

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

PATRÍCIA YOSHIE SHINOHARA

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FRANCÊS DE WETLAND CONSTRUÍDO
COMO PROPOSTA PARA TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRA DO
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2021

PATRÍCIA YOSHIE SHINOHARA

**IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FRANCÊS DE WETLAND CONSTRUÍDO
COMO PROPOSTA PARA TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRA DO
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO**

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

Orientador: Prof. Dr. Orlando de Carvalho Júnior

LONDRINA

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FRANCÊS DE WETLAND CONSTRUÍDO COMO PROPOSTA PARA TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DE UM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO

Por

PATRÍCIA YOSHIE SHINOHARA

Monografia apresentada às 15 horas e 30 min do dia 26 de Abril de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Bruno de Oliveira Freitas	Membro
Ricardo Nagamine Costanzi	Membro
Orlando de Carvalho Junior	Orientador
Orlando de Carvalho Junior	Professor(a) responsável TCCII

RESUMO

SHINOHARA, P. Y. **Implantação de um sistema francês de wetland construído como proposta para tratamento da água residuária do restaurante universitário.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária). – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

Este trabalho teve como objetivo dimensionar e implantar um sistema de tratamento de esgoto doméstico por meio de wetland construído tipo francês, em uma estação experimental, de forma proporcionar o correto manuseio do efluente descartado pelo restaurante universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Londrina. Esse sistema é uma opção econômica para o tratamento de, visto que as plantas, em conjunto com microrganismos e mecanismos biológicos são responsáveis pela remoção da matéria orgânica, bem como do nitrogênio e fósforo, produzindo efluente que atende aos padrões de lançamento no meio ambiente. Este trabalho foi desenvolvido a partir de pesquisas bibliográficas, dimensionamento e execução de sistema francês de wetlands construídos, em escala piloto em área adjacente ao restaurante de um campus universitário. Após implantação deste sistema foi dada partida, adotando condições operacionais abaixo das recomendações de projeto, com carga hidráulica de $0,1\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$, cargas de $66,6\text{ gDQO}/\text{m}^2\text{d}$, $14,6\text{ gSST}/\text{m}^2\text{d}$ e $7,26\text{ gNTK}/\text{m}^2\text{d}$. O sistema mostrou-se uma alternativa viável, comparado aos sistemas de lagoas e lodos ativados, para respectiva implantação em escala real no referido campus.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto doméstico. Wetland construído. Remoção de matéria orgânica.

ABSTRACT

SHINOHARA, P. Y. **French system of constructed wetland as a proposal to wastewater treatment from a university restaurant.** Final course work (Bachelor of Environmental and Sanitary Engineering). - Environmental and Sanitary Engineering Course - Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2021.

This study had as purpose to dimension and implement a domestic sewage treatment system using a french-built wetland, in an experimental station, in order to provide the correct handling of the effluent discarded by the university restaurant of the Federal Technological University of Paraná - Londrina campus. This system is an economical option for the treatment of effluents, since the plants, together with microorganisms and biological mechanisms are responsible for the removal of organic matter, as well as nitrogen and phosphorus, producing effluent that meets the standards of release into the environment. This work was developed from bibliographic research, dimensioning and execution of a French system of built wetlands, on a pilot scale in an area adjacent to the restaurant of a university campus. After the implementation of this system, it was started, adopting operational conditions below the design recommendations, with a hydraulic load of $0.1\text{m}^3 / \text{m}^2\text{d}$, loads of $66.6\text{ gDQO} / \text{m}^2\text{d}$, $14.6\text{ gSST} / \text{m}^2\text{d}$ and $7.26\text{ gNTK} / \text{m}^2\text{d}$. The system proved to be a viable alternative, compared to the activated sludge and lagoon systems, for the respective full-scale deployment on that campus.

KEYWORDS: Wastewater treatment. Constructed Wetland. Organic matter removal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de wetlands construídos.....	14
Figura 2 - Wetland Construído de escoamento superficial com (a) Macrófitas emergentes; (b) Esteiras flutuantes de macrófitas emergentes; (c) Flutuação livre Macrófitas; (d) Macrófitas submersas; (e) Macrófitas de folhas flutuantes.....	15
Figura 3 - Wetland construído de fluxo subsuperficial horizontal.....	17
Figura 4 - Wetland construído de fluxo subsuperficial vertical.....	17
Figura 5 – wetland construído híbrido (horizontal + vertical)	18
Figura 6 - Esquema sobre a disposição dos filtros em um sistema wetland construído do tipo francês.....	19
Figura 7 – Tipos de macrófitas que podem ser utilizadas em sistemas Wetlands construídos.....	21
Figura 8 – Local de Construção da estação experimental.....	23
Figura 9 - Localização da unidade experimental	24
Figura 10 - Fluxograma da estação experimental; C.S.G.= Caixa separadora de gordura; P.V.S. = Poço de visitação e sucção; B = Bomba centrífuga; SFWC1= Estágio 1 do sistema francês de wetland construído ; R= Reservatório; SFWC2= Estágio 2 do sistema francês de wetland construído.	24
Figura 11 - Mudas de <i>Helicônia rostrata</i> utilizadas no Wetland Construído	26
Figura 12 – Remoção do material filtrante do sistema anterior (a) e (b) Remoção da areia utilizada como material filtrante; (c) Vista do leito com pouco material filtrante; (d) leito limpo após remoção de todo material filtrante.....	27
Figura 13 – Construção do sistema de drenagem; (a) Colocação do dreno externo de saída do sistema; (b) Colocação do dreno interno de saído do sistema; (c) e (d) Construção do dreno de coleta; (e) Sistema de drenagem completo.....	29
Figura 14 – Preenchimento do sistema com material filtrante; (a) Preenchimento de fundo do leito com brita 1; (b) Preenchimento intermediário com brita �/2; (c) Preenchimento total do leito completando com brita 0.....	30
Figura 15 – Sistema de alimentação implantado e mudas plantadas.....	31
Figura 16 – Estrutura de tijolos de concreto e aço do Estágio 2 do Wetland construído.	33
Figura 17 - Esquema de funcionamento do sistema Wetland Construído Francês nos dois estágios – Esquema da Vista Superior.....	34

Figura 18 – Esquema de funcionamento do sistema Wetland Construído Francês no primeiro estágio – Esquema da Seção Transversal.	35
Figura 19 - Dimensões do wetland francês para atender todo efluente gerado pelo restaurante universitário.	37
Figura 20 – Comparação do efluente na entrada e saídas do primeiro e segundo estágios do Wetland Construído; (a) Esgoto bruto; (b) Efluente do Estágio 1; (c) Efluente do estágio 2.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de permeabilidade para materiais utilizados em Wetlands.....	20
Tabela 2 – Especificação da composição de cada maciço filtrante do wetland construído no primeiro estágio	25
Tabela 3 - Materiais usados na construção do primeiro estágio do sistema.....	28
Tabela 4 - Materiais Usados na Construção segundo estágio do sistema.	32
Tabela 5 – Verificação de cargas aplicadas ao sistema no primeiro estágio.	34
Tabela 6 – Valores de pH analisados	39
Tabela 7 – Valores de alcalinidade analisados	39
Tabela 8 – Nitrogênio total	40

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	OBJETIVOS	12
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	12
2.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO	12
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1.	WETLAND CONSTRUÍDO	13
3.1.1.	Tipo de Escoamento.....	14
3.1.2.	Escoamento subsuperficial.....	16
3.2.	COMPONENTES ATUANTES NOS WETLANDS	20
3.2.1.	Material Filtrante	20
3.2.2.	Espécie de Plantas Utilizadas	21
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FRANCÊS DE WETLAND CONSTRUÍDO.....	23
4.2.	CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE EXPERIMENTAL	24
4.3.	CONSTRUÇÃO DO SISTEMA WETLAND FRANCÊS.....	26
4.4.	MONITORAMENTO DO SISTEMA	33
4.5.	DIMENSIONAMENTO DE UM WETLAND FRANCÊS PARA ATENDER TODA DEMANDA DO RU.....	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42
	APÊNDICES	47
	ANEXOS.....	48

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescente aumento populacional nas áreas urbanas, o lançamento de esgotos domésticos, sem o devido tratamento, tem concentrado nessas regiões, comprometendo a qualidade do corpo receptor, podendo inviabilizar os usos atuais e futuros dos recursos hídricos a jusante do lançamento (ANA, 2017).

No Brasil, apenas 43% da população possui rede coletora de esgoto com o devido tratamento e 12% faz o uso de fossa séptica, 18% da sociedade brasileira possui a coleta, porém não há tratamento do esgoto, e 27% da população não é atendida com coleta e tratamento (ANA, 2017).

Com o intuito de melhorar a qualidade de vida das pessoas, têm-se estudado formas para tratamento de esgotos domésticos, visando reduzir custos de implantação e operação. Para remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto, comumente são utilizadas lagoas de estabilização, lodos ativados ou reatores anaeróbios. Von Sperling (1997; 2006; 2009) explica que lagoas de estabilização possuem menor custo de manutenção, porém precisam de uma área grande para sua instalação; lagoas aeradas necessitam de uma área menor, porém seu custo de instalação e manutenção é maior, devido à energia necessária para aeração do sistema; já os lodos ativados possuem um custo mais elevado, e produzem quantidade excessiva de lodo.

O sistema wetland construído é uma opção mais econômica para o tratamento de esgotos com grandes concentrações de matéria orgânica, uma vez que as plantas servem como suporte para o crescimento de microrganismos que utilizam a matéria orgânica e o nitrogênio para seu desenvolvimento, além disso o sistema radicular melhora as condições de permeabilidade do maciço filtrante. O primeiro experimento com wetlands construídos em grande escala ocorreu na Alemanha na década de 50. A partir daí essa tecnologia foi difundida por toda Europa e Estados Unidos (VYMAZAL, 2010).

O sistema francês não necessita de tratamento primário do esgoto, é composto por dois sistemas de wetland construído vertical, sendo o primeiro com três leitos e o segundo com dois leitos, não havendo a necessidade de tratamento de lodos do sistema de decantação (MOLLE et al, 2005).

Portanto o objetivo do presente trabalho foi dimensionar e implantar um sistema Wetland construído tipo francês, em escala piloto, para tratamento do esgoto de um restaurante universitário.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi dimensionar e implantar um sistema wetland construído tipo francês, em escala piloto, para avaliar o tratamento do esgoto de um restaurante universitário.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico estabelecido para este trabalho foi analisar a viabilidade de implantação da tecnologia proposta como alternativa para tratamento do esgoto de um restaurante universitário.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. WETLAND CONSTRUÍDO

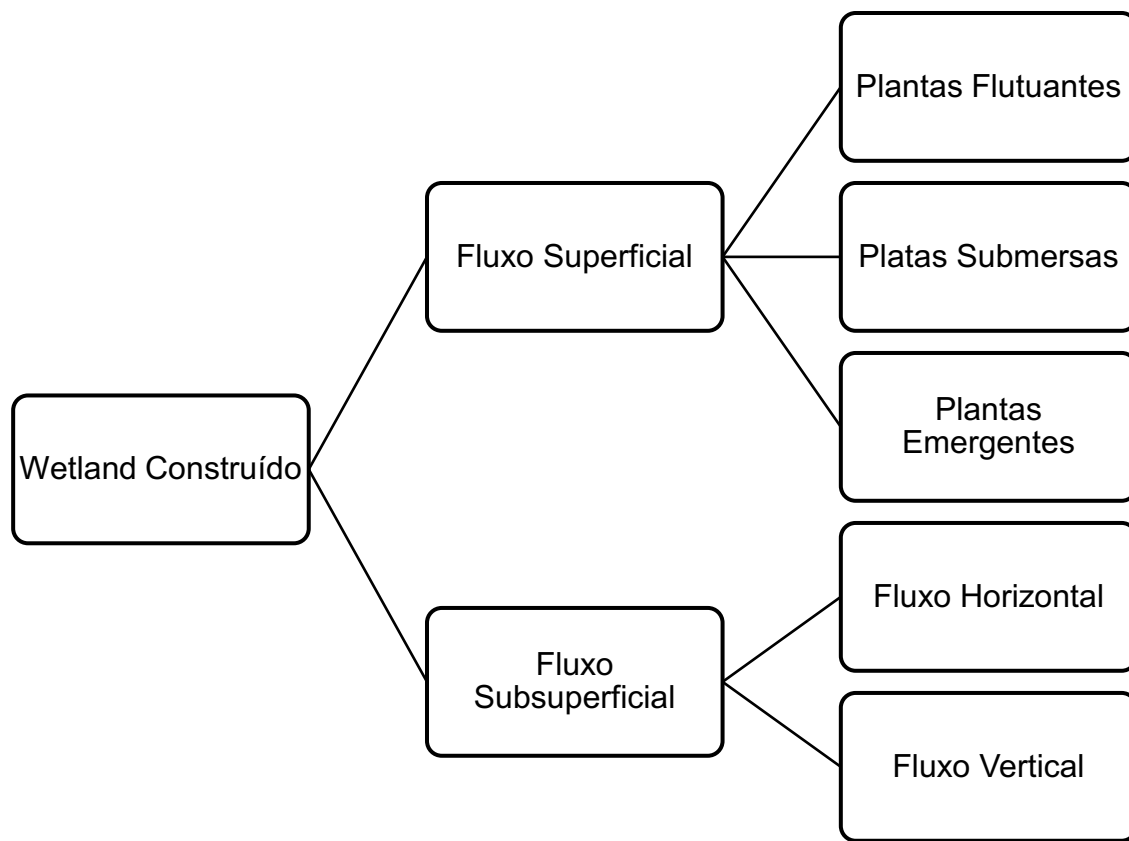
De acordo com Salati (2006), Wetlands Construídos são ecossistemas artificiais que utilizam de diferentes tecnologias para modificação da qualidade da água, pois realizam algumas funções que ocorrem em wetlands naturais. São sistemas de engenharia que são construídos para realizar processos similares aos naturais, porém mais controlados (VYMAZAL, 2011). É composto por macrófitas aquáticas que podem ou não estar aderidas a um maciço por onde a água residuária escoar. Usualmente possui um fundo impermeável para que não ocorra contaminação do solo (VON SPERLING, 2005).

Por possuir baixo custo de implantação, operação e manutenção, algumas empresas estão se interessando por esse tipo de tratamento, que pode ser utilizado tanto em residências, para tratar esgoto, quanto indústrias (USEPA, 2004; SHUTES, 2003; KADLEC. WALLACE, 2009), além disso, os Wetlands Construídos podem ser utilizados como área de lazer em empresas ou parques devido à sua aparência agradável (MELO; LINDNER, 2013).

O Sistema Wetland Construído é uma alternativa para o tratamento ou pós-tratamento de efluentes, pois faz uso de microrganismos para remoção da matéria orgânica, além de mecanismos físicos e químicos que auxiliam o tratamento da água em seu tempo de permanência no sistema (KADLEC; WALLACE, 2009; VON SPERLING, 2005). As bactérias anaeróbias facultativas realizam o trabalho mais significativo neste processo, uma vez que se multiplicam formando um biofilme sobre o sistema (HOFFMANN et al., 2011).

Pelissari (2013) afirma que no Brasil o sistema wetlands construídos possuem a seu favor o clima temperado e a grande área territorial, o que tem facilitado a grande adaptação e desenvolvimento em várias regiões do país.

O sistema wetland construído possui algumas variáveis que devem ser levadas em consideração, dentre as mais importantes, de acordo com Vymazal (2011) são: tipo de escoamento (superficial ou subsuperficial), tipo de macrófita utilizado (emergente, submerso ou flutuante) e fluxo d'água (vertical ou horizontal). Na Figura 1 está representada as variações existentes de wetlands construídos.

Figura 1 - Tipos de wetlands construídos

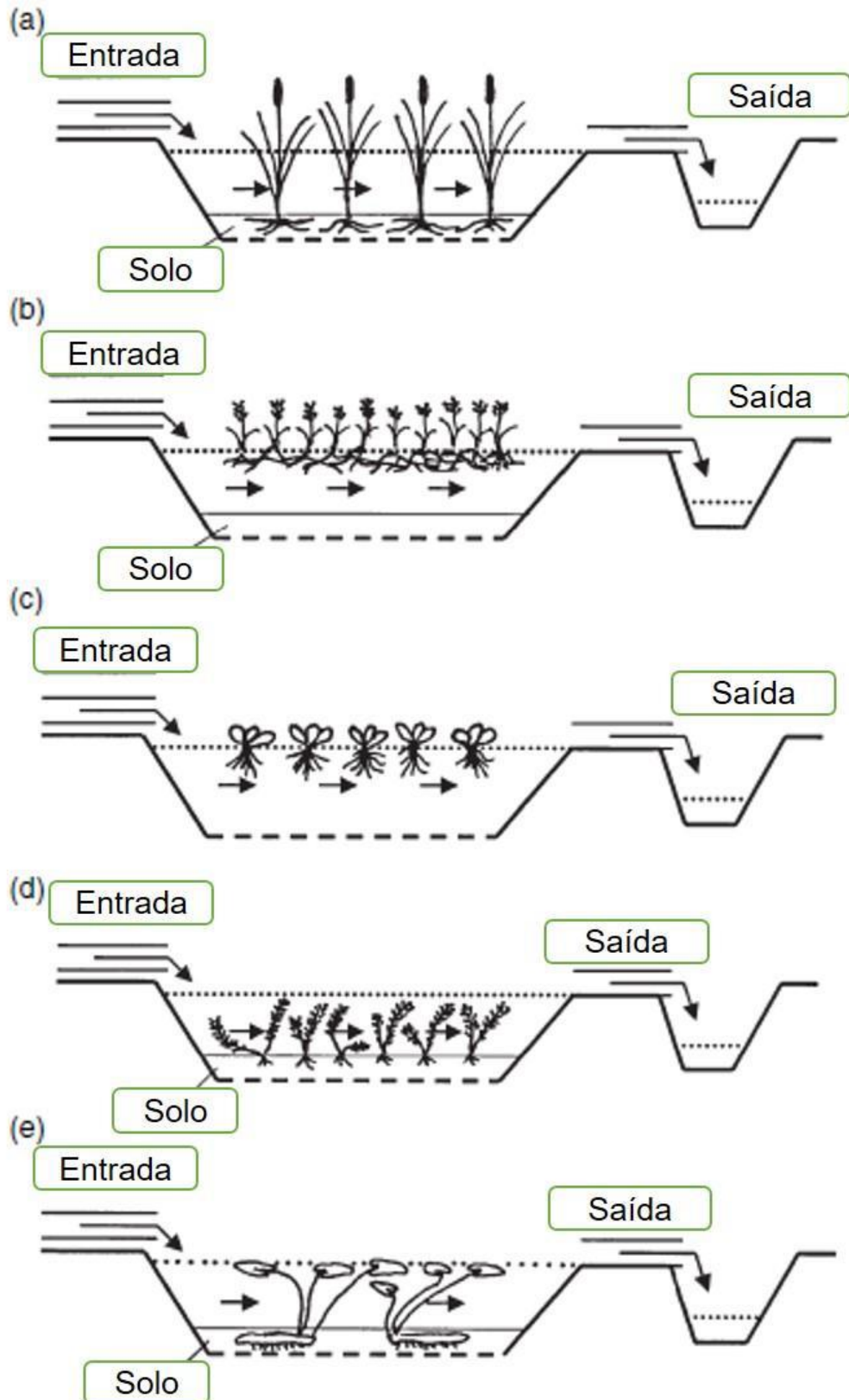
Fonte: Adaptado de KADLEC; WALLACE (2009).

3.1.1. Tipo de Escoamento

3.1.1.1. Escoamento superficial

No wetland construído de escoamento superficial o tanque utilizado possui ou não uma pequena camada de solo, onde a planta utilizada possa fixar sua raiz, mantendo o controle da profundidade do esgoto (VYZAMAL, 2008 apud OLIVEIRA, 2016), como demonstrado na Figura 2. Como o sistema mantém água em sua superfície, não é um sistema muito indicado, pois pode atrair vetores, que podem transmitir doenças aos seres humanos. Em locais com invernos mais rigorosos, a água da superfície pode congelar, inviabilizando o sistema. Usualmente esse sistema é utilizado para tratamento secundário de efluentes (KADLEC; WALLACE, 2009).

Figura 2 - Wetland Construído de escoamento superficial com (a) Macrófitas emergentes; (b) Esteiras flutuantes de macrófitas emergentes; (c) Flutuação livre Macrófitas; (d) Macrófitas submersas; (e) Macrófitas de folhas flutuantes.



Fonte: Adaptado de Vyzamal (2008).

3.1.2. Escoamento subsuperficial

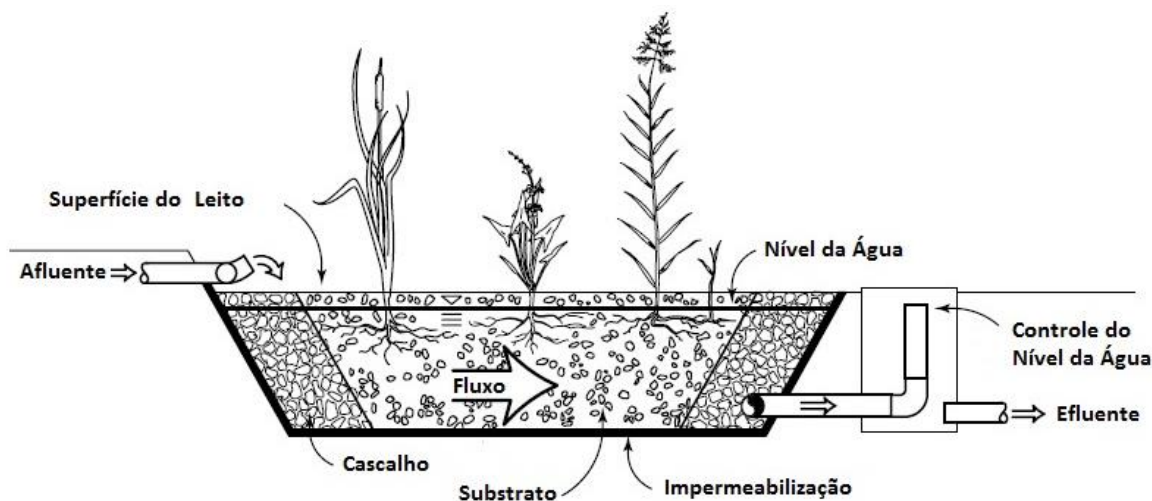
No wetland com escoamento subsuperficial o esgoto a ser tratado é disposto na superfície do sistema, onde irá atravessar, por ação da gravidade o material filtrante presente no sistema até chegar às raízes das plantas e posteriormente ao fundo do sistema (SEZERINO et al., 2015). O wetland com escoamento subsuperficial é mais utilizado por não manter o esgoto exposto ao, dificultando a transmissão de doenças e geração de mau cheiro (KADLEC; WALLACE, 2009).

Devido a movimentação causada pelo recebimento vertical do esgoto, ele permite uma maior entrada de oxigênio no sistema, fazendo com que seja preferível para o tratamento de águas residuárias com carga nitrogenada elevada, como é o caso de indústrias alimentícias. Além disso, o substrato também filtra parte dos sólidos esgoto a ser tratado (KADLEC; WALLACE, 2009).

Para o sistema wetland construído de fluxo subsuperficial, o nível de água residuária não deve ultrapassar um terço da altura do substrato utilizado no sistema, mantendo assim um maior controle para a passagem do líquido sobre o leito (HOFFMANN et al., 2011).

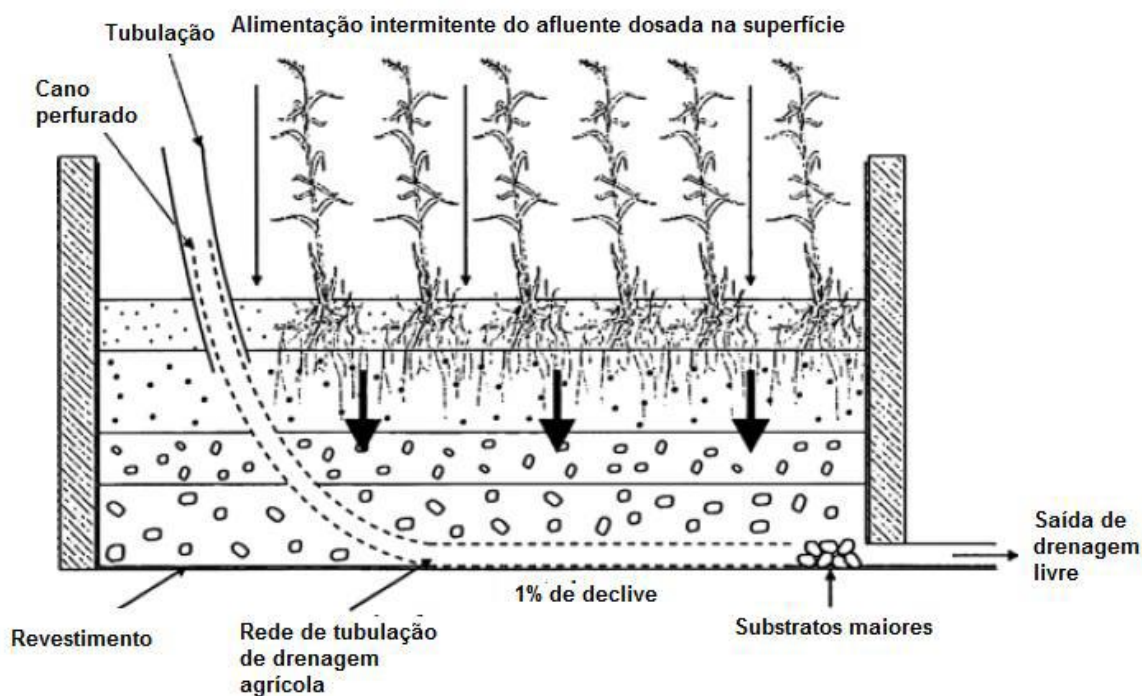
O escoamento subsuperficial pode ter fluxo de água vertical ou horizontal dependendo da sua configuração. No sistema horizontal, a água residuária entra de um lado do sistema, atravessa o mesmo em sentido horizontal, e é drenada do outro lado (Figura 3), enquanto que no vertical normalmente há distribuição de esgoto em toda a superfície do sistema, que atravessa o leito filtrante para posterior coleta com uma tubulação no fundo ou uma declividade de fundo para que o efluente saia em um dos lados do sistema (Figura 4) (KADLEC; WALLACE, 2009).

Figura 3 - Wetland construído de fluxo subsuperficial horizontal



Fonte: FAISSAL (2016).

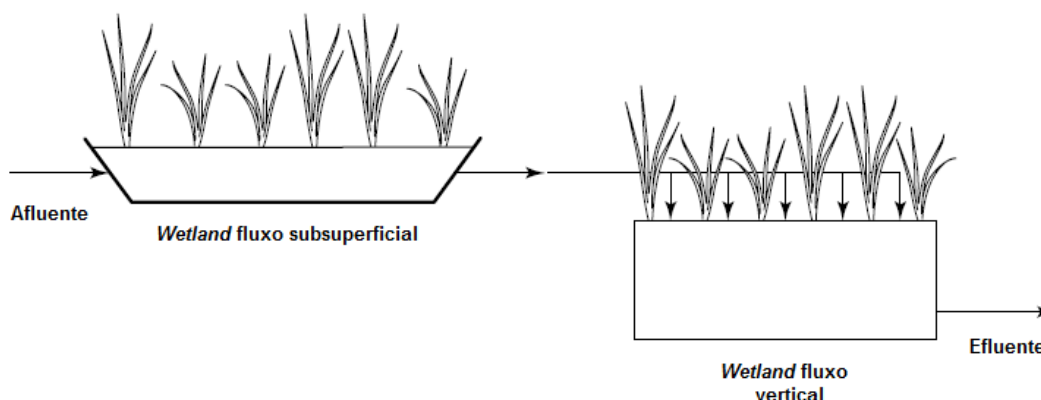
Figura 4 - Wetland construído de fluxo subsuperficial vertical



Fonte: CARDOSO (2015).

Wetlands com fluxo vertical complementam os de fluxo horizontal, pois ocorrem tratamentos diferentes em cada tipo de sistema, enquanto os sistemas de fluxo horizontal conseguem remover maior quantidade de sólidos e degradar a matéria orgânica, o outro remove maior quantidade de nitrogênio do sistema, formando assim um sistema híbrido (Figura 5) (KADLEC; WALLACE, 2009).

Figura 5 – wetland construído híbrido (horizontal + vertical)



Fonte: FAISSAL (2016).

3.1.2.1. Sistema francês

Este sistema de Wetland construído foi desenvolvido há mais de 30 anos por Cemagref, foi muito difundido na França na década de 90 devido a boa reputação para o tratamento de águas residuais de pequenas comunidades. Inicialmente os projetos eram empíricos, mas Boutin (1997) e Liènard (1998) propuseram diretrizes para implementação desses sistemas (MOLLE et al, 2005). Com isso, esse sistema começou a ser empregado em locais de clima quente e frio, principalmente pela boa eficiência na degradação da matéria orgânica (MORVANNOU et al, 2015).

O sistema francês não necessita de tratamento primário do esgoto, é composto por dois sistemas de wetland construído vertical, sendo o primeiro com três leitos e o segundo com dois leitos, não havendo a necessidade de tratamento de lodos (MOLLE et al, 2005).

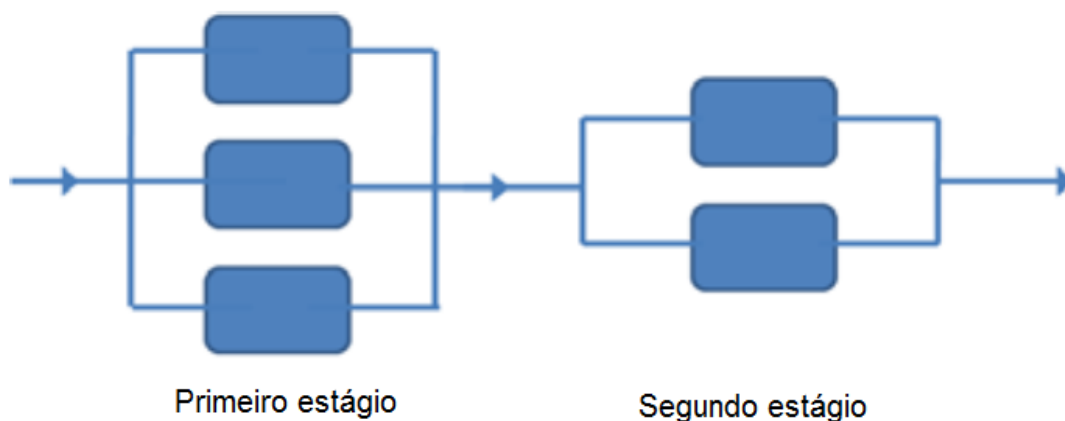
Cada fase do sistema possui um período de alimentação para outro de descanso, isso é necessário para que ocorra o crescimento controlado da biomassa do sistema (LIENARD et al, 1990 apud RODRIGUES, 2016).

Através de monitoramento do primeiro estágio, foi possível observar na França uma eficiência de 79% para demanda química de oxigênio (DQO) e 86% em sólidos suspensos totais (SST) nos sistema wetland, levando em consideração uma carga aproximada de 300 g DQO m²d⁻¹ e 150 g SS m²d⁻¹ em uma área de 1,2 m² pessoa⁻¹.

Morvannou et al (2015) avaliou cerca de 51 unidades de primeiro estágio em operação na França, e constatou valores de eficiência similares, com média de 77% para DQO e 83% SST.

Esse desempenho de tratamento é garantido pela forma de operação das três unidades que compõe o primeiro estágio, do qual a alimentação de cada tanque pode durar de três a quatro dias antes da fase de descanso, que é estipulada em sete dias (para ambientes de clima frio), pois esse é o período considerado importante para o controle do crescimento bacteriano e necessário para manter as condições aeróbias no filtro, proporcionando a mineralização da matéria orgânica oriunda da retenção dos sólidos suspensos contidos no afluente, por isso a necessidade de três tanques no primeiro estágio, depois o efluente do primeiro estágio é encaminhado para o segundo estágio para complementar o tratamento, principalmente a nitrificação. Como o tempo de permanência é menor, usa-se apenas dois tanques neste estágio (Figura 6) (MOLLE et al, 2005; RODRIGUES, 2016).

Figura 6 - Esquema sobre a disposição dos filtros em um sistema wetland construído do tipo francês.



Fonte: Adaptado de ALBOLD et al (2011)

A eficiência do sistema é reduzida quando se trata de nitrificação, pois ele possui algumas limitações, que seriam condições operacionais, clima, manutenção do sistema, composição do esgoto, característica do material filtrante, carga hidráulica, taxa de transferência de oxigênio para o interior do maciço filtrante, o que faz a eficiência alcançar aproximadamente 50%.

Para obter um aumento de eficiência em relação a nitrificação é indicado a aplicação de maiores volumes em baixa frequência, pois esse procedimento melhora

a drenagem do líquido, proporcionando melhor oxigenação do filtro, o que aumenta a possibilidade de nitrificação. Porém se o volume aplicado for menor, será prejudicial a nitrificação, mas colabora com a remoção de matéria orgânica (MORVANNOU et al, 2015).

Para dimensionar o tamanho dos tanques, é necessário saber a quantidade aproximada de carga orgânica que a unidade irá receber. O primeiro estágio calcula-se de 1,2 a 1,5 m² por superfície de filtragem por pessoa equivalente (PE), divididos em três unidades idênticas em paralelo, cada uma com 0,4 a 0,5 m² por PE. O segundo estágio estima-se aproximadamente 0,8 m² por PE, dividido em duas unidades idênticas em paralelo, cada uma com 0,4 m² por PE (ALBOLD et al, 2011).

3.2. COMPONENTES ATUANTES NOS WETLANDS

3.2.1. Material Filtrante

Wetlands construídos se baseiam em mecanismos físicos, químicos e biológicos para tratar águas residuárias. Normalmente apresentam uma camada impermeável e estruturas que controlam seu fluxo, tempo de detenção hidráulico e nível d'água. Os sistemas subsuperficiais possuem um meio poroso inerte, como pedras, cascalhos ou areias que serve como meio filtrante para o sistema (VON SPERLING, 2005).

Dependendo do diâmetro das partículas do substrato utilizado nos Wetlands construídos podem apresentar maior ou menor capacidade de permeabilidade do esgoto e também ajudam na fixação das plantas a serem utilizadas. Na Tabela 1 pode-se observar alguns valores de permeabilidade para materiais que são utilizados em Wetlands construídos (CAPUTO, 1996).

Tabela 1 - Valores de permeabilidade para materiais utilizados em Wetlands

Material utilizado	Permeabilidade (cm/s)
Pedregulho	10 ² a 10 ⁻¹
Areia	10 ⁻¹ a 10 ⁻³
Silte	10 ⁻³ a 10 ⁻⁷
Argila	10 ⁻⁷ a 10 ⁻¹⁰

Fonte: Adaptado de Caputo (1996).

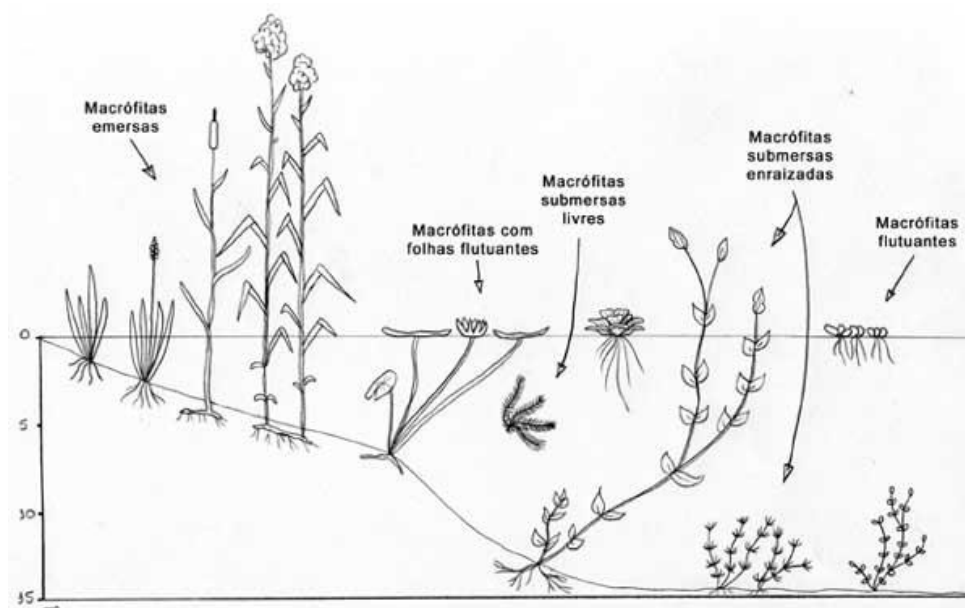
O material filtrante do sistema retém sólidos suspenso sedimentáveis e sólidos coloidais mecanicamente à medida que a água residuária passa em seu interior, como se fosse um filtro, com isso reduz a DBO, nitrogênio, fósforo, metais pesados, orgânicos refratários, vírus e bactérias. Essa filtração pode se dar pelo substrato escolhido para o sistema ou pelas raízes das plantas que criam uma barreira para o esgoto no sistema, retendo-o por um período mais prolongado (ABRAHÃO, 2006).

A escolha do substrato para o sistema wetland construído é de suma importância, uma vez que ele será suporte para as macrófitas se fixarem no sistema (SEZERINO, 2006).

3.2.2. Espécie de Plantas Utilizadas

Várias espécies de plantas podem ser utilizadas em Wetlands construídos, porém as plantas aquáticas florescentes são as mais difundidas nos sistemas brasileiros, por serem mais adaptadas aos solos saturados ou não precisarem de um solo para fixação. As macrófitas estão divididas em alguns grupos, podendo ser flutuantes, submersas ou emergentes, como demonstrado na Figura 7 (ABRAHÃO, 2006).

Figura 7 – Tipos de macrófitas que podem ser utilizadas em sistemas Wetlands construídos.



Fonte: PROBIO (2018).

Dentre as macrófitas flutuantes existem as que possuem as raízes livres que ficam flutuando na superfície da água, podendo ser arrastadas com a movimentação da água e as flutuantes enraizadas, que possuem raízes fixas no substrato, mas as folhas não saem para a atmosfera, podendo ficar boiando na superfície da água. As submersas crescem para a fora da água, podendo ou não ter as raízes fixas no substrato. As macrófitas emergentes possuem as raízes fixas no fundo e sua folhagem está acima da água (USEPA, 2000).

A escolha da planta a ser utilizada no sistema deve levar em consideração o local, evitando o uso de plantas exóticas invasoras, espécies adaptadas à locais alagados ou solos saturados, preferencialmente com raízes longas ou rizomas, capazes de suportar altas concentrações de nutrientes (HOFFMAN et al., 2008).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FRANCÊS DE WETLAND CONSTRUÍDO

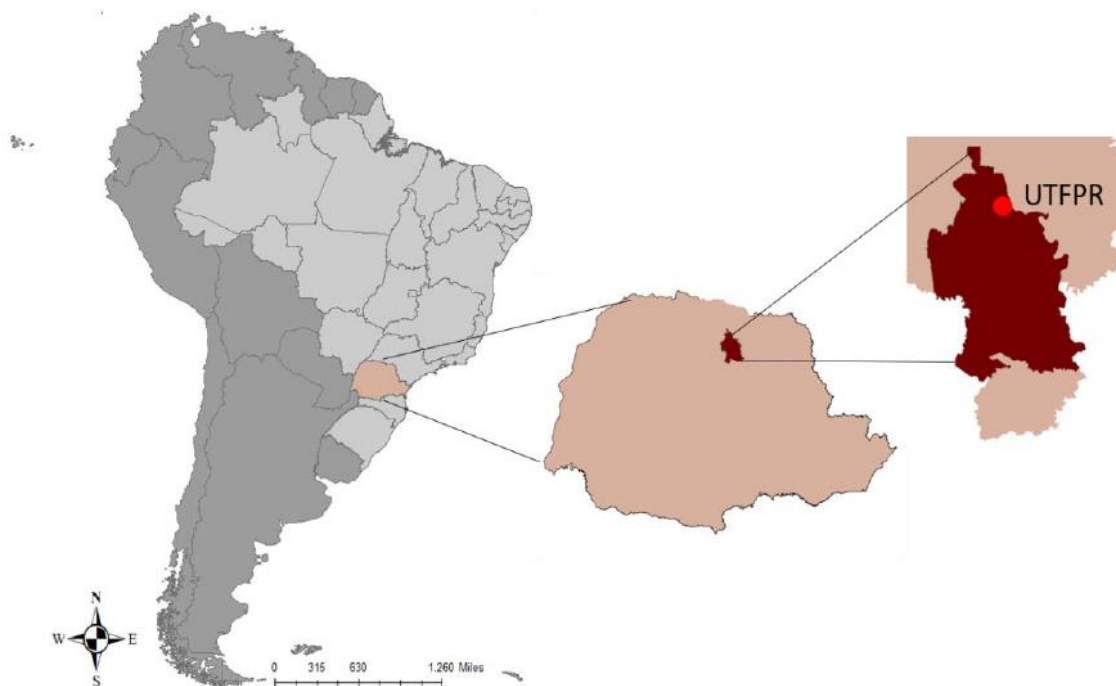
O desenvolvimento deste trabalho ocorreu em uma estação experimental, adjacente ao Restaurante Universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Londrina (Figura 8), com latitude de -23,304218 e longitude de -51,172223, localizado no norte do estado, na região Sul do Brasil.

Figura 8 – Local de Construção da estação experimental.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2018).

O município está situado na região norte do estado do Paraná (Figura 9). Segundo Koppen, a região é caracterizada como Cfa, sendo clima subtropical, com temperatura no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média do mês mais quente acima dos 22°C, caracterizado pelos verões quentes e com maiores precipitações (IAPAR (1998); IBGE (2014)).

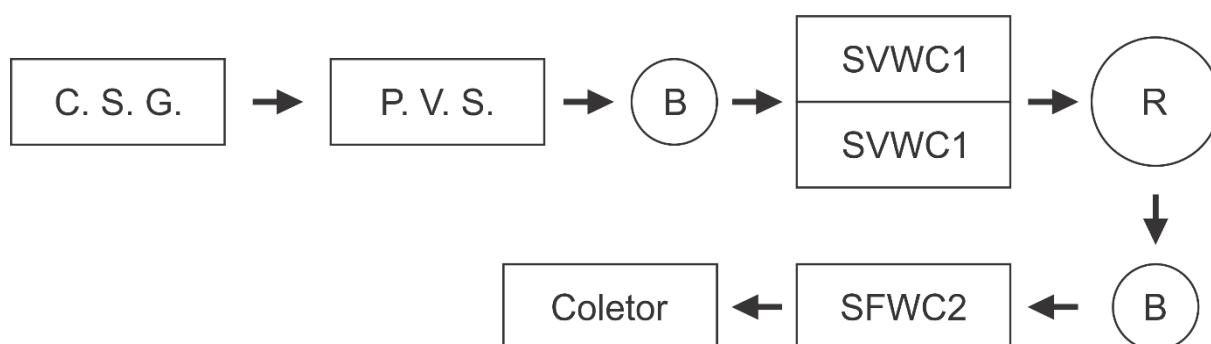
Figura 9 - Localização da unidade experimental

Fonte: Nunes (2018).

4.2. CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE EXPERIMENTAL

O sistema francês foi dimensionado conforme os critérios de Molle et al (2005), sendo constituído por dois leitos no primeiro estágio e um leito no segundo estágio, como demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma da estação experimental; C.S.G.= Caixa separadora de gordura; P.V.S. = Poço de visitação e sucção; B = Bomba centrífuga; SFWC1= Estágio 1 do sistema francês de wetland construído ; R= Reservatório; SFWC2= Estágio 2 do sistema francês de wetland construído.



Fonte: Autoria Própria (2021).

O esgoto bruto que alimentava o sistema foi coletado de uma caixa de passagem retentora de gordura, que recebia água residuária proveniente dos banheiros e cozinha do Restaurante Universitário da UTFPR.

A fim de se acumular um volume suficiente para a captação do esgoto através de bomba centrífuga, foi instalado um anteparo na saída da caixa de passagem, a bomba centrífuga possuía as seguintes características, 1/2 cv de potência e $Q_{\text{nominal}}=1500\text{L/h}$. A mesma era responsável por alimentar o primeiro estágio do sistema francês de wetland construído e por manter uma taxa hidráulica (T.H) de aplicação superficial inferior a $0,37\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ por leito em operação.

Sendo assim, por meio da área superficial de cada leito, aplicou-se uma vazão máxima de $0,1\text{ m}^3/\text{d}$, considerando as variações características de produção de esgoto deste tipo de instalação (R.U) foram aplicadas 4 bateladas de $0,025\text{m}^3$ cada ao longo do dia, sendo intercaladas por intervalos de 90 minutos, resultando em uma taxa hidráulica de aplicação de $0,088\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no primeiro estágio e $0,1\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ no segundo estágio.

O estágio 1 consistia em dois filtros que foram construídos em paralelo. A estrutura deste estágio era constituída por pneus automotivos, dando suporte a cada sistema. Cada filtro do primeiro estágio possuía largura de $0,90\text{m}$ e comprimento de $1,25\text{m}$, totalizando uma área superficial de $1,13\text{m}^2$. Seu leito era constituído por britas, conforme especificado na Tabela 2, sendo a Brita 1 a mais ao fundo e a Brita 0 na superfície.

Tabela 2 – Especificação da composição de cada maciço filtrante do wetland construído no primeiro estágio

Maciço Filtrante	Profundidade (m)	Diâmetro (mm)
Brita 1	0,10	9,5 – 19
Brita ½	0,25	5 – 12,7
Brita 0	0,20	4,5 – 9,5

Fonte: Autoria Própria (2021).

A macrófita escolhida para ser utilizada no sistema Francês de Wetland construído foi a *Helicônia rostrata*, conhecida popularmente como caeté, bananeira-do-brejo ou papagaio (Figura 11). Foram plantadas $6\text{ mudas}/\text{m}^2$ no primeiro estágio e

8 mudas/m² no segundo estágio, considerando sua rusticidade, características radiculares e ornamentação paisagística proporcionada por suas flores.

Figura 11 - Mudanças de *Helicônia rostrata* utilizadas no Wetland Construído



Fonte: Silva (2018).

4.3. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA WETLAND FRANCÊS

O sistema foi construído a partir de um outro wetland existente no local, onde foram aproveitados o material impermeabilizante de fundo e os suportes laterais de pneus automotivos. Como o sistema anterior era um wetland horizontal e o novo um wetland vertical, foi necessário alterar todo o sistema de drenagem, retirando o material filtrante (Figura 12).

Figura 12 – Remoção do material filtrante do sistema anterior (a) e (b) Remoção da areia utilizada como material filtrante; (c) Vista do leito com pouco material filtrante; (d) leito limpo após remoção de todo material filtrante.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Após a retirada do material filtrante que se encontrava no sistema, foi observado que era possível reutilizar o material impermeabilizante do fundo, acrescentando apenas mais uma camada de lona 200 micras em seu interior. Para a construção do sistema foram necessários os materiais apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Materiais usados na construção do primeiro estágio do sistema

Itens (primeiro estágio)	
32 pneumáticos automotivos	(Faissal, 2016)
22,4 m ² de tecido não tecido (TNT)	(Faissal, 2016)
36 m ² de Lona Plástica de Poliuretano (200 micra de espessura)	
Brita n° 1	
Brita n° 2	
Brita n° 3	
Arame galvanizado	(Faissal, 2016)
Cola adesiva para PVC	
13,6 metros de cano PVC 40 mm	
11 Conexões Hidráulicas	
Ferramentas	

A construção do sistema ocorreu construindo o sistema de drenagem do efluente, onde foram utilizados drenos com DN 40mm, como pode ser observado na Figura 13, depois foi feito o preenchimento do sistema com as britas (Figura 14) para então construir o sistema de alimentação do sistema, com tubulação DN 25mm (Figura 15).

Figura 13 – Construção do sistema de drenagem; (a) Colocação do dreno externo de saída do sistema; (b) Colocação do dreno interno de saída do sistema; (c) e (d) Construção do dreno de coleta; (e) Sistema de drenagem completo.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 14 – Preenchimento do sistema com material filtrante; (a) Preenchimento de fundo do leito com brita 1; (b) Preenchimento intermediário com brita ½; (c) Preenchimento total do leito completando com brita 0.

(a)



(b)



(c)



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 15 – Sistema de alimentação implantado e mudas plantadas.



Fonte: Autoria Própria (2020).

O estágio 2 foi constituído por um único maciço, sua estrutura era formada por tijolos de concreto e aço, dando suporte ao maciço, impermeabilizado com manta PEAD de 2 mm (Figura 16). Sua área superficial era de 1,0 m², com largura e comprimento de 1,0 m. Seu leito era constituído por britas e areia, sendo a brita 2 mais ao fundo e areia na superfície, conforme especificado na Tabela 4.

A construção do segundo estágio necessitou dos materiais apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Materiais Usados na Construção segundo estágio do sistema.

Item (Segundo estágio)	
Adap CT 25x3/4 Amanco	
BOMBA ICS 50AB 1/2cv mono	(Rodrigues, 2016)
Bucha red rosca 1x3/4 amanco	
Amanco adap curto 25x3/4	
Amanco bucha red 40x25 soldável	
Amanco flange 25x3/4	
Amanco joelho 90x25 soldável	
Amanco registro 25mm vazão soldável	
Astra válvula poço pvc 3/4	
Lixa ferro 100	(Rodrigues, 2016)
PVC brasil multi bucha red 50x40 esgoto	
PVC brasil multi te red 100x50 esgoto	
PVC brasil tubo 25 soldável	
PVC brasil tubo 40 esgoto	
Tigre cola 75 grs	
Tigre te 25 soldável	(Rodrigues, 2016)
Cotovelo 90 100mm	(Rodrigues, 2016)
Brita n° 2	(Rodrigues, 2016)
Brita n° 1	(Rodrigues, 2016)
Brita n° 0	(Rodrigues, 2016)
Areia	
Bloco de cimento	(Rodrigues, 2016)
Barra de ferro 12m	(Rodrigues, 2016)
Saco de cimento	(Rodrigues, 2016)
Manta asfáltica autocolante	(Rodrigues, 2016)
Cotovelo 40mm c anel	(Rodrigues, 2016)
Lona Plástica Dupla	(Rodrigues, 2016)
Caixa d'água	(Rodrigues, 2016)
Mangueira	

Figura 16 – Estrutura de tijolos de concreto e aço do Estágio 2 do Wetland construído.



Fonte: Autoria Própria (2020).

4.4. MONITORAMENTO DO SISTEMA

A operação do sistema francês era feita alternando a alimentação em cada leito do estágio 1, onde um leito era alimentado durante três dias consecutivos e, em seguida este leito entrava em fase de repouso e a alimentação passava para o leito seguinte durante três dias (aos domingos não há produção de efluente pelo R.U.).

A rotina de análises físico químicas foi conduzida segundo (APHA, 2005) por amostragem simples, coletadas uma vez por semana, na entrada e saída de cada estágio durante a aplicação das bateladas. Os parâmetros considerados foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO; 5220D), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK; 4500-N org B), Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄⁺; 4500-NH₃ C), Nitrato (N-NO₃⁻; 4500-NO₃-B), pH (4500-H +B), Alcalinidades Total (2320B), Sólidos Totais (ST; 2540D) e Sólidos Suspensos (SS; 2540B).

As características médias do efluente do RU, bem como a verificação das cargas aplicadas de projeto estão na Tabela 5.

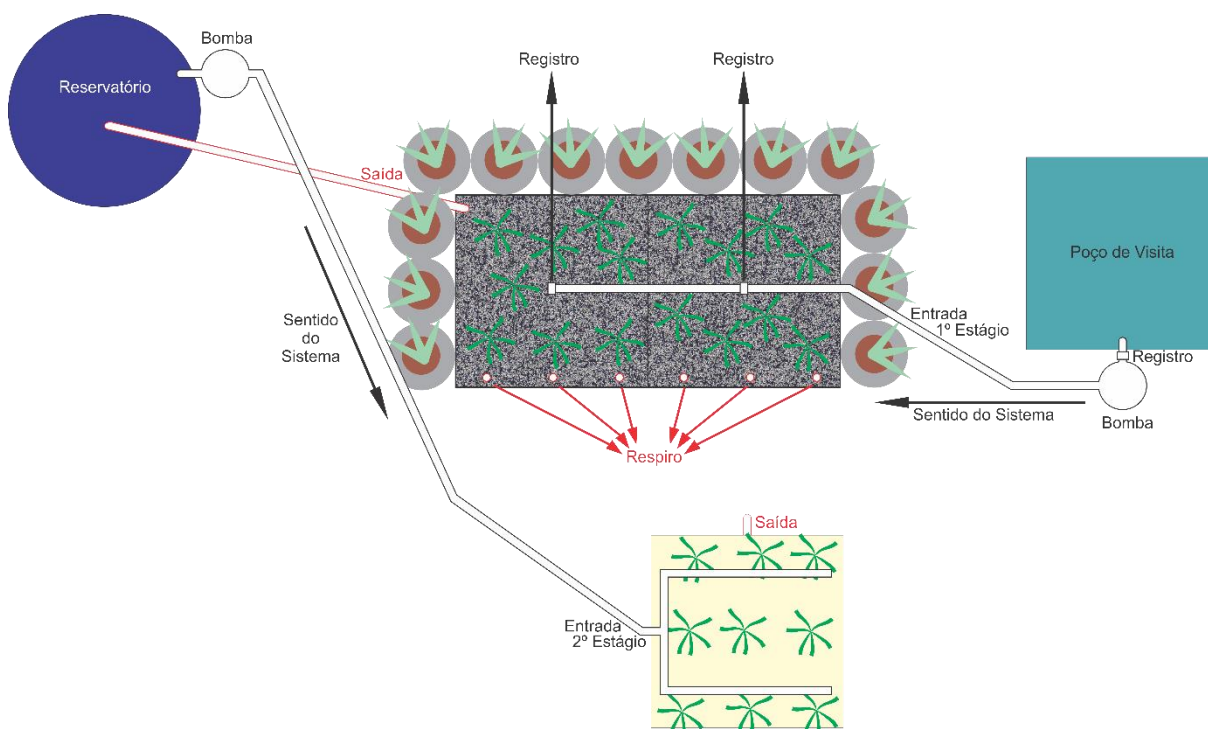
Tabela 5 – Verificação de cargas aplicadas ao sistema no primeiro estágio.

Parâmetro	Limite (g/m ² d)	Efluente RU (mg/L).(*)	Carga aplicada teórica (g/m ² d).
DQO	350	753 ± 201	66,6 ± 17,8
SST	150	164,4 ± 153,5	14,5 ± 13,6
NTK	30	82,2 ± 27,2	7,3 ± 2,4

Fonte: De Carvalho Junior (2018).

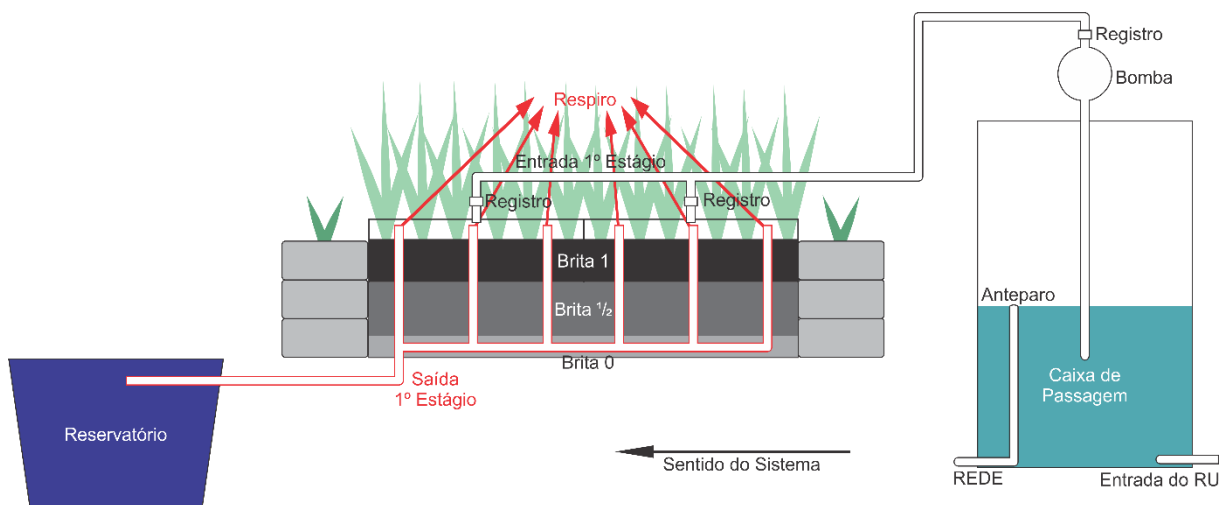
O efluente do primeiro estágio foi acumulado em um reservatório com capacidade de 350L para posteriormente ser bombeado ao segundo estágio de acordo com as mesmas condições operacionais do primeiro. Uma profundidade de saturação (H) era mantida em 0,25m no segundo estágio para manter um ambiente anóxico e favorecer a remoção de nitrogênio total. No período de recesso o sistema foi abastecido com água limpa para o desenvolvimento das mudas plantadas.

Nas Figuras 17 e 18, é possível visualizar o esquema de funcionamento e demais detalhes do sistema construído.

Figura 17 - Esquema de funcionamento do sistema Wetland Construído Francês nos dois estágios – Esquema da Vista Superior.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 18 – Esquema de funcionamento do sistema Wetland Construído Francês no primeiro estágio – Esquema da Seção Transversal.



Fonte: Autoria Própria (2020).

4.5. DIMENSIONAMENTO DE UM WETLAND FRANCÊS PARA ATENDER TODA DEMANDA DO RU

Considerando o sistema francês como alternativa viável, em relação às convencionais como lagoas e lodos ativados, por exemplo, para realizar o tratamento de todo efluente gerado no restaurante universitário do campus de Londrina, foi efetuado respectivo pré-dimensionamento e análise preliminar e custos de implantação.

Considerando que o restaurante serve em média 800 refeições por dia, e cada refeição tem uma geração aproximada de 25L (NUVOLARI, 2003), temos uma geração de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ de efluente com carga.

Para encontrar o valor da carga aplicada (λ), calculada pela Equação 1, foram considerados os valores de carga da DBO_{afiu} de $400 \text{ mg} \cdot \text{L} \cdot \text{dia}^{-1}$ de DBO e vazão de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$.

$$\lambda = Q * C \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

λ = Carga Aplicada ($\text{g} \cdot \text{dia}^{-1}$);

Q = Vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$) e

C = Concentração ($\text{g} \cdot \text{m}^3$).

Substituindo os valores de concentração da DBO_{afiu} na equação, tem-se:

$$\lambda = 8kgDBO.d^{-1}$$

Para calcular o Equivalente Populacional (E.P) foi utilizada carga de DBO do restaurante de 8 kg DBO.d⁻¹ e de acordo com Von Sperling (2000) um CPC de DBO de 54 g DBO/hab.d. O equivalente populacional (E.P) foi calculado pela Equação 2.

$$EP = \frac{\text{carga de DBO} \left(\frac{kg}{d} \right)}{\text{CPC de DBO} \left(\frac{kg}{hab} * dia \right)} \quad \text{Equação (2)}$$

Substituindo os valores na equação, obteve-se: EP = 150 Habitantes.

Conforme os critérios de Molle et. al (2005) para wetlands tipo francês, é preciso uma área de 1,2 m² por EP, dividido em 3 unidades idênticas no primeiro estágio e 0,8 m² por EP, dividido em 2 unidades iguais no segundo estágio.

Assim, seriam necessárias três unidades de 60 m² para o primeiro estágio, com uma área total de 180 m² e mais duas de 60 m² para o segundo estágio (Figura 19).

Figura 19 - Dimensões do wetland francês para atender todo efluente gerado pelo restaurante universitário.



Fonte: Garcia (2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

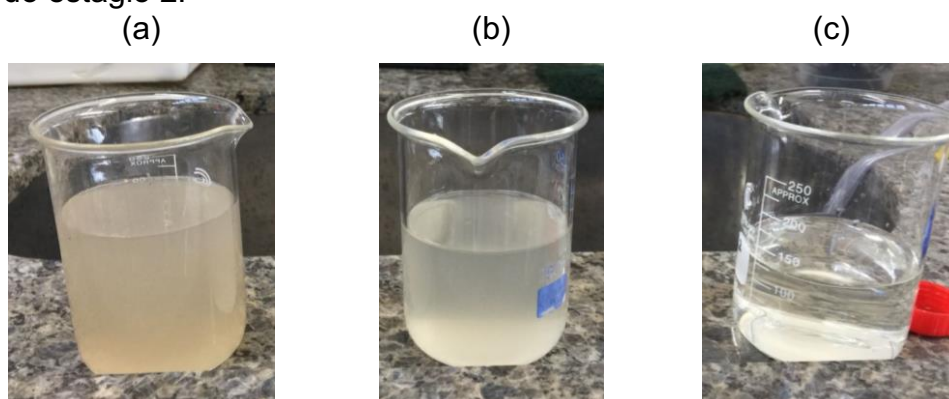
5.1. MONITORAMENTO DO WETLAND

Como o término da construção do sistema se deu no final do semestre, o foco do trabalho ficou em concluir a construção do sistema e fazer as análises preliminares, sendo monitorado o sistema por apenas três semanas.

Com a implantação do sistema Wetland Construído do tipo Francês procurou-se mostrar a eficiência do tratamento de esgoto através da conversão e remoção de NTK e nitrogênio amoniacal, que foram analisados a partir das amostras coletadas.

O efluente tratado consistia em esgoto sanitário do Restaurante Universitário da UTFPR, campus Londrina, o qual é composto por efluentes dos banheiros e da cozinha. A aparência visual variava diariamente, pois os componentes nele presentes dependiam do tipo de alimento preparado pelo restaurante, o fluxo diário, o tempo de permanência do efluente na caixa de gordura e na caixa de passagem. A partir da análise de cor aparente do efluente, é possível verificar clarificação do esgoto após os estágios 1 e 2, respectivamente. (Figura 20).

Figura 20 – Comparação do efluente na entrada e saídas do primeiro e segundo estágios do Wetland Construído; (a) Esgoto bruto; (b) Efluente do Estágio 1; (c) Efluente do estágio 2.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Em todas as amostras coletadas foi analisado o pH, encontrando um valor médio do efluente bruto de 5,89 e após a passagem pelo primeiro estágio do Wetland Construído um valor médio de 6,26 e após a passagem pelo segundo estágio do sistema uma média de 6,36. Na Tabela 8, podemos observar que os valores médios do efluente do sistema após o primeiro estágio é praticamente constante, enquanto o afluente possui uma variação maior.

Tabela 6 – Valores de pH analisados

Amostra	1	2	3
Esgoto Bruto	5,81	5,13	6,72
Após Estágio 1	6,26	6,22	6,31
Efluente Final	6,50	6,44	6,14

Fonte: Aatoria Própria (2020).

O parâmetro de lançamento em mananciais do CONAMA determina que os valores de pH devem estar entre 5 e 9, portanto pelo pH o efluente encontra-se dentro do parâmetro.

A alcalinidade é um outro parâmetro que foi analisado em todas as amostras, onde foram encontrados valores que variaram de 3,02 a 9,56 no afluente bruto, de 6,61 a 7,60 no efluente do primeiro estágio e de 4,34 a 5,00 no efluente final.

Pode-se observar na Tabela 9 que a alcalinidade após passar pelos sistemas mostrou-se com pouca variação, visto que a amostra bruta possuía uma grande variação nos valores encontrados.

Tabela 7 – Valores de alcalinidade analisados

Amostra	1	2	3
Esgoto Bruto	3,02	6,76	4,45
Após Estágio 1	5,42	7,60	4,34
Efluente Final	9,56	6,61	5,00

Fonte: Aatoria Própria (2020).

Conforme mostra a Tabela 10, podemos observar que a eficiência na remoção do nitrogênio total do efluente melhorou da primeira análise até a última, indo de 35,52% para 61,66% no primeiro estágio e de 92,34% para 95,56% no segundo estágio, com médias de 48,45% e 93,91% para o primeiro e segundo estágio, respectivamente.

Tabela 8 – Nitrogênio total

Amostra	Entrada (mg/L)	Primeiro Estágio (mg/L)	Remoção (%)	Segundo Estágio (mg/L)	Remoção Total (%)
1	61,58	39,71	35,52	4,71	92,34
2	119,76	62,07	48,17	7,75	93,53
3	145,90	55,94	61,66	6,04	95,56

Fonte: Autoria própria (2020).

Essa alteração na melhoria da eficiência de remoção de nitrogênio pode se dar a presença de microrganismos que estão se adaptando ao sistema, auxiliando na fixação do nitrogênio para as plantas do sistema.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como foco a construção do sistema wetland do tipo francês. Com os estudos preliminares realizados, foi possível observar que o pH e alcalinidade do efluente final ficaram próximos à faixa ótima para tratamento biológico.

Mesmo o sistema estando em fase inicial, apresentou boa eficiência na remoção dos poluentes analisados, sendo viável como opção para tratamento descentralizado de água residuária. Sua construção será que grande valia para futuros estudos, possibilitando análises mais detalhadas do seu funcionamento e eficiência.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, Sérgio Silva. **Tratamento de água residuária de laticínios em sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras**. 2006. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- AFONSO, Wendel de Oliveira; BIASUTTI, Eliza Augusta Rolim; CASTRO, Vinicius de Moro; SILVA, Viviane Dias Medeiros; SILVESTRE, Marialice Pinto Coelho. **Utilização do Soro de Leite Visando Reduzir a Poluição Ambiental: Hidrólise pela pancreatina**. TECNO-LÓGICA. Santa Cruz do Sul, v.12, n. 2, p. 7-16, jul./dez. 2008.
- ALBOLD, Andrea; WENDLAND, Cláudia; MIHAYLOVA, Bistra; ERGÜNSEL, Alp; GALT, Hilda. **Constructed Wetlands**. Women in Europe for a Common Future. 2011. 21p.
- ALMEIDA, Rogério de Araújo; UCKER, Fernando Ernesto. **Considerando a evapotranspiração no cálculo de eficiência de tratamento de esgoto com plantas**. Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v.8, n. 4, p. 39-45, out./dez. 2011.
- CAPUTO, Homero. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações: Fundamentos**. 6. ed., v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- CARDOSO, Mariane Libório. **Tratamento De Efluente De Laticínio Por Sistema Alagado Construído Híbrido**. 2015. 83f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.
- CARVALHO, Gladyston Rodrigues, YAMAGUCHI, Luiz Carlos Takao, COSTA, Cláudio Napolis, HOTT, Marcos Cicarini. **Leite: Análise de produtividade**. Revista **Agroanalysis**, vol. 27, n. 09, p. 19-21, set. 2007. Disponível em: <<http://www.agroanalysis.com.br/9/2007/mercado-negocios/leite-i-analise-da-produtividade>>. Acesso em: 06 abr. 2017.
- CARVALHO, Gladyston Rodrigues. **A indústria de laticínios no Brasil: passado, presente e futuro**. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, Circular Técnica 102, 2010. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/24349/1/CT-102.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2017.
- CETESB. **Produtos Lácteos**. Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos - Série P+L. São Paulo, 2006. 95 p
- CONAB – Conjuntura Nacional de Abastecimento. **Leite e Derivados**. Conjuntura mensal, mar. 2016.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

CRUZ, Juliana de Mattos; SCHRÖDER, Nádya Teresinha. **Dimensionamento de um Sistema Wetland Construído para Tratamento de Esgoto Sanitário em uma Empresa**. In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 9, 2014, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: Energia e Ambiente, 2014. p. 1-15.

DE CARVALHO JUNIOR, Orlando de et al. **Nitrogen Removal in a Partially Saturated Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland Used for Restaurant Wastewater Treatment**. Journal of Environmental Engineering, [s.l.], v. 144, n. 7, p.04018042-00, 18 abr. 2018. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0001384](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001384).

DOLABELLA, Rodrigo Hermeto Corrêa. **Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal (RIISPOA)**. Nota Técnica: Câmara dos Deputados. Brasília, 2012.

FAISSAL, André Abou. **Sistema Construtivo Alternativo para Wetland de fluxo horizontal empregado no tratamento de esgoto de Restaurante Universitário**. 2016. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

FAVORET FILHO, Paulo. **Evolução do crédito rural e tributação sobre alimentos na década de 1990: implicações sobre as cadeias de aves, suínos e leite**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 31-56, set. 2002

FIGUEIREDO, Bruna Alinne Clasen de. **Proposta de Produção Mais Limpa: Estudo de caso em uma indústria de laticínios**. 2014. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Apostila de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente/UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004. Disponível em: <<http://72.29.69.19/~nead/disci/gesamb/doc/mod7/2.pdf>>. Acesso em: 04 maio. 2017.

HENARES, J. F. **Caracterização do Efluente de Laticínio: análise e proposta de tratamento**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

HOFFMANN, Heike; PLATZER, Christoph; WINKER, Martina; VON MUENCH, Elizabeth. **Technology review of constructed wetlands**. Eschborn, Germany: Sustainable sanitation - ecosan program, 2011. 35p.

INDICADORES IBGE: **Estatística da produção pecuária**. Rio de Janeiro: IBGE. 2016.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D. **Treatment Wetlands**. 2. ed. Florida, USA: CRC Press, 2009. 1016 p.

LIÉNARD, A., 1987. **Domestic wastewater treatment in tanks with emergent hydrophytes: latest results of a recent plant in France.** *Water Sci. Technol.* 19(12), 373–375.

MORVANNOU, A.; FORQUET, N.; MICHEL, S.; TROESCH, S.; MOLLE, P. **Treatment performances of French constructed wetlands: results from a data base collected over the last 30 years.** *Water Science & Technology*, vol. 71.9, 2015.

MATOS, Antonio T de.; ABRAHÃO, Sérgio S.; LO MONACO, Paola A. V.; SARMENTO, Antover P.; MATOS, Mateus P. de. **Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 12, p. 1311-1317, 2010.

MELLO, Débora de. **Avaliação do uso de sistemas de wetlands construídas no tratamento de esgotos sanitários.** Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Processos Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MELO, Josué Fabiano; LINDER, Elfride Anrain. **Dimensionamento comparativo lagoas versus wetlands para o tratamento de esgoto em bairro de Campos Novos, SC.** *Unoesc & Ciência – ACET*, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 181-196, jul./dez. 2013.

MENDONÇA Henrique Vieira; RIBEIRO Celso Bandeira de Melo; BORGES Alisson Carraro; BASTOS Ronaldo Rocha. **Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas.** *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. Vol. 7, n. 2, p. 75-87. Taubaté, 2012.

MENDONÇA Henrique Vieira; RIBEIRO Celso Bandeira de Melo; BORGES Alisson Carraro; BASTOS Ronaldo Rocha. **Sistemas Alagados Construídos em Batelada: remoção de demanda bioquímica de oxigênio e regulação de pH no tratamento de efluentes.** *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. Vol. 10, n. 2, p. 442-453. Taubaté, 2015.

OMIL Francisco; GARRIDO Juan M.; ARROJO, Belén; MENDEZ Rámon. **Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale.** *Water Research*. v. 37 p.4099-4108. 2003

PAOLI, André Cordeiro de; VON SPERLING, Marcos. **Avaliação das condições hidrodinâmicas de wetlands construídos de escoamento horizontal subsuperficial (unidades plantada e não plantada).** *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*. v. 1, n. 2, p. 213-222, 2013.

PARANÁ. **Análise da conjuntura agropecuária.** SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento: Curitiba, 2014.

PARENTE, Antonio Hélder; SILVA, Elcio Alves de Barros e. **Redução de efluentes líquidos na indústria alimentícia.** *Revista Química & Tecnologia*, Recife, v. 1, n. 1, jul./dez. 2002.

PELISSARI, Catarine. **Tratamento de Efluente Proveniente da Bovinocultura de Leite Empregando Wetlands Construídos de Escoamento Subsuperficial**. 2013. 147f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PELISSARI, Catiane; SEZERINO, Pablo Heleno; DECEZARO, Samara Terezinha; WOLFF, Delmira Beatriz; BENTO, Alessandra Pellizzaro; CARVALHO JUNIOR, Orlando de; PHILIPPI, Luiz Sérgio. **Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil**. Ecological Engineering. v. 73, 2014.

PLATZER, Christoph. **Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification**. Water Science Technology, v. 40, n. 3, p. 257-263, 1999.

PROBIO. **São Carlos**. Disponível em:
<http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html> Acesso em 17 jul. 2018.

PRODUÇÃO DA PECUÁRIA MUNICIPAL. **Rio de Janeiro: IBGE**. v. 43, 2015. Disponível em:
<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015_v43_br.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2017.

SALATI, Eneas. **Controle de qualidade da água através de sistemas wetlands construídos**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:
<http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/Controle_Qualid_Agua_Wetlands_ES_out06.pdf>. Acesso em 04 maio. 2017.

SARAIVA, Claudety Barbosa. **Potencial Poluidor de um Laticínio de Pequeno Porte: Um estudo de caso**. 2008. 80f. Mestrado (Ambiental (Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SEZERINO, Pablo Heleno; PHILIPPI, Luiz Sérgio. **Filtro plantonado com macrófitas (wetlands) como tratamento de esgotos em unidades residenciais – critérios para dimensionamento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Alagoas.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós- tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. 2006. 171f Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SHAMIR, Eylon; THOMPSON, Thomas L.; KARPISCAK, Martin M.; FREITAS, Robert J., ZAUDERER, Jeffrey. **Nitrogen accumulation in a constructed wetland for dairy wastewater treatment**. Journal of the American Water Resource Association, v. 37, n. 2, p. 315-325, 2001.

SHUTES, Brian. **The use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Selangor, Malaysia: Wetlands International, 2003.

SILVA, Ana C. F. M. da; PATERNIANI, José E. S.; ROSTON, Denis M.; FERNANDES, Taciano B. **Tratamento de resíduo líquido de laticínios utilizando Caixas de Gordura e Reator Anaeróbio Compartimentado seguido de Leitos Cultivados**. Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 7, n. 3, p. 21-30, set. 2015.

SILVA, Danilo José P. da. **Resíduos na indústria de laticínios**. 2011. 21f. Série Sistema de Gestão Ambiental (Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SILVA, Rafael Garcia. **Dimensionamento e construção de um wetland construído tipo francês para tratamento do efluente de um restaurante universitário**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em engenharia ambiental e sanitária). - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

SOUZA, Joel José de. **Notas sobre a indústria de laticínios no Brasil e seu processo de formação perante a economia mundial**. 2013. Disponível em: <<https://www.seer.furg.br/cnau/article/view/4768/2969>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

USEPA – United States Environmental Protection Agency.(2004) **Constructed treatment wetlands**. EPA 843-F-03-013.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e o Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 243p. v. 1. 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. **Grupo de Estudos em Sistemas Wetlands Construídos Aplicados ao Tratamento de Águas Residuárias Publicação online Boletim Wetlands Brasil**. Edição Especial, dez, 2018.

VYMAZAL, J. **The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater**. ScienceDirect. v. 35, p. 1-17, 2009.

VYMAZAL J. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience**. Environ Sci Technol. Vol 45. p. 61-69, 2011.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Valores Gastos com Materiais.

Item (Primeiro estágio)	Unidades	Valor R\$
Tecido não tecido (TNT)	22,4 m ²	45,00
Lona Plástica de Poliuretano (200 micra de espessura)	36 m ²	72,00
Brita n° 1	0,3 m ³	30,00
Brita n° 1/2	0,6 m ³	60,00
Brita n° 0	0,5 m ³	50,00
BOMBA ICS 50AB 1/2cv mono	1	190,00
Arame galvanizado	11 m	10,00
Tigre cola 75 grs	1	9,00
Cano PVC 40 mm	16,6 m	72,00
Tê de PVC 40mm	7	49,00
Amanco registro 40mm vazão soldável	3	94,50
Cotovelo 90 40mm	4	14,00
Item (Segundo estágio)	Unidades	Valor R\$
Adap CT 25x3/4 Amanco	4	2,56
BOMBA ICS 50AB 1/2cv mono	1	190,00
Bucha red rosca 1x3/4 amanco	4	7,36
Amanco adap curto 25x3/4	4	3,60
Amanco bucha red 40x25 soldável	1	1,90
Amanco flange 25x3/4	2	18,00
Amanco joelho 90x25 soldável	3	2,88
Amanco registro 25mm vazão soldável	1	15,00
Astra válvula poço pvc ¾	1	16,00
Lixa ferro 100	1	3,00
PVC brasil multi bucha red 50x40 esgoto	1	0,70
PVC brasil multi te red 100x50 esgoto	1	5,50
PVC brasil tubo 25 soldável	12m	21,60
PVC brasil tubo 40 esgoto	6m	16,20
Tigre cola 75 grs	1	9,00
Tigre te 25 soldável	1	1,70
Cotovelo 90 100mm	1	3,50
Brita n° 2	0,1 m ³	10,00
Brita n° 1	0,2 m ³	20,00
Brita n° 0	0,2 m ³	20,00
Areia	0,2 m ³	22,00
Bloco de cimento	50	110,00
Barra de ferro 12m	2	19,60
Saco de cimento	2	48,00
Manta asfáltica auto colante	1	79,90
Cotovelo 40mm c anel	2	5,00
Lona Plástica Dupla	5 m ²	10,00
Caixa d'água	310 L	160,00
Mangueira	5 m	40,00
TOTAL	X	1.558,00

ANEXOS

Anexo 1

Diferença de custos (%) entre os arranjos lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa anaeróbia seguida de wetlands construído.

População	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa (R\$)	Lagoa Anaeróbia + Wetlands Construído (R\$)	Diferença de custo (%)
1000	192004,7072	200619,8417	4,29
1200	222453,7748	237122,628	6,18
1400	253745,2771	274821,7144	7,67
1600	284723,8015	312375,2806	8,85
1800	315446,5565	349861,337	9,84
2000	345955,1833	387353,7733	10,69
2200	376281,1214	424735,0897	11,41
2400	406448,7878	462074,626	12,04
2600	437477,6086	500377,5123	12,57
2800	466383,3451	536647,9186	13,09
3000	496178,9501	573952,145	13,55
3200	525875,2973	611167,2813	13,96
3400	555481,5397	648358,6277	14,32
3600	585005,5303	685528,2639	14,66
3800	614454,0399	722677,9803	14,98
4000	643832,9518	759872,2266	15,27
4200	673147,4137	796986,553	15,54
4400	702401,9958	834085,0793	15,79
4600	731600,732	871168,8656	16,02
4800	760747,2257	908238,8619	16,24
5000	789844,7067	945295,9183	16,44
5200	818896,0991	982403,7147	16,64
5400	847904,0226	1019437,131	16,83
5600	876870,8887	1056459,717	17,0
5800	905798,8632	1093472,034	17,16
6000	934689,9443	1130474,61	17,32
6200	963545,9689	1167467,936	17,47
6400	992368,6162	1204452,453	17,61
6600	1021159,389	1241491,419	17,75
6800	1049919,905	1278459,596	17,88
7000	1078651,233	1315419,971	18,0
7200	1107354,785	1352373,048	18,12
7400	1136031,706	1389319,124	18,23
7600	1164682,989	1426258,401	18,34
7800	1193309,672	1463191,177	18,44
8000	1221912,747	1500180,653	18,55
8200	1250492,962	1537101,13	18,65
8400	1279051,328	1574015,906	18,74
8600	1307588,518	1610925,082	18,83
8800	1336105,272	1647828,859	18,92
9000	1364602,299	1684727,435	19,0
9200	1393080,182	1721620,912	19,08
9400	1421539,676	1758509,587	19,16
9600	1449981,313	1794456,464	19,20
9800	1478405,601	1832335,84	19,32
10000	1506813,029	1869210,717	19,39

Fonte: Rosa (2014).

Anexo 2

Comparativo entre vários sistemas de tratamento de efluente.

Sistema	Idade do lodo θ_c (dia)	Qualidade esperada do efluente (mg/L)			Produção de lodo			Tipo de lodo	Custo de implantação (R\$/hab)	Energia para aeração (kWh/hab.ano)	Demanda de área (m ² /hab)	Fluxograma
		DBO ₅	SST	N-amoniacal	gSS/hab.d	g lodo/hab.d ^(a)	L lodo/hab.d ^(a)					
1a	< 3	≤ 30	≤ 30	> 15	35 a 40	140 a 160	0,14 a 0,16	Digerido	100 a 130 ^(b)	10 a 15	0,03 a 0,10	9.1
1b	4 a 7	≤ 30	≤ 30	> 15	30 a 35	120 a 140	0,12 a 0,14	Digerido	130 a 180 ^(b)	18 a 22	0,03 a 0,10	9.1
2	-	≤ 30	≤ 30	> 15	35 a 40	140 a 160	0,14 a 0,16	Digerido	120 a 150 ^(b)	-	0,03 a 0,10	9.2
3	18 a 30	≤ 20	≤ 40	< 5	38 a 43	150 a 170	0,15 a 0,17	Estabilizado ^(f)	70 a 100 ^(c)	33 a 37	0,03 a 0,10	9.3
4	1,5 a 2	≤ 30	≤ 30	> 15	60 a 65 (nota g)	(nota g)	(nota g)	Não digerido ^(g)	90 a 110 ^(b)	13 a 17	0,02 a 0,05	9.4
5a	< 4	≤ 30	≤ 30	> 20	22 a 30	90 a 120	0,09 a 0,12	Digerido	70 a 100 ^(d)	5 a 7	0,03 a 0,10	9.5
5b	~ 7	≤ 20	≤ 30	< 5	19 a 27	76 a 110	0,08 a 0,11	Digerido	80 a 110 ^(d)	15	0,03 a 0,10	9.5
6	-	≤ 30	≤ 30	> 20	25 a 30	100 a 120	0,10 a 0,12	Digerido	60 a 90 ^(e)	-	0,03 a 0,10	9.6
7	-	≤ 30	≤ 30	> 20	25 a 30	100 a 120	0,10 a 0,12	Digerido	70 a 120 ^(e)	-	0,03 a 0,10	9.7
8	-	≤ 30	≤ 30	> 20	25 a 30	100 a 120	0,10 a 0,12	Digerido	65 a 100 ^(e)	5 a 7	0,03 a 0,10	9.8
9	-	≤ 30	≤ 40	> 25	15 a 25 ^(h)	60 a 100 ^(h)	0,06 a 0,10 ^(h)	Digerido ^(a)	65 a 100 ^(e)	20 a 24	0,40 a 0,70	9.9
10	-	≤ 30	≤ 40	> 25	20 a 25 ⁽ⁱ⁾	80 a 100 ⁽ⁱ⁾	0,08 a 0,10 ⁽ⁱ⁾	Digerido ⁽ⁱ⁾	60 a 90 ^(e)	7 a 9	0,20 a 0,30	9.10
11	-	≤ 60	≤ 60	> 20	15 a 20	60 a 80	0,06 a 0,08	Digerido	40 a 70 ^(e)	0	1,0 a 1,5	-
12	-	≤ 60	≤ 40	> 25	15 a 25	60 a 100	0,06 a 0,10	Digerido	40 a 60 ^(e)	0	0,03 a 0,10	-
13	-	≤ 40	≤ 20	> 25	33 a 40	130 a 160	0,13 a 0,16	Digerido	60 a 80 ^(e)	8 a 12	0,03 a 0,10	-
14	-	≤ 30	≤ 30	> 20	10 a 15	40 a 60	0,04 a 0,06	Digerido	40 a 70 ^(e)	0	1,5 a 3,0	-
15	-	≤ 20	≤ 20	> 20	10 a 15	40 a 60	0,04 a 0,06	Digerido	60 a 90 ^(e)	0	0,8 a 1,2	-
16	-	≤ 20	≤ 20	> 15	10 a 15	40 a 60	0,04 a 0,06	Digerido	70 a 100 ^(e)	0	3,0 a 5,0	-
17	-	≤ 20	≤ 20	> 15	10 a 15	40 a 60	0,04 a 0,06	Digerido	70 a 100 ^(e)	0	3,0 a 5,0	-

- Sistema 1: ETE convencional com sistema de lodos ativados (com decantador primário, tanque de aeração e decantador secundário, adensador de lodo e digestor anaeróbio)
- Sistema 2: ETE convencional com filtro biológico de alta taxa (com decantador primário, filtro biológico e decantador secundário, adensador de lodo e digestor anaeróbio)
- Sistema 3: ETE com sistema de lodos ativados por aeração prolongada ($\theta_c = 18$ a 30 dias, sem decantador primário)
- Sistema 4: ETE com sistema de lodos ativados de alta taxa ($\theta_c = 1,5$ a 2,0 dias), sem decantador primário e sem digestor de lodo; tanque de aeração com oxigênio puro, ou através de poço profundo tipo deep shaft)
- Sistema 5: ETE com reator UASB seguido de sistema de lodos ativados
- Sistema 6: ETE com reator UASB seguido de filtro biológico de alta taxa
- Sistema 7: ETE com reator UASB seguido de filtro aerado submerso ou biodisco (sem nitrificação)
- Sistema 8: ETE com reator UASB e biofiltro aerado submerso, com material de enchimento granular (sem nitrificação) e sem decantador secundário
- Sistema 9: ETE com lagoas aeradas aeróbias (mistura completa) seguidas de lagoas de decantação
- Sistema 10: ETE com reator UASB seguido de lagoa aerada aeróbia (mistura completa) e de lagoas de decantação
- Sistema 11: ETE com reator UASB seguido de lagoa de polimento
- Sistema 12: ETE com reator UASB seguido de filtro anaeróbio
- Sistema 13: ETE com reator UASB seguido de flotação por ar dissolvido
- Sistema 14: ETE com reator UASB seguido de escoamento superficial no solo
- Sistema 15: ETE com reator UASB seguido de vala de filtração
- Sistema 16: ETE com reator UASB seguido de terras úmidas (wetlands)
- Sistema 17: ETE com reator UASB seguido de escoamento subsuperficial