



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA**



---

**Amanda Almeida Frizzo**

**Análise do Uso de Diferentes Substratos em Sistemas de *Wetlands*  
Construídos**

Limeira  
Janeiro 2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA



---

**Amanda Almeida Frizzo**

**Análise do Uso de Diferentes Substratos em Sistemas de *Wetlands*  
Construídos**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Tecnologia -  
FT, Universidade Estadual de Campinas  
como requisito à obtenção do título de  
Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marta Siviero Guilherme Pires

Limeira  
Janeiro 2021

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, que me deram a base essencial e me orientaram sempre para para o alcançar meus objetivos e meus sonhos. A minha mãe pelo incentivo e exemplo de sempre estudar e buscar conhecimento. Ao meu pai, por estar sempre ao meu lado e me mostrar desde criança o poder da natureza selvagem. A minha irmã, por ser minha companheira e me apoiar nas minhas decisões. Aos meus professores e professoras, de todos os anos da minha vida, que me mostraram os caminhos para eu chegar até aqui. Agradeço também por todas as mulheres que durante estes anos de graduação, se abriram para amadurecermos juntas e para lutarmos por uma universidade e sociedade mais justa, em especial a Carol Garcia, Estela Muniz, Tayla Dias, Nádia Rodrigues, Letícia Dornelas e Beatriz Brancaglione.

## Sumário

### RESUMO

1. INTRODUÇÃO
2. OBJETIVO
  - 2.1. OBJETIVO ESPECÍFICO
3. REFERENCIAL TEÓRICO
  - 3.1. ÁREAS ALAGADAS
  - 3.2. WETLANDS CONSTRUÍDOS
    - 3.2.1. WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO SUPERFICIAL
    - 3.2.2. WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL
    - 3.2.3. WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO SUBSUPERFICIAL VERTICAL
    - 3.2.4. SISTEMA HÍBRIDO
    - 3.2.5. SISTEMA DE FLUXO DE MARÉS
  - 3.3. PRINCIPAIS COMPONENTES
    - 3.3.1. MACRÓFITAS
    - 3.3.2. MICROBIOTA
    - 3.3.3. SUBSTRATO
  - 3.4. POLUENTES
    - 3.4.1. REMOÇÃO DE POLUENTES
    - 3.4.2. NITROGÊNIO
    - 3.4.3. FÓSFORO
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO
  - 4.1. REMOÇÃO DE POLUENTES
  - 4.2. TIPOS DE FLUXO DO SISTEMA
  - 4.3. COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA
5. CONCLUSÃO
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FRIZZO, A. Amanda. Análise do Uso de Diferentes Substratos em Sistemas de *Wetlands* Construídos. 2021, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Tecnologia. Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2021.

## RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar e comparar, por meio de levantamento bibliográfico de 4 pesquisas científicas, o desempenho de remoção de poluentes de sistemas *wetland* construído (WC) com diferentes tipos de substratos, totalizando 12 materiais filtrantes. Analisou-se e comparou-se os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal (NAT), Nitrogênio Kjeldahl (NTK), Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (FT) determinado pelos autores em amostras do efluente após tratamento, o tipo de fluxo do sistema e a composição químico-física dos materiais filtrantes. Pode-se determinar que sistemas de maior oxigenação como o de fluxo de marés e fluxo vertical permitem maior remoção de compostos de nitrogênio e que com o uso de materiais com boa capacidade de adsorção esta remoção é eficaz. Para remover FT, a composição físico-química do substrato mostrou-se determinante, como em materiais como a escória de fundição de ferro e aço caracterizada por alta porosidade, composição química de cálcio, ferro e alumínio, alta capacidade de adsorção catiônica, entre outros. Para a remoção de matéria carbonácea, os compostos mais inertes. Pode-se concluir, que os sistemas WC removem poluentes de forma eficiente e diferenciadamente de acordo com o substrato utilizado, podendo este ser escolhido de acordo com a necessidade de tratamento do efluente. Entretanto, as WC reagem de forma plural diante de seus todos seus elementos e que não apenas o meio filtrante determina a remoção de um poluente. Sendo assim, a comparação entre pesquisas pode gerar resultados não confiáveis quando não é avaliado o sistema por completo.

## 1. INTRODUÇÃO

Saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição brasileira, e definido pela Lei nº. 11.445/2007 como o conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza e drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais, visando preservar ou modificar as condições do meio ambiente, a fim de prevenir doenças, promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população e à produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica. (BRASIL, 2019)

Entretanto, no Brasil, apenas 48,6% da população tem acesso à coleta de esgotos, decaindo para 39% o tratamento de todo o esgoto gerado. A ausência de coleta e tratamento de esgoto causa impactos ao meio ambiente, à saúde e, portanto, à qualidade de vida da população. (BRASIL, 2019).

Como alternativa aos tratamentos de efluentes tradicionais, as *Wetland* Construídas (WC) são utilizadas como sistemas descentralizados robustos, de baixa tecnologia e de operação simples. Seu funcionamento é baseado em processos biológicos e físicos, como adsorção, precipitação, filtração, nitrificação, decomposição, entre outros. Dentre eles, a filtração biológica é considerada como mecanismo mais importante, onde é formado um biofilme sobre o substrato, a partir das bactérias facultativas e aeróbias (HOFFMANN et al., 2011).

Em países tropicais, como o Brasil, os sistemas *wetlands* construídos apresentam maior eficiência de funcionamento, já que a temperatura elevada do clima propicia maior atividade metabólica dos micro-organismos para remover poluentes (ZHANG, 2015). Esta tecnologia pode ser utilizada não apenas para tratamento de efluentes domésticos e municipais, mas também para efluentes de agricultura, indústrias e de mineração, para rios poluídos e entre outros (WU et al., 2014).

Com o intuito de avaliar a influência dos meios filtrantes em sistemas *wetlands* construídos, este estudo analisará, por meio de levantamento bibliográfico, a eficiência de remoção de poluentes em sistemas *wetland* construídos com o uso diferentes substratos. De acordo com Ge et al. (2015), a escolha por substratos de alta capacidade absorptiva, economicamente viável e acessível é vital para a remoção sustentável de poluentes nestes sistemas.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo desta pesquisa é verificar, por meio de levantamento bibliográfico, quais os principais substratos utilizados em *wetlands* construídos e analisar sua eficiência na remoção de poluentes.

### **2.1. OBJETIVO ESPECÍFICO**

Por meio de uma revisão bibliográfica, será apresentado o funcionamento de um sistema wetland construído e comparado quantitativamente os parâmetros DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo dos efluentes de sistemas *Wetland* Construído com substratos variados, a fim de analisar qualitativamente estes substratos como materiais filtrantes.

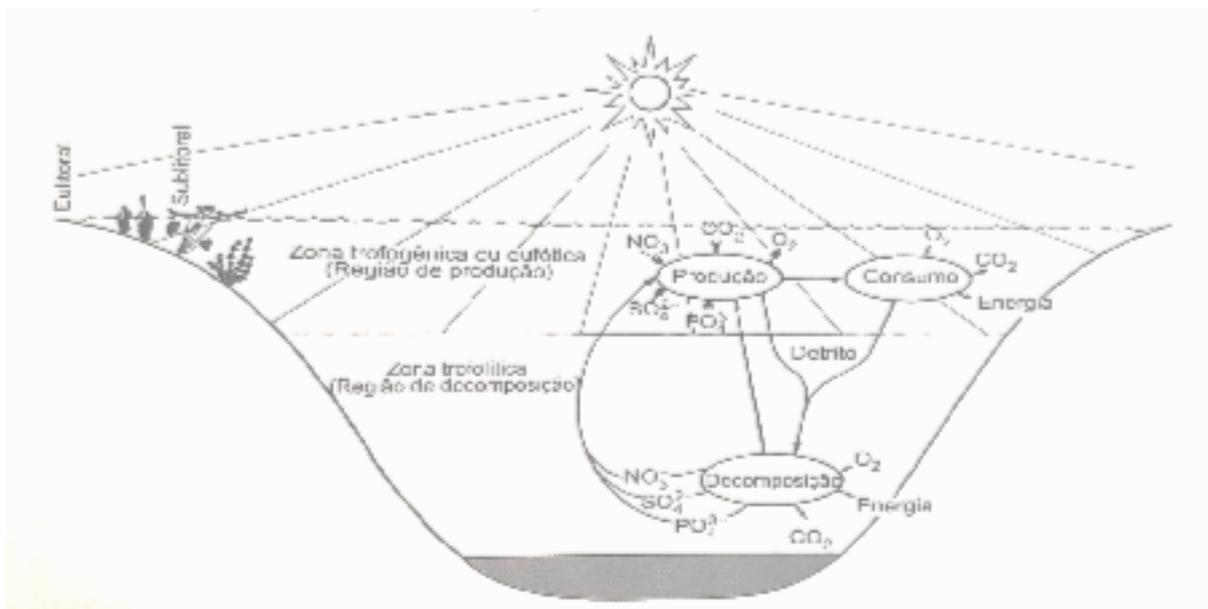
### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. ÁREAS ALAGADAS**

No passado, as áreas alagadas não eram bem compreendidas. Considerados ambientes insalubres, com acesso restrito e assim com pouco potencial de exploração de interesse econômico, este ecossistema se manteve mais bem conservado em relação aos outros (ESTEVES, 2011). Entretanto, sabe-se que este é o ecossistema de maior produção biológica de todos os outros (KADLEC, 2009), tendo grande importância para manutenção dos serviços ambientais com a ciclagem de nutrientes, remoção de nutrientes e conservação da diversidade biológica (ESTEVES, 2011).

As áreas alagadas englobam ecossistemas entre zonas continentais e costeiras. São áreas de transição do sistema terrestre para o sistema aquático, mas que permanecem alagadas tempo suficiente para não permitir a permanência de espécies vegetais que não sobrevivem a solos saturados e as mudanças biogeoquímicas que ocorrem nos períodos de cheias (KADLEC, 2009). Seus ecossistemas têm como característica comum a proliferação de macrófitas aquáticas, como nos pântanos, margens de rios, zonas litorâneas de lagos e lagoas, mangues, entre outros. O metabolismo de ambientes aquáticos ocorre pela movimentação dos nutrientes nele inseridos, através do fluxo energético com meio biótico e abiótico, entre as fases de produção, consumo e decomposição (ESTEVES, 2011). Este sistema metabólico ocorre como ilustrado na figura 1.

Figura 1: Funcionamento do metabolismo de uma área alagada



Fonte: ESTEVES, 2011

Diante da riqueza de atividade biológica das áreas alagadas e de suas variadas características físico químicas, este ecossistema tem grande potencial de retorno ao equilíbrio ecossistêmico, permitindo que o aumento de compostos orgânicos ou a presença de compostos potencialmente poluidores sejam transformados em compostos não nocivos ou nutrientes para ciclagem da atividade biológica (KADLEC, 2009).

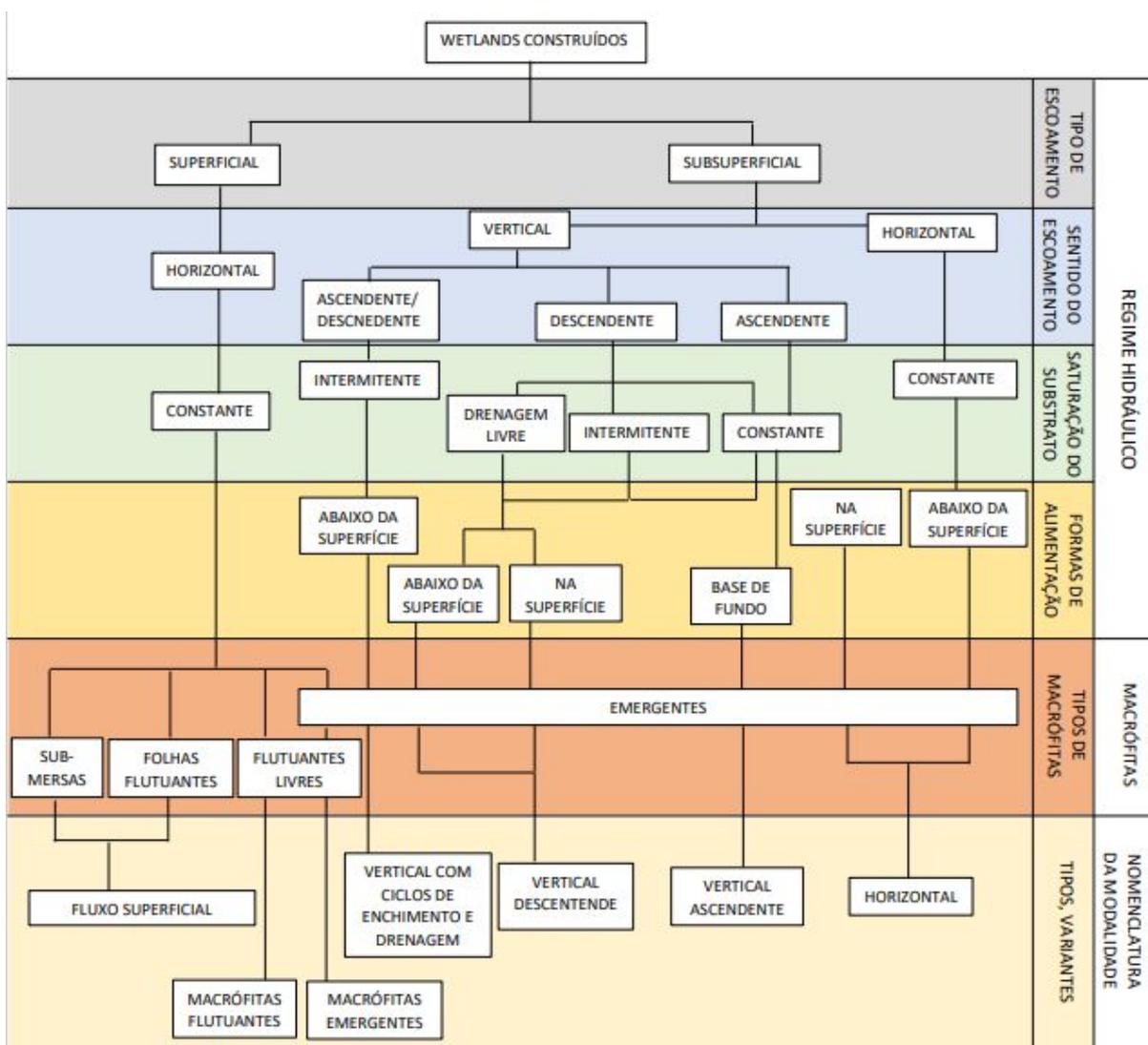
### 3.2. WETLANDS CONSTRUÍDOS

Os *wetlands* construídos são sistemas criados com base nos ecossistemas alagados naturais, para o tratamento de diferentes efluentes. Este sistema que imita a natureza foi adaptado para suprir as necessidades de degradação física, química e biológica com a maior eficiência (KADLEC, 2009). Os primeiros experimentos e a implementação da primeira planta de tratamento desta tecnologia ocorreu em meados dos anos 60, na Alemanha, por Dr. Kathe Seidel. Este sistema foi difundido internacionalmente, em especial na Europa e nos Estados Unidos até os anos 90, quando a tecnologia chega mundo afora. Inicialmente, o sistema de *wetlands* construídos eram arquitetados pelo sistema subsuperficial e de superfície livre, mas com a sua globalização, foi necessária a adaptação do sistema para diferentes

parâmetros físicos, químicos e biológicos, tanto do efluente quanto dos fatores externos a ele. Assim, até os anos 2000 cria-se as *wetlands* de fluxo horizontal e vertical combinadas, ou seja, um, sistema híbrido, atingindo assim uma eficiência de remoção de amônia e nitrogênio total maior, sendo um sistema reconhecido pela eficiência de funcionamento (VYMAZAL, 2010).

As *wetlands* construídas são compostas por um substrato, macrófitas aquáticas e o biofilme e operam de acordo com diferentes fluxos, sendo eles no geral horizontal, vertical ou mistos. A arquitetura destes sistemas varia principalmente a partir do fluxo hidrológico escolhido, entretanto, existem diversos outros elementos que influenciam e diferenciam os *wetlands* construídos de forma a personalizar mais especificamente os sistemas por suas múltiplas variantes. Estas variáveis foram esquematizadas a fim de compreender a dimensão de suas possibilidades (figura 2) (FONDER, 2013). Para seu melhor funcionamento, os elementos plantas, substratos, profundidade, vazão, tempo de retenção hidráulica, tipo de alimentação do sistema devem ser escolhidos de modo a determinar sua eficiência e viabilidade de uso (WU et. al, 2015)

Figura 2: Variabilidade de elementos influenciadores em sistemas *wetland* construídos



Fonte: Adaptado de FONDER, N. 2013

Para seu melhor funcionamento, os elementos plantas, substratos, profundidade, vazão, tempo de retenção hidráulica, tipo de alimentação do sistema devem ser escolhidos de modo a determinar sua eficiência e viabilidade de uso (WU et. al, 2015).

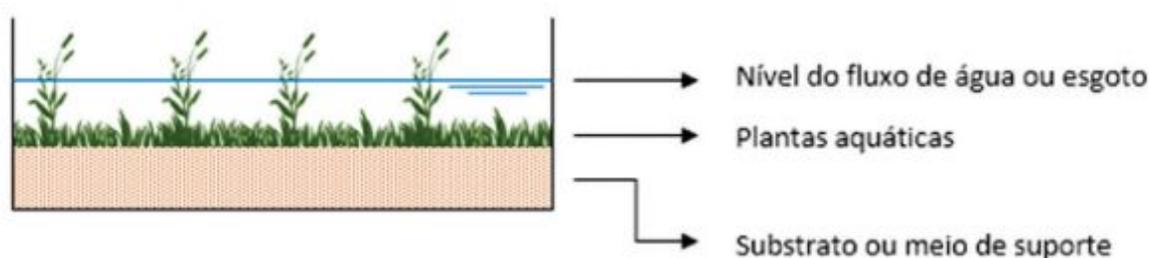
### 3.2.1. WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO SUPERFICIAL

As *wetlands* construídas com fluxo superficial (figura 3) são caracterizadas pelo seu meio suporte ou substrato constantemente saturado e com escoamento do fluxo afluente contínuo pela superfície do sistema, com baixa velocidade e

distribuído homogeneamente. Este sistema permite o uso de macrófitas aquáticas flutuantes, emergentes ou submersas e pode ser construído sem substrato e com uso exclusivo de macrófitas flutuantes. O escoamento do efluente tratado ocorre através de drenos localizados na parte inferior do sistema (BENASSI, et al., 2018).

Os sistemas superficiais são mais resilientes às oscilações de nível d'água, já que as plantas flutuantes acompanham a movimentação da coluna d'água (FONDER; HEADLEY, 2013).

Figura 3: Representação de um sistema *wetland* construído de fluxo superficial



Fonte: Sanchez, 2017

De acordo com Benassi et al. (2018), recomenda-se o tratamento primário e secundário previamente, utilizando do sistema WCFS como tratamento terciário especialmente para remoção de fósforo. A figura x representa o sistema WCFS.

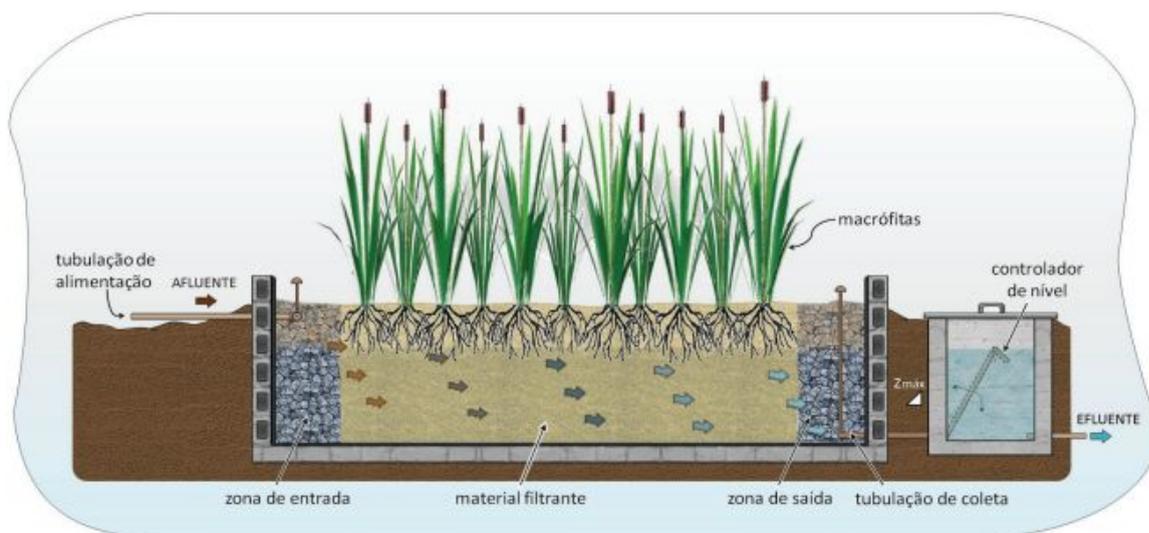
### 3.2.2. WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

Nos *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial horizontal (figura 4), chamados filtros biológicos plantados, o fluxo de água entra em contato apenas com as raízes de macrófitas aquáticas emergentes que estão enraizadas no substrato. Por serem sistemas sem exposição do efluente, a proliferação de insetos, mais frequente em sistemas superficiais, é diminuída, reduzindo a exposição a patógenos (LIMA; BENASSI et al., 2018)

O fluxo da água flui por entre o substrato horizontalmente e em velocidade lenta, com entrada e saída opostas. Por meio de um mecanismo de controle de nível, o efluente sai do sistema quando alcança a área de saída. Este sistema

beneficia a desnitrificação, pois a saturação propicia um ambiente tanto anaeróbio quanto anóxico (LIMA, 2018; SEZERINO et. al., 2018). A entrada e saída do corpo d'água em WCFS se localizam em posições opostas horizontalmente e necessita de áreas menores e tempo de detenção hidráulico maiores que sistemas superficiais (XANTHOULIS et al., 2008).

Figura 4: Representação de *wetland* construída de fluxo subsuperficial horizontal



Fonte: (SEZERINO et. al., 2018)

No Brasil são comumente utilizadas a Taboa, *Typha* spp. e o Junco, *Eleocharis* spp. Estas plantas caracterizam-se pela forte assimilação de nutrientes como nitrogênio, fósforo e metais pesados. Recomenda-se este sistema para tratamento secundário, com ou sem tratamento primário, para remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica. O tratamento primário neste caso aumenta a eficiência de remoção destes compostos e aumenta a vida útil do sistema pela remoção de sólidos e sedimentos maiores, entretanto sua implementação é facultativa (BENASSI, et al., 2018).

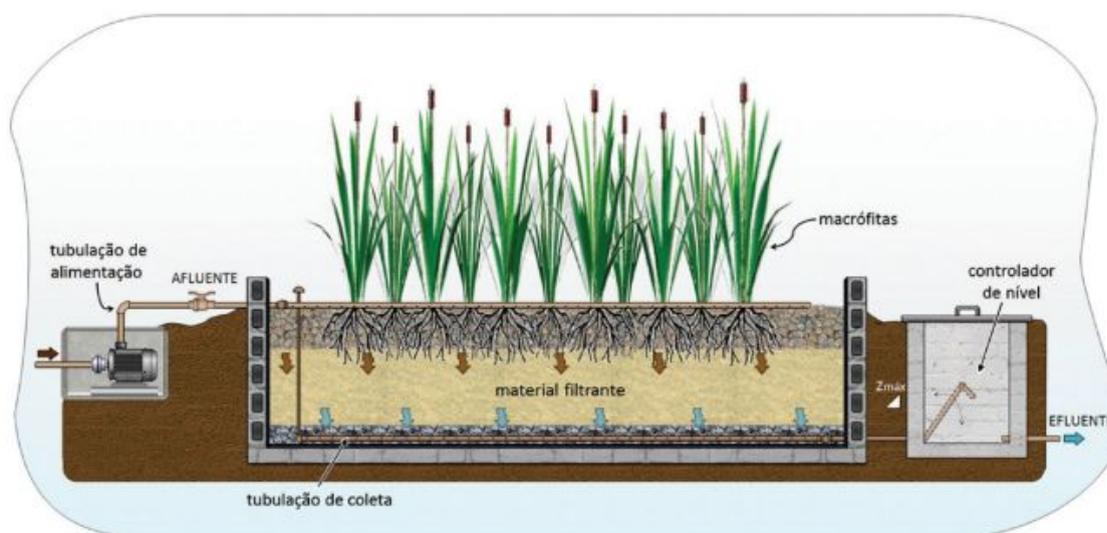
### 3.2.3. WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO SUBSUPERFICIAL VERTICAL

No sistema *wetland* construído de fluxo subsuperficial vertical (figura 5), o afluente entra na subsuperfície, ou seja, abaixo da linha das macrófitas e percorre

todo o substrato por entre seus vazios até chegar ao fundo do sistema, onde o efluente será drenado. Este sistema ocorre em regime intermitente de períodos curtos e longos, promovendo uma maior oxigenação e conseqüentemente melhor remoção de nutrientes como o nitrogênio, já que a nitrificação é beneficiada pelo aumento de oxigênio (SEZERINO et al., 2018).

Este modelo permite o uso de diversas macrófitas aquáticas, as mais utilizadas são a Taboa (*Typha* spp.), o Caniço-de-água (*Phragmites australis*), o Junco (*Juncus* spp.), o Papiro-brasileiro (*Cyperus papyrus* spp.) como também as algas (BENASSI, et al., 2018).

Figura 5: Representação de *wetland* construída de fluxo descendente vertical



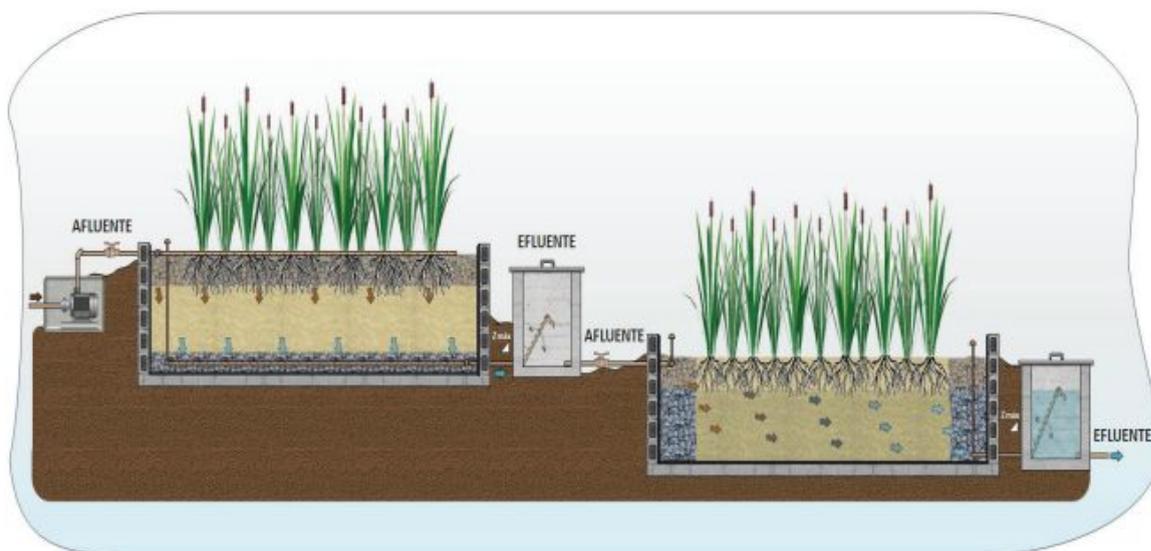
Fonte: Sezerino et. al., 2018

Este sistema, de acordo com a Benassi, et al., (2018), é melhor utilizado como tratamento terciário com tratamento secundário prévio para remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica. Como tratamento terciário ele remove nutrientes, em especial o nitrogênio e sólidos suspensos residuais dos processos anteriores.

### 3.2.4. SISTEMA HÍBRIDO

Os sistemas híbridos utilizam a combinação de diferentes sistemas com a finalidade de aumentar a eficiência de tratamento dos efluentes. Neste modelo combinado, é possível remover nutrientes, sólidos suspensos e matéria orgânica. Como em todos os modelos de sistemas *wetlands*, é indicado um pré tratamento, para evitar que entre no sistema sedimentos grossos ou outros elementos que possam prejudicar e danificar o tratamento final (BENASSI, et al., 2018). De acordo com Zhang et al. (2015), os sistemas híbridos apresentam uma maior eficiência para remoção de SST, DQO,  $NH_4 - N$ ,  $NO_3 - N$  e Nitrogênio Total em relação aos outros sistemas existentes. O uso de sistemas subsuperficiais horizontais seguido de vertical descendente não saturado, por exemplo, aumenta o nível de oxigenação do efluente, propiciando melhores condições para nitrificação e oxidação da matéria orgânica (SEZERINO et. al., 2018). Um exemplo de sistema híbrido é mostrado na figura 6.

Figura 6: Representação de sistema *Wetland* Construído Híbrido



Fonte: (SEZERINO et. al., 2018)

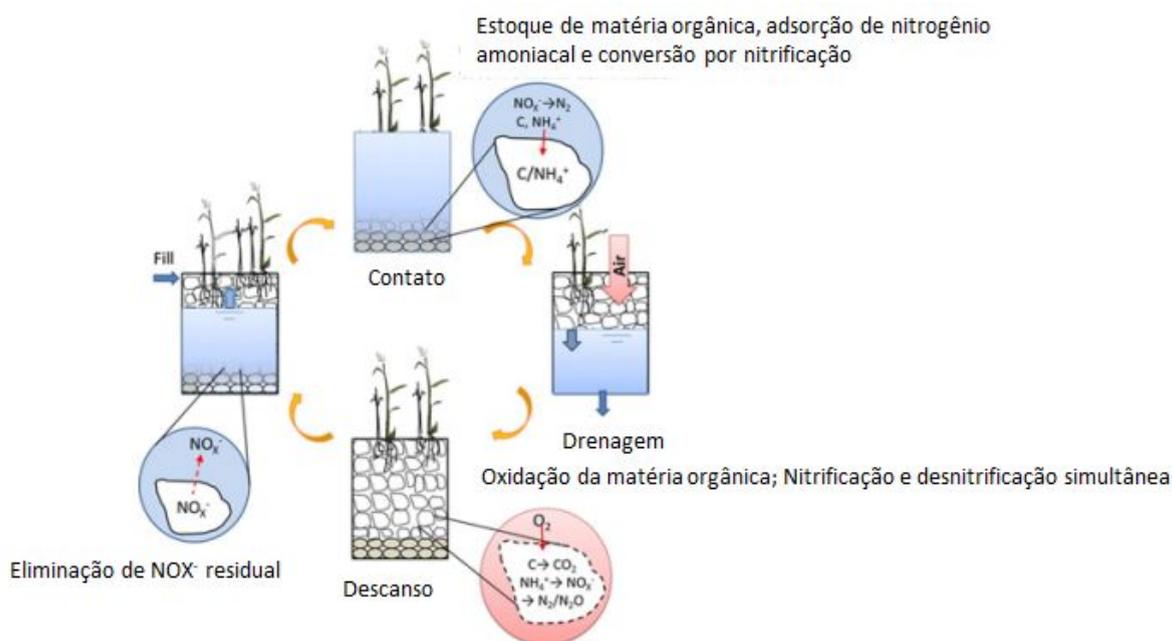
### 3.2.5. SISTEMA DE FLUXOS DE MARÉS (TIDAL FLOW)

Os *wetlands* construídos por fluxo de marés (figura 7) funcionam a partir do mecanismo de saturação e drenagem dos meios filtrantes, com o fluxo d'água do

fundo até a inundação da superfície. Assim, com o sistema inundado, o substrato e o biofilme reagem removendo os poluentes. O período de cheia é alternado com a drenagem, gerando a oxigenação do sistema (KADLEC et al., 2008; WU et al., 2011). A alternância de saturação promove a alternância entre ambientes anóxicos e aeróbios, ambientes adequados para a nitrificação e desnitrificação. Por isso, a eficiência de remoção de poluentes, em especial do nitrogênio, é aumentada (HU et al., 2014).

Por este sistema proporcionar uma maior oxigenação do corpo d'água, estimula-se a formação do biofilme no substrato, podendo diminuir a área superficial disponível do meio filtrante. Podendo influenciar na eficiência do sistema (HU et al., 2014; S. WU et al., 2011).

Figura 7: Representação de sistema *Wetland* Construído por fluxo de marés



Fonte: Adaptado de Hu et al., 2014

### 3.3. PRINCIPAIS COMPONENTES

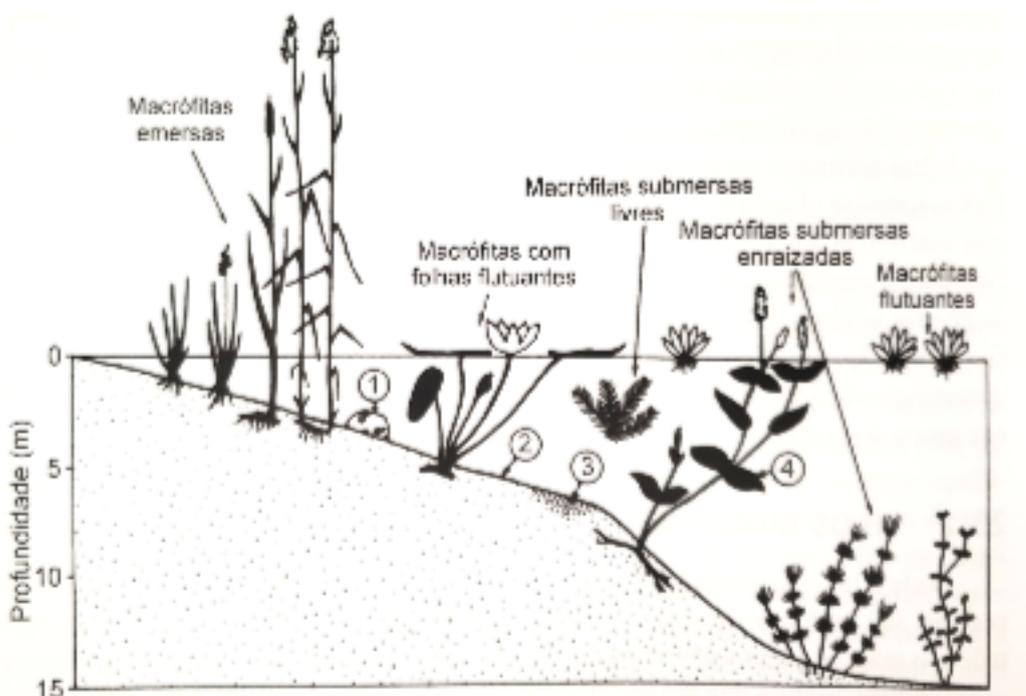
#### 3.3.1. Macrófitas

São consideradas macrófitas as espécies de plantas as quais se desenvolveram ao longo da evolução do meio terrestre para o meio aquático mas

que, entretanto, mantiveram consigo especificidades biológicas das espécies terrestres, como cutículas e estômatos, de forma alterada. Pela ampla variedade filogenética e taxonômica as macrófitas são classificadas de acordo com seu biotipo (ESTEVES, 2011).

Em sistemas *wetland* construídos, as mais utilizadas são as macrófitas emergentes, submersas, flutuantes e livre flutuantes (figura 8) (VYMAZAL, 2013b). Entre as espécies mais comuns para estes sistemas estão macrófitas emergentes *Typha* spp., *Scipurs* spp., *Juncus* spp., *Eleocharis* spp., (WU et al., 2015).

Figura 8: Representação dos tipos de macrófitas



Fonte: ESTEVES, 2011

As macrófitas aquáticas dependem de uma série de fatores externos para um bom desenvolvimento e sobrevivência naquele meio. São estes fatores:

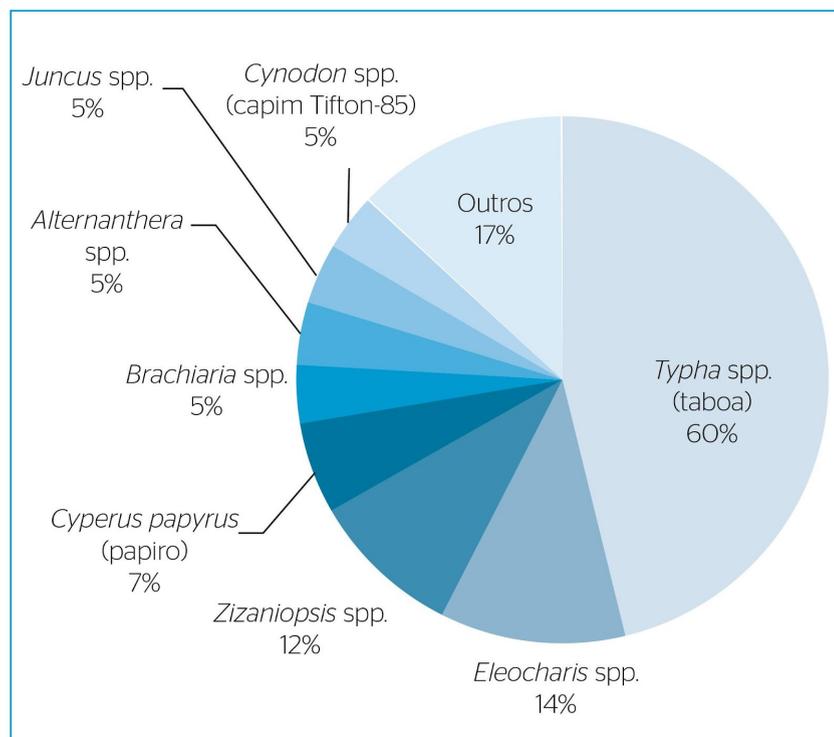
- 1) Físicos: morfometria do ambiente, velocidade do fluxo da água, velocidade do vento, temperatura e radiação solar subaquática.
- 2) Químicos: nutrientes presentes na água como no sedimento e/ou substrato e a presença ou ausência de carbono inorgânico.
- 3) Físico-químico: pH

#### 4) Biológica: competição, herbivoria e facilitação

Em contrapartida, as plantas em resposta também influenciam o ecossistema onde vive, de tal forma que determinam sua estrutura e como ele funciona. Nesta situação, os ambientes com águas rasas são os que sofrem maior influência, mas no geral, as macrófitas aquáticas interferem nas características físico-químicas da água e do sedimento, interferindo na quantidade de nutriente, matéria orgânica e detritos, e na disponibilidade espacial deste ambiente, o alterando continuamente (ESTEVEZ, 2011).

Em *wetlands* construídas, as plantas são escolhidas também de acordo com o meio em que ela se desenvolverá, como em ambientes saturados ou não saturados, a quantidade de nutrientes no efluente e as condições do clima local (SEZERINO et. al., 2015). Sezerino et. al. (2015), consolidam em 42 pesquisas as principais macrófitas utilizadas no Brasil em sistemas *wetland* construído, com destaque para a taboa (figura 9).

Figura 9: Principais macrófitas aquáticas utilizadas em *wetlands* construídos no Brasil



Fonte: Sezerino et al, 2015

### **3.3.2. Microbiota**

Os micro-organismos presentes em sistemas alagados, em especial sistemas alagados construídos como as WC, têm papel fundamental para o seu funcionamento, sendo estes organismos os responsáveis pela mineralização da matéria orgânica e do fósforo orgânico e na assimilação de nitrogênio. Além disso, estes organismos, chamados de micro-organismos autóctones por serem intrínsecos deste meio, competem com micro-organismos alóctones que são potencialmente patogênicos. Portanto, esta gama de micro-organismos, variando entre fungos, bactérias, protozoários e micrometazoários, trabalham para que o efluente lançado naquele sistema seja tratado (SEZERINO et. al., 2018; VYMAZAL 2005). Em simbiose com as macrófitas aquáticas, o metabolismo dos organismos desempenham funções as quais não seriam possíveis sem esta cooperação, como no caso da fixação de nitrogênio pelas cianobactérias e outras bactérias fixadoras (ESTEVES, 2011). Além disso, o metabolismo dos micro-organismos depende de uma temperatura chamada temperatura ótima, a qual varia de 25°C a 35°C, pois nesta temperatura, os micro-organismos desnitrificam e degradam a matéria orgânica com maior eficiência (SEZERINO, 2015).

Em *wetlands* construídos, a comunidade microbiana está presente no próprio efluente, no meio suporte e no biofilme criado a partir da rizosfera das macrófitas aquáticas plantadas no sistema (PELLISSARI, 2013). O metabolismo microbiano em sistemas *wetland* construídos são essencialmente dependentes das condições hidráulicas do sistema, das propriedades do efluente, qualidade e disponibilidade de nutrientes e do substrato, tipo de substrato, tipo de plantas e adversidades ambientais. Os diferentes tipos de *wetlands* construídos permitem diferentes comportamentos da biomassa microbiana. Em sistemas de fluxo horizontal, por exemplo, a razão C/N é maior quando comparada a de sistemas de fluxo horizontal, indicando uma variação da comunidade microbiana em diferentes sistemas (TRUU et al., 2010).

### **3.3.3.Substrato**

O tipo de substrato utilizado em uma *wetland* construída apresenta-se ser determinante em relação ao potencial de sorção e troca com o efluente a ser tratado

(KADLEC, 2008). No geral, os materiais mais utilizados mundialmente estão dispostos na tabela 1 (WU et al., 2015).

Tabela 1: Substratos comumente selecionados para CWs

<b>Tipos de Substrato</b>	<b>Fonte</b>
<b>Materiais Naturais</b>	
Areia	Saeed e Sun (2013)
Brita	Calheiros et al. (2008)
Argila	Calheiros et al. (2008)
Calcita	Ann et al. (1999)
Mármore	Arias et al. (2001)
Vermiculita	Arias et al. (2001)
Bentonita	Xu et al. (2006)
Dolomita	Ann et al. (2011)
Calcário	Tao e Wang (2009)
Conchas	Seo et al. (2005)
Xisto	Saeed e Sun (2012)
Turfa	Saeed e Sun (2012)
Wollastonita	Brooks et al. (2000)
Rodolitos	Saeed e Sun (2012)
Zeólita	Crunch et al. (2011)
<b>Resíduos Industriais</b>	
Escória	Cui et al. (2010)
Cinzas particuladas	Xu et al. (2006)
Cinzas de Carvão	Ren et al. (2007)
Lodo de alumínio	Babatunde et al. (2010)
Cascalho de tijolo	Ren et al. (2007)
Moleanos	Mateus et al. (2012)

Retalhos de wollastonila	Hill et al. (1997)
Casca de dendê	Chong et al. (2013)
<b>Produtos Artificiais</b>	
Carvão Ativado	Ren et al. (2007)
Agregados de baixa massa	Saeed e Sun (2012)
Adubo	Saeed e Sun (2012)
Silicato de cálcio hidratado	Li et al. (2011)
Ceramsite	Li et al. (2011)

Fonte: Adaptado de Wu et al. (2015)

De modo geral, o uso de solo e/ou areia são majoritariamente para escoamentos superficiais, onde as plantas aderem-se ao leito, permitindo o acesso do biofilme às raízes. Já para escoamento subsuperficial é melhor utilizado a brita, pois tem maior dificuldade de preenchimento dos poros. A pedra britada é o substrato mais tradicionalmente utilizado em sistemas WC, pelo fácil acesso através da construção civil, entretanto, é um material pesado e custoso para compra e transporte (ZANELLA, 2008).

Para Benassi et al. (2018), destaca-se a porosidade, condutividade hidráulica e granulometria como parâmetros determinantes na escolha do substrato. Para Zanella (2008), um substrato para ser adequado deve ter peso leve, ser inerte, com grande área específica, permitir que os micro-organismos e vegetais habitem e criem o biofilme nele, além de seu formato específico ser achatado, e com custo acessível.

Quanto ao tamanho, materiais com diâmetros menores têm a característica de oferecer maior superfície de contato para retenção de cargas, entretanto, sofrem mais colmatação e oferecem menor condutividade hidráulica que diâmetros maiores (LIMA, 2018). Quanto a sua composição, materiais majoritariamente orgânicos, como solos, adsorvem mais compostos orgânicos não polares (hidrofóbicos) dos efluentes, já materiais argilosos adsorvem melhor compostos polares ou iônicos (LIU et. al., 2014).

A escolha do substrato também influencia no volume útil real do sistema. Quanto maior o número de vazios que um substrato contém, maior o volume útil do efluente no WC. Conseqüentemente, o tempo de detenção hidráulico (TDH) também muda, já que  $TDH\ te\acute{o}rico = \text{volume\ \acute{u}til} / \text{vaz\~{a}o\ de\ escoamento}$ , determinando o tempo que uma partícula de fluido permanece no sistema WC (ZANELLA, 2008; MATTOS, et al. 2011).

Os parâmetros tradicionalmente utilizados para qualificar um substrato como filtro em sistema *wetland* construído são de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Fósforo e Nitrogênio Kjeldahl Total (NTK) e de acordo com Lima 2018, o substrato em WC tem grande influência também na remoção de fármacos e produtos de higiene pessoal (LIMA, 2018)

### 3.4. Poluentes

#### 3.4.1. Remoção de poluentes

Em sistemas *wetland* construídos, a remoção dos poluentes provindos da eutrofização e da presença de sólidos totais ocorre através de processos físicos e microbiológicos. Os diferentes sistemas WC variam multiplamente de acordo com seus elementos, removendo mais ou menos os compostos ali presente (SANCHEZ, 2017). Os diferentes tipos de sistemas WC apresentados removem os poluentes de um corpo d'água em diferentes níveis quantitativos. Machado et al. 2017, apresentou os seguintes resultados para tais variações, mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Remoção média de poluentes para sistemas WCFS, WCF, WCFV

Tipo de WC	Poluente	Remoção Média (%)
WCFS	P	85,0
	N	<10,0
	DBO	31,0
	DQO	<20,0

WCFH	P	51,5
	N	30,0
	DBO	81,5
	DQO	76,5
WCFV	P	60,0
	N	45,0
	DBO	59,0
	DQO	63,5

Fonte: Machado, 2017

### 3.4.2. Nitrogênio

Dentro dos nutrientes que causam a eutrofização, os compostos de nitrogênio são aqueles de maior importância, afetando o recebimento de oxigênio e intoxicando pessoas e animais aquáticos. Entretanto, como forte nutriente, as macrófitas aquáticas em sistemas *wetland* construídos se beneficiam da sua presença e crescem mais rapidamente, estimulando o funcionamento do sistema como um todo (KADLEC et al., 2008).

Em efluentes domésticos, os compostos nitrogenados representam no geral 60% de amônia e 40% de nitrogênio orgânico, podendo variar de acordo com a sua origem. No efluente amônia é encontrada, de acordo com a temperatura e pH externo, como amônia não ionizada ( $NH_3$ ) e íon amônio ( $NH_4^+$ ), sendo amônia total a soma de ambas. As condições físico-químicas médias de sistemas WC prevalece a presença de  $NH_4^+$ , entretanto, quando a temperatura e o pH aumentam, predomina a concentração de  $NH_3$ , assim como em baixo pH e temperatura, diminui consideravelmente sua concentração (KADLEC et al., 2008).

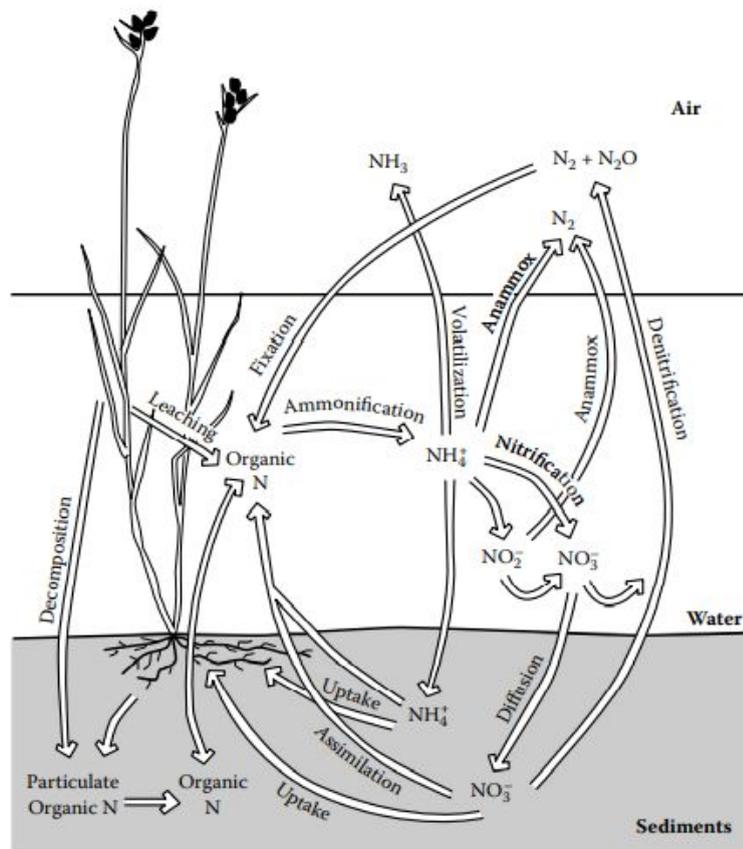
O íon amônio é o composto que representa maior concentração de nitrogênio inorgânico em ambientes aquáticos anaeróbios, pela reações de redução, nitrificação e desnitrificação dos outros nitrogenados (ESTEVEZ, 2011).

O nitrito é um componente intermediário de oxidação entre a amônia e o nitrato e pela instabilidade química não apresenta concentrações consideráveis em

*wetlands* construídas. Em contraponto, o nitrato ( $NO_3^-$ ) se apresenta com forte estabilidade química e portanto difícil remoção, passando assim por diversos processos oxidativos para alcançar sua concentração não tóxica. Assim como o fósforo, o nitrato é um forte nutriente para o crescimento das plantas em sistemas *wetland*, e que fora dele, causa as consequências eutrofização em corpos d'água (KADLEC et al., 2008).

As reações químicas da cadeia do nitrogênio que ocorrem num sistema *wetland* (figura 10) se baseiam na transformação de compostos orgânicos e inorgânicos, e vice versa, consumindo e liberando energia, dentro de um ciclo fechado de consumo e produção (KADLEC et al., 2008).

Figura 10: Ciclo do nitrogênio em sistema *wetland* construído



Fonte: KADLEC et al., 2008

Em sistemas *wetland* construídos, a nitrificação tende a ocorrer na parte superior da coluna d'água, onde a fotossíntese ocorre pelas macrófitas aquáticas e

micro-organismos, especialmente as cianobactérias e a desnitrificação tende a ocorrer próximo ao fundo do leito, em ambiente anaeróbio e com concentração maior de sedimentos decantados (KADLEC et al., 2008). Neste sistema a remoção de nitrogênio ocorre por diversos mecanismos do ciclo do nitrogênio, na amonificação, nitrificação, desnitrificação, nitrificação heterotrófica e oxidação anaeróbia da amônia (PELLISSARI, 2013).

### 3.4.3. Fósforo

O fósforo, diferentemente do nitrogênio que se apresenta em diversas formas oxidadas e reduzidas em ambientes aquáticos, o fósforo tem sua disponibilidade majoritariamente como fosfato. As macrófitas aquáticas absorvem, em preferência, o fosfato inorgânico disponível (PID), principalmente o ortofosfato, em conjunto com bactérias e microalgas ao incorporá-lo ao fosfato orgânico particulado (POP). O POP é o composto de maior concentração em ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 2011).

O tipo de macrófita, substrato e os diferentes sistemas *wetland* apresentam variação de eficiência de remoção de fósforo. A remoção de compostos de fósforo pode variar, de acordo com estudos, de 26% a 70% (SHAN et al., 2011; ROUSSEAU et al., 2004). Xu et al. (2019) afirmam que as propriedades físicas, como a área superficial, e químicas, como a presença de íons Fe, Al e CA no substrato utilizado, são a principal influência na eficiência de remoção de fósforo.

Um substrato capaz de remover fósforo em sistemas *wetland* construídos é a escória de alto forno (EAF). Esta remoção ocorre através da adsorção de fosfatos na superfície da escória e a precipitação de fosfato de cálcio. Devido à própria composição da escória, as concentrações de cálcio total, magnésio e alumínio dissolvidos também aumentam quando em contato com a água, devido às reações de hidrólise e ionização. (BRITO, 2018) A formação de grupos hidroxilas na superfície da escória geram reações de complexação de íons metálicos e trocas de ligantes entre OH<sup>-</sup> e íons de fósforo presentes no efluente (XUE et al., 2009).

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito a metodologia utilizada para desenvolver o objetivo proposto neste estudo. Para avaliar a eficiência de remoção de poluentes de diferentes tipos de substratos em sistemas *wetlands* construídos, realizou-se um levantamento bibliográfico de 4 pesquisas, sendo elas uma dissertação de mestrado da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2 artigos científicos internacionais e um artigo científico nacional.

Nas pesquisas, as metodologias se baseiam em experimentações laboratoriais, onde sistemas *wetland* construído são preenchidos com diferentes tipos de substratos e o afluente é infiltrado. Após o tempo de detenção hidráulico estipulado, o efluente é drenado. A partir de amostras deste efluente, realiza-se às análises químicas a partir da quantificação de determinados parâmetros, a fim de estabelecer e comparar a eficiência de remoção destes sistemas. Além disso, são realizadas análises físico-químicas dos próprios substratos, a fim de qualificar estes meios filtrantes.

Na dissertação de mestrado, Lima (2018), avaliou os sistemas *wetlands* construídos com uso de brita, argila expandida e tijolo como substrato. Em seu estudo, verificou-se a estabilidade e eficiência destes sistemas e comparou-se os substratos para qualificar o melhor material como meio suporte. Entre os parâmetros determinados e analisados das amostras coletadas do efluente estão o nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl, demanda química de oxigênio e fósforo total.

Wang et al. (2012), analisam, em sua pesquisa científica, um sistema *wetland* construído de fluxo superficial, chamado pelos autores de fluxo superficial estável, com o uso de substratos de anéis de bambu, palm silk e um sistema sem substrato. Os parâmetros analisados foram demanda química de oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (FT).

Liu et al. (2014) em sua pesquisa, também analisaram um sistema *wetland* construído de fluxo de marés (“tidal flow”) de escala laboratorial, combinado de 4 tanques paralelos, com um tipo de substrato em cada, com o intuito de avaliar a dinâmica de transformação e remoção do nitrogênio amoniacal e nitrogênio total. Os substratos utilizados são: zeólita, areia de quartzo, *ceramsite* biológico e rocha vulcânica. Determinou-se as composições físico-químicas destes substratos a partir

dos parâmetros volume de microporos, capacidade de adsorção catiónica e área superficial disponível.

Nunes et al. (2020), em sistema *wetland* construído de fluxo vertical e escala laboratorial, utilizou-se os materiais brita, areia, granulado cerâmico e escória de fundição de aço e ferro como meio suporte, para quantificação da eficiência de remoção de Fósforo Total. Além disso, discutiu-se a composição físico-química dos materiais utilizados como meio filtrante.

Destas 4 pesquisas levantadas, coletou-se os dados dos parâmetros nitrogênio amoniacal, nitrogênio total Kjeldahl, demanda química de oxigênio e fósforo total, como também o tipo de fluxo dos sistemas, para os 12 diferentes substratos totalizados e esquematizou-se tais dados em tabela (tabela x), discutida no tópico 'Remoção de Poluentes' dos Resultados e Discussão. Além disso, analisou-se a composição químico-física de tais substratos a fim de compreender a influência destes materiais como removedores de poluentes em *wetlands* construídos no tópico 'Composição Físico-Química dos Substratos' dos Resultados e Discussão.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A respeito das diferentes possibilidades de substratos para sistemas WC, através de um levantamento bibliográfico, comparou-se os artigos científicos de 4 autores e 13 diferentes substratos (tabela 3). Entre as pesquisas analisadas, Wang et al. (2012) utilizaram como substrato o anéis de bambu, a “palm silk” e um sistema sem substrato. Lima (2018), usou argila expandida, brita e tijolo. Nestas pesquisas, comparou-se a remoção de DQO, Nitrogênio e Fósforo entre os sistemas a fim quantificar a eficiência dos substratos na remoção de poluentes.

Para avaliar a remoção exclusiva de Nitrogênio, Liu et al. (2014) compararam os efluentes de 4 diferentes sistemas, utilizando como substrato a zeólita, areia de quartzo, *ceramsite* biológico e rocha vulcânica. Para remoção de fósforo, Nunes et al. (2020), utilizaram os substratos brita, areia, granulado cerâmico e escória de fundição de aço e ferro para quantificação da eficiência de remoção deste poluente.

##### 4.1. Remoção de Nutrientes

Dos parâmetros analisados, inclui-se: Remoção de DQO (R-DQO); Remoção de Nitrogênio total Kjeldahl (N-NTK); Remoção de Nitrogênio Amoniacal ( $R - NAT$ ); Remoção de Nitrogênio Total (R-NT) e remoção de Fósforo Total (R-PT). A relação das remoções destes parâmetros para as 4 pesquisas se apresenta na tabela 3.

Tabela 3: Consolidação dos parâmetros analisados a partir de levantamento bibliográfico

Substrato	R-DQO (%)	R-NTK (%)	R-NA T (%)	R-NT (%)	R-PT (%)	Fluxo do efluente	Bibliografia
Argila expandida	23 a 76	31	12	-	9 a 56	Fluxo Vertical	Lima, 2018
Brita	28 a 96	20	32	-	5 a 75		
Tijolo	7 a 75	47	35	-	83 a 97		
Anéis de Bambu	73,97	-	-	28,98	61,42		
Seda de	78,37	-	-	24,4	69,42		

Palma						Fluxo Superficial Estável	Wang et al., 2012
Sem substrato	66,61%	-	-				
Zeólita	-	-	97	85	-	Fluxo de Marés	Liu et al., 2014
Areia de Quartzo	-	-	15 a 34	12 a 31	-		
Ceramsite Biológico	-	-	15 a 34	12 a 31	-		
Rocha Vulcânica	-	-	15 a 34	12 a 31	-		
Escória de Fundição de aço e ferro	-	-	-	-	65,9± 9,7	Fluxo Vertical	Nunes et al., 2020
Granulado Cerâmico	-	-	-	-	30,0± 7,1		
Areia	-	-	-	-	31,9± 4,9		

Para os anéis de bambu, tem-se: 78,37% de R-DQO, 61,42% de R-PT e 28,98% de R-NT. Para “palm sink” tem-se: 73,97% de R-DQO; melhor remoção de fósforo com 69,42% de R-PT e 24,4% de R-NT. Sem substrato: 66,61% de R-DQO, 58,71% de R-PT e 22,23% de R-NT (WANG et al., 2012).

Com a argila expandida, tem-se: 23 a 76% de R-DQO, 31% de N-NTK L-1, 12% de NAT e 9 a 56% de PT. Com a brita, tem-se: 28 a 96% de R-DQO, 20% de R-NTK L-1, 32% de R-NAT e 5 a 75% de R-PT. Com o tijolo, tem-se: 7 a 75% de R-DQO, 47% de R-NTK L-1, 35% de R-NAT e 83 a 97% de R-PT (LIMA, 2018).

Quando analisada especialmente a remoção de nitrogênio e fósforo, Liu et al. (2014), obtiveram-se R-NAT pelo sistema com zeólita de 97%, em comparação com os outros 3 materiais, com até 34%. A zeólita também apresentou melhor R-NT com 85% de eficiência, em relação aos outros substratos com remoção de 12% a 31% apenas. Para R-PT, Nunes et al. (2020), obteve eficiência de 65,9 ± 9,7% com a

escória granulada,  $30,0 \pm 7,1\%$  com o cerâmico e  $31,9 \pm 4,9\%$  com a areia (LIU et al., 2014).

Na pesquisa de Lima, 2018, o tijolo apresentou maior eficiência para remoção de nitrogênio e fósforo, mas a brita removeu maior DQO em relação a estes materiais. Entretanto, os anéis de bambu e a palm sink obtiveram melhores resultados para remoção de DQO entre todos os materiais analisados, com destaque a palm sink com maior eficiência. Para a remoção de nitrogênio, a zeólita apresentou ser mais eficiente que os demais materiais filtrantes. Quanto a remoção de fósforo, a escória de fundição apresentou melhor remoção dentro da análise da escória, granulado cerâmico e areia, ademais, ao correlacionar as pesquisas, o tijolo obteve maior porcentagem de remoção de fósforo.

#### 4.2. Tipo de Fluxo do Sistema

Ao analisar um sistema WC, deve-se considerar não apenas os substratos, mas também o fluxo destes sistemas. A tabela 4 apresenta os tipos de fluxos hidráulicos utilizados nas pesquisas levantadas.

Tabela 4: Tipos de fluxos hidráulicos utilizados para cada substrato

<b>Fluxo do efluente</b>	<b>Substrato</b>	<b>Bibliografia</b>
Fluxo Vertical	Argila expandida	Lima, 2018
	Brita	
	Tijolo	
Fluxo Superficial Estável	Aneis de Bambu	Wang et al., 2012
	Seda de *Palma	
	Sem substrato	
	Zeólita	Liu et al., 2014
	Areia de Quartzo	

Fluxo de Marés	Ceramsite Biológico	Nunes et al., 2020
	Rocha Vulcânica	
Fluxo Vertical	Escória de Fundição de aço e ferro	
	Granulado Cerâmico	
	Areia	

De acordo com Wu et al. (2014), sistemas de fluxo de marés são mais oxigenados e permitem maior remoção de nitrogênio. Isto ocorre pois a nitrificação e desnitrificação é estimulada pelos ambientes anóxicos e aerados alternados deste tipo de fluxo. De modo similar, os sistemas de fluxo vertical também propiciam maior oxigenação e maior remoção de nitrogênio (SEZERINO et al., 2018). Assim, é possível considerar as características destes fluxos com a eficiência de remoção de compostos de nitrogênio, tendo os sistemas com fluxo de marés e fluxo vertical remoção de nitrogênio similar, com exceção do sistema com uso de zeólita como substrato, e maior remoção que o sistema de fluxo superficial. Entretanto, apesar dos mesmos fluxos hidráulicos, a utilização de um substrato potente como a zeólita apresenta-se mais determinante pois pode potencializar a eficiência do sistema.

Para a remoção de DQO, o sistema de fluxo superficial apresenta melhor eficiência em relação aos demais, combinados com uso de substratos naturais.

#### 4.3. Composição Físico-química

De acordo com Lima (2018), dentre os materiais brita, argila expandida e tijolo, o tijolo contém maior área superficial disponível, já que em sua pesquisa este foi quebrado e contém muitos poros interna e externamente. Já a brita, contém poucos poros e é mais lisa.

De acordo com Sharifnia et al. (2016), agregados de argila expandida são compostos majoritariamente por  $SiO_2$ , com a fração de 65%, além de 15% de  $Al_2O_3$  e 7% de  $Fe_2O_3$ . No caso do tijolo, como sua composição também é feita

por argila, este acompanha os elementos básicos da mesma, como oxigênio, alumínio e silício (Lima, 2018). A brita é composta 62% por oxigênio e 22% carbono (Sizirci et al., 2017). A composição destes materiais (tabela 4) influencia na maior ou menor adsorção de poluentes como o Fósforo, por processos de quimisorção (Lima, 2018).

Tabela 4: Componentes da Argila Expandida, Brita e Tijolo a partir de raio-x por energia dispersiva (EDS)

Substrato	Amostra	O	Si	Al	Fe	C	K	Outros	Total
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Argila Expandida	1	44	23	8	14	-	4	7	100
	2	55	24	9	4	-	3	5	100
Brita	1	54	16	1	-	17	3	9	100
	2	58	10	6	2	13	-	11	100
Tijolo	1	61	22	8	2	3	-	4	100
	2	60	15	17	5	-	-	3	100

Fonte: Lima, 2018

Quanto a palm silk e os anéis de bambu, ambos são materiais naturais. A palm silk apresenta composição de 70% de celulose, tem característica biodegradável ao ponto que beneficia o metabolismo dos micro-organismos positivamente por provê-los fontes de carbono. Tem seu formato delgado e maior área superficial disponível que o bambu, sendo melhor material adsortivo de poluentes como fósforo, que dependem da composição químico-física do substrato. Entretanto, o bambu é mais áspero, permite maior ventilação e desenvolve poros internamente, propiciando melhor ambiente para o crescimento de micro-organismos (WANG et al., 2012).

Em relação a escória de fundição de aço e ferro e o granulado cerâmico, estes materiais possuem grande afinidade química de ligação ao fósforo e retenção em sistemas WC. Os materiais ricos em cálcio, ferro e alumínio são fortemente

adsortivos, junto com as características de área superficial (YU et al., 2015; XU et al., 2019). A composição do granulado cerâmico, de acordo com Nunes et al. (2020), é semelhante em relação ao tijolo.

M. Liu et al. (2014), em sua pesquisa, analisou os substratos em dois cenários, antes de ser inserido no sistema, ou seja, “frescos”, e após 200 dias de operação do sistema. Os substratos apresentaram alterações físico-químicas, mas ainda a zeólita contém, em ambas situações, maior área superficial específica que a areia de quartzo, ceramsite biológico e a rocha vulcânica, além de maior volume em microporos, maior capacidade de troca catiônica, maior biomassa microbiana e maior capacidade de adsorção de amônia.

## 5. CONCLUSÃO

A necessidade de soluções eficientes e viáveis para o saneamento, no contexto socioambiental e econômico do Brasil, abre espaço para que tecnologias alternativas e efetivas sejam consideradas e estudadas. Os sistemas *wetlands* construídos para tratamento de efluentes descentralizados foi abordado neste estudo com o objetivo de analisar sua eficiência para remoção de poluentes, a partir do uso de diferentes substratos. Por ser um sistema de múltiplos componentes e de funcionamento físico químico e biológico, é possível evidenciar as multi influências que ele sofre para obter eficiência suficiente para remover os poluentes de um efluente, como o uso ou não de substratos, suas composições físico-químicas, o fluxo hidráulico do sistema, entre outros fatores não abordados neste estudo.

Ao analisar pesquisas de diferentes autores, observou-se a necessidade de considerar todos, ou os principais, componentes e parâmetros de um sistema *wetland* construído, pois comparar sistemas diferentes entre si pode-se gerar resultados não confiáveis. Foi-se verificado que o uso do tijolo como substrato apresenta maior porcentagem de remoção de fósforo que a escória de fundição de ferro e aço. Tal relação não pode ser considerada unicamente pelo tipo de material, já que através da literatura, a escória de fundição é quimicamente mais eficiente para remover fósforo que o tijolo. Em contrapartida, a zeólita apresentou maior remoção de nitrogênio que o tijolo, sendo o sistema com uso de tijolo a segunda melhor eficiência.

No caso da remoção de matéria carbonácea, os materiais naturais, ou seja, anéis de bambu e palm silk obtiveram melhor eficiência. Isto pode ser considerado pelo aumento positivo do metabolismo dos micro-organismos de decompor e reduzir a DQO.

Quando comparado os fluxos dos sistemas com o uso dos substratos, apesar destes se comportarem diferentemente, como na oxigenação do sistema, nota-se que o tipo de substrato pode ser potencialmente mais determinante na remoção de poluentes, já que os sistemas de fluxo vertical e de marés obtiveram remoção similar de nitrogênio, com exceção do sistema com uso de zeólita, com remoção muito acima dos demais sistemas. Pode-se considerar que a composição físico-química dos substratos são, portanto, mais determinantes, como a área superficial,

composição química (presença de alumínio, cálcio e ferro), número ou volume de poros, capacidade de adsorção, entre outras.

Conclui-se que os *wetlands* construídos são sistemas eficientes para a remoção de poluentes como compostos de fósforo, nitrogênio, e matéria carbonácea. Por obter múltiplas influências em seu funcionamento, pode-se personalizá-lo a fim de remover mais ou menos poluentes específicos, atendendo então a uma grande diversidade de tipos de efluentes. Recomenda-se, para os próximos estudos, relacionar mais profundamente os demais elementos aqui não abordados, como a influência das macrófitas, a formação do biofilme, o tempo de detenção hidráulico, a fim de compreender as principais influências do sistema. Com o conhecimento de todo seu funcionamento, o tratamento dos efluentes tenderá a ser cada vez mais efetivo.

## 6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENASSI, R. F.; MATHEUS, D. R.; DOMINGUES, M. R.; SANCHEZ, ALINE ALVES; JESUS, T. A.; PAGANINI, W.; SUBTIL, E. L.; COELHO, L. H. G.; OLIVEIRA, L. H. S.; STOPA, J. M.; BALDOVI, A. A. Manual de sistemas de wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitários: implantação, operação e manutenção. Santo André: Universidade Federal do ABC, 2018, v.1. p.56.

BRASIL, Trata. Instituto Trata Brasil. Saneamento. Contido em: <  
<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/o-que-e-saneamento>

BRITO, Paulo Cesar Brasileiro Rocha. AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO USO DE ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS PARA A REMOÇÃO DE FÓSFORO DE ESGOTO DOMÉSTICO. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro

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

Ge, Y., Wang, X., Zheng, Y., Dzakpasu, M., Zhao, Y., & Xiong, J. (2015). Functions of slags and gravels as substrates in large-scale demonstration constructed wetland systems for polluted river water treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(17), 12982–12991

Hoffmann, H., Platzer, C., von Münch, E., Winker, M. (2011). Technology review of constructed wetlands - Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Eschborn, Germany

Hu, Y., Zhao, Y., & Rymaszewicz, A. (2014). Robust biological nitrogen removal by creating multiple tides in a single bed tidal flow constructed wetland. *Science of the total environment*, 470, 1197-1204.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D. Treatment Wetlands. 2. Ed., 2009

LIMA, Mateus Xavier de et al. **Performance de diferentes substratos em sistemas de wetlands construídos no tratamento de efluente sintético em condições subtropicais**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LIU, M. et al. How substrate influences nitrogen transformations in tidal flow constructed wetlands treating high ammonium wastewater? *Ecological Engineering*, v. 73, p. 478- 486, 2014/12/01/ 2014. ISSN 0925-8574. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857414005229> >.

MATTOS, T. T. D., & LUCRÉCIO, V. N. (2012). Avaliação do comportamento hidrodinâmico de um wetland construído de fluxo horizontal. *Universidade do Espírito Santo*.

Nunes, A. S., & Costanzi, R. N. MEIOS SUPORTES PARA REMOÇÃO DE FÓSFORO EM WETLANDS CONSTRUÍDOS.

Rousseau, D.P.L., Vanrolleghem, P.A., De Pauw, N., 2004. 864 Constructed wetlands in Flanders: a performance analysis. 865 *Ecol. Eng.* 23 (3), 151–163

SEZERINO, P.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 151-158. Jan./Mar. 2015.

Shan, B.Q., Ao, L., Hu, C.M., Song, J.Y., 2011. Effectiveness of 874 vegetation on phosphorus removal from reclaimed water by a 875 subsurface flow wetland in a coastal area. *J. Environ. Sci.* 23 876 (10), 1594–1599.

SIZIRICI, B.; YILDIZ, I.; ALYAMMAHI, A.; OBAIDALLA, F.; ALMEHAIRBI, M.; ALKHAJEH, S.; ALHAMMADI, T. A. Adsorptive removal capacity of gravel for metal cations in the absence/presence of competitive adsorption. *Environmental Science and Pollution Research*. Dez. 2017. (artigo aceito para publicação)

Truu, M., Juhanson, J., & Truu, J. (2009). Microbial biomass, activity and community composition in constructed wetlands. *Science of the total environment*, 407(13), 3958-3971.

VYMAZAL, J. (2010) Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*, v. 2, p. 530-549. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.07.002> [ Links ]

Xanthoulis, X., Tilly, J., Fonder, N., Wauthélet, M., Bergeron, Ph., Brix, H., Arias, C., Chengduan, W., Qingyuan, X., Qngdong, Z., Zhigui, Z., Yinghong, X., Leu, B., Nhue, T., Ha,

T., Anh, H., 2008. Curriculum on Low Cost Wastewater Treatment. Europe Aid Cooperation Office, 380 pp. (Contract VN/Asia-Link/012(113128) 2005–2008).

Xu, R., Zhang, Y., Liu, R., Cao, Y., Wang, G., Ji, L., & Xu, Y. (2019). Effects of different substrates on nitrogen and phosphorus removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(16), 16229-16238.

XUE, Y.; HOU, H.; ZHU, S. Characteristics and mechanisms of phosphate adsorption onto basic oxygen furnace slag. *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier, v. 162, p. 973 - 980, Março 2009.

YU, G. et al. Spatial variation of phosphorous retention capacity in subsurface flow constructed wetlands: Effect of wetland type and inflow loading. *Plos ONE*, p. 1-15, 2015.

Wu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., ... & Liu, H. (2015). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation. *Bioresour technology*, 175, 594-601.

ZANELLA, Luciano. Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte. 2008. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

Zhang, D. Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Tan, S. K., & Ng, W. J. (2015). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000–2013). *Journal of Environmental Sciences*, 30, 30-46.