

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**PROJETO EXECUTIVO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO DOMÉSTICO GERADO POR UMA CASA DE ESTUDANTES  
UNIVERSITÁRIOS**

Elaborado por:

- Paola Bertoncello Bueno (Engenheira Ambiental e Sanitarista - UFSM- FW)
- Profa. Juliana Scapin
- Prof. Raphael Corrêa Medeiros
- Prof<sup>a</sup>. Samara Terezinha Decezaro

Frederico Westphalen, 2021

## Sumário

1 Contextualização .....	3
2 Tecnologias para o Tratamento Descentralizado de Esgoto Sanitário .....	4
3 Metodologia .....	5
3.1 Localização da Área de Estudo .....	6
3.2 Parâmetros de Projeto .....	6
3.3 Critérios de Dimensionamento .....	8
4 Dimensionamento .....	9
4.1 Memorial de Cálculo .....	9
4.2 Eficiência Esperada do Sistema de Tratamento .....	19
Referências .....	21
Anexos .....	23

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Esgotamento sanitário é como se denomina o conjunto de obras e instalações destinadas à coleta, transporte, afastamento, tratamento e à disposição final das águas residuais de uma comunidade, de uma forma adequada do ponto de vista sanitário (BRASIL, 2011). Este sistema conta com basicamente duas variantes: o sistema de esgotamento sanitário individual ou estático e o sistema de esgotamento sanitário coletivo ou dinâmico (VON SPERLING, 2014). Ainda segundo Von Sperling (2014), os sistemas individuais de esgotamento pressupõem a solução local, sendo usualmente adotados para atender a residências unifamiliares ou, até mesmo, a certo número de residências próximas entre si.

Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto são aqueles onde ocorre a coleta, tratamento e disposição final ou reuso do esgoto em um local próximo à sua geração, se diferenciando dos sistemas centralizados tradicionais (TONETTI et al., 2018). Tais sistemas se destacam por apresentarem diversas vantagens, entre elas: o custo reduzido na implementação e a contribuição para a sustentabilidade local (TONETTI et al., 2018, apud METCALF&EDDY, 2013).

É importante ressaltar que, no Brasil, não há legislação específica para sistemas descentralizados de esgoto, cabendo assim, a cada município legislar sobre a questão (SEZERINO et al., 2018). Instruções normativas sugerem tecnologias que podem ser aplicadas ao tratamento descentralizado. A Norma Brasileira NBR 7229 (ABNT, 1993) apresenta critérios para projeto, construção e operação de tanques sépticos e é complementada pela NBR 13969 (ABNT, 1997) na qual são apresentados critérios para projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementares aos tanques sépticos, como também a disposição final dos efluentes.

Existem diferentes níveis para o tratamento do esgoto sanitário. Os tratamentos preliminar e primário visam à remoção de constituintes “grosseiros” (trapos, galhos, areia, etc.) e sólidos suspensos de fácil sedimentação, respectivamente; o tratamento secundário é onde predomina a remoção de matéria orgânica solúvel biodegradável, principalmente por processos biológicos; e, por fim, o tratamento terciário para remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, a desinfecção, bem como remoção de sólidos residuais mais específicos (METCALF&EDDY, 2016).

Este projeto executivo foi desenvolvido como solução para o tratamento e disposição final dos efluentes domésticos gerados pela Casa do Estudante Universitário (CEU) da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen. O projeto contempla os

níveis preliminar, primário, secundário e terciário de tratamento, utilizando tecnologias aplicáveis ao tratamento descentralizado e à realidade local. Além disso, em razão de estar presente dentro do Campus da UFSM, o projeto se faz adaptado para futuras pesquisas na área de saneamento, as quais poderão trazer ainda mais desenvolvimento das tecnologias aplicadas, bem como ao ensino de graduação e pós-graduação e atividades extensionistas. Soma-se ainda, a ideia da infraestrutura verde que está inerente ao conceito de “economia circular”, a partir do reuso da água e recuperação de recursos naturais, como material orgânico e nutrientes, presentes no esgoto sanitário (PUYOL et al., 2017). Pode, portanto, envolver de maneira interdisciplinar as áreas agrônômica, florestal e ambiental, dentro de uma nova geração de ETEs, onde energia, material orgânico, água e outros recursos são recuperados como valiosos subprodutos.

## 2 TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO SANITÁRIO

O tanque séptico, muito utilizado em sistemas individuais, é uma forma de tratamento primário (VON SPERLING, 2014). Sozinho não supre as necessidades ambientais, necessitando de tecnologias que complementem o processo, como as tecnologias convencionais citadas pela NBR 13969/1997. Além das tecnologias normatizadas, existem outras tecnologias aplicáveis ao tratamento descentralizado de esgoto, dentre os quais se destacam os *wetlands* construídos (WEBER, 2015).

Segundo Sezerino et al. (2018), os *wetlands* construídos (WC) são sistemas concebidos para replicar e otimizar processos naturais de transformação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes. Esses sistemas realizam o tratamento do esgoto através de lagoas ou canais rasos (usualmente com profundidade inferior a 1,0 m) contendo plantas, podendo conter também um meio suporte poroso e inerte como a brita ou areia (VON SPERLING, 2014).

Dentre as principais vantagens dos WC, destacam-se: baixo custo de operação e manutenção; tolerância para flutuações de vazões de entrada; são esteticamente mais agradáveis que as estações de tratamento de esgoto convencionais; potencial de reuso ou reciclagem da água; ausência de vibração e ruídos, entre outras (BENASSI et al., 2018)

Os WC são classificados conforme o sentido de escoamento do esgoto dentro do sistema (SEZERINO et al., 2018). Os dois principais tipos de WC são os de escoamento

superficial e de escoamento subsuperficial, sendo que este último é subdividido da seguinte forma: WC horizontal, WC vertical e WC vertical modelo Francês.

No *wetland* construído de escoamento vertical (WCV), o esgoto previamente tratado num tanque séptico, por exemplo, é disposto de forma uniforme sobre toda a área superficial da unidade de tratamento. Neste sistema, a alimentação acontece de forma intermitente, e o afluente percola em sentido descendente por entre o sistema radicular das macrófitas e os poros do material filtrante, até ser coletado por um sistema de drenagem no fundo da unidade (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

Usualmente, o sistema de distribuição de WCV requer a utilização de unidades pressurizadas, como bombas hidráulicas, para garantir a distribuição eficaz de esgoto em toda a superfície da unidade (VIDAL; HORMAZÁBAL, 2018).

A literatura aborda eficiências de remoção esperadas no sistema composto por tanque séptico seguido de WCV, sendo elas: DBO > 85%, DQO > 80%, SS > 85%, N amoniacal > 85%, N total < 40% e Fósforo total < 20% (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

A fim de se diminuir o risco microbiológico, a etapa de desinfecção é importante para trazer maior segurança e se poder avançar nas questões de reuso do efluente tratado. Dentre os inúmeros desinfetantes utilizados, a radiação ultravioleta (UV) possui grandes vantagens, em comparação a outros desinfetantes, como cloro e ozônio: não deixa residual; não é influenciada por fatores ambientais, como pH e temperatura; as unidades são compactadas devido ao pequeno tempo de exposição (segundos); consegue inativar inclusive micro-organismos patogênicos resistentes.

### 3 METODOLOGIA

O presente projeto contempla o dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) composta por um tanque séptico seguido de *wetlands* construídos verticais, com unidade de desinfecção por radiação ultravioleta.

Os parâmetros e as características utilizados para o dimensionamento da ETE buscaram fazer com que o efluente final atenda aos padrões de lançamento de efluentes exigidos pelas Resoluções CONAMA 430/2011 e CONSEMA 355/2017, conforme Quadro 1.

*Quadro 1– Condições e padrões para lançamento direto de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.*

<b>Parâmetro</b>	<b>CONAMA 430/2011</b>	<b>CONSEMA 355/2017</b>
DBO <sub>5</sub>	120 mg/L ou eficiência de remoção mínima de 60%	120 mg/L
DQO	-	330 mg/L
SST	-	140 mg/L
Fósforo	-	4 mg/L ou eficiência de remoção mínima de 75%
Nitrogênio amoniacal	-	20 mg/L

Fonte: Brasil (2011) e Rio Grande do Sul (2017).

### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Casa do Estudante Universitário – CEU da Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen está localizada na Linha 7 de Setembro, s/n, BR 386 Km 40, no município de Frederico Westphalen, RS.

Atualmente, o esgoto da CEU é direcionado para um sistema de esgotamento onde o tratamento e a disposição final do efluente têm apresentado problemas, podendo ocasionar danos à saúde dos moradores e impactos negativos ao meio ambiente.

### 3.2 PARÂMETROS DE PROJETO

#### 3.2.1 Contribuição *per capita* de esgoto

A NBR 13969/97 apresenta valores médios de contribuições de esgoto diárias de acordo com o tipo de prédio e de ocupantes (ABNT, 1997), conforme tabela 1.

*Tabela 1– Contribuição diária de despejos por tipo de prédio e de ocupantes.*

<b>Prédio</b>	<b>Unidade</b>	<b>Contribuição de esgotos (L/d)</b>
1. Ocupantes permanentes		
- residência:		
Padrão alto	Pessoa	160
Padrão médio	Pessoa	130
Padrão baixo	Pessoa	100
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100
- alojamento provisório	Pessoa	80

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13969, 1997.

Desta forma, considerando que o prédio contém apartamentos de baixo padrão, adotou-se como contribuição de despejos *per capita* o valor de 100 litros por dia.

### **3.2.2 Vazão de esgoto doméstico**

De acordo com Von Sperling e Sezerino (2018, p.10) “a vazão afluyente a ser considerada no dimensionamento é a vazão média”. Por se tratar de um sistema individual de tratamento, não se fez necessário incorporar um valor de vazão de infiltração (entrada de água do subsolo na rede de coleta) à vazão média afluyente.

Para o cálculo da vazão média afluyente de esgoto utilizaram-se a população de projeto e a contribuição *per capita* de despejos. A população de projeto é igual a 35 habitantes e foi adotado o valor de contribuição de esgoto por habitante igual a 100 L.d<sup>-1</sup>.

### **3.2.3 Características do esgoto doméstico bruto**

Identificar as características do esgoto bruto afluyente ao sistema de tratamento é essencial para o adequado dimensionamento das unidades que compõe uma ETE. Estas características podem variar em função da finalidade do uso da água.

Na ausência de uma análise laboratorial do esgoto da CEU, e para fins de dimensionamento, os dados foram adotados baseando-se em inúmeros estudos, principalmente o de Decezaro (2018), que analisou a qualidade do esgoto bruto da Casa do

Estudante Universitário – CEU II da UFSM em Santa Maria – RS, no período de setembro de 2015 a dezembro de 2017. As concentrações podem ser visualizadas nas Tabelas 2 e 3.

*Tabela 2– Características físico-químicas adotadas para o esgoto doméstico bruto.*

<b>Parâmetro</b>	<b>Concentração (mg/L)</b>
SST	450
DBO <sub>5</sub>	500
DQO	800
Nitrogênio total	45
N amoniacal	25
Fósforo	5

Fonte: adaptado de Decezaro (2018); Von Sperling (2014) *apud* Arceivala (1981), Pessoa & Jordão (1995), Qasim (1985), Metcalf & Eddy (1991), Cavalcanti et al. (2001).

*Tabela 3– Características microbiológicas adotadas para o esgoto doméstico bruto.*

<b>Organismo</b>	<b>Concentração (NMP/100 mL)</b>
Coliformes totais	$2,4 \times 10^7$
<i>Escherichia coli</i>	$7,7 \times 10^6$

Fonte: adaptado de Decezaro (2018).

### 3.3 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

#### 3.3.1 Tanque séptico

Os tanques sépticos são unidades de tratamento de nível primário, geralmente utilizados para receber o esgoto de pequenas populações contribuintes. Para o dimensionamento do tanque séptico foi seguido os critérios da Norma ABNT NBR 7229/1993.

De acordo com a NBR 7229 de 1993, para encontrar o volume útil do tanque séptico são necessários: o número de pessoas contribuintes; a contribuição *per capita* de despejos; o período de detenção, em dias; a taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente a tempo de acumulação de lodo fresco; e a contribuição de lodo fresco (ABNT, 1993).

No aspecto construtivo, os tanques podem ter formato cilíndrico ou prismático retangular. Para este projeto, optou-se pelo formato cilíndrico, pois se pretendeu minimizar a área útil em favor da profundidade.



### 3.3.2 *Wetlands* construídos de escoamento vertical - WCV

Para realizar o dimensionamento dos WCV foram seguidos os critérios e informações contidos no boletim “Dimensionamento de *Wetlands* Construídos no Brasil” dos autores Von Sperling e Sezerino (2018).

Foram projetadas quatro unidades de WCV, considerando que três estarão em operação e uma em período de descanso. Duas das unidades serão constituídas por brita, e as outras duas por areia grossa como meio suporte, sendo que as unidades contendo areia grossa sofrerão alternância entre os leitos a cada 3,5 dias.

Os critérios de projeto empregados no WCV recebendo efluente previamente tratado englobam a taxa de aplicação orgânica superficial máxima e a taxa de aplicação hidráulica superficial máxima. Von Sperling e Sezerino (2018) recomendam valores de 10 a 20 g DBO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> para a taxa de aplicação orgânica e de 0,05 a 0,12 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> para a taxa de aplicação hidráulica nesses sistemas.

Para este projeto, a taxa de aplicação orgânica superficial foi adotada, sendo de 16 g DBO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, posteriormente, calculou-se a taxa de aplicação hidráulica superficial.

### 3.3.3 Desinfecção

Após o tratamento do esgoto nas unidades de WCV, é necessário que ocorra a inativação de organismos patogênicos do efluente através do processo de desinfecção. Para esta etapa, optou-se por dimensionar um Reator UV composto por lâmpadas germicidas emersas. O dimensionamento foi realizado tendo como base os estudos de Gonçalves (2003), visando a remoção de coliformes termotolerantes, em especial a *Escherichia coli*.

## 4 DIMENSIONAMENTO

### 4.1 MEMORIAL DE CÁLCULO

#### 4.1.1 Vazão afluente de esgoto bruto (Q<sub>eb</sub>)

Calculada a partir da equação 1:

$$Q_{eb} = \text{População} \times \text{Contribuição per capita} \quad (1)$$

$$Q_{eb} = 35 \text{ habitantes} \times 100 \text{ L/hab.dia}$$

$$Q_{eb} = 3.500 \text{ L.d}^{-1} \text{ ou } 3,5 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$$

### 4.1.2 Unidade de tratamento preliminar

O tratamento preliminar visa à remoção de sólidos grosseiros dos esgotos. Esta etapa é de grande importância, pois promove à proteção das bombas e tubulações presentes no sistema, como também, a proteção das unidades seguintes do tratamento.

Para o presente projeto, recomenda-se a aquisição de uma caixa de gradeamento modulada para ser instalada anteriormente ao tanque séptico. A caixa de gradeamento deve ser composta por grades finas (espaçamento entre 1 a 2 cm), e atender à vazão de projeto.

### 4.1.3 Dimensionamento do tanque séptico

O volume útil do tanque séptico foi calculado a partir da equação 2, de acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993):

$$V = 1000 + N(CT + KLf) \quad (2)$$

$$V = 1000 + 35 ((100 \times 0,83) + (65 \times 1))$$

$$V = 6.180 \text{ L ou } 6,2 \text{ m}^3$$

Onde:

V = volume útil, em litros;

N = número de pessoas ou unidades de contribuição;

C = contribuição de despejos ( $\text{L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$ );

T = período de detenção, em dias;

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias;

Lf = contribuição de lodo fresco ( $\text{L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ).

Através do cálculo, o volume útil do tanque séptico resultou em 6,2 m<sup>3</sup>. Os valores de contribuição de despejos, período de detenção, taxa de acumulação de lodo e contribuição de lodo fresco, atribuídos à equação, foram definidos conforme o que indica a NBR 7229 (ABNT, 1993).

Esta Norma (NBR 7229/1993) estipula ainda, profundidades mínimas e máximas para a unidade de tanque séptico por faixa de volume útil; para volume útil na faixa de 6,0 a 10,0 m<sup>3</sup>, a profundidade útil mínima deve ser de 1,50 metros e a profundidade útil máxima de 2,50 metros. Portanto, adotou-se uma profundidade útil de 2,30 metros para o tanque, a este valor foi adicionado 0,50 m, com objetivo de respeitar a distância entre o nível do líquido e o

tampão de fechamento, resultando numa profundidade total do tanque de 2,80 metros. O tanque séptico será de câmara única, com diâmetro interno de 1,90 metros, o mínimo sugerido pela Norma é de 1,10 m.

Von Sperling (2014) relata a eficiência típica de remoção de DBO em tanques sépticos entre 30 e 35%. Considerando 35% de eficiência de remoção de DBO no tratamento primário, obteve-se a concentração efluente de  $DBO_{efl}$  a partir da equação 3.

$$\begin{aligned} DBO_{efl} &= (1 - (E/100)) \times DBO_{eb} \\ DBO_{efl} &= (1 - 0,35) \times 500 \\ DBO_{efl} &= 325 \text{ mg DBO.L}^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

Onde:

$E$  = eficiência de remoção (%);

$DBO_{eb}$  = concentração de DBO no esgoto bruto (mg DBO/L).

A concentração de DBO no efluente do tanque séptico resultou em 325 mg DBO. L<sup>-1</sup>.

#### 4.1.4 Poço de sucção e vazão de aplicação

Imediatamente após a unidade de tanque séptico, foi projetado um poço de sucção. Ele receberá o efluente do tanque séptico, e terá por finalidade aumentar a vida útil das bombas que irão realizar o recalque do esgoto até as unidades de WCV.

O poço de sucção comportará duas bombas submersíveis que serão utilizadas de forma intermitente para a alimentação dos WCV; a atuação das bombas será programada por automação, de forma que elas operem em alternância. Levando em consideração o baixo fluxo de vazão por aplicação, optou-se pela utilização de bombas de menor potência, como, por exemplo, o modelo BRAVA EV05, com potencia de 0,5 CV, da marca Schneider Motobombas.

Segundo Von Sperling & Sezerino (2018), em *wetlands* construídos de escoamento vertical a frequência de dosagem do afluente deve ser num período entre 2 a 8 horas; o intervalo de alimentação desse tipo de *wetland* é maior para garantir que a superfície do leito seque durante o repouso. Desta forma, a alimentação dos *wetlands* ocorrerá em bateladas, inicialmente, com frequência de aplicação a cada 2 horas, totalizando 12 doses diárias. Calculou-se a vazão de cada aplicação através da equação 4:

$$Q_{ap} = Q_{méd}/n \quad (4)$$

$$Q_{ap} = 3,5 / 12$$

$$Q_{ap} = 0,29 \text{ m}^3 \text{ por aplicação}$$

Onde:

$Q_{ap}$  = vazão de aplicação ( $\text{m}^3/\text{aplicação}$ );

$Q_{méd}$  = vazão de projeto ( $\text{m}^3/\text{dia}$ );

n = número de aplicações diárias.

A vazão de aplicação, de acordo com as configurações desejadas para a fase inicial de operação, será de  $0,29 \text{ m}^3$  por aplicação. Essa vazão será recalculada por bombeamento, sendo distribuída para três unidades de WCV em operação.

O poço de sucção foi dimensionado considerando-se o pior cenário de operação, tendo em vista que a frequência de alimentação e a vazão de aplicação podem ser alteradas posteriormente, conforme houver necessidade. Desta forma, foi considerada uma frequência de dosagem de 8 horas (3 vezes ao dia) e uma vazão de aplicação correspondente, de  $1,17 \text{ m}^3$  por aplicação, como mostrado a seguir:

$$V_{\text{útil}} = (Q \times T) / 4 \quad (5)$$

$$V_{\text{útil}} = (1,17 \times 8) / 4$$

$$V_{\text{útil}} = 2,4 \text{ m}^3$$

Onde:

$V_{\text{útil}}$  = volume útil do poço de sucção ( $\text{m}^3$ );

Q = vazão de cada aplicação, considerando 3 aplicações por dia ( $\text{m}^3$ );

T = intervalo do ciclo da bomba (horas).

O volume útil corresponde ao nível mínimo e máximo de operação das bombas. Ao volume útil foi adicionado  $1,0 \text{ m}^3$  a mais, resultando em um volume efetivo, entre o fundo do poço e o nível médio de operação, de  $3,4 \text{ m}^3$ . O poço de sucção conta com uma inclinação de 2:1 no fundo, visando evitar o depósito de sedimentos (zonas mortas).

#### 4.1.5 Dimensionamento dos WCV

Inicialmente, para o dimensionamento do sistema de WCV considerou-se a concentração e a carga de DBO do efluente do tanque séptico. Os valores podem ser visualizados no Quadro 2.

*Quadro 2– Qualidade do efluente do tanque séptico em termos de DBO.*

<b>Conc. de DBO efluente do T.S.</b>	325 mg DBO/L
<b>Carga de DBO efluente do T.S.</b>	1,14 kg DBO/dia

Fonte: Autores.

A área superficial de cada unidade de WCV foi calculada a partir da adoção de um valor para a taxa de aplicação orgânica superficial máxima; o valor adotado foi de 16 g DBO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> dentro da faixa recomendada por Von Sperling & Sezerino (2018). Von Sperling & Sezerino (2018, p.31) afirmam que “a área superficial requerida das unidades em operação é o quociente entre a carga de DBO afluenta ao *wetland* e a taxa de aplicação orgânica superficial adotada”. Conforme a equação 6:

$$A_s = \text{Carga DBO}_{\text{afl}} / \text{TAO}_{\text{máx}} \quad (6)$$

$$A_s = 1137,5 / 16$$

$$A_s = 71,09 \text{ m}^2$$

Onde:

$A_s$  = área superficial requerida (m<sup>2</sup>);

TAO = taxa de aplicação orgânica superficial máxima (g DBO.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>).

A área superficial requerida resultante da equação 6 foi arredondada para 71 m<sup>2</sup>, e através desse valor verificou-se a taxa de aplicação hidráulica superficial, como mostra a equação 7.

$$\text{TAH} = Q_{\text{méd}} / A_s \quad (7)$$

$$\text{TAH} = 3,5 / 71$$

$$\text{TAH} = 0,05 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$$

Onde: TAH = taxa de aplicação hidráulica superficial (m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>);

$Q_{\text{méd}}$  = vazão de projeto ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ );

$A_s$  = área superficial requerida ( $\text{m}^2$ ).

O valor resultante da taxa de aplicação hidráulica foi de  $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  e apresenta-se dentro da faixa usual de 0,05 a  $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . A área superficial foi dividida pelo número de unidades do WCV em operação (3 unidades), logo, cada unidade deverá ter uma área superficial de  $23,70 \text{ m}^2$ , sendo que a quarta unidade (em descanso) também terá a mesma área superficial.

Tendo o conhecimento da área das unidades de WCV, determinou-se o comprimento e a largura de cada unidade. Optou-se por uma relação comprimento/largura com valor de 2:1. Portanto, adotou-se a medida da largura de 3,40 metros e calculou-se a medida do comprimento, por meio da equação 8.

$$C = A_{\text{unidade}} / L \quad (8)$$

$$C = 23,70 / 3,40$$

$$C = 6,97 \text{ m} \rightarrow 7,00 \text{ m}$$

Onde:

$C$  = comprimento (m);

$L$  = largura (m);

$A_{\text{unidade}}$  = área superficial de cada unidade ( $\text{m}^2$ ).

A determinação da profundidade útil depende do tipo de WC e do material filtrante escolhido. Para este projeto são previstas duas unidades de WCV com brita como meio filtrante e outras duas unidades com areia grossa como meio filtrante, como seguem as especificações das camadas nas Tabelas 4 e 5.

*Tabela 4– Especificações das camadas do meio suporte das unidades com brita.*

Camada	Altura (m)	Material
Superior do meio suporte ( $H_{\text{sup}}$ )	-	-
Principal, de filtração ( $H_{\text{int}}$ )	0,60	Brita 1
Transição ( $H_{\text{trans}}$ )	-	-
Drenagem ( $H_{\text{inf}}$ )	0,20	Brita 2
Borda livre (bL)	0,20	Não se aplica
<b>Profundidade útil (m)</b>		0,80
<b>Profundidade total (m)</b>		1,00

Fonte: Autores.

Tabela 5– Especificações das camadas do meio suporte das unidades com areia grossa.

Camada	Altura (m)	Material
Superior do meio suporte ( $H_{sup}$ )	0,05	Brita 1
Principal, de filtração ( $H_{int}$ )	0,50	Areia grossa
Transição ( $H_{trans}$ )	0,05	Brita 0
Drenagem ( $H_{inf}$ )	0,20	Brita 1
Borda livre (bL)	0,20	Não se aplica
<b>Profundidade útil (m)</b>		0,80
<b>Profundidade total (m)</b>		1,00

Fonte: Autores.

#### 4.1.5.1 Detalhes hidráulicos e construtivos

As duas unidades do WCV com brita como material filtrante, estarão em operação contínua, com alimentação intermitente. Já, as duas unidades restantes, com areia grossa como material filtrante, terão alternância entre os leitos a cada 3,5 dias, ou seja, uma unidade estará operando durante este período e a outra em descanso; optou-se assim para se evitar a colmatagem do material filtrante, aumentando a vida útil do mesmo.

A entrada e distribuição do afluente nos *wetlands* devem ocorrer por meio de tubulações dispostas de maneira que permita a distribuição uniforme do afluente em toda a área superficial da unidade (VON SPERLING & SEZERINO, 2018). As tubulações de distribuição devem ser assentadas na parte superior do leito, evitando assim a propagação de odores; a distribuição deverá ocorrer por meio de três linhas de tubo PVC de 32 mm de diâmetro, com orifícios de 6 mm de diâmetro com espaço de 15 cm entre eles. Para a definição dos diâmetros de tubulação de entrada e de saída, utilizaram-se como base as características do WCV apresentado por Decezaro (2016).

As unidades devem contar com um sistema de drenagem, na parte inferior do leito, composto por três linhas de tubulação PVC de 40 mm de diâmetro, com orifícios de 8 mm de diâmetro com espaçamento de 10 cm entre eles; as tubulações devem ser assentadas acima de uma camada de 5 cm de brita. Em cada linha de tubulação de drenagem deve ser acoplada uma tubulação de mesmo diâmetro, que irá aflorar à superfície do leito, com a extremidade aberta para a atmosfera (VON SPERLING & SEZERINO, 2018); essas tubulações são denominadas tubos de ventilação e tem como objetivo aerar a parte inferior dos WCV.

O sistema de drenagem irá captar a água residuária que percolou e direcioná-la à caixa de coleta. A caixa de coleta terá as seguintes dimensões: 0,50 m de largura, 0,50 m de comprimento e 0,85 m de altura; composta por uma tubulação de 40 mm de diâmetro que permite a variação do nível d'água dentro de cada unidade.

Antes de adicionar o material de preenchimento dentro da unidade, é imprescindível que haja a impermeabilização do fundo do leito e das paredes internas. Von Sperling & Sezerino (2018) sugerem a utilização de materiais que garantam a impermeabilização e resistência mecânica e aos impactos da radiação solar, quando em locais expostos. O material de impermeabilização escolhido para este projeto foi a geomembrana de PEAD, com espessura mínima de 1,0 mm.

Por fim, é prevista a utilização de plantas do gênero *Canna* spp. (cana índica), por terem demonstrado boas condições operacionais no estudo de Decezaro (2018) e por apresentarem aspectos paisagísticos. Para o transplante, recomenda-se 3 mudas por m<sup>2</sup>.

#### **4.1.6 Medidor de vazão efluente do WCV**

É necessário, após a caixa de coleta do efluente de cada unidade de WCV, que haja um dispositivo medidor de vazão. Este dispositivo tem como finalidade a obtenção de dados de vazão do efluente, possibilitando o monitoramento operacional das unidades.

Para este projeto, devido à baixa vazão efluente das unidades de WCV, optou-se pela instalação de uma calha medidora de vazão do tipo Palmer da SanecomFibra®. Segundo o fabricante, este tipo de calha é indicada quando o canal, no qual se deseja medir a vazão, é parcialmente fechado (tubulações). O tamanho da Palmer varia conforme o diâmetro da tubulação. Este tipo de calha conta com um suporte para adaptar medidor ultrassônico, caso se faça necessário.

#### **4.1.7 Unidade de Desinfecção - Reator UV**

Considerou-se, para o dimensionamento do reator UV, a utilização de lâmpadas UV com 30 Watts de potência nominal, com eficiência de 10 Watts a 254 nm; absorvância do efluente tratado, em 254 nm, de 0,300 u.a/cm; valor de dose efetiva de 20 mJ/cm<sup>2</sup> e adotou-se a espessura de 3,0 cm para a lâmina d'água dentro da câmara, em razão de as lâmpadas UV ficarem emersas. O reator deve ser fabricado em alumínio, devido a sua eficiência na reflexão da radiação UV.



O valor da dose de UV para inativação de *Escherichia coli* (20 mJ/cm<sup>2</sup>) foi baseada em resultados dos estudos de Gonçalves et al. (2003), Li et al. (2009) e Wang et al. (2012); com o intuito de apresentar eficiência mínima de 2 log de inativação.

Inicialmente, calculou-se a dose aplicada; após, calculou-se a dose aplicada por volume e em seguida, pode-se estimar o número de lâmpadas necessárias para a desinfecção. O desenvolvimento dos cálculos é dado a seguir:

$$Da = \frac{D \cdot \alpha \cdot L}{(1 - e^{-\alpha L})} \quad (9)$$

$$Da = \frac{20 \cdot 0,691 \cdot 3}{(1 - e^{-0,691 \cdot 3})}$$

$$Da = 47,43 \text{ mJ/cm}^2$$

Onde:

Da = dose aplicada (mJ/cm<sup>2</sup>);

D = dose efetiva (mJ/cm<sup>2</sup>);

$\alpha$  = absorvência x Ln(10) = 0,300 x 2,303 = 0,691;

L = altura da lâmina d'água (cm).

$$Dav = \frac{Da}{L} \cdot 0,2778 \quad (10)$$

$$Dav = \frac{47,43}{3} \cdot 0,2778$$

$$Dav = 4,39 \text{ Wh/m}^3$$

Onde:

Dav = dose aplicada por volume (Wh/m<sup>3</sup>);

Da = dose aplicada (mJ/cm<sup>2</sup>);

L = altura da lâmina d'água (cm);

0,2778 = fator de conversão.

Para a definição do número de lâmpadas necessárias foi preciso utilizar a vazão máxima de aplicação, que foi calculada a partir da vazão de aplicação, considerando um cenário de alimentação com intervalo de 8 horas (3 vezes ao dia); multiplicando a vazão de 1,17 m<sup>3</sup> por aplicação pelo coeficiente K1 e K2 (1,2 e 1,5, respectivamente), resultando no valor de 2,1 m<sup>3</sup> que poderá ser drenado no WCV em até 1 hora.

$$n = \frac{Q_{\text{máx}} \cdot D_{\text{av}}}{P_{254} \cdot f} \quad (11)$$

$$n = \frac{2,106 \cdot 4,39}{10 \cdot 0,7}$$

$$n = 1,32 \rightarrow 2 \text{ lâmpadas UV}$$

Onde:

n = número de lâmpadas.

$Q_{\text{máx}}$  = vazão máxima de aplicação ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$D_{\text{av}}$  = dose aplicada por volume ( $\text{Wh}/\text{m}^3$ );

$P_{254}$  = potencia de eficiência em 254 nm (W);

f = eficiência do refletor de alumínio (70%).

Após definido que serão necessárias duas lâmpadas UV para este reator, realizaram-se os cálculos de volume e área necessária para a câmara de desinfecção do reator UV. Adotou-se um tempo de exposição mínimo do líquido à lâmpada, referente à vazão máxima de aplicação, de 30 segundos. Portanto:

$$V = Q_{\text{máx}} \cdot t \quad (12)$$

$$V = 0,000585 \cdot 30$$

$$V = 0,018 \text{ m}^3$$

Onde:

V = volume da câmara de desinfecção ( $\text{m}^3$ );

$Q_{\text{máx}}$  = vazão máxima de aplicação ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

t = tempo de exposição mínimo (s).

$$A = V / L \quad (13)$$

$$A = 0,018 / 0,03$$

$$A = 0,59 \text{ m}^2$$

Onde:

A = área total da câmara de desinfecção ( $\text{m}^2$ );

V = volume da câmara de desinfecção ( $\text{m}^3$ );

L = altura da lâmina d'água (m).

Por fim, conferiu-se a dose aplicada no reator por meio da equação 14.

$$Da (reator) = \left( \frac{n \cdot P_{254} \cdot f}{A} \right) t \quad (14)$$

$$Da (reator) = \left( \frac{2 \cdot 10 \cdot 0,7}{5850} \right) \cdot 30$$

$$Da (reator) = 0,071 J/cm^2 (x1000)$$

$$Da (reator) = 71,79 mJ/cm^2$$

Onde:

Da (reator) = dose aplicada no reator de acordo com a configuração escolhida (mJ/cm<sup>2</sup>);

n = número de lâmpadas;

P<sub>254</sub> = potencia de eficiência em 254 nm (W);

f = eficiência do refletor de alumínio (70%);

A = área total da câmara de desinfecção (cm<sup>2</sup>);

t = tempo de exposição mínimo (s).

A dose aplicada obtida com a configuração escolhida para o reator resultou em um valor superior em relação à dose aplicada adotada para o dimensionamento. Isso se deve à vazão para desinfecção, resultando na necessidade de “1,32” lâmpadas, a qual foi ajustada para 2 lâmpadas. Com a dose aplicada superior, trabalhar-se-á na segurança do processo de desinfecção, possibilitando a inativação de microrganismos ainda mais resistentes que a *Escherichia coli*. A câmara de desinfecção necessitará das seguintes dimensões: 0,95 m de comprimento e 0,65 m de largura.

#### 4.2 EFICIÊNCIA ESPERADA DO SISTEMA DE TRATAMENTO

As eficiências esperadas do sistema foram estimadas de acordo com o boletim desenvolvido por Von Sperling & Sezerino (2018), onde relatam valores de eficiências globais de remoção de poluentes em sistemas de WCV recebendo efluente de tratamento primário em tanques sépticos. Os valores de eficiência esperados são demonstrados no Quadro 3.

Para a etapa de desinfecção espera-se uma eficiência de remoção de *Escherichia coli* de 2 unidades log, segundo experiências relatadas por Gonçalves et al. (2003). Portanto, ao somar à remoção do WCV, espera-se, no mínimo 4 unidades log de remoção e efluente final com concentração de *E. coli* menor que 10<sup>3</sup> NMP/100mL.

*Quadro 3 – Eficiências de remoção de poluentes esperadas do conjunto T.S + WCV + UV.*

<b>Parâmetro</b>	<b>Eficiência de remoção (%)</b>
DBO	> 85
DQO	> 80
SST	> 85
N amoniacal	> 85
N total	< 40
Fósforo total	< 20
Coliformes termotolerantes	4 unidades log

Fonte: Von Sperling & Sezerino (2018); Gonçalves et al. (2003)

Alcançando os valores esperados de eficiência citados no Quadro 3, o sistema estará de acordo com os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 430 (Brasil, 2011) e CONSEMA 355 (Rio Grande do Sul, 2017), como mostrado no quadro 4.

*Quadro 4– Estimativa das concentrações de poluentes após o tratamento e comparação com as Resoluções CONAMA 430/2011 e CONSEMA 355/2017.*

<b>Parâmetros</b>	<b>Conc. esgoto bruto (mg/L)</b>	<b>Eficiência esperada (%)</b>	<b>Conc. esgoto efluente (mg/L)</b>	<b>CONAMA 430</b>	<b>CONSEMA 355</b>
DBO	500	85	75	120 mg/L	120 mg/L
DQO	800	80	160	-	330 mg/L
SST	450	85	67,5	-	140 mg/L
Fósforo	5	20	4	-	4 mg/L
N amoniacal	25	85	3,75	-	20 mg/L

Fonte: autores.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BASSANI, Leandro et al. **Feeding mode influence on treatment performance of unsaturated and partially saturated vertical flow constructed wetland**. Science of Total Environment. p. 1-8. set. 2020.

BENASSI, Roseli Frederigi et al. (org.). **Manual de sistemas de *wetlands* construídas para o tratamento de esgoto sanitário: implantação, operação e manutenção**. Santo André - SP: UFABC, 2018.

BRASIL. **Atlas do Saneamento – 2011. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/default\\_zip.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm)> Acesso em: 14 dez. 2020.

BRASIL. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília.

DECEZARO, S. T. **Nitrificação e remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos de efluente doméstico em *wetland* construído de fluxo vertical**. Santa Maria, 2016.

DECEZARO, S. T. **Sistema de tanque séptico e *wetland* construído vertical com recirculação para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de esgoto doméstico**. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

DOTRO, G. et al. **Treatment Wetlands**. IWA, 2017. 7 v. (Biological Wastewater Treatment Series).

GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários**. Vitória - ES: PROSAB, 2003.

LI, D.; Craik, S. A.; Smith, D. W.; Belosevic, M. Infectivity of Giardia lamblia cysts obtained from wastewater treated with ultraviolet light. **Water Research**. v. 43, p. 3037-3046. 2009.

METCALF&EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5. ed. Nova Iorque: Amgh Editora Ltda, 2016.

PNAD. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**, 2012. Disponível em: <[www.ibge.com.br](http://www.ibge.com.br)>. Acesso em: 12 jan. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução nº 355, de 19 de julho de 2017**. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: CONSEMA. Porto Alegre

SANTOS, A. B. et al. (org.). **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais**. Fortaleza: IMPRECE, 2019. 812 p. RENTED.

SEZERINO, P. H. et al. **WETLANDS CONSTRUÍDOS APLICADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção**. Tubarão: UFSC, 2018.

SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: II.

TONETTI, A. L. et al. **TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS EM COMUNIDADES ISOLADAS: referencial para a escolha de soluções**. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018.

VIDAL, G.; HORMAZÁBAL, Sujey. **Humedales Construídos: diseño y operación**. Concepción: Trama Impresores S.A, 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.

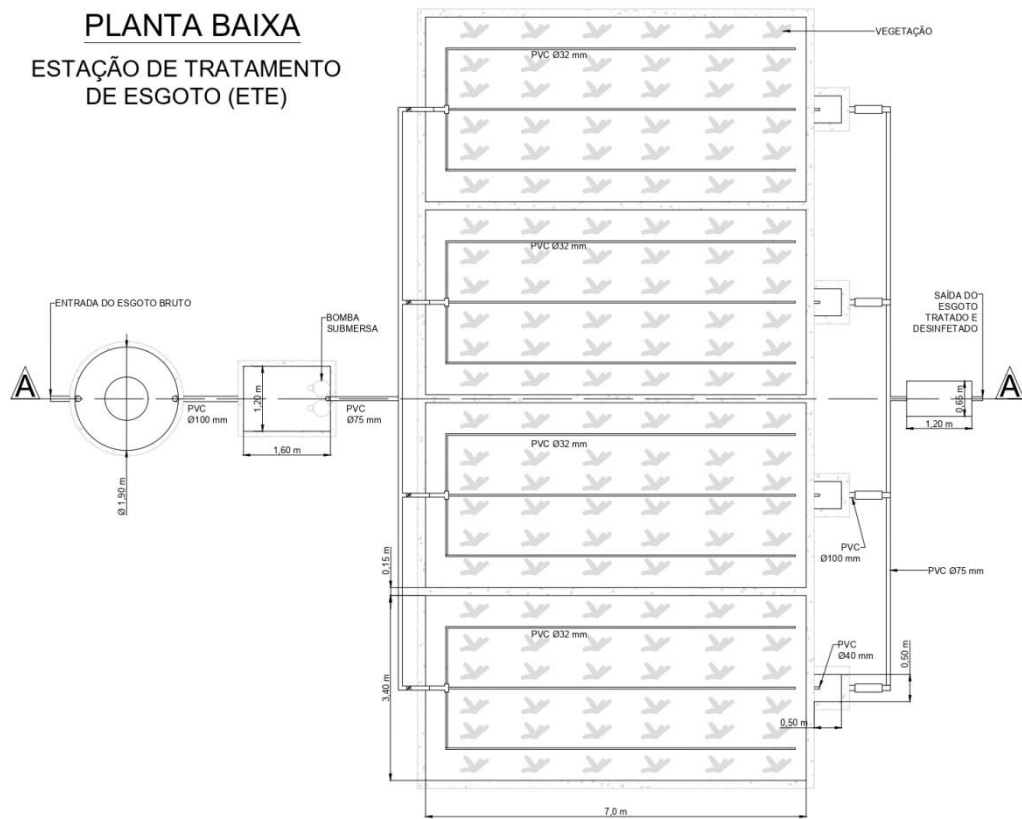
VON SPERLING, M.; Sezerino, P.H. (2018). **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**. *Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial*, novembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <<http://gesad.ufsc.br/boletins/>>.

WANG, X.; Hu, X.; Wang, H.; Hu, C. Synergistic effect of the sequential use of UV irradiation and chlorine to disinfect reclaimed water. **Water Research**. vol. 46, p. 1225-1232. 2012.

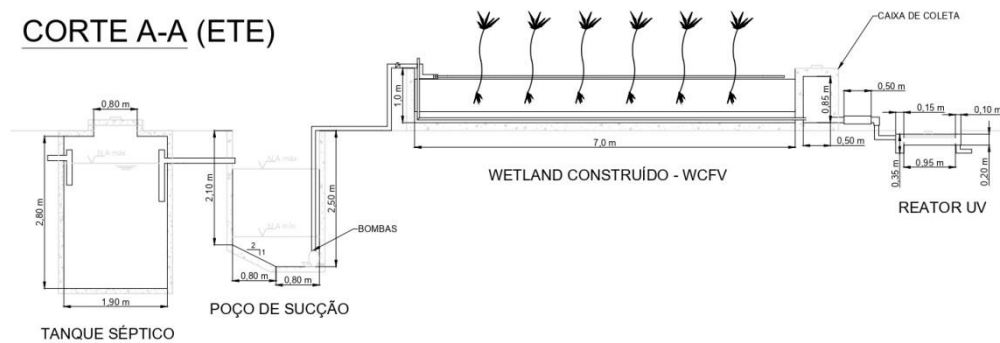
WEBER, C. F. **Proposta de dimensionamento e implantação de wetlands construídos em sistema individual de tratamento de esgoto sanitário**. 70 f. TCC - Curso de Técnico em Processos Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, 2015.

## ANEXO A - Planta baixa da Estação de Tratamento

### PLANTA BAIXA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE)



### CORTE A-A (ETE)



Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen  
Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental  
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária

#### ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Autora: Paola Bertinello Bueno  
Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Raphael C. Medeiros

Disciplina:  
Trabalho de Conclusão de Curso  
Folha: A3  
Escala: 1:75  
Data: Janeiro  
de 2021

## ANEXO B - Detalhamento das principais unidades de tratamento.

