

PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE *WETLAND* CONSTRUÍDO EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NO LOTEAMENTO SETOR SUL DO MUNICÍPIO DE ITABERAÍ-GO¹

SILVA, Patrícia Volpp²

RESUMO

Os *wetlands* construídos são filtros naturais projetados para o tratamento de águas residuais. Este trabalho trata-se de uma pesquisa quantitativa e estudo de caso, onde objetivou-se, dimensionar o sistema de *wetland* construído subsuperficial horizontal como tratamento secundário de esgoto, precedido por tanque séptico, para residência unifamiliar em lote de 300m² no Loteamento Setor Sul em Itaberaí-GO. Serão dois sistemas em paralelo com mesmas dimensões de (1,30x2,60m), com profundidade do filtro de 0,50 m, utilizando a macrófita *Taboa* (*Typha* spp.), com um custo estimado de R\$ 9.784,18.

Palavras-chave: Ecotecnologia. Jardim Filtrante. Tratamento de esgoto. Wetland.

ABSTRACT

Constructed wetlands are natural filters designed for wastewater treatment. This work is a quantitative research and case study, which aimed to dimension the horizontal subsurface built wetland system as secondary sewage treatment, preceded by a septic tank, for a single-family residence in a 300m² plot in the South Sector Allotment in Itaberaí-GO. There will be two parallel systems with the same dimensions (1.30x2.60 m), with a filter depth of 0.50 m, using the macrophyte *Taboa* (*Typha* spp.), with an estimated cost of R\$ 9,784.18.

Key Words: Ecotechnology. Filtering Garden. Sewage treatment. Wetland.

1. INTRODUÇÃO

As diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico são estabelecidas na Lei n° 11.445, de 5 de janeiro de 2007, na qual, um de seus princípios fundamentais é, a “universalização do acesso; [...] o esgotamento sanitário realizados de forma adequada à saúde pública e à proteção do meio ambiente” (BRASIL, 2007). No entanto, os índices de coleta e tratamento de esgoto apresentam números

¹Trabalho de Conclusão de Curso orientado pelo professor Esp. Gabriel Mairinques Miranda, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil no segundo semestre de 2022, na Faculdade de Inhumas FacMais.

²Acadêmica do 10º período do Curso Engenharia Civil da FacMais. E-mail: patriciasilva@aluno.facmais.edu.br

insatisfatórios. No Brasil, as redes de esgotos abrangem 55,0% da população total, sendo que apenas 50,8% do total de esgoto gerado são tratados de forma adequada (SNIS, 2020).

Atualmente, o tratamento de efluentes é majoritariamente realizado através de um sistema convencional, coletados e conduzidos por meio de tubulações subterrâneas - redes públicas - até a Estação de Tratamento de Esgotos - ETEs. Todavia, estes sistemas abrangem elevados custos para implantação, manutenção e construção de infraestruturas civis, além de demandarem um consumo de produtos químicos e de energia elétrica. Em vista disso, há uma dificuldade de se atender comunidades rurais, pequenos povoados, bairros ou unidades domésticas (TESKE, 2016).

De acordo com Teske (2016), a inexistência do tratamento correto das águas residuárias originadas das atividades humanas geram doenças de veiculação hídrica, ligadas ao uso direto e indireto de águas contaminadas por fezes e urina humanas ou de animais. Além do risco à saúde humana, há também impactos nos corpos hídricos, como a poluição das águas por patógenos, que provocam a extinção da biodiversidade e restrição da utilização da água para fins mais nobres.

Neste contexto é que surgiram os sistemas de tratamento descentralizados. Estes sistemas são projetados para atender a nível coletivo ou de forma individualizada, pequenas comunidades e/ou grupos de edificações (TREIN, et al., 2015) onde há dificuldades de se chegar com o sistema convencional de tratamento de esgoto. Dentre as eco tecnologias acessíveis já consolidadas em países desenvolvidos, destacam-se os *wetlands* construídos como tratamento secundário de águas residuárias (TESKE, 2016).

Os *Wetlands* construídos, também conhecidos como Jardins Filtrantes, já são ecotecnologias consolidadas no Brasil. A aplicação destes sistemas são compreendidas pelos pesquisadores ambientais das agências de licenciamento ambiental como uma tecnologia eficaz, demonstrando eficiência média de 90% no tratamento de esgotos sanitários, podendo alcançar maiores porcentagens, o que possibilita que o efluente tratado seja lançado novamente no ambiente (GESAD, 2018).

Em vista do exposto, e, sendo o despejo do esgoto sem tratamento o principal responsável pela deterioração da qualidade das águas, e do solo (SPERLING, 1996), o presente trabalho se empenha a dimensionar o sistema de *wetland* construído, como tratamento secundário, pós fossa séptica, e,

posteriormente realizar a estimativa de custos da construção do sistema para uma residência unifamiliar de padrão médio.

1.2 Revisão Bibliográfica

Faz-se essencial buscar alternativas descentralizadas de tratamento para o esgotamento sanitário, a fim de atender as demandas de tratamento em pequenas comunidades, bairros ou na própria fonte geradora, através de sistemas *on site*, de modo a alcançar a universalização do saneamento básico de tratamento de esgotos no país (GESAD,2018).

Segundo Sperling e Sezerino (2018), no Brasil não há uma legislação específica para sistemas descentralizados de esgotos. Há instruções na bibliografia que indicam alternativas de tratamento que devem ser combinadas com o tanque séptico, popularmente conhecido por fossa, tomando como referência as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a NBR 7229/1993, que dispõe acerca do projeto, construção e operação de tanques sépticos; a NBR 13969/1997, que dispõe acerca do projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementares e disposição final dos efluentes de tanques sépticos.

Há diversas alternativas tecnológicas que podem ser aplicadas no tratamento descentralizado de esgoto combinado com tanque séptico, de forma a garantir a disposição final adequada dos efluentes das fossas sépticas, evitando a contaminação dos solos e corpos d'água. Dentre essas tecnologias, destaca-se os *wetlands* construídos (WECF, 2010).

1.3 Wetlands Construídos

Segundo Zanella (2008), *wetland*, é um termo em inglês usado para designar na natureza terrenos que são um conjunto de arranjo d'água, substrato, plantas e um complexo de microrganismos, que permanecem alagados, parcial ou permanentemente, durante o ano, como pântanos e mangues. No passado, a grande maioria das águas residuais humanas eram despejadas nessas áreas úmidas naturais para tratamento, porém estas

passaram a ser protegidas por lei e seu uso tornou-se limitado no final do século XX.

Inspirados nos conceitos dos *wetlands* naturais, foram concebidos os *wetlands* construídos (WC). Eles imitam os processos dos *wetlands* naturais, porém, os WC possuem a vantagem de serem projetados e dimensionados, oferecendo maior flexibilidade quanto à escolha do local de implantação e, sobretudo, o controle hidráulico, potencializando sua eficiência no tratamento dos poluentes (MEDEIROS, 2017).

Deve-se ressaltar que os estudos sobre essa ecotecnologia, se deu início na década de 1950, e, a partir dos anos de 1980, se tornou bem disseminada na Austrália, países da Ásia, Europa e da América do Sul (ZANELLA, 2008). Logo, Segundo o Sperling e Sezerino (2018), em meados dos anos 1990, iniciaram-se no Brasil os primeiros estudos acerca dos *wetlands* construídos, com maior utilização do sistema no tratamento secundário de esgoto sanitário, em escala unifamiliar ou multifamiliar, atendendo condomínios, loteamentos, indústrias, e, inclusive para o tratamento do lodo proveniente de tanques sépticos retirados através do serviço conhecido como “limpa fossa”.

Em janeiro de 2018, a Mineradora Vale inaugurou a ETE Ecopraça Ciclo das Águas (Figura 1), aplicando a ecotecnologia dos *wetlands* construídos, que conta com um sistema projetado para tratar a vazão de até 1000 funcionários, que comprovou performance superior a 90% de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), validando a eficiência do sistema (GESAD, 2018).

Figura 1 - *Wetlands* construídos aplicados a mineradora Vale

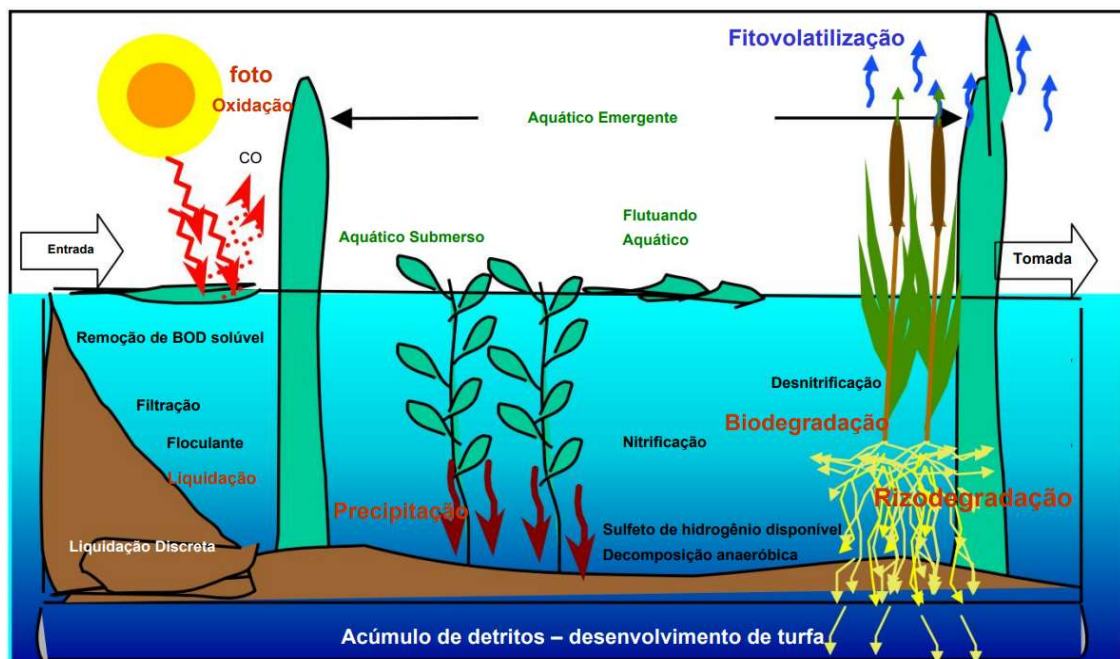


Fonte: GESAD, 2018.

1.4 Processo biológico dos *Wetlands* Construídos - WC no tratamento dos efluentes

Os *wetlands* construídos têm a competência de eliminar ou tratar poluentes da água. Os processos biológicos de tratamento que ocorrem nos WC podem ser abióticos (físicos/químicos) e bióticos (microbianos/fitológicos) (figura 2), que dependem do próprio contaminante, da situação do local, da finalidade da remediação e dos parâmetros regulamentadores. A grande presença microbiana é comum em sedimentos de *wetlands*, em decorrência da alta taxa de fixação de carbono orgânico pelas plantas (ITRC, 2013, p.7).

Figura 2 - Processos abióticos e bióticos que ocorrem nos sistemas de *wetlands* construídos



Fonte: ITRC, 2013.

As macrófitas são plantas aquáticas que vivem em uma variedade de ambientes, incluindo água doce e salobra, e têm excelente adaptabilidade (ESTEVES, 1998). E sobre os processos bióticos, a biodegradação e absorção das macrófitas, são os principais agentes para o tratamento dos poluentes, através da rizodegradação que fornecem exsudatos que estimulam a degradação microbiana de compostos orgânicos, ou também através da

fitodegradação, quando as enzimas produzidas pela macrófita ceifam os poluentes (orgânicos e inorgânicos) presente nelas devido a transpiração. Também existem os seguintes processos bióticos: fitoacumulação, a absorção e acúmulo de elementos inorgânicos nas plantas; fitoestabilização, a capacidade de sequestrar compostos inorgânicos na raiz; fitovolatilização, a absorção e subsequente transpiração de compostos voláteis através das folhas (ITRC, 2013).

O quadro 1 mostra de forma explicativa os mecanismos de remoção específicos de poluentes:

Quadro 1 - Mecanismos de Remoção em *Wetlands* Construídos

Grupo Contaminante ou Parâmetro de qualidade da água	Físico	Químico	Biológico
Sólidos suspensos totais	Liquidação		Biodegradação
Demanda de oxigênio • Demanda bioquímica de oxigênio • Demanda química de oxigênio	Liquidação	Oxidação/	Biodegradação
Hidrocarbonetos • Combustíveis, óleos e graxas, álcoois, BTEX, TPH • PAHs, clorados e solventes não clorados, pesticidas, herbicidas, inseticidas	Difusão/ volatilização Liquidação	Oxidação fotoquímica	Biodegradação/ fitodegradação/ fitovolatilização/ evapotranspiração
Compostos Nitrogênicos • N orgânico, NH ₃ , NH ₄ , NO ₃ -2 , NO ₂ -	Liquidação		Nitificação de Biodenitrificação Absorção da planta
Compostos Fosfóricos $\frac{3}{3}$ P Orgânico, PO ₄	Liquidação	Precipitação Adsorção	Micróbios Absorção da planta
Metais • Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni, Se, Ag, Zn	Liquidação	Precipitação/ adsorção/troca iônica	Biodegradação/ fitodegradação/ fitovolatilização
Patógenos		radiação Uv	Morte Micróbios

Fonte: ITRC, 2013.

Em relação aos principais processos físicos e químicos que são responsáveis pela remoção de poluentes em WC citam-se: sedimentação, que elimina materiais particulados e sólidos em suspensão; sorção, que inclui os processos combinados de adsorção e absorção resultando em retenção a curto

prazo ou imobilização a longo prazo dos poluentes; precipitação química, se mostra um meio eficaz para deter metais tóxicos nos sistemas; fotodegradação, que abrange a degradação/oxidação de compostos sob a luz solar; volatilização, percebida em compostos com pressões de vapor significativas passam para o estado gasoso (ZANELLA, 2008).

1.5 Vantagens e desvantagens dos *wetlands* construídos

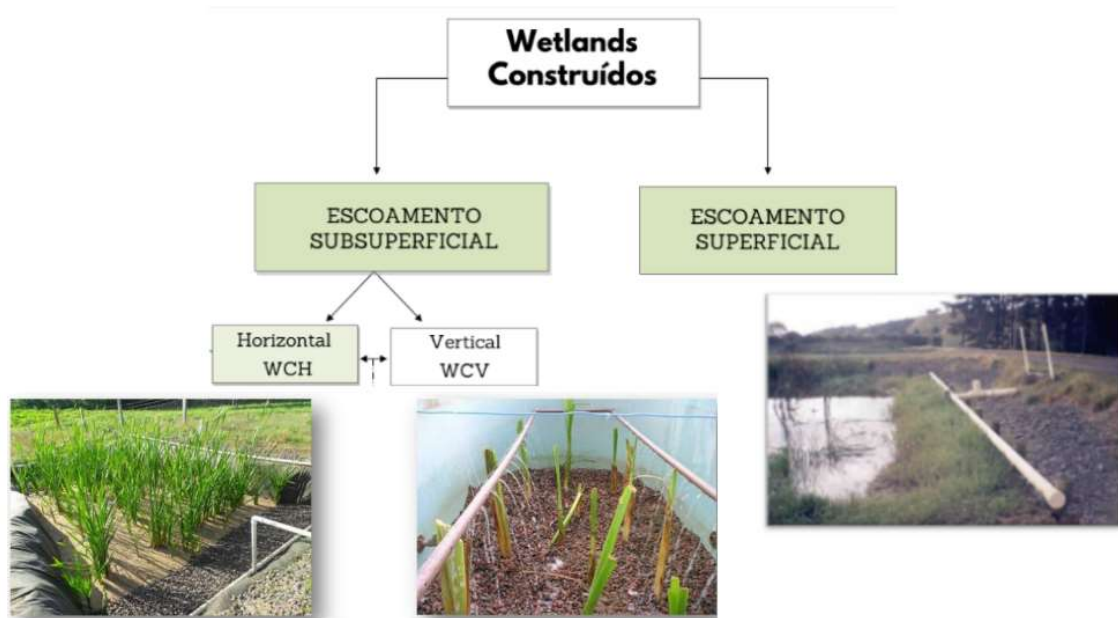
Como citado por alguns autores, as principais vantagens desses sistemas são: baixo custo para implantação e operação, manutenção simples, garantia e eficiência do tratamento sem adição de produtos químicos e alta demanda de energia, tolerância a variabilidade hidráulica e de cargas de contaminantes, além de proporcionar efeito paisagístico e promoção da área verde nos ambientes. As desvantagens são: a demanda de ampla área para sua construção a depender da vazão; apesar de ser uma ecotecnologia já consolidada, não há Normas Brasileiras que estabeleçam padrões de dimensionamento e operação do sistema; também, pode ocorrer a colmatagem do sistema, que é o entupimento do substrato, causado pela deposição de sólidos orgânicos e inorgânicos na superfície dos filtros; a formação de biomassa excessiva devido ao crescimento de microrganismos; o crescimento excessivo de raízes das macrófitas; e, a compactação da massa filtrante, impossibilitando a percolação do líquido pelo substrato. (PHILIPPI e SEZERINO, 2004; PAOLI, 2010).

1.6 Tipos de *Wetlands* Construídos

Segundo Teske (2016), os sistemas de *wetlands* construídos são classificados de acordo com o seu fluxo de efluentes (Figura 3). Os predominantes, regularmente aplicados e referenciados na bibliografia, são os *wetlands* construídos de fluxo superficial, com lâmina de água aparente, e os *wetlands* de fluxo sub superficial, sem lâmina de água aparente, que são diferenciados conforme o fluxo hidráulico no substrato, podendo ser verticais,

onde o escoamento acontece no sentido vertical de forma descendente; ou horizontais, onde o escoamento ocorre no sentido horizontal (TESKE, 2016).

Figura 3 - Classificação dos *wetlands* construídos com ênfase nos tipos mais predominantes no Brasil.



Fonte: Adaptado de GESAD.

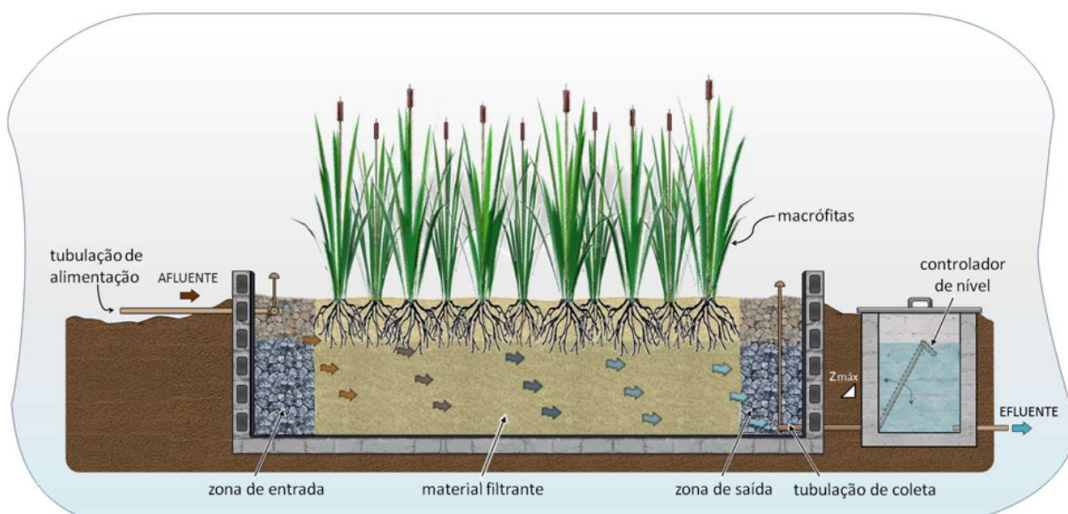
1.6.1 *Wetland* Construído de Fluxo Sub Superficial Horizontal (WCFSSH)

Os *Wetlands* Construídos de Fluxo Sub Superficial Horizontal são sistemas escavados no solo ou construídos sob estes, com as faces laterais e o fundo impermeabilizados, composto por materiais filtrantes de característica porosa na qual facilita o escoamento e serve de suporte para as plantas, onde as tubulações de distribuição do esgoto afluente e de coleta do esgoto tratado são dispostas em faces opostas de forma a propiciar um escoamento longitudinal horizontal, favorecido por uma declividade de fundo, e plantados com macrófitas (GESAD, 2018).

No *wetland* construído com fluxo horizontal subsuperficial, o líquido a ser tratado é disposto na parte inicial do leito, denominada zona de entrada, geralmente composta por brita maior ou material similar, atingindo a área principal do leito, por onde fluirá lentamente pelo material filtrante, também

chamado de meio ou substrato, geralmente brita ou areia, até chegar à parte final, na extremidade oposta, também composta por brita maior, chamada de zona de saída. O fluxo do líquido ocorre horizontalmente, ao decorrer da seção longitudinal, e o nível do líquido se encontra abaixo do nível superior do meio filtrante. Portanto, o fluxo ocorre em um meio hidraulicamente saturado, onde o espaço entre os grãos do meio suporte são preenchidos com o líquido a ser tratado. O sistema está ilustrado na na figura 4 (GESAD, 2018).

Figura 4 - Representação de um perfil longitudinal do *wetland* construído de fluxo subsuperficial horizontal



Fonte: Adaptado de GESAD.

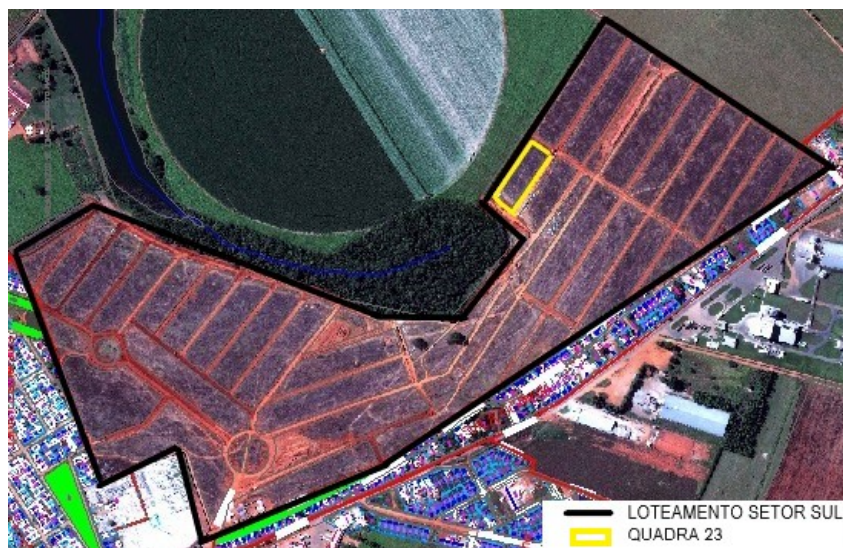
De acordo com Zanella (2008), o *Wetland* Construído de Fluxo Sub Superficial apresentam a maior eficiência de tratamento, menor risco de geração de odores, sem exposição das águas residuárias a animais e seres humanos, menores chances da proliferação de pragas e insetos, além de maior acessibilidade para manutenção, são mais predominantes, e portanto, têm uma base bibliográfica de aplicação consideravelmente maior, especificamente para sistemas coletivos de pequeno porte, unifamiliares ou individuais recebendo esgotos domésticos, como tratamento secundário e/ou terciário (GESAD, 2018).

2. METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido condiz como pesquisa quantitativa e estudo de caso, estudo de caso é designado como o estudo de um caso particular que pode ser conceituado para representar casos de função semelhante e a pesquisa quantitativa é representada ao se empregar a quantificação da coleta de dados e o tratamento destes por meio de métodos diferentes como percentual, relação entre duas ou mais variáveis, coeficientes de determinação e correlação, entre outros. (RICHARDSON, 1999).

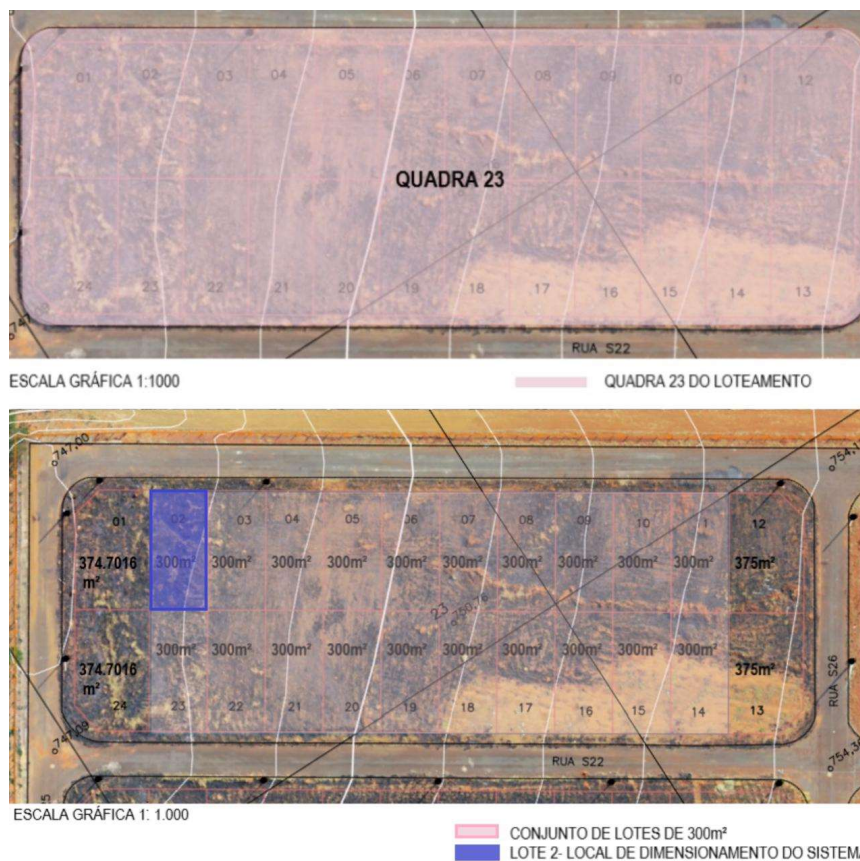
Logo, foi dimensionado o *wetland* construído de escoamento subsuperficial horizontal, precedido por tanque séptico, para uma residência unifamiliar de padrão médio, em vista disso, foi considerado o lote de dimensões predominante no loteamento Setor Sul localizado no município de Itaberaí-GO (Figura 5), um loteamento novo que não abrange redes públicas de esgoto. O sistema foi dimensionado para o Lote 02 (12x25) da quadra 23 que agrupa 24 lotes (20 lotes de 300m², 2 lotes de 375m² e 2 lotes de 374,70m²) somando uma área total de 7.499,40m² (Figura 6).

Figura 5- Loteamento Setor Sul em fase de construção - Itaberaí-GO



Fonte: Adaptado de Prefeitura de Itaberaí, 2020.

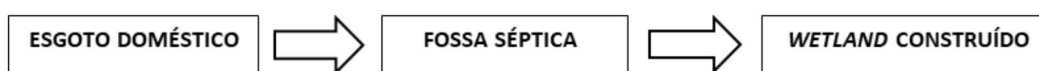
Figura 6 - Local de dimensionamento



Fonte: Adaptado de Prefeitura de Itaberaí, 2020.

Segundo Teske (2016), ainda não existem normas brasileiras que definem um padrão para construção destes sistemas de tratamento, porém a execução através de experiências e projetos que utilizam as metodologias propostas já é bem disseminada. O dimensionamento correto do *wetland* é uma etapa de grande importância, mas, o sistema necessita de um tratamento primário, como gradeamento ou semelhantes, em nosso projeto foi utilizado o tanque séptico regulamentado pela NBR 7229 (1993), que tem por objetivo a retenção de sólidos maiores, pois estes sólidos dificultam o funcionamento do sistema.

Figura 7 - Representação esquemática do sistema de tratamento



Fonte: Adaptado de Rosa, 2014.

O tanque séptico é responsável por fazer o tratamento do esgoto doméstico proveniente das unidades familiares. Este será o sistema de tratamento primário. O projeto e dimensionamento do sistema de tanque séptico se baseia nos critérios estabelecidos pela Norma Regulamentadora Brasileira NBR 7229 (1993) – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.

O dimensionamento inicia-se pelo tanque séptico, dado pela Equação 1:

$$V = 1000 + N (C \times T + K \times Lf) \quad (1)$$

V – Volume útil (L);

N – Número de pessoas;

C – Contribuição (litro/pessoa.dia);

T – Período de detenção (dia);

K – Taxa de acumulação de lodo digerido em dias equivalente ao tempo de lodo fresco;

Lf – Contribuição de lodo fresco (litro/pessoa.dia).

Através das Equações 2, 3 e 4, determina-se as dimensões do tanque séptico:

$$V = W \times h \times L \quad (2)$$

$$V = W \times h \times 2W \quad (3)$$

$$V = h \times 2W^2 \quad (4)$$

V – Volume do tanque (m³);

W – Largura interna total (m);

L – Comprimento interno total (m);

h – altura do tanque (m).

De acordo com Sezerino, P.H. et al. (2015), existem três diferentes formas que são mais comuns aplicadas para o dimensionamento de WCSSH, que será o sistema de tratamento secundário, sendo elas:

1. modelo oriundo da cinética de primeira ordem aplicada a reatores pistão;
2. relação área per capita;
3. carregamento orgânico superficial e taxa hidráulica.

Na qual a forma de modelos oriundos da cinética de primeira ordem aplicável aos reatores tipo pistão, é amplamente utilizada para prever a área superficial necessária para a promoção do tratamento secundário, na qual foi utilizada para o dimensionamento do *wetland*. Dado pela equação 5:

$$A = Q \times (\ln Co - \ln Ce) / (KT \times p \times n) \quad (5)$$

onde:

A = área superficial do *wetland* (m²);

Q = vazão afluyente (m³/dia), dado pela equação 6;

Co = concentração afluyente em termos de DBO5 (mg.L-1 = g.m-3)

Ce = concentração efluente em termos de DBO5 (mg.L-1 = g.m-3)

KT = constante de reação de cinética de primeira ordem (d-1), obtida pela equação 7.

n = porosidade do material filtrante (adimensional)

p = profundidade média do filtro (m)

$$Q = (P \times C / 1000) \quad (6)$$

P – Número de contribuintes;

C – Contribuição (litro/pessoa.dia).

$$KT = K20 \times (1,06)^{T - 20} \quad (7)$$

K20 – Constante de reação a 20 °C;

T – Temperatura crítica.

De acordo com Poças (2015), uma forma comum de dimensionar um sistema de *wetland* construído para tratamento de efluentes é a razão de área per capita, dada em m²/hab, que é um parâmetro de referência para dimensionamento. A área total obtida desta forma e o número estimado de habitantes por residência em estudo dão a área de *wetland* por habitante. Obtido na equação 8:

$$A_{hab} = A_t / P \quad (8)$$

A_t – Área total;

P – Número de contribuintes.

De acordo com Reis, Serbenti e Rodrigues (2015), a maior parte da literatura disponível utiliza uma relação comprimento-largura de 2:1 para definir as dimensões do canteiro do *wetland*. Portanto, através da Equação 9, o comprimento do sistema é obtido através da área total determinada na

Equação 5.

$$AT = 2b \times b \quad (9)$$

AT – Área total (m²);

2b – Comprimento (m);

b – Largura (m).

Segundo Sezerino (2015), o tempo de detenção hidráulico pode ser definido através da Equação 10:

$$Td = (n \times V) / Q \quad (10)$$

Td – Tempo de detenção hidráulico (dias);

n – Porosidade;

V – Volume do leito filtrante (m³);

Q – Vazão a ser tratada (m³/dia).

As plantas possuem grande importância para operação e correto funcionamento da tecnologia dos *wetlands* construídos. A seleção de macrófitas está relacionada à tolerância das plantas ao ambiente saturado de água e/ou esgoto, seu potencial de crescimento e a presença dessas plantas na área onde será implantado o sistema de tratamento, pois assim as macrófitas se adaptam ao ambiente local e às condições climáticas (SEZERINO, 2015).

Após o dimensionamento, foi elaborada uma planilha com o levantamento dos custos para a implantação do sistema e análise da sua aplicabilidade como unidade individual de tratamento de esgoto doméstico em residência unifamiliar.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente o tanque séptico foi dimensionado de acordo com o número de habitantes dos quais as águas residuárias geradas serão tratadas. O município de Itaberaí-GO, tem população de 35.371 habitantes, e segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação, a média estimada do número de habitantes por domicílios particulares ocupados em área urbanizada no estado de Goiás é de 3,2 hab/domicílio (IBGE, 2010). Logo, foi utilizado o valor arredondado de 4 hab/domicílio.

Utilizando a NBR 13969 (1997), para o dimensionamento do volume do

tanque séptico, foram encontrados os valores de contribuição diária de esgoto tomando como referência a residência de padrão médio da Tabela A (Anexo I) da NBR 13969 (1997) igual a 130 litros/pessoa e a contribuição de lodo fresco igual a 1 litro/pessoa. E através da Tabela B (Anexo I), da mesma norma, chegou-se ao valor para o tempo de detenção hidráulica igual a 1 dia, determinado em função do volume a ser tratado (130 litros/pessoa x 4 hab/domicílio = 520 litros de contribuição diária. Considerando a média da temperatura do mês mais frio em Itaberaí-GO de 17°C (WEATHER SPARK, 2016) e adotado o intervalo de limpeza considerando um prazo intermediário de 3 anos, conforme a Tabela C (Anexo I) obtemos a taxa de acumulação de lodo digerido de 145 dias.

Dados os parâmetros de cálculo, o volume útil da fossa séptica é encontrado de acordo com a equação 1:

$$V = 1000 + 4 \times (130 \times 1 + 145 \times 1) \quad (1)$$

$$V = 2,10 \text{ m}^3$$

A altura útil da fossa séptica está limitada a 1,5 metros conforme NBR 13969 (1997). Largura total interna de 2:1 determinada através das equações 2, 3 e 4:

$$2,10 = 1,5 \times 2W^2 \quad (4)$$

$$W = 0,84 \text{ m}$$

$$L = 2,10 / (1,5 \times 0,84) \quad (2) \quad (3)$$

$$L = 1,67 \text{ m}$$

Para se iniciar o dimensionamento do *wetland* construído, inicialmente é necessário calcular a vazão afluente e logo após, a constante de reação cinética de primeira ordem (K_T), dependente do valor constante para a temperatura adotada em 20°C (K_{20}), que segundo Rosa (2014), K_{20} é igual a 0,80, e, a temperatura crítica do lugar a ser construído o sistema, já definida anteriormente como 17°C.

Conforme a Equação 6, obtém-se:

$$Q = (4 \times 130) / 1000 \quad (6)$$

$$Q = 0,52 \text{ m}^3$$

A constante de reação cinética é dada através da Equação 7:

$$K_T = 0,8 \times (1,06)^{17-20} \quad (7)$$

$$K_T = 0,67$$

O valor de K_T obtido de 0,67 se aproxima do valor encontrado por Rosa (2014). Este resulta dos valores de constante adotados na equação, e as condições de temperatura no local de estudo do autor e no local de estudo atual são aproximadas.

De acordo com Rosa (2014) a concentração afluyente em termos de DBO é de 160 mg/litro, considerando uma remoção de 60% na etapa de tratamento primário (tanque séptico) e a concentração efluente em termos de DBO de 30 mg/litro. Também de acordo com o autor será utilizado para material filtrante areia grossa, com porosidade de 0,40 e a profundidade média do filtro igual a 0,50 metros.

A área do *wetland* é dada, então, pela Equação 5:

$$A = [0,52 \times (\ln 160 - \ln 30)] / (0,67 \times 0,50 \times 0,40) \quad (5)$$

$$A = 6,50 \text{ m}^2$$

Após encontrarmos a área total necessária e o número de habitantes a ser utilizado o sistema, a área de *wetland* solicitada por habitante para o tratamento final de esgoto, resulta da Equação 8:

$$A_{\text{hab}} = 6,50 / 4 \quad (8)$$

$$A_{\text{hab}} = 1,63 \text{ m}^2/\text{hab}$$

Reis, Serbent e Rodrigues (2015), salientam que para se evitar problemas com colmatção e para se ter uma maior eficiência do sistema, sugere-se a divisão da área total em pelo menos dois sistemas e que estes sejam dispostos em paralelo e a alimentação seja feita de forma alternada. A maior parte da bibliografia disponível utiliza uma relação comprimento/largura de 2:1 para estabelecer as dimensões dos canteiros *wetlands*. Logo o comprimento do sistema é dado através da Equação 9:

$$A_t = 2b \times b \quad (9)$$

$$(6,5/2) = 2b \times b$$

$$b = 1,30$$

Desta forma, para a menor dimensão temos 1,30m, empregando a proporção 2:1 obtemos uma segunda dimensão com o dobro de tamanho de 2,60m, logo os dois sistemas terão as dimensões (1,30x2,60m). Sendo 2,60m de comprimento, 1,30m de largura e a profundidade do leito filtrante adotada anteriormente segundo Rosa (2014) de 0,50m, cada sistema de *wetland* terá um volume de 1,69m³ e os dois sistemas necessários para o tratamento de

esgoto da residência somam um volume de 3,38m³.

Uma vez que o volume do leito filtrante é encontrado, o tempo de detenção do sistema pode ser determinado pela Equação 10:

$$T_d = (0,40 \times 1,69) / (0,52/2) \quad (10)$$

$$T_d = 2,6 \text{ dias}$$

Sezerino (2015) cita que a faixa de valores para o tempo de detenção hidráulica varia de 0,5 a 12,3 dias. Poças (2015) relatou que entre cinco artigos analisados no estudo, o tempo de residência hidráulica variou de 1,1 a 5 dias. Essa variação se deve à porosidade do material que compõe o leito filtrante e seu volume, que depende da vazão a ser tratada.

A área de *wetland* por habitante neste trabalho de 1,63m² está dentro da faixa de valores encontrados na bibliografia brasileira, que, segundo Sezerino (2015), está entre 1 a 5m² por pessoa, quando precedidos por tratamento primário e/ou secundário.

Conforme citado no referencial teórico, a macrófita utilizada neste trabalho foi a Taboa (*Typha* ssp.), que segundo Sezerino et al. (2015), é a principal das macrófitas utilizadas na análise de 42 publicações de 1998 a 2011, e também citada como uma das plantas potencialmente usáveis na pesquisa de GESAD (2018).

No projeto, considerando o modelo de Rosa (2014) camadas de brita e areia com porosidade de 0,40 são colocadas horizontalmente a uma profundidade de 0,50 metros, que é o valor médio mencionado por Kletecke (2011), onde ele relata que a profundidade do substrato do *wetland* construído varia entre 10 e 100 cm, e, a impermeabilização do sistema foi feita com manta asfáltica.

Tendo em vista que o SINAPI atualmente não abrange atividades específicas para o estabelecimento de um sistema de *wetland* construído, foram necessários alguns ajustes para atender às especificidades do projeto desenvolvido. Portanto, na ausência de alguns compostos, foram utilizadas aquelas que apresentavam composições mais próximas. Assim, o custo estimado dos materiais de construção, unidades, quantidades usadas, custos unitários e custos totais do sistema são mostrados no Anexo III.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido neste trabalho, procurou combinar o tratamento de esgotos com aspectos paisagísticos, dimensionando um *wetland* construído especificamente para residências. O objetivo era que o sistema acomodasse lotes de dimensões comuns de residência unifamiliar no loteamento, e, de acordo com o dimensionamento do sistema para uma residência unifamiliar de 4 habitantes, o *wetland* ocuparia uma área de 6,50 m². Mediante a estimativa de custos, resultou-se em um valor do sistema de *wetland* construído de R\$ 9.784,18, todavia, desse total, R\$ 4.414,70 se refere a aquisição da fossa séptica.

Considerando que os wetlands construídos ainda são uma opção relativamente nova e ainda pouco utilizada no tratamento de esgoto no país, supõe-se que esses valores possam ser reduzidos por sua disseminação mais ampla. Visto que, o Brasil tem grande potencial para o uso de *wetlands* construídos, porque além da necessidade de saneamento básico, é um país com clima quente, o que favorece o desenvolvimento de macrófitas e microrganismos pertencentes ao sistema.

Em vista do exposto, se faz necessário o incentivo a pesquisas para o aprimoramento e desenvolvimento desta ecotecnologia, visando também estudos relacionados ao emprego de novos materiais na construção do *wetland*, objetivando a redução dos custos para implantação do sistema, o tornando ainda mais favorável em atender as necessidades de saneamento básico.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969: **Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos** – Projeto, construção e operação. 1997.

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

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio

de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <Lei no 11.445 (planalto.gov.br)>. Acesso em: 03 abr. 2022.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª edição. Interciência: Rio de Janeiro – RJ. 1998. Disponível em:<<https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/livro-macrofitas-cemig-2021.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2022.

ITRC – THE INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL. **Technical and regulatory guidance document for constructed wetlands**, 2003. Disponível em:<<https://connect.itrcweb.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.aspx?DocumentFileKey=43f32b38-3a7e-4b03-bea5-06c0bae1ce6e>>. Acesso em: 24 abr. 2022.

MEDEIROS, D. M. **Estudo Sobre a Aplicação de Wetlands Construídos Para o Tratamento De Esgoto em Loteamentos, Condomínios e Comunidades Isoladas**. 2017. 191f. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <Estudo sobre a aplicação de wetlands construídos para o tratamento de esgoto em loteamentos, condomínios e comunidades isoladas (ufsc.br)>. Acesso em: 23 abr. 2022.

PAOLI, André Cordeiro de. **Análise de desempenho e comportamento de wetlands horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos**. 2010. 165p. Dissertação de Pós-Graduação. Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG.

PHILIPPI, L. S. e SEZERINO, H. P. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. 1a ed. Florianópolis/SC. Ed. do Autor 2004. 144p.

POÇAS, Cristiane. **Utilização da Tecnologia de Wetland para tratamento terciário: controle de nutrientes**. 2015. 109p. Dissertação de Pós-graduação (Ambiente, Saúde e Sustentabilidade). Faculdade de Saúde Pública – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em:<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-23112015122556/publico/CristianeDiasPocas.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2022.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

REIS, Arieleen; SERBENT, María Pilar; RODRIGUES, Eduardo Bello. **Wetlands Construídos como alternativas para o tratamento de efluentes em unidades de conservação**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (2015): 2(3): 137-144. ISSN 2359-1412. Santa Catarina, 2015. Disponível

em:<<https://pdfs.semanticscholar.org/d25c/9ca567760bd7096ecbbf06412189d9e641e5.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2022.

ROSA, Cássio Dalla. **Projeto e dimensionamento de um sistema wetland construído em residência unifamiliar no município de Chapecó – SC**. 24p. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharel em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul. Disponível em:<<https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1393/1/ROSA.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. 2016. 171p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103142>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

SEZERINO, Pablo Heleno; et al. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental. Santa Catarina, v.20, n° 1, p. 151-158. Jan/mar. 2015. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/esa/a/8zwy5WwwLZVxRk5btDHDMkG/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS) **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**, 2020. Disponível em:<<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

TESKE, F. F. **Construção de um Wetland Híbrido para polimento de efluente doméstico**. 2016. 112f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/156540>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

TREIN, C. N.; PELISSARI, C.; HOFFMANN, H.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H. **Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 351-367, out./dez. 2015. ISSN 1678-8621. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000400055>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p. Disponível em:<https://www.academia.edu/39149408/Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_qualidade_das_%C3%A1guas_e_ao_tratamento_de_esgotos>. Acesso em: 24 abr.2022.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P.H. (2018). **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. Boletim Wetlands Brasil**, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <<http://gesad.ufsc.br/boletins/>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

WEATHER SPARK (Estados Unidos da América). **Clima e Condições Meteorológicas média em Itaberaí no ano todo**. Elaborado por Cedar Lake Ventures, Inc. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29974/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Itabera%C3%AD-Brasil-durante-o-ano#:~:text=O%20m%C3%AAs%20mais%20frio%20do,29%20%C2%B0C%2C%20em%20m%C3%A9dia>>. Acesso em: 14 jan. 2022.

WOMEN IN EUROPE FOR A COMMON FUTURE - WECF. **Sustainable and cost-effective wastewater systems for rural and peri-urban communities up to 10,000 PE**. Guidance paper, 2010. Disponível em: <<http://www.womenforclimate.org/download/2010/03/guidancepaperengl.pdf?m=1424264691&>>. Acesso em: 24 abr. 2022.

ZANELLA, Luciano. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP, 2008. 213p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2008. Disponível em: <file:///C:/Users/patri/Downloads/Zanella_Luciano_D1.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2022.

ANEXO I - Tabelas utilizadas no dimensionamento

Tabela A – Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.

Ocupantes permanentes	Unidade	Contribuição de esgoto – C (L)	Lodo fresco – Lf
Residência padrão alto	Habitante	160	1
Residência padrão médio	Habitante	130	1
Residência Padrão Baixo	Habitante	100	1

Fonte: Adaptado da NBR 13969 (1997).

Tabela B – Período de detenção dos despejos por faixa de contribuição diária.

Contribuição Diária (L)	Tempo de Detenção (dias)
Até 1500	1,00
De 15001 a 3000	0,92
De 3001 a 4500	0,83
De 4501 a 6000	0,75
De 6001 a 7500	0,67
De 7501 a 9000	0,58
Mais que 9000	0,50

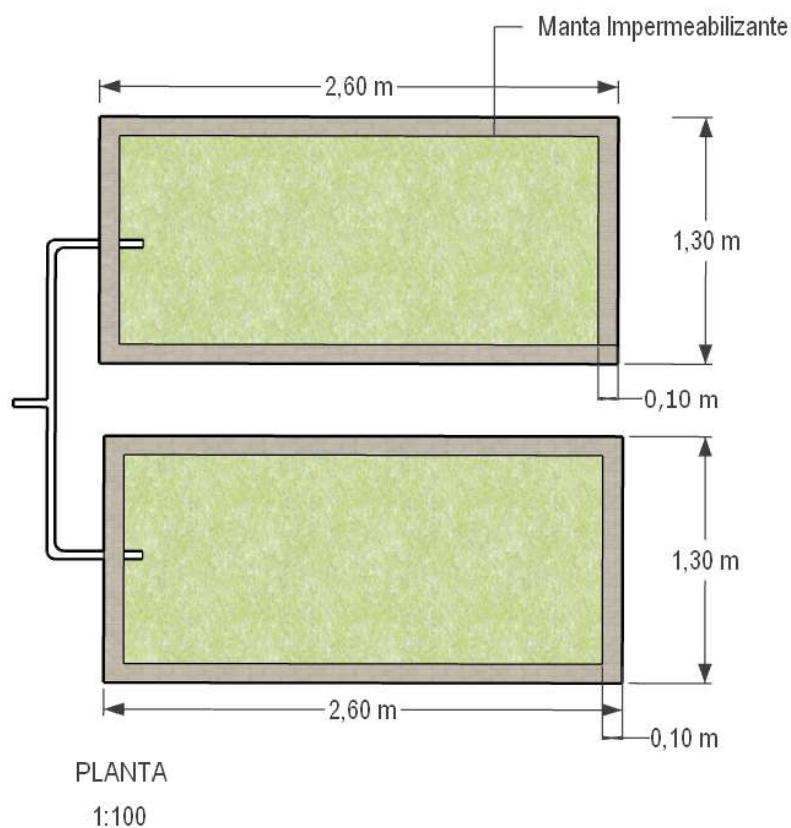
Fonte: Adaptado da NBR (1997)

Tabela C – Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

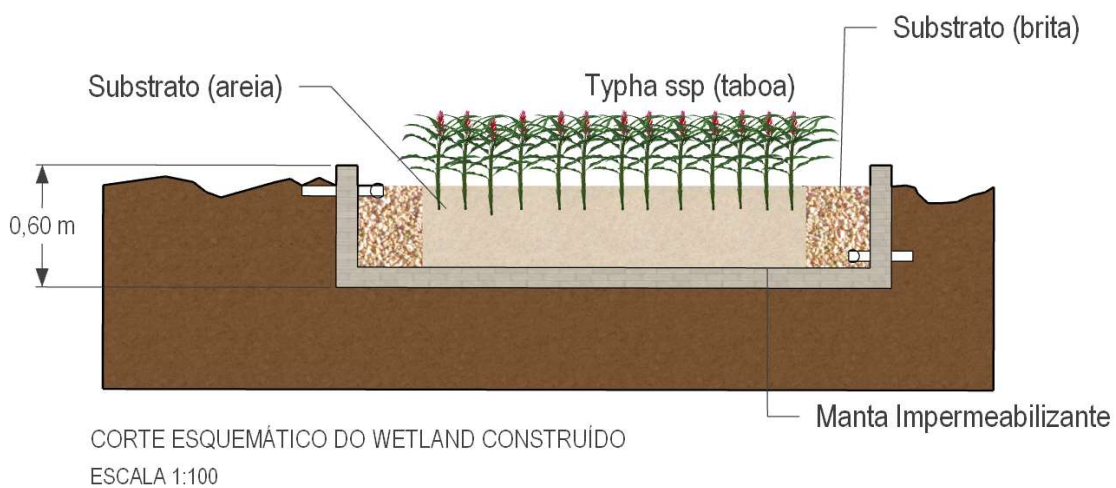
Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t) °C		
	T ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	T ≥ 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: Adaptado da NBR (1997).

ANEXO II - Dimensões do *Wetland*



Fonte: Elaborado pelo autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO III - Estimativas de custos

ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE WETLAND CONSTRUÍDO PRECEDIDO POR TANQUE SÉPTICO								
Item	Código	Fonte	COMPOSIÇÕES: Materiais e Serviços	Unidades	Quantidade	Custo Unitário	Custo total	Memória de Cálculo
1			TANQUE SÉPTICO					
1.1	98066	SINAPI-GO 09/22	TANQUE SÉPTICO RETANGULAR, EM ALVENARIA COM TIJOLOS CERÂMICOS MACIÇOS, DIMENSÕES INTERNAS: 1,0 X 2,0 X H=1,4 M, VOLUME ÚTIL: 2000 L (PARA 5 CONTRIBUINTES).	UN	1	R\$ 4.414,70	R\$ 4.414,70	Uma unidade
TOTAL DO ITEM							R\$ 4.414,70	
2			WETLAND (WCFSSH)					
2.1	101159	SINAPI-GO 09/22	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS MACIÇOS DE 5X10X20CM (ESPESSURA 10CM) E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO EM BETONEIRA.	m ²	9,36	R\$ 140,82	R\$ 1.318,08	Perímetro * Altura * 2 sistemas
2.2	101747	SINAPI-GO 09/22	PISO EM CONCRETO 20 MPA PREPARO MECÂNICO, ESPESSURA 7CM. AF_09/2020	m ²	6,76	88,09	R\$ 595,49	Área de fundo
2.3	98546	SINAPI-GO 09/22	IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM MANTA ASFÁLTICA, UMA CAMADA, INCLUSIVE APLICAÇÃO DE PRIMER ASFÁLTICO, E=3MM.	m ²	16,12	101,72	R\$ 1.639,73	Área de parede + Área de fundo
2.4	89512	SINAPI-GO 09/22	TE, PVC, SERIE NORMAL, ESGOTO PREDIAL, DN 100 X 100 MM, JUNTA ELÁSTICA	UN	4	R\$ 42,29	R\$ 169,16	
2.5	98505	SINAPI-GO 09/22	PLANTIO DE FORRAÇÃO	m ²	6,76	R\$ 54,97	R\$ 371,60	Área superficial
2.6	89352	SINAPI-GO 09/22	REGISTRO DE GAVETA BRUTO, LATÃO, ROSCÁVEL, 1/2"	UN	2	R\$ 33,60	R\$ 67,20	

2.7	4720	SINAPI-GO 09/22	PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM)	m ³	0,78	R\$ 112,77	R\$ 87,96	Espessura de brita na entrada e saída * altura * largura * 2 sistemas
2.8	93358	SINAPI-GO 09/22	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 1,30 M	m ³	3,38	R\$ 70,17	R\$ 237,17	comprimento * altura * largura * 2 sistemas
2.9	97974	SINAPI-GO 09/22	POÇO DE INSPEÇÃO CIRCULAR PARA ESGOTO, EM CONCRETO PRÉ- MOLDADO, DIÂMETRO INTERNO = 0,60 M, PROFUNDIDADE = 0,90 M, EXCLUINDO TAMPÃO.	UN	1	R\$ 407,94	R\$ 407,94	Uma unidade
2.10	89744	SINAPI-GO 09/22	JOELHO 90 GRAUS, PVC, SERIE NORMAL, ESGOTO PREDIAL, DN 100 MM, JUNTA ELÁSTICA	UN	4	R\$ 26,60	R\$ 106,40	estimado
2.11	366	SINAPI-GO 09/22	AREIA GROSSA	m ³	2,6	R\$ 141,83	R\$ 368,76	volume total - volume de brita
TOTAL DO ITEM							R\$ 5.369,48	
TOTAL GERAL							R\$ 9.784,18	

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em SINAPI(2022).