

O uso do tratamento de esgoto sustentável: o estado da arte das *Wetlands*

The use of sustainable sewage treatment: the state of the art of the Wetlands

Diego de Oliveira da Cunha

Universidade do Grande Rio (Unigranrio)

adm.diegoolivei@gmail.com

Ely Severiano Junior

Universidade do Grande Rio (Unigranrio)

elyseverianojr@gmail.com

Resumo

O objetivo do trabalho é apresentar uma estação de tratamento de esgoto (ETE) sustentável com uso da tecnologia da *Wetlands*, indicando o estado da arte, no contexto brasileiro, seus aspectos positivos e sua eficácia. O estudo foi desenvolvido em pesquisa bibliográfica. Conclui-se que as *Wetlands* como tratamento construído evoluíram durante as últimas décadas em uma tecnologia de tratamento confiável que pode ser aplicada a todos os tipos de águas residuais, incluindo esgoto, águas residuais industriais e agrícolas, lixiviação de aterro e escoamento de águas pluviais. A poluição é removida através dos processos que são comuns naturais, mas, em *Wetlands*, esses processos prosseguem em condições mais controladas. Todos os tipos de *Wetlands* construídas são muito eficazes na remoção de orgânicos e sólidos em suspensão, enquanto que a remoção de nitrogênio é menor, mas pode ser melhorada usando uma combinação de vários tipos de *Wetlands* ou após outros tratamentos.

Palavras-chave: Tratamento de Esgoto Sustentável, *Wetland*, Estado da Arte, Vantagens.

Abstract

The objective of the work is to present a Sustainable Sewage Treatment using Wetlands technology, indicating the state of the art in the Brazilian context, its positive aspects and its effectiveness. The study was developed in a bibliographical research. It is concluded that the Wetlands as built treatment have evolved over the last decades into a reliable treatment technology that can be applied to all types of wastewater, including sewage, industrial and agricultural wastewater, landfill leachate and rainwater runoff. Pollution is removed through processes that are natural, but in Wetlands these processes proceed under more controlled conditions. All types of Wetlands built are very effective at removing organic and suspended solids, while nitrogen removal is minor but can be improved by using a combination of various types of Wetlands or after other treatments.

Keywords: Sustainable Sewage Treatment, Wetlands, State of art, Benefits.

1. Introdução

A água depois ser eliminada dos diferentes usos ao qual se destina, como, lavagem das mãos, banho, lavagem de roupa, uso sanitário, lavagem de louça, produção industrial, ou outra, passa então a ser chamada de esgoto ou efluente. O esgoto apresenta em sua composição 99,9 % de água, e 0,1% de sólidos e numerosos organismos vivos, como bactérias, vermes, e protozoários, que são liberados juntamente com os dejetos humanos (POÇAS, 2015).

O esgoto é uma mistura complexa contendo microorganismos, dentre eles, agentes patogênicos, matéria orgânica degradável, produtos químicos tóxicos, metais pesados, detritos e nutrientes. São as águas residuais tanto de fontes domésticas como industriais.

A maioria das residências, em áreas urbanas, estão conectadas aos esgotos (separador absoluto), pelo que o esgoto é transportado através de um sistema de tubulações até chegar ao seu destino final, que é a estação de tratamento de esgoto (ETE), sendo então tratado com processos químicos, mecânicos ou biológicos para remover contaminantes e o lodo (resíduo do sistema) é separado do líquido. O líquido é descarregado no grande corpo hídrico mais próximo ou reutilizado, e a lama/lodo é incinerada, ou parcialmente utilizada na agricultura ou descartado em aterros sanitários, somente depois de estabilizado e desidratado.

Inicialmente, as ETE foram chamadas de Estações Depuradoras de Água (EDA), e se ressaltava somente o aspecto positivo da ETE, dentro do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) em sua totalidade. Tinha-se somente a percepção de que por um viés ambiental, a ETE configurava-se como sendo uma avaliação mitigadora da rede coletora de esgotos. Entretanto, não se consideravam os impactos causados às populações vizinhas.

Os sistemas de esgoto ecológico ou biológico (*Wetlands*) são baseados em ecossistemas naturais que utilizam processos ecológicos para a purificação de água e reciclagem de nutrientes. Seu design exato depende da localização, do clima e da população, mas todos envolvem as águas residuais passadas através de um ambiente gerenciado ou construído onde uma diversidade de organismos vegetais e animais transforme os resíduos na água (BOHADANA *et al.*, 2017).

Ratificando o que foi dito acima, Nava e Lima (2012) em suas pesquisas acrescentam que um dos maiores problemas ambientais enfrentados pelos habitantes brasileiros é a falta de tratamento dos esgotos sanitários, que lançados in natura nos solos acarretam contaminação das águas e conseqüentemente sérios problemas de saúde pública, como cólera, hepatites, verminoses e diarreias. A população pobre e a rural são as que mais sofrem com esse problema, devido à falta de conscientização e de investimentos governamentais. Esta ameaça ambiental, combinada com os processos intensivos em energia das usinas de esgoto convencionais, facilitou o desenvolvimento de sistemas de esgoto sustentável.

A consciência ambiental vem gradativamente se modificando e evoluindo para um olhar diferenciado. Antes era comum a consciência ecológica somente diante de acidentes ecológicos de grandes magnitudes, especialmente aqueles envolvendo derramamento de produto químico, ou mesmo queimadas. Com o passar do tempo, a consciência ambiental buscou um enfoque ainda maior do que destaques midiáticos, e com isso, o homem apreendeu a necessidade de preservação à natureza, buscando soluções com foco nas necessidades da humanidade, sem ocasionar risco nem malefícios para as gerações futuras. Diante disso, depara-se com a essência do conceito de sustentabilidade, através de estratégias que não agriam o meio ambiente.

Nesta direção, o monitoramento ambiental corresponde a um instrumento para a realização de controle e avaliação, consentindo identificar o estado e as disposições qualitativas e quantitativas dos recursos naturais e conseqüentemente, as influências desempenhadas pelas atividades humanas e ainda os fatores naturais sobre o ambiente, além de definir cumprimento da legislação, identificando a real característica. No contexto

brasileiro, os padrões de qualidade para os corpos de água são preconizados pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005), de 17/03/2005, alterada e complementada pela Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011) que dispõe as condições e padrões de lançamentos de efluentes (CALEGARI *et al.*, 2015).

A saúde humana está diretamente ligada aos recursos hídricos como: saneamento básico, água potável e hábitos de higiene, com a precariedade desses serviços surgem várias doenças que são transmitidas pela água de baixa qualidade, o que ratifica a abordagem de um monitoramento mais efetivo estudo estatístico mais confiável.

Kellner, Calijuri e Pires (2009) destacam que a sustentabilidade diz respeito à relação entre sistemas ecológicos e sistemas econômicos, sendo os dois dinâmicos. Contudo, os sistemas ecológicos caracterizam-se por transformações lentas, em que a vida humana poderá permanecer indefinidamente, acomodando um desenvolvimento dos sujeitos e das culturas humanas, tendo em vista que os efeitos das atividades antrópicas possam se compatibilizar com a capacidade suporte, não danificando a diversidade, complexidade e eficácia dos sistemas ecológicos que dão suporte à vida. Tendo em vista que a sustentabilidade como uma apreciação dinâmica que conglera um processo de transformação, o conceito de sustentabilidade diz respeito a uma nova compreensão do reconhecimento, limites e das fragilidades do planeta, igualmente quando focaliza a satisfação das necessidades básicas das populações.

No caso de ETE, a bom emprego de critérios econômicos como auxiliar na opção conceitual corresponde a um procedimento benquisto universalmente, tendo em vista os diversos métodos, alguns deles sendo implementados internamente nas empresas que realizam projeto e construção, a partir do conhecimento acumulado na preparação de orçamentos e acompanhamento de custos construtivos. Contudo, os projetos de saneamento têm excedido sua compreensão sanitária clássica, adotando uma abordagem ambiental com ênfase não apenas somente à promoção da saúde humana, contudo, à conservação do meio físico e biótico (KELLNER; CALIJURI; PIRES, 2009).

As *Wetlands* ecologicamente projetados são um bom exemplo de design sustentável. Eles são eficientes em termos energéticos, baratos, eficazes e ambientalmente amigáveis, e podem ser aplicados em qualquer escala, de uma única casa a uma cidade grande. No entanto, esta tecnologia não consegue tratar toda matéria de esgoto como recurso. Embora o esgoto contenha contaminantes, ele também contém nutrientes que podem ser usados para melhorar a fertilidade do solo, juntamente com a capacidade de produzir gás natural. Tecnologias como as plantas de biogás que maximizam o esgoto como fonte de energia e nutrientes precisam ser desenvolvidas em uma escala global (LOPES, 2016).

A tecnologia de tratamento de esgoto realizada por zona de raízes de fluxo sub-superficial – ou os *Wetlands* construídos é uma tecnologia nova no contexto brasileiro (MATTOSO, 2014).

O presente estudo se justifica por tratar uma tecnologia sustentável no tratamento de esgoto, uma vez que a sua metodologia leva em consideração a qualidade do meio ambiente, ou seja, não causando dano.

Diante do exposto, o objetivo trabalho é apresentar o sistema de uma ETE sustentável com uso da tecnologia da *Wetlands*, indicando o estado da arte, no contexto brasileiro, seus aspectos positivos e sua eficácia.

O estudo foi desenvolvido, baseado em pesquisa bibliográfica, com ênfase no estado da arte das *Wetlands*, como proposta para o tratamento de esgoto sustentável.

2. Revisão de Literatura

2.1. Esgoto sanitário

Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986) o esgoto sanitário diz respeito ao despejo líquido composto de esgotos industrial ou doméstico, contribuição pluvial parasitária e água de infiltração.

Segundo Nuvolari e Martinelli (2011), o sistema de coleta e o transporte desses despejos são feitos através de canalizações que recebem as contribuições e encaminham para as ETE. Essas estações são responsáveis pela retirada dos poluentes e lançam o efluente tratado. Quando ocorre o lançamento, parte dele sofre o processo natural de degradação chamado autodepuração. O processo de autodepuração congrega mecanismos como dispersão, diluição, sedimentação, e outros.

A maioria absoluta dos sistemas públicos de esgoto sanitário do Brasil se caracteriza pelo descarte dos efluentes (tratados ou não) em cursos de água. O lançamento de efluentes líquidos não tratados, oriundos das indústrias e esgotos sanitários, nos rios, córregos e lagos geram grandes desequilíbrios ao ecossistema aquático, provocando a poluição térmica. Ou seja, aumentando a temperatura da água, reduzindo a concentração de oxigênio, contribuindo para o impacto dos organismos do meio (BARBOSA *et al.*, 2009).

Nava e Lima (2012) ressaltam que o esgoto doméstico se distingue do industrial, animal e hospitalar. O esgoto doméstico apresenta uma menor requisição de oxigênio para que degrade a matéria orgânica. Já o hospitalar, animal e industrial, precisam de tratamento apropriado, impedindo portanto, a poluição e a contaminação do ambiente.

Panatto (2010), de acordo com o tamanho e com a topografia da cidade, os sistemas de esgoto para serem implantados serão bem mais complexos, podendo dificultar sua execução. Nas cidades cuja topografia seja elevada, o sistema de esgoto pode limitar-se somente as suas redes coletoras e ainda ser lançado através do emissário. Em contra partida, as grandes metrópoles, ou ainda as cidades com baixo declive, este sistema tende a ser mais complexo, “[...] passando por estações elevatórias interceptores e emissários antes de entrar na estação de tratamento” (PANATTO, 2010, p. 16).

Segundo Vaz (2017), ultimamente no contexto brasileiro, os serviços de tratamento de esgotos são realizados pelo governo, associações comunitárias, municípios, companhias estaduais de saneamento básico ou concessionárias privadas. Comumente empregam tecnologias convencionais que adotam o padrão dos países desenvolvidos, empregam pouca mão-de-obra e com pequena participação social.

Segundo Campos e Nunes (2009), nesse processo, é admirável advertir que parte dos conceitos de planejamento urbano estratégico tem origem no âmbito empresarial e que o desenvolvimento sustentável ampara-se com a legitimação de práticas que afiancem a institucionalização de desígnios de modelo de cidade. A interação entre as políticas de meio ambiente e também de saneamento básico manifestam-se através de importantes ações que têm a capacidade de gerar aspectos compatíveis do desenvolvimento social e econômico através da preservação da qualidade ambiental.

2.2. Tratamento

Segundo Silva Júnior e Amorin (2017) a classificação para o tratamento de esgotos se dá em níveis, cujo tratamento preliminar almeja somente a retirada de sólidos grosseiros, já o tratamento primário almeja à retirada de sólidos sedimentáveis e matéria orgânica. No tratamento secundário, objetiva-se a remoção de matéria orgânica e às vezes, nutrientes (nitrogênio e fósforo). O tratamento terciário tem como objetivo remover poluentes ou ainda, a retirada complementar dos poluentes que não foram removidos eficazmente no tratamento secundário.

Pontes (2017) ratifica que o esgoto tratado na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) é utilizado na irrigação dos canteiros ornamentais, depois de passar por processos secundários de tratamento, por unidades de filtração, o que permite a remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica. Em entrevista com o professor do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Politécnica UFRJ, Isaac: "O resultado é uma água de boa qualidade, que não apresenta o potencial nutricional dos esgotos, em função do tratamento recebido" (PONTES, 2017, online).

Atualmente as pesquisas têm o foco voltado para aproveitamento de biogás, através do processamento do lodo que é gerado no tratamento de esgoto, e na recuperação do fósforo, a partir de um processo de tratamento na própria estação de esgotos. "O Fósforo é um produto importante para a produção da agroindústria brasileira, já que as bacias fosfatadas estão cada vez mais restritas, devido à demanda de fertilizantes", explica Isaac Volschan." (PONTES, 2017, online).

2.3. Wetlands

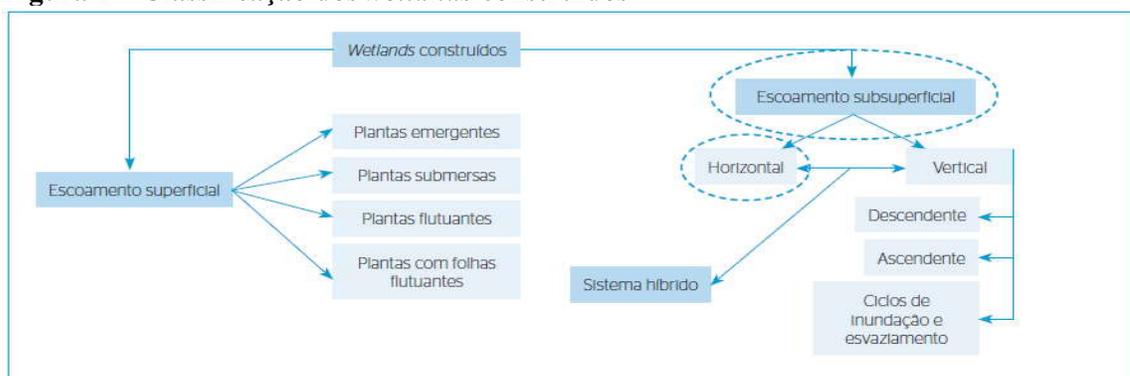
O sistema de tratamento de águas residuárias, versada como sistemas *wetlands* construídos, foi primeiramente criada na Alemanha pelo pesquisador Kätke Seidel do Instituto Max Planck em 1950, para a retirada de fenol e na diminuição da carga orgânica de efluente de laticínio (SEZERINO *et al.*, 2015).

Como diferentes das tecnologias implementadas mundialmente, as *Wetlands* são decorrentes da observação da natureza. O sistema foi implementado com a intenção de reproduzir múltiplos processos de retirada de poluentes que acontecem naturalmente, em áreas alagadas já existentes, como por exemplo, o Pantanal Brasileiro (MATTOSO, 2014).

Segundo Kaick *et al.* (2012), a *Wetland* é uma tecnologia desenvolvida para o tratamento de esgoto realizado por zona de raízes de fluxo sub-superficial - ou os *wetlands* construídos. É um estudo novo no Brasil, perante as tecnologias convencionais.

Sezerino *et al.* (2015) destacam que no contexto brasileiro, as primeiras experiências com o emprego dos *wetlands* para a melhoria da qualidade das águas e também para o controle da poluição foram dirigidas no começo de 1980 pelos pesquisadores Salati e Rodrigues. Apesar disso, os experimentos brasileiros se avivaram a partir de 2000, com aproveitamentos de sistemas *wetlands* construídos para o tratamento de diversas águas residuárias, difundidas ao longo de todo o território brasileiro, sob diversas formas e arranjos, e com vários materiais filtrantes e macrófitas empregadas. A Figura 1 exibe uma classificação dos *wetlands* construídos em dois grandes grupos.

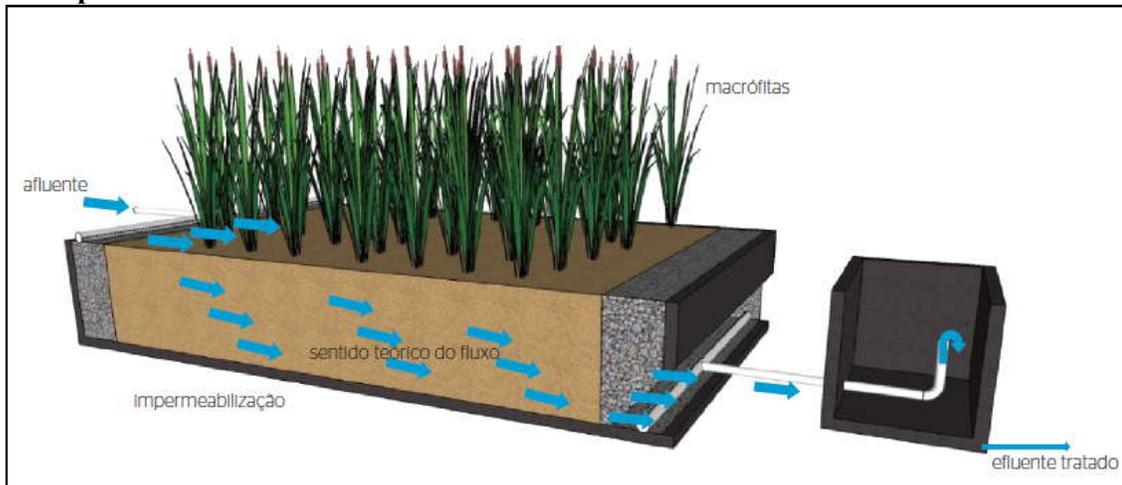
Figura 1 – Classificação dos *wetlands* construídos



Fonte: Sezerino *et al.* (2015).

Segundo Sezerino *et al.* (2015) nos *wetlands* construídos para o escoamento subsuperficial de fluxo horizontal (WCFH), o tratamento do efluente é organizado na porção inicial do leito, chamada zona de entrada, comumente composta por brita, por onde irá percolar pausadamente por meio do material filtrante até alcançar a porção final, também composta por brita e chamada de zona de saída. Essa percolação segue na horizontal, sendo impulsionada por uma declividade de fundo (Figura 2).

Figura 2 – Representação em profundidade do *wetland* construído de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal



Fonte: Sezerino *et al.* (2015).

Já Mattoso (2014) em suas pesquisas ratifica que é uma tecnologia *Wetland* (áreas alagadas), pode ser natural ou construída. Estes sistemas realizam um tratamento na água, e as mesmas passam por um processo de ecossistema com solo, biomassa, e plantas, que tem atuação eficaz na remoção de DBO, DQO, nutrientes e demais parâmetros de qualidade da água pelos elementos de filtração, interceptação, dentre outros.

A Figura 3 ilustra uma *Wetland* natural.

Figura 3 – *Wetland* natural



Fonte: Poças (2015).

As estruturas experimentadas como *Wetlands* ainda encontram-se em estudos e seus parâmetros e aspectos construtivos não são concordância entre os pesquisadores da área (MATTOSO, 2014).

O emprego da tecnologia *wetlands* para o tratamento de diferentes águas residuárias está em extenso crescimento no contexto brasileiro, especialmente na última década. Apesar disso, publicações alusivas às avaliações de desempenho para o tratamento e ainda os dados operacionais de longo prazo são ainda escassos, avigorando a necessidade de implantação de ações conjuntas entre os órgãos de apoio à pesquisa, universidades de pesquisa, setor privado, poder público e todos os envolvidos nesse processo (SEZERINO *et al.*, 2015).

Segundo Salati, Salati Filho e Salati (2009), as estruturas conhecidas como *Wetlands* ainda são alvo de diferentes estudos e seus aspectos construtivos, bem como seus parâmetros não são concordância entre os pesquisadores da área, o que ratifica as diversas investigações científicas realizadas mundialmente. O autor em questão, implementou um refinado estudo para a classificação das probabilidades construtivas de *Wetlands*, bem como das principais características hidráulicas dos mesmos. E ainda ilustra alguns projetos existentes no Brasil, e ainda como são realizadas as remoções de poluentes, apresentando a eficiência, de alguns projetos desenvolvidos.

2.3.1. *Wetlands* construídas

Em detrimento de fatores como eficácia final de retirada de nutrientes, contaminantes e demais poluentes, propriedades do efluente para serem tratados, emprego de biomassa produzida e atenção paisagística, diferentes variedades da técnica de *Wetlands* construídas foram adotadas, dentre elas: Sistemas que utilizam plantas aquáticas flutuantes e Sistemas que utilizam plantas aquáticas emergentes (MATTOSO, 2014).

Segundo Poças (2015) esse tipo de sistema de *wetland* construído apresenta baixo custo para sua implantação, operação e manutenção quando comparado aos sistemas convencionais. O Brasil é um dos países que apresentam extraordinárias condições climáticas e ambientais para implantação das *Wetlands* construídas, e ainda apresenta uma grande carência de tratamento de águas residuárias, notadamente em pequenos e médios municípios.

As *wetlands* construídas são estimadas filtros biológicos, que têm microrganismos apropriados para a promoção de reações de depuração da água. Os microrganismos, e sua heterogeneidade genética e adequabilidade funcional são adequadas para degradar diferentes substâncias presentes na água, causando, portanto, seu crescimento. A Figura 4 ilustra uma *Wetlands* construídas.

Figura 4 – *Wetland* construída



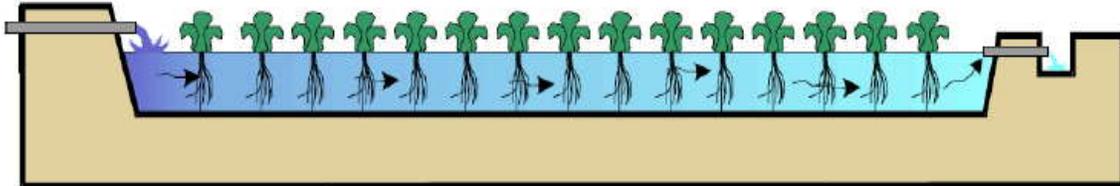
Fonte: Poças (2015).

2.3.1.1. Sistema *Wetlands* com emprego de flutuantes

Comumente empregadas em canais rasos, o grupo das macrófitas flutuantes forma-se por várias espécies. Para o uso nas *Wetlands*, usa-se somente uma espécie ou uma variedade de espécies. A mais empregada, é a *Eichornia crassipes*, ou como é conhecida, o Aguapé (MATTOSO, 2014).

A Figura 5 ilustra um desenho esquemático de um canal com plantas flutuantes.

Figura 5 – Esquemático de um canal com plantas flutuantes



Fonte: Mattoso (2014).

A Aguapé tem sido uma escolha possível para a flora da *Wetlands*, pelo fato da mesma ser resistente as águas altamente poluídas e tóxicas com ampla diferença de carga de nutrientes e pH, e à grandes modificações de temperatura. Oferece ainda capacidade de produção de biomassa, chegando a 5% ao dia (MATTOSO, 2014).

Nesse sistema é possível a integração de sistemas de tratamento secundário e terciário. Eles são projetados contendo aeradores, e as características do efluente determinam os tempos de residência, bem como os parâmetros almejados para o efluente final. Estes sistemas comumente apresentam em seus projetos a inclusão de aeradores, e as características do efluente determinam os tempos de residência, bem como os parâmetros almejados para o efluente final. Suas resistências podem variar de cinco a quinze dias (SALATI; SALATI FILHO; SALATI, 2009), entretanto, tempos de somente um dia foram empregados com sucesso (MATTOSO, 2014).

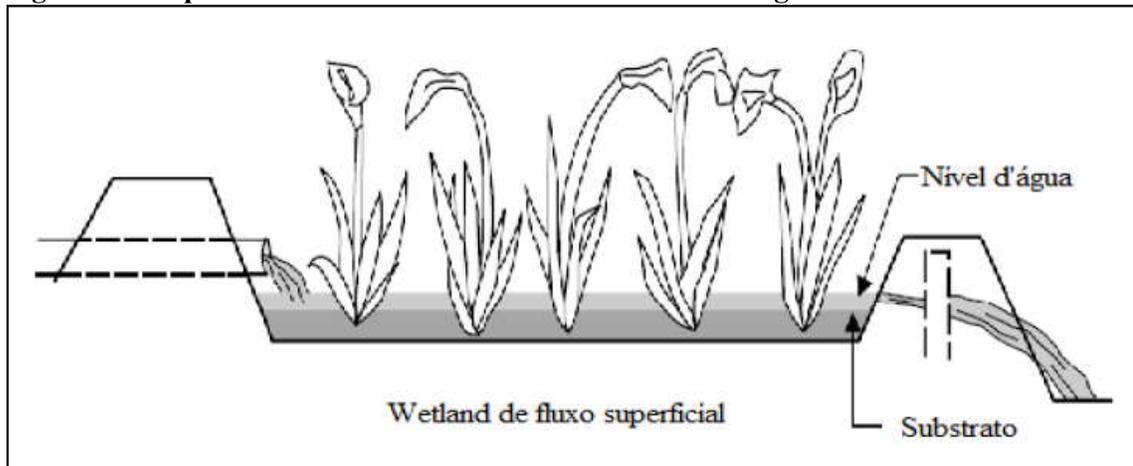
Os sólidos em suspensão tem a sua remoção através da decantação e por adsorção no sistema radicular das plantas (MATTOSO, 2014).

Segundo Mattoso (2014), as principais vantagens são:

- a) custo reduzido para a implantação;
- b) elevada eficácia para a melhoria da qualidade da água;
- c) elevada produção de biomassa, podendo a mesma ser empregada para a ração animal, biofertilizantes e energia.

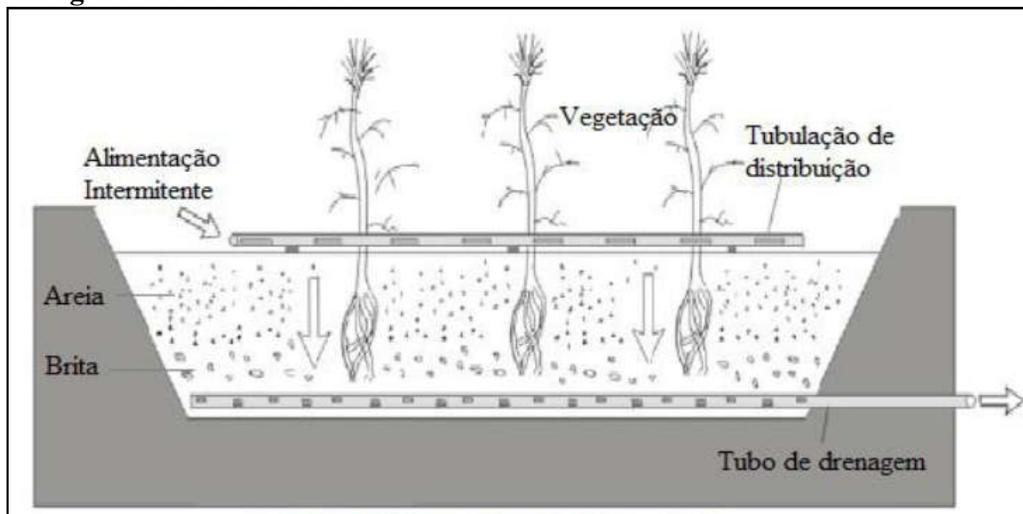
2.3.1.2. Sistema *Wetlands* com emprego de plantas emergentes

Neste sistema são utilizadas plantas que têm seu sistema radicular fixo ao sedimento, sendo que caule e folhas continuam somente parcialmente submersos. Dentre os sistemas de *Wetlands* construídas, este é o mais antigo, com mais de 30 anos empregado na Holanda (SALATI, 2009 *apud* MATTOSO, 2014). Comumente, seu dimensionamento conta com um canal de 3 a 5 metros de largura, e algo em torno de 100 metros de comprimento. O esquema geral incide em conservar uma lâmina d'água sobre a superfície do solo, contribuindo para que o substrato seja tratado por meio de mecanismos de ação microbiológica. A Figura 6 ilustra o esquemático de um sistema com macrófitas emergentes.

Figura 6 – Esquemático de um sistema com macrófitas emergentes

Fonte: Mattoso (2014).

Como vantagens deste tipo de *Wetland*, destaca-se maior eficácia para a remoção de DBO, nitrogênio, fósforo amoniacal e sólidos em suspensão. Já no contexto construtivo existe a menor necessidade de área em comparação com outros métodos de *Wetlands* construídas. O tratamento da água ocorre em um fluxo vertical, em uma camada de solos que será lançado sobre brita, no qual são cultivadas as plantas emergentes. O projeto pode alterar, contudo dominam os panoramas de canal longo com pouca profundidade (MATTOSO, 2014). O cuidado principal na operação deste tipo de sistema é prevenir a formação de um fluxo superficial, que comumente acontece, e as obstruções no sistema que podem ocasionar redução da condutividade hidráulica. A Figura 7 ilustra um esquemático com macrófitas emergentes de fluxo vertical.

Figura 7 – Desenho esquemático de um sistema de um *wetland* com macrófitas emergentes de fluxo vertical

Fonte: Mattoso (2014).

Para a escolha do material filtrante para um sistema de *wetland*, deve-se ter conhecimento de suas características físico-químicas. No campo físico, são admiráveis características que envolvam o fluxo, ou seja, meio para conservar adequada condutividade hidráulica, e o regime hidráulico, que será conservado com adequada permeabilidade, á fim

de acomodar o fluxo necessário, este comumente se dá em detrimento das propriedades das partículas sólidas. O pedregulho e a areia têm sido os materiais mais comuns. No domínio químico, atributos como capacidade de adsorção entusiasmam categoricamente na eficácia de retirada de poluentes como nitrogênio amoniacal e fósforo solúvel, especialmente em detrimento da adsorção que o meio propiciará (MATTOSO, 2014).

2.4. Composição das *Wetlands*

2.4.1. Material filtrante

Segundo Ormonde (2012), para a preferência do material filtrante de um sistema de *wetland*, é imprescindível o conhecimento de suas características físico-químicas. No domínio físico, deve-se considerar suas condições de fluxo, ou seja, sua boa condutividade hidráulica, bem como o regime hidráulico, que deve ser conservado com sendo a boa permeabilidade e acomodar o fluxo necessário, este comumente se dá em detrimento das propriedades das partículas sólidas. Geralmente tem sido utilizado pedregulho e areia. No domínio químico, deve-se levar em consideração a capacidade de adsorção, já que a mesma influenciará categoricamente na eficiência para a remoção de poluentes (fósforo solúvel, nitrogênio amoniacal), especialmente decorrente da adsorção que o meio irá proporcionar.

Ainda de acordo com Ormonde (2012), para os sistemas de distribuição é imprescindível que se utilize materiais mais grosseiros e que apresentem maior índice de vazios, de modo que se permita a prevenção de colmatação, bem como o entupimento de vias entre os vazios do solo, e por conseguinte, a manutenção de um regime de escoamento adequado.

Mattoso (2014) enfatiza que a literatura recomenda que o solo aportado à *Wetland* caso seja possível, ser retirado de *Wetlands* existentes na bacia, e ainda seu perfil de aplicação, de tal modo, os parâmetros de alternativa deste tópico serão levados em consideração quando a análise de disponibilidade de solos na bacia for concretizada.

2.4.2. Plantas

Segundo Ormonde (2012), a preferência por uma ou outra espécie de macrófita poderá levar em consideração determinados parâmetros principais, como:

- a) se possível escolher espécies nativas em detrimento da adaptação ao meio;
- b) maior tolerância à inundações;
- c) elevada taxa de fotossíntese;
- d) elevada capacidade para transportar oxigênio;
- e) maior capacidade para assimilação de poluentes compatíveis com o tratamento (fito-remediação);
- f) resistência à pragas e doenças;
- g) sistema radicular desenvolvido.

Como já ressaltado, grande parte da escolha da vegetação, quando há ausência de dados relevantes, é a escolha por vegetação nativa presente em *Wetlands* naturais, em áreas como o Pantanal brasileiro, que possui áreas alagáveis naturalmente, abrigam vegetação com maior chance de adaptação à *wetland* construída, e tais espécies poderão ser incluídas no sistema artificial. Geralmente é realizado um teste de adaptação da espécie que se pretende usar (ORMONDE, 2012).

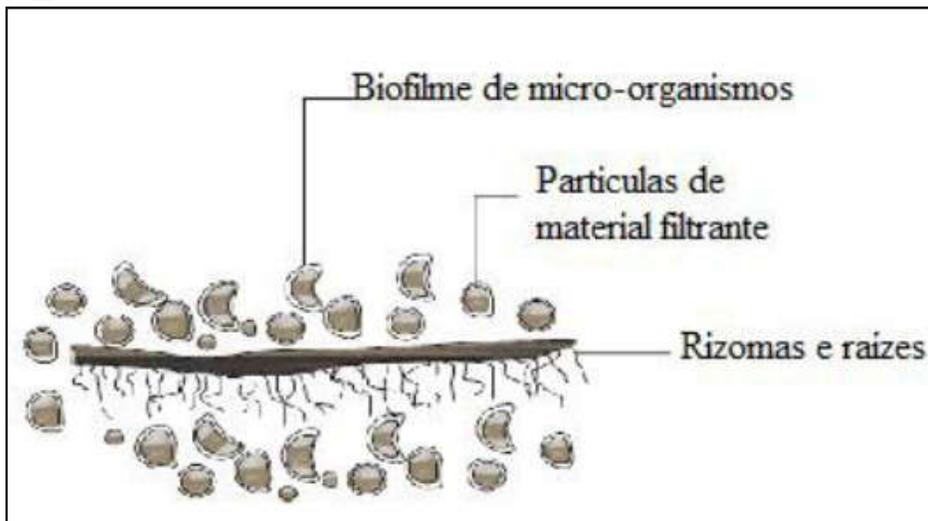
2.4.3. Organismos

Ormonde (2012, *apud* MATTOSO, 2014) enfatiza que os micro-organismos empregados apresentam sua classificação como procariotos, eucariotos e archaea, tendo em

vista a sua estrutura celular e seu funcionamento. Os procedimentos efetivados em tratamentos biológicos visam essencialmente a retirada da DBO Carbonácea do efluente, fósforo e nitrogênio. Os eucariotos diz respeito às plantas, protistas e animais, e os integrantes mais importantes deste grupo para o tratamento são os protozoários, fungos, plantas, algas e rotíferos.

Mattoso (2014) adverte que nas *wetlands*, os micro-organismos presentes comumente associam-se às raízes ou aos caules das plantas, desenvolvendo uma película chamada de Biofilme. A figura 8 ilustra um esquemático deste sistema.

Figura 8 – Esquemático da formação do biofilme aderido ao material filtrante e nas raízes



Fonte: Mattoso (2014).

Ormonde (2012) enfatiza que os protozoários são maiores que as bactérias e comumente consomem bactérias como sua fonte de energia. Em função disto, os protozoários atuam como polidores dos efluentes para os processos de tratamento biológico, acarretando o consumo de matéria orgânica particulada e bactérias.

2.4.4. Metodologia para dimensionamento das *Wetlands*

As teorias recuadas para o dimensionamento de *Wetlands* não são concordância entre os estudiosos, especialmente em detrimento das diferenças regionais para os locais que serão implantadas. A teoria mais aceita diz respeito ao pressuposto de que o dimensionamento pode ser realizado de forma similar a reatores biológicos existentes, levando em consideração o emprego de reatores de fluxo em pistão para os quais as reações são estimadas de primeira ordem, e os parâmetros de resposta fornecidos pelo tempo de detenção hidráulico e da temperatura do sistema. O tempo de detenção hidráulico é função da porosidade e do material filtrante, do volume do filtro e da vazão afluente (MATTOSO, 2014):

$$t = n (V/Qm) \quad (1)$$

onde:

t = tempo de detenção hidráulica (dias)

n = porosidade do material filtrante em % (volume de vazios/volume de material)

V = volume do filtro (m³)

Qm = vazão média afluente ao sistema (m³/d)

Segundo Ormonde (2012 *apud* MATTOSO, 2014) a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) aconselha tempos de detenção de seis a sete dias, tendo em vista tempos maiores induzirem a condições anaeróbias e de tempos menores não provocarem a degradação da matéria orgânica solicitada para o sistema.

2.4.5. Monitoramento e manutenção

Segundo Mattoso (2014), o monitoramento da *Wetland* é categórico para sua eficácia e u bom funcionamento. Ele provoca táticas de prevenção que irão impedir que a eficiência do tratamento seja diminuída, e a sobrevivência de todo aquele ecossistema constituído na área. Para cada projeto deve levar uma frequência aceitável de manutenção, que poderá ser feita quatro vezes no primeiro ano, e para o segundo ano em diante, pode ser realizado um monitoramento anual.

Mattoso (2014) ainda ratifica que três ideias principais devem orientar as atividades de manutenção, como: retirada de espécies indesejadas, replantio de espécies almejadas e a retirada dos sólidos sedimentados. De tal modo, o monitoramento deverá conservar as seguintes peculiaridades do projeto: percentual de sobrevivência das espécies plantadas; percentual de cobertura das espécies plantadas; percentual de cobertura de espécies indesejáveis; biota existente e a utilização da vegetação; investigações sobre a qualidade das águas com indicadores que admitam alertar sobre a precisão de remoção de sedimentos e demais ações imprescindíveis.

2.5. Alguns exemplos de implantação de *Wetlands* no Brasil

O primeiro projeto de *wetlands* implantado no contexto brasileiro foi concretizado por Salati e Rodrigues no ano de 1982 através da construção de um lago artificial próximo ao rio Piracicamirim, que apresentava muita poluição, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba. Depois desta data, vários outros projetos foram implementados no Brasil. Há diversas ETEs implantadas com *wetlands* construídos, como as do Instituto de Ecologia Aplicada de Piracicaba (SP). Segundo Sezerino *et al.* (2015 *apud* RUBIM, 2017), grande parte dos estudos brasileiros usam *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal.

Para ilustrar um caso real de retirada de poluentes, Mattoso (2014) utilizou o trabalho de Mascarenhas e Vieira (2013) que implantou duas *Wetlands* em braços de um afluente de rio, localizado na bacia do córrego Jaguaré, bacia vizinha à do Pirajussara. Foi constatado que o estudo das *wetlands* são embrionários e as informações disponíveis são insuficientes, o que ratifica que sejam realizados trabalhos futuros, para que possam ser testados em campo. Mas para o tipo de poluição estudada, as *wetlands* mostram-se eficiente, e especialmente do modo que o trabalho foi proposto, ou seja, baterias de *wetlands* margeando o córrego, já que com uma operação hábil, é admissível captar quase inteiramente esta carga e evitar que ela chegue ao rio sem que haja qualquer tipo de tratamento, já que a *wetland* consegue com adequada eficiência para diferentes parâmetros de qualidade das águas. Ressalta-se que as *Wetlands* são um tratamento admissível de ser implantado na Bacia em estudo, com retirada eficaz de poluentes. Não é possível afiançar que seja o melhor método para tratamento para a região em questão, já que o estudo não propôs o comparativo de técnicas. Contudo, ressalta-se que as *Wetlands* em estudo foram capazes de influenciar de maneira positiva a melhora de parâmetros de qualidade da água nas duas frentes de problema das bacias urbanas, bem como a poluição dos rios por aporte pontual, e os despejos de esgotos, e a diminuição da carga de

poluição longa que os alcança, interceptando o *first flush* e realizando o tratamento desta carga segundo o nível de retirada dos poluentes possíveis de serem alcançados.

Poças (2015) em sua pesquisa ilustra um sistema de *Wetlands* criado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) em série piloto na ETA em Baixo Cotia no mês de novembro de 1996, com objetivo de aferir a eficiência do sistema para enquadrar as águas do Rio Cotia com os parâmetros determinados para rios Classe II, segundo preconizado pelo Decreto Estadual 8.468 de 1977, controle picos de cheia, detectar e conter possíveis contaminações de recursos hídricos, bem como servir como sistema de barragens para sedimentos e recebimento de efluente da ETE Barueri, distinguindo-se como um reuso de planejamento indireto potável.

A Figura 9 ilustra o fluxograma do processo construído, em que a água captada do Rio Cotia é conduzida para uma *wetland* de fluxo superficial com macrófitas flutuante, em que a mesma direciona-se para um sistema de solo filtrante, em seguida passa para *wetland construída* e finalmente, passa novamente por um sistema de solo filtrante. No relatório não é confirmado quais foram as macrófitas e os materiais filtrantes ou suportes empregados neste projeto (SABESP, 1998 *apud* POÇAS, 2015).

Figura 9 – Fluxograma de processo do projeto piloto da ETA Baixo Cotia



Fonte: SABESP (1998 *apud* POÇAS, 2015).

Segundo Poças (2015) o piloto trabalhou por quase seis meses e a qualidade da água teve monitoramento da equipe da SABESP (1998) eles concluíram em sua pesquisa que os resultados alcançados para diminuição de nitrogênio e fósforo em um sistema de *wetlands* construída na Estação Piloto da ETE Barueri foi aceitável.

Reis, Serbent e Rodrigues (2015) também mencionam o interesse para os tratamentos alternativos, como os Alagados Construídos da SABESP e da Companhia de Saneamento Básico do Paraná (SANEPAR), que começaram seus estudos com auxílio do Instituto Terramax para concretizar um projeto de recuperação de recursos hídricos por meio de sistema de *Wetlands* construídos.

Segundo Reis, Serbent e Rodrigues (2015) no estado de Santa Catarina, o emprego dos *Wetlands* construídos está tendo um extenso crescimento. A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), vem gradativamente implantando, na zona rural de alguns municípios, *sistemas de Wetlands construídos para ETE*. Como exemplos, as *Wetlands* do município de Balneário Camboriú, Agrônômica, Tubarão, Videira e São Joaquim. Outros casos de aplicação de *Wetlands* construídos em áreas rurais estão sendo implementadas na cidade de Campos Novos.

3. Considerações Finais

Em função das boas eficiências esperadas, bem como de uma operação e conservação eficientes em caso de implantação, ressalta-se que as *Wetlands* são um tratamento viável.

Apesar dos custos não terem sido objeto de estudo, constatou-se entre os achados que eles incluem a terra, a investigação do local, o projeto do sistema, o trabalho de terraplanagem, os forros, a filtração ou os meios de enraizamento, a vegetação, as estruturas de controle hidráulico e os custos diversos (por exemplo, cercas e estradas de acesso). No entanto, as proporções dos custos individuais variam amplamente em diferentes partes do mundo. Além disso, para aplicação em sistemas maiores demonstram maiores economias em escala significativa, o que ratifica uma interessante proposta para tratamento de esgoto sustentável.

As *Wetlands* como tratamento construído evoluíram durante as últimas décadas em uma tecnologia de tratamento confiável que pode ser aplicada a todos os tipos de águas residuais, incluindo esgoto, águas residuais industriais e agrícolas, lixiviação de aterro e escoamento de águas pluviais. A poluição é removida através dos processos que são comuns naturais, mas, em *Wetlands*, esses processos prosseguem em condições mais controladas. Todos os tipos de *Wetlands* construídas são muito eficazes na remoção de orgânicos e sólidos em suspensão, enquanto que a remoção de nitrogênio é menor, mas pode ser melhorada usando uma combinação de vários tipos de *Wetlands*.

As *Wetlands* construídas requerem uma entrada de energia muito baixa ou zero e, portanto, os custos de operação e manutenção são muito menores em comparação com os sistemas de tratamento convencionais. Além do tratamento, as *Wetlands* são muitas vezes projetadas como ecossistemas de múltiplos ou múltiplos propósitos que podem fornecer outros serviços de ecossistemas, tais como controle de inundações, sequestro de carbono ou habitat da vida selvagem.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9648**: estudo de concepção de sistemas de esgoto. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

BOHADANA, I. P. B. *et al.* **Estratégias mais sustentáveis aplicadas ao projeto do condomínio Harmonia Residencial Park, Harmonia – RS.** In: ENCONTRO NACIONAL, 4.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., 2007, São Leopoldo. **Anais...** São Leopoldo: [s. n.], 2007. p. 703-712. Disponível em: http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007_artigo_076.pdf. Acesso em: 10 out. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

_____. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, n. 92, p. 89, 16 maio 2011.

CALEGARI, R. P. *et al.* Caracterização da água da microbacia do Rio Lonqueador avaliada por parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1284-1291, maio/ago. 2015.

CAMPOS, J. B. N. de; NUNES, L. A. de P. **Desenvolvimento sustentável e saneamento: uma experiência de tratamento do esgoto doméstico em Bertiooga**. Trabalho apresentado ao 3o Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde, Santos, 2003.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Relatório geral do projeto de reabilitação, expansão e conservação do Manancial Baixo Cotia – RMSP**. Contrato nº079/96-A. Revisão de fevereiro de 1998.

KAICK, T. S. V. *et al.* Levantamento preliminar do estado da arte dos Wetlands construídos no Brasil. *In: MOSTRA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO*, 4., 2012, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UTFPR, 2012. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/eventos/mopp/2012/bannerwetlandsfinal.pdf>. Acesso em: 15 out. 2017.

KELLNER, E.; CALIJURI, M. C.; PIRES, E. C. Aplicação de indicadores de sustentabilidade para lagoas de estabilização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, out./dez. 2009.

LOPES, M. Tratamento de esgoto: os processos de reaproveitamento residencial. **Tem Sustentável**, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.temsustentavel.com.br/tratamento-de-esgoto-os-processos-de-reaproveitamento-residencial/>. Acesso em: 13 out. 2017.

MASCARENHAS, L. C.; VIEIRA, A. **Desempenho de Wetlands visando a melhoria da qualidade da água em rios urbanos**. São Paulo: [s. n.], 2013.

MATTOSO, F. D. A. B. **Estudo de eficiência de Wetland no córrego Pirajussara**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=8363. Acesso em: 14 out. 2017.

NAVA, L.; LIMA, C. de. Avaliação da eficiência da estação de tratamento de esgoto por zona de raízes (ETEZR) instalada no horto florestal de Caçador-SC. **Ignis**, Caçador, v. 1, n. 1, jan./jun. 2012.

NUVOLARI, A.; MARTINELLI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2011.

ORMONDE, V. S da S. **Avaliação de ‘Wetlands’ construídos no pós-tratamento de efluentes de lagoa de maturação**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

PANATTO, L. A. V. **Estudo sobre as interferências subterrâneas na implantação de rede coletora de esgoto no município de Criciúma/SC**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

POÇAS, C. **Utilização da tecnologia de Wetland para tratamento terciário: controle de nutrientes.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-23112015-122556/pt-br.php>. Acesso em: 5 nov. 2017.

PONTES, Arthur. **Projeto Águas de Reuso: economia e visão de futuro para os alunos da Escola Politécnica.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2017. Disponível em: <http://www.poli.ufrj.br/noticias/noticias.php?numnews=756>. Acesso em: 10 out. 2017.

REIS, A.; SERBENT, M. P.; RODRIGUES, E. B. **Proposta de utilização de wetlands construídos para o tratamento de efluentes da Floresta Nacional de Ibirama/SC.** 2015. Trabalho apresentado ao 2o Simpósio Brasileiro sobre *Wetlands* Construídos, Curitiba, 2015.

RUBIM, C. Tratamento de efluentes com Wetlands e jardins filtrantes construídos artificialmente. **Revista TAE**, Santo André, 2016. Disponível em: <http://www.parque.ufrj.br/wp-content/uploads/2016/12/Aquafluxus-Revista-TAE.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2017.

SALATI, E.; SALATI FILHO, E.; SALATI E. **Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas.** Piracicaba: Instituto Terramax, 2009.

SEZERINO, P. H. *et al.* Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 151-158, mar. 2015.

SILVA JÚNIOR, A. V. da; AMORIN, F. R. de. **Proposta de implantação de um sistema de tratamento de esgoto na Universidade de Rio Verde.** [S. l.: s. n.], [2015]. Disponível em: <http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/PROPOSTA%20DE%20IMPLANTACAO%20DE%20UM%20SISTEMA%20DE%20TRATAMENTO%20DE%20ESGOTO.pdf>. Acesso em: 13 out. 2017.

VAZ, A. J. **A importância da rede coletora de esgoto na promoção da qualidade sócio-ambiental.** [S. l.: s. n., 2009]. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Impactoambiental/71.pdf>. Acesso em: 7 out. 2017.