

FACULDADE DE EXTREMA - FAEX

NICOLE LAMBERT ALVES

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE WETLAND
CONSTRUÍDA PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO NA, ZONA RURAL
DO MUNICÍPIO DE TOLEDO-MG**

Extrema

2018

NICOLE LAMBERT ALVES

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE WETLAND
CONSTRUÍDA PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO, NA ZONA
RURAL DO MUNICÍPIO DE TOLEDO-MG**

Relatório final, apresentado a Faculdade de Extrema - FAEX, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Ms. Roberta Moraes Martins
Coo-orientadora: Dra. Natália Rodrigues
Guimarães

Extrema, 06 de dezembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ms. Roberta Moraes Martins

Faculdade de Extrema – FAEX

Dra. Natália Rodrigues Guimarães

Universidade de São Paulo - USP

Prof. Renan Mariano

Faculdade de Extrema - FAEX

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida, por me proporcionar sabedoria, paciência e disposição para realização deste trabalho.

Aos meus pais, Airton e Margaret, ao meu irmão e amigo de faculdade Matheus, ao meu irmão Renan pelo apoio, incentivo e por ler meu trabalho, agradeço ao meu namorado Henrique Paceli por me compreender e apoiar. Vocês são a minha fundação e o meu bem mais precioso. Obrigado por todo o amor que me foi dado. Parte dele culminou neste trabalho e, por isso, ele é nosso. Amo vocês!

A toda minha família pelo incentivo e pelos apoios constantes.

A professora e orientadora Ms. Roberta Moraes Martins por colaborar com a realização do trabalho e pela amizade.

A professora e coorientadora Dra. Natalia Rodrigues Guimarães pela paciência e por ter sido muito mais que uma orientadora, uma amiga, sempre disposta a ajudar, até nos momentos mais complicados.

Aos meus amigos e minhas amigas Mônica e Pamela pelas alegrias e, até mesmo tristezas compartilhadas. Pelas caronas. Sem vocês esses anos teriam sido muito mais difíceis.

Por fim, agradeço a todas as circunstâncias que passei nesse período que, boas ou ruins, me levaram aonde estou agora.

Muito obrigado!

RESUMO

As *wetlands* construídas estão entre as tecnologias para tratamento descentralizado e polimento de águas residuárias. Existem várias técnicas de construção e manejo de *wetlands* que, combinadas com processos físico-químicos e biológicos, são capazes de tratar diferentes tipos de efluentes. Comparando com os sistemas convencionais de tratamento, são de baixo custo, fácil operação e manutenção. O tratamento dos efluentes domésticos ou industriais antes do descarte em corpos d'água é primordial para garantir a conservação dos recursos hídricos, sendo essa conservação uma das bases para um desenvolvimento mais sustentável. Baseado nessas constatações, o presente estudo teve como objetivo, baseando-se na literatura disponível sobre o tema e em trabalhos acadêmicos desenvolvidos no Brasil, elucidar a utilização de *wetlands* construídas para o tratamento de efluentes e avaliar a possível aplicabilidade e suposto desempenho de uma estação de tratamento de *wetlands* construídas em uma residência rural, bem como descrever as etapas de sua execução e ressaltando aspectos que merecem ser modificados para melhorar a desempenho do sistema. Baseando-se nas análises da literatura sobre o tema e no projeto baseando-se em dados reais, pode-se concluir que o uso da tecnologia de *wetlands* construídas como alternativa no tratamento de esgotos domésticos em uma propriedade rural apresenta uma boa eficiência no tratamento de esgoto, além de sua implantação e operação ser de baixo custo, e simplicidade operação e manutenção, mostra ser uma tecnologia sustentável que podem ser de grande utilidade na recuperação de corpos hídricos, melhoria na qualidade de água no pós-tratamento de esgotos e é uma solução para comunidades rurais mais isoladas das atividades humanas.

Palavras-chave: *Wetlands* construídas, Fluxo horizontal, Typha, tratamento de esgoto, tratamento descentralizado de efluentes, baixo custo.

ABSTRACT

Wetlands are among the technologies for decentralized treatment and wastewater polishing. There are several techniques of *wetlands* construction and management, combined with physical-chemical and biological processes are able to treat different types of effluents. Compared to conventional treatment systems, they are inexpensive, easy to operate and maintain. The treatment of domestic or industrial effluents before disposal in water bodies is essential to ensure the conservation of water resources, and this conservation is one of the bases for a more sustainable development. Based on these findings, the present study aimed to elucidate the knowledge of built *wetlands* for the treatment of domestic wastewater and evaluate the possible applicability of this system based on the available literature on the subject and in academic studies developed in Brazil. A built *wetlands* system was designed in a rural residence, as well as describe the stages of its execution and highlighting aspects that deserve to be modified to improve the performance of the system. Based on the analysis of the literature on the subject and on the project based on real data, it can be concluded that the use of *wetlands* technology as an alternative in the treatment of domestic sewage in a rural property has a good efficiency in the treatment of sewage, in addition to its implantation and operation being low cost, and simplicity operation and maintenance, shows to be a sustainable technology that can be of great use in the recovery of water bodies, improvement in water quality in the post-treatment of sewage and is a solution to rural communities more isolated from human activities.

Key words: Constructed wetlands, Horizontal flow, Typha, Sewage treatment, Decentralized treatment of effluents, low cost.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESQUEMA DAS TRANSFORMAÇÕES DO NITROGÊNIO.....	12
FIGURA 2 - ESQUEMA DE <i>WETLANDS</i> DE ESCOAMENTO VERTICAL.....	14
FIGURA 3 - ESQUEMA DE UMA <i>WETLANDS</i> DE ESCOAMENTO HORIZONTAL.....	15
FIGURA 4 - ESQUEMA DE UMA <i>WETLANDS</i> HÍBRIDA.....	16
FIGURA 5 - LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DO TERRENO PARA APLICAÇÃO TEÓRICA DA <i>WETLANDS</i> CONSTRUÍDA.....	25
FIGURA 6 - DADOS DE DECLIVIDADE.....	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS ESGOTOS.	5
TABELA 2 - CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS EM ESGOTOS.....	5
TABELA 3 - CONCENTRAÇÕES DE ORGANISMOS EM ESGOTOS.	6
TABELA 4 - POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO DOS WETLANDS..	10
TABELA 5 - CONSTITUINTES E MECANISMOS DE REMOÇÃO DO SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDAS..	11
TABELA 6 - FORMAS DE NITROGÊNIO.....	12
TABELA 7 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS WETLANDS DE ESCOAMENTO VERTICAL E HORIZONTAL.....	16
TABELA 8 - CRITÉRIOS PARA CONSTRUÇÃO DE WETLANDS CONSTRUÍDAS.....	17
TABELA 9 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE WETLANDS CONSTRUÍDAS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	23
TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DE CONTRIBUIÇÃO DE ESGOTO..	27

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
1. INTRODUÇÃO	3
2. METODOLOGIA	3
□ PARTE 1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE APLICAÇÃO DE <i>WETLANDS</i> CONSTRUÍDAS EM ZONAS RURAL E URBANA	3
□ PARTE 2. PROJETO DE APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE <i>WETLAND</i> CONSTRUÍDA EM TERRENO EXISTENTE NO MUNICÍPIO DE TOLEDO (MG).....	4
3. levantamento bibliografico e resultados da pesquisa: exploração do tema wetlands contruídas	4
3.1. Principais Características do esgoto doméstico	4
3.2. Impactos do lançamento de efluente nos corpos d'água.....	6
3.3. <i>Wetlands</i> construídas	7
3.4. Mecanismos de remoção do sistema de <i>wetlands</i> construídas.....	11
3.5. Remoção de nitrogênio nas <i>wetlands</i> construídas	11
3.6. Remoção de fósforo nas <i>Wetlands</i>	13
3.7. Tipos de <i>wetlands</i> construídas	13
i. Escoamento vertical com alimentação intermitente.	13
ii. Escoamento horizontal	14

iii. Sistema híbrido.....	16
3.8. Critérios para construção de <i>wetlands</i> construídas	17
3.9. <i>Wetlands</i> construídas no Brasil.....	18
3.10. Alternativas de tratamento de esgoto doméstico na zona urbana	19
3.11. Alternativas de tratamento de esgoto doméstico na zona rural	19
4. DISCUSSÃO do levantamento de dados: aplicabilidade do sistema de <i>wetlands</i> construídas	21
4.1. Benefícios da aplicação das <i>wetlands</i> construídas.....	21
4.2. <i>Wetlands</i> construídas nas Zonas Urbana e Rural: aplicações, vantagens e desvantagens...22	
4.3. Aplicação teórica baseada em dados reais de uma <i>wetland</i> construída em uma residência na zona rural do município de Toledo-MG.	24
i. Levantamento topográfico e planta do terreno	25
ii. Caracterização do efluente	26
iii. Vazão de tratamento.....	26
iv. Vazão doméstica	27
v. Modelo de dimensionamento para sistemas <i>Wetlands</i> construídas	28
4.4. Benefícios da aplicação das <i>wetlands</i> construídas para a propriedade e seus moradores	30
5. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, 52,2% dos municípios são atendidos com sistemas de esgotos sanitários, dos quais 20,2% coletam e tratam os esgotos gerados (PNSB, 2000). O índice de atendimento com esses serviços é, portanto, baixo e há discrepância regional, uma vez que o percentual de municípios atendidos com sistemas de coleta e tratamento de esgotos nas regiões Sudeste e Sul são, respectivamente, de 31,1% e 21,71% e nas regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste são, respectivamente, de 3,6%, 13,6% e 12,3%. A situação é mais agravante na zona rural, onde grande parte das localidades não é contemplada com esses serviços e, quando existem, são ineficientes. O lançamento de águas residuárias com concentrações elevadas de poluentes pode alterar a qualidade dos corpos d'água receptores e restringir os usos a que se destinam, principalmente, abastecimento humano e irrigação de lavouras que dependem de água de boa qualidade.

Visando melhorar as condições sanitárias, dentre os sistemas naturais de tratamento de efluentes, uma das tecnologias mais promissoras são os sistemas de *wetlands* construídas também chamada de Alagados construídos, devido às suas características de simplicidade de construção, operação, manutenção, baixo custo e estabilidade dos processos envolvidos.

Neste contexto, o presente estudo estruturou uma pesquisa avaliativa sobre as possibilidades de uso das *wetlands* construídas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização do sistema de *wetlands* construídas para tratamento de efluentes nas zonas rural e urbana baseando-se na literatura sobre o tema. Ainda, teve como objetivo, com base nas conclusões sobre aplicação do sistema, projetar um sistema de uma *wetland* construída para o tratamento de esgoto em uma residência existente, unifamiliar, de área rural do município de Toledo (MG) fazendo uso de dados reais.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho pode ser dividida em duas partes, uma teórica e uma aplicada, apresentadas nos itens a seguir.

- PARTE 1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE APLICAÇÃO DE WETLANDS CONSTRUÍDAS EM ZONAS RURAL E URBANA

Realizou-se um estudo exploratório sobre o tema, através de consulta a bibliografias técnicas e trabalhos realizados, que enfocassem a importância e as alternativas viáveis para o tratamento descentralizado de efluentes através do uso de *wetlands* construídas em zonas rural e urbana. Baseando-se nas informações obtidas, uma discussão foi realizada.

Por se tratar de um trabalho majoritariamente teórico, baseado em dados da literatura, a revisão bibliográfica é utilizada como forma de obtenção de resultados e insumo para discussão do tema.

- **PARTE 2. PROJETO DE APLICAÇÃO DE UM SISTEMA DE WETLAND CONSTRUÍDA EM TERRENO EXISTENTE NO MUNICÍPIO DE TOLEDO (MG)**

A aplicação do sistema de tratamento de efluentes com uso de *wetlands* construídas foi proposta para uma residência do município de Toledo. Para isso, realizou-se o levantamento dos dados topográficos, demográficos e estimou-se as características do efluente doméstico produzido baseando-se em dados da literatura para tal aplicação. O cálculo do sistema de tratamento foi baseado em Weber (2015).

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E RESULTADOS DA PESQUISA: EXPLORAÇÃO DO TEMA WETLANDS CONTRUÍDAS

3.1. Principais Características do esgoto doméstico

Segundo Von Sperling (1996) e Jordão & Pessôa (2011), 99.9% do esgoto doméstico é constituído de água. Entre os outros 0,1% estão inclusos sólidos orgânicos e inorgânicos que podem estar tanto na forma suspensa como na dissolvida.

Encontram-se elevadas concentrações de carbono orgânico, nitrogênio, fósforo, cloreto, sódio, magnésio, sulfato e alguns metais como ferro, zinco e cobre como também a presença de microrganismos patogênicos (Hirata, 2009).

Os esgotos sanitários variam, em função de diversos fatores desde o clima até costumes culturais. Por outra razão, variam também ao longo do tempo, o que torna complicada sua caracterização. Metcalf & Eddy (2003) classificam os esgotos em forte, médio e fraco, conforme as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físico-químicas dos esgotos. Fonte: Metcalf & Eddy (2003)

Característica	Forte	Médio	Fraco
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20}) (mg/L)	400	220	110
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/L)	1.000	500	250
Carbono Orgânico Total (COT) (mg/L)	290	160	80
Nitrogênio Total – NTK (mg/L)	85	40	20
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	35	15	08
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	50	25	12
Fósforo Total (mg/L)	15	08	04
Fósforo Orgânico (mg/L)	05	03	01
Fósforo Inorgânico (mg/L)	10	05	03
Cloreto (mg/L)	100	50	30
Sulfato (mg/L)	50	30	20
Óleos e Graxas (mg/L)	150	100	50

Na Tabela 2 são apresentadas as concentrações típicas das diversas frações de sólidos em esgotos.

Tabela 2 - Concentrações de sólidos em esgotos. Fonte: Metcalf & Eddy (2003).

Característica	Forte	Médio	Fraco
Sólidos Totais (mg/L)	1.200	720	350
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	850	500	250
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	850	500	250
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	525	300	145
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	350	220	100
Sólidos em Suspensão Fixos (mg/L)	75	55	20
Sólidos em Suspensão Voláteis (mg/L)	275	165	80
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	20	10	05

Na Tabela 3 são apresentadas algumas características biológicas dos esgotos, importantes para referenciar as necessidades de desinfecção. Embora a legislação seja restrita aos índices de coliformes, aplicações dos esgotos como na agricultura podem exigir o controle de outros indicadores (PIVELI, 2006).

Tabela 3 - Concentrações de organismos em esgotos. Fonte: Metcalf & Eddy (2003)

Característica	Valor Médio
Bactérias Totais (/100 ml)	$10^9 - 10^{10}$
Coliformes Totais (NMP/100 ml)	$10^7 - 10^8$
Coliformes Fecais (NMP/100 ml)	$10^6 - 10^7$
Estreptococos Fecais (NMP/100 ml)	$10^5 - 10^6$
Salmonella Tipos (/100 ml)	$10^1 - 10^4$
Cistos de Protozoários (/100 ml)	$10^2 - 10^5$
Vírus (/100 ml)	$10^3 - 10^4$
Ovos de Helmintos (/100 ml)	$10^1 - 10^3$

3.2. Impactos do lançamento de efluente nos corpos d'água

A descarga abusiva de esgoto nos recursos hídricos gera impactos ao meio ambiente, uma vez que modifica suas propriedades físico-químicas, causando sua degradação. O nitrogênio e o fósforo são elementos de enorme importância em termos do monitoramento da poluição das águas, uma vez que, estes contribuem para o crescimento de algas que podem causar a eutrofização de corpos d'água, além de ser indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgoto (Recesa, 2008). Entre os diversos microrganismos encontrados nos rios e esgotos as bactérias são as mais importantes, pois são responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica (Jordão e Pessoa, 2009).

Alguns dos problemas relacionados à eutrofização, citados por Von Sperling (1996) são. Depreciação dos valores recreacionais, devido a:

- Crescimento excessivo de algas e vegetação, especialmente macrófitas;
- Baixa transparência da água;
- Fedor;

- Dificuldade na movimentação de embarcações e consequente dificuldade na atividade pesqueira.
- Aumento do número de mosquitos devido à maior concentração de detritos orgânicos nas raízes das plantas;
- Produção de toxinas por algumas espécies de algas, o que impede que a água seja utilizada para o abastecimento de água;
- Condições anaeróbicas no fundo do corpo de água resultante do aumento de bactérias heterotróficas que consomem oxigênio dissolvido da água em seus processos biológicos.
- O aumento de bactérias ocorre devido à ausência de luz e diminuição do oxigênio dissolvido nas áreas profundas. Estas condições determinam que o fosfato está na forma solúvel, sendo fonte interna de fósforo para as algas;
- Mortalidade de peixes e redução da diversidade de plantas e animais;
- Custos mais altos de tratamento de água devido à remoção de algas, remoção de cor, sabor e odor, maior consumo de produtos químicos e a necessidade de lavagem mais frequente dos filtros;
- Sedimentação do corpo de água devido ao acúmulo de material e vegetação no fundo.

3.3. *Wetlands* construídas

As *wetlands* construídas são um sistema de tratamento e polimento de esgotos com eficácia comprovada. As principais vantagens de sua utilização são o baixo custo de implantação e manutenção, bem como a simplicidade de operação.

Os sistemas de *wetlands* construídas são sistemas que utilizam a tecnologia para reproduzir os sistemas de *wetlands* naturais (Beda, 2011).

Segundo Calijuri (2009), as *wetlands* podem ser uma opção para o pós-tratamento de efluentes, uma vez que são capazes de detectar médias de 70, 80 e 60% para os principais

suspensos, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}) e Demanda química de Oxigênio (DQO), respectivamente.

A remoção de nutrientes ocorre através de mecanismos químicos no solo e absorção pela biomassa vegetal.

A remoção de bactérias ocorre pela presença de bacteriófagos, floculação e precipitação de partículas que arrastam as bactérias para o fundo do sistema (Costa, 2004).

Como tratamento secundário ou terciário as *wetlands* construídas produzem efluentes de qualidade aceitável para lançamento em corpos hídricos ou reutilização para fins considerados não nobres (Beda, 2011).

Estes sistemas são projetados com maior grau de controle, uma vez que é possível definir a composição do substrato, escolher o tipo de vegetação, selecionar o local, definir o tempo de detenção e realizar o controle hidráulico (Cunha 2006).

A vantagem de utilizar estes sistemas é o menor custo de implantação e operação, menor exigência de manutenção e operação fácil. Este tipo de tecnologia é mais acessível para as comunidades isoladas, pequenas e complexas e tecnológicas. (Valentim 2003)

Segundo Zanella, 2008 como ainda não há padronização na nomenclatura dada aos sistemas de *wetlands* construídas, há certa dificuldade no reconhecimento dos estudos e na consolidação deste sistema no Brasil Como exemplo desta variação, podem ser citados:

- Alagados construídos;
- Banhados construídos;
- Filtro plantado com macrófita;
- Fitorremediação;
- Leito de macrófitas;
- Leitos cultivados;
- Sistema alagado construído;
- Sistema de plantas aquáticas emergentes;
- Zona de raízes ou Root zone;
- Zona alagadiça e;

- Zonas artificiais.

Blumberg (2009) enumera o uso de *wetlands* construídas em diversas aplicações, destacando-se:

- Tratamento de efluentes domésticos;
- Tratamento de Efluentes Industriais;
- Tratamento terciário de efluentes pré-tratados em plantas convencionais de tratamento de águas residuárias;
- Tratamento e retenção de águas pluviais;
- Tratamento natural de rios e lagos poluído.

De acordo com Vymazal (2006) as *wetlands* construídas, têm sido utilizadas para o tratamento de águas residuais por mais de 40 anos e tornaram-se uma tecnologia amplamente aceita, disponível para lidar com ambas as fontes pontuais e difusas de poluição da água. Esta tecnologia oferece baixos requisitos operacionais em alternativa aos sistemas convencionais de tratamento, especialmente para as pequenas comunidades e locais remotos.

Estes sistemas podem ser construídos para tratamento de diversos efluentes, tais como esgotos domésticos (níveis preliminar, primário, secundário e terciário), efluentes industriais e agroindustriais, líquidos percolados de aterros sanitários, efluente de drenagem ácida de mina, águas de drenagem pluvial, águas subterrâneas, águas para reuso, efluentes da indústria de suinocultura e indústrias de papel (Iwa, 2000).

Na tabela 4 é apresentada uma síntese das aplicações das *wetlands* no tratamento de efluentes.

Tabela 4 - Possibilidades de aplicação dos wetlands. Fonte: Adaptado de Costa (2013).

Aplicação	Conceito	Utilização
Tratamento primário e secundário	Completo tratamento da água, incluindo remoção de nutrientes	Indicados para pequenas comunidades, hotéis, condomínios, casas isoladas e tratamento de dejetos de confinamentos (gado leiteiro e de corte, suinocultura)
Desinfecção	Determina as condições de remoção de vários indicadores de microrganismos e suas condições de eliminação e monitoramento	Remoção dos micro-organismos patogênicos da água
Polimento terciário	Caracterizado por Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) elevado, principalmente para remoção de fósforo	Tratamento de efluentes de indústrias de processamento de alimentos, papel, petroquímicas e abatedouros.
Escoamento superficial	Identificação de estratégias e locais apropriados ao manejo de escoamento superficial	Possibilidade de utilização em microbacias
Manejo de materiais tóxicos	Conhecimento e modelagem da remoção de substâncias tóxicas	Tratamento de águas de minas de carvão e de chorume de aterro sanitário
Tratamentos de Águas	Desenvolvimento de acordo com os níveis de tratamento dos efluentes exigidos para reuso pretendido.	Com uso potencial para indústrias de Tratamento de processamento de alimentos e destinadas ao reuso confinamentos de animais

3.4. Mecanismos de remoção do sistema de *wetlands* construídas

As *wetlands* construídas têm capacidade para remoção de vários poluentes. A Tabela 5 apresenta um resumo dos constituintes e respectivos mecanismos de remoção.

Tabela 5 - Constituintes e mecanismos de remoção do sistema de *wetlands* construídas.

Extraído de: Adaptado de COOPER et al. (1997).

Constituintes	Mecanismos de remoção
Sólidos Suspensos	Sedimentação e filtração
Metais	Complexão, precipitação Utilização pela planta Oxidação redução (bioquímica) Sedimentação Filtração
Patógenos	Predação, morte natural, irradiação UV e excreção de antibiótico proveniente das raízes das macrófitas
Fósforo	Adsorção, utilização pela planta e adsorção e troca de cátions
Nitrogênio	Utilização pela planta Volatilização de amônia
Material orgânico solúvel	Degradação aeróbia e anaeróbia Amonificação, nitrificação e desnitrificação (biológico)

Os microrganismos são fundamentais para remoção de nitrogênio. É exemplo de um trabalho que investigou essas questões a fundo com microbiológica molecular (FISH).

3.5. Remoção de nitrogênio nas *wetlands* construídas

O nitrogênio encontrado nas *wetlands* são provenientes do esgoto afluyente no sistema e pode ser encontrado na forma de compostos orgânicos e inorgânicos em diferentes fases de oxidação.

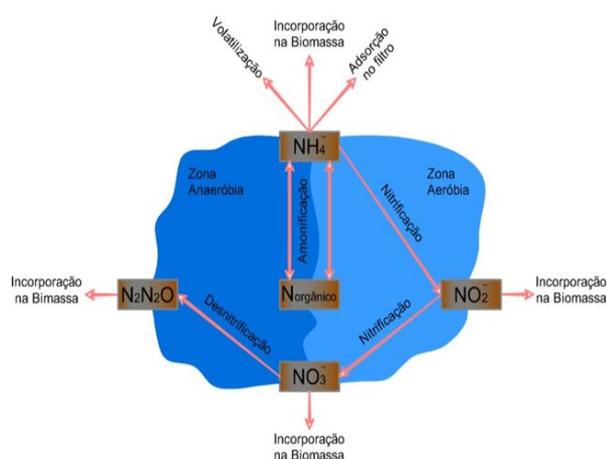
Na tabela 6 são apresentados alguns exemplos destes compostos.

Tabela 6 - Formas de nitrogênio. Fonte: Sezerino (2006).

Compostos	Formas encontradas
Orgânicos	Aminoácidos, Uréia, Ácido úrico, Purinas, Pirimidinas, Amônia (NH ₄ e /ou NH ₃)
Inorgânicos	Nitrito (NO ₂), Nitrato (NO ₃), Óxido nítrico (NO), Óxido nítrico (N ₂ O), Nitrogênio gás (N ₂).

Segundo van Handel (2009) a remoção de nitrogênio nas *wetlands* construídas se dá pelos processos sequenciais de nitrificação e desnitrificação em presença de oxigênio, portanto, só é possível em ambientes aeróbios. Após esta sequência de reações, o nitrogênio amoniacal é convertido em nitrogênio molecular, que é liberado na atmosfera na forma de gás nitrogênio (N₂). Resumidamente, o processo de conversão do nitrogênio ocorre em três processos: assimilação de amônia; nitrificação e desnitrificação (Handel, 2009). Alguns trabalhos como o de Wallace e Austin (2008) questionam essa perspectiva. Na Figura 1 é apresentado um desenho esquemático dos processos de transformação do nitrogênio.

Figura 1 - Esquema das transformações do nitrogênio. Fonte: Adaptado de Sezerino (2006).



3.6. Remoção de fósforo nas *Wetlands*

A remoção de fósforo é obtida por meio de imobilização microbiana, retenção do subsolo, precipitação na coluna d'água e, essencialmente, pela absorção das plantas e pela precipitação e adsorção no meio filtrante. Ao contrário do nitrogênio e do carbono, o fósforo não pode ser incorporado nas zonas radiculares por processos metabólicos, e não há perdas devido à forma gasosa. Desta forma, o fósforo tende a se acumular no sistema (Akratos e Tshirintzis, 2007).

Durante a fase de crescimento, as plantas consomem fósforo, principalmente durante o período de floração e após esse período é necessário colher a vegetação, uma vez que o fósforo pode retornar ao sistema devido à deterioração natural da planta.

O meio de filtração tem capacidade limitada de adsorção de fósforo e, quando esse limite é excedido, esse processo de eliminação de fósforo é reduzido (Soares, 2012).

3.7. Tipos de *wetlands* construídas

Algumas classificações foram realizadas para diferenciar os tipos de *Wetlands* e consideram os seguintes parâmetros (Zanella 2008):

- Nível de água;
- Tipo de leito;
- Direção do fluxo hidráulico
- Espécies de vegetação usada.

De acordo com esta classificação, pode-se dizer que os *Wetlands* construídas são classificados em escoamento vertical, horizontal e híbrido.

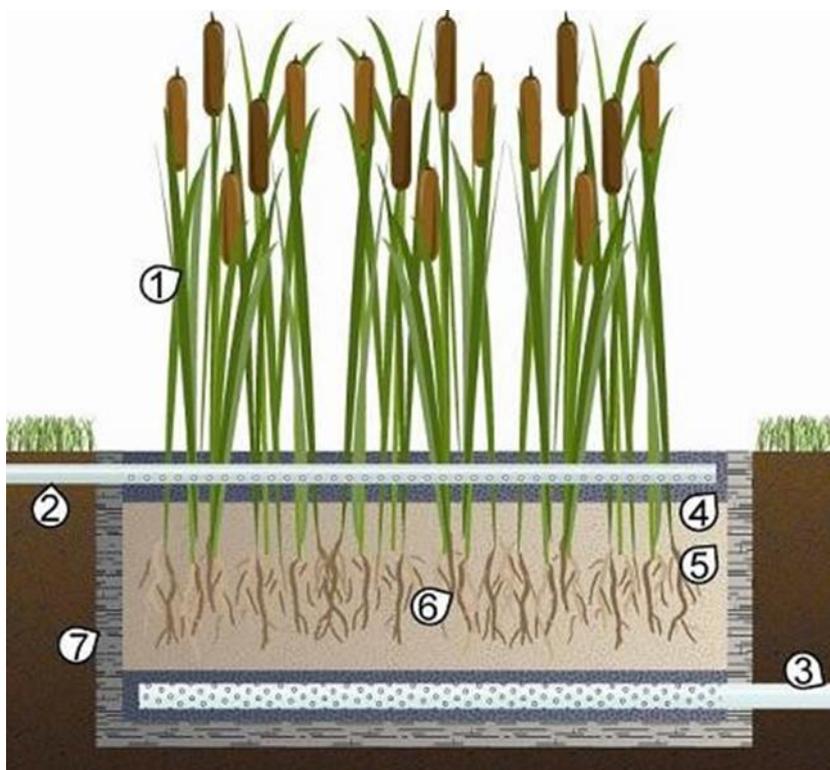
i. Escoamento vertical com alimentação intermitente.

Este sistema consiste em uma cama de filtro (cascalho ou areia) plantada com macrófitas emergentes. O efluente a ser tratado é continuamente descartado em lote e é drenado verticalmente para baixo através do filtro (Iwa, 2000).

Na parte inferior do sistema, o efluente é coletado através de um sistema de drenagem. Após a drenagem do efluente, o leito do filtro fica livre, o que permite a reentrada do ar no leito.

Na próxima purga, o esgoto sequestra o ar dos poros da cama e, juntamente com a aeração causada pela alimentação rápida, ocorre a transferência de oxigênio. Essa oxigenação permite a decomposição da matéria orgânica e a nitrificação do nitrogênio amoniacal total. A principal característica desse sistema é sua alimentação intermitente. Necessário que o ciclo das bombas seja devidamente projetado para que se possa obter uma nitrificação significativa (Platzer, 1999). Na Figura 2 é apresentado um desenho esquemático deste sistema.

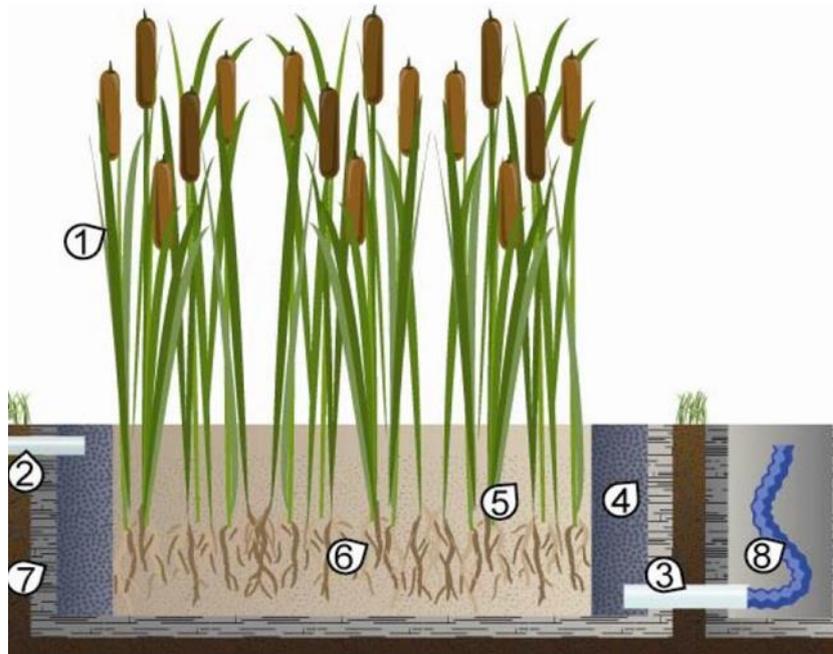
Figura 2 - Esquema de *wetlands* de escoamento vertical. Legenda: 1) macrófitas; 2) tubulação de alimentação perfurada; 3) sistema de drenagem; 4) brita; 5) areia; 6) raízes e rizomas; 7) impermeabilização. Fonte: Olijnyk, 2008.



ii. Escoamento horizontal

Neste sistema a água ou efluente escoam em um caminho mais ou menos horizontal até a saída do sistema (Olijnyk, 2008). O oxigênio necessário para a degradação da matéria orgânica é fornecido pela incorporação de ar na atmosfera. Na Figura 3 é apresentado um desenho esquemático deste sistema.

Figura 3 - Esquema de uma *wetlands* de escoamento horizontal. Legenda: 1) Macrófitas; 2) Tubulação de alimentação perfurada; 3) Tubulação de coleta perfurada; 4) brita na zona de entrada e de saída; 5) Areia no leito filtrante; 6) Raízes e rizomas; 7) Impermeabilização da lateral e do fundo; 8) Tubulação de controle de nível. Fonte: Olijnyk (2008).



Na tabela 7 é apresentado um resumo das vantagens e desvantagens dos sistemas de *wetlands* com escoamento vertical e horizontal.

3.8. Critérios para construção de *wetlands* construídas

Para melhorar o desempenho do sistema, você precisa conhecer seus parâmetros de dimensionamento. Em geral, um critério para a concepção e configuração de um sistema de tratamento de águas residuais de *Wetlands* construídas é a relação de m² por pessoa.

Knupp (2013) ressalta a importância da determinação de critérios próprios para o projeto, com o objetivo de promover máxima eficiência e mínima manutenção no sistema de tratamento.

A Tabela 8 apresenta os critérios para construção de uma *wetlands* construídas em relação aos fluxos superficial e subsuperficial. Salati (1998) relata que os parâmetros de controle e construção de uma *wetlands* construída dependem das características pretendidas para o efluente final, descreve também que o tempo de detenção hidráulica pode variar de 5 a 15 dias.

Tabela 8 - Critérios para construção de *wetlands* construídas. Extraído de: KLETECKE, 2011.

Parâmetros	Fluxo superficial	Fluxo subsuperficial
Tempo de detenção hidráulica (dia)	5 a 14	2 a 7
Taxa máxima de carregamento (kgDBO/hab.dia)	80	75
Profundidade substrato (cm)	10 a 50	10 a 100
Taxa de carregamento hidráulico (mm/dia)	7 a 60	2 a 30
Controle de mosquito	Necessário	Não é necessário
Relação comprimento: largura	2:1 a 10:1	0,25:1 a 5:1
Área requerida (há/m ³ .dia)	0,002 a 0,014	0,001 a 0,007

3.9. *Wetlands* construídas no Brasil

No Brasil, o uso dessa tecnologia está em expansão. Com as metas de universalização do saneamento estabelecidas pelo governo federal, o mercado de saneamento está esquentando e as perspectivas de uso das áreas alagadas construídas são grandes. "Temos clima favorável, áreas disponíveis, rica biodiversidade de plantas e domínio das técnicas de construção. O cenário nacional é a falta de serviços de tratamento de esgoto e essa tecnologia pode contribuir para reverter essa realidade", diz Barreto (2016).

Segundo Barreto (2016), várias universidades estão trabalhando duro para testá-lo e difundi-lo, e já existem várias instalações em escala real. "Na Região Sul existem sistemas de *wetlands* implantadas em pequena, média e grande escala para o tratamento de esgoto e instalações de tratamento de lodo de ETEs e fossa séptica", observa o gerente executivo da *wetlands* construídas.

Como o mercado de *wetlands* no Brasil ainda é novo, apesar de sua forte consolidação em países da Europa, tem potencial a ser desenvolvido. Caso de diversos municípios que adotam a solução para tratamento de esgotos domésticos, principalmente no Estado de São Paulo, mas também em Minas Gerais, Paraná e Bahia. Empresas que oferecem esse tipo de serviço vêm crescendo muito também.

Para Sezerino (2015), os *wetlands* são utilizados como etapa de tratamento secundário para pós-tratamento de decanto-digestores tipo tanque séptico, reator anaeróbio compartimentado, reatores UASB ou lagoas anaeróbias. Utilizado também na distribuição pública em Estação de Tratamento de Água (ETA) que possui um manancial com baixa qualidade. Nesse caso, um sistema de *wetlands* construídas poderia ser previsto como um pré-tratamento para reduzir os custos de operação da ETA.

O primeiro projeto de *wetlands* no Brasil foi realizado por Salati e Rodrigues em 1982 com a construção de um lago artificial perto do rio Piracicamirim, muito poluído, na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), em Piracicaba. Desde essa época para cá, muitos outros projetos foram desenvolvidos no Brasil. Existem várias estações de tratamento de efluente líquido implantadas com *wetlands* construídas, como as projetadas pelo Instituto de Ecologia Aplicada de Piracicaba (SP). Segundo Sezerino et al (2015), grande parte dos trabalhos desenvolvidos no Brasil utiliza *wetlands* construídas de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal.

3.10. Alternativas de tratamento de esgoto doméstico na zona urbana

Conforme mostrado no levantamento bibliográfico, abaixo são citadas algumas alternativas utilizadas para o tratamento de esgoto doméstico na zona urbana.

a) Lodo ativado: é constituído por um reator onde os microrganismos responsáveis pelo tratamento são mantidos em suspensão e recebendo aeração constante, um tanque de sedimentação para separação líquido-sólido e um sistema de reciclagem, que retorna os sólidos sedimentados para dentro do reator segundo Metcalf & Eddy (1991), citado por Guimarães (2017). Algumas características são necessidade de pequena área física, elevado grau de eficiência de remoção de matéria orgânica e nitrogenada, Segundo Guimarães (2017) é capaz de remover até 90% da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e 95% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) presente nas águas residuais, necessidade de análise e monitoramento e controle do processo, exige operadores qualificados, e os custos estão ligados ao consumo de energia elétrica, consumo de produtos químicos e a capacitação dos operadores responsáveis. (COMUSA, 2017).

b) Reator UASB (*upflow Anaerobic Sludge Blanket*): é uma tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição anaeróbica da matéria orgânica. (Versani 2005), algumas vantagens são alto grau de estabilização do efluente, baixa produção de lodo, baixa remoção de nutrientes, baixa demanda por área e custos baixos de implantação, baixo consumo de energia; e algumas desvantagens são necessidade de pós-tratamento, temperatura relativamente alta 30° a 35°.

3.11. Alternativas de tratamento de esgoto doméstico na zona rural

Conforme mostrado no levantamento bibliográfico, abaixo são citadas algumas alternativas utilizadas para o tratamento de esgoto doméstico na zona rural.

Fossas sépticas: são unidades de tratamento primário de esgoto doméstico nas quais são feitas a separação e a transformação da matéria sólida contida no esgoto, iniciando a purificação do líquido. Normalmente, são constituídas de um tanque enterrado, sendo recomendando que a parte líquida seja enviada para sumidouros ou valas de infiltração, enquanto os sólidos ficam retidos no fundo da fossa (Mma, 2009).

Fossa séptica biodigestora: o sistema desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para o tratamento de águas negras é composto por três caixas coletoras com 1.000 litros cada uma, que ficam enterradas no solo, interligadas por tubulação de poli cloreto de polivinila (PVC). Para ativar o processo de biodigestão, adiciona-se esterco bovino ou de outro animal ruminante, ao final do processo é produzido um adubo natural 21 líquido, que pode ser utilizado para fertilizar e irrigar o solo (Fundação banco do Brasil, 2010).

Filtro anaeróbio: remove parcialmente a matéria orgânica remanescente dos tanques sépticos, através da retenção de sólidos de pequenas dimensões, por contato com o material suporte (normalmente pedra britada) recoberto com biofilme, por sedimentação forçada nos interstícios e pela ação metabólica dos microrganismos do biofilme e do lodo retido nos interstícios sobre a matéria dissolvida (Galvão Junior; Moreno; Magalhães, 2001). O recheio de bambu também tem sido pesquisado e utilizado como material suporte, por tratar-se de um método de baixo custo, que consome pouca energia e produz quantidade pequena de lodo, no entanto, a remoção de organismos patogênicos, nutrientes e matéria orgânica, não atende aos padrões de lançamento da legislação brasileira (Camargo; Hour, 2001).

Filtro de areia: seu funcionamento baseia-se na aplicação intermitente de afluente sobre a superfície de um leito de areia por meio de uma tubulação de distribuição. Durante a infiltração do líquido incide a purificação por mecanismos físicos, que consistem na retenção de sólidos entre as partículas de areias, químicos, dados pela retenção química entre partículas do efluente e do leito, e por fim, e mais importante, biológicos, que consistem na decomposição do material orgânico por microrganismos decompositores (Ausland, 2002).

Escoamento superficial no solo: neste método utiliza-se da declividade do terreno para tratamento. O efluente líquido é disposto na parte superior do terreno, percorre por gravidade todo o terreno, sendo alguma parcela perdida por evapotranspiração e uma pouca parte por percolação, a maior parte é coletada na base do declive. É um sistema indicado para terrenos com pequena declividade, de 2 a 8%, e de solo de baixa permeabilidade. Possui alta remoção de demanda bioquímica de oxigênio DBO, sólidos suspensos e nitrogênio (Tonetti, 2009; Couracci Filho, 1999).

4. DISCUSSÃO DO LEVANTAMENTO DE DADOS: APLICABILIDADE DO SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDAS

4.1. Benefícios da aplicação das *wetlands* construídas

Dentre os sistemas alternativos de tratamento de efluentes, a *Wetlands* Construídas surge como uma alternativa para o tratamento de esgoto sanitário descentralizado. Esse sistema é vantajoso devido ao baixo custo de implantação e operação, sua eficiência na desinfecção dos esgotos sem a necessidade de aditivos químicos, seus benefícios ao meio ambiente. Aplicado como sistema de tratamento secundário pode ser implementado juntamente às fossas sépticas.

Em zonas rurais, locais onde a fossa séptica é amplamente utilizada, a aplicação do tratamento através das *wetlands* construídas torna-se interessante. Além dos benefícios citados acima, este sistema possui uma beleza estética que harmoniza com o ambiente rural. Ainda, as *wetlands* podem ser independentes de energia elétrica, trabalhando com uso da topografia do terreno e não necessita de produtos químicos, que muitas vezes para a área rural é de difícil acesso e alto custo.

Ainda avaliando sua aplicação na zona rural, a reutilização da água tratada por uma *wetlands* na irrigação pode se constituir numa importante vantagem econômica para os pequenos agricultores, uma vez que os nutrientes presentes no efluente tratado pelo sistema servem como fertilizantes para o crescimento das plantas. Outra vantagem econômica é a utilização da *wetlands* para o cultivo de plantas ornamentais, podendo servir como uma fonte de renda através da venda de flores de corte cultivadas ou de artesanatos produzidos com fibra ou folhagem, servindo como uma pequena fonte de renda auxiliar.

No Brasil, a coleta e tratamento de esgotos não abrangem as zonas rurais, deixando por conta do proprietário rural a destinação dos dejetos, que quase sempre se dá por meio de fossa negra. Fica evidente, portanto, a necessidade de aplicar técnicas alternativas e economicamente viáveis, principalmente em locais que geram fontes difusas de poluição, tais como unidades residenciais familiares e/ou pequenas coletividades, tanto urbanas quanto rurais, as quais não têm capacidade para suportar tecnologias que operam com certo grau de complexidade e que requerem mão de obra especializada (Philippi, 2007).

Roston (1994) desenvolveu um sistema para tratar a água residuária de duas casas de fazenda localizadas no Colorado/Estados Unidos. Foi avaliado o desempenho de dois WC com

Typha latifolia e um sem cultivo no tratamento do efluente do tanque séptico já existente na propriedade, tendo brita de 4 a 6 cm de diâmetro como meio suporte. Avaliou-se o afluente e o efluente dos LC e do não cultivado durante seis meses, obtendo, para os cultivados, a redução da demanda bioquímica de oxigênio DBO de 165 mg L⁻¹ para 13mg L⁻¹ (92%), do Nitrogênio total NTK de 38 mg L⁻¹ para 10 mg L⁻¹ (74%) e de coliformes fecais de 5x10⁵ NMP 100mL⁻¹ para 3x10⁴ NMP 100mL⁻¹ (94%), e para a testemunha redução da demanda bioquímica de oxigênio DBO de 165 mg L⁻¹ a 62 mg L⁻¹ (62%), do Nitrogênio Total NTK de 38 mg L⁻¹ a 26 mg L⁻¹ (32%). ROSTON (1994) concluiu que o sistema “tanque séptico e leitos cultivados com macrófitas de fluxo subsuperficial é um conjunto eficiente e barato para o tratamento de esgoto doméstico de áreas rurais e de pequenas comunidades”.

Resultados coletados através de diversas literaturas comprovam a eficiência da capacidade de detoxificação e desinfecção dos processos *Wetlands* construídas, representando uma alternativa promissora para a remoção de toxicidade em sistemas de captação e tratamento de água de pequenas propriedades rurais.

Porém na área urbana acaba sendo inviável sua aplicação pela ocupação de grandes áreas e da possibilidade de geração de odores.

4.2. *Wetlands* construídas nas Zonas Urbana e Rural: aplicações, vantagens e desvantagens.

Conforme o levantamento bibliográfico mostrou, as *wetlands* construídas podem ser aplicadas em diversos usos, como tratamento de efluentes domésticos, tratamento de efluentes industriais, tratamento terciário de efluentes pré-tratados em plantas convencionais de tratamento de águas residuárias, tratamento e retenção de águas pluviais e tratamento natural de rios e lagos poluído (Blumberg, 2009).

Com o levantamento de dados sobre o tema, podemos listar as maiores vantagens e desvantagens de sua aplicação e, assim, avaliar, sua melhor aplicabilidade. Algumas vantagens e desvantagens do uso de *wetlands* construídas citadas na literatura podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Vantagens e desvantagens do uso de wetlands construídas no tratamento de águas residuárias. Fonte: Cooper³, 1999; Chernicharo⁴, 2001; Denny⁵, 1997; Duarte⁶, 2002; IEA⁷, 2004; Koottatep⁸ et al., 2001; Senzia⁹ et al., 2003; Sivestre e Pedro-de-Jesus¹⁰, 2002 (apud Silva, 2007).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Custos de construção e operação relativamente baixos; • Fácil manutenção; • Tolerância a flutuações no ciclo hidrológico e nas cargas de contaminantes; • Não requer o uso de energia; • Redução da matéria orgânica e sólidos sedimentáveis; • Possibilidade de se obter alguns benefícios adicionais, tais como a criação de espaços verdes, de habitats naturais e de áreas recreacionais ou educacionais; • Não requer produtos químicos ou equipamentos mecânicos; • Podem ser construídos com solo e com mínimo de concreto e aço; • Possibilidade de um tratamento eficaz sem a necessidade de equipamentos complexos; • “Alta produção de biomassa que pode ser utilizada na produção de ração animal, energia (biogás) e biofertilizantes (compostos orgânicos)”; • Considerável redução de patógenos; • Remoção satisfatória de matéria orgânica, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Podem causar problemas com mosquitos; • Necessidade de caracterizações precisas dos sólidos do efluente a tratar, do tipo de enchimento, do ciclo hidrológico e do regime de temperaturas; • Colmatação que ocorre com alguma frequência, havendo, portanto, a necessidade do controle da carga hidráulica e de sólidos para minimizar este problema; • Alguns compostos orgânicos removidos pelo sistema podem estar ligados aos sedimentos e se acumularem ao longo do tempo; • Requer um período de início até a vegetação estar bem estabelecida; • Eficiências sazonais.

Com base na literatura e na tabela 9 podemos concluir que a aplicação das *wetlands* construídas na zona urbana torna-se limitada devido à área física para aplicação do sistema que necessita de uma disponibilidade maior de área, que muitas vezes se torna na zona urbana pela área disponível ser pequena, o sistema precisara ser próximo a residência e não é viável por se tratar de um tratamento de esgoto aberto pode gerar mal cheiro, tanto para quem mora na residência e para vizinhos próximos, o sistema de *wetlands* construídas atende uma quantidade de vazão menor para uma população de zona urbana que tem uma vazão de maior quantidade.

Já na zona rural, a aplicação das *wetlands* construídas torna-se viável devido ao baixo custo de implantação e operação, sua eficiência na desinfecção dos esgotos, não á a necessidade de aditivos químicos, não necessidade de energia elétrica para seu funcionamento, como a população na zona rural normalmente é menor o sistema de *wetlands* atende a quantidade de vazão, na área rural normalmente a área disponível é maior, a agua tratada pela *wetlands* pode ser utilizada como fertilização e adubo para, por exemplo, um pomar. A maioria das comunidades rurais não possuem tratamento de esgoto as *wetlands* construídas entra como uma possibilidade para melhorar a qualidade dos mananciais.

Podendo as desvantagens ser controladas como o caso do mau cheiro diversos trabalham citam formas de evitar, um exemplo citado são os copos de leite que plantados ao redor evita espalhar o mal cheiro, outros casos falam de das raízes que funcionam como filtro, eliminando o mau cheiro.

4.3. Aplicação teórica baseada em dados reais de uma *wetland* construída em uma residência na zona rural do município de Toledo-MG.

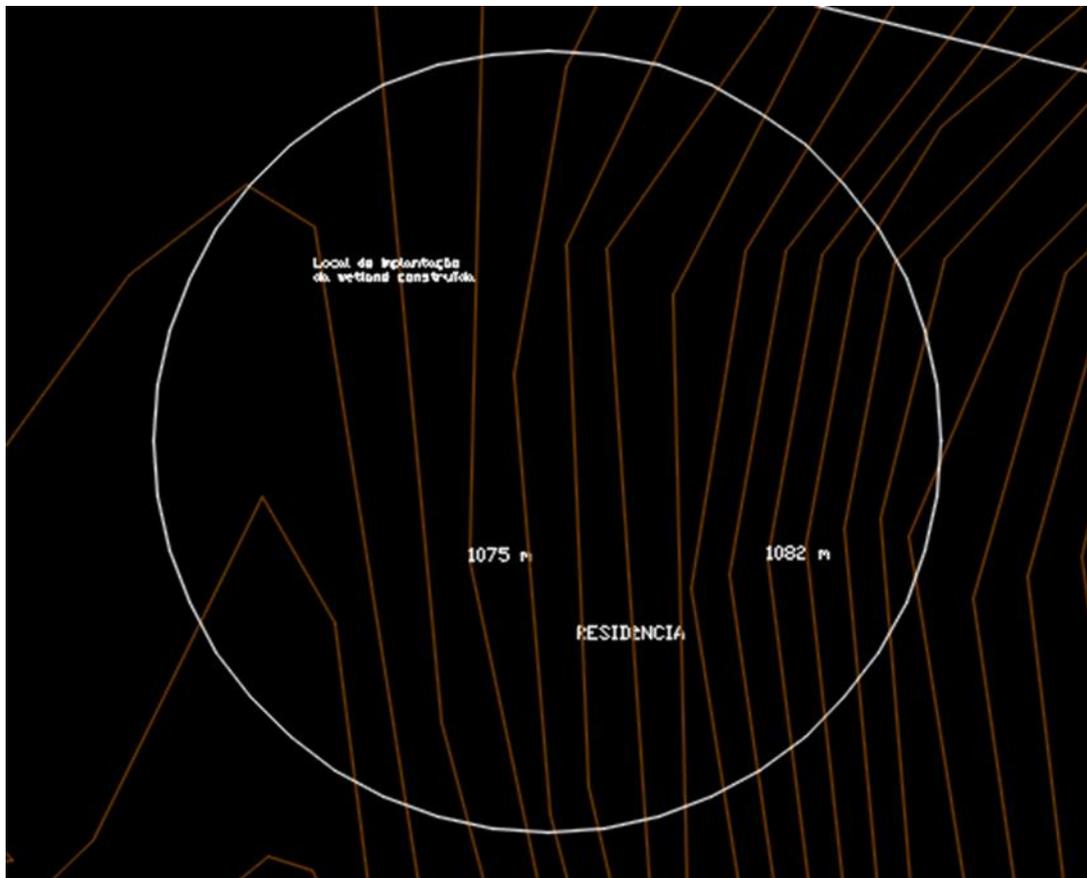
Com base na discussão apresentada nos itens anteriores, projetou-se uma *wetland* construída para uma residência na zona rural.

Os resultados apresentados no presente trabalho com relação a aplicação teórica são baseados em dois pontos: análise da topografia do terreno e vazão doméstica. Abaixo são apresentados os resultados do projeto teórico.

i. Levantamento topográfico e planta do terreno

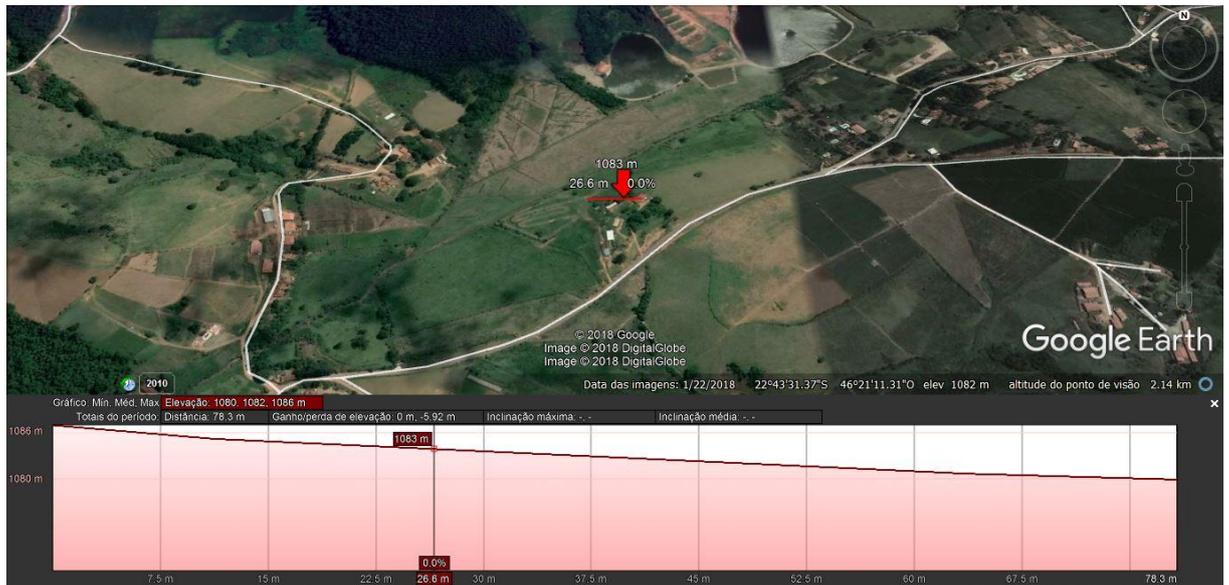
Em um primeiro momento realizou-se uma visita à propriedade. A residência utilizada para o projeto e dimensionamento do sistema da *wetlands* construída encontra-se na zona rural do município de Toledo cujas coordenadas geográficas são 22° 43'31'' S 46°21'10''O. A base cartográfica foi realizada através do auxílio dos softwares Google Earth, Global Mapper e Civil 3D, que realizou um levantamento topográfico da região dispondo de curvas de nível a cada 1 metro.

Figura 5 - Levantamento Topográfico do terreno para aplicação teórica da *wetlands* construída.



Como podemos observar pelo fato de as curvas de níveis estarem próximas nota-se que a declividade presente no local para a implantação da *wetlands* construída será mais íngreme.

Figura 6 - Dados de declividade. Fonte: Google Earth.



ii. Caracterização do efluente

A propriedade é composta de cinco pessoas, sendo a agricultura e a pecuária a principal atividade realizada no local. O local é caracterizado pela falta de um sistema de coleta de esgotos.

iii. Vazão de tratamento

Para o cálculo da vazão de entrada do sistema, foi considerado, o número máximo de contribuintes que utilizam da fonte geradora, no caso os banheiros da residência. O cálculo da vazão doméstica média de esgoto, adaptado de Metcalf e Eddy (1991), é dado por:

$$Q_{\text{méd}} = \frac{P \cdot q \cdot R}{1000}$$

Onde: $Q_{\text{méd}}$: vazão doméstica média de esgoto (m^3/d)

P = número de contribuintes (hab)

q = cota per capita de água (L/hab.dia)

R = coeficiente de retorno

Foi utilizada a norma técnica NBR 7229 (BRASIL, 1993), para obtenção dos valores de coeficiente de retorno ($R = 80\%$) do consumo local de água, assim como para valores da cota per capita de água ($q = 130$ L/hab.dia), residência de padrão médio, conforme indicado na Tabela 10, abaixo.

Tabela 10 - Valores médios de contribuição de esgoto. Fonte: Adaptado de NBR 7229, 1993.

Padrão da Residência	Contribuição de esgoto (L/pessoa.dia)
alto	160
médio	130
baixo	100

iv. Vazão doméstica

Usualmente, a vazão de esgoto é calculada da população de projeto e de um valor atribuído para o consumo médio diário de água de uma pessoa, denominado consumo *per capita* (q), enquanto o efluente que adentra a rede coletora é definido pelo Coeficiente de retorno (R). O consumo médio *per capita* do município de Toledo (MG) é estimado em 199,8 L/hab.dia Segundo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, enquanto coeficiente de retorno é definido em 0,8 pela NST 025, a população de projeto foi estimada em 5 habitantes. O cálculo da vazão média de esgoto é dado por:

$$Q_{\text{méd}} = \frac{P \cdot q \cdot R}{1000}$$

$$Q_{\text{méd}} = \frac{5 \cdot 199,8 \cdot 0,8}{1000} = 0,799 \text{ m}^3/\text{dia}$$

v. Modelo de dimensionamento para sistemas Wetlands construídas

Sezerino e Phillip (2004), considerando o processo de cinética de primeira ordem, a área superficial requerida pode ser obtida através da seguinte equação:

$$A = \frac{Q \cdot (\ln C_o - \ln C_e)}{KT \cdot p \cdot n}$$

Onde:

A = área superficial requerida (metros quadrados)

Q = vazão afluente (metros cúbicos/dia)

Co = concentração afluente em termos de DBO5 (miligrama/litro ou grama/metro cúbico)

Ce = concentração efluente em termos de DBO5 (miligrama/litro ou grama/metro cúbico)

KT = constante de reação de cinética de primeira ordem (d⁻¹)

P = profundidade média do filtro (metros)

n = porosidade do material filtrante (adimensional)

Considerando uma temperatura crítica de 15°C e substituindo na equação (KT = K20.(1,06)^{t-20}) obtêm-se um valor de KT equivalente a 0,60 e adotando a vazão afluente no *wetlands* como sendo de 0,799 m³/dia (799 Litros/dia), a concentração afluente em termos de DBO5 igual a 160 miligrama/litro (remoção de 60% nas etapas de tratamento primário e secundário), a concentração efluente em termos de DBO5 igual a 30 miligramas/litro, a profundidade média do filtro equivalente a 0,50 metros, a porosidade do material filtrante (areia grossa) como sendo de 0,40, substituindo na equação:

$$A = \frac{0,799 \cdot (\ln 160 - \ln 30)}{0,60 \cdot 0,50 \cdot 0,40} = 11,15 \text{ m}^2$$

Obtêm-se uma área requerida para a *wetlands* equivalente a 11,15 m². Como existem cinco ocupantes na residência, têm-se uma área de 2,23 m² de filtro plantado por pessoa.

A escolha do material filtrante utilizado na *Wetlands* construída foi optada pelas macrofilas pois, Segundo Sezerino e Phillip (2004). As macrófitas adaptam-se a uma ampla variedade de materiais filtrante, argila expandida e areia grossa. A argila expandida, segundo o catálogo do fornecedor do produto, Argex (2013), possui uma porosidade de 45% ($\alpha = 0,45$) e a areia grossa, segundo Metcalf e Eddy (1991), de 35% ($\alpha = 0,35$). Geralmente espécies como

a Taboa (*Typha spp*) ocupam de 30 a 40 cm de profundidade do material de enchimento, o que torna esta parte aerada e com probabilidade de aderência de microrganismos. (IWA, 2000; Sezerino e Phillip, 2004).

Segundo Sezerino e Phillip, (2004) as principais características que as macrófitas devem atender em sistemas do tipo *wetlands* são: tolerância a ambientes com excesso de água/salino ou até mesmo com pouca água; rapidez no crescimento; formação de volumosos sistemas radiculares; grande produtividade de biomassa; não serem invasoras; facilidade de manejo e possibilidade de reuso.

Segundo Weber (2015), a equação a seguir foi então adaptada para ser aplicada de maneira efetiva, considerando o volume mínimo demandado para o tempo de detenção hidráulica a ser utilizado. Sendo assim, temos que:

$$V = \frac{TDH \times Q}{\alpha}$$

Onde:

V = volume mínimo demandado (m³)

TDH = tempo de detenção hidráulica (d)

Q = vazão diária de esgoto (m³/ d)

α = porosidade média do meio suporte

Considerando o tempo de detenção hidráulica mínimo de 2,5 dias, a vazão diária de esgoto de 0,799 m³/d, e a porosidade média do meio suporte de 40% ($\alpha = 0,4$), aplica-se a equação anterior e temos que o volume mínimo demandado pela *wetlands* é de 4,99375 m³.

O projeto prevê o uso de camadas dispostas horizontalmente de pedrisco e areia grossa, localizados a 0,5 metros de profundidade, como elementos filtrantes da *wetlands* construída. Tubos de PVC serão utilizados para a distribuição do esgoto, que será concentrada na entrada e saída do sistema, sob o pedrisco. A areia grossa além de agir como material filtrante serve como um meio suporte para a fixação e crescimento das macrófitas. Para a regulação do nível do esgoto o projeto previu a utilização de um duto de PVC flexível ligado a saída da *wetlands* construída.

Portanto, para o sistema proposto neste estudo, a fim de atender o volume mínimo de 4,99375 m³, e considerando a área disponível para construção do sistema, a *wetlands* terá as

seguintes dimensões internas: 2,5 m de largura, 4,46 m de comprimento, com profundidade útil de 0,9 m.

4.4. Benefícios da aplicação das *wetlands* construídas para a propriedade e seus moradores

No atual estudo de caso, as vantagens para o proprietário residente seriam diversas. Podendo-se destacar o fato de que no terreno trabalham com uma pequena horta e pomar para o seu próprio consumo, a água tratada pelo sistema poderia ser usada para irrigação, adubação e fertilização. O esgoto que seria descartado no rio seria de melhor qualidade, esse mesmo rio que abastece a cidade de Toledo, proporcionaria uma melhoria na qualidade da água no manancial.

O uso de *wetlands* favorece a harmonia da paisagem, pode haver um controle de odores, porque no terreno a espaço para plantar, por exemplo, copos de leite para evitar mau cheiro, o sistema não emite ruídos, pois não precisa de energia. A vegetação pode atrair espécies de aves e pode ser habitável por peixes e girinos na saída do efluente, quando boa oxigenação é oferecida.

5. CONCLUSÃO

Os sistemas *wetlands* construídas é uma alternativa viável para o tratamento de esgoto doméstico em zonas rurais. Através da avaliação da literatura sobre o tema e de um projeto dentro da realidade de uma residência no município de Toledo (MG), o presente estudo demonstrou que o tratamento com sistemas *wetlands* construídas está associado a uma pequena demanda de área e baixos custos de operação e manutenção. Podemos concluir que as *wetlands* construídas são benéficas para o meio ambiente, de fácil implantação e operação, podendo trazer benefícios extras para o morador da residência.

REFERÊNCIAS

ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

AKRATOS, C.; TSIHRINTZIS, V., **Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands**. *Ecological Engineering*, 29 (2), 173-191, 2007.

BARRETO, A.B. **O Estado da arte dos *wetlands* construídos**. Dr. MSc. Biólogo Sanitarista – Gestor Executivo na *Wetlands* construídos. Univeridade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte e Região, Brasil.

BAVOR, H. J.; ROSER, D. J.; FISHER, P. J.; SMALLS, I.C. “Performance of solid-matrix wetland systems viewed as fixed-film bioreactors”. In: D.A. Hammer (ed.) *Constructed wetlands for wastewater treatment, municipal, industrial, and agricultural*. Chelsea-EUA, Lewis Publishers, Cap. 39k, pp. 646–656. 1989.

BEDA, J. N. **Determinação do coeficiente de decaimento bacteriano em Wetland (Alagado construído)**. 2011, 50f., Dissertação de mestrado em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 377, de 09 de outubro de 2006. Dispõe Sobre Licenciamento Ambiental Simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário. [on line] Brasília, 10 out 2006. [acesso em 13 maio 2018]. Disponível em:<URL: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=507>>

CALIJURI, Maria L., BASTOS, Raphael K. X., MAGALHÃES, Tiago B., CAPELETE, B. C., DIAS, E. H. O. et al. **Tratamento de esgotos sanitários em reatores UASB/ wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes**. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. V.14 n. 3. Jul/set 2009.p 421-430.

COMUSA, **Serviços de água e esgoto de Novo Hamburgo.**

COOPER, P.; SMITH, M.; MAYNARD, H. The design and performance of a nitrifying vertical-flow reed bed treatment system. **Water Science Technology**, v. 35, n. 5, p. 215-221, 1997.

COOPER, P.; GRIFFIN, P.; HUMPHRIES, S.; POUND, A. **Design of a hybrid reed bed system to achieve complete nitrification and denitrification of domestic sewage.** Wat. Sci. Tech., v.40, n.3, p. 283-289, 1999.

COSTA, S. P.. **Avaliação do potencial de plantas nativas no tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais em wetlands construídos** / SylviaMaria Souza Pereira da Costa .-Campinas, SP: [s.n.],2004

COSTA, J. F. da. **Remoção de poluentes em um sistema de alagados construídos atuando como pós tratamento de efluente de reator UASB e de filtro biológico percolador.** 2013. 193 f. Dissertação (Doutorado em saneamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

CUNHA, C. de A. G. da. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria de qualidade das águas.** 2006. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

GOOGLE EARTH – SOFTWARE. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 18/09/2018.

GUIMARÃES, N.R. **Impacto da Coagulação Química na Remoção de Compostos Orgânicos em Efluente Tratado por Processo de Lodos Ativados.** Tese – Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental, São Paulo 2017.

HAANDEL A. van, KATO, M., Sperling, M.von. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção.** In: BASTOS, F. S., SPERLING, M. Von. Cap. 6 Rio de Janeiro, ABES / Proj. PROSAB. 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores de desenvolvimento sustentável. Dimensão ambiental – saneamento. Acesso ao esgotamento sanitário. Tabela 59. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/ids2010.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2018.

IWA – International Water Association. **Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation**. Scientific and Technical Report. No. 8. London, England: IWA Publishing, 2000. 156 p.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2009.

KADLEC, R. H. E KNIGHT, R.L. **Treatment Wetlands**. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers. 1996, 893p.

KLETECKE, R. M. Remoção/exportação de nutrientes de esgoto doméstico utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta*. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 310p. 2011.

KNUPP, A. M. **Desempenho de um sistema composto por um filtro anaeróbico e um wetland horizontal na produção de água para reuso predial a partir de água cinza clara**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, ES, 2013.

METCALF & EDDY, INC. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4. ed. Boston: McGraw-Hill, 2003.

OLIJNYK, D. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

Piveli RP, Kato MT. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES; 2006.

PHILIPPI, Luiz Sérgio. SEZERINO, Pablo Heleno. **Aplicação de Sistemas Tipo Wetlands no Tratamento de Águas Residuárias: Utilização de Filtros Plantados com Mácrófitas**. Florianópolis, ed. do Autor, 2004. p.144

PLATZER, C. (1999). **Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification**. Wat. Sci. Tech., v. 40, n. 3, pp. 257- 263.

PNSB – (2000) – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Ministério do Planejamento, 2000. Orçamento e Gestão. Instituto de Geografia e Estatística – IBGE. Diretoria de Pesquisa. Departamento de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro.

Roston, D. M. e Collaço, A, B. (2003). “Leitos cultivados: pneu picado como meio suport”. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e ambiental, Joinville, Santa Catarina, Brasil.

Roston, D. M. e Mansor, A. T. (1999). “Tratamento de esgotos por sistema de leitos cultivados de vazão sub-superficial: avaliação da remoção de Nitrogênio”. Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e ambiental, Riocentro, Rio de Janeiro, Brasil.

ReCESA 2 – **Rede Nacional de Extensão e Capacitação Tecnológica em Saneamento Ambiental**. Esgotamento sanitário: Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: Guia do Profissional em Treinamento – nível 2. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte, 2008. 112p.

Robert H. Kadlec and Scott Wallace. -- 2nd ed. p. **Treatment wetlands** (2008).

SALATI, E. **Controle de qualidade de águas através de sistemas de wetlands construídos**. Rio de Janeiro: FBDS. 1998. Disponível em:<http://fbds.org.br/Apresentacoes/Controle_Qualid_Agua_Wetlands_ES_out06>. Acesso em 30.06.18.

SALATI E. **Utilização de sistemas de Wetlands Construídos para Tratamento de Águas** – Relatório Técnico para o programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da EESC. São Carlos, 36 p, 2000.

SEZERINO, Pablo H. **Aplicação de wetlands construídos no tratamento de águas residuárias.** 2014. 57 slides. Disponível em: <<http://www.wetlandsconstruidos.blogspot.com.br/> Acesso em: 12 agosto 2018. >

SEZERINO, P.H., **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 171 p, 2006.

SILVA, S. C. (2007) **“Wetlands construídos” de fluxo vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgotos Domésticos,** Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.TD-003/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF 205p.

SOARES, M. M. S. **Avaliação do desempenho de leitos de macrófitas face à aplicação de cargas orgânicas crescentes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012. SOUZA, J. T.; van HAANDEL, A.; LIMA, E. P. C. e HENRIQUE, I. N. **Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB.** Nota técnica. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 9 – Nº 4 – out/dez 2004, p 285 – 290.

SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas Residuárias.** V. 1 – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental /UFMG, 1996. 243 p

VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de leitos cultivados ("Constructed Wetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação.** 2003. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** – Vol. 1 – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3ª Edição. Editora UFMG - Belo Horizonte, 2005. 452 p.

VYMAZAL, J.; Types of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. **Proceedings: 6th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control**, CEA/UNESP e IAWQ, Águas de São Pedro/SP, 27 set. a 02 de out. 1998. V. 1, pp. 150-166.

VYMAZAL, J.; Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Science of the Total Environment**, n. 380, p. 48 – 65, 2007.

VYMAZAL, J. **Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment**. *Ecological Engineering*, v. 25, n. 5, p. 478-490, Dec. 2005.

WEBER, C.F. **Dimensionamento de *wetlands* construídas em sistemas individuais de tratamento de esgoto Sanitário**. 2015. 2º Simpósio brasileiro sobre *wetlands* construídas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: *wetlands* construídos utilizando brita e bambu como suporte**. 2008. 189p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.