

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**GUSTAVO HENRIQUE FERNANDES DE SOUZA**

**PROJETO DE UM SISTEMA WETLAND FRANCÊS PARA  
TRATAMENTO DE EFLUENTE EM UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2021**

**GUSTAVO HENRIQUE FERNANDES DE SOUZA**

**PROJETO DE UM SISTEMA WETLAND FRANCÊS PARA  
TRATAMENTO DE EFLUENTE EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Orlando de Carvalho Junior

**LONDRINA  
2021**

**GUSTAVO HENRIQUE FERNANDES DE SOUZA**

**PROJETO DE UM SISTEMA WETLAND FRANCÊS PARA  
TRATAMENTO DE EFLUENTE EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 08/ Setembro /2021

---

Prof. Dr. Ajadir Fazolo  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Ambiental

---

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Ambiental

---

Prof. Dr Orlando de Carvalho Junior  
Orientador  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por estar vivo e que me conduziu até aqui. Agradeço aos meus pais Rogério Douglas Amaral de Souza e Marinês de Lucca Fernandes de Souza, por sempre me apoiar em todos os momentos da minha vida, por me educar, ensinar o certo e o errado, ser verdadeiro e honesto como são, e todo amor que vocês me dão, eu amo muito vocês, e minha querida irmã Milena. Toda minha família que sempre me apoiaram.

Agradeço ao Prof. Dr. Orlando de Carvalho Júnior, no qual nunca mediu esforços para me ajudar, tanto durante as aulas quanto como meu orientador, por toda paciência e ensinamentos, muito obrigado, por confiar em mim e me orientar nesse projeto. Agradecer a Mestre Ana Paula Cosso, que me orientou no Trabalho de Conclusão de Curso 1, muita gratidão, ao Prof. Dr. Aulus Bineli em que sempre me ajudou, muito obrigado.

Agradecer todo o corpo docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, pela sabedoria de cada professor, onde pude ter experiências muito boas com a qualidade de cada profissional. Agradecer a Universidade Estadual de Maringá campus Umuarama, onde cursei três semestres de Engenharia Ambiental.

Agradecer ao Dr. Roberto Lages e Dr. Gustavo, no qual juntamente com Deus realizaram um milagre em minha vida, e toda a equipe de saúde de Arapongas, também agradecer aos doutores e os colaboradores do Hospital do Câncer de Londrina.

Agradecer a todas as amigas que fiz durante esse período da minha vida, aos meninos que moraram comigo na república em Umuarama, aos meus amigos de Londrina, em especial ao Paraguai, Thiago Higuchi, Rodrigo Becegato, Neto Henriques, Danilo Stefanelli, Fernando Marsico, Tiago Rotta, Alfredo Machado, Yago Cipoli, Thiago Landi.

Agradecer a todos que de alguma forma me ajudou, e que Deus abençoe, muito obrigado.

## RESUMO

Wetland Construído francês é uma biotecnologia utilizada no tratamento de efluentes, onde as plantas agem auxiliando na remoção de poluentes presentes no esgoto, juntamente com o material filtrante e os microrganismos. As principais vantagens desse sistema são a menor área de implantação quando comparada a Wetlands de fluxo horizontal ou lagoa de estabilização, além de não precisar de tratamento primário, utilizando apenas o gradeamento que serve como tratamento preliminar. O presente trabalho visou o projetar de um sistema de Wetland Construído francês, para ser utilizado como unidade de tratamento descentralizado dos efluentes produzidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina. O trabalho contemplou a projeção de alunos em 20 anos, pré-tratamento, dimensionamento da planta, reservatórios de armazenamento de efluentes, sistema de bombeamento dos dois reservatórios, além dos cálculos necessários para realizar o tratamento em 5 leitos, 3 no primeiro estágio e 2 no segundo estágio em fluxo vertical com alimentação intermitente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Wetlands francês; Fluxo vertical; Tratamento descentralizado; Biotecnologia.

## **ABSTRACT**

French constructed wetland is a biotechnology used in the treatment of effluents, where plants act as aids in the removal of pollutants present in the sewage, along with the filtering material and microorganisms. The main advantages of this system are the smaller implementation area when compared to horizontal flow wetlands or stabilization lagoon, besides not needing primary treatment. The present work aimed at designing a French built Wetland system to be used as a decentralized treatment unit for the effluent produced by a campus of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina campus. The work contemplated the number of students in 20 years, pre-treatment, plant dimensioning, effluent storage reservoirs, pumping system of the two reservoirs, besides all necessary calculations to perform the treatment in 5 beds, 3 in the first stage and 2 in the second stage in vertical flow with intermittent feeding.

**KEY WORDS:** Wetlands, french Wetlands; Vertical flow; Decentralized treatment; Biotechnology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do perfil transversal de um Wetland natural.....	13
Figura 2: Fluxo de Wetland Construído.....	14
Figura 3: Fluxo Horizontal Subsuperficial.....	16
Figura 4: Fluxo Vertical Subsuperficial.....	17
Figura 5: Designer Wetland Construído Francês Molle 2015.....	19
Figura 6: Modelo Francês, 1° e 2° ESTÁGIO.....	20
Figura 7: Rizosfera, zona de raízes e meio suporte.....	21
Figura 8: Londrina.....	33
Figura 9: Campus Londrina.....	33
Figura 10: Variáveis para o dimensionamento hidráulico.....	44
Figura 11: Grade de barras com limpeza manual.....	46
Figura 12: Calha Parshall dimensões internas.....	47
Figura 13: Capacidade hidráulica.....	48
Figura 14: Reservatório.....	51
Figura 15: Vista superior Wetland Construído francês.....	55
Figura 16: Dimensionamento do 1° Estágio.....	56
Figura 17: Dimensionamento do 2° Estágio.....	57
Figura 18: Vista lateral do 1° Estágio.....	58
Figura 19: Vista Lateral 2° Estágio.....	59
Figura 20: Vista Lateral 2° Estágio.....	60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: WC Francês, altura da camada. ....	24
Quadro 2: Unidades em paralelo e inclinação .....	25
Quadro 3: Granulometria do leito.....	26
Quadro 4: Alternância e alimentação do leito. ....	27
Quadro 5: Número de batelada e distribuição do afluente.....	28
Quadro 6: Coleta e retirada do efluente.....	29
Quadro 7: Impermeabilização, geomembranas .....	30
Quadro 8: Plantas utilizáveis no Brasil e seu manejo .....	31
Quadro 9: Altura da camada de lodo e sua remoção .....	32
Quadro 10: Contribuição diária de esgoto e carga orgânica.....	35
Quadro 11: Coeficientes K.....	37
Quadro 12: Granulometria 1°Estágio.....	40
Quadro 13: Granulometria 2°Estágio.....	41



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Esgoto
<b>WC</b>	<i>Wetlands</i> Construídos
<b>WCFV</b>	<i>Wetlands</i> Construído de Fluxo Vertical
<b>FS</b>	Fluxo Superficial
<b>FSS</b>	Fluxo Subsuperficial
<b>WCFH</b>	Wetlands Construído Fluxo Horizontal
<b>WCFV</b>	Wetlands Construído Fluxo Vertical
<b>WCFS</b>	Wetlands Construídos de Fluxo Superficial
<b>DQO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>QBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>NTK</b>	Nitrogênio Total Kjeldahl
<b>Hsup</b>	Altura da Camada Superior
<b>Hint</b>	Altura da Camada Intermediária
<b>Hinf</b>	Altura da Camada Inferior
<b>bL</b>	Borda Livre
<b>C:L</b>	Relação Comprimento/Largura
<b>N</b>	Número de Unidades em Paralelo
<b>Z</b>	Inclinação das Paredes
<b>Glsup</b>	Granulometria Superior
<b>Glint</b>	Granulometria intermediária
<b>Glinf</b>	Granulometria Inferior
<b>Hfws</b>	Granulometria Inferior
<b>Nbat</b>	Número de Bateladas
<b>PEAD</b>	Polietileno de Alta Densidade
<b>ED aflu</b>	Entrada e Distribuição do Afluente
<b>CR eflu</b>	Coleta e Retirada do Efluente
<b>P</b>	Potência
<b>Qb</b>	Vazão de Bombeamento
<b>Hms</b>	Altura Manométrica de Sucção

<b>Hmr</b>	Altura Manométrica de Recalque
<b>IMP</b>	Impermeabilização
<b>D</b>	Diâmetro
<b>J</b>	Perda de Carga
<b>Qméd</b>	Vazão Média
<b>Qmáx</b>	Vazão Máxima
<b>PVC</b>	Policloreto de Vinila
<b>K</b>	Coefficiente de Consumo
<b>Qinf</b>	Vazão de Infiltração
<b>Qt</b>	Vazão Total
<b>AT</b>	Área Total
<b>TH</b>	Taxa Hidráulica
<b>LL</b>	Altura Lateral
<b>Vmáx</b>	Velocidade Máxima
<b>Vmín</b>	Velocidade Mínima
<b>Imin</b>	Declividade Mínima
<b>n</b>	Coefficiente de Rugosidade de Manning
<b>Rh</b>	Raio Hidráulico
<b>Ag</b>	Área Livre total
<b>Vg</b>	Vazão Admita na grade
<b>Blg</b>	Largura Total entre Barras
<b>Nesp</b>	Número de Espaços
<b>Bc</b>	Largura do Canal
<b>H</b>	Altura da Lâmina de Água
<b>Vu</b>	Volume Útil
<b>Vt</b>	Volume Total
<b>Qb</b>	Vazão de Bombeamento

## SUMÁRIO

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS LONDRINA .....	1
LONDRINA 2021.....	1
LONDRINA 2021.....	2
RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE QUADROS.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	1
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
SISTEMA WETLAND FRANCÊS.....	54
1º ESTÁGIO .....	55
2º ESTÁGIO .....	56
1º ESTÁGIO .....	57
2º ESTÁGIO .....	58
2º ESTÁGIO .....	59
6. CONCLUSÃO.....	60
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

O esgotamento sanitário é um processo de infraestrutura relacionada a água, ao esgoto, drenagem e manejo de águas fluviais, sendo de responsabilidade de todos os cidadãos. Quando o esgoto é lançado no meio, sem seu devido tratamento adequado, compromete a qualidade do ambiente, a saúde das pessoas e da fauna. O tratamento centralizado é definido como o conjunto de ações que contemplam desde a coleta dos esgotos, passando por redes coletoras até chegar em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), onde gera altos custos na manutenção de todo o sistema. Outra forma de tratamento também pode ser adotada que é a descentralização no tratamento. O tratamento é feito muito próximo de onde foi gerado, o Wetland Construído (WC) surge muito bem nesse modelo, por possuir elevado desempenho, obra de implantação simples, podendo ter uma integração paisagística. Dentro do leque de tecnologias mais simplificadas é a que congrega mais pontos positivos.

O Wetland tem revelado, na escala internacional, inúmeras vezes como tecnologia adequada para o tratamento de águas residuais em situações descentralizadas (Langergräber, 2013). As vantagens da importância desse esgoto descentralizado, durante a operação e manutenção do tratamento descentralizado, pode ocorrer de maneira facilitada, pois esse sistema gera menos demanda, ocorre o reuso dos efluentes no próprio local de produção ou próximo a ele, além do que ao utilizar plantas como filtros, sendo essas muito resistentes, no qual seu custeio se torna baixo e facilita a instalação, podendo-se adaptar a paisagem do local de projeto. O Wetland Construído permite viabilizar técnica e economicamente o tratamento de esgoto em pequenas e médias cidades, pois 3.311 municípios do Brasil possuem menos que 15 mil habitantes. (CENSO 2013, IBGE; JUNG; NARAYANAN; CHENG, 2018).

Diante disso, pretendeu-se com esse projeto dimensionar um sistema Wetland Construído francês, como proposta para tratamento do efluente produzido por um campus universitário, utilizando um sistema descentralizado de tratamento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Elaborar um projeto para tratamento descentralizado do efluente produzido por um campus universitário empregado sistema de Wetland Construído francês.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Dimensionar um sistema francês de Wetland Construído como alternativa viável para tratamento descentralizado em climas tropicais.

Propor o tratamento descentralizado do efluente produzido pelo campus universitário, à administração da universidade federal, com vistas à possibilidade de redução de taxas de produção de esgotos junto à empresa de saneamento responsável.

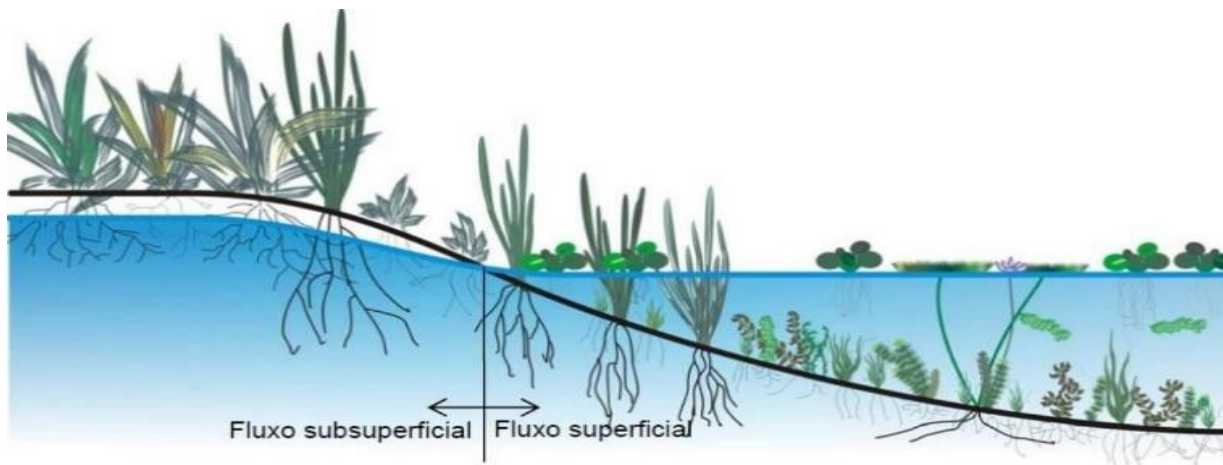
### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 WETLAND

O Wetland, traduzindo pântano, também pode se dizer filtro plantado, terras húmidas, são lagoas de tratamento, onde as plantas macrófitas agem como biofiltro, capaz de remover grande parte de poluentes, sólidos suspensos e matéria orgânica na água, no qual o mecanismo de remoção de contaminantes ocorre na capacidade de absorção física (retenção de sólidos), biológicas (degradação devido bactérias) seguida pela adsorção química e biológicas.

Na Figura 1 é possível visualizar um Wetland natural, com os diferentes fluxos subsuperficial e superficial, onde as plantas que crescem nesse sistema são chamadas de macrófitas.

Figura 1: Esquema do perfil transversal de um Wetland natural.



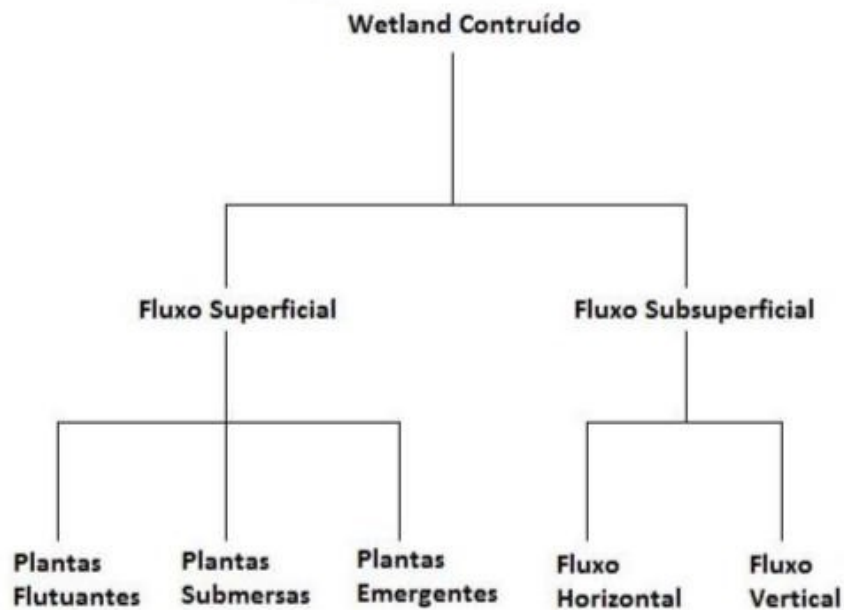
Fonte: Zanella, (2008).

#### 3.1.2 Wetland Construído

Os Wetland Construído (WC) nada mais são do que sistemas projetados que simulam funções dos Wetlands naturais, possuindo organismos adaptados à abundância de água e a condições com pouco oxigênio, fazendo com que a competição, entre as espécies de microrganismos, plantas e animais que compõem sua comunidade seja alta. A elevada produtividade biológica em conjunto com fatores abióticos do sistema, tem a capacidade de receber os poluentes e degradá-los para as necessidades fisiológicas dos organismos (KADLEC; WALLACE, 2009).

De acordo com Kadlec e Wallace (2009) a variação de Wetlands são sistemas projetados para enfatizar a classificação das macrófitas utilizadas, seu regime e orientação do caminho do efluente, divididos entre o Fluxo Superficial (FS) e Fluxo Subsuperficial (FSS), sendo a Sub. segmentada entra Fluxo Horizontal (WCH) e Fluxo Vertical (WCV). A Figura 2 é possível visualizar os diferentes fluxos de Wetland Construído, juntamente com seus fluxos de escoamento sendo eles horizontal ou vertical.

Figura 2: Fluxo de Wetland Construído.



Fonte: Adaptado de Hoffmann, (2011).

### 3.1.3 Wetland Construído de fluxo superficial

O Wetland Construído de Fluxo Superficial (WCFS) são os que se assemelham a pântanos, sua água é visível na superfície, possuem eficiência na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. Na aplicação desta tecnologia deve-se ter cuidado para não ocorrer a proliferação de vetores nos períodos que há formação de lâmina d'água na superfície. Em geral, esses sistemas são utilizados como polimento de efluentes tratados, onde a aplicação mais comum dessa tipologia é no tratamento avançado de efluentes secundários ou terciários, oriundos, por exemplo, de lagoas, filtros biológicos percoladores, lodos ativados, entre outros (USEPA, 2000).

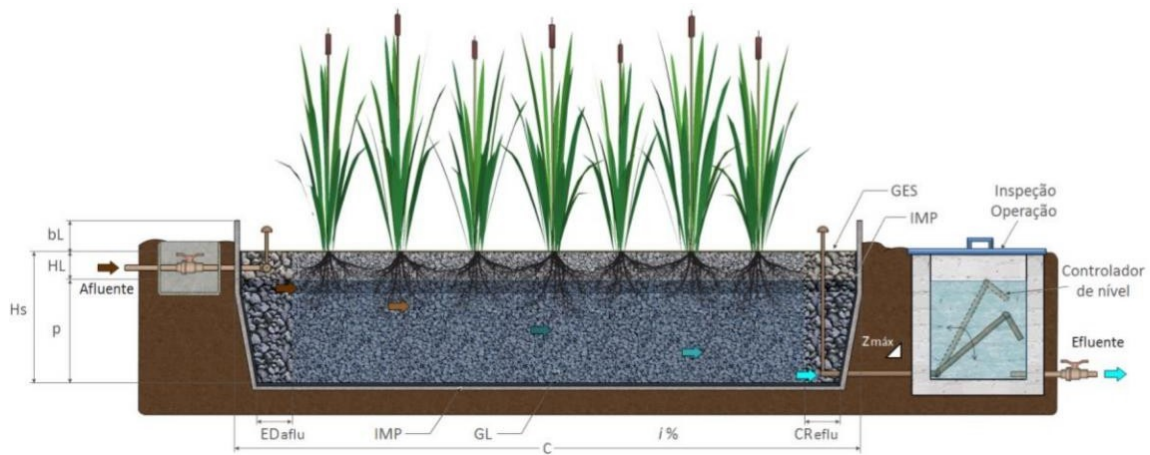
### 3.1.4 Wetland Construído de fluxo subsuperficial

Destaca o Wetland Construído de Fluxo Horizontal (WCFH) onde não houver disponibilidade de energia para utilizar bombas, já que a água escoar horizontalmente da entrada à saída do sistema. São sistemas eficientes na remoção de matéria orgânica e ineficazes na oxidação da amônia. Apresenta a desvantagem de grande demanda de área de implantação quando comparado a outros sistemas Wetland, como os verticais, por exemplo (HOFFMANN, 2011).

Pode analisar o sentido do escoamento, ocorrendo de forma horizontal, onde o afluente encontra o meio suporte na parte superior no começo do filtro na zona de entrada e distribuição do afluente, sendo coletado na outra extremidade na parte inferior na zona de coleta e retirada do efluente, como mostra a Figura 3.



Figura 3: Fluxo Horizontal Subsuperficial

**Legenda:**

Hs - altura do meio suporte;  
 p - profundidade útil do líquido;  
 HL - distância vertical entre o nível superior do esgoto e o topo do meio suporte;  
 Hs - altura do meio suporte (substrato);  
 bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede.  
 C - comprimento longitudinal;  
 Zmáx - declividade máxima do talude interno (quando necessário);

IMP - impermeabilização (fundo e laterais);  
 GES - granulometria da zona de entrada e saída;  
 GL - granulometria do leito filtrante;  
 ED aflu - zona de entrada e distribuição do afluente;  
 CR eflu - zona de coleta e retirada do efluente;  
 i % - declividade longitudinal de fundo.

Fonte: Boletim Wetland Brasil (2018).

Pode observar na Figura 3, a impermeabilização feita nas laterais e no fundo no filtro podendo ser de (alvenaria ou concreto) ou taludes internos (solo) e que garantam a resistência mecânica e aos impactos da radiação solar (em locais expostos). Materiais frequentemente utilizados são geomembranas ou camadas de lona plástica e bidim intercalados, quando escavados em solo. DWA (2017).

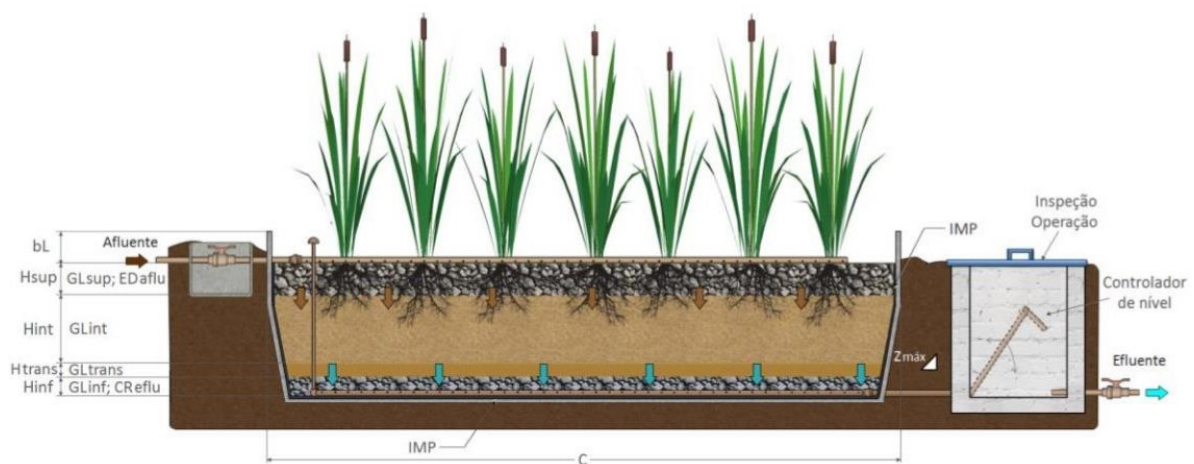
### 3.1.5 Wetland Construído de Fluxo Vertical

No sistema Wetland Construído de Fluxo Vertical (WCFV) se predominam condições aeróbias no leito filtrante, o afluente a ser tratado é assentado de maneira homogênea sobre a área superficial, o líquido percola entre os sistemas radicular das macrófitas e os poros do material filtrante, esse que habitualmente é operado com areia, pedriscos, onde após se utilizar de um circuito descendente no qual é coletada pelo encanamento de coleta e retirada do efluente. (VON SPERLING, SEZERINO, 2018).

A grande vantagem dos sistemas verticais é o fato de poderem usar uma área muito menor quando comparada com os horizontais, além de serem eficientes na nitrificação. Outro fator de grande relevância é devido ao fato deste sistema de tratamento ser muito flexível ao tipo de efluente a ser tratado, variando de águas negras, cinzas, esgoto sanitário e efluentes industriais (PLATZER; HOFFMANN; CARDIA, 2007).

A Figura 4, demonstra o funcionamento de um (WCFV), ocorre a zona de entrada e distribuição do afluente na parte superior do meio filtrante, na da parte do fundo ocorre a coleta e retirada do efluente na camada de drenagem.

Figura 4: Fluxo Vertical Subsuperficial.



**Legenda:**

Hsup - altura da camada superior do meio suporte (camada opcional);	GLsup - granulometria do leito na camada superior do meio filtrante;
Hint - altura da camada intermediária, principal, de filtração;	GLint - granulometria do leito na camada intermediária, principal, de filtração;
Htrans - altura da camada de transição;	GLtrans - granulometria do leito na camada de transição
Hinf - altura da camada inferior, de drenagem;	GLinf - granulometria do leito na camada inferior, de drenagem;
bL - borda livre; distância vertical entre o nível superior do meio suporte e o topo do talude ou parede	ED aflu - zona de entrada e distribuição do afluente, na camada superior do meio filtrante;
C - comprimento;	CR eflu - zona de coleta e retirada do efluente na camada de drenagem, no fundo.
Zmáx - declividade máxima do talude (quando necessário);	
IMP - impermeabilização (fundo e laterais);	

Fonte: Boletim Wetlands Brasil (2018).

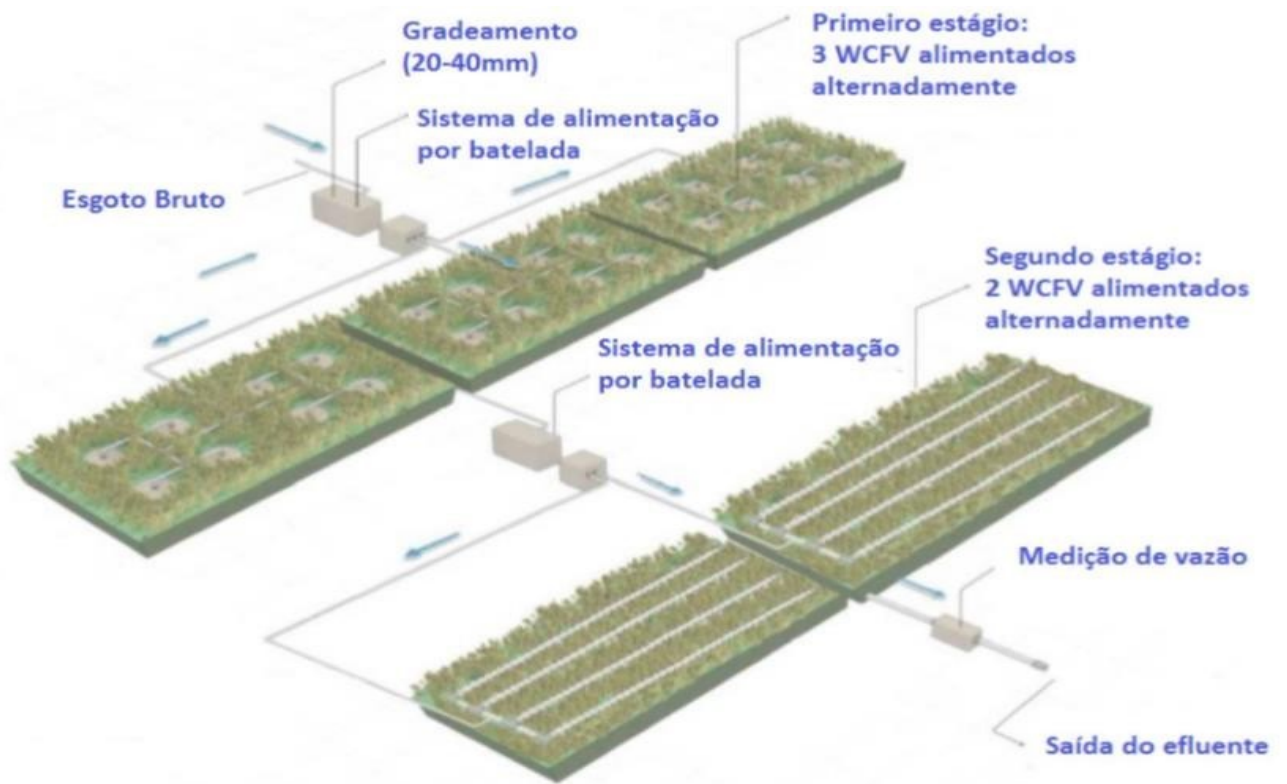
### 3.1.6 Wetland Contruído de Fluxo Vertical - Tipo francês

O Wetland do sistema francês não necessita de tratamento primário, pois são constituídos de dois estágios. Após o gradeamento onde ocorre antes do primeiro estágio no qual se recebe esgoto bruto, e no segundo estágio recebe o efluente advindo do primeiro. Todo esgoto é distribuído na superfície do leito e o escoamento é vertical descendente. A principal função do primeiro estágio é a remoção da matéria orgânica e sólidos em suspensão, e remoção parcial de nitrogênio amoniacal. Já no segundo estágio, o ocorre a remoção da matéria orgânica remanescente do primeiro estágio, bem como a oxidação total da amônia (VON SPERLING, SEZERINO, 2018).

De acordo com Cooper (1999), o modo de alimentação é intermitente e ocorre a alternância de alimentação com períodos de repouso são capazes de remover grandes quantidades de DBO e amônia, devido à oxigenação adequada do leito filtrante. O Wetland Construído de Fluxo Vertical tipo francês é reconhecido por ser o tipo ideal para promover a nitrificação e degradação da matéria orgânica.

A Figura 5, demonstra o designer do modelo francês segundo Pascal Molle, possuindo 5 filtros, 3 no primeiro estágio e 2 no segundo estágio. O sistema de alimentação é realizado por bateladas, onde são alimentados alternativamente e necessitam de um período de repouso.

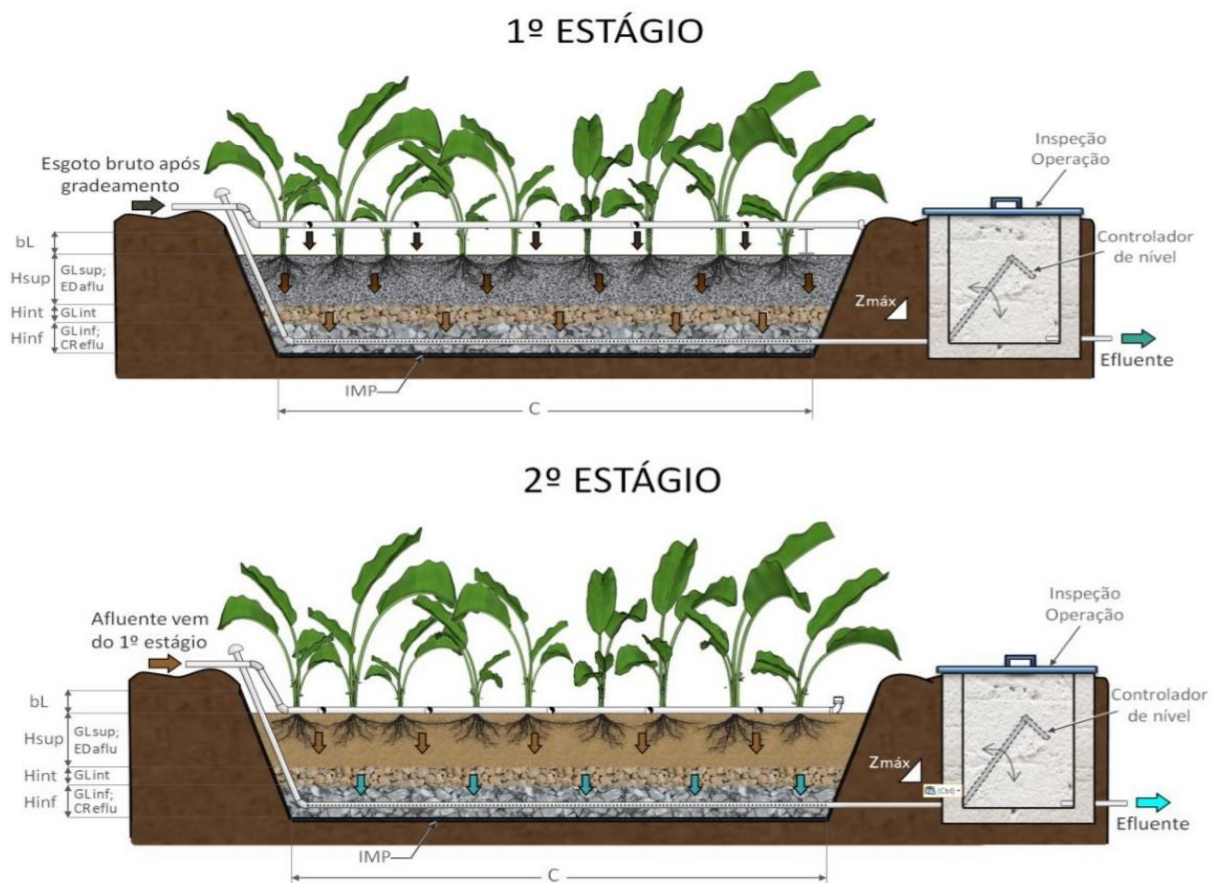
Figura 5: Designer Wetland Construído Francês Molle 2015.



Fonte: Adaptado Molle, (2015).

A Figura 6, demonstra os dois estágios do modelo francês, onde a primeira ocorre principalmente a remoção da matéria orgânica, no qual são 3 leitos filtrantes em paralelo, com alternância de alimentação e repouso. No segundo estágio, ocorre com dois filtros em paralelo, onde ocorre principalmente a oxidação da amônia Molle (2006).

Figura 6: Modelo Francês, 1º e 2º ESTÁGIO.



**Legenda:**

Hsup - altura da camada superior do meio suporte (camada principal, de filtração);	Glsup - granulometria do leito na camada superior do meio filtrante;
Hint - altura da camada intermediária, de transição;	Glint - granulometria do leito na camada intermediária;
Hinf - altura da camada inferior, de drenagem;	Glinf - granulometria do leito na camada inferior, de drenagem;
bL - borda livre;	ED afl - zona de entrada e distribuição do afluente;
C - comprimento;	CR efl - zona de coleta e retirada do efluente.
Zmáx - declividade máxima do talude (quando necessário);	
IMP - impermeabilização (fundo e laterais);	

Fonte: Boletim Wetlands Brasil, (2018)

### 3.2 REMOÇÃO DE CONTAMINANTES EM SISTEMA WETLAND

As macrófitas, dos filtros plantados, requerem nutrientes para seu crescimento e reprodução. Estes nutrientes são assimilados pelas macrófitas enraizadas, principalmente, através do seu sistema radicular. Como estas plantas são muito produtivas, consideráveis quantidades de nutrientes podem ser incorporadas na sua biomassa (BRIX, 1997).

A remoção dos contaminantes só irá acontecer depois da combinação de diferentes processos como o físico, químico e biológico. Durante o processo, o nitrogênio é liberado para a atmosfera, devido à nitrificação microbiana e a desnitrificação. Ambos os microrganismos tanto os aeróbios como o anaeróbio são utilizados para reduzir e decompor toda matéria orgânica presente.

Figura 7: Rizosfera, zona de raízes e meio suporte.



Fonte: Adaptado Rizosfera, WETLANDS (2019)

Como observado na Figura 7, ocorre a adsorção de partículas devido ao sistema radicular e uma absorção de nutrientes e metais pesados pelas plantas. Atentamos a presença de ambos os microrganismos, e a decomposição de partículas pela ação deles com a rizosfera, através do transporte de oxigênio com ela.

No processo de Wetland de Fluxo Superficial, ocorre a retenção de sólidos suspensos, onde acumulam-se na coluna d'água, no entanto no Sistema Subsuperficial são filtrados fisicamente onde os patógenos são reduzidos devido aos biofilmes, que digerem e filtram os sólidos suspensos, esses ficam no meio da areia, brita, cascalho e nas raízes do Wetland Subsuperficial. (BRIX, HANX, SCHIEVO, 1989).

De Paoli e Von Sperling (2013), relatou que a remoção de poluentes em WC, ocorre devido uma intensa diversidade de interação entre os componentes do meio, microrganismos, sedimentos, plantas, atmosfera e da mobilidade do afluente dentro do sistema.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DE DIMENSIONAMENTO RELACIONADAS AOS WETLAND CONSTRUÍDO DE ESCOAMENTO VERTICAL SISTEMA FRANCÊS.

As tabelas a seguir foram apresentadas no grupo de estudos em sistemas Wetland Construído aplicados ao tratamento de águas residuárias, buscando o dimensionamento de Wetlands Construídos no Brasil, elaborado por Marcos Von Sperling e Pablo H. Sezerino no Boletim – Edição especial, dezembro 2018. A tabela possui dimensionamento de acordo com a experiência acumulada nacional, entre cientistas e pesquisadores, contudo utilizando critérios de Molle.





O Quadro 1 demonstra o dimensionamento do Wetland Construído francês, a altura da camada superior do meio filtrante, da camada intermediária de transição, da camada inferior de drenagem, além da distância de borda livre e a relação comprimento/largura:

Quadro 1: WC Francês, altura da camada.

Item	Sigla	1º estágio do Sistema Francês	Opção de adoção do 2º estágio do Sistema Francês	Comentário
Altura da camada superior, do meio filtrante	Hsup	0,30 a 0,80 m	0,30 a 0,80 m	Para remoção de matéria orgânica, o valor usualmente utilizado é de 0,40 m. Maiores alturas são utilizadas quando se deseja maiores eficiências, incluindo de remoção da amônia por nitrificação. Ref: IWA Task Group (2017).
Altura da camada intermediária, de transição	Hint	0,10 a 0,20 m	0,10 a 0,20 m	Ref: IWA Task Group (2017)
Altura da camada inferior, de drenagem	Hinf	0,20 a 0,30 m	0,20 a 0,30 m	Ref: IWA Task Group (2017)
Borda livre (distância entre o topo do meio suporte e o nível do terreno fora da unidade ou da parte superior da parede, caso existente)	bL	> 0,30 m	> 0,25 m	Ref: IWA Task Group (2017)
Relação comprimento / largura	C : L	-	-	Como se trata de um sistema de escoamento vertical, as relações geométricas entre comprimento e largura são menos importantes, e estão mais associadas a uma distribuição adequada da vazão afluente em toda a superfície e na área disponível.

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).

O Quadro 2 expõe o número de unidades em paralelo, o processo de operação e descanso em uma concepção francesa, além das inclinações das paredes ou taludes internos:

Quadro 2: Unidades em paralelo e inclinação.

Item	Sigla	1º estágio do Sistema Francês	Opção de adoção do 2º estágio do Sistema Francês	Comentário
Número de unidades em paralelo	N	<p>Concepção clássica francesa: 3 unidades (1 em operação e 2 em descanso).</p> <p>Concepção alternativa simplificada para climas quentes: 2 unidades (1 em operação e 1 em descanso)</p>	Concepção clássica francesa: 2 unidades (1 em operação e 1 em descanso)	<p>Pode-se adotar mais do que o número especificado de unidades em paralelo. Por exemplo, a concepção clássica do 1º estágio do Sistema Francês recomenda 3 unidades em paralelo, com 1 em operação e 2 em descanso. Em sistemas de maior porte, pode-se adotar valores múltiplos de 3, mas garantindo que 1/3 das unidades esteja em operação e 2/3 das unidades esteja em descanso.</p> <p>Referências para climas tropicais: Lombard Latune e Molle (2017) e experiência da UFMG</p>
Inclinação das paredes ou taludes internos (horizontal/vertical)	Z	Variando de 0:1 a 2:1	Variando de 0:1 a 2:1	<p>Em sistemas de pequeno porte, é frequente a adoção de paredes verticais, de alvenaria ou concreto, ou mesmo o emprego de unidades pré-fabricadas, por exemplo, de fibra de vidro. Neste caso de paredes verticais, não há inclinação, ou seja, <math>Z = 0:1</math>. Em sistemas com taludes internos e escavação em solo, a inclinação do talude dependerá do tipo de solo, a ser definido com base em conhecimentos geotécnicos do solo local ou do solo de empréstimo a ser utilizado. Neste caso, valores usuais de Z situam-se entre 1:1 e 2:1, mas poderão ser diferentes, em função do conhecimento geotécnico do solo.</p>

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).

O Quadro 3 define a granulometria no 1º e 2º estágio do sistema francês no leito filtrante, transição e drenagem, em que a granulometria vai da brita 0 até a brita 3, no 2º estágio no leito na camada superior podem variar de areia média ou grossa:

Quadro 3: Granulometria do leito.

Item	Sigla	1º estágio do Sistema Francês	Opção de adoção do 2º estágio do Sistema Francês	Comentário
Granulometria do leito na camada superior, do meio filtrante	Glsup	Brita 0 (4,8 a 9,5 mm)	Areia média ou grossa (0,3 a 4,8 mm)	Poderão ser usados brita, cascalho, escória siderúrgica ou outros materiais que possuam resistência física e que não sofram desagregação devido às atividades químicas e biológicas que ocorrem no leito.  A granulometria recomendada pelas referências internacionais foi convertida à classificação granulométrica ou britagem tradicional mais próxima usada no Brasil.
Granulometria do leito na camada intermediária, de transição	Glint	Brita 2 (19 a 25 mm)	Brita 0 (4,8 a 9,5 mm)	Os grãos da camada superior não deverão penetrar na camada inferior.  A granulometria da literatura francesa tradicional (IWA Task Group, 2017) especifica diâmetros ligeiramente diferentes (5 a 15 mm no 1º estágio e 3 a 12 mm no 2º estágio). No entanto, foram listados aqui os valores apresentados na norma alemã DWA (2017), que contou com a participação francesa em sua elaboração.
Granulometria do leito na camada inferior, de drenagem	Glinf	Brita 3 (25 a 50 mm)	Brita 2 (19 a 25 mm)	Os grãos da camada superior não deverão penetrar na camada inferior.  A granulometria da literatura francesa tradicional (IWA Task Group, 2017) especifica diâmetros ligeiramente diferentes (20 a 60 mm no 1º e no 2º estágios). No entanto, foram listados aqui os valores apresentados na norma alemã DWA (2017), que contou com a participação francesa em sua elaboração.

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).

O Quadro 4 demonstra os detalhes hidráulicos e construtivos, alternância entre os leitos em momentos de alimentação e descanso, qual o tipo dessa alimentação, e qual a altura da camada de líquido formada sobre o leito, durante o pulso de dosagem da batelada:

Quadro 4: Alternância e alimentação do leito.

Item	Sigla	1º estágio do Sistema Francês	Opção de adoção do 2º estágio do Sistema Francês	Comentário
Alternância entre os leitos	AL	Concepção clássica francesa, com 3 leitos em paralelo, alternando etapas de alimentação e descanso: alimentação durante cerca de 3,5 dias e descanso durante cerca de 7,0 dias, compondo um ciclo total de cerca de 10,5 dias (uma semana e meia).	Concepção clássica francesa, com 2 leitos em paralelo, alternando etapas de alimentação e descanso: alimentação durante cerca de 3,5 dias e descanso durante cerca de 3,5 dias, compondo um ciclo total de cerca de 7,0 dias (uma semana).	A UFMG acumulou experiências ao longo de anos com ciclos mais longos de alimentação e descanso, com duas unidades no 1º estágio.  As eficiências de remoção e as condições de drenagem variam ao longo dos dias que compõem o ciclo de alimentação. Referências para climas tropicais: Lombard Latune e Molle (2017) e experiência da UFMG.
Tipo de alimentação no leito em operação	TA	Intermitente	Intermitente	Utilizam-se bombas ou sifões dosadores.
Altura da camada de líquido a ser formada sobre o leito, durante o pulso de dosagem da batelada  (camada livre)	Hfws	0,02 a 0,05 m  (2 a 5 cm)	-	A lâmina formada, dentro dos limites de 2 a 5 cm, permite a visualização da uniformidade da distribuição do líquido sobre o leito. Valores inferiores a 2 cm dificultam esta visualização, e valores superiores a 5 cm podem estar associados a curtos-circuitos hidráulicos, de difícil detecção.  Este é um valor especificado nos cálculos. A altura da lâmina d'água formada sobre o leito, durante a batelada, permite a determinação do volume de cada batelada.

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).

No Quadro 5 demonstra detalhes hidráulicos e construtivos, como o número de bateladas por dia, entrada e distribuição do afluente e o diâmetro das tubulações:

Quadro 5: Número de batelada e distribuição do afluente.

Item	Sigla	1º estágio do Sistema Francês	Opção de adoção do 2º estágio do Sistema Francês	Comentário
Número de bateladas por dia	Nbat	-	-	O número de bateladas por dia é calculado dividindo-se a vazão diária ( $m^3.d^{-1}$ ) pelo volume de cada batelada ( $m^3/batelada$ ). Usualmente isto resulta em 6 a 24 bateladas por dia, ou seja, uma batelada a cada 1 a 4 h.
Entrada e distribuição do afluente	ED afl	Tubulação de distribuição com diâmetro nominal mínimo de 75 mm, dividida em tubulações laterais com saída do esgoto bruto na extremidade final de cada tubulação lateral, cobrindo homogeneamente a área superficial do leito. As tubulações são colocadas suspensas acima do leito (cerca de 0,30 a 0,40 m). Como o 1º estágio recebe esgoto bruto, não devem ser utilizadas tubulações de distribuição perfuradas, pois elas são susceptíveis a entupimentos.	Tubulações de distribuição com diâmetro mínimo de 75 mm, com orifícios ( $> 8$ mm). Na concepção clássica do sistema francês, as tubulações no 2º estágio são assentadas diretamente sobre a superfície do leito. No entanto, estações implantadas mais recentemente também estão adotando tubulações de distribuição suspensas, de forma similar ao 1º estágio.	<p>A tubulação de distribuição é alimentada pela caixa de armazenamento, que funciona com ciclos de enchimento e esvaziamento, associados às bateladas. O esvaziamento da caixa é usualmente feito por bomba, sifão dosador ou válvula pneumática.</p> <p>O ideal é que o diâmetro e o arranjo da tubulação sejam estabelecidos com base em cálculos hidráulicos, visando a garantir que a distribuição do afluente seja suficientemente uniforme, e que a velocidade mínima de escoamento dentro da tubulação seja adequada para impedir sedimentação de sólidos (em torno de 0,6 m/s), no caso de esgotos brutos (1º estágio).</p> <p>Ref: IWA Task Group (2017). Informação sobre velocidades mínimas e sobre tubulações suspensas no 2º estágio: revisores.</p>

O Quadro 6 exemplifica os detalhes hidráulicos e construtivos, expõe a coleta e retirada do efluente com o diâmetro das tubulações que devem aflorar à superfície para propiciar a entrada de ar e a ventilação dentro do leito:

Quadro 6: Coleta e retirada do efluente.

Item	Sigla	1º estágio do Sistema Francês	Opção de adoção do 2º estágio do Sistema Francês	Comentário
Coleta e retirada do efluente	CR efl	Sistema de drenagem no fundo, com tubulações com orifícios. As tubulações principais devem aflorar à superfície, com a extremidade aberta, para propiciar a entrada de ar e ventilação do leito (aeração passiva). O afastamento entre as tubulações de drenagem/ventilação é em torno de 2,0 m, dependendo do tamanho da unidade. O diâmetro nominal mínimo deve ser de 100 mm, e a coleta do efluente se dá por aberturas na tubulação (comprimento: 1/3 da circunferência da tubulação; largura > 8 mm) a cada 10 cm do comprimento do tubo.	Sistema de drenagem no fundo, com tubulações com orifícios. As tubulações principais devem aflorar à superfície, com a extremidade aberta, para propiciar a entrada de ar e ventilação do leito. O diâmetro nominal mínimo deve ser de 100 mm, e a coleta do efluente se dá por aberturas na tubulação (comprimento: 1/3 da circunferência da tubulação; largura > 8 mm) a cada 10 cm do comprimento do tubo.	<p>Ref: IWA Task Group (2017).</p> <p>A caixa de coleta do efluente deve incluir uma tubulação que permita a variação do nível d'água dentro da unidade.</p> <p>Usualmente esta tubulação é colocada em sua altura mínima, de forma a que o nível d'água dentro da unidade situe-se próximo ao fundo, garantindo que o meio suporte permaneça não saturado. Mas a operação deverá ter a flexibilidade de poder saturar uma certa camada do fundo do leito, o que será alcançado elevando-se o nível de saída da tubulação na caixa de coleta do efluente.</p>

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).

O Quadro 7 exemplifica a impermeabilização que deve ocorrer no fundo e nas paredes ou taludes internos, em que os materiais mais utilizados são geomembranas como a PEAD, ou camadas de lona plástica e bidim intercalados, para evitar que o efluente entre em contato com o solo fora do filtro:

Quadro 7: Impermeabilização, geomembranas.

Item	Sigla	1º estágio do Sistema Francês	Comentário
Impermeabilização do fundo e paredes ou taludes internos	IMP	<p>Utilização de materiais e métodos que garantam a impermeabilização do fundo e das paredes (alvenaria ou concreto) ou taludes internos (solo) e que garantam a resistência mecânica e aos impactos da radiação solar (em locais expostos).</p> <p>Materiais frequentemente utilizados são geomembranas ou camadas de lona plástica e bidim intercalados, quando escavados em solo. No caso de geomembranas de PEAD, a espessura mínima recomendada é de 1,0 mm, no caso de sistemas individuais ou tratando esgotos de poucas residências, e de 1,5 mm, no caso de ETEs atendendo populações superiores a cerca de 50 habitantes.</p>	<p>Estas recomendações se aplicam para o 1º e o 2º estágios.</p> <p>Ref: Espessura da geomembrana: DWA (2017).</p>

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).

O Quadro 8 demonstra as plantas utilizáveis no Brasil, assim como seu manejo e a quantidade delas por m<sup>2</sup>, além do corte em grande porte, a biomassa oriunda da poda das macrófitas poderá ser encaminhada para compostagem:

Quadro 8: Plantas utilizáveis no Brasil e seu manejo .

Plantas		
Plantas potencialmente utilizáveis	<p>Capim Tifton 85 (planta com registro de operação adequada por mais de 10 anos em uma ETE no Brasil)</p> <p>Como a experiência do sistema francês no Brasil ainda é limitada, a lista de plantas é também limitada. Mas, naturalmente, várias outras espécies podem ser utilizadas, desde que se adaptem às condições operacionais impostas.</p>	<p>Estas recomendações se aplicam para o 1º e o 2º estágios.</p> <p>As plantas cumprem importante papel pela função de movimento do caule, proporcionando a existência de espaços livres na camada de sedimento acumulado no topo, por onde o líquido afluyente pode penetrar e dirigir-se ao leito.</p> <p>As plantas devem ser também resistentes aos períodos de descanso da unidade, em que não há alimentação.</p>
Manejo das plantas	<p>As plantas devem ter um manejo adequado, de forma a maximizar sua contribuição positiva. Usualmente são plantadas com cerca de 4 propágulos por m<sup>2</sup> (variável com a espécie) mas, com o passar do tempo, a densidade de plantas aumenta consideravelmente. Deve-se controlar o crescimento de espécies invasoras. Cortes mais frequentes, realizados durante a fase de crescimento da planta, potencializam uma maior capacidade de extração de nutrientes e outros compostos. A remoção das plantas, após o corte, evita a liberação dos compostos absorvidos.</p>	<p>Em sistemas de grande porte, a biomassa oriunda da poda das macrófitas poderá ser encaminhada para compostagem.</p>

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).



O Quadro 9, demonstra a altura da camada de lodo na experiência francesa durante o ano, assim como a sua remoção que pode ser utilizado como condicionador de solo:

Quadro 9: Altura da camada de lodo e sua remoção.

<b>Lodo</b>		
Altura da camada de lodo	1,5 a 3,0 cm/ano (segundo a experiência francesa)  A experiência brasileira, ainda que limitada, indicou valores próximos a 1,0 cm/ano nas unidades do 1º estágio.	A taxa de acumulação da camada superficial de lodo é relacionada às características climáticas do local de implantação do sistema, ao carregamento na etapa de partida e operação e à estratégia operacional de alimentação e descanso. Deve-se destacar que na França não se preconiza a utilização de desarenadores no tratamento preliminar do esgoto afluente a este sistema. De qualquer forma, a areia é responsável por apenas uma pequena fração da camada de sedimento. Ref: IWA Task Group (2017).
Remoção da camada de lodo	Intervalo de 10 a 20 anos de operação	Eventuais casos de remoção com períodos menores que esses podem ser necessários, em função de altura desigual da camada de lodo, risco de transbordamento em períodos de sobrecarga hidráulica e orgânica, bem como condições operacionais. A expectativa é de que o lodo saia mineralizado e com baixo teor de umidade, e com possibilidades de utilização como condicionador de solo. Molle et al. (2005)

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAR AS VAZÕES E CARGAS PRODUZIDAS NO CAMPUS.

O projeto executivo do sistema Wetland Construído francês será elaborado considerando o campus Londrina da UTFPR, (-23,304218 de latitude, -51,172223 de longitude). O clima, é classificado por Koppen como Cfa, clima subtropical, com temperaturas no mês mais frio, inferiores a 18°C e temperaturas médias do mês mais quente acima dos 22°C, caracterizando verões quentes e concentrações de chuvas no verão (IAPAR (1998); IBGE (2014)).

As Figuras 8 e 9, demonstra a cidade de Londrina no Paraná e o Campus Londrina da UTFPR, imagens obtidas no Google Maps.

Figura 8: Londrina

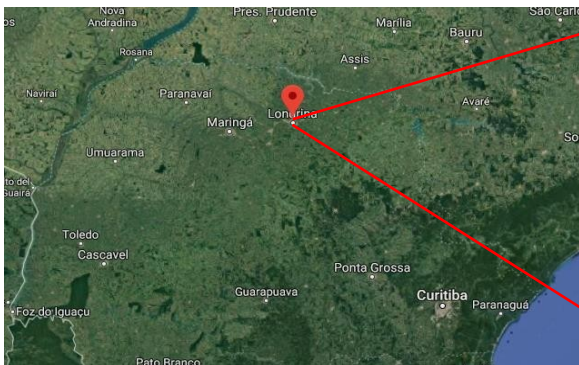


Figura 9: UTFPR Campus Londrina



Fonte: Google Maps (2020)

Inicialmente foi avaliada a quantidade de alunos na UTFPR – Londrina e uma projeção do crescimento da comunidade universitária no campus nos próximos 10 e 20 anos. Assim, o sistema proposto poderia suportar o aumento de cargas em virtude desta expansão de alunos. A quantidade de pessoas na universidade, contando alunos, professores e técnicos administrativos, seguindo a segunda metade de 2021, foi de 2895, em um total de 7 cursos de graduação e 5 cursos de mestrado Site UTFPR Londrina (2021).

Dando importância a quantidade de alunos e servidores obtidos até 2021 e divididos pela quantidade de cursos presentes no campus (12), obteve uma estimativa de 241 pessoas por curso. Admitindo esse valor, e que um novo curso possa se instituir na graduação a cada 10 anos, resulta uma quantidade de 3136 pessoas e 3377 para 20 anos.

Além dos critérios aplicados por Molle e outros pesquisadores, demais elementos devem ser referenciados, como o coeficiente de retorno e consumo per/capta, juntamente com o aspecto do efluente.

O Quadro 1 demonstra a contribuição diária de despejos e de carga orgânica por tipo de prédio e de ocupantes, usando as normas da NBR 13969 da ABNT (1997), onde fixa as condições exigíveis para projeto, para cada tipo de fonte:

Quadro 10: Contribuição diária de esgoto e carga orgânica.

Prédio	Unidade	Contribuição de Esgoto L/d	Contribuição de carga orgânica gDBO <sub>5,20</sub> /d
1.Ocupantes permanentes			
Residência			
Padrão alto	Pessoa	160	50
Padrão médio	Pessoa	130	45
Padrão baixo	Pessoa	100	40
Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100	30
Alojamento provisório	Pessoa	80	30
2. Ocupantes temporários			
Fábrica em geral	Pessoa	70	25
Escritório	Pessoa	50	25
Edifício público ou comercial	Pessoa	50	25
Escolas (externatos) e locais de longa permanência	Pessoa	50	20
Bares	Pessoa	6	6
Restaurantes e similares	Pessoa	25	25
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2	1
Sanitários públicos	Bacia Sanitária	480	120

Fonte: ABNT - NBR 13969 (1997).

A universidade se enquadra na fonte: Escolas - externato com contribuição de 50 L/dia. O coeficiente de retorno será adotado  $C = 0,8$ , dado obtido de acordo com a NBR 9649 – Redes de Esgoto da ABNT (1986).

População projetada para daqui 10 anos utilizando 3136 pessoas. Cálculo para a vazão média de esgoto para 10 anos pode ser definido pela Equação (1):

$$Q_{\text{méd}} = \frac{\text{Pop} * Q_{\text{pc}} * R}{1000} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{méd}} &= \frac{3136 * 50 * 0,8}{1000} \\ &= 125,5 \text{ m}^3/\text{d} \\ &= 1,45 \text{ L/s} \end{aligned}$$

Cálculo para a vazão média de esgoto para 20 anos, usando uma população de 3377 pessoas definido pela Equação (1):

$$Q_{\text{méd}} = \frac{\text{Pop} * Q_{\text{pc}} * R}{1000} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{méd}} &= \frac{3377 * 50 * 0,8}{1000} \\ &= 135 \text{ m}^3/\text{d} \\ &= 1,56 \text{ L/s} \end{aligned}$$

Considerando que as dimensões para 10 e para 20 anos, favorece fazer um dimensionamento para os 3380 alunos do que para a primeira, visto que todos os equipamentos já aceitarão uma vazão maior, e as suas medidas são bem próximas.

#### 4.2 CÁLCULO PARA VAZÃO MÁXIMA E MÍNIMA.

Na falta de valores obtidos através de medições, utilizar coeficientes que traduzem variações de contribuição para o dimensionamento das unidades de projeto. A NBR 9649 da ABNT recomenda para a estação de tratamento de esgoto, adotando os seguintes valores do Quadro (11):

Quadro 11: Coeficientes K.

K <sub>1</sub> : 1,2	Coeficiente do dia de maior consumo
K <sub>2</sub> : 1,5	Coeficiente da hora de maior consumo
K <sub>3</sub> : 0,5	Coeficiente da hora de menor consumo

Fonte: ABNT - NBR 9649 (1986).

Vazão máxima da água, de acordo com a Equação (2):

$$Q_{\text{máx}} = (Q_{\text{méd}} * K_1 * K_2) + Q_{\text{inf}} \quad (2)$$

Foi adotada a vazão de infiltração igual a 0, devido a proporção e a distância ser consideravelmente muito pequena.

$$Q_{\text{máx}} = \left( 1,56 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 1,2 * 1,5 \right) + 0$$

$$Q_{\text{máx}} = 2,808 \text{ L/s}$$

Vazão mínima de água, de acordo com a Equação (3):

$$Q_{\text{mín}} = (Q_{\text{méd}} * K_3) + Q_{\text{inf}} \quad (3)$$

$$Q_{\text{mín}} = \left( 1,56 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 0,5 \right) + 0$$

$$Q_{\text{mín}} = 0,78 \text{ L/s}$$

A vazão total é utilizada para o projeto de dimensionamento, seguindo a Equação (4):

$$Q_t = Q_{\text{méd}} + Q_{\text{inf}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{total}} = 135 \text{ m}^3 / \text{d}$$

Com uma vazão total de  $Q_t = 135 \text{ m}^3 / \text{d}$ .



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DIMENSIONAMENTO

Seguindo o modelo de dimensionamento de filtros segundo o modelo francês, tomando como base Molle (2005), onde no 1° estágio possui uma área total de 1,2 m<sup>2</sup>/E.P. e no 2° estágio 0,8 m<sup>2</sup>/E.P., onde a área superficial total em 20 anos, é a somatória dos valores em metros quadrados dos dois estágios multiplicado pela quantidade de alunos daqui 20 anos, seguindo a Equação (5):

$$A_T = 3380 * 2 \text{ m}^2 \quad (5)$$

$$A_T: 6760 \text{ m}^2$$

O cálculo realizado tendo como referência os conceitos de Molle para atuar no campus é sobre dimensionado, onde foi usado o modelo de sistema vertical para racionalizar a área superficial total, em que foi usado o modelo carregamento orgânico superficial e taxa hidráulica aplicados, apresentado no estudo do GESAD/UFSC (2018) carregamento orgânico médio de 41 g DQO m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, operando com a vazão calculada e a concentração da universidade operaremos com a seguinte Equação (6):

$$41 \text{ g DQO m}^{-2} \text{ d}^{-1} = \frac{\text{Vazão} * \text{Concentração}}{\text{Área}} \quad (6)$$

$$41 \text{ g DQO m}^{-2} \text{ d}^{-1} = \frac{135 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 850 \text{ g} \frac{\text{DQO}}{\text{m}^3}}{\text{Área}}$$

$$\text{Área} = 2799 \text{ m}^2$$

Pela medida da área total, devemos lembrar que ela é distribuída em 3 filtros no primeiro estágio e 2 no segundo, somando 5 filtros de 560 m<sup>2</sup>. Foi adotado as dimensões de (34 m x 17 m) = 578 m<sup>2</sup> para cada filtro, adotando uma área total de 2890 m<sup>2</sup>.

Cálculo da taxa hidráulica, é a divisão da vazão pela área utilizada por leito como visto na Equação (7):

$$\frac{\text{Vazão Total (Qt)}}{\text{Área do Leito}}$$

$$\text{TH} = \frac{135 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}}{578 \text{ m}^2}$$



$$\begin{aligned}
 &0,233 \text{ m/dia} \\
 &= 233 \text{ mm/dia} \\
 &(< 360 \text{ mm/dia})
 \end{aligned}$$

Conforme Pablo Sezerino e Von Sperling, as cargas hidráulicas maiores que 360 mm/dia, possibilitam a colmatação, devido ao fato que evitam a secagem da superfície no filtro, por isso a divisão da área superficial em setores, torna essenciais e importantes no sistema de tratamento, o resultado obtido 233 mm/dia adequa-se ao valor das cargas hidráulicas.

Foi adotado nas técnicas do talude as proporções 1:1, a altura da borda livre (Bl) 30 cm, camada superior (Hsup) 30 cm, camada interna (Hint) 20 cm, camada inferior de drenagem (Hinf) 20 cm. Obtem uma altura total de 1 metro, calcula-se a altura do talude lateral com a seguinte Equação (8):

$$LL=1*1=1 \text{ metro} \quad (8)$$

Caracterizando um talude de 1 metro de altura por 1 de comprimento.

A granulometria do leito filtrante, será composto por brita e areia, foi adotado o tamanho do material filtrante para cada camada seguindo os Quadro (12) referente as camadas filtrantes do primeiro estágio e o Quadro (13) as camadas filtrantes do segundo estágio:

Quadro 12: Granulometria 1ºEstágio.

<b>Camadas</b>	<b>Material (Granulometria)</b>
Borda livre (Bl) 0,30 m	----
Filtrante (Hsup) 0,30 m	Brita 0 (4,8 - 9,5 mm)
Transição (Hint) 0,20 m	Brita 2 (19 - 25 mm)
Drenagem (Hinf) 0,20 m	Brita 3 (25 - 50 mm)

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).

Quadro 13: Granulometria 2ºEstágio.

<b>Camadas</b>	<b>Material (Granulometria)</b>
Borda livre (Bl) 0,30 m	----
Filtrante (Hsup) 0,30 m	Areia média ou grossa (0,3 – 4,8 mm)
Transição (Hint) 0,20 m	Brita 0 (4,8 – 9,5 mm)
Drenagem (Hinf) 0,20 m	Brita 2 (19 - 25 mm)

Fonte: von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018).

## 5.2 PRÉ-TRATAMENTO

A estação de tratamento por ser constituída por um sistema Wetland Construído do francês onde terá pré-tratamento composto apenas por gradeamento, para retirada de sólidos mais grosseiros, além do sistema de medição de vazão. O gradeamento é uma operação física que objetiva a remoção dos sólidos grosseiros, presentes no esgoto sanitário, que podem ser de fácil retenção, podendo ser utilizado também o peneiramento. Esses materiais são procedentes de usos inadequados das instalações prediais, coletores públicos, e demais componentes dos esgotos sanitários (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

### 5.2.1 Gradeamento.

Considerando a vazão de projeto e a norma NBR -12.229 (ABNT,1990) foi adotado gradeamento médio com espaçamento de 2,5 cm entre duas barras. A limpeza deverá ser por processo manual em virtude da execução do projeto.

As velocidades passagem do esgoto máxima ( $v_{m\acute{a}x}$ ) e mínima ( $v_{m\acute{i}n}$ ), deverão ser de 1,2m/s e 0,40m/s, respectivamente.

A velocidade mínima pode ser verificada pela Equação (9) que deve ser aplicada para canais com largura variando entre 0,50m e 2,0m, além de tensão trativa de 1,0 Pa e rugosidade  $n = 0,009$ .

$$V_{\min} = 0,7528 * Q^{0,0855} \quad (9)$$

$V_{\min}$  = velocidade mínima (m/s)

Q = vazão máxima (m<sup>3</sup>/s)

Aplicando a Equação (9), para Q = 0,00281 m<sup>3</sup>/s  $V_{\min}$  é igual a 0,46 m/s garantindo arraste dos sólidos acumulados no fundo do canal ao longo da vazão mínima.

A declividade mínima da tubulação que chegará à estação de tratamento deverá ter declividade mínima ( $I_{\min}$ ) calculada pela Equação (10):

$$I_{\min} = 0,0055 * Q_i^{-0,47} \quad (10)$$

$Q_i$  = vazão inicial ( $Q_{\text{med}} \times K_2$ ) em L/s

Para  $Q_{\text{med}} = 135 \text{ m}^3/\text{d}$ ,  $Q_i = 2,343 \text{ L/s}$  e  $I_{\min} = 0,006 \text{ m/m}$ . Será adotado  $I_{\min} = 0,01 \text{ m/m}$  ou 1%.

Adotando diâmetro (D) da tubulação, de PVC, de entrada no canal igual a 100mm, calculou-se a altura da lâmina d'água (Y) na tubulação para  $Q_{\text{máx}} = 0,00281 \text{ m}^3/\text{s}$  os ábacos disponibilizados por Nuvalari et al (2003, p.30).

- a) Foi calculado  $Q * n / D^{8/3} * I^{1/2} = 0,117$
- b) Com esse valor foi possível encontrar, nos ábacos, por interpolação  $Y/D = 0,42$ ; Logo  $Y_{\text{máx}} = 4,2 \text{ cm} < 0,5 D$  (garantindo que o escoamento não será a seção plena)

$$Q = Q_{\text{máx}} \text{ (m}^3/\text{s)};$$

n = coeficiente de rugosidade de manning = 0,009 (PVC)

D = diâmetro da tubulação (m)

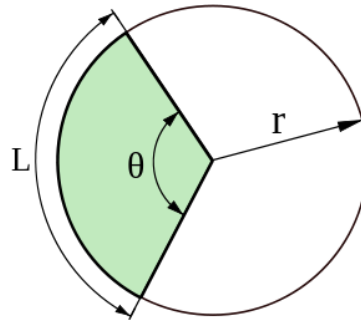
I = declividade (m/m)

É necessário também verificar a tensão trativa na vazão mínima ( $Q_{\min}$ ).

Sendo  $Q_{\min} = Q * n / D^{8/3} * I^{1/2} = 0,033$ , então  $Y/D = 2,2 \text{ cm}$ .

Para calcular a tensão trativa ( $\sigma$ ) é necessário saber o raio hidráulico ( $R_h$ ) na seção transversal nesta vazão mínima. O cálculo deste raio é função do ângulo  $\Theta$  do setor circular da Figura (10) onde demonstra as variáveis para o dimensionamento hidráulico.

Figura 10 – Variáveis para o dimensionamento hidráulico.



Fonte: Autoria própria (2021).

Cálculo do raio, sendo a função do ângulo  $\Theta$  do setor circular conforme a Equação (11):

$$\theta = 2 \arccos \left[ 1 - \left( \frac{2y}{D} \right) \right] = 37,8^\circ \text{ ou } 0,66 \text{ rad} \quad (11)$$

Cálculo do raio hidráulico ( $R_h$ ) na seção transversal nesta vazão mínima, de acordo com a Equação (12):

$$R_h = D \left[ \frac{\theta - \text{sen}(\theta)}{4} \right] = 0,0125 \text{ m} \quad (12)$$

Para calcular a tensão trativa ( $\sigma$ ), segue a Equação (13):

$$\sigma = \gamma * R_h * I = 9789 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 0,0125 \times 0,01 = 1,2 \text{ Pa} \quad (13)$$

Logo a declividade do fundo deverá ser alterada para garantir esse valor. Calculando para  $\sigma = 1,0 \text{ Pa}$ ,  $I = 0,057 \text{ m/m}$ . Portanto, a declividade da tubulação que chegará na estação deverá ter declividade adotada em 6% ou 0,06 m/m.

Dimensionamento da grade e canal de acesso.

Área livre total pelas aberturas da grade  $A_{LG}$ , de acordo com a Equação (14):

$$A_{LG} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{V_g} \quad (14)$$

$Q_{m\acute{a}x}$  = vazão máxima de projeto ( $m^3/s$ )

$V_g$  = velocidade admitida na grade limpa (adotada = 0,75 m/s)

$$A_{LG} = \frac{0,00281}{0,75} = 0,00375m^2$$

a) Foi recalculado  $Q * n / D^{8/3} * I^{1/2} = 0,003$  para  $I = 0,06m/m$

b) Com esse valor foi possível encontrar, nos ábacos, por interpolação  $Y/D = 0,14$ ;

Logo  $Y_{m\acute{a}x} = 0,014$  m ou 0,14 cm.

Como esse valor é muito pequeno em relação ao diâmetro total da tubulação será adotado uma grade com altura  $H_g = 40$  cm considerando 10 cm de rebaixo na entrada do canal.

Assim a largura livre total entre as barras ( $B_{LG}$ ) será dada pela Equação (15):

$$B_{LG} = \frac{A_{LG}}{H_g} \quad (15)$$

$$B_{LG} = \frac{0,00375}{0,4} = 0,009m$$

O valor da borda livre total entre as barras  $B_{LG} = 0,009$  m, é impraticável impossibilitando a limpeza manual da grade. Logo será adotada  $B_{LG} = 0,3m$ .

O número de espaços ( $N_{esp}$ ) entre as grades, para espaçamento ( $e$ ) adotado entre as barras igual a 1 cm (grade fina) será calculado pela Equação (16):

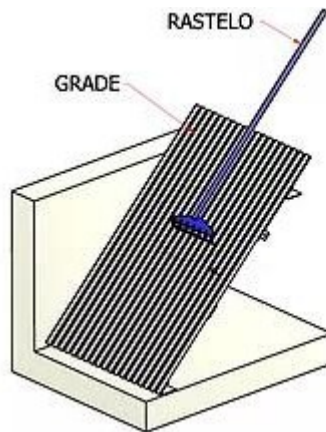
$$N_{esp} = \frac{B_{LG}}{e} \quad (16)$$

$$N_{esp} = \frac{0,3}{0,01} = 30$$

Logo a largura do canal  $B_c$  será:

$B_c = 30 \text{ espaços} \times 0,01\text{m} + 30 \text{ barras} \times \text{largura das barras} (0,006\text{m}) = 0,48 \text{ m}$ . Logo a Largura do canal  $B_c$  será aproximada para 0,5 m. Na Figura (11), demonstra um exemplo de um gradeamento com limpeza manual:

Figura 11: Grade de barras com limpeza manual.



Fonte: Hidrosanear (2021).

Dimensionamento do sistema de medição e vazão.

A vazão característica deste projeto é:

$$Q_{\text{média}} = 135 \text{ m}^3/\text{d} = 0,00156 \text{ m}^3/\text{s} = 1,56 \text{ L/s}$$

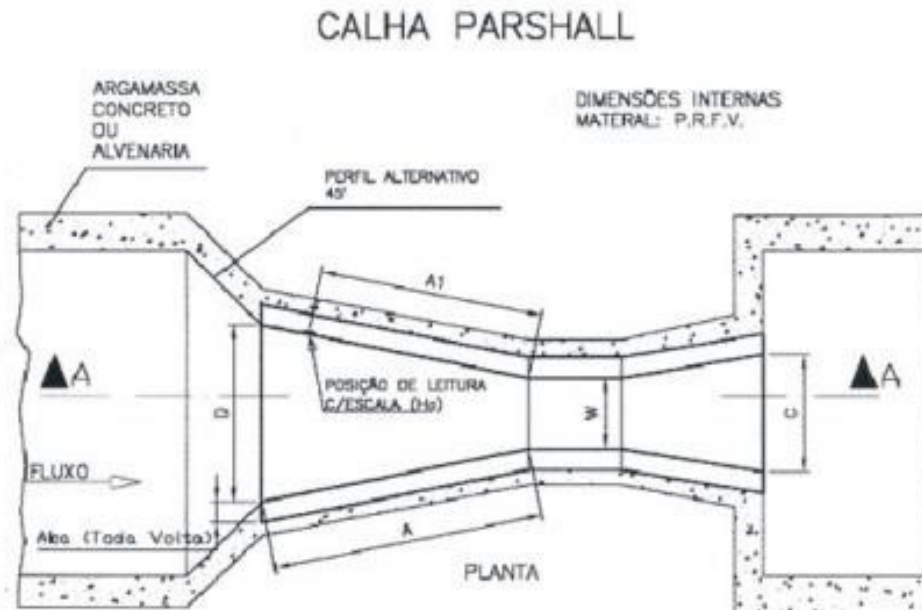
### 5.2.2 Medidor de vazão Calha Parshall

Todos os dados aferidos para a calha Parshall, foram obtidos no site da Hidrometer, empresa que fabrica este modelo de calha.

O medidor de vazão tipo Calha Parshall é utilizado para medir a vazão de entrada e saída em estações de tratamento, a medição acontece em conduto livre, onde o regime fluvial da vazão é submetido a um regime crítico, fazendo com que obtenhamos relação entre a altura do fluido na calha e a vazão, ou seja, para altura X haverá vazão Y, a altura da lâmina da água está diretamente ligada à vazão. (HIDROMETER)

A Calha Parshall se divide em três partes: seção convergente, seção estrangulada (garganta) e seção divergente. O fluido é tranquilizado em sua seção convergente, onde os efeitos da velocidade são praticamente eliminados, fazendo com que sua precisão seja de  $\pm 3\%$ . (HIDROMETER)

Figura (12): Calha Parshall dimensões internas.



Fonte: Hidrometer (2020).

Segundo Jordão e Pessoa, 2005, as alturas da lâmina de água para mínima e máxima de acordo com a Equação (17) são:

$$H = \left(\frac{Q}{k}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (17)$$

Segue o Quadro (14) demonstrando a capacidade hidráulica, com a medida da garganta (W) em polegadas e com a vazão máxima e mínima.

Figura 13: Capacidade hidráulica.

CAPACIDADE HIDRÁULICA – norma ASTM D				
Garganta (W) Medidas em Polegadas	METROS CÚBICOS POR HORA (M <sup>3</sup> /H)		LITROS POR SEGUNDO (L/S)	
	VAZÃO MÍNIMA	VAZÃO MÁXIMA	VAZÃO MÍNIMA	VAZÃO MÁXIMA
1	0,50	15,29	0,11	5,67
2	1,00	30,58	0,28	14,17
3	2,88	193,68	0,80	53,80
6	5,04	397,44	1,40	110,40
9	9,00	907,30	2,55	252,02
12 (1')	11,16	1.641,24	3,10	455,90
18(1/5')	15,12	2.507,76	4,20	696,60
24 (2')	42,84	3.374,28	11,90	937,30
36 (3')	62,28	5.137,92	17,30	1.427,20
48 (4')	132,48	6.921,72	36,80	1.922,70
60 (5')	163,08	8.726,04	45,30	2.423,90
72 (6')	264,96	10.550,88	73,60	2.930,80
84 (7')	306,00	12.375,72	85,00	3.437,70
96 (8')	356,76	14.220,72	99,10	3.950,20

Fonte: Norma ASTM D.

De acordo com as vazões, adotou a garganta  $W = 1''$ ;  $N = 1,550$ ;  $K = 217,29$ .  
Adotando a Equação (17):

$$H = \left(\frac{Q}{k}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (17)$$

$$H_{\text{máx}} = \left(\frac{10,125 \text{ m}^3/\text{h}}{217,29}\right)^{\frac{1}{1,550}} = 13,84 \text{ cm}$$

$$H_{\text{min}} = \left(\frac{2,82 \text{ m}^3/\text{h}}{217,29}\right)^{\frac{1}{1,550}} = 6 \text{ cm}$$

Para calcular-se o rebaixamento (z) da calha, no qual gera um controle de velocidade do efluente, onde diminui a velocidade para não ocorrer a decantação dos grãos de areia e aumentar a eficiência do sistema, conforme a Equação (18):



$$z = \frac{Q_{\text{máx}} * H_{\text{min}} - Q_{\text{mín}} * H_{\text{máx}}}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}} \quad (18)$$

$$z = \frac{0,00281 * 0,06 - 0,0008 * 0,1384}{0,00281 - 0,0008}$$

$$0,02879 \text{ m} = 2,88 \text{ cm}$$

### 5.2.3 Reservatório de Armazenamento

Durante o ciclo intermitente, uma altura da camada líquida é formada sobre o leito de aplicação, determinou 3 cm de lâmina formada, no qual permite a constatação homogênea da divisão da lâmina d'água. O volume de cada batelada é obtido na multiplicação da lâmina formada pela área do leito, de acordo com a Equação (19):

$$V_{\text{bat}} = A_L * H_{\text{fws}} \quad (19)$$

$$= 578 \text{ m}^2 * 0,03 \text{ m}$$

$$= 17,34 \text{ m}^3 \text{ por batelada}$$

Definiu-se 8 bateladas diárias com 10 minutos cada aplicação do efluente, cada 3 horas uma distribuição, de acordo com a Equação (20):

$$Q_a = \frac{Q_{\text{total}}}{8} \quad (20)$$

$$Q_a = \frac{135 \text{ m}^3}{8}$$

$$Q_a = 16,9 \text{ m}^3 \text{ por aplicação}$$

$$\text{ou } 1,69 \text{ m}^3/\text{min}$$

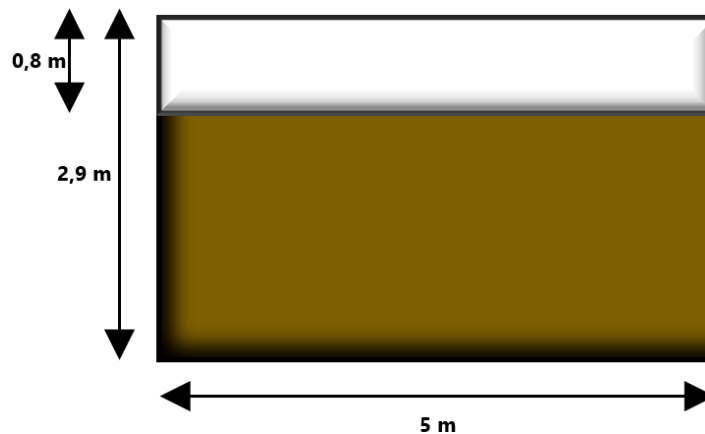
A alimentação no leito em operação é intermitente, uma alimentação de 10 minutos a cada quatro horas, resultando em uma aplicação de 16,9 m<sup>3</sup> por batelada e 1,69m<sup>3</sup>/min. O Wetland Construído francês contará com 2 reservatórios de dimensões semelhantes, um antes de entrar no leito, sendo um reservatório de esgoto bruto após o gradeamento e outro um reservatório do efluente que vem do primeiro estágio. A dimensão estipulada é para suportar pelo menos 3 bateladas, seu volume total (V<sub>i</sub>) 5 m

x 5 m x 2,9 m, Equação (21) e sua área útil ( $V_u$ ) 5 m x 5m x 2,1 m, Equação (22) com uma altura livre de 0,8 m.

$$(V_t) = 5 \text{ m} * 5 \text{ m} * 2,9 \text{ m} = 72,5 \text{ m}^3 \quad (21)$$

$$(V_u) = 5 \text{ m} * 5 \text{ m} * 2,1 \text{ m} = 52,5 \text{ m}^3 \quad (22)$$

Figura 14:Reservatório.



Fonte: Autoria própria.

#### 5.2.4 Cálculo da potência das bombas

Cada reservatório contará com 2 bombas, que farão a alimentação do sistema em processo intermitente, totalizando 4 bombas. De acordo com Vlade Dalbosco, são necessários: a vazão de bombeamento ( $Q_b$ ), as alturas manométricas de sucção e recalque ( $H_{ms}$  e  $H_{mr}$ ), para o cálculo da potência das bombas. A vazão de bombeamento é definida pela vazão de aplicação ( $Q_a$ ), de  $1,69 \text{ m}^3 / \text{min}$ , Equação (23):

$$\begin{aligned} Q_b &= 1,69 \text{ m}^3 / \text{min} * 60 \text{ min} = 101,4 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (23) \\ &= 28,16 \text{ L/s} \end{aligned}$$

A sucção é feita por um tubo com uma altura de 2,6 m que bombeia o efluente do fundo ao rotor da bomba d'água, conseqüentemente a altura manométrica de sucção

é de 2,6 em ambos os reservatórios. Para o presente projeto adotou a tubulação de esgoto PVC 100 segundo a NBR 7362-1 (2005), com diâmetro de 100 mm nos dois estágios do sistema. No primeiro estágio conta com a divisão da vazão ao longo da distribuição, utilizando 3 Tê de saída bilateral de mesmo diâmetro interno com um comprimento virtual total de 24,9 metros, já no segundo com 3 Joelhos de 90° e um Tê de saída bilateral de mesmo diâmetro interno, com um comprimento virtual 16,9 metros .

A perda de carga no 1° Estágio, onde as saídas de esgoto ocorrem apenas nas extremidades dos tubos, ocorrendo assim a divisão da vazão perante os trechos dos tubos no leito, sendo assim a perda de carga total é a somatoria da perda de carga de cada trecho, Equação (24):

$$\Delta H \text{ TOTAL} = \Delta H_{AB} + \Delta H_{BC} + \Delta H_{CD} \quad (24)$$

$$\Delta H_{\text{TOTAL}} = 0,0827 \left( \frac{f_{AB} * L_{AB} * Q_{AB}^2}{D_{AB}^5} + \frac{f_{BC} * L_{BC} * Q_{BC}^2}{D_{BC}^5} + \frac{f_{CD} * L_{CD} * Q_{CD}^2}{D_{CD}^5} \right)$$

Para facilitar os cálculos dos fatores de atrito  $f$ , foi usado o software SisCcoh.

$$0,0827 \left( \frac{f_{AB} * 8,5 * 0,02816^2}{0,1^5} + \frac{f_{BC} * 8,5 * 0,01408^2}{0,1^5} + \frac{f_{CD} * 4,5 * 0,00704^2}{0,1^5} \right)$$

$$\Delta H \text{ TOTAL} = 1,24105023 \text{ m}$$

A perda de carga no 2° Estágio ocorrem as saídas de esgoto ao longo dos tubos, foi adotado a vazão de jusante igual a zero ( $Q_j=0$ ) ponta seca.

$$\text{Vazão Total} = 28,16 \text{ L/s}$$

Comprimento da tubulação de distribuição:  $LT = 17 + 3 * 13 = 56 \text{ m}$

$$Q = Q_T / L = 28,16 / 56 = 0,503 \text{ L/s} \cdot \text{m}$$

Perda de carga por trecho:

Trecho AB:

$$Q_{AB} = q * L_{AB} = 0,503 * (8,5 + 13) = 10,81 \text{ L/s} = Q_{\text{MONTANTE}}$$

Considerando o trecho AB, com ponta seca:

$$Q_{\text{FICTÍCIA}} = Q_{AB} / 1,73 = 10,81 / 1,73 = 6,24 \text{ L/s} = 0,00624 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta H = 0,0827 \left( \frac{f * L * Q_{\text{fic}}^2}{D^5} \right) = 0,0827 \frac{f * 21,5 * 0,00624^2}{0,1^5}$$

$$\Delta H = 0,14 \text{ m}$$

Trecho AC:

$$Q_{AC} = q * L_{AC} = 0,503 * (13) = 6,539 \text{ L/s} = Q_{MONTANTE}$$

Considerando o trecho AB, com ponta seca:

$$Q_{FICTÍCIA} = Q_{AC} / 1,73 = 6,539 / 1,73 = 3,78 \text{ L/s} = 0,00378 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta H = 0,0827 \left( \frac{f * L * Q_{fic}^2}{D^5} \right) = 0,0827 \frac{f * 13 * 0,00378^2}{0,1^5}$$

$$\Delta H = 0,034 \text{ m}$$

Trecho AD:

$$Q_{AD} = q * L_{AD} = 0,503 * (8,5+13) = 10,81 \text{ L/s} = Q_{MONTANTE}$$

Considerando o trecho AD, com ponta seca:

$$Q_{FICTÍCIA} = Q_{AD} / 1,73 = 10,81 / 1,73 = 6,24 \text{ L/s} = 0,00624 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta H = 0,0827 \left( \frac{f * L * Q_{fic}^2}{D^5} \right) = 0,0827 \frac{f * 21,5 * 0,00624^2}{0,1^5}$$

$$\Delta H = 0,14 \text{ m}$$

É possível estimar a potência das 2 bombas no primeiro e 2 segundo estágio. A potência das bombas é possível calcular com a Equação (25), no qual  $P_1$  é a potência das duas primeiras bombas e  $P_2$  potência das bombas do segundo estágio:

$$P = \frac{(H_m * Q)}{75 * n} \quad (25)$$

$$P_1 = \frac{(32,36 \text{ m} * 17,6 \text{ L/s})}{75 * 0,6}$$

$$= 12,65 \text{ cv} * 0,735499 = 10 \text{ kW}$$

$$P_1 = 10 \text{ kW}$$

$$P_2 = \frac{(19,9 \text{ m} * 6,24 \text{ L/s})}{75 * 0,6}$$

$$= 2,75 \text{ cv} * 0,735499 = 2 \text{ kW}$$

$$P_2 = 2 \text{ kW}$$

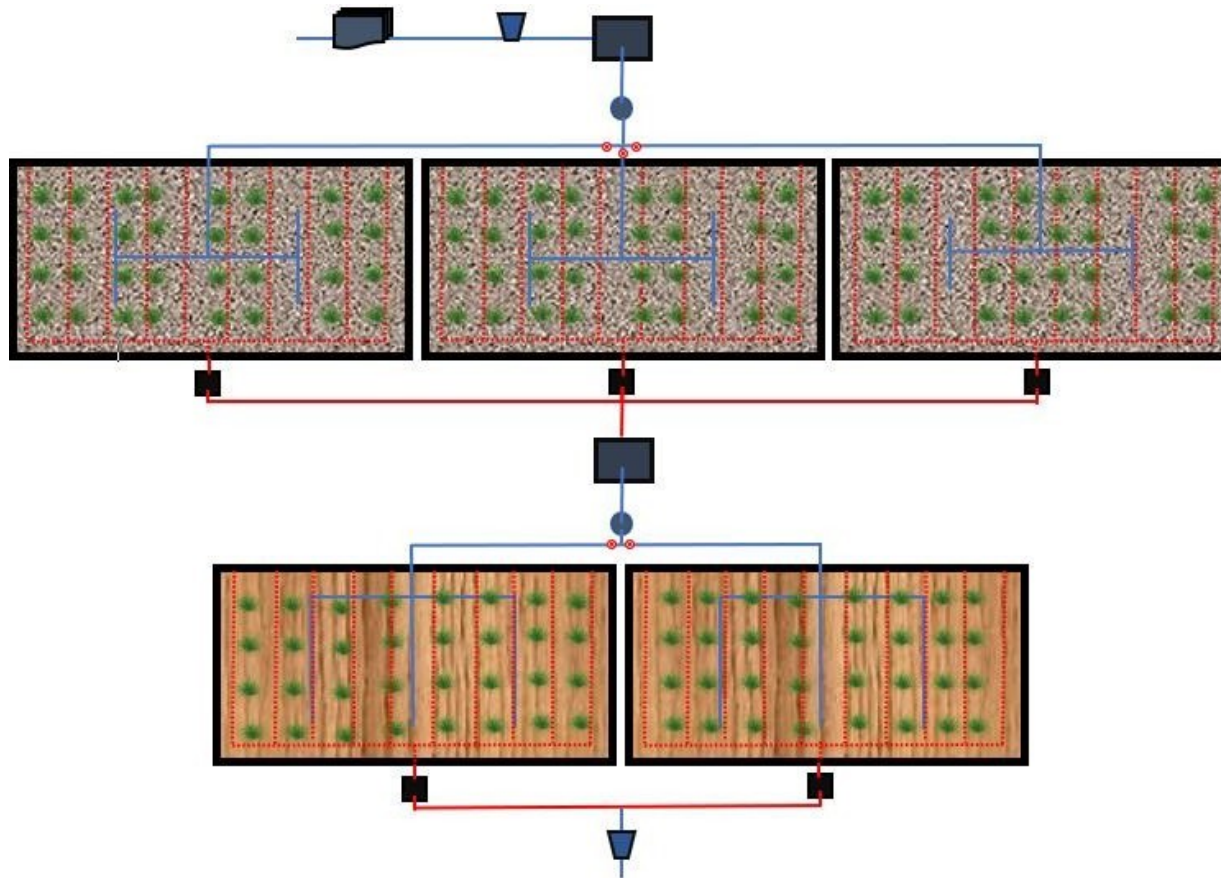
As projeções seguintes demonstram todo o projeto do Wetland Construído francês, utilizando a *Thypha domingensis* mais conhecida no Brasil como Táboa, e muito utilizada nos projetos na América do Sul.

Contam com uma vedação de geomembrana PEAD, inferior e nos taludes, para evitar o escoamento do afluente. Duas bombas em cada reservatório, justamente para que quando uma estiver em manutenção a outra opera.

## SISTEMA WETLAND FRANCÊS

Vista superior do sistema Wetland Construído de francês de acordo com a Figura 15:

Figura 15: Vista superior Wetland Construído francês.



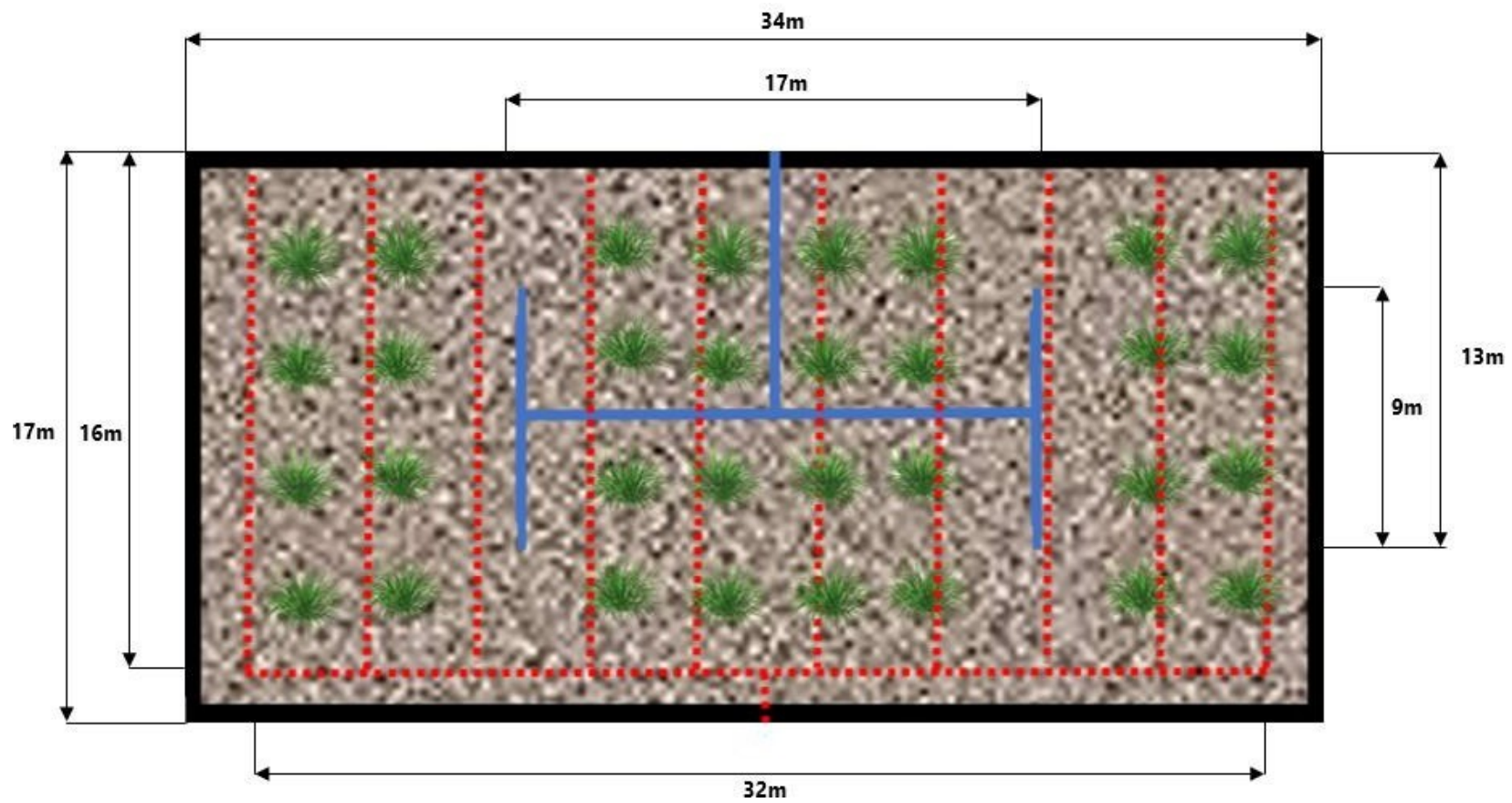
LEGENDA:

2 Bombas	
Calha Parshall	
Gradeamento	
Válvula	
Planta	
Reservatório	
Inspeção/Operação	
Tubulação Alimentação	
Tubulação Drenagem	

Fonte: Autoria própria.

## 1° ESTÁGIO

Figura 16: Dimensionamento do 1° Estágio.



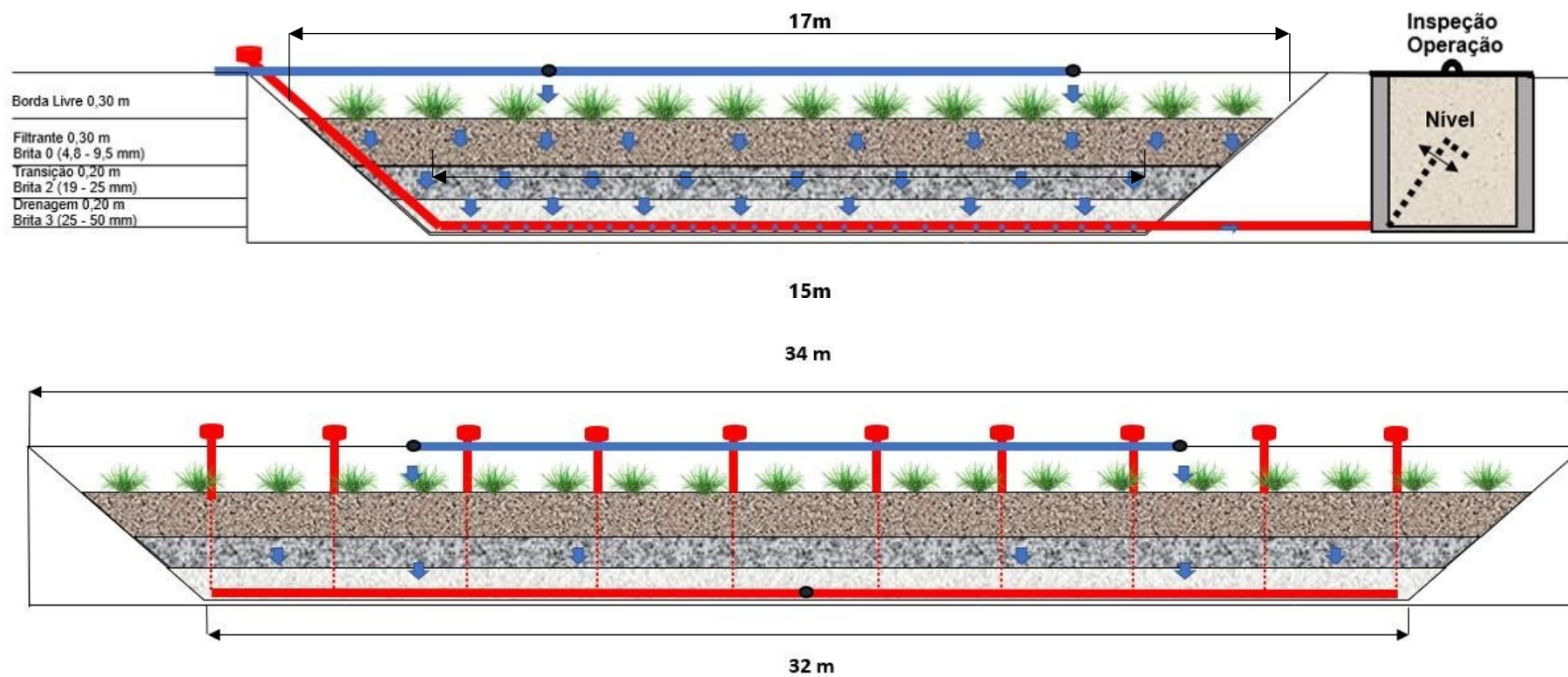
Fonte: Autoria própria.





## 1° ESTÁGIO

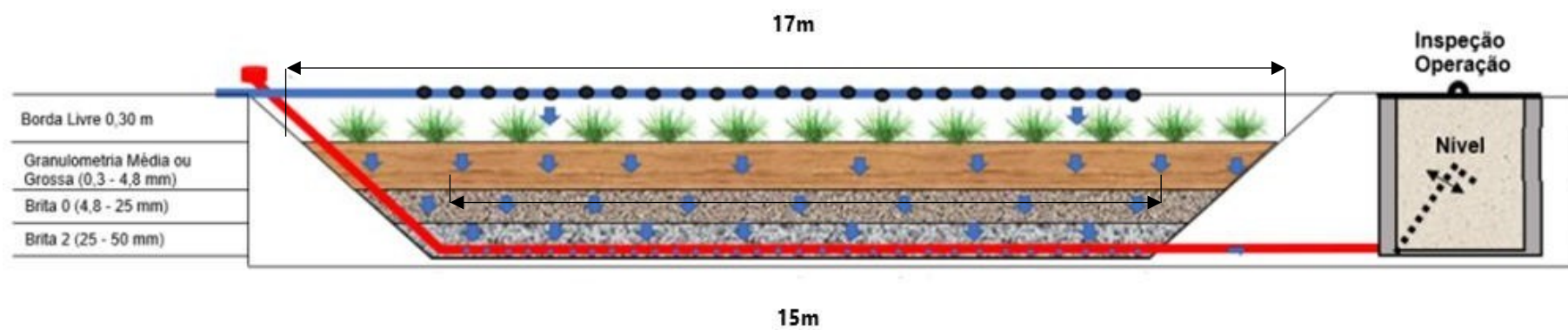
Figura 18: Vista lateral do 1° Estágio.



Fonte: Autoria própria.

## 2° ESTÁGIO

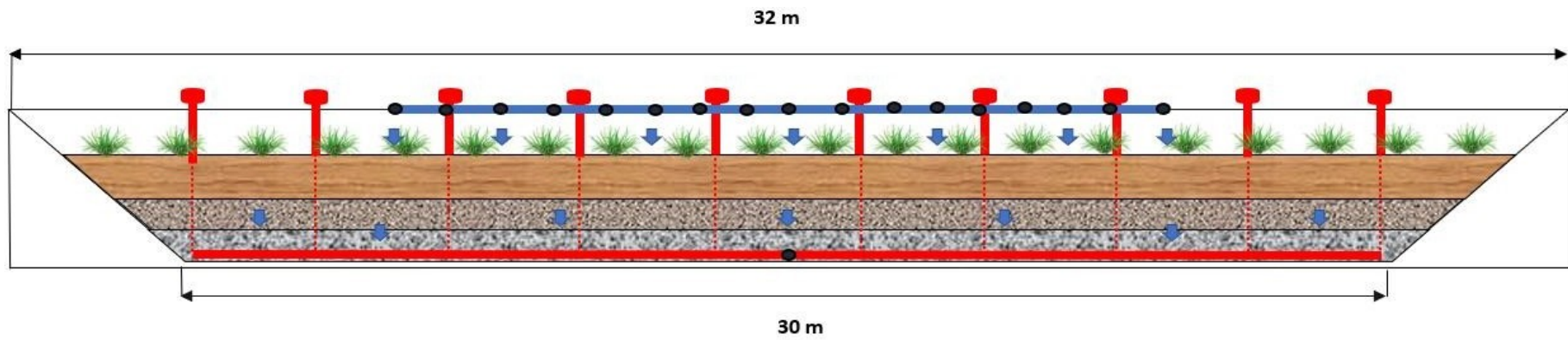
Figura 19: Vista Lateral 2° Estágio.



Fonte: Autoria própria.

## 2° ESTÁGIO

Figura 20: Vista Lateral 2° Estágio.



Fonte: Autoria própria.

## 6. CONCLUSÃO

Com base nos critérios definidos por Molle (2005), o dimensionamento da área total do Wetland foi superestimado, foi adotado o modelo do Wetland vertical, usado os critérios da GESAD UFSC (2018), para adotar o seu dimensionamento, e utilizado o projeto francês com a área total dividida em cinco leitos. Foi observado que o sistema projetado possui uma área muito grande para sua execução, no entanto de fácil simplicidade.

Não foi demonstrado os custos totais para a aplicação do sistema, devido ao fato da variação acelerada no preço dos materiais de construção devido a pandemia COVID-19.

Mostrado no projeto é uma biotecnologia para tratamento de esgoto, podemos adotar o Wetland Construído para essa tecnologia ser adotada pelos alunos de Engenharia Ambiental, tanto para estudo, mestrado, iniciação científica como para estágio estudantil. Demonstrando que esse sistema é viável para o tratamento descentralizado em climas tropicais.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12229**. 1990.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**. 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15849**. 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**. 1998.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**. 1986.

ÁGUA, Tratamento de. <https://www.tratamentodeagua.com.br/tratamento-descentralizado/>.

ATLAS. <https://atlasesgotos.ana.gov.br/>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção/** Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2018 56 p.

BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? **Water Science and Technology**, v.35, n.5, p.11 -17, 1997.

COOPER, P. A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 3, p. 1-9, 1999.

DALBOSCO, V. Projeto de concepção de um sistema de Wetlands construídos em modelo francês na cidade de Nova Trento - SC. **Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 94, 2016.

DORNELAS, F. L. **Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. Dissertação de mestrado do Programa de pósgraduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG. 2008.

DOTRO, G., LANGERGRABER, G., MOLLE, P., NIVALA, J., PUIGAGUT, J., STEIN, O., VON SPERLING, M., 2017. *Treatment Wetlands*. **IWA Publishing**, 154 p.

Hidrosanear Equipamentos: Equipamentos para água e esgoto

HOFFMANN, H.; PLATZER, C.; WINKER, M.; VON MUENCH, E. **Technology Review of Constructed Wetlands: Subsurface Flow Constructed Flow Constructed Wetlands for Greywater and Domestic Wastewater Treatment**. Deutsch Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ GmbH, Eschborn, 2011, 3.

IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná. Dados diários Londrina.

IBGE.Londrina.

Disponível

em:<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=411370&idtema=139&search=parana|londrina|frota-2014>.

JORDÃO, Eduardo P. e PESSÔA, Constantino **A. Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 932p. 1995.

JÚNIOR, E. M. **Iniciação ao tratamento de esgoto**. Campinas: Curso de Treinamento de esgoto, 2001.

Kadlec, R., Knight, R., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. and Haberl, R., 2000.

**Constructed Wetlands** for Pollution Control, IWA Publishing.

KADLEC, R.H.; WALLACE, S.D. **Treatment wetlands**. Boca Raton: CRC, Press 2thed, 2009, 366p.

Kadlec, Robert H. **Treatment wetlands** / Robert H. Kadlec and Scott Wallace. -- 2nd ed.

Langergräber, G. (2013): Are Constructed Treatment Wetlands sustainable sanitation solutions? *Water Science Technology* 167 (10), 2133-2140.

Maiga, Y., von Sperling, M., Mihelcic, J. 2017. **Constructed Wetlands**. In: J.B. Rose and B. Jiménez-Cisneros, (eds) *Global Water Pathogens Project*.

MOLLE, P. **French vertical flow constructed wetlands: a need of a better understanding of the role of the deposit layer.** *Water Science & Technology*, v. 69, p.106-112, 2014.

MOLLE, P.; LIÉNARD, A.; BOUTIN, C.; MERLIN, G.; IWEMA, A. How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems. *Water Science and Technology*, v. 51 n. 9, p.11–21, 2005.

PAOLI, A.C.; VON SPERLING, M. **Evaluation of clogging in planted and unplanted horizontal subsurface flow constructed wetland: solids accumulation and hydraulic conductivity reduction,** *Water Science and Technology*, 2013.

PELISSARI, C. **Tratamento de efluentes provenientes da bovinocultura de leite empregando wetlands construídos de escoamento subsuperficial.** 2013. 147 f. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.** Florianópolis: [s. n.], 144 p, 2004.

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W. **O wetland como componente de ECOSAN – experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE SANITATION: “FOOD AND WATER SECURITY FOR LATIN AMERICA”. 2007, Fortaleza. Anais. Fortaleza: Ecosan, 2007.

PROST-BOUCLE, S.; MOLLE, P. **Recirculation on a single stage of vertical flow constructed wetland:treatment limits and operation modes.** *Ecological Engineering*, 2014.

ROTARIA DO BRASIL. <http://brasil.rotaria.net/produtos/wetland/>

SENADO. **REVISTA EM DISCUSSÃO/ESCASSEZ DE ÁGUA - CADA GOTA É PRECIOSA- Ano 5 – Nº23 – dezembro de 2014.**

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

USEPA (2000). **Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters.** United States Environmental Protection Agency. 154 p.

UTFPR - Campus Londrina — Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR

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

VYMAZAL, J. (2010). **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment.** *Water*. 25. 10.1016/j.ecoleng.2005.07.002.

VYMAZAL, J. **Removal of nutrients in various types of constructed wetlands.** *Ecological Engineering*. p.13, 2005.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands – construídos utilizando brita e bambu como suporte.** 2008. 219 f. Tese de doutorado (Curso de Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NUVOLARI, A. (COORD.) Esgoto Sanitário. Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. São Paulo: Edgard Blucher, vários autores. 1a. edição. 2003. ISBN 85-212-0314-4. 520 p.

Hidrosanear Equipamentos: Equipamentos para água e esgoto