere**, v. 26, n. 2, p. 148–166, 2016.
- SOARES, A. C.; VILLAR, J. L.; HEFLER, S. M. Sinopse da família Cyperaceae em uma área do extremo sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Rodriguesia**, v. 66, n. 2, p. 441–453, 2015.
- SODA, S. et al. Constructed wetlands for advanced treatment of wastewater with a complex matrix from a metal-processing plant: Bioconcentration and translocation factors of various metals in *Acorus gramineus* and *Cyperus alternifolius*. **Ecological Engineering**, v. 39, p. 63–70, 2012.
- SOHSALAM, P.; JOSEPH, A. J.; SIRIANUNTAPIBOON, S. Seafood wastewater treatment in constructed wetland: Tropical case. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 1218–1224, 2008.
- SOHSALAM, P.; SIRIANUNTAPIBOON, S. Feasibility of using constructed wetland treatment for molasses wastewater treatment. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 5610–5616, 2008.
- SPALINK, D. et al. The spatial structure of phylogenetic and functional diversity in the United States and Canada: an example using the sedge family (Cyperaceae). **Journal of Systematics and Evolution**, v. 9999, n. 9999, p. 1–17, 2018.
- SPÓSITO, R. C. A.; VIRGENS, R. S.; PUNGARTNIK, C. Investigação Prospectiva Sobre a Utilização Do Gênero *Cyperus* Na Geração De Tecnológicas. **Cadernos de Prospecção**, v. 9, n. 1, p. 38–44, 2016.
- TAN, E. et al. Nitrogen transformations and removal efficiency enhancement of a constructed wetland in subtropical Taiwan. **Science of the Total Environment**, v. 601–602, p. 1378–1388, 2017.
- TAO, W.; HAN, J.; LI, H. Investigation into ammonia stress on *Cyperus alternifolius* and its impact on nutrient removal in



- microcosm experiments. **Journal of Environmental Management**, v. 163, p. 254–261, 2015.
- THONGTHA, S. et al. Phosphorus removal from domestic wastewater by *Nelumbo nucifera* Gaertn. and *Cyperus alternifolius* L. **Journal of Environmental Management**, v. 137, p. 54–60, 2014.
- TRAVAINI-LIMA, F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Efficiency of a constructed wetland for wastewaters treatment. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, n. 3, p. 255–265, 2012.
- VINCENT, G. . et al. Plant growth and nutrient uptake in treatment wetlands for water with low pollutant concentration. **Water Science & Technology**, n. 77.4, p. 1072–1078, 2018.
- VYMAZAL, J. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. **Ecological Engineering**, v. 35, p. 1–17, 2009.
- VYMAZAL, J. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience †. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 61–69, 2011a.
- VYMAZAL, J. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. **Hydrobiologia**, v. 674, p. 133–156, 2011b.
- VYMAZAL, J. Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review. **Ecological Engineering**, v. 61, p. 582–592, 2013.
- VYSTAVNA, Y. et al. Removal efficiency of pharmaceuticals in a full scale constructed wetland in. **Ecological Engineering**, v. 108, n. May, p. 50–58, 2017.
- WANG, W. et al. Biodiesel production from hydrolysate of *Cyperus esculentus* waste by *Chlorella vulgaris*. **Bioresource Technology**, v. 136, p. 24–29, 2013.
- WEN, L. . et al. Removal of Total Phosphorus from Septic Tank Effluent by the Hybrid Constructed Wetland System. **Procedia Environmental Sciences**, v. 10, p. 2102–2107, 2011.
- WU, H. et al. Mass Balance Study on Phosphorus Removal in Constructed Wetland Microcosms Treating Polluted River Water. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 41, n. 9, p. 844–850, 2013.
- WU, S. et al. ScienceDirect Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. **Water Research**, v. 57, p. 40–55, 2014.
- WU, S. et al. Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: Challenges , operational strategies and overall performance. **Environmental Pollution**, v. 201, p. 107–120, 2015.
- WU, Y. et al. Long-term performance of an integrated constructed wetland for advanced treatment of mixed wastewater. **Ecological Engineering**, v. 99, p. 91–98, 2017.
- YADAV, A. K. et al. The removal of heavy metals in wetland microcosms: Effects of bed depth , plant species , and metal mobility. **Chemical Engineering Journal**, v. 211–212, p. 501–507, 2012.
- YANRAN, D. et al. What's better, *Ceratophyllum demersum* L. or *Myriophyllum verticillatum* L., individual or combined? **Ecological Engineering**, v. 70, p. 397–401, 2014.
- ZHANG, C. B. et al. Effects of plant diversity on microbial biomass and community metabolic profiles in a full-scale constructed wetland. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 62–68, 2010.
- ZHANG, Z.; RENGEL, Z.; MENEY, K. Nutrient removal from simulated wastewater using *Canna indica* and *Schoenoplectus validus* in mono- and mixed-culture in wetland microcosms. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 183, p. 95–105, 2007.
- ZHOU, Q. et al. Effects of Vegetation and Temperature on Nutrient Removal and Microbiology in Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands for Treatment of Domestic Sewage. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 228, n. 3, p. 1–13, 2017.