

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Bruno da Rosa Bianchetti**

**“VULNERABILIDADE DE DILUIÇÃO HÍDRICA” (VDH):  
UM NOVO CRITÉRIO PARA ESTIMULAR A  
QUALIDADE HÍDRICA NA TOMADA DE DECISÃO POR  
SOLUÇÕES INDIVIDUAIS SUSTENTÁVEIS (NO LOTE) E  
BASEADAS NA NATUREZA**

Porto Alegre  
Setembro, 2023

**BRUNO DA ROSA BIANCHETTI**

**“VULNERABILIDADE DE DILUIÇÃO HÍDRICA” (VDH): UM  
NOVO CRITÉRIO PARA ESTIMULAR A QUALIDADE  
HÍDRICA NA TOMADA DE DECISÃO POR SOLUÇÕES  
INDIVIDUAIS SUSTENTÁVEIS (NO LOTE) E BASEADAS NA  
NATUREZA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de  
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia  
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho**

Porto Alegre  
Setembro, 2023

**BRUNO DA ROSA BIANCHETTI**

**“VULNERABILIDADE DE DILUIÇÃO HÍDRICA” (VDH) UM  
NOVO CRITÉRIO PARA ESTIMULAR A QUALIDADE  
HÍDRICA NA TOMADA DE DECISÃO POR SOLUÇÕES  
INDIVIDUAIS SUSTENTÁVEIS (NO LOTE) E BASEADAS NA  
NATUREZA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, Setembro de 2023

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho**  
Dr. em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela UFMS  
Orientador

**Prof. Pablo Heleno Sezerino**  
Dr. em Engenharia Ambiental pela UFSC

**Prof. Antônio Domingues Benetti**  
Dr. em Civil and Environmental Engineering pela Cornell University

**Prof. Gino Roberto Gehling**  
Dr. Em Ingeniaría Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya

Dedico este trabalho a minha mãe, Sr<sup>a</sup> Edilce Mara Fagundes da Rosa Bianchetti, por todo o amor, por todo o cuidado, por todos os ensinamentos e por toda a confiança a mim dados durante esta passagem.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Dr. Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho pela orientação do presente trabalho desde o momento da elaboração do projeto até o parecer final deste estudo, sempre muito atento, crítico e colaborativo para o desenvolvimento do estudo.

Aos professores Dr. Pablo Heleno Sezerino, Dr. Antônio Domingues Benetti e Dr. Gino Roberto Gehling por aceitarem o convite de participação da minha banca examinadora do trabalho de conclusão de curso.

Aos Prof. Paulo Virgílio Fialho e André Camargo pela amizade e confiança ao longo dos estudos no cursinho pré-vestibular.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela educação pública e de qualidade.

Aos professores do curso de Bacharel em Engenharia Civil, por todos os ensinamentos e partilhas.

Ao Eng. Bruno Sulzbach e ao Eng. Jovani Casagrande, por serem amigos e chefes compreensivos ao longo da minha graduação.

Aos grandes amigos da família Sr. Jorge Luís e Sr<sup>a</sup> Rosélia pela atenção, força e afeto junto a minha família.

Aos meus primos Rodrigo e Melina Sarmiento pela parceria de irmão e pelos ensinamentos aprofundados em nosso convívio.

À minha família, meu pais e professores Alfredo Clóvis Andrades Bianchetti e Edilce Mara Fagundes da Rosa Bianchetti, por serem meus maiores apoiadores e exemplos de dedicação e persistência em todas suas conquistas e à minha irmã e engenheira Ynaiê da Rosa Bianchetti pelo apoio e incentivo ao longo desta trajetória.

E por último, mas não menos importante, a Deus, pois sem o amparo D'ele não teria tido a honra de conhecer e ter presentes na minha vida todas as pessoas citadas anteriormente, conquistado o sonho de estar concluindo o curso e obter o título de Bacharel em Engenharia Civil.

Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova na  
linha do tempo. Aquilo que colocamos nela, corre por  
nossa conta.

*Chico Xavier*

## RESUMO

Diante da precariedade da infraestrutura de coleta e de tratamento de esgotamento sanitário, a adoção de sistemas individuais (no lote) se tornam atrativos para melhorar os índices de tratamento de esgoto, promover a universalização e a sustentabilidade, principalmente com a adoção de Soluções baseadas na Natureza (SbN). Porém, ainda é carente parâmetros e critérios que definam o percentual máximo de atendimento pelo modal descentralizado de esgotamento baseado na qualidade hídrica da bacia hidrográfica. Sendo assim, o estudo: (i) avaliou a variabilidade dos parâmetros de projeto e critérios para soluções descentralizadas de tratamento de esgotos no lote e convencionais (tanque séptico e filtro anaeróbio) e wetlands construídos de fluxo horizontal e subsuperficial (WCFHSS), além das bacias de retenção pluvial (BDP), visando obter métricas de viabilidade das unidades; (ii) determinou os aspectos construtivos e técnico-financeiros das soluções propostas em diferentes cenários e contextos (pluvial e esgoto); e (iii) desenvolveu e validou um novo critério para definição da capacidade suporte de corpos hídricos urbanos pautado pela qualidade hídrica obtendo número máximo de habitantes para destinar seus efluentes em um recurso hídrico (Estudo de caso no Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS). Foi utilizada a vazão de referência da ( $Q_{90}$ ) e a concentração máxima de para classe II ( $5 \text{ mg DBO}_5 \cdot \text{L}^{-1}$ ), por meio da proposição do critério “Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH), usando como base a Razão de Diluição (RD) e a Equação de Mistura para validação. Constatou-se que, de maneira geral, não houve discrepâncias relevantes de volume, área e custos no comparativo entre TS, FAN e WCFHSS até 50 habitantes. Embora para o sumidouro (SU) há expressiva desproporcionalidade de dimensões frente a tais sistemas. No quesito VDH, para o TS+FAN chegou-se à um número máximo de habitantes, sendo 14.833 (baixo padrão), 11.653 (médio padrão) e 9.271 (alto padrão), o que equivale, respectivamente, a 3,3%, 2,6% e 2,1% da população total pertencente a tal bacia hidrográfica. Já para o TS+WCFHSS chegou-se à um número máximo de habitantes, sendo 59.333 (baixo padrão), 46.612 (médio padrão) e 37.083 (alto padrão), o que equivale, respectivamente, a 13,2%, 10,38% e 8,26% da população total pertencente a tal bacia hidrográfica, capaz de descartar tais efluentes para não impactar nas características da classe II prevista no estudo.

Palavras-chave: tanque séptico, filtro anaeróbio, sumidouro, wetland construído e VDH.

## ABSTRACT

Faced with the precariousness of the sewage collection and treatment infrastructure, the adoption of individual systems (on the lot) become attractive to improve sewage treatment rates, promote universalization and sustainability, mainly with the adoption of solutions based on Nature (SbN). However, there is still a lack of parameters and criteria that define the maximum percentage of service provided by the decentralized sewage system based on the water quality of the hydrographic basin. Therefore, the study: (i) evaluated the variability of design parameters and criteria for decentralized solutions for on-lot and conventional sewage treatment (anaerobic filter septic tank) and constructed wetlands with horizontal and subsurface flow (WCFHSS), in addition to basin rain detention (BDP), aiming to obtain metrics of viability of the units; (ii) determined the constructive and technical-financial aspects of the proposed solutions in different scenarios and contexts (rainfall and sewage); and (iii) developed and validated a new criterion for defining the carrying capacity of urban water bodies guided by water quality, obtaining the maximum number of inhabitants to allocate their effluents to a water resource (Case study in Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS). The reference flow rate of ( $Q_{90}$ ) and the maximum concentration of class II ( $5 \text{ mg BOD}_5 \cdot \text{L}^{-1}$ ) were used, by proposing the criterion "(Water-Effluent) Dilution Vulnerability" (VDH), using the Water Dilution Ratio as a basis. Dilution (RD) and Mixing Equation for validation. It was found that, in general, there were no relevant discrepancies in volume, area and costs in the comparison between TS, FAN and WCFHSS for up to 50 inhabitants. Although for SU there is a significant disproportionality of dimensions compared to such systems. In terms of VDH, a maximum number of inhabitants was reached for TS+FAN, with 14,833 (low standard), 11,653 (medium standard) and 9,271 (high standard), which is equivalent, respectively, to 3.3%, 2.6% and 2.1% of the total population belonging to such hydrographic basin. As for the TS+WCFHSS, a maximum number of inhabitants was reached, being 59,333 (low standard), 46,612 (medium standard) and 37,083 (high standard), which is equivalent, respectively, to 13.2%, 10.38 % and 8.26% of the total population belonging to such watershed, capable of discarding such effluents so as not to impact on the characteristics of class II foreseen in the study.

Keywords: septic tank, anaerobic filter, sink, constructed wetland and VDH.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Dados referentes à rede de abastecimento de água e de coleta esgoto dos municípios que responderem dados de esgoto ao SNIS em 2021.....	14
Figura 2- Quantidade de municípios por tipo de solução alternativa utilizada em 2021. ....	14
Figura 3 - Funcionamento geral de um tanque séptico. ....	22
Figura 4 - Detalhe de TS com câmara única. ....	23
Figura 5 - Detalhe do filtro anaeróbio. ....	25
Figura 6 - Detalhe do sumidouro.....	27
Figura 7- Esquema de uma wetland construído de fluxo horizontal subsuperficial (WCFHSS). .....	29
Figura 8- Fluxograma das etapas do trabalho de diplomação. ....	36
Figura 9 - Comparação entre os sistemas de tratamento de esgoto TS+WCFHSS+BDP (a), TS+FAN+BDP (b) e TS+(WCFHSS+BDP) (c).....	44
Figura 10 - Comparação entre os sistemas de tratamento de esgoto TS+FAN+SU (a), TS+FAN+CHUrb (b) e TS+WCFHSS+CHUrb (c). ....	46
Figura 11 - Comparação da área de ocupação ( $m^2.hab^{-1}$ ) e da volumetria ( $m^3.hab^{-1}$ ) de tanque séptico para edificação de baixo padrão conforme valores de K para diferentes faixas de temperatura (Tabela 7). Gráficos a), b) e c) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com $t \leq 10$ ; gráficos d), e) e f) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com $10 \leq t \leq 20$ ; gráficos g), h) e i) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com $t > 20$ . ....	48
Figura 12 - Comparação da área de ocupação ( $m^2.hab^{-1}$ ) e da volumetria ( $m^3.hab^{-1}$ ) de filtro anaeróbio para edificação de diferentes padrões construtivos com variações de T para diferentes faixas de temperatura (Tabela 9). Gráficos a), b) e c) correspondem à edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com $t < 15$ ; Gráficos d), e) e f) correspondem à edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com $15 \leq t \leq 25$ ; Gráficos g), h) e i) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com $t > 25$ . ....	49
Figura 13 - Comparação da área de ocupação ( $m^2$ ) do sumidouro para edificação de diferentes padrões construtivos com variações de taxas de aplicação diária ou coeficiente de infiltração	

(L.m <sup>3</sup> . d <sup>-1</sup> )) de acordo com a constituição do solo (Tabela 6). Gráficos a), b) e c) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente. ....	50
Figura 14 - Comparação técnico financeira dos sistemas de tratamento TS, FAN, SU e WCFHSS de acordo com o número de habitantes. ....	54
Figura 15 - Análise técnico financeira da bacia de detenção pluvial (BDP).....	54
Figura 16 - Comparação da área de ocupação (m <sup>2</sup> ) da BDP e do Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial WCFHSS.....	56
Figura 17 - Análise técnico financeira entre da Bacia de Detenção Pluvial (BDP) e o Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS). ....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais fatores para a seleção das tecnologias de tratamento. ....	20
Tabela 2 - Classificação das tecnologias de tratamento. ....	20
Tabela 3 – Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %). ....	30
Tabela 4 – Algumas características dos processos de tratamento (exclui tanque séptico). ....	31
Tabela 5 – Contribuição diária de esgoto (C) e de logo (Lf) por tipo de residência. ....	37
Tabela 6 – Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária. ....	37
Tabela 7 – Taxa de acumulação total de lodo (k), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio. ....	38
Tabela 8 – Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil. ....	38
Tabela 9 – Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura de esgoto (em dia). ....	39
Tabela 10 – Conversão de valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial. ....	39
Tabela 11 – Taxa de aplicação diária ou coeficiente de aplicação ( $L \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ ). ....	40
Tabela 12 – Valores de KT e $\Theta$ para $DBO_5$ (WCFHSS – KC). ....	41
Tabela 13 – Características típicas dos meios para wetlands WCFHSS. ....	42
Tabela 14 – Concentração de fundo do contaminante (WCFHSS – KC*). ....	42
Tabela 15 – Valores de KT e $\Theta$ para $DBO_5$ (WCFHSS – KC*). ....	42
Tabela 16 – Padrão da vazão de referência (Q90) e vazão específica para a bacia hidrográfica do Lago Guaíba [ $m^3 / (s \cdot km^2)$ ]. ....	47
Tabela 17 – Análise das áreas das áreas superficiais do WCHFSS por meio do método KC e KC*. ....	51
Tabela 18 – Análise das áreas da WCFHSS conforme faixa recomendada (Wetlands Brasil) de taxa de aplicação hidráulica superficial. ....	52
Tabela 19 – Análise das áreas da WCFHSS conforme faixa recomendada (Wetlands Brasil) de taxa de aplicação orgânica superficial. ....	52
Tabela 20 – Análise da variação da área ( $m^2$ ) e do volume ( $m^3$ ) da bacia de detenção pluvial em relação a área impermeável do terreno. ....	53
Tabela 21 – Análise da variação da área ( $m^2$ ) e do volume ( $m^3$ ) da bacia de detenção pluvial em relação a área impermeável do terreno ( $m^2$ ). ....	53
Tabela 22 – Análise das áreas TS+FAN+BDP. ....	55

Tabela 23 – Análise das áreas TS+WCH+BDP. ....	56
Tabela 24 – Análise da variação de saída de DBO5 (mg.L <sup>-1</sup> ) e da vazão Q <sub>efluente</sub> (m <sup>3</sup> /s) conforme a eficiência (%) de tratamento TS + FAN (*) e TS+WCFHSS (**). ....	58
Tabela 25 – Dimensionamento do número de economias (4 hab./economia), de acordo com o padrão construtivo e com as suas respectivas contribuições (L/dia) /habitante, capazes de destinar os efluentes para a rede pluvial (TS+FAN) de acordo com os parâmetros destacados em negrito (Tabela 24). ....	58
Tabela 26 – Dimensionamento do número de economias (4 hab./economia), de acordo com o padrão construtivo e com as suas respectivas contribuições (L/dia) /habitante, capazes de destinar os efluentes para a rede pluvial (TS+WCFHSS) de acordo com os parâmetros destacados em negrito (Tabela 24). ....	59

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Atlas de Esgoto da Agência Nacional de Água
BDP	Bacia de Detenção Pluvial
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CHUrb	Corpos Hídricos Urbanos
CSO	Tratamento Combinado de Esgoto
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio carbonácea de 5 dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAN	Filtro Anaeróbio
LAB	Loto Ativado em Batelada
LID	Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto
MEM	Modelo de Equação de Mistura
OMS	Organização Mundial da Saúde
Plansab	Plano Nacional de Saneamento Básico
RD	Razão de Diluição
SbN	Soluções baseadas na Natureza
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
SU	Sumidouro
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TEVap	Tanque de Evapotranspiração
TS	Tanque Séptico
VDH	Vulnerabilidade de Diluição Hídrica
WCs	Wetland Construídos
WCFHSS	Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial

## LISTA DE SÍMBOLOS

As	Área superficial do wetland construído (m <sup>2</sup> )
C	Contribuição de despejos (L.hab <sup>-1</sup> . d <sup>-1</sup> )
C*	Concentração de fundo do contaminante (m)
Ca	Concentração do contaminante no afluente (considerado 140 mg. L <sup>-1</sup> )
Cd	Contribuição diária (m.d <sup>-1</sup> )
Ce	Concentração do contaminante no efluente (considerado 30 mg. L <sup>-1</sup> )
C <sub>rio</sub>	Concentração de DBO5 do corpo de água
C <sub>esgoto</sub>	Concentração de DBO5 do efluente
ET	Taxa de evapotranspiração (mg. L <sup>-1</sup> ) (considerado 1,1 mm.d <sup>-1</sup> )
H	Profundidade útil, altura do leito (m)
h	Altura total interna (m)
h1	Altura da lâmina livre (m)
h2	Altura do vão livre (m)
I	Taxa de infiltração (m.d <sup>-1</sup> ) (considerado 0, visto que o meio é impermeável)
K	Taxa de acumulação de lodo digerido (dias)
KT	Constante de reação de primeira ordem, depende da temperatura (d <sup>-1</sup> )
K20	Constante de reação de primeira ordem a 20°C, (d <sup>-1</sup> )
Lf	Contribuição de lodo fresco (L.hab <sup>-1</sup> . d <sup>-1</sup> )
L	Comprimento interno total (m)
N	Número de habitantes
n	Porosidade do substrato filtrante (cascalho médio, 38%), expressado como decimal
P	Taxa de precipitação (m.d <sup>-1</sup> ) (considerado 2,2 mm.d <sup>-1</sup> )
Q	Vazão (m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> )
Q <sub>0</sub>	Vazão (m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> ) (considerando as taxas de precipitação e de evapotranspiração)

$Q_{\text{rio}}$	Vazão do corpo de água em ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
T	Período de detenção (dias)
$T'$	Temperatura de água, °C (média do mês mais frio)
V	Volume (L ou $\text{m}^3$ )
W	Largura interna total (m)
Y	Profundidade da lâmina de água (considerado 0,60 m)
$\Theta$	Coefficiente de temperatura, adimensional

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	APRESENTAÇÃO .....	13
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
3.1	TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO .....	19
3.2	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADO .....	19
3.2.1	<i>Tanque Séptico (TS)</i> .....	21
3.2.2	<i>Filtro Anaeróbio (FAN)</i> .....	24
3.2.3	<i>Sumidouro (SU)</i> .....	26
3.2.4	<i>Wetlands Construídos (WC)</i> .....	27
3.3	PARÂMETROS DE QUALIDADE DE EFLUENTES TRATADOS.....	29
3.4	BACIA DE DETENÇÃO PLUVIAL .....	31
3.5	ESTUDOS SIMILARES .....	33
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>36</b>
4.1	DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO (TS) .....	37
4.2	DIMENSIONAMENTO DO FILTRO ANAERÓBIO (FAN) .....	38
4.3	DIMENSIONAMENTO DO SUMIDOURO (SU) .....	39
4.4	DIMENSIONAMENTO DO WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL (WCFHSS).....	40
4.4.1	<i>Dimensionamento - Cinética de Primeira Ordem (KC)</i> .....	41
4.4.2	<i>Dimensionamento - Cinética de Primeira Ordem com Concentração Residual (KC*)</i> 42	
4.5	BACIA DE DETENÇÃO PLUVIAL (BDP).....	43
4.6	ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRA .....	43
4.7	ESTUDO DE CASO .....	44
4.7.1	<i>Sistema Combinado de Esgotamento (CSO) - Bacia de retenção pluvial (BDP) e Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS)</i> .....	44



4.7.2	<i>Vulnerabilidade de Diluição Hídrica (VDH)</i> .....	45
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>47</b>
5.1	TANQUE SÉPTICO (TS) .....	47
5.2	FILTRO ANAERÓBIO (FAN).....	48
5.3	SUMIDOURO (SU).....	49
5.4	WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL (WCFHSS) .....	51
5.5	BACIA DE DETENÇÃO PLUVIAL (BDP).....	52
5.6	ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRA .....	53
5.7	ESTUDO DE CASO .....	55
5.7.1	<i>Sistema combinado de esgotamento - Bacia de retenção pluvial (BDP) e Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS)</i> .....	55
5.7.2	<i>Vulnerabilidade de Diluição Hídrica (VDH)</i> .....	57
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>63</b>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. Caracteriza-se como um conjunto de ações socioeconômicas que tem por objetivo alcançar a salubridade ambiental. A salubridade ambiental é o estado de higidez (estado de saúde normal) em que vive a população urbana e rural, tanto no que se refere a sua capacidade de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo meio ambiente, como no tocante ao seu potencial de promover o aperfeiçoamento de condições mesológicas (que diz respeito ao clima e/ou ambiente) favoráveis ao pleno gozo de saúde e bem-estar (GUIMARÃES, CARVALHO e SILVA, 2007).

O saneamento adequado ainda não é disponível para bilhões de pessoas em todo o mundo (WHO e UNICEF, 2020). No Brasil, 43% da população possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de tanque séptico (como solução individual convencional). Sendo que 55% possuem tratamento considerado adequado; 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviços de coleta sanitária, conforme os Atlas de Esgotos da Agência Nacional de Água (ANA) e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (ANA, 2017).

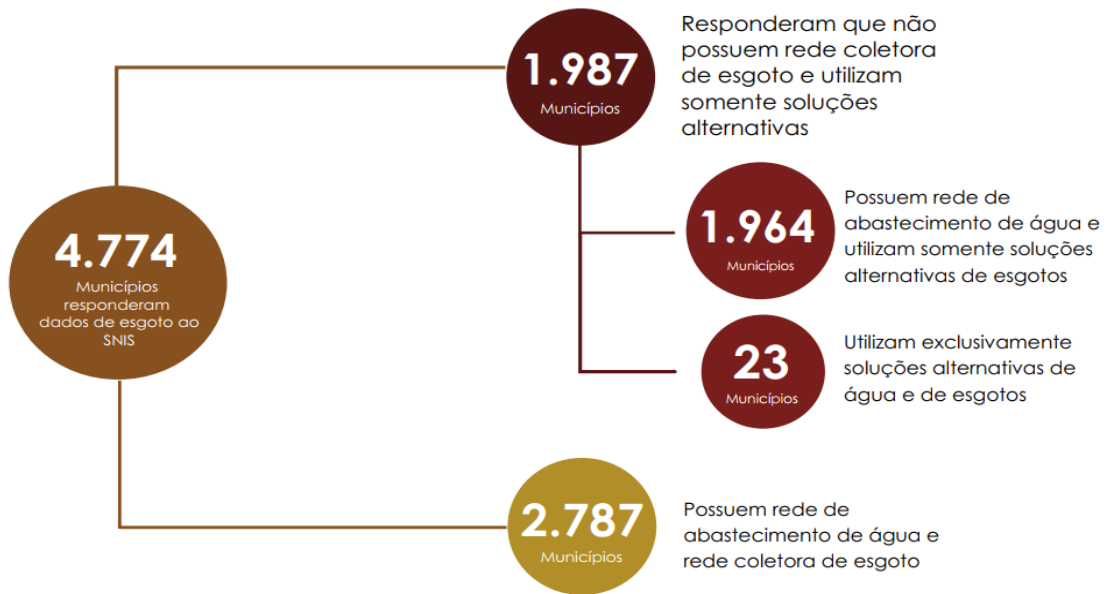
No ano de 2021 (Figura 1), um total de 4.774 municípios responderam dados sobre esgotos ao SNIS, sendo que 2.787 municípios possuem rede de abastecimento de água e rede coletora de esgotos e 1.987 não possuem rede coletora de esgotos. Dentre o total de formulário simplificados, 1.964 municípios possuem rede de abastecimento de água, mas não possuem rede coletora de esgotos e 23 municípios não possuem rede de abastecimento de água e nem rede coletora de esgoto (SNIS, 2023).

Segundo o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2023) 2.787 municípios (50% da amostra) contam com sistemas públicos de esgotamento sanitário. Em 1.987 municípios (35,7%) são utilizadas soluções alternativas individuais como fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto e lançamento em cursos d'água. Dessas alternativas, apenas a fossa séptica é considerada como adequada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), conforme demonstrado na Figura 2.

---

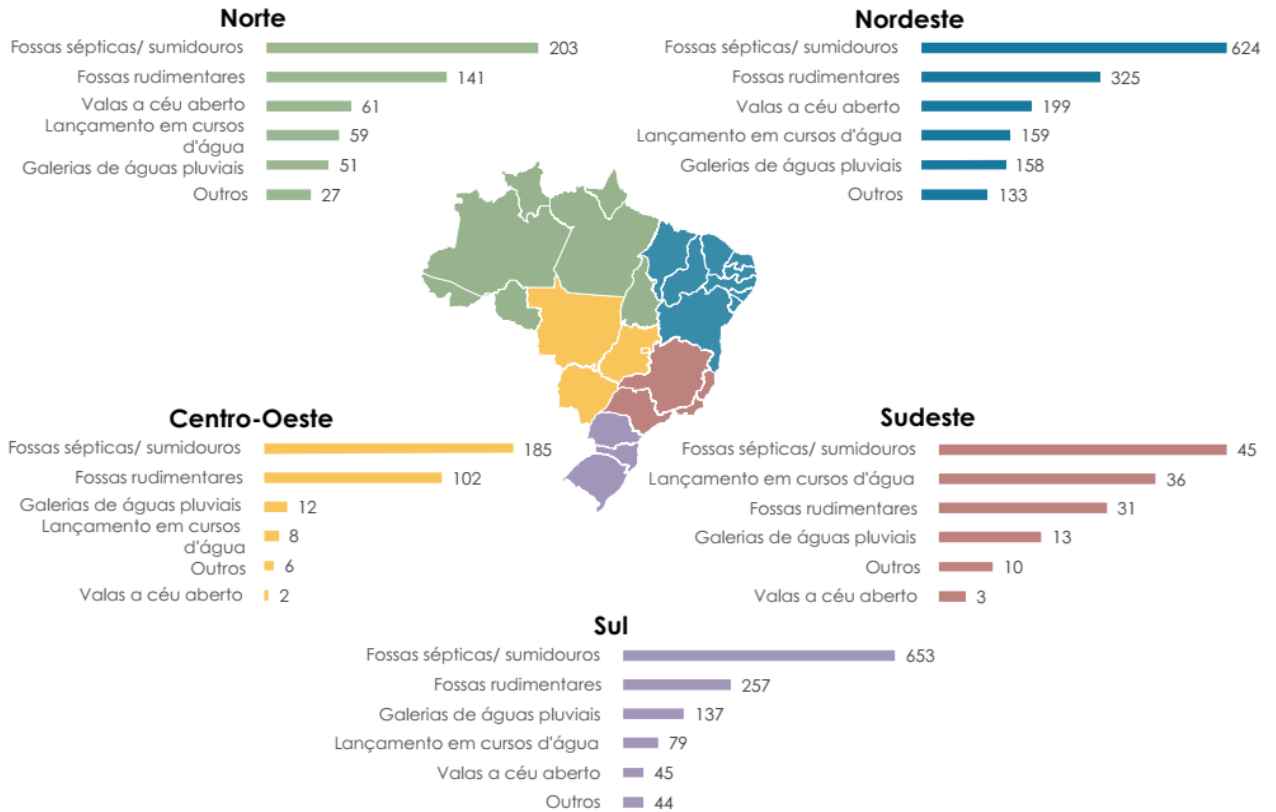
“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

Figura 1- Dados referentes à rede de abastecimento de água e de coleta esgoto dos municípios que responderem dados de esgoto ao SNIS em 2021.



Fonte: Fonte: SNIS, 2023.

Figura 2- Quantidade de municípios por tipo de solução alternativa utilizada em 2021.



Fonte: Fonte: SNIS, 2023.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A precariedade nos serviços de esgotamento sanitário é mais acentuada em regiões periurbanas e rurais, caracterizadas por estarem situadas a longas distâncias das áreas centrais e apresentam baixa densidade demográfica. Tais características dificultam a utilização de sistemas centralizados de tratamento comumente adotados em regiões urbanas densamente povoadas (MAGALHÃES FILHO E PAULO, 2017; Tonetti et al., 2018). Por outro lado, a falta de investimentos em regiões adensadas incentiva a adesão por sistemas individuais e lançamento em redes pluviais (microdrenagem-galerias), muitas vezes sem a devida qualidade adequada, e não se considera a capacidade suporte dos pequenos arroios e córregos urbanos.

Para a manutenção das condições apropriadas de saneamento básico é fundamental a utilização de sistemas efetivos de tratamento de esgoto, que possam atuar na redução do potencial poluidor dos efluentes e, conseqüentemente, proteger a saúde pública e o ambiente dos danos causados pela poluição de origem antrópica (MARZOUK; OTHMAN, 2017).

Os sistemas descentralizados surgem como alternativa para suprir as necessidades sanitárias da população. Essa concepção alternativa permite que doenças e contaminações sejam reduzidas, buscando manter também as fontes de abastecimento de água seguras, pois em muitos casos em que não há coleta e tratamento de esgoto o abastecimento de água também pode ser precário (JORDÃO E PESSÔA, 2005).

O processo de avaliação e seleção de sistemas centralizados ou descentralizados para o tratamento de esgotos em uma localidade envolve diversos fatores, tais como: a concepção do sistema de tratamento, nível de tratamento exigido, características da população atendida, custos relativos à construção, operação e manutenção dos sistemas, bem como dos custos advindos da reparação e substituição do sistema (MASSOUD et al., 2009).

Restrições de encaminhamento de redes de coleta de esgoto públicas favorecem a aplicação da descentralização de tratamento do esgotamento. Isso se dá devido ao baixo retorno monetário às concessionárias já que a população contribuinte será reduzida.

Pesquisas recentes deixam claro a necessidade da implementação de ações sustentáveis para que se possa obter pleno desenvolvimento e melhor qualidade de vida dentro das cidades e nas áreas rurais (MAKIDO, Y.; HELLMAN, D.; SHANDAS, V., 2019). Nesse contexto, as Soluções baseadas na Natureza (SbN) têm aparecido cada vez mais como uma opção, visando a adaptação frente às mudanças climáticas, para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável e que melhorem o bem-estar humano (ALBERT et al. 2021).

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

Como SbN tem-se, por exemplo, o tanque de evapotranspiração (TEVap), sistema baseado no solo e nas plantas, largamente utilizados por praticantes da permacultura (MAGALHÃES FILHO E PAULO, 2019); e os wetlands construídos (WC), sistemas amplamente utilizados para tratar vários tipos de águas residuais, como esgoto doméstico, águas residuais agrícolas, efluentes industriais, drenagem de minas, lixiviados de aterros sanitários, águas pluviais, águas de rios poluídas e escoamento urbano (MAGALHÃES FILHO E PAULO, 2021).

Tais soluções trazem elementos e processos naturais para as cidades, paisagens rurais e marinhas, além de mais diversificadas, por meio de intervenções adaptadas localmente, são eficientes em termos de recursos. SbN devem, portanto, beneficiar a biodiversidade e apoiar a uma gama de serviços ecossistêmicos (EC, 2015).

As NBR 7229 (ABNT, 1997a) e a 13969 (ABNT, 1997b), apresentam algumas opções de tecnologias de tratamento primário de esgoto, como o tanque séptico; e de tratamento secundário, como filtro anaeróbio, filtro de areia, vala de infiltração, lodo ativado por batelada (LAB) e lagoa com plantas. Porém, não faz nenhuma referência aos WC e, conseqüentemente, ao termo mais recente das SbN.

No Brasil, os WC têm-se desenvolvido com a referência do Grupo Wetland Brasil<sup>1</sup>, cujo objetivo é de disseminar o conhecimento e as experiências brasileiras relativas à aplicação das diferentes modalidades de wetlands empregados no controle da poluição. Porém, mesmo com todos estes esforços, ainda não há nenhuma normativa técnica oficial que inclui os WC, além do Plano Nacional de Saneamento Rural<sup>2</sup> que indica seu uso. Mesmo os estudos existentes mostrando que a WC possui uma melhor eficácia de tratamento em comparação ao sistema convencional, ainda é carente estudos que demonstrem seu potencial em contextos de bacias hidrográficas, principalmente urbanas, visando a melhoria da qualidade da água.

Frente ao exposto, é importante avaliar como os sistemas de tratamento de esgoto individuais convencionais possuem diferentes parâmetros e critérios (população, padrão construtivo, temperatura e tipologia do solo) que interferem diretamente no dimensionamento das respectivas unidades, de modo a certificar e validar a possibilidade de implementação frente as opções do tipo SbN (WC). Afinal, a demanda por área do lote é um desafio e por isso se faz necessária escolher um método adequado para ser empregado. Contudo, em alguns contextos, há necessidade da existência de áreas não edificáveis para a implantação de sistemas de manejo de águas pluviais, como as bacias de detenção. Contudo, as SbN possibilitam combinar esgotos

---

<sup>1</sup> <https://wetlandsbrasil.com.br/>

<sup>2</sup> [http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL\\_PNSR\\_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb](http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb)

e águas pluviais (Wetlands Construídos do tipo *CSO – Combined Sewer and Overflow*). Dessa forma, análises embasadas não somente na área disponível no lote, mas também nos quesitos que prezem pela qualidade do efluente direcionado a um corpo hídrico incluindo aspectos de viabilidade técnica e financeira se fazem necessários para buscar a efetividade de políticas públicas no setor de água e saneamento.

Sendo assim, o presente estudo visa avaliar o sistema descentralizado de tratamento de esgoto convencional (Tanque Séptico - TS + Filtro Anaeróbio - FAN) e por Soluções baseadas na Natureza (SbN) (Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial - WCFHSS) diante de como a variabilidade de parâmetros e critérios de projetos afetam as dimensões dessas unidades, incluindo a disposição no lote (Sumidouro - SU). O intuito é definir o potencial do uso dessas soluções individuais e efluente destinado para rede pluvial e encaminhados para Corpos Hídricos Urbanos (CHUrb) em relação a capacidade de autodepuração (Razão de Diluição), sendo denominado de “Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH). Dessa forma, será possível estimar a quantidade máxima de habitantes (Equivalente Populacional) que poderão destinar seus efluentes à tal meio. Incluindo a substituição do uso da FAN por WCFHSS, levando em consideração o tratamento combinado do esgotamento (pluvial e cloacal).

O intuito é permitir o aprimoramento dos instrumentos de gestão de saneamento, visando políticas públicas efetivas e sustentáveis para melhoria da qualidade de vida da população.

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho estão classificados em geral e específicos e são descritos a seguir.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os sistemas descentralizados de tratamento de esgoto convencional composto por: (i) Tanque Séptico (TS), Filtro Anaeróbio (FAN) e Sumidouro (SU) e (ii) Soluções baseadas na Natureza (SbN) (Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial – WCFHSS) e Bacias de Detenção Pluvial (BDP) para o tratamento combinado de esgoto (pluvial) no lote.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Analisar a variabilidade dos parâmetros de projeto e critérios para soluções descentralizadas de tratamento convencional no lote (Tanque Séptico + Filtro Anaeróbio) e Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS) e Bacias de Detenção Pluvial (BDP);
- Avaliar aspectos construtivos de diferentes cenários e técnico-financeiros das soluções propostas (pluvial e esgoto);
- Desenvolver e validar um novo critério para definição da capacidade suporte de corpos hídricos urbanos pautado pela qualidade hídrica.



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO

Os sistemas de tratamento descentralizados de esgoto são definidos principalmente pelo fato das águas residuárias, em pequenos volumes, serem tratadas próximas da fonte geradora (CRITES; TCHOBANOGLOUS, 1998; WILDERER; SCHREFF, 2000).

A necessidade de se estabelecer uma abordagem descentralizada com relação à concepção dos sistemas de esgoto já vem sendo observada há algum tempo no mundo como estratégia para melhorar os índices relativos à prestação do serviço de esgotamento sanitário e, assim, ter soluções intermediárias e complementares capazes de garantir uma maior sustentabilidade sanitária e ambiental das áreas urbanas desprovidas desse serviço (SANTOS, et al., 2019).

A Dinamarca, país com alto grau de desenvolvimento, de certa forma, adota a descentralização. Em algumas cidades a urina é coletada em separado por meio de frotas de caminhões, sendo armazenada durante meses em gigantescas bolsas PEAD, e o resíduo é fornecido para adeptos da agricultura orgânica. Se toda a urina produzida fosse coletada em separado, cerca de 80 a 85% das emissões de compostos de nitrogênio e 50% de compostos de fósforo deixariam de contaminar e comprometer a qualidade dos corpos de água (JÖNSSON, 2002). Em algumas regiões da China, por exemplo, a urina e as fezes são coletadas separadamente através do uso de bacias sanitárias, para uso como fertilizantes na própria propriedade.

Quando se trata de sistemas descentralizados, observa-se que, respeitada a análise in situ na área a ser beneficiada pelo projeto, a qual pode evidenciar economia de escala em determinadas circunstâncias específicas, com eventual maior vantagem para o emprego de sistemas convencionais alternativos e em blocos de residências, os sistemas descentralizados em geral, apresentam custos totais anuais significativamente menores do que as soluções convencionais, demonstrando a viabilidade do seu emprego como estratégia governamental na busca pela universalização dos serviços de esgotamento sanitário nos países pobres e em desenvolvimento (MASSOUD et al., 2009).

#### 3.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DESCENTRALIZADO

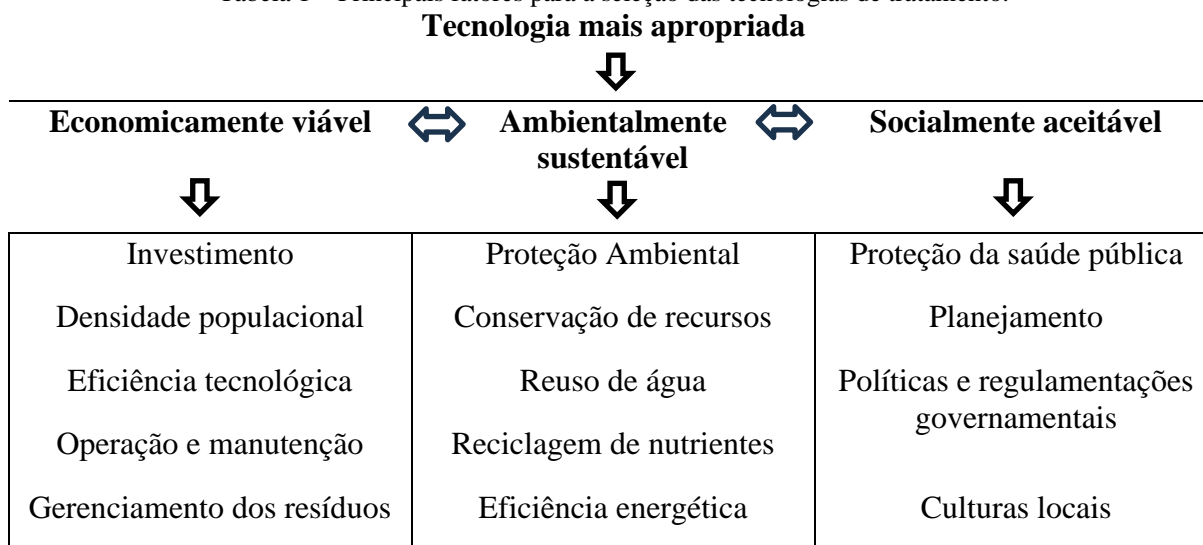
Muitas alternativas tecnológicas para o tratamento de esgoto estão disponíveis, que vão desde tecnologias avançadas até opções de tratamento simples (KALBAR; KARMAKAR; ASOLEKAR, 2012).

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

A seleção da tecnologia de tratamento mais adequada não é uma tarefa fácil, porém é muito importante para reduzir o risco e falhas no futuro (FRAU, 1996). Dessa forma, dentre os fatores que influenciam a seleção do método de tratamento de esgoto mais adequado estão a viabilidade econômica, a sustentabilidade e a aceitabilidade frente as políticas de regulamentação, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais fatores para a seleção das tecnologias de tratamento.



Fonte: Adaptado SUBTIL, SANCHEZ E CAVALHEIRO, 2017.

Em geral, as tecnologias usadas para sistemas descentralizados devem ser aptas a operar por períodos prolongados, com baixa manutenção, simplicidade operacional e com capacidade adequada para absorver as oscilações de vazão e qualidade do ambiente (SUBTIL, 2017).

No presente estudo, foram abordadas as tecnologias de tratamento primárias e secundárias conforme demonstrado na Tabela 2. Como dispositivo final do efluente, foi utilizado um sumidouro como mecanismo de infiltração.

Tabela 2 - Classificação das tecnologias de tratamento.

Classificação	Eficiência	Tecnologia
Tratamento primário	Remoção de sólidos em suspensão	Tanque Séptico (TS) / Fossa Séptica
Tratamento secundário	Remoção de matéria orgânica dissolvida	Filtro Anaeróbio (FAN) Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS)

Fonte: Autor.

### 3.2.1 Tanque Séptico (TS)

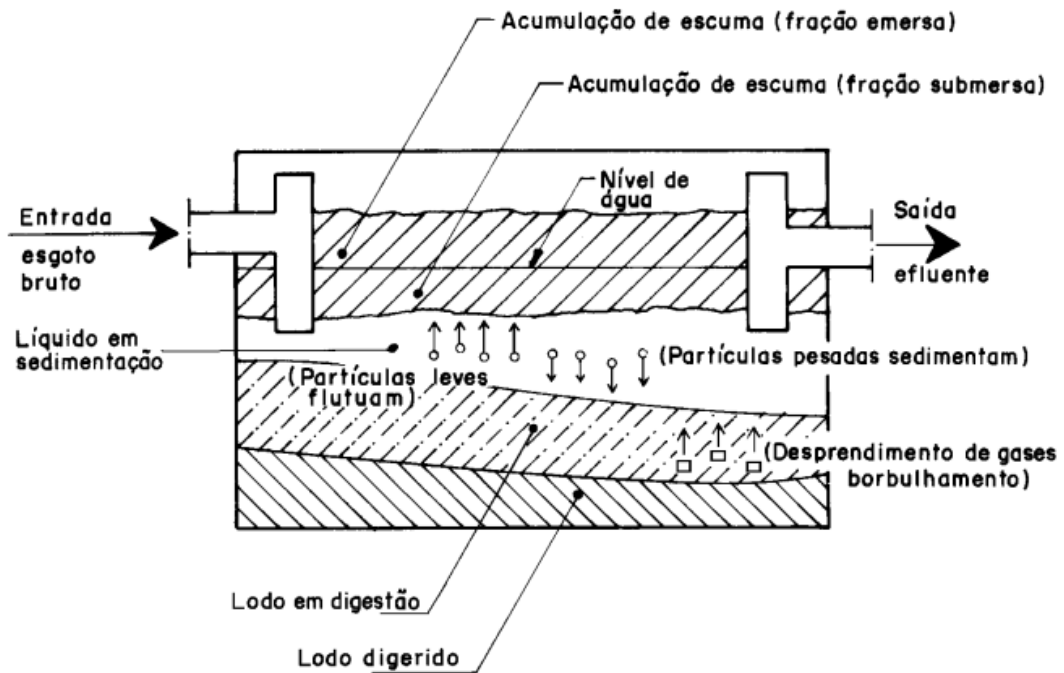
O mais antigo e conhecido sistema de tratamento em nível primário, utilizado desde o final do século XIX em sistemas descentralizados, é o tanque séptico também conhecido como fossa séptica. Devido a sua simplicidade construtiva e operacional, no Brasil o tanque séptico ainda é o sistema de tratamento de esgotos mais utilizado no pré-tratamento local de esgotos gerados em residências individuais ou em conjuntos residenciais (loteamentos e condomínios habitacionais), especialmente em áreas não servidas por sistemas coletivos de esgotamento sanitário (IBGE, 2011).

As fossas sépticas são unidades de tratamento primário de esgoto doméstico nas quais são feitas a separação e a transformação físico-química da matéria sólida contida no esgoto. É uma maneira simples e barata de disposição dos esgotos indicada, sobretudo, para a zona rural ou residências isoladas. Todavia, o tratamento não é completo como numa Estação de Tratamento de Esgoto.

O funcionamento básico de um TS envolve o fluxo das águas residuais para dentro do tanque, onde ocorre um processo de separação. Segundo Azevedo (2010), o funcionamento básico do sistema do respectivo sistema envolve os seguintes passos:

- **Separação de Sólidos e Líquidos:** quando os resíduos entram no tanque séptico, ocorre uma separação natural entre sólidos mais pesados e líquidos. Os sólidos mais densos afundam no fundo do tanque, formando uma camada de lodo, enquanto os óleos e gorduras mais leves flutuam na superfície, criando uma camada de escória;
- **Decomposição Biológica Parcial:** o ambiente dentro do tanque séptico é anaeróbico, o que significa que há uma ausência significativa de oxigênio. Isso cria condições propícias para a ação de microrganismos anaeróbicos que começam a decompor parcialmente os resíduos orgânicos presentes nos esgotos;
- **Digestão e Separação Adicional:** com o tempo, o lodo no fundo do tanque é decomposto ainda mais pelos microrganismos anaeróbicos, resultando em uma redução do volume total de sólidos. No entanto, o processo não elimina todos os contaminantes presentes nos esgotos.

Figura 3 - Funcionamento geral de um tanque séptico.

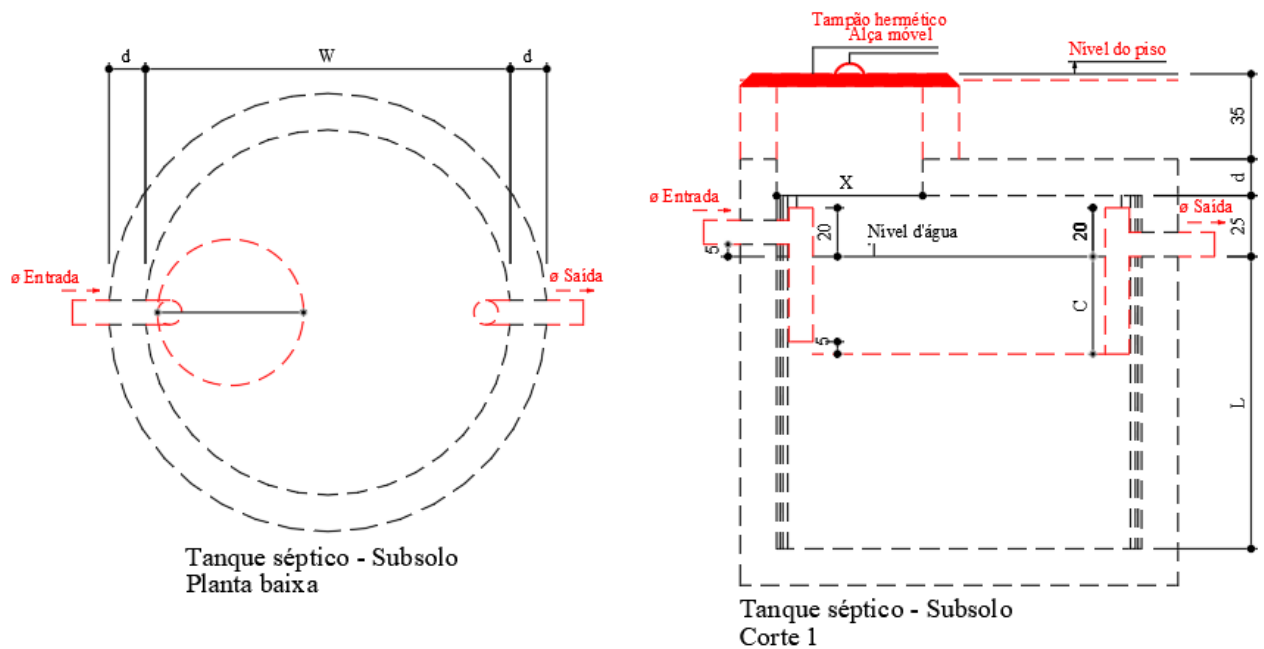


Fonte: NBR 7229:1993.

A Fossa Séptica pode ser definida como unidade de sedimentação e digestão anaeróbia, ou seja, com ausência de oxigênio, de escoamento contínuo. É projetada para ser construída com material estanque (à prova de água) para receber as águas residuárias. Para a fossa séptica devem ser encaminhados todos os despejos domésticos provenientes de cozinha, lavanderia domiciliares, lavatórios, bacias sanitárias, bidês, banheiros, mictórios (CHERNICHARO, 2001).

De acordo com a NBR 7229 (ABNT,1993) – Projeto, construção e operação de Tanques Sépticos, os TS podem ter formatos variáveis, sendo eles com seções circulares ou prismáticas, levando em consideração também o número de compartimentos/câmaras, podendo ser múltipla ou única, está última conforme a Figura 4.

Figura 4 - Detalhe de TS com câmara única.



Fonte: Adaptado NBR 7229:1993.

Onde,

H: profundidade útil;

c:  $1/3$  h;

L: comprimento interno total;

W: largura interna total ( $\geq 80$  cm);

d: espessura da parede;

Relação L/W: entre 2:1 e 4:1.

É importante notar que o sistema de TS é apenas um estágio inicial de tratamento e não elimina todos os poluentes. Portanto, a água tratada que sai do tanque, chamada de efluente, precisa passar por um segundo estágio de tratamento antes de ser liberada no meio ambiente. No presente trabalho foi analisado como tratamento secundário o uso do Filtro Anaeróbio e do Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS) seguidas de Sumidouro, análises estas que serão apresentadas mais à frente.

### 3.2.2 Filtro Anaeróbio (FAN)

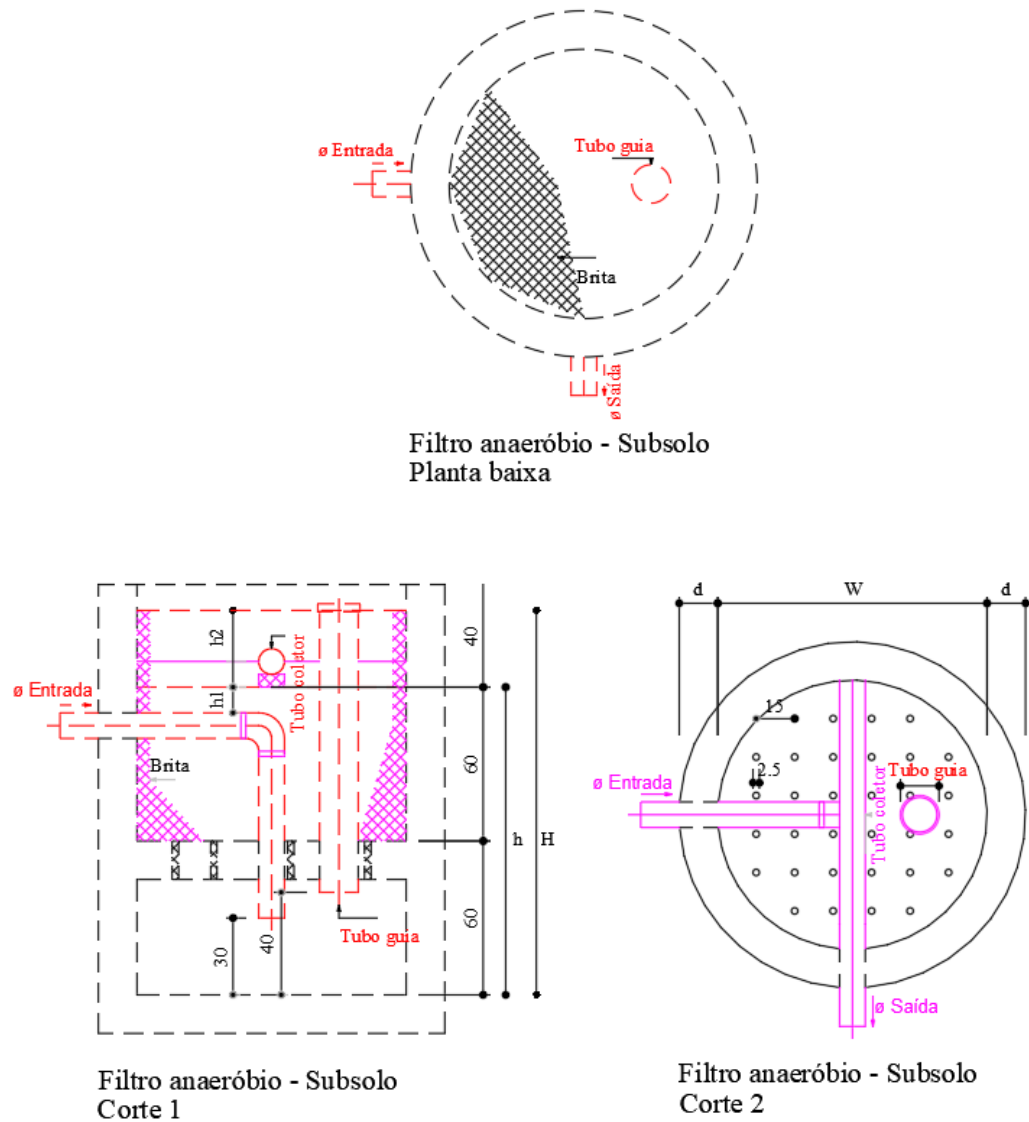
A NBR 13969/1997 (ABNT, 1997) define Filtros Anaeróbios como um reator biológico com entrada de efluente do TS em sentido ascendente, constituído por uma câmara vazia na parte inferior e outra câmara preenchida com material filtrante logo acima desta câmara vazia, como pode ser observado na Figura 5. Nessa camada filtrante é que trabalham os microrganismos responsáveis por degradar a matéria orgânica. Este sistema é bastante eficiente na remoção de cargas orgânicas elevadas, porém é extremamente sensível a mudanças de temperatura, e vale ressaltar também que ele é capaz de exalar odores desagradáveis durante o funcionamento.

Dentre algumas vantagens de utilização de filtros anaeróbios estão a dispensabilidade de fonte de energia externa de recirculação de lodo, baixa produção de lodo e relevante remoção de material orgânico dissolvido. As desvantagens desse sistema são poucas, efluentes podem estar ricos em suas matérias, excesso de microrganismos patogênicos, entupimentos, entre outros (ÁVILLA, 2005).

De acordo com Ávila (2005), o esgoto é depurado ao percolar por entre os interstícios do meio suporte, estando em contato com o lodo retido. Este é responsável pela conversão dos compostos orgânicos solúveis em produtos intermediários e finais. Os efluentes dos filtros são, geralmente, conduzidos a um curso d'água, Sumidouro, valas de filtração, filtros, entre outros. Isto torna obrigatória a inspeção periódica da qualidade desses efluentes e a manutenção dos filtros, através da troca do material filtrante (PIRES, 2011).

A NBR 13969 (ABNT, 1997) apresenta as faixas prováveis de eficiência na remoção dos poluentes do filtro anaeróbio em conjunto com a Fossa Séptica em função da temperatura, onde para  $DBO_{5,20}$  a eficiência varia entre 40 a 75%, para Demanda Química de Oxigênio (DQO) de 40 a 70%, para SST de 60 a 90% e para sólidos sedimentáveis de 70% ou mais, levando em consideração que os valores limites inferiores se referem a temperaturas menores que 15°C e os valores limites superiores são para temperaturas maiores que 25°C.

Figura 5 - Detalhe do filtro anaeróbio.



Fonte: Adaptado NBR 13969:1997.

Onde,

$H: h + h1 + h2;$

$h:$  altura total interna;

$H:$  altura total do leito;

$h1:$  altura da lâmina livre;

$h2:$  altura do vão livre;

$d:$  espessura da parede;

$W:$  largura interna total.

### 3.2.3 *Sumidouro (SU)*

Um Sumidouro, também conhecido como fossa absorvente, poço de infiltração ou sistema de infiltração, é um dispositivo utilizado para a disposição final de águas residuais, geralmente provenientes de sistemas de tratamento de esgoto doméstico. Ele é projetado para permitir que as águas residuais se infiltrem no solo de maneira controlada e segura e são frequentemente usados em áreas onde não há acesso a sistemas de esgoto centralizados ou quando os sistemas de tratamento de esgoto convencionais não são práticos. No entanto, é importante projetar e instalar sumidouros adequadamente para evitar problemas ambientais, como a contaminação do lençol freático ou a poluição do solo.

De acordo com a NBR 13969 (1993, p.19):

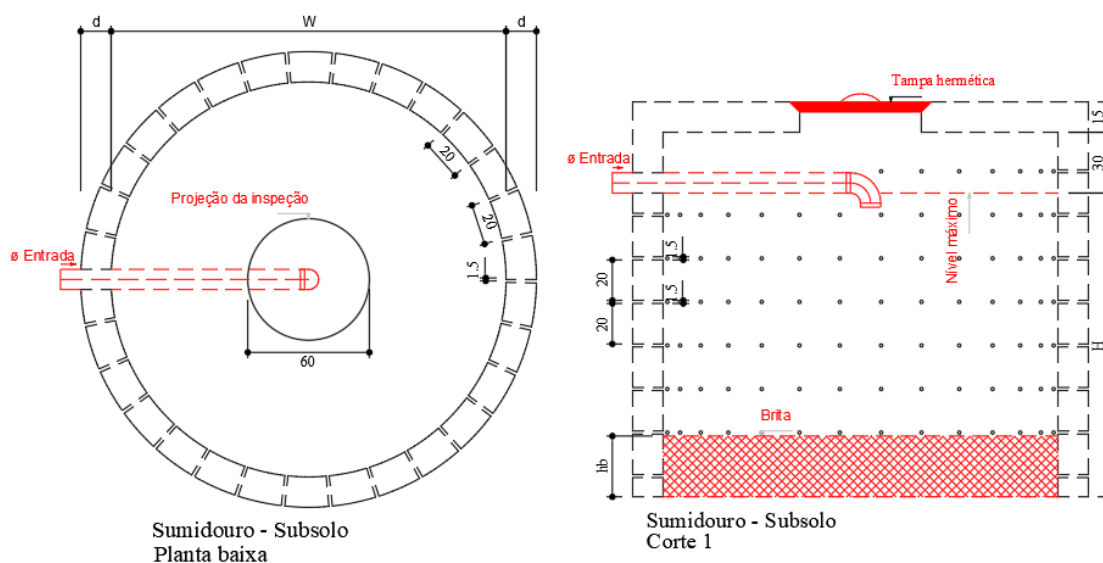
O Sumidouro é a unidade de depuração e de disposição final do efluente de tanque séptico verticalizado em relação à vala de infiltração. Devido a esta característica, seu uso é favorável somente nas áreas onde o aquífero é profundo, onde possa garantir a distância mínima de 1,50 m (exceto areia) entre o seu fundo e o nível aquífero máximo. Os critérios e as considerações principais seguem aquelas relativas às da vala de infiltração, exceto no que tange ao processo aeróbio, uma vez que se torna difícil manter aquela condição no interior do poço. Por esta razão, a obstrução das superfícies internas do Sumidouro é mais precoce. Na ocasião da substituição por outro poço, recomenda-se a exposição ao ar livre das paredes internas do sumidouro substituído, durante pelo menos seis meses, tomando-se o cuidado de não ocorrer acidentes, para permitir a recuperação da capacidade infiltrativa. (NBR 13969:1997 pg. 19).

O Sumidouro recebe os rejeitos diretamente do conjunto Fossa Séptica e Filtro Anaeróbio, e tem vida útil longa, em virtude de sua facilidade de infiltração do líquido quase isento dos sólidos responsáveis pela colmatação do solo, sendo está a principal diferença entre o sumidouro e os outros dispositivos de lançamentos de esgotos (JORDÃO; PESSOA, 1995).

O funcionamento básico de um sumidouro envolve a criação de uma cavidade no solo, geralmente preenchida com cascalho ou pedras, onde as águas residuais tratadas são liberadas gradualmente. À medida que as águas residuais percolam através do material de enchimento, elas são filtradas e tratadas por processos naturais, como a filtração do solo e a ação de microrganismos presentes no solo, conforme demonstrado na Figura 6.



Figura 6 - Detalhe do sumidouro.



Fonte: Adaptado NBR 13969:1997.

Onde,

H: altura total interna;

H<sub>b</sub>: altura de brita;

D: espessura da parede;

W: largura interna total.

É favorável somente em áreas onde o aquífero for profundo, e possa assegurar a distância mínima de 1,50 m (exceto em terrenos arenosos) entre o seu ponto inferior e o nível máximo do aquífero (NBR 13969, ABNT, 1997). No processo de disposição final do efluente das fossas sépticas e Filtros Anaeróbios, os aspectos construtivos exercem importante influência na sua durabilidade e funcionamento dos mesmos (NBR 13969, ABNT, 1997).

### 3.2.4 Wetlands Construídos (WC)

Apesar de serem conhecidas inúmeras concepções diferentes de sistemas de tratamento de esgotos, uma estação de tratamento nem sempre é viável economicamente, fato que exige o estudo e a implementação de novas alternativas, a fim de se obter uma tecnologia capaz de relacionar favoravelmente o custo e o benefício, tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade (UCKER e col., 2012).

Entre as soluções disponíveis atualmente, evidenciam-se os sistemas naturais de tratamento de esgotos, os quais baseiam-se na capacidade de ciclagem dos elementos contidos nos esgotos

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

em ecossistemas naturais, sem o fornecimento de qualquer fonte de energia induzida para acelerar os processos bioquímicos que ocorrem de forma espontânea (SEZERINO, 2006).

A utilização de plantas aquáticas no tratamento de efluentes de esgotos é bastante antiga. Esta técnica já era utilizada pelos Astecas na cidade do México no passado. Porém, as zonas úmidas naturais (natural wetlands) têm sido usadas como ponto de descarga para o tratamento de esgoto desde o início do século XX (SEZERINO, 2004).

Entretanto, a utilização de wetlands naturais como pontos receptores e/ou ambientes depuradores dos esgotos promove distúrbios na dinâmica natural do ecossistema e, na maioria das vezes, não é recomendado como alternativa ecologicamente correta (METCALF & EDDY, 1991).

Frente a isso e, de modo a impedir a dispersão das águas residuais no solo e/ou no corpo hídrico, surgiram as primeiras investigações referentes a possibilidades de aplicação de Wetlands Construídos.

A tecnologia de tratamento de águas residuárias, conhecida como sistemas Wetlands Construídos, foi inicialmente empregada na Alemanha por Käthe Seidel do Instituto Max Planck em meados de 1950, para a remoção de fenol e na redução da carga orgânica de efluente de laticínio (KADLEC & KNIGHT, 1996), sendo implementada no Brasil apenas no início de 1980 pelos pesquisadores Salati e Rodrigues.

Os WC são módulos escavados ou construídos sobre o solo, impermeabilizados e preenchidos com material filtrante (normalmente areia ou brita) que dão suporte para o crescimento das macrófitas e do biofilme. (SEZERINO et al., 2018). Ressalta-se a necessidade de periódicas remoções/substituição das plantas filtrantes de modo a manter a qualidade do sistema do WC.

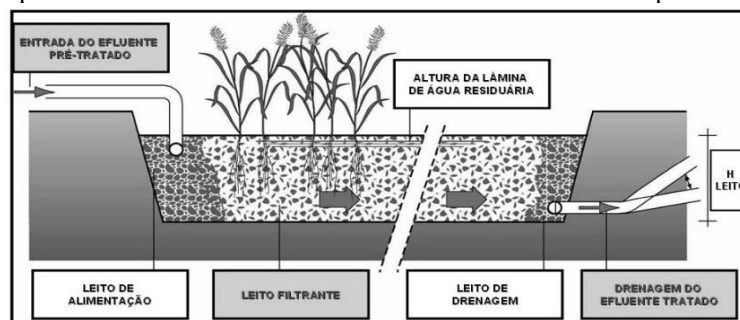
O sistema Wetland Construído (WC) é uma tecnologia empregada no tratamento de esgoto doméstico, através da utilização de plantas, microrganismos e material filtrante em que ocorrem processos físicos, químicos e biológicos (ANSARI et al., 2016) e podem ser concebidas para otimizar o desempenho dos processos de remoção de  $DBO_{5,20}$  e nutrientes para maximizar o controle sobre a vegetação e as condições hidráulicas do sistema (VIMAZAL, 2009).

Os WC são classificados em dois grandes grupos, sendo (i) o sistema de lâmina livre ou escoamento superficial e (ii) o sistema de escoamento subsuperficial. Tais sistemas de escoamento podem ser classificados de fluxo horizontal ou vertical.

Destaca-se neste estudo o escoamento horizontal subsuperficial.

Nos Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS), o efluente a ser tratado é disposto na porção inicial do leito, denominada zona de entrada, geralmente composta por brita, de onde irá percolar vagarosamente através do material filtrante até atingir a porção final, também composta por brita e chamada de zona de saída. Essa percolação tende a seguir na horizontal e é impulsionada por uma declividade de fundo (SEZERINO, 2004), conforme a Figura 7.

Figura 7- Esquema de uma wetland construído de fluxo horizontal subsuperficial (WCFHSS).



Fonte: Dornelas (2008).

### 3.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE EFLUENTES TRATADOS

Pode-se notar que as questões ambientais estão largamente defendidas por leis, normas e resoluções, pois o que se passa é que em nosso país essas legislações normalmente não são cumpridas, nem sequer pelas empresas de coleta e disposição final dos esgotos sanitários. Existe uma gama de legislações em nível federal, referentes a qualidade de águas, que foram criadas a partir de 1934 e seguem até os dias de hoje (NUVOLARI, 2011).

Em se tratando de legislação em âmbito federal referente a designação de padrões de qualidade de recursos hídricos, no Brasil tem-se como fundamentais três resoluções do sistema CONAMA, a número 357/2005, alterada pela 430/2011, a 274/2000 e a Portaria 2914/2021 do Ministério da saúde. As responsáveis por definir padrões a serem respeitados em corpos d'água e lançamento de efluentes são a 357/2005 e a 430/2011, já a 274/2000 delimita padrões de balneabilidade nesses corpos d'água. A portaria do ministério da saúde atua mais na área das águas de consumo, porém vale salientar que no aspecto global, esta legislação é de interesse em virtude de estas águas estarem relacionadas com o descarte de efluentes tratados em corpos receptores ((JORDÃO E PESSÔA, 2014).

Para o Estudo de caso no Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS, levou-se em consideração os seguintes textos legais:

- Resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011: definem padrões a se manter nos corpos d'água e padrões de lançamentos de efluentes;

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

- NOTA TÉCNICA n° 004/2021/DIPLA/DRHS: emitido pela Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul., define a disponibilidade hídrica superficial dos cursos hídricos do Estado do Rio Grande do Sul.

Considerado um parâmetro de imensa importância no controle da quantidade de matéria orgânica em um corpo d'água qualquer, o valor de DBO aponta indiretamente o estado de contaminação do efluente (VON SPERLING, 1996).

Cientificamente a DBO determina a quantidade de oxigênio suficiente na estabilização biológica da matéria orgânica existente em uma amostra, depois de um tempo e temperatura previamente estipulados (adotado a quantidade de 5 dias e 20°C respectivamente para efeito de comparação) (MOTA, 2003).

A NBR 13969 (ABNT, 13969) apresenta faixas de valores de remoção dos poluentes de acordo com o tratamento complementar escolhido consideradas em conjunto com o tanque séptico assim como as características dos processos de tratamento, conforme demonstrado na Tabela 3 e na Tabela 4, respectivamente.

Tabela 3 – Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %).

<b>Processo Parâmetros</b>	<b>Filtro Anaeróbio submerso</b>	<b>Filtro Aeróbio</b>	<b>Filtro de areia</b>	<b>Vala de filtração</b>	<b>LAB</b>	<b>Lagoa com plantas</b>
DBO <sub>5,20</sub>	40 a 70	60 a 95	50 a 85	50 a 80	70 a 95	70 a 90
DQO	40 a 70	50 a 80	40 a 75	40 a 75	60 a 90	70 a 85
SFN	60 a 90	80 a 95	70 a 95	70 a 95	80 a 95	70 a 95
Sólidos sedimentares	70 ou mais	90 ou mais	100	100	90 a 100	100
Nitrogênio amoniacal	-	30 a 80	50 a 80	50 a 80	60 a 90	70 a 90
Nitrato	-	30 a 70	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 80
Fosfato	20 a 50	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 90	70 a 90
Coliformes fecais	-	-	99 ou mais	99,5 ou mais	-	-

Fonte: Adaptado NBR 13969:1997.

Tabela 4 – Algumas características dos processos de tratamento (exclui tanque séptico).

<b>Processo</b> <b>Características</b>	<b>Filtro</b> <b>Anaeróbio</b> <b>submerso</b>	<b>Filtro</b> <b>Aeróbio</b>	<b>Filtro</b> <b>de areia</b>	<b>Vala de</b> <b>filtração</b>	<b>LAB</b>	<b>Lagoa</b> <b>com</b> <b>plantas</b>
Área necessária	Reduzida	Reduzida	Média	Média	Média	Média
Operação	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples
Custo operacional	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Manutenção	Simples	Simples	Simples	Simples	Mediana complexidade	Simples
Odor/cor no efluente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: Adaptado NBR 13969:1997.

### 3.4 BACIA DE DETENÇÃO PLUVIAL

O desenvolvimento urbano é a fonte de vários impactos no meio ambiente e sobre a população devido ao: (a) aumento das inundações pela impermeabilização e canalização; (b) erosão do solo e assoreamento dos rios pela aceleração do escoamento; (c) deterioração da qualidade da água dos mananciais superficiais e subterrâneas (TUCCI, 2002).

A ocupação irregular das bacias hidrográficas vem aumentando os picos de vazão da água pluvial drenada que por consequência provocam uma série de eventos como enchente, inundações, desequilíbrio no balanço hídrico dos sistemas de águas subterrâneas, aumento de sedimentos depositados nos canais fluviais e diminuição na qualidade da água destes corpos hídricos (TUCCI, 2005).

Dessa forma, uma técnica bastante eficaz para controlar os problemas relacionados a drenagem urbana e, conseqüentemente, ao controle de vazões destinados a rede pluvial seria a utilização de bacias de retenção ou detenção.

Uma Bacia de Detenção Pluvial (BDP), também conhecida como bacia de retenção pluvial, é uma estrutura de gerenciamento de águas pluviais utilizada para controlar o fluxo de água da

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

chuva em áreas urbanas. Ela é projetada para ajudar a minimizar inundações, controlar a erosão e reduzir a poluição causada pelo escoamento da água da chuva.

Essa estrutura é construída de forma a reter temporariamente a água da chuva em uma área designada, permitindo que ela seja gradualmente liberada para o sistema de escoamento ou para o solo, geralmente por meio de dispositivos como vertedores ou saídas de controle. Isso ajuda a evitar sobrecargas nos sistemas de drenagem, que podem ocorrer quando a água da chuva é liberada em grandes volumes de uma vez.

Além de controlar o fluxo de água da chuva, as BDP também podem ter benefícios ambientais, como a filtragem de sedimentos e poluentes presentes na água da chuva, antes que ela seja liberada no sistema de drenagem. Isso ajuda a melhorar a qualidade da água e a proteger os cursos d'água locais, desempenhando um papel importante no gerenciamento sustentável das águas pluviais em áreas urbanas, contribuindo para evitar inundações, controlar a erosão e reduzir a poluição hídrica.

No Brasil, já há alguns anos existe a orientação do Ministério das Cidades de que sejam implantados projetos de drenagem urbana sustentáveis, baseados nos conceitos do Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID) (AMARAL E BEMFICA, 2013).

O princípio básico do LID é o uso de variadas técnicas de controle do escoamento na fonte (tais como infiltração, evaporação, filtragem, armazenamento e detenção) para preservação das condições hidrológicas de pré-ocupação da área (LID CENTER, 2013).

Diversos municípios brasileiros já adequaram sua legislação a essas orientações, tendo sido Porto Alegre uma das primeiras cidades a incluir em seu Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) a exigência da manutenção das condições hidrológicas de pré-ocupação em todos os empreendimentos de parcelamento do solo e a implantação de reservatórios de detenção de águas pluviais em todos os novos lotes edificados (Porto Alegre, 1999).

Além de Porto Alegre, outras cidades cuja implantação de dispositivos de controle de escoamento pluvial nas edificações foi notória são, por exemplo, São Paulo, Rio de Janeiro e Campo Grande, cada qual com suas diretrizes e com seus métodos de dimensionamentos condizentes com as legislações locais:

- Porto Alegre (RS) – Decreto 18.611/2014, onde estabelece que lotes acima de 600 m<sup>2</sup> de área total implantem, obrigatoriamente, reservatório de detenção de águas pluviais;

- São Paulo (SP) – Lei nº 13.276 – 05/01/2002 e Decreto 41.814, onde determinam que deverão ser implantados reservatórios de retenção em todos os lotes, edificados ou não, cuja área impermeável exceder 500 m<sup>2</sup>;
- Rio de Janeiro (RJ) – Resolução Conjunta nº 001 de 27 de janeiro de 2005, onde determina que todos os empreendimentos com área impermeabilizada superior a 500 m<sup>2</sup> implantem estruturas de retenção de águas pluviais;
- Campo Grande (MS) – Lei Estadual nº 2.363, de 19 de dezembro de 2001 e Plano Diretor de Drenagem Urbana do município de campo grande, onde exigindo que empreendimentos unirresidenciais com área construída igual ou superior a 150 m<sup>2</sup> implantem caixas de captação de águas pluviais de, no mínimo, 1.000 litros. Como alternativa a essa exigência, propõe a execução de reservatório com capacidade de retenção de, no mínimo, 30 litros por m<sup>2</sup> de terreno que não atenda à taxa de permeabilidade prevista para a respectiva zona da. Posteriormente, quando da elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana do município de Campo Grande (Consórcio RES, 2008), foram aplicados os mesmos princípios utilizados em Porto Alegre e definida a vazão máxima de saída de 28,3 L/(s.ha), porém com cálculo do volume diferente.

No presente trabalho, foram levadas em consideração somente as diretrizes e os critérios de dimensionamento referentes à cidade de Porto Alegre (RS).

### 3.5 ESTUDOS SIMILARES

Os aspectos conceituais das abordagens centralizadas e descentralizadas para o tratamento de esgotos, indicam que a atuação de sistemas descentralizados na matriz tecnológica do setor de saneamento pode contribuir substancialmente para o aumento dos índices de atendimento nas áreas periurbanas e rurais. Diante da carência de regulamentação no Brasil, que defina de maneira clara, as responsabilidades pela manutenção e operação de sistemas descentralizados, torna-se fundamental o estabelecimento de diretrizes para a utilização de tais sistemas como uma alternativa para universalização do saneamento. A definição de diretrizes nacionais permitirá nortear as responsabilidades pela prestação de serviços e pela gestão dos sistemas existentes (MESQUITA,2019).

Segundo OLIVEIRA JUNIOR (2013), o alto custo dos sistemas centralizados tem sido motivo para justificar investimentos em cidades de pequeno e médio porte. Por esta mesma

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

razão, o saneamento descentralizado ou o arranjo de regiões peri-urbanas e rurais é adotado para a solução da poluição difusa nas bacias hidrográficas.

Conforme o manual de gerenciamento *On-Site* e em Clusters (blocos) de sistemas de tratamento de águas residuárias da USEPA (2005), o sistema descentralizado é abrangente e envolve uma gama de tecnologias e processos que visam solucionar o tratamento de esgotos domésticos e sanitários. Segundo Santos (2009), vários aspectos devem ser analisados quando se busca a definição do tipo de tratamento dos esgotos sanitários. As decisões devem ser tomadas após avaliação cuidadosa da classe, tipo e natureza do corpo receptor local, da disponibilidade de área, do relevo local, da rede coletora existente, dentre outros.

Estudos que avaliam o dimensionamento dos sistemas individuais convencionais de tratamento de esgoto se fazem importantes para propiciar documentos técnicos, manuais, guias e normativas que possibilitem unidade seguras e que cumpram o seu papel no controle da poluição. Marinho (2021) ao avaliar o dimensionamento do Tanque Séptico e do Sumidouro, com o intuito de verificar a causa de transbordamento do Tanque Séptico, averiguou que os parâmetros e critérios como a temperatura média do ambiente e a tipologia do solo, baseado na NBR 13969 (ABNT, 1997a) e 7229 (ABNT, 1997b), não haviam sido respeitados, justificando a importância de estudos nessa linha.

O padrão construtivo, o número de habitantes, a temperatura, a tipologia do solo e o tempo de detenção são parâmetros e critérios significativos no dimensionamento, e conseqüentemente na escolha de um método de tratamento individual de esgoto sob o ponto de vista da sustentabilidade econômica, ambiental e social (SCHROEDER, 2020).

De acordo com Santos (2011), Paulo et al. (2018), os sistemas de tratamento de esgoto sanitários são sustentáveis quando atendem aos padrões de lançamento (quando não há reuso). Além do processo de escolha levar em consideração peculiaridades geográficas, populacionais e diferentes métodos de tratamento, tais como, separação dos esgotos, Soluções baseadas na Natureza (Wetlands Construídos, tanques de evapotranspiração) e a infiltração, além dos sistemas comumente usado como Filtro Anaeróbio e Tanque Séptico.

No Brasil, há a NBR 13969 (ABNT, 1997a) e 7229 (ABNT, 1997b), para Tanque Séptico e pós-tratamento. Para Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal, de acordo com Herrera et al. (2018), os 3 modelos de dimensionamento mais empregados na atualidade, que seguem a cinética de primeira ordem, são o KC, KC\* e o PCK\*, sendo os dois primeiros considerando um reator de fluxo de pistão e o terceiro considerando um modelo de tanques em série (TIS)



que inclui a variável PTIS com uma cinética de primeira ordem baseada no modelo KC\*, onde o C\* é a concentração residual do poluente.

No Rio Grande do Sul, pode-se citar algumas cidades que possuem apenas rede coletora de águas pluviais, são elas: São Sepé, Caçapava, Lavras do Sul, dentre outras. Frente a isso, estudos referentes a análises de viabilidade de tratamento combinado de esgoto (pluvial e cloacal) se faz necessário (KLÜSENER, 2004) de modo a criar parâmetros que darão condições de adaptar a rede pluvial em diversos lugares, fazendo sentido apenas se for implantado um tratamento simples e de baixo custo tanto no lote quanto no final da rede, mas que atende a qualidade hídrica.

Um mecanismo que converge para soluções de tratamento combinado de esgoto são as Bacias de Detenção Pluvial (BDP), pois em muitas cidades brasileiras e, dependendo das características do lote, a utilização de bacias de detenção é obrigatória, o que gera altos custos e necessidade de espaço para a sua execução e operação. Tais considerações indicam a necessidade de discussão sobre a implantação do controle do escoamento na fonte nas cidades brasileiras seja aprofundada e que, no futuro, sejam padronizados critérios básicos de projeto, que poderão ser adaptados às características locais de cada município, quando da elaboração de sua legislação (AMARAL, 2013).

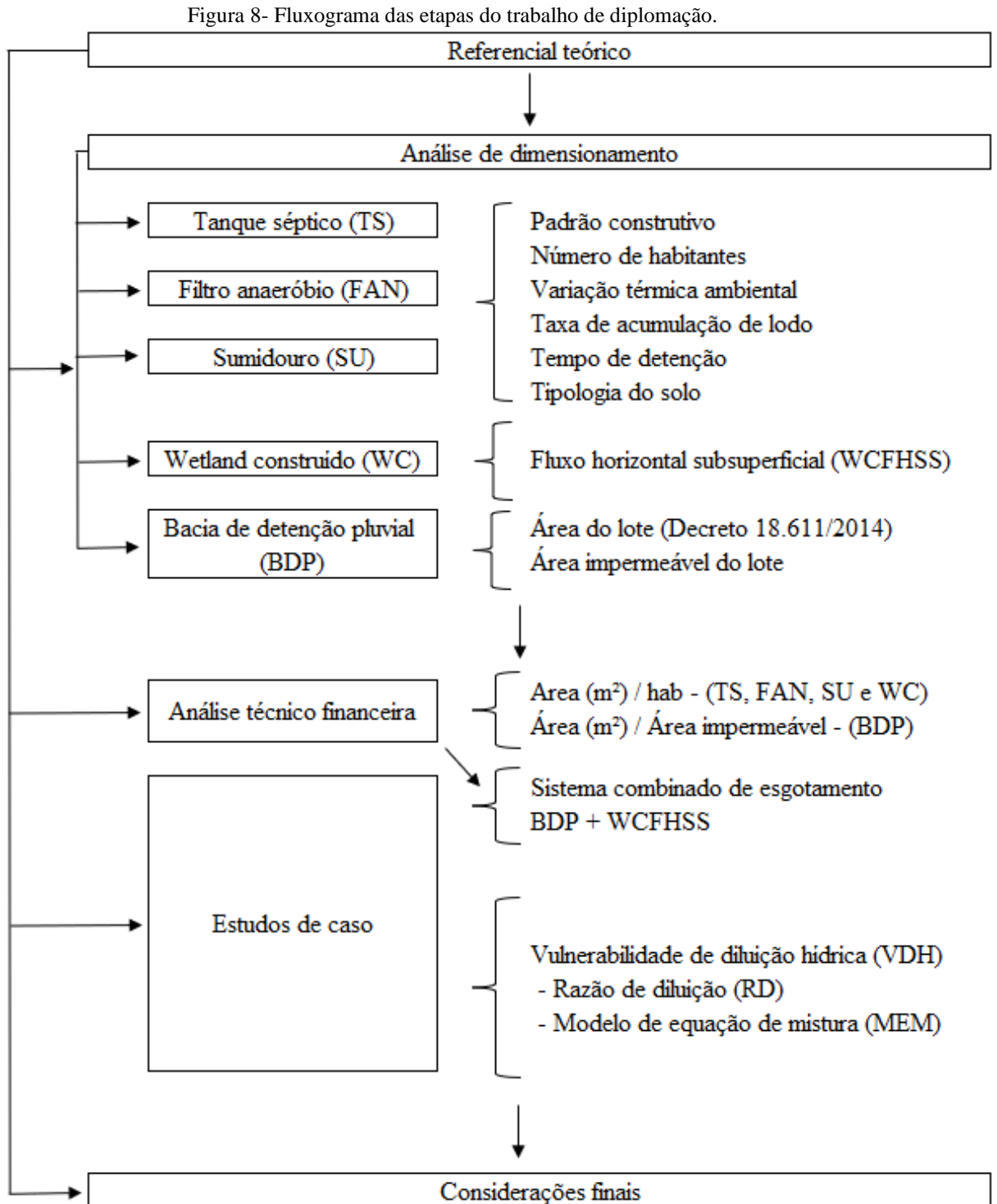
Contudo, e conforme as informações supracitadas, existem vários estudos direcionados ao dimensionamento dos sistemas de tratamento descentralizado de esgoto, porém sem levar em consideração as possibilidades de combinação de tratamento dentro do lote, como, por exemplo, BDP+WCFHSS, e diretrizes que demonstrem a viabilidade e a vulnerabilidade do lançamento dos efluentes e um corpo hídrico conforme as características de adensamento populacional e da capacidade do corpo receptor de receber tais efluentes sem alterar o seu grau de contaminantes, embasados nas diretrizes do CONAMA.

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

## 4 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado conforme as etapas apresentadas na Figura 8.



Fonte: Autor.

#### 4.1 DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO (TS)

Para o dimensionamento do Tanque Séptico (TS) utilizou-se como referência a NBR 7229:1993 – Projeto, construção e operação de sistemas de Tanques Sépticos. Foi considerado profundidades mínimas e máximas por faixa de volume útil total do TS (conforme Tabela 4), o qual foi calculado conforme a Equação (1) abaixo:

$$V: 1000 + N (CT+ KLf) \quad (\text{Eq.1})$$

Onde,

V: volume útil em litros (L);

N: número de habitantes;

C: contribuição de despejos em litros/pessoa x dia (conforme Tabela 5);

T: período de detenção (conforme Tabela 6);

K: taxa de acumulação de lodo digerido em dias (conforme Tabela 7)

Lf: contribuição de lodo fresco em litros/pessoa x dia (conforme Tabela 2).

Tabela 5 – Contribuição diária de esgoto (C) e de logo (Lf) por tipo de residência.

<b>Padrão construtivo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Contribuição de esgoto (C) (habitante/litros)</b>	<b>Lodo fresco (Lf)</b>
alto padrão	pessoa	160	1
médio padrão	pessoa	130	1
baixo padrão	pessoa	100	1

Fonte: Adaptado da NBR 7229:1993.

Tabela 6 – Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.

<b>Contribuição diária (L)</b>	<b>Tempo de detenção</b>	
	<b>Dias</b>	<b>Horas</b>
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: Adaptado da NBR 7229:1993.

Tabela 7 – 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), em °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 7229:1993.

Tabela 8 – Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.

Volume útil (m³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: Adaptado da NBR 7229:1993.

## 4.2 DIMENSIONAMENTO DO FILTRO ANAERÓBIO (FAN)

Em relação ao dimensionamento do Filtro Anaeróbio (FAN) utilizou-se como referência a NBR 13969:1997 – Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Foi considerado uma altura total (H) total do filtro igual a 1,70 m, sendo a altura limite do leito filtrante (h) igual a 1,20 m, a altura limite do fundo falso (Hf) igual a 0,60 m, a altura limite da calha coletora (h1) igual a 0,20 m e a altura sobressalente (h2) igual a 0,30 m. O volume útil total do filtro foi calculado, respectivamente, conforme a Equação (2) abaixo:

$$V_u = 1,6 NCT \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

$V_u$ : volume útil do leito filtrante em litros;

N: número de habitantes;

C: contribuição de despejos em  $L \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$  (conforme a Tabela 5);

T: tempo de detenção hidráulica em dias (conforme a Tabela 9).

Tabela 9 – Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura de esgoto (em dia).

Vazão L.d <sup>-1</sup>	Temperatura média do mês mais frio (t), em C°		
	t < 15	15 ≤ t ≤ 25	t > 25
Até 1500	1,17	1,0	0,92
De 1501 a 3000	1,08	0,92	0,83
De 3001 a 4500	1,00	0,83	0,75
De 4501 a 6000	0,92	0,75	0,67
De 6001 a 7500	0,83	0,67	0,58
De 7501 a 9000	0,75	0,58	0,50
Mais que 9000	0,75	0,50	0,50

Fonte: Adaptado da NBR 13969:1997.

### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO SUMIDOURO (SU)

Para determinar as dimensões e demais aspectos construtivos do Sumidouro (SU) foi levado em consideração valores médios das taxas de aplicação diária ou coeficiente de infiltração (L.m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) de acordo com a constituição aparente do solo, conforme valores propostos (Tabela 10 e Tabela 11). A título de cálculo foi considerada uma altura útil de 1,50 m.

$$A_i = C_d / K \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

A<sub>i</sub>: Área total de infiltração (m<sup>2</sup>);

C<sub>d</sub>: contribuição diária (m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>)

K: taxa máxima de aplicação diária (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. d<sup>-1</sup>);

Tabela 10 – Conversão de valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial.

Taxa de percolação (min/m)	Taxa máxima de aplicação diária (m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> . d <sup>-1</sup> )	Taxa de percolação (min/m)	Taxa máxima de aplicação diária (m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> . d <sup>-1</sup> )
40 ou menos	0,20	400	0,065
80	0,14	600	0,053
120	0,12	1200	0,037
160	0,10	1400	0,032
200	0,09	2400	0,024

Fonte: Adaptado da NBR 13969:1997.

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

Tabela 11 – Taxa de aplicação diária ou coeficiente de aplicação ( $L.m^{-3}.d^{-1}$ ).

<b>Faixa</b>	<b>Constituição do solo</b>	<b>Coef. de infiltração (<math>L.m^{-2}.d^{-1}</math>)</b>
1	Rochas, argilas compactas branca, cinza ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactas avermelhadas.	< 20
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, argilas pouco siltosas e/ou arenosas.	20 a 40
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areia argilosa ou silte argiloso.	40 a 60
4	Areia ou silte pouco argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, com areias e siltes.	60 a 90
5	Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa e cascalhos.	>90

Fonte: Adaptado da NBR 13969:1997.

#### 4.4 DIMENSIONAMENTO DO WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL (WCFHSS)

O Wetland Construído de tratamento de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS) é um processo que requer pelo menos duas iterações. Em primeiro, a área de superfície necessária é calculada usando o modelo de projeto de remoção de contaminantes. Fator limitante, então o dimensionamento é realizado levando em consideração o projeto hidráulico, para finalmente fazer a revisão do(s) modelo(s) de remoção e suas eficiências.

As zonas húmidas de tratamento podem ser concebidas para remover muitos tipos de contaminantes, mas será um deles, o objetivo do tratamento, que determinará as dimensões finais. No presente trabalho serão apresentados 2 modelos mais comumente usados atualmente, ou seja, considerando um reator de fluxo em pistão, sendo (1) KC e (2) KC\*.

O método KC data de 1995 (Reed et al., 1995), segue a cinética de primeira ordem, envolve uma constante de reação que depende da temperatura; já o KC\* data de 1996 (Kadlec e Knight, 1996) e, ao contrário do anterior, leva em consideração a concentração de contaminantes presentes e/ou gerados pela própria zona úmida. Portanto, existem

concentrações mínimo, abaixo do qual não é possível melhorar a qualidade das águas residuais efluentes do sistema.

#### 4.4.1 Dimensionamento - Cinética de Primeira Ordem (KC)

Para determinarmos o KC, inicialmente foi calculado a área de Wetland Construída necessária para o tratamento, levando em consideração taxas iguais de entrada e de saída do efluente, a precipitação e evapotranspiração de modo a desconsiderar possíveis infiltrações no sistema. Tais dimensionamentos foram realizados de acordo com as equações (4) e (5) abaixo:

$$K_T = K_{20} \cdot \Theta^{(T-20)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

$K_T$ : constante de reação de primeira ordem, depende da temperatura,  $d^{-1}$ ;

$K_{20}$  = constante de reação de primeira ordem a  $20^\circ\text{C}$ ,  $d^{-1}$  (conforme Tabela 12);

$\Theta$  = coeficiente de temperatura, adimensional (conforme Tabela 12);

$T'$  = temperatura de água,  $^\circ\text{C}$  (média do mês mais frio).

$$A_s = (Q \cdot \ln(C_a/C_e)) / (K_t \cdot y \cdot n) \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

$C_a$ : concentração do contaminante no afluente,  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (considerado  $140 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ );

$C_e$ : concentração do contaminante no efluente,  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (considerado  $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ );

$A_s$ : área superficial do wetland construído,  $\text{m}^2$ ;

$Y$ : profundidade da lâmina de água, m, (considerado 0,60 m);

$n$ : porosidade do substrato filtrante (cascalho médio, 38%), expressado como decimal, (conforme Tabela 13);

$Q$ : vazão,  $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ .

$$Q_0 = Q + A_s \cdot (P - ET - I) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

$P$ : taxa de precipitação,  $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$  (considerado  $2,2 \text{ mm/d}$ );

$ET$ : taxa de evapotranspiração,  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (considerado  $1,1 \text{ mm/d}$ );

$I$ : taxa de infiltração,  $\text{m/d}$  (considerado 0, visto que o meio é impermeável);

$Q_0$ : vazão,  $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  (considerando as taxas de precipitação e de evapotranspiração).

Tabela 12 – Valores de  $K_T$  e  $\Theta$  para  $\text{DBO}_5$  (WCFHSS – KC).

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

<b>Contaminantes</b>	<b>K20</b>	<b>Θ</b>
DBO <sub>5</sub>	1,104	1,06

Fonte: Adaptado Crites et al., 2006.

Tabela 13 – Características típicas dos meios para wetlands WCFHSS.

<b>Tipo de material</b>	<b>Tamanho efetivo (mm)</b>	<b>Porosidade, n (%)</b>	<b>Condutividade hidráulica, Ks (m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>)</b>
Areia grossa	2	28-32	100-1000
Areia pesada	8	30-35	500-5000
Cascalho fino	16	35-38	1000-10000
Cascalho médio	32	36-40	10000-50000
Rocha	128	38-45	50000-250000

Fonte: Crites et al., 2006.

#### 4.4.2 Dimensionamento - Cinética de Primeira Ordem com Concentração Residual (KC\*)

$$A_s = ((365 \cdot Q) / K_T) \cdot \ln((C_a - C^*) / (C_e - C^*)) \quad (\text{Eq. 7})$$

$$Q_0 = Q + A_s \cdot (P - ET - I) \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

P: taxa de precipitação, m.d<sup>-1</sup>, (considerado 2,2 mm/d);

ET: taxa de evapotranspiração, mg. L<sup>-1</sup> (considerado 1,1 mm/d);

I: taxa de infiltração, m.d<sup>-1</sup> (considerado 0, visto que o meio é impermeável);

Q<sub>0</sub>: vazão, m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> (considerando as taxas de precipitação e de evapotranspiração).

C\*: concentração residual do contaminante, m (Tabela 14);

K<sub>T</sub>: constante de reação de primeira ordem, depende da temperatura, d<sup>-1</sup>(Tabela 15).

Tabela 14 – Concentração de fundo do contaminante (WCFHSS – KC\*).

<b>Contaminantes</b>	<b>Concentração residual</b>
DBO <sub>5</sub>	1-10 mg.L <sup>-1</sup>

Fonte: Adaptado Kadlec and Knight, 2000.

Tabela 15 – Valores de K<sub>T</sub> e Θ para DBO<sub>5</sub> (WCFHSS – KC\*).

<b>Contaminantes</b>	<b>K20 (m/ano)</b>	<b>Θ</b>
DBO <sub>5</sub>	180	1

Fonte: Adaptado Kadlec and Knight, 1996.



#### 4.5 BACIA DE DETENÇÃO PLUVIAL (BDP)

Para o dimensionamento da BDP utilizou-se como referência o decreto municipal 18.611/2014, o disposto no Decreto Municipal 14.786/2004, que estabelece o Caderno de Encargos – CE-DEP/2004.

$$V = 0,425 \times A_i \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde,

$A_i$ : área impermeável, m<sup>2</sup>;

V: volume da bacia de detenção, m<sup>3</sup>.

$$A = V / h \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde,

A: área da bacia de detenção, m<sup>2</sup>;

h: altura útil da bacia de detenção, m (considerado 1,2 m).

No presente trabalho foi levado em consideração para a BDP apenas o volume (m<sup>3</sup>) e, conseqüentemente, a sua área (m<sup>2</sup>). Porém, ressalta-se que, para o dimensionamento completo da bacia de detenção deve-se prosseguir com os cálculos do descarregador de fundo e do vertedouro de modo a verificar o respectivo posto hidrológico, conforme diretrizes do CE-DEP/2004. Embora, isso não interfere na área requerida.

#### 4.6 ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRA

Foi realizada uma estimativa de orçamento de quantitativo de materiais do sistema de tratamento de esgoto individual (TS+FAN+SU) e (TS+FAN+WCFHSS) levando em consideração os casos mais críticos de dimensionamento, considerando as temperaturas médias inferiores a 10°C para o TS e para o FAN; e para o sumidouro considerando um solo argiloso compacto. Ressalta-se que tal análise refere-se somente à uma edificação de médio padrão com populações variando entre 1 e 100 habitantes. Para a análise da estimativa orçamentária foi usado como referência o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil 2023 (SINAPI).

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

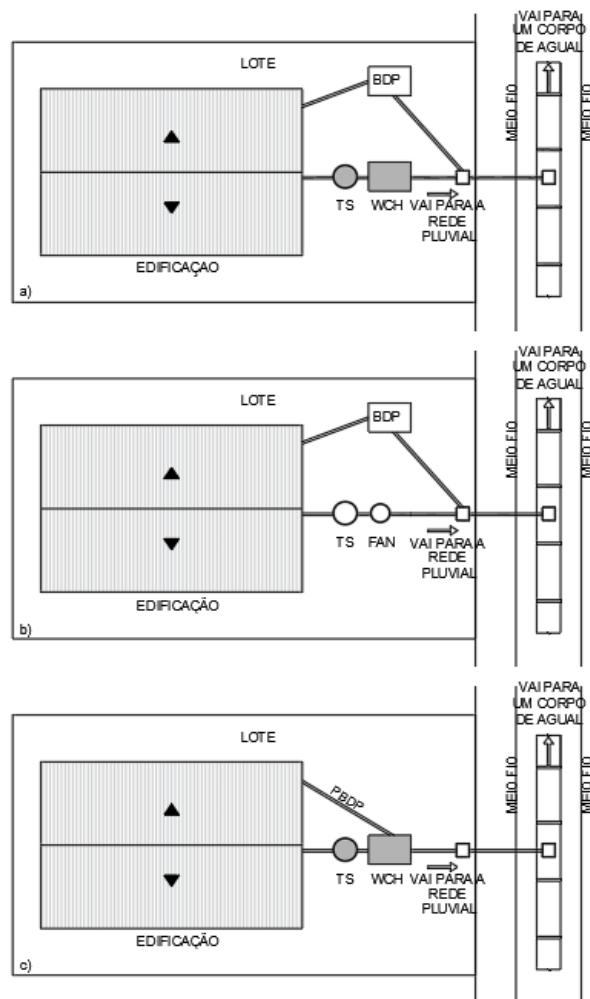
## 4.7 ESTUDO DE CASO

### 4.7.1 Sistema Combinado de Esgotamento (CSO) - Bacia de detenção pluvial (BDP) e Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS)

Para as análises do presente estudo de caso, foram realizados diferentes dimensionamentos levando em consideração uma edificação de médio padrão, com uma área de lote maior que 600 m<sup>2</sup>, com população variando entre 1 e 100 habitantes e área impermeável do lote variando de 200 e 1500m<sup>2</sup>.

De modo a verificar a possibilidade de tratamento combinado (pluvial + sanitário) foram calculados sistemas compostos por (a) TS+WCFHSS+BDP; (b) TS+FAN+BDP e (c) TS+(WCFHSS+BDP) combinados (Figura 9), conforme os parâmetros de cálculos apresentados anteriormente.

Figura 9 - Comparação entre os sistemas de tratamento de esgoto TS+WCFHSS+BDP (a), TS+FAN+BDP (b) e TS+(WCFHSS+BDP) (c).



Fonte: Autor.

#### 4.7.2 Vulnerabilidade de Diluição Hídrica (VDH)

Juntamente aos dimensionamentos do sistema descentralizado TS+FAN+SU, foram analisadas outras duas hipóteses onde o tratamento do esgotamento ocorre por meio do TS+FAN+CHUrb e TS+WCFH+CHUrb considerando o conceito proposto da Vulnerabilidade de Diluição Hídrica (VDH) e validação com o Modelo de Equação de Mistura (MEM).

Para o cálculo da VDH foi utilizado como base o critério de Razão de Diluição (RD)  $Q_{\text{rio}}$  ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e  $Q_{\text{esgoto}}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), sendo possível estimar a concentração de DBO diluída em um corpo hídrico, conforme a Equação (11) abaixo:

$$\text{RD} = Q_{\text{rio}} / Q_{\text{esgoto}} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

$Q_{\text{rio}}$ : vazão do corpo de água em ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );

$Q_{\text{esgoto}}$ : vazão do efluente ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Desse modo, é possível determinar qual a RD é adequada para manter a qualidade do recurso hídrico, conforme determinado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N°357 e N°430. Para efeito de cálculo foi considerado um corpo hídrico Classe II com uma concentração máxima de  $\text{DBO}_5$  de 5 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), conforme diretrizes do órgão supracitado.

Para TS+FAN foi levada em consideração uma  $\text{DBO}_5$  do efluente igual a 120 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), ou seja, uma  $\text{DBO}_5$  de esgoto bruto igual a 300 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) com remoção de 60%. Para TS+WCFHSS foi levada em consideração uma  $\text{DBO}_5$  do efluente igual a 30 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), ou seja, uma  $\text{DBO}_5$  de esgoto bruto igual a 300 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) com remoção de 90%, conforme a Figura 10.

O cálculo do MEM foi realizado conforme a Equação (12) abaixo:

$$\text{MEM} = ((Q_{\text{rio}} \times C_{\text{rio}}) + (Q_{\text{esgoto}} \times C_{\text{esgoto}})) / (Q_{\text{rio}} + Q_{\text{esgoto}}) \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde,

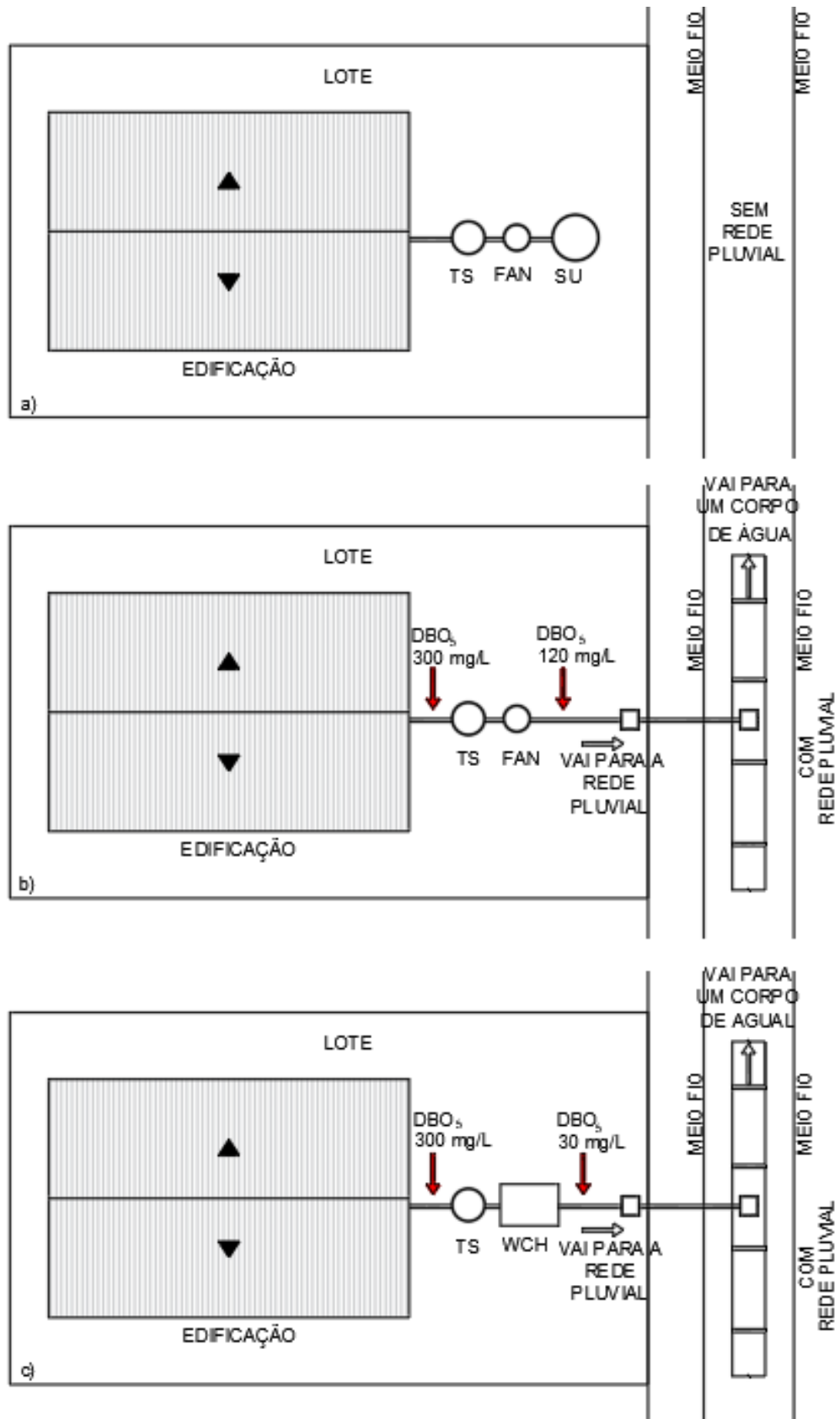
$Q_{\text{rio}}$ : vazão do corpo de água em ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );

$Q_{\text{esgoto}}$ : vazão do efluente ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );

$C_{\text{rio}}$ : concentração de  $\text{DBO}_5$  do corpo de água ( $\text{DBO}_{\text{rio}}$ );

$C_{\text{esgoto}}$ : concentração de  $\text{DBO}_5$  do efluente.

Figura 10 - Comparação entre os sistemas de tratamento de esgoto TS+FAN+SU (a), TS+FAN+CHURb (b) e TS+WCFHSS+CHURb (c).



Fonte: Autor.

Para efeito de aplicação do conceito de vulnerabilidade hídrica foi realizado um estudo de caso na bacia do Arroio Dilúvio, cuja bacia hidrográfica é o Lago Guaíba, Rio Grande do Sul. Foi feito o dimensionamento com base na NOTA TÉCNICA n° 004/2021/DIPLA/DRHS emitido pela Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul (Tabela 16), levando em consideração o padrão de vazão de permanência  $Q_{90}$ , ou seja, reflete a vazão que é igualada ou superada 90% do tempo; e a área de drenagem do local de estudo.

Tabela 16 – Padrão da vazão de referência ( $Q_{90}$ ) e vazão específica para a bacia hidrográfica do Lago Guaíba [ $m^3 / (s. km^2)$ ]

Bacia hidrográfica	Local	Padrão da vazão de referência	Vazão específica ( $m^3.s^{-1}. km^{-2}$ )	
			Área de drenagem superior a 10 $km^2$	Área de drenagem até 10 $km^2$
Lago Guaíba	Arroio Dilúvio	$Q_{90}$	0,00526	0,00286

Fonte: Autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

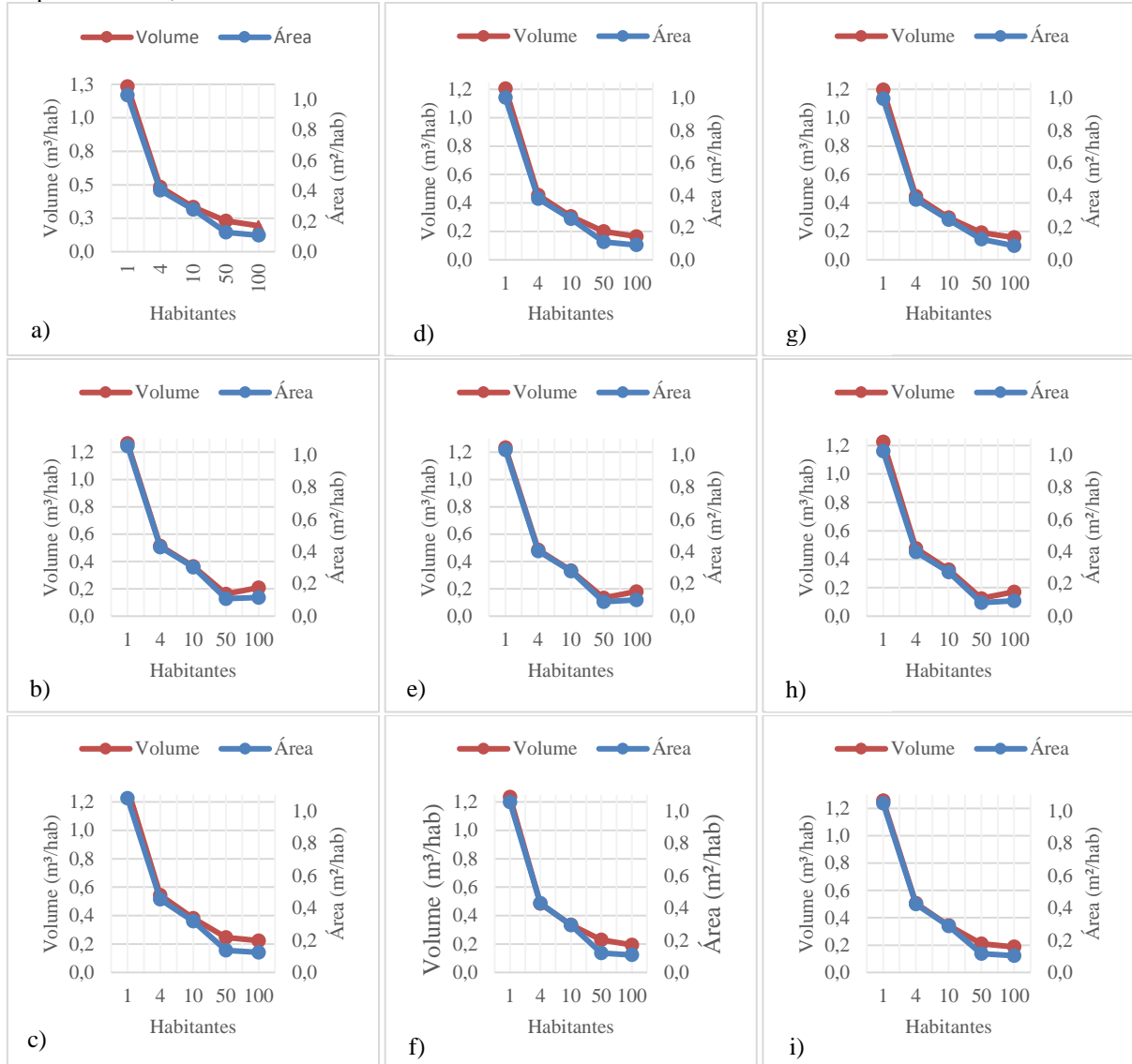
### 5.1 TANQUE SÉPTICO (TS)

Na Figura 11 foi observado um decréscimo expressivo de volume ( $m^3$ ) e de área ( $m^2$ ) por contribuinte no intervalo de 1 a 4 habitantes. Nos intervalos entre 4 e 50 indivíduos nota-se que não há uma diferenciação de área e volume expressiva entre as diferentes faixas de temperatura e de padrão construtivo. Para o intervalo anteriormente citado, a média das áreas ( $m^2.hab^{-1}$ ) e dos volumes ( $m^3.hab^{-1}$ ), entre os diferentes padrões construtivos, se encontram na faixa de 0,35 ( $m^2.hab^{-1}$ ) e 0,42 ( $m^3.hab^{-1}$ ), valores próximos aos valores unitários do respectivo intervalo. Já para o intervalo entre 50 e 100 pessoas as médias são de 0,10 ( $m^2.hab^{-1}$ ). e 0,16 ( $m^3.hab^{-1}$ ) indicando uma relação de estabilidade, pois assemelham-se aos valores unitários calculados.

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

Figura 11 - Comparação da área de ocupação ( $\text{m}^2.\text{hab}^{-1}$ ) e da volumetria ( $\text{m}^3.\text{hab}^{-1}$ ) de tanque séptico para edificação de baixo padrão conforme valores de K para diferentes faixas de temperatura (Tabela 7). Gráficos a), b) e c) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com  $t \leq 10$ ; gráficos d), e) e f) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com  $10 \leq t \leq 20$ ; gráficos g), h) e i) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com  $t > 20$ .



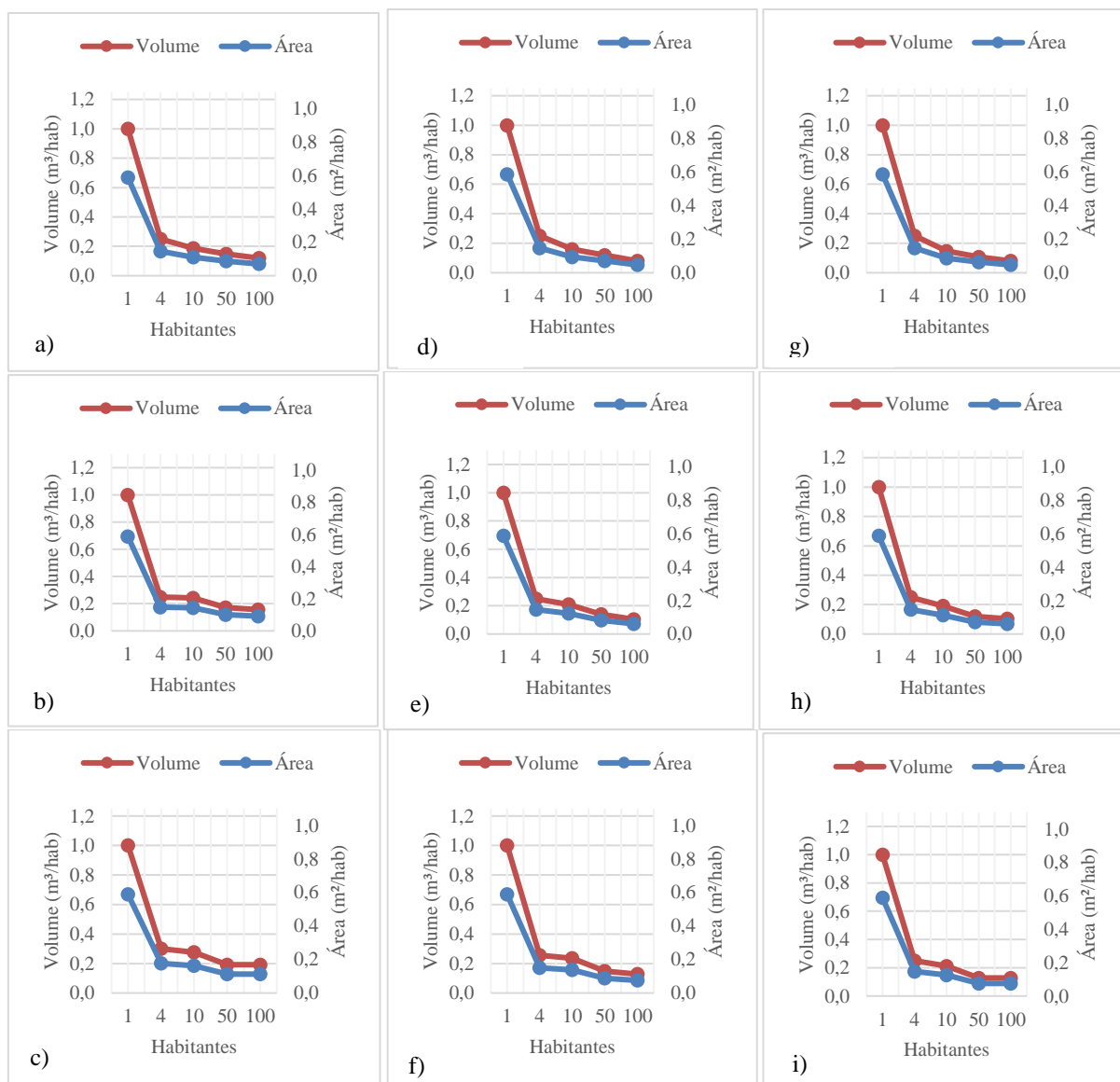
Fonte: Autor.

## 5.2 FILTRO ANAERÓBIO (FAN)

Nas Figura 12 também foi observado um decréscimo expressivo de volume ( $\text{m}^3$ ) e de área ( $\text{m}^2$ ) por contribuinte no intervalo de 1 a 4 habitantes. Nos intervalos entre 4 e 50 indivíduos nota-se que há uma diferenciação de área e volume entre as diferentes faixas de temperatura e de padrão construtivo. Para o intervalo anteriormente citado, a média das áreas ( $\text{m}^2.\text{hab}^{-1}$ ) e dos volumes ( $\text{m}^3.\text{hab}^{-1}$ ), entre os diferentes padrões construtivos, se encontram na faixa de 0,12 ( $\text{m}^2.\text{hab}^{-1}$ ) e 0,20 ( $\text{m}^3.\text{hab}^{-1}$ ), valores próximos aos valores unitários do respectivo intervalo. Já

para o intervalo entre 50 e 100 pessoas as médias são de 0,07 m<sup>2</sup>/hab. e 0,12 (m<sup>2</sup>.hab<sup>-1</sup>), indicando uma relação de estabilidade, pois assemelham-se aos valores unitários calculados.

Figura 12 - Comparação da área de ocupação (m<sup>2</sup>.hab<sup>-1</sup>) e da volumetria (m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>) de filtro anaeróbio para edificação de diferentes padrões construtivos com variações de T para diferentes faixas de temperatura (Tabela 9). Gráficos a), b) e c) correspondem à edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com  $t < 15$ ; Gráficos d), e) e f) correspondem à edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com  $15 \leq t \leq 25$ ; Gráficos g), h) e i) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente, e com  $t > 25$ .



Fonte: Autor.

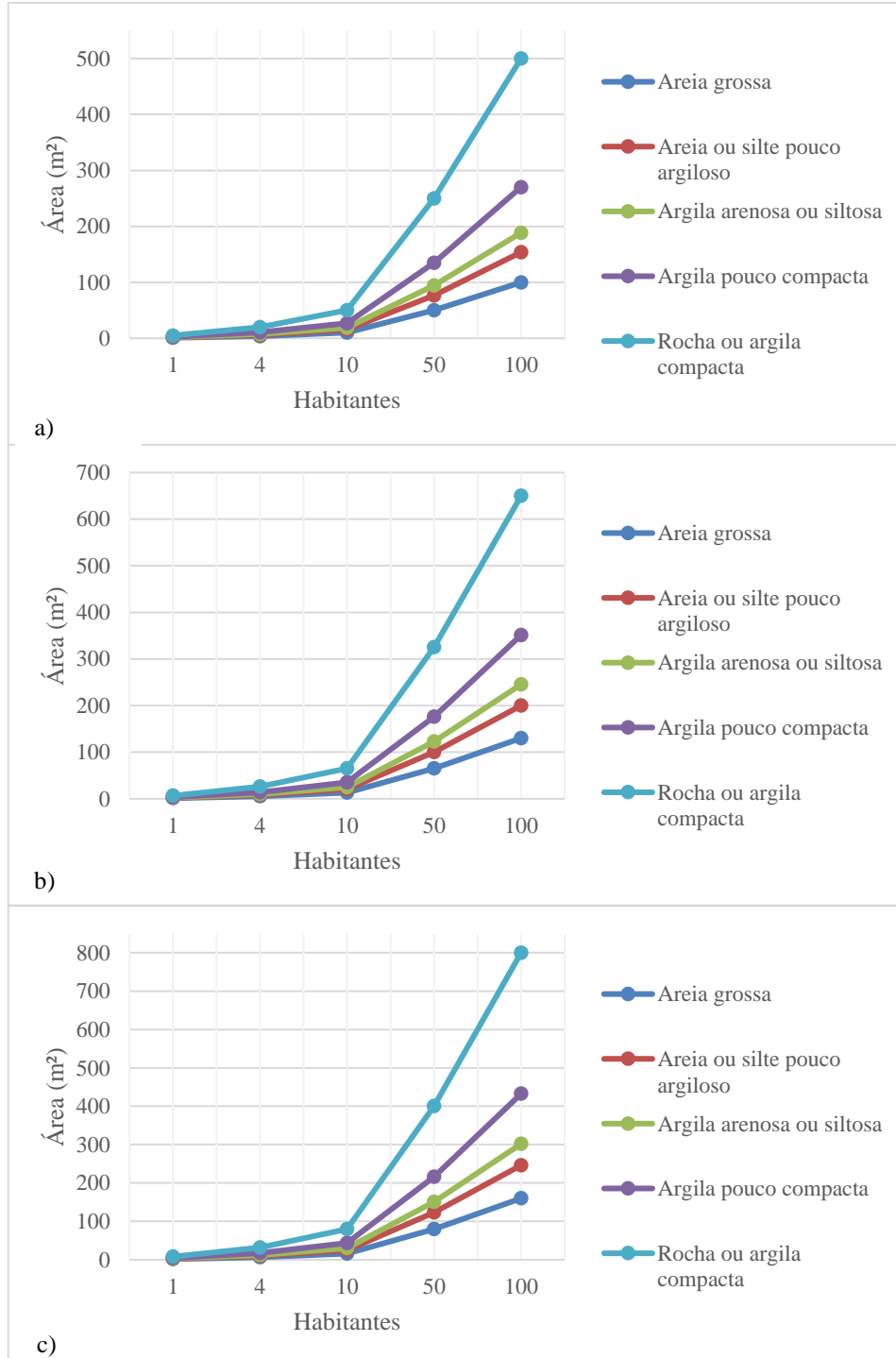
### 5.3 SUMIDOURO (SU)

Referente ao Sumidouro, ocorreu um aumento da área de ocupação (m<sup>2</sup>) diretamente proporcional ao padrão construtivo e ao número de contribuintes e inversamente proporcional ao coeficiente de infiltração (Ci) (L.m<sup>-2</sup>. d<sup>-1</sup>), chegando a uma diferença de tamanho em área de

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

aproximadamente 500% entre a pior (rocha ou argila compacta) e o melhor (areia grossa) tipologias de solos, conforme demonstrado na Figura 13.

Figura 13 - Comparação da área de ocupação (m<sup>2</sup>) do sumidouro para edificação de diferentes padrões construtivos com variações de taxas de aplicação diária ou coeficiente de infiltração (L.m<sup>-3</sup>. d<sup>-1</sup>) de acordo com a constituição do solo (Tabela 6). Gráficos a), b) e c) correspondem às edificações com baixo, médio e alto padrão construtivo, respectivamente.



Fonte: Autor.



## 5.4 WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL (WCFHSS)

Conforme a Tabela 17, foi observado um decréscimo expressivo de área (m<sup>2</sup>) e, conseqüentemente de volume (m<sup>3</sup>), já que a altura do leito permanece constante igual a 0,60 m. Ao longo de todas as análises, as quais também levaram em consideração a variação de contribuintes entre 1 e 100 habitantes e diferentes padrões construtivos (alto, médio e baixo), foi notado uma diminuição constante de aproximadamente 50% entre as áreas de ocupação dos diferentes métodos de dimensionamento KC e KC\*.

Em relação ao KC\*, entende-se que a metodologia compreende uma limitação, onde não adiantaria aumentarmos mais as áreas superficiais sem o aumento proporcional de remoção dos contaminantes o que explica, de certa forma, a discrepância entre as áreas superficiais do KC\* e das encontradas usando as diretrizes de faixas de taxas de aplicação hidráulica e de aplicação orgânica superficiais, de acordo com as diretrizes da Wetlands Brasil e conforme as Tabela 17 e Tabela 18.

Para o KC, foi observado valores similares de área requerida usando os critérios brasileiros que menos presam pela segurança, ou seja, para regiões de clima quente onde a aplicação do carregamento hidráulico é maior

Tabela 17 – Análise das áreas das áreas superficiais do WCFHSS por meio do método KC e KC\*.

Padrão	Número de habitantes (N)	KC	KC*
		Área superficial (m <sup>2</sup> )	Área superficial (m <sup>2</sup> )
Baixo padrão	1	0,83	0,39
	4	3,31	1,56
	10	8,26	3,89
	50	41,32	19,47
	100	82,64	38,93
Médio padrão	1	1,07	0,51
	4	4,30	2,02
	10	10,74	5,06
	50	53,71	25,31
	100	107,43	50,61
Alto padrão	1	1,32	0,62
	4	5,29	2,49
	10	13,22	6,23
	50	66,11	31,15
	100	132,22	62,29

Fonte: Autor.

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

Tabela 18 – Análise das áreas da WCFHSS conforme faixa recomendada (Wetlands Brasil) de taxa de aplicação hidráulica superficial.

Número de habitantes (N)	Contribuição (L.d <sup>-1</sup> .hab <sup>-1</sup> )	Q (m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup> )	Tx.	Área (m <sup>2</sup> )	Tx.	Área (m <sup>2</sup> )
1	130	0,13	0,08	1,63	0,12	1,08
4	130	0,52	0,08	6,5	0,12	4,33
10	130	1,3	0,08	16,25	0,12	10,83
50	130	6,5	0,08	81,25	0,12	54,17
100	130	13	0,08	162,5	0,12	108,33

Fonte: Autor.

Tabela 19 – Análise das áreas da WCFHSS conforme faixa recomendada (Wetlands Brasil) de taxa de aplicação orgânica superficial.

Número de habitantes (N)	Contribuição (L.d <sup>-1</sup> .hab <sup>-1</sup> )	Q (L.d <sup>-1</sup> )	C DBO (g.L <sup>-1</sup> )	Tx.	Área (m <sup>2</sup> )	Tx.	Área (m <sup>2</sup> )
1	130	130	0,14	6	3,03	15	1,21
4	130	520	0,14	6	12,13	15	4,85
10	130	1300	0,14	6	30,33	15	12,13
50	130	6500	0,14	6	151,67	15	60,67
100	130	13000	0,14	6	303,33	15	121,33

Fonte: Autor.

Tx: g DBO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>.

## 5.5 BACIA DE DETENÇÃO PLUVIAL (BDP)

Em relação aos cálculos referentes a BDP, foram realizadas duas análises, sendo a primeira com a altura útil de 1,20m (conforme a Tabela 20) e a segunda com a altura útil de 0,60m (conforme a Tabela 21). Como esperado, foi observado um aumento de 50% na área de ocupação da BDP, ou seja, inversamente proporcional à altura útil inicial considerada.

De modo a realizar uma análise comparativa entre as áreas do WCFHSS e da BDP (conforme estudo de caso do item 5.7.1) foi considerado apenas as áreas da BDP cuja bacia possui altura útil de 0,60m. Dessa forma, foi possível avaliar mais precisamente a área de ocupação necessária, conforme a área impermeável do terreno, em comparação a área necessária de acordo com o número de habitantes.

Tabela 20 – Análise da variação da área (m<sup>2</sup>) e do volume (m<sup>3</sup>) da bacia de detenção pluvial em relação a área impermeável do terreno.

Área impermeável (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Altura H útil (m)	Área da bacia (m <sup>2</sup> )
200	8,50	1,2	7,08
400	17,00	1,2	14,17
600	25,50	1,2	21,25
800	34,00	1,2	28,33
1000	42,50	1,2	35,42
1500	63,75	1,2	53,13

Fonte: Autor.

Tabela 21 – Análise da variação da área (m<sup>2</sup>) e do volume (m<sup>3</sup>) da bacia de detenção pluvial em relação a área impermeável do terreno (m<sup>2</sup>).

Área impermeável (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Altura H útil (m)	Área da bacia (m <sup>2</sup> )
200	8,50	0,6	14,17
400	17,00	0,6	28,33
600	25,50	0,6	42,50
800	34,00	0,6	56,67
1000	42,50	0,6	70,83
1500	63,75	0,6	106,25

Fonte: Autor.

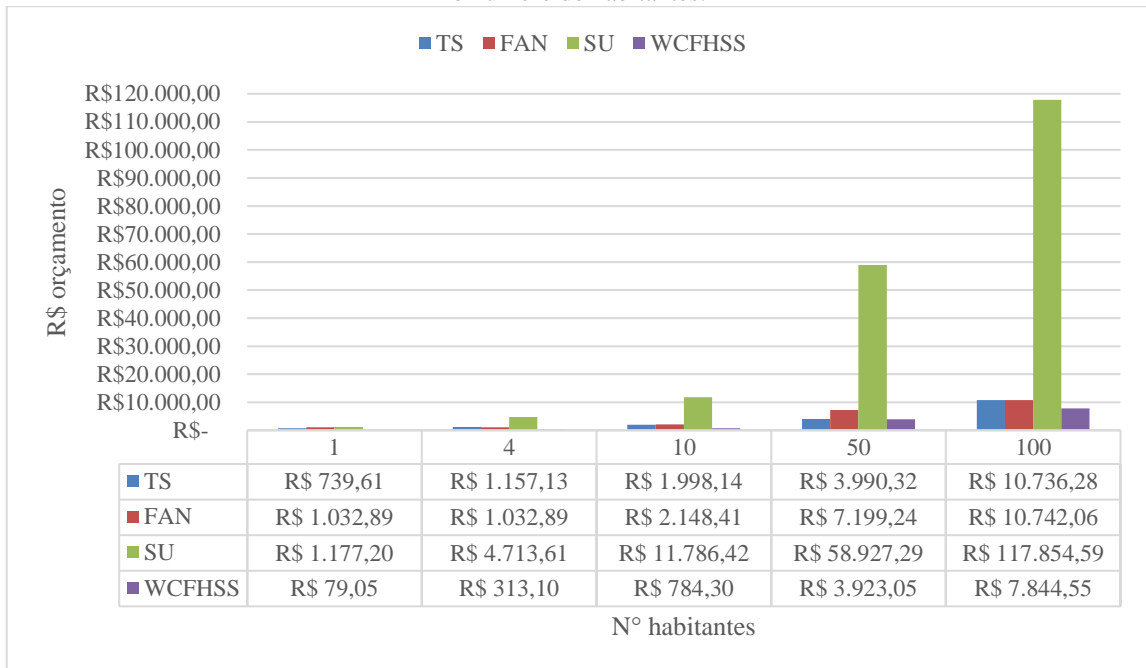
## 5.6 ANÁLISE TÉCNICO-FINANCEIRA

Pode-se observar que os valores monetários referentes ao Tanque Séptico (TS), ao Filtro Anaeróbio (FAN) e ao Wetland Construído (WCFHSS) permanecem semelhantes com o aumento do número de habitantes (médio padrão construtivo). Já o Sumidouro (SU), começa a apresentar variações de custos superiores às encontradas na TS e na FAN no intervalo entre 4 e 50 habitantes, se tornando expressivas no intervalo entre 50 e 100 habitantes, chegando a ser 5,5 vezes mais caro que o conjunto TS+FAN, ao analisar-se, por exemplo, uma população com 100 habitantes, conforme a Figura 14.

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

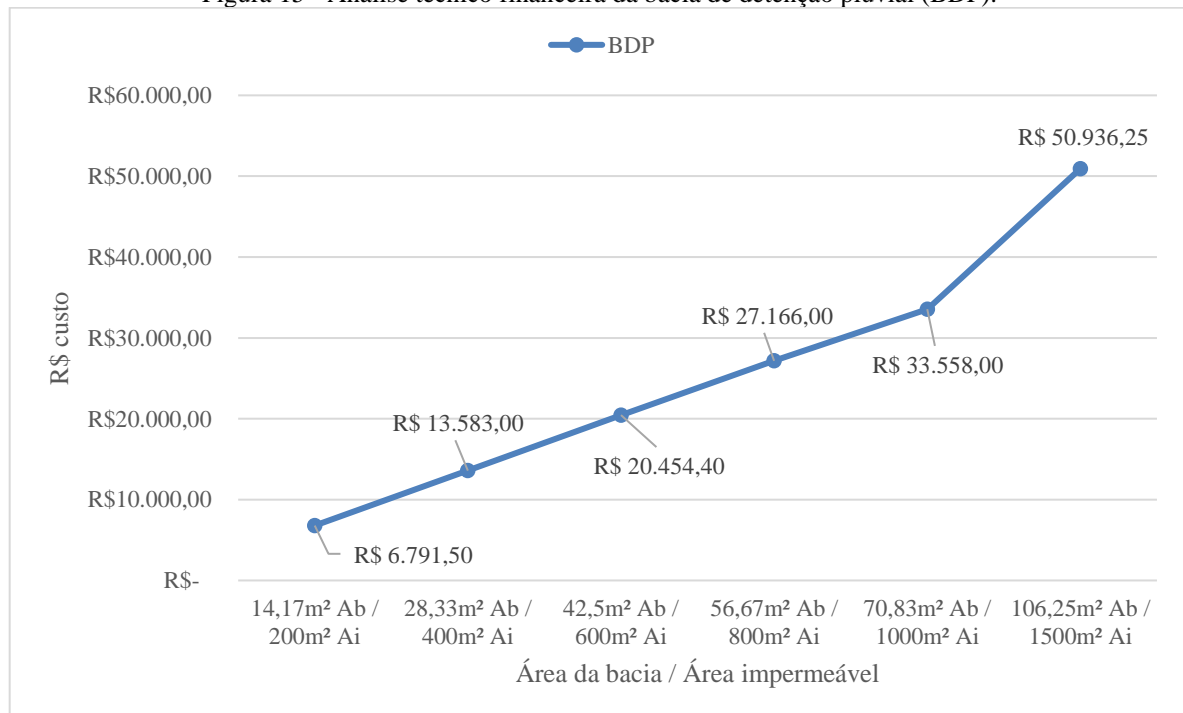
Figura 14 - Comparação técnico financeira dos sistemas de tratamento TS, FAN, SU e WCFHSS de acordo com o número de habitantes.



Fonte: Autor.

Foi observado também que ao considerar-se área da bacia de contenção (BDP) em relação a área impermeável do terreno do lote, o crescimento se dá de forma linear, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Análise técnico financeira da bacia de detenção pluvial (BDP).



Fonte: Autor.

Ai: área impermeável do lote (m²);  
Ab: área da bacia de detenção pluvial (m²).

## 5.7 ESTUDO DE CASO

### 5.7.1 Sistema combinado de esgotamento - Bacia de retenção pluvial (BDP) e Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS)

Conforme a Tabela 22 e a Tabela 23 foi observado que a partir de 50 habitantes o sistema composto por TS+FAN+BDP\* apresenta áreas de ocupação menores que o sistema composto por TS+WCFHSS+BDP. Porém, para o respectivo estudo de caso, foi considerado somente este último nas análises referentes a possibilidade de combinação de esgoto (pluvial + cloacal) devido a sua melhor eficiência no quesito remoção de DBO<sub>5</sub>.

Dessa forma, foi analisado, conforme a Figura 16, as áreas (m<sup>2</sup>) necessárias para a inserção do WCFH, levando em consideração uma edificação de médio padrão construtivo e variando a população entre 1 e 100hab. Já para a BDP, foi considerado que o respectivo terreno o qual se encontra a edificação possui mais de 600m<sup>2</sup> (Decreto 18.611 – Porto Alegre/RS) e com áreas impermeáveis entre 200 e 1500 m<sup>2</sup>.

Sendo assim, foi verificado que com uma WCFHSS para 100 habitantes é possível suprir a área de uma BDP de 42,50 m<sup>2</sup> o que equivale a um terreno com área impermeável de até 600m<sup>2</sup>, gerando uma economia máxima de R\$20.454,40, conforme a análise da Tabela 17.

Tabela 22 – Análise das áreas TS+FAN+BDP.

Nº habitantes (N)	Área (m <sup>2</sup> ) Tanque Séptico (TS)	Área (m <sup>2</sup> ) Filtro Anaeróbio (FAN)	Área total (m <sup>2</sup> ) TS+FAN+BDP*
1	1,03	0,59	15,78
4	1,62	0,59	30,54
10	2,79	1,22	46,52
50	4,46	4,10	65,22
100	10	6,12	86,95

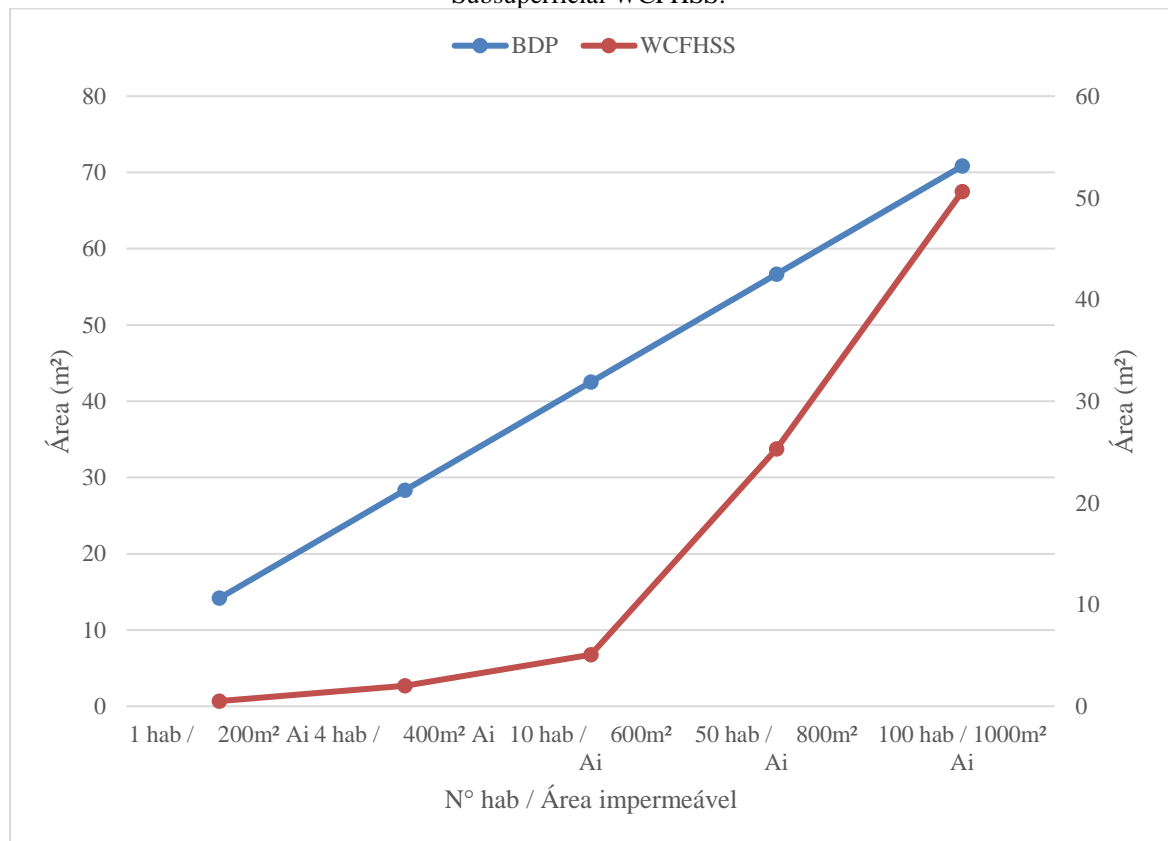
Fonte: Autor.

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

Tabela 23 – Análise das áreas TS+WCH+BDP.

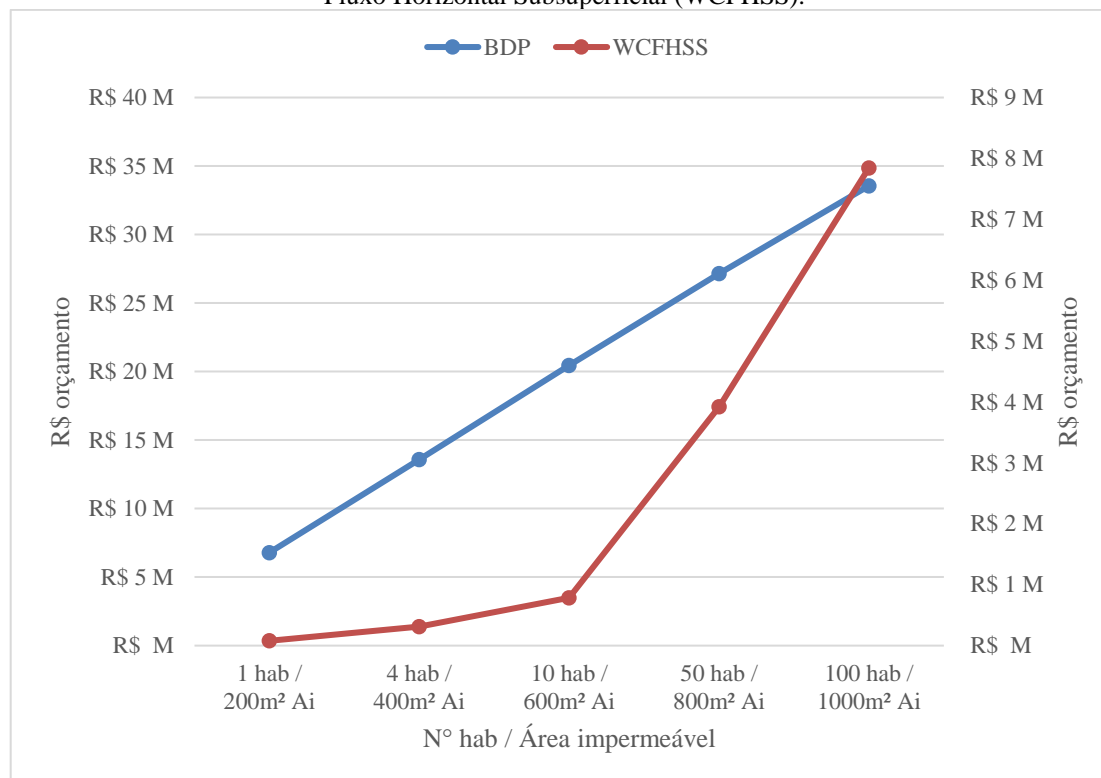
Nº habitantes (N)	Área (m <sup>2</sup> ) Tanque Séptico (TS)	Área (m <sup>2</sup> ) Wetland Construído (WCFHSS)	Área total (m <sup>2</sup> ) TS+WCFHSS+BDP*
1	1,03	0,51	15,71
4	1,62	2,02	31,97
10	2,79	5,06	50,35
50	4,46	25,31	86,44
100	10	50,61	131,44

Fonte: Autor.

Figura 16 - Comparação da área de ocupação (m<sup>2</sup>) da BDP e do Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial WCFHSS.

Fonte: Autor.

Figura 17 - Análise técnico financeira entre da Bacia de Detenção Pluvial (BDP) e o Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial (WCFHSS).



Fonte: Autor.

### 5.7.2 Vulnerabilidade de Diluição Hídrica (VDH)

Com o intuito de definir o potencial de uso do sistema descentralizado de tratamento de esgoto TS+FAN e TS+WCH levando em consideração a “Vulnerabilidade de Diluição Hídrica”, cuja análise foi realizada usando como referência a Tabela 16, foi observado que conforme aumenta-se a eficiência de tratamento do esgotamento ocorre, como já esperado, a diminuição de DBO5 de saída e da Razão de Diluição (RD) e o aumento da vazão do efluente  $Q_{\text{efluente}}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (conforme a Tabela 24).

Com isso, foi analisado o número máximo de habitantes e a quantidade de economias (4 hab/economia), levando em consideração diferentes contribuições  $[(\text{L} \cdot \text{d}^{-1})/\text{habitante}]$  e padrões construtivos (conforme Tabela 25 e a Tabela 26), capazes de destinar os efluentes para a rede pluvial/recurso hídrico respeitando as diretrizes do CONAMA N°357 e N°430.

Tabela 24 – Análise da variação de saída de DBO<sub>5</sub> (mg.L<sup>-1</sup>) e da vazão Q<sub>efluente</sub> (m<sup>3</sup>/s) conforme a eficiência (%) de tratamento TS + FAN (\*) e TS+WCFHSS (\*\*).

DBO <sub>5</sub> entrada	Eficiência (%)	DBO <sub>5</sub> saída	DBO máx. classe II	RD	Q <sub>rio</sub> *	Área Dilúvio (km <sup>2</sup> )	Q <sub>rio</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>efluente</sub> (m <sup>3</sup> /s)
300	30	210	5	42	0,0053	80	0,421	0,010
300	40	180	5	36	0,0053	80	0,421	0,012
300	50	150	5	30	0,0053	80	0,421	0,014
<b>*300</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>5</b>	<b>24</b>	<b>0,0053</b>	<b>80</b>	<b>0,421</b>	<b>0,018</b>
300	70	90	5	18	0,0053	80	0,421	0,023
300	80	60	5	12	0,0053	80	0,421	0,035
<b>**300</b>	<b>90</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>0,0053</b>	<b>80</b>	<b>0,421</b>	<b>0,070</b>

Fonte: Autor.

\*Os valores em negrito (TS+FAN) referem-se aos dados utilizados para os cálculos presentes na Tabela 25.

\*\*Os valores em negrito (TS+WCFHSS) referem-se aos dados utilizados para os cálculos presentes na Tabela 26;

Q<sub>rio</sub>\*: m<sup>-3</sup>.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>;

DBO<sub>5</sub>: mg<sup>-3</sup>.L<sup>-1</sup>.

Tabela 25 – Dimensionamento do número de economias (4 hab./economia), de acordo com o padrão construtivo e com as suas respectivas contribuições (L/dia) /habitante, capazes de destinar os efluentes para a rede pluvial (TS+FAN) de acordo com os parâmetros destacados em negrito (Tabela 24).

Padrão	Contribuição (L.d <sup>-1</sup> .hab <sup>-1</sup> )	Contribuição (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> .hab <sup>-1</sup> )	Q <sub>efluente</sub> (m <sup>3</sup> /s) eficiência 60%	Habitantes	Economias (4 hab)
Baixo padrão	100	1,18203E-06	0,01753	14833	3708
Médio padrão	130	1,50463E-06	0,01753	11653	2913
Alto padrão	160	1,89125E-06	0,01753	9271	2318

Fonte: Autor.



Tabela 26 – Dimensionamento do número de economias (4 hab./economia), de acordo com o padrão construtivo e com as suas respectivas contribuições (L/dia) /habitante, capazes de destinar os efluentes para a rede pluvial (TS+WCFHSS) de acordo com os parâmetros destacados em negrito (Tabela 24).

Padrão	<b>Contribuição (L.d<sup>-1</sup>.hab<sup>-1</sup>)</b>	<b>Contribuição (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.hab<sup>-1</sup>)</b>	<b>Q<sub>efluente</sub> (m<sup>3</sup>/s) eficiência 90%</b>	<b>Habitantes</b>	<b>Economias (4 hab)</b>
Baixo padrão	100	1,18203E-06	0,07	59333	14834
Médio padrão	130	1,50463E-06	0,07	46612	11653
Alto padrão	160	1,89125E-06	0,07	37083	9271

Fonte: Autor.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (Porto Alegre, 2015), cerca de 449.000 habitantes pertencem a bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, cujo corpo receptor é o Lago Guaíba. Sendo assim, e conforme os dados obtidos na Tabela 25 e Tabela 26, podemos observar que o percentual de habitantes em comparação a população supracitada para TS+FAN, capazes de destinar seus efluentes na respectiva bacia, é de 3,3% (baixo padrão), de 2,6% (médio padrão) e de 2,1% (alto padrão), já para TS+WCFH é de 13,2% (baixo padrão), de 10,38% (médio padrão) e de 8,26% (alto padrão). Dessa forma, conclui-se que tais percentuais refletem de forma expressiva os índices de poluição presentes no corpo hídrico.

Ressalta-se também que, avaliando o Modelo de Equação de Mistura (MEM), para validação, no caso em que temos 60% de eficiência de remoção de DBO<sub>5</sub> (TS+FAN), é possível verificar que variando a DBO<sub>5</sub> entre 1 e 2 mg. L<sup>-1</sup> no corpo hídrico (DBO<sub>rio</sub>) assemelha-se ao modelo demonstrado na Tabela 24, ou seja, a vazão máxima de esgoto que pode ser lançada pelo sistema descentralizado pela RD é validado pelo MEM. Logo, conclui-se que quanto mais limpo estiver o recurso hídrico (DBO entre 1 e 2 mg.L<sup>-1</sup>) maior será o Q<sub>esgoto</sub> permitida e consequentemente maior a população podendo optar por sistemas descentralizados.

A mesma validação também foi feita considerando a utilização do WCFHSS, logo, conclui-se que quanto mais limpo estiver o recurso hídrico (DBO 0,7 mg.L<sup>-1</sup>) maior será o Q<sub>esgoto</sub> permitida e consequentemente maior a população podendo optar por sistemas descentralizados.

Frente a isso, destaca-se que as SbN, pautadas pelos processos de fitorremediação, diante da relação entre solo, água e planta, possuem capacidade de remoção de contaminantes

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

emergentes muito superiores os sistemas convencionais TS+FAN (de Oliveira et al., 2019; de Oliveira et al., 2020), o que atenua a carga de micro poluentes em Corpos Hídricos Urbanos.

O estudo usou como base o parâmetro DBO, porém os parâmetros de N, P e E. coli também poderão ser analisados. Incluindo outros conceitos de modelagem de equação de mistura, principalmente, pois estudos mostram que para N, P e E. coli, tanto corpos receptores de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) não possuem qualidade dentro do esperado para classe 2, conforme Resolução CONAMA 357 e 430 (Dantas et al., 2022) e Corpos Hídricos Urbanos mesmo não recebendo efluentes de ETEs, também não possuem qualidade adequada para esses nutrientes e patógenos (Pereira et al., 2019; Figueiredo et al., 2019).

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs avaliar o sistema descentralizado de tratamento de esgoto convencional (Tanque Séptico - TS + Filtro Anaeróbio - FAN) e por Soluções baseadas na Natureza (SbN) (Wetland Construído de Fluxo Horizontal Subsuperficial - WCHFSS) incluindo o manejo da água pluvial por Bacias de Detenção Pluvial (BDP). Inicialmente diante de como a variabilidade de parâmetros e critérios de projetos afetam as dimensões dessas unidades, incluindo a disposição no lote (Sumidouro). De modo a definir, por meio de estudo de caso, o potencial do uso dessas soluções individuais, além da vazão limite de efluente destinado para rede pluvial que segue para Corpos Hídricos Urbanos (CHUrb). Pautado pela capacidade de autodepuração (Razão de Diluição), sendo denominado critério de “Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH).

Por meio de uma avaliação comparativa entre as tecnologias para tratamento individual e/ou combinado de esgoto, para um cenário com diferentes padrões construtivos e com diferentes contribuições de habitantes, sob o enfoque da sustentabilidade, pode-se concluir que:

- em relação aos dimensionamentos do sistema de tratamento de esgoto individual TS, FAN, SU e WCHFSS - considerando padrões construtivos (baixo, médio e alto) e diferentes intervalos de ocupação de habitantes, mas também diferentes taxas de acumulação de lodo e de tempo de detenção de acordo com os intervalos de temperatura média dos meses mais frios - não houve grandes discrepâncias de volumetria e de área de ocupação no comparativo entre TS, FAN e WCHFSS;
- O Sumidouro (SU) - o qual levou em consideração os quesitos citados anteriormente e as características do solo (taxa de percolação e de infiltração) - notou-se uma expressiva

diferenciação de área e de volume não somente na análise entre os padrões construtivos e o número de ocupantes, mas também a desproporcionalidade de dimensões frente aos sistemas TS, FAN e WCFHSS.

Com o intuito de verificar a viabilidade técnica dos sistemas de esgotamento, foi realizada uma análise técnico-financeira referente à uma edificação de médio padrão. Assim, foi possível verificar de forma monetária que as discrepâncias de área e de volume verificadas nos dimensionamentos refletem diretamente no custo, principalmente no intervalo entre 50 e 100 habitantes, faixa em que as áreas dos Sumidouros são bastante expressivas, podendo inviabilizar a sua execução não somente pelo seu custo, mas também pela sua área de ocupação.

O sistema composto por TS+FAN+SU necessita de áreas menores para a implantação, visto que a área de ocupação do FAN, considerando uma população de 100 habitantes, é 5,5 vezes menor que o do WCFHSS. Já em relação ao orçamento, verifica-se que a FAN pode custar até 36% maior do que o WCFHSS.

No estudo de caso referente ao Sistema Combinado de Esgotamento (CSO), BDP e WCFHSS, foi verificado que com um WCFHSS para 100 habitantes é possível suprir a área de uma BDP de 42,50 m<sup>2</sup> o que equivale a um terreno com área impermeável de até 600m<sup>2</sup>, gerando uma economia máxima de R\$20.454,40. Porém ressalta-se que, para a realização desse procedimento seriam necessários estudos relacionados aos mecanismos de controle de descarga do efluente na rede pública ou em um corpo hídrico, de modo a respeitar as diretrizes das legislações vigentes.

No estudo de caso (Arroio Dilúvio, Porto Alegre – Rio Grande do Sul, considerando classe II) visando demonstrar a possibilidade de destinar efluentes à um Corpo Hídrico Urbano (CHUrb), mediante o uso de soluções individuais (TS+FAN e TS+WCFHSS) com destino para rede pluvial – levando em consideração a capacidade de diluição (RD) do recurso hídrico – pelo conceito denominado de “Vulnerabilidade de Diluição Hídrica “VDH”, conclui-se que:

- o TS+FAN chegou-se à um número máximo de habitantes, sendo 14.833 (baixo padrão), 11.653 (médio padrão) e 9.271 (alto padrão), o que equivale, respectivamente, a 3,3%, 2,6% e 2,1% da população total pertencente a tal bacia hidrográfica;
- já para o TS+WCFHSS chegou-se à um número máximo de habitantes, sendo 59.333 (baixo padrão), 46.612 (médio padrão) e 37.083 (alto padrão), o que equivale, respectivamente, a 13,2%, 10,38% e 8,26% da população total pertencente a tal bacia

---

“Vulnerabilidade de Diluição Hídrica” (VDH): um novo critério para estimular a qualidade hídrica na tomada de decisão por soluções individuais sustentáveis (no lote) e baseados na natureza.

hidrográfica, capaz de descartar tais efluentes para não impactar nas características da classe II prevista no estudo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas de Esgotos Despoluição de bacias hidrográficas Brasil. Brasília: ANA, 2017.

ALBERT, C. et al. Planning nature-based solutions: Principles, steps, and insights. *AMBIO*, v. 50, n. 8, SI, p. 1446–1461, ago. 2021.

AMARAL, S.M.M, Comparação dos volumes de microrreservatórios de retenção de águas pluviais em municípios brasileiros. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 60p., 1997a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 15p., 199b.

AZEVEDO, J. C. C. (2010). Saneamento básico: disposição, tratamento e reuso dos esgotos sanitários. EdUFSCar.

ANSARI, A.A.; GILL, R.; GILL, S.S.; LANZA, G.R. Phytoremediation. Management of Environmental Contaminants, Volume 4. Suíça, Springer, 2016.

ÁVILA, Renata O. de. Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Nº 430 de 13/05/2011 (Federal) - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

DE FIGUEIREDO, HELDER PEREIRA; DE FIGUEIREDO, CIBELE RIGOLIN PEREIRA; BARROS, JOÃO HENRIQUE DE SOUZA; CONSTANTINO, MICHEL; MAGALHÃES FILHO, FERNANDO JORGE CORRÊA; DE MORAES, PAULA MARTIN; DA COSTA, REGINALDO BRITO. Water quality in an urban environmental protection area in the Cerrado Biome, Brazil. *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT (DORDRECHT. ONLINE)*, v. 191, p. 117, 2019.

DE OLIVEIRA, MILINA; FRIHLING, BRENO EMANUEL FARIAS ; VELASQUES, JANNAINA ; FILHO, FERNANDO JORGE CORRÊA MAGALHÃES ; Cavalheri, Priscila SABIONI ; MIGLIOLO, LUDOVICO . Pharmaceuticals residues and xenobiotics

contaminants: Occurrence, analytical techniques and sustainable alternatives for wastewater treatment. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, v. 705, p. 135568, 2020.

DE OLIVEIRA, MILINA; ATALLA, ALEXANDRE ARRUDA; FRIHLING, BRENO EMANUEL FARIAS ; Cavalheri, Priscila Sabioni ; MIGLIOLO, LUDOVICO ; FILHO, FERNANDO J.C. MAGALHÃES . Ibuprofen and caffeine removal in vertical flow and free-floating macrophyte constructed wetlands with *Heliconia rostrata* and *Eichornia crassipes*. *CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL*, v. 373, p. 458-467, 2019.

DE OLIVEIRA, MILINA; FRIHLING, BRENO EMANUEL FARIAS; VELASQUES, JANNAINA ; FILHO, FERNANDO JORGE CORRÊA MAGALHÃES ; Cavalheri, Priscila Sabioni ; MIGLIOLO, LUDOVICO . Pharmaceuticals residues and xenobiotics contaminants: Occurrence, analytical techniques and sustainable alternatives for wastewater treatment. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, v. 705, p. 135568, 2020.

DE OLIVEIRA, MILINA; ATALLA, ALEXANDRE ARRUDA; FRIHLING, BRENO EMANUEL FARIAS ; Cavalheri, Priscila Sabioni ; MIGLIOLO, LUDOVICO ; FILHO, FERNANDO J.C. MAGALHÃES . Ibuprofen and caffeine removal in vertical flow and free-floating macrophyte constructed wetlands with *Heliconia rostrata* and *Eichornia crassipes*. *CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL*, v. 373, p. 458-467, 2019.

DE SOUZA PEREIRA, MARIANA ANTONIO; Cavalheri, Priscila Sabioni; DE OLIVEIRA, MICHEL ÂNGELO CONSTANTINO; MAGALHÃES FILHO, FERNANDO JORGE CORREA. A multivariate statistical approach to the integration of different land-uses, seasons, and water quality as water resources management tool. *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT*, v. 191, p. 539, 2019.

DEP/PMPA (2000). Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre – Fundamentos. Departamento de Esgotos Pluviais, Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. Saneamento básico. S. 1., 2007, 9 p. Apostila do Instituto de Tecnologia/Departamento de Engenharia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

HERRERA, M.T. A, MARTÍNEZ, F.Z., Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina.. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2018.

IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Banco de Dados Agregados: 2011. CHERNICHARO, C. A. DE LEMOS, Pós Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: FINEP, 2001.

JORDÃO, Eduardo Pacheco. PESSOA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

JORDÃO, Eduardo P.; PESSÔA, Constantino A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 7. ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2014. 1087p.

JÖNSSON, H. Urine separating sewage system – environmental effects and resource usage. *Water Science and Technology*, 2002.

KALBAR, P.P; KARMARKAS,S.; ASOLEKAR,S.R. Selection of na appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *Journal of Environmental Management*, v. 113, p. 158-169, 2012.

KADLEC, R.H. & KNIGHT, R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. Florida: Lewis Publishers. 893 p.

KLÜSENER, J.L. Adaptação de redes coletoras de águas pluviais para sistemas coletores unitários utilizando o sistema de coleta, transporte e tratamento de esgoto sanitário de rosário do sul – RS como objeto da pesquisa, PPGEC, 2004.

MARZOUK, M.; OTHMAN, A. Modeling the performance of sustainable sanitation systems using building information modeling. *Journal of Cleaner Production*, v. 141, p. 1400–1410, 2017.

MAGALHÃES FILHO, F. J. C., & PAULO, P. L. (2017). Abastecimento de água, esgotamento doméstico e aspectos de saúde em comunidades Quilombolas no Estado de Mato Grosso do Sul. *Interações (Campo Grande)*, 18(2), 103–116. <https://doi.org/10.20435/inter.v18i2.1435>.

MAGALHÃES FILHO, FERNANDO J. C.; DE SOUZA FILHO, JOSÉ C. M.; PAULO, PAULA L. Multistage Constructed Wetland in the Treatment of Greywater under Tropical Conditions: Performance, Operation, and Maintenance. *Recycling*, v. 6, p. 63, 2021.

MAKIDO, Y.; HELLMAN, D.; SHANDAS, V. Nature-based designs to mitigate urban heat: The efficacy of green infrastructure treatments in Portland, Oregon. *Atmosphere*, v. 10, n. 5, 2019.

MASSOUD, M. A., TARHINI, A., NARS, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. Elsevier: *Journal of Environmental management*. v. 90, p. 640-659, 2009.

METCALF & EDDY (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3 ed. New York, USA: Metcalf & Eddy, Inc. 1334 p.

MOTA, S. *Introdução a engenharia ambiental*. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

NUVOLARI, A. et al. *Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. São Paulo: Edgar Blucher, 2011. 565p

NOTA TÉCNICA n° 004/2021/DIPLA/DRHS (2021). Disponibilidade hídrica superficial dos recursos do Estado do Rio Grande do Sul.

PIRES, M J. *Sistema Individual de Tratamento de Esgoto*. Belém: UNAMA, 2011.

PAULO, P. L., GALBIATI, A. F., MAGALHÃES FILHO, F. J. C. CataloSan: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Campo Grande: UFMS, 2018.

PORTO ALEGRE (1999). Lei Complementar 434 – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental. Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

PORTO ALEGRE, (2015) PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE PORTO ALEGRE. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/dmlu/plano-municipal-de-saneamento-basico>

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

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI 2023).

SANTOS, A. B.; CHERNICHARO, C. A. L.; LAPOLLI, F. R.; VON SPERLING, M.; KATO, M. T.; PIVELI, R. P.; RIBEIRO, T. B. Tecnologias de tratamento de correntes de esgotos não segregadas aplicadas a empreendimentos habitacionais. In: Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. Fortaleza: Gráfica e Editora Imprece, 2019. p. 219-391.

SANTOS, C. A. M.; NUNES, J. O. R. Relevância e Estações de Tratamento de Esgoto: o Caso da Cidade de Marília-SP, 2009.

SUBTIL, E. L.; SANCHEZ, A. A.; CAVALHERO, A. Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reúso de água. Santo André: Universidade Federal do ABC – UFABC, 2016, 19 p.

SOUZA, H. S. ; LIMA, P. M. ; MEDEIROS, D. L. ; VIEIRA, J. ; MAGALHÃES FILHO, F. J. C. ; PAULO, P. L. ; FULLANA-I-PALMER, P. ; BONCZ, M. A. . Environmental assessment of on-site source-separated wastewater treatment and reuse systems for resource recovery in a sustainable sanitation view. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, v. 895, p. 165122, 2023.

SCHROEDER, A. K, A. Avaliação de tecnologias normatizadas e wetlands construídos empregados no tratamento descentralizado de esgoto por meio de análise multicriterial – UFSC, 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE O SANEAMENTO – SNIS 2023, Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto, Gestão Técnica de Esgoto, ano de referência 2021.

TUCCI, C.E.M. 2002. Gerenciamento da drenagem urbana. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar.

TUCCI, C.E.M. 2005. Programa de drenagem urbana sustentável: apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais urbanas, versão 2.0. Brasília: Ministério das Cidades.



UCKER FE, Almeida RA, Kemerich PD da C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. *Ambi-Água*, 2012.

USEPA. United States environmental protection agency. Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) wastewater treatment systems. An introduction to management tools and information for implementing EPA's Management guidelines. 2005.

VYMAZAL J. The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological engineering*, 2009.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.243p.

WHO, UNICEF, 2020. Progresso on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000-2020 Main Report Progresso n Drinking Water, sanitation and Hygiene.

WILDERER, P.A., SCHREFF, D. Decentralized and centralized wastewater management: a challenge for technology developers. *Water Science and Technology*. v.41, n.1, p.1-8, 2000.