

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

THAYNA PONTES BARRETO

**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR MEIO DE SISTEMA
WETLAND CONSTRUÍDO SEGUIDO DE FILTRAÇÃO LENTA**

Goiânia, GO
2019

THAYNA PONTES BARRETO

**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR MEIO DE SISTEMA
WETLAND CONSTRUÍDO SEGUIDO DE FILTRAÇÃO LENTA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga.

Goiânia, GO
2019

B273t Barreto, Thayna Pontes.

Tratamento de efluente sanitário por meio de sistema *wetland* construído seguido de filtração lenta / Thayna Pontes Barreto. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.
54f. : il.

Orientador: Prof. Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso Bacharelado em Engenharia Civil,
Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Tratamento de efluente. Água – reuso. 3. Sistema alagado construído. I. Pitaluga, Douglas Pereira da Silva (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 628.16

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Thayna Pontes Barreto

Matrícula: 20141011050180

Título do Trabalho: Tratamento de esgoto sanitário por meio de sistema *wetland* construído seguido de filtração lenta

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: __/__/__

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;

obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 13 / 12 / 2019.

Local

Data

Thayna Pontes Barreto

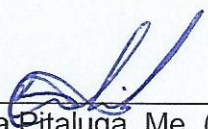
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

THAYNA PONTES BARRETO

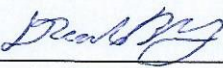
**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR MEIO DE SISTEMA
WETLAND CONSTRUÍDO SEGUIDO DE FILTRAÇÃO LENTA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás,
Campus Goiânia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

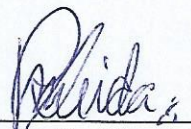
Aprovado em 12 de dezembro de 2019:



Douglas Pereira da Silva Pitaluga, Me. (IFG)
(Orientador)



Dalcio Ricardo Botelho Alves, Dr. (IFG)



Rogério de Araújo Almeida, Dr. (UFG)

Goiânia, GO
2019

DEDICATÓRIA

A Deus, minha maior força nos momentos difíceis. Minha família e amigos pelo incentivo e compreensão. Aos professores, pelo conhecimento transmitido e dedicação ao longo da jornada.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho ocorreu, principalmente, pelo auxílio, compreensão e dedicação de várias pessoas. Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste estudo e, de uma maneira especial, agradeço:

- ao meu orientador Douglas Pereira da Silva Pitaluga, pela confiança depositada, dedicação e pela orientação;

- a Jéssica Rodrigues, Layane Rogrigues e Marcelo Jardim pelo auxílio em todas atividades práticas;

- ao professor Emiliano Lobo de Godoi pela solicitude, compreensão e incentivo dedicados a mim e à minha pesquisa;

- aos professores Sandro Pimenta e Marta Araújo pela disponibilidade, paciência e todo apoio na realização das análises e interpretação dos resultados;

- à minha família e amigos, que souberam entender minha ausência em momentos importantes para nós;

Enfim, a todos aqueles que fizeram parte dessa longa trajetória em busca de conhecimento e que são essenciais na minha vida.

RESUMO

TRATAMENTO DE EFLUENTE DE ESGOTO SANITÁRIO POR FILTRAÇÃO COM SOLO

AUTORA: Thayna Pontes Barreto

ORIENTADOR: Douglas Pereira da Silva Pitaluga

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento do solo na filtração de efluente tratado pelo sistema *wetland* construído para fins de reuso. As atividades foram desenvolvidas na Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgotos com Plantas, Campus I da Universidade Federal de Goiás, caracterizando o afluente e efluentes desse sistema para comparação dos resultados das análises com as normativas de águas de reuso. Nas análises foram avaliados os parâmetros de cor aparente, turbidez, temperatura, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, pH, dureza, alcalinidade, cloretos, coliformes totais e coliformes termotolerantes. O sistema *wetland* construído é constituído de um tanque de equalização e um tanque séptico que encaminham afluente a um leito preenchido com brita #0, cultivado com macrófita do tipo *Typha latifolia* L., seguido por filtro lento de solo. Após a estabilização do sistema, realizaram-se duas coletas de amostras simples em três pontos definidos, sendo uma amostra de afluente, uma amostra de efluente do leito com plantas e uma amostra do efluente do filtro lento. O leito com planta apresentou percentual de remoção médio de cor aparente de (62%), sólidos suspensos totais (79%), sólidos dissolvidos totais (29%), condutividade elétrica (62%), demanda química de oxigênio (69%), oxigênio dissolvido (4%), alcalinidade (46%) e cloretos (38%). O filtro contribuiu na remoção média de sólidos suspensos totais (75%), dureza (4%), alcalinidade (4%), coliformes totais (22%) e coliformes termotolerantes (22%). Após análises, o efluente tratado por filtração lenta não está em conformidade com as normativas de reuso de águas.

Palavras-chave: Filtração lenta. Reuso de água. Sistema *wetland* construído.

ABSTRACT

WASTEWATER EFFLUENT TREATMENT BY SOIL FILTRATION

AUTHOR: Thayna Pontes Barreto

ADVISOR: Douglas Pereira da Silva Pitaluga

The present work aimed to evaluate the soil behavior in the effluent filtration treated by the wetland system built for reuse purposes. The activities were developed at the Station for Research on Wastewater Treatment with Plants, Campus I of the Federal University of Goiás, characterizing effluents of this system to compare the results of the analyzes with the normatives of reuse water. The parameters of apparent color, turbidity, temperature, total suspended solids, total dissolved solids, electrical conductivity, chemical oxygen demand, dissolved oxygen, pH, hardness, alkalinity, chlorides, total coliforms and thermotolerant coliforms were evaluated. The constructed wetland system consists of an equalizing tank and a septic tank that feed the tributary to a # 0, grown with *Typha latifolia* L. macrophytes, followed by a slow soil filter. After the stabilization of the system, two simple sample collections were performed at three defined points, being an affluent sample, a plant bed effluent sample and a slow filter effluent sample. The plant bed presented a percentage of apparent color removal (62%), total suspended solids (79%), total dissolved solids (29%), electrical conductivity (62%), demand oxygen chemistry (69%), dissolved oxygen (4%), alkalinity (46%) and chlorides (38%). The filter contributed to the average removal of total suspended solids (75%), hardness (4%), alkalinity (4%), total coliforms (22%) and thermotolerant coliforms (22%). After analysis, the slow filtration effluent does not comply with water reuse standards.

Keywords: Slow filtration. Water reuse. Constructed wetlands.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
IFG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
UFG	Universidade Federal de Goiás
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

LISTA DE SÍMBOLOS

®	Marca registrada
™	Marca comercial

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação esquemática de <i>wetland</i> construído de fluxo superficial horizontal.....	19
Figura 2: Representação esquemática de <i>wetland</i> construído de fluxo subsuperficial horizontal.....	20
Figura 3: Representação esquemática de <i>wetland</i> construído de fluxo vertical	21
Figura 4: Estação experimental <i>wetland</i> construído	31
Figura 5: Fluxograma da pesquisa	33
Figura 6: Temporizador instalado para controle do tempo de aplicação do efluente.....	36
Figura 7: Frascos utilizados na coleta	37
Figura 8: Procedimentos das análises físicas e químicas	39
Figura 9: Procedimentos das análises químicas e biológicas	39
Figura 10: Procedimentos das análises biológicas.....	40
Figura 11: Muda <i>Typha latifolia</i> L.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso	24
Tabela 2: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso Classe 1 ..	24
Tabela 3: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso Classe 2 ..	25
Tabela 4: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso Classe 3 ..	25
Tabela 5: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso Classe 3 ..	26
Tabela 6: Critérios de qualidade de águas tratadas por filtração lenta	29
Tabela 7: Dimensão das unidades que compõe a estação de tratamento de efluentes.....	34
Tabela 8: Pontos de coleta das amostras.....	37
Tabela 9: Variáveis meteorológicas dos dias de coleta	42
Tabela 10: Variáveis meteorológicas semanais das coletas.....	42
Tabela 11: Caracterização quantitativa do afluente	43
Tabela 12: Composições médias das amostras do afluente e efluentes tratados pelo sistema <i>wetland</i> construído e filtro lento	44
Tabela 13: Resultados dos parâmetros avaliados para águas de reuso	Erro!

Indicador não definido.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Problema	15
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivos Gerais	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
 2 REVISÃO DA LITERATURA	 18
2.1 <i>Wetland</i> Construído	18
2.1.1 Vantagem e Desvantagem do Sistema	18
2.1.1.1 <i>Vantagens</i>	18
2.1.1.2 <i>Desvantagens</i>	18
2.1.2 Tipos de Sistemas <i>Wetlands</i> Construídos.....	19
2.1.2.1 <i>Sistema tipo fluxo superficial</i>	19
2.1.2.2 <i>Sistema tipo fluxo subsuperficial</i>	20
2.1.2.3 <i>Sistema tipo fluxo vertical</i>	21
2.1.3 Função do Substrato no Sistema	21
2.1.4 Função do Microrganismo no Sistema	22
2.1.5 Função da Macrófita no Sistema.....	22
2.1.5 Reuso de Água.....	23
2.1.6 Qualidade da Água de Reuso	24
2.1.7 Reuso para Fins não Potáveis	26
2.1.7.1 <i>Reuso agrícola</i>	27
2.1.7.2 <i>Reuso industrial</i>	27
2.1.7.3 <i>Reuso urbano</i>	27
2.1.7.4 <i>Reuso doméstico</i>	28
2.1.8 Filtro Lento	28
2.1.8.1 <i>Eficiência da filtração lenta</i>	28
2.1.8.2 <i>Critérios de qualidade da água tratada por filtração lenta</i>	29
2.1.8.3 <i>Taxas de infiltração</i>	30

3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Local de Estudo.....	31
3.1.1 Estação Experimental de Tratamento de Esgotos	31
3.1.2 Avaliação e Reativação do Sistema	32
3.2 Efluente Bruto.....	34
3.3 Pré-Tratamento do Sistema <i>Wetland</i>.....	35
3.3.1 Sistema <i>Wetland</i>	35
3.3.1.1 <i>Meio suporte</i>	35
3.3.1.2 <i>Macrófita dos leitos</i>	35
3.3.2 Filtro Lento	35
3.3.3 Caracterização dos Afluentes e Efluentes.....	37
3.3.3.1 <i>Caracterização quantitativa</i>	38
3.3.3.2 <i>Caracterização qualitativa</i>	38
3.3.3.3 <i>Potencial de reuso de efluente tratado</i>	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Leito com Plantas.....	41
4.2 Caracterização do Afluente e Efluentes do Sistema	41
4.2.1 Variáveis Meteorológicas	41
4.2.2 Caracterização Quantitativa	42
4.2.3 Caracterização qualitativa	43
4.2.4 Cor Aparente	45
4.2.3 Turbidez	45
4.2.3.1 <i>Sólidos suspensos totais</i>	45
4.2.3.2 <i>Sólidos dissolvidos totais</i>	45
4.2.3.3 <i>Condutividade elétrica</i>	46
4.2.3.4 <i>Demanda química de oxigênio</i>	46
4.2.3.5 <i>Potencial hidrogeniônico</i>	47
4.2.3.6 <i>Dureza e alcalinidade</i>	47
4.2.3.7 <i>Cloretos</i>	47
4.2.3.8 <i>Coliformes totais e termotolerantes</i>	47
4.3 Análise do Potencial de Reuso	48
5 CONCLUSÃO	49

REFERÊNCIAS.....50

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida dos indivíduos está ligada diretamente às condições sanitárias, todavia, grande parte do efluente gerado no Brasil não passa por nenhum tipo de tratamento e é lançado diretamente no meio ambiente, contaminando o solo, lençóis freáticos e os rios. Dessa forma, os efluentes sanitários são considerados as principais fontes poluidoras de grande parte dos rios brasileiros, especialmente aqueles situados nas proximidades de zonas urbanas (ANA, 2017).

1.1 Problema

A ausência de recursos e a falta de informação da população em relação ao saneamento básico levam as pessoas a descartarem os efluentes de maneira inadequada no meio ambiente. Diante desta situação, vê-se a necessidade de buscar alternativas para a mitigação dos problemas ligados ao despejo incorreto de efluentes, com a implantação de sistemas de tratamento, minimizando impactos (MELO, 2014).

Para as localidades onde não há rede coletora de esgoto, uma alternativa para o seu tratamento é o sistema *wetland* construído. Um sistema simples e que vem sendo cada vez mais pesquisado devido aos resultados satisfatórios. Com isso o efluente doméstico tem sido o alvo de novas tecnologias de tratamento. Não somente o efluente doméstico, mas as aplicações com águas provenientes de animais e industriais. Essa diversificação agrega conhecimento e crescimento do uso do sistema (QUELUZ, 2016).

O sistema *wetland* construído é projetado visando a potencialização da qualidade da água, utilizando plantas aquáticas (macrófitas) em substratos como areia, brita ou outro material inerte, onde ocorre a proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos. Esse sistema de tratamento de esgoto é considerado um processo natural de purificação do efluente, uma vez que as plantas, substratos e microrganismos substituem os produtos químicos (SANTIAGO *et al.*, 2005).

Uma alternativa para potencializar o tratamento do sistema *wetland* é a sua combinação com outros métodos. A filtração lenta é um sistema eficaz, desde que seja projetado de maneira adequada. Trata-se de um processo onde não requer a

adição de produtos químicos, trabalhando apenas com filtração baixa e meio filtrante de granulometria fina. Este meio favorece a atividade biológica e garante uma desinfecção efetiva (MELO JÚNIOR et al., 2019).

1.2 Justificativa

Segundo Agência Nacional de Águas – ANA (2017), a abrangência do esgotamento sanitário tem índices insatisfatórios. Diante disso, verifica-se que a qualidade da água das bacias hidrográficas tem sido prejudicada, em virtude do lançamento de esgotos de maneira inadequada.

Essa prática impacta negativamente na qualidade de vida da população, com a propagação de doenças pela água e a eutrofização dos corpos hídricos. Simultâneo aos problemas de descarte inadequado de efluentes sanitários domésticos há diversas regiões que enfrentam graves crises hídricas e a racionalização de água potável, o que demonstra a necessidade do tratamento de esgoto, a fim de possibilitar a sua reutilização (TELLES; COSTA, 2010).

Como alternativa acessível à população e propícia ao meio ambiente, tem-se o sistema de tratamento de efluente do tipo *wetland* construído, que é um sistema artificial que imita o que ocorre na natureza. Este sistema é constituído por substratos, plantas típicas de área semi ou alagadas e microrganismos (VALENTIM, 2013).

Essa tecnologia pode ser aplicada no tratamento de esgoto, a fim de possibilitar o reuso de efluentes tratados para fins não potáveis. Tal melhoria pode acarretar diversas vantagens à situação atual de regiões sem esgotamento sanitário e regiões com racionalização e escassez de água. O reuso do efluente tratado promove economia de consumo de água em atividades que não requerem sua potabilidade, reduzindo os problemas de escassez hídrica e atuando na diminuição dos impactos causados ao meio ambiente (TELLES; COSTA, 2010).

Desta forma, este trabalho tem como propósito avaliar a eficiência do sistema *wetland* construído seguido de um filtro lento no tratamento de efluente doméstico proveniente da Escola de Engenharia da Universidade Federal De Goiás visando o reuso para fins não potáveis. A eficiência será comprovada com base nos resultados físico-químicas e biológicos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral do estudo consiste em avaliar o comportamento do solo na filtração de efluente tratado pelo sistema *wetland* construído, para fins de reuso.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar quantitativamente e qualitativamente o efluente bruto e o efluente tratado pelo sistema *wetland* construído, bem como, o efluente filtrado pelo solo;
- Avaliar o potencial de reuso do efluente final, indicando sua aplicabilidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *Wetland* Construído

De acordo com Prata et al. (2013) e Salati et al. (2009), os *wetlands* construídos são áreas alagadas devidamente projetadas e construídas que utilizam os princípios básicos de melhoria da qualidade da água no corpo receptor, sendo capaz de reduzir o potencial poluidor do efluente por meio de processos físicos, químicos e biológicos.

Esse sistema alternativo tem como finalidade simular as condições ideais de tratamento do *wetland* natural, oferecendo flexibilidade quanto à escolha do local de implantação, definição das variáveis hidráulicas e mais facilidade no manuseio da vegetação, projetando obter maior eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes (SANTIAGO et al., 2005).

2.1.1 Vantagem e Desvantagem do Sistema

O sistema *wetland* construído vem ganhando espaço nos últimos anos por apresentar diversas vantagens em sua implantação, conforme exposto a seguir:

2.1.1.1 Vantagens

- Apresenta custos reduzidos de operação e implantação.
- A utilização de requisitos energéticos é praticamente nula ou inexistentes.
- Possui enorme facilidade operacional e independência de produtos químicos.
- Apresenta eficiência na remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes.
- Apresenta harmonia paisagística, podendo ser usada plantas ornamentais.
- O sistema não apresenta mau odor quando for de fluxo subsuperficial.

2.1.1.2 Desvantagens

- Demanda grande área, de um a seis metros quadrados, o que dificulta a sua implantação em determinadas localidades (SEZERINO, 2006).
- Necessita de manejo das macrófitas.

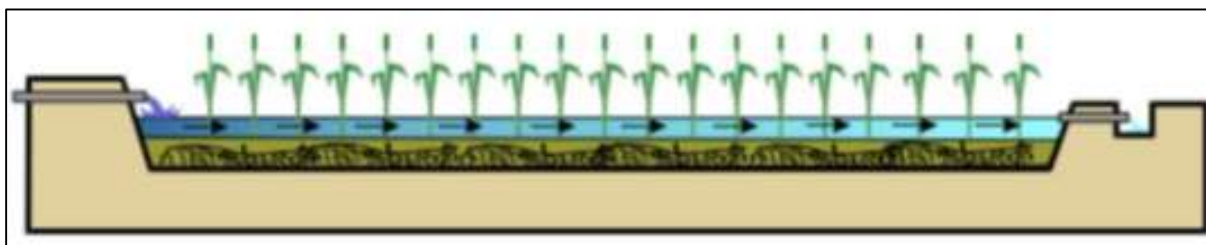
- Longo período para adaptação das plantas no leito.
- Risco de colmatção do sistema.
- Os sistemas de fluxo superficial estão suscetíveis à proliferação de vetores e incidência na produção de odores devido à lâmina d'água que se mantém exposta.
- A eficiência do tratamento do sistema pode ser comprometida por longos períodos de chuva ou seca.

2.1.2 Tipos de Sistemas *Wetlands* Construídos

2.1.2.1 Sistema de fluxo superficial

Esse tipo de sistema apresenta escoamento sobre a superfície, passando através da vegetação, podendo ser composta por macrófitas aquáticas emergentes, flutuantes ou submersas, representado pela Figura 1 (KADLEC; WALLACE, 2009).

Figura 1: Representação esquemática de *wetland* construído de fluxo superficial horizontal



Fonte: Adaptado de Salati (2016)

O sistema *wetland* construído de fluxo superficial pode possuir maior eficiência de remoção de matéria orgânica e de sólidos suspensos uma vez que possui um tempo de retenção hidráulica maior. No entanto, este tipo pode apresentar alguns pontos negativos como proliferação de mosquitos e produção de odor (KADLEC; WALLACE, 2009).

O sistema de fluxo superficial é bastante utilizado nos Estados Unidos como tratamento terciário de efluentes. São adequados para receber efluentes de lagoas de estabilização, de lodos ativados, servindo como polimento por meio da retirada de nutrientes (KADLEC; WALLACE, 2009).

O clima para operação deste tipo de sistema é restrito. Regiões que apresentam temperaturas mais frias impede hidraulicamente a operação e as taxas de remoção são mais baixas para líquidos frios. Quando o gelo cobre o líquido exposto, diminui o oxigênio necessário para o processo (KADLEC; WALLACE, 2009).

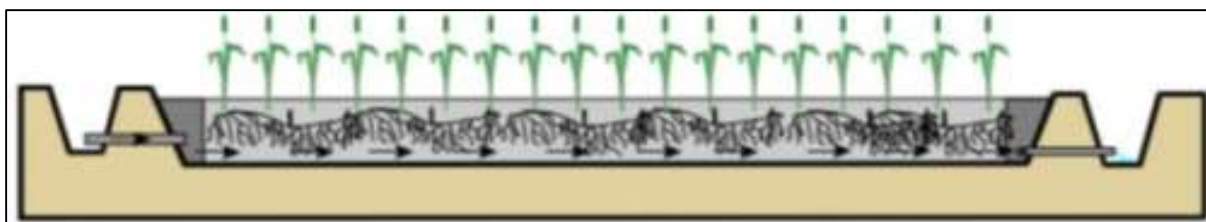
2.1.2.2 Sistema de fluxo subsuperficial

O sistema *wetland* construído de fluxo subsuperficial consiste em leitos preenchidos com material granular e macrófitas. O efluente permanece abaixo da superfície e passa através das raízes das plantas. O risco associado à proliferação de mosquitos e organismos patogênicos não ocorre neste tipo de sistema se forem operados corretamente (KADLEC; WALLACE, 2009)

São comumente usados para tratamento secundário de esgoto de residências unifamiliares ou de pequenas comunidades. Em geral, o sistema de fluxo subsuperficial é utilizado em áreas que demandam menor fluxo de efluente e consequentemente menor área (KADLEC; WALLACE, 2009)

De acordo com Kadlec e Wallace (2009), o sistema *wetland* subsuperficial é adequado para tratamento de efluente após tanques sépticos e reatores anaeróbios. Este tipo de processo apresenta maior eficiência para remoção de nitrogênio e fósforo, devido à grande variedade de reações que ocorrem na interação com solo. A Figura 2 representa um sistema deste tipo.

Figura 2: Representação esquemática de *wetland* construído de fluxo subsuperficial horizontal



Fonte: Adaptado de Salati (2016)

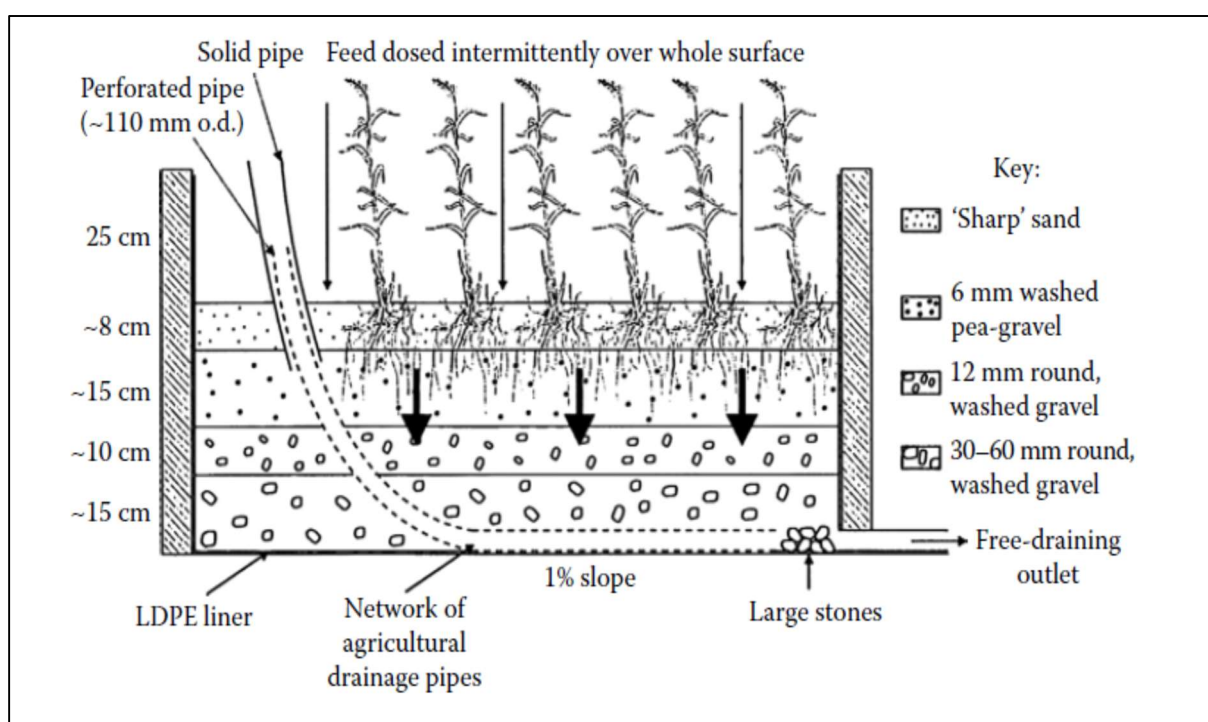
O sistema é tipicamente constituído por uma tubulação de entrada, tanque revestido de argila ou mantas sintéticas, meio filtrante, vegetação e tubulação de saída com controle de nível de água.

2.1.2.3 Sistema de fluxo vertical

O sistema *wetland* construído de fluxo vertical é constituído de escoamento vertical, preenchido com material granular e nível d'água abaixo do meio suporte. No sentido do fluxo descendente o desenvolvimento das macrófitas ocorrem nas primeiras camadas (KADLEC; WALLACE, 2009).

A Figura 3 representa um esquema desse tipo de sistema.

Figura 3: Representação esquemática de *wetland* construído de fluxo vertical



Fonte: Adaptado de Kladec e Wallace (2009).

Um fator importante na operação deste tipo de sistema é a alternância que deve haver entre as fases de alimentação do sistema. O descanso é essencial para o crescimento da biomassa no material filtrante, e mantém o sistema em condições aeróbias contribuindo para a remoção de DBO e DQO (SILVA, 2007).

2.1.3 Função do Substrato no Sistema

O substrato usado no sistema *wetland* construído pode ser definido como um material inerte, com grande área de superfície de contato, que tem a função de meio filtrante, meio suporte para microrganismos e meio fixador de raízes. Para que a

purificação do esgoto e o desempenho do sistema ocorra de maneira correta, o meio suporte deve ser bem selecionado (SILVA, 2007).

Segundo Silva (2007), o substrato deve ser composto por materiais que não contenham argila pois o poluente ao invés de ser deteriorado pelos microrganismos, tende a acumular-se no substrato e ser liberados para o efluente. Os substratos mais utilizados são a brita e a areia, pois apresentam alta permeabilidade e atividade microbiológica inerte.

2.1.4 Função do Microrganismo no Sistema

Os microrganismos são utilizados para oxidar a matéria orgânica e transformar em produtos simples e em biomassa adicional. São também utilizados para remover nitrogênio e fósforo nos processos de tratamento de esgoto. Bactérias específicas são capazes de oxidar a amônia (nitrificação), enquanto outras bactérias podem reduzir o nitrogênio oxidado (METCALF, EDDY, 2016).

O crescimento de microrganismos é responsável pela conversão da matéria orgânica ou nutrientes, estão aderidos em um meio material inerte. Estes materiais são removidos à medida que o esgoto passa, também conhecido como biofilme. Os materiais de enchimento utilizados nesses processos são pedra, escória, areia entre outros (METCALF, EDDY, 2016).

2.1.5 Função da Macrófita no Sistema

A macrófita é o principal e mais atuante componente no processo de tratamento de esgoto do sistema *wetland* construído. São responsáveis por transferir oxigênio para a água através das raízes e rizomas, proporcionar isolamento térmico e a criação de biofilme, promovendo a maior parte do tratamento por meio do desenvolvimento de fungos e bactérias que decompõem a matéria orgânica (SILVA, 2007).

De acordo com Silva (2007), as espécies de macrófitas mais utilizadas para compor o sistema *wetland* construído são:

- **Emergentes:** taboa (*Typha angustifolia* L. ou *Thypha latifolia*), junco (*Juncus spp* e *junco ingens*), caniço (*Phragmites spp*) e lírios-do charco ou lírio-dos-pântanos (*Íris pseudocorus* L.)

- **Flutuantes:** jacinto d'água (*Eichhornia crassipes*), lentilha d'água (*Lemna*), rede de água (*Hidrodictyon*) e *Reticulatum* L.
- **Submersas:** *Elodea canadenses*, *Elodea nutalli*, *Ceratophyllum demersum* e *Miriophyllum heterophyllum*.

2.1.5 Reuso de Água

De acordo com a Resolução nº54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2006) o reuso de água se trata de uma medida de racionalização e um meio de conservação de recursos hídricos, considerando que há escassez de recursos hídricos em algumas regiões do território brasileiro, o qual se relaciona diretamente com a qualidade e quantidade da água.

A Norma NBR 13969 (ABNT, 1997) categoriza a utilização de águas residuais nas seguintes classes:

- Classe 1: lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água.
- Classe 2: lavagem de pisos e calçadas, irrigação dos jardins e manutenção dos lagos.
- Classe 3: descargas dos vasos sanitários. As águas de enxague das máquinas de lavar roupa também se enquadram nessa classe sendo adicionado apenas o processo de cloração.
- Classe 4: reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

O manual de “Conservação e reuso de água em edificações” produzido pela ANA (2005), contém exigências para o reuso de água para fins não potáveis em edificações, sendo dividido em quatro classes:

- Classe 1: descarga de bacias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos d'água), lavagem de roupas e veículos.
- Classe 2: estão associadas às fases de construção da edificação. Lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira.
- Classe 3: predominantemente na irrigação de áreas verdes e rega de jardins.
- Classe 4: uso restrito no resfriamento de equipamentos de ar condicionado.

2.1.6 Qualidade da Água de Reuso

Os critérios de qualidade de água para reuso ainda não são uma realidade brasileira. Tem-se a Norma NBR 13969 (ABNT, 1997), que determina alguns parâmetros básicos para o reuso de águas residuais para fins não potáveis e a ANA (2005), que aborda mais criteriosamente os parâmetros compreendidos em suas classes.

A Tabela 1 apresenta concentrações dos parâmetros das classes das águas de reuso conforme a NBR 13969.

Tabela 1: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso

Classificação	Parâmetros	Concentrações
Classe 1	Turbidez	<5,0 UT
	Coliformes termotolerantes	<200 NMP/100 mL
	Sólidos dissolvidos totais	< 200 mg/L
	pH	6,0 – 8,0
	Cloro residual	0,5 – 1,5 mg/L
Classe 2	Turbidez	< 5,0 UT
	Coliformes termotolerantes	< 500 NMP/100 mL
	Cloro residual	>0,5 mg/L
Classe 3	Turbidez	< 10,0 mg/L
	Coliformes termotolerantes	< 500 NMP/100 mL
Classe 4	Coliformes termotolerantes	< 500 NMP/100 mL
	Oxigênio dissolvido	>2,0 mg/L

Fonte: ABNT (1997).

Os parâmetros adotados para classificar o tipo de reuso de água de acordo com a Agência Nacional de Águas, são apresentados nas Tabelas 2,3,4 e 5.

Tabela 2: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso Classe 1

Classificação	Parâmetros	Concentrações
Classe 1	Coliformes termotolerantes	Não detectáveis
	pH	6,0 – 9,0
	Cor	≤ 10,0 UH
	Turbidez	≤ 2,0 UT

	Odor e aparência	Não desagradáveis
	Óleos e graxas	≤ 1,0 mg/L
	DBO	≤ 10,0 mg/L
	Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
	Nitrato	< 10,0 mg/L
	Nitrogênio amoniacal	≤ 20,0 mg/L
	Nitrito	≤ 1,0 mg/L
	Fósforo total	≤ 0,1 mg/ L
	Sólidos suspensos totais (SST)	≤ 5,0 mg/L
	Sólidos dissolvidos totais (SDT)	≤ 500,0 mg/L

Fonte: ANA (2005).

Tabela 3: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso Classe 2

Classificação	Parâmetros	Concentrações
Classe 2	Coliformes termotolerantes	Não detectáveis
	pH	6,0 – 9,0
	Odor e aparência	≤ 10,0 UH
	Óleos e graxas	≤ 2,0 UT
	DBO	Não desagradáveis
	Compostos orgânicos voláteis	≤ 1,0 mg/L
	Sólidos suspensos totais (SST)	≤ 10,0 mg/L

Fonte: ANA (2005).

Tabela 4: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso Classe 3

Classificação	Parâmetro	Concentrações
Classe 3	pH	6,0 – 9,0
	Salinidade	0,7 < EC (dS/m) < 3,0
	Sódio (SAR) – Irrigação superficial	3,0 – 9,0
	Cloretos – Irrigação superficial	< 350 mg/L
	Cloro residual – Irrigação superficial	Até 1 mg/L
	Sódio (SAR) – Irrigação c/ aspersor	≥ 3,0
	Cloretos – Irrigação c/ aspersor	< 100 mg/L
	Cloro residual – Irrigação c/ aspersor	< 1,0 mg/L
	Irrigação de culturas alimentícias - Boro	< 0,7 mg/L
	Regas de jardim e similares - Boro	< 0,3 mg/L
	Nitrogênio total	5 – 30 mg/L

	DBO	< 20 mg/L
	Sólidos suspensos totais	< 20 mg/L
	Turbidez	< 5 UT
	Cor aparente	< 30 UH
	Coliformes termotolerantes	≤ 200 NMP/100 mL

Fonte: ANA (2005).

Tabela 5: Concentrações dos parâmetros básicos para águas de reuso Classe 3

Parâmetro	Sem recirculação	Com recirculação
Sílica	50 mg/L	50 mg/L
Alumínio	-	0,1 mg/L
Ferro	-	0,5 mg/L
Manganês	-	0,5 mg/l
Amônia	-	1,0 mg/L
Sólidos dissolvidos totais	1000 mg/L	500 mg/L
Cloretos	600 mg/L	500 mg/L
Dureza	850 mg/L	650 mg/L
Alcalinidade	500 mg/L	350 mg/L
Sólidos suspensos totais	5000 mg/L	100 mg/L
pH	5,0 – 8,3	6,8 – 7,2
Coliformes totais	-	2,2 NMP/100 mL
Bicarbonato	600 mg/L	24 mg/L
Sulfato	680 mg/L	200 mg/L
Fósforo	-	1,0 mg/L
Cálcio	200 mg/L	50 mg/L
Magnésio	-	30 mg/L
Oxigênio dissolvido	Presente	-
DQO	75 mg/L	75 mg/L

Fonte: ANA (2005).

2.1.7 Reuso para Fins não Potáveis

Telles e Costa (2010) afirmam que os riscos envolvidos no reuso de água para fins não potáveis, quando comparados com o reuso potável são menores. No entanto, quando em contato direto com o usuário, o grau de tratamento deve ser elevado. Há diversas categorias para reuso não potável, entre elas o reaproveitamento em

atividades agrícolas, em atividades industriais, urbanos e domésticos capazes de amenizar o consumo de água potável.

2.1.7.1 Reuso agrícola

O uso de água em atividades agrícolas é responsável pelo maior índice de consumo potável. Diante disso, a prática do reuso na irrigação de lavouras torna-se como uma fonte alternativa tanto economicamente quanto no controle ambiental (TELLES; COSTA, 2010)

A ANA (2005) traz em seu manual de “Conservação e Reuso de Água em Edificações” as exigências mínimas para o uso da água não potável de acordo com sua finalidade. Para o reuso agrícola a água não deve apresentar mau-cheiro, componentes que agredam a vegetação ou que estimule o crescimento de pragas e não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus e bactérias.

2.1.7.2 Reuso industrial

O manual “Conservação e Reuso de Água em Edificações” proposto pela ANA (2005) propõe exigências mínimas para o uso da água não potável de acordo com sua finalidade. Para o reuso industrial a água não deve apresentar mau-cheiro, não deve ser abrasiva, não pode gerar incrustações e nem deteriorar máquinas.

Segundo Mancuso e Santos (2003), as unidades de produção de algumas indústrias têm optado por utilizar as águas residuais em sistemas operacionais da empresa como torres de resfriamento e lavagem de peças, reduzindo o consumo de água potável.

2.1.7.3 Reuso urbano

De acordo com a Resolução nº 54 (CNRH, 2005) esta modalidade de reuso compreende a utilização em irrigação paisagística, lavagem de ruas e veículos, desobstrução de tubulações, uso na construção civil, edificações e combate a incêndio.

2.1.7.4 Reuso doméstico

As aplicações de reuso de água proveniente das atividades domésticas são apresentadas por Silva e Santana (2014) em que se tem a sua reutilização em recarga de aquíferos e atividades de recreação como pesca e canoagem. Essas práticas contribuem para a redução do consumo de água tornando-se uma medida economicamente viável.

2.1.8 Filtro Lento

O processo de filtração lenta de acordo com PROSAB (1999) tem sido eficaz no tratamento de água para abastecimento público desde que aplicado nas situações adequadas. Este tratamento não requer a adição de coagulante e trabalha com meio filtrante de granulometria fina. O uso de taxas de filtração baixas promove a atividade biológica no interior do filtro.

Uma das principais vantagens apontada por PROSAB (1999) é sua eficiência de remoção de microrganismos. Essa remoção pode ser atribuída a diversos fatores como: ser um ambiente desfavorável para esses microrganismos, a adsorção no biofilme aderido ao meio filtrante, entre outros.

2.1.8.1 Eficiência da filtração lenta

Para que o filtro lento tenha funcionamento satisfatório alguns parâmetros propostos por PROSAB (1999) devem ser observados:

- Taxa de filtração: quanto maior é a taxa de filtração, menor é a remoção dos microrganismos.
- Temperatura: em temperaturas amenas a eficiência de remoção de microrganismos reduz.
- Espessura do meio filtrante: o meio filtrante mais espesso tende a ser mais eficiente, uma vez que o tempo de detenção no meio aumenta.
- Granulometria do meio filtrante: materiais de granulometria fina são melhores removedores de microrganismos.

- Maturidade microbiológica: alguns experimentos apontaram que um meio filtrante maduro é mais eficiente do que um meio com material novo.

A filtração lenta convencional é restrita a águas que apresentam baixos valores para parâmetros como cor aparente, turbidez e sólidos suspensos. Prosab (1999) afirma que o processo de filtração lenta pode melhorar os indicadores físicos, químicos e biológicos, mas é restrito à qualidade da água afluenta ao filtro.

A remoção de cor aparente é eficaz em processos que apresentam tratamentos químicos, uma vez que a presença de substâncias húmicas não são separáveis em processos de tratamento físico. Com isso, a remoção desse parâmetro na filtração lenta é limitada a água afluenta com baixos teores de cor aparente.

O filtro lento é muito sensível à presença de sólidos suspensos e turbidez na água afluenta. O material em suspensão cria condições desfavoráveis para os microrganismos que habitam no meio filtrante, comprometendo a qualidade da atividade biológica no tratamento.

2.1.8.2 Critérios de qualidade da água tratada por filtração lenta

A Tabela 6 apresenta alguns critérios de qualidade que as águas tratadas pela filtração lenta devem atender.

Tabela 6: Critérios de qualidade de águas tratadas por filtração lenta

Características	Di Bernardo (1993)	Cleasby (1991)
Turbidez (uT)	10,0	5,0
Cor aparente (uC)	5,0	-
Ferro (mg Fe/L)	1,0	0,3
Manganês (mg Mn/L)	0,2	0,05
Algas	250,0 UPA/mL	5 µg clorofila-a/L
Coliformes totais (NMP/ 100 mL)	1000,0	-

Fonte: Adaptado de PROSAB (1999).

2.1.8.3 Taxas de infiltração

De acordo com Melo Júnior et al. (2019), o filtro lento deve trabalhar com taxa de filtração entre 2 e 5 m³. m⁻². d-1 para que as partículas quando aderidas aos grãos de areia formem uma estrutura sólida.

Já Marrara (2005) adota como taxa de filtração entre 3 e 6 m³.m⁻². d-1 para meio filtrante com areia e de fluxo descendente. Este afirma também que a espessura do meio filtrante de ser em torno de 0,70 metros, uma vez que é no topo da camada onde se forma uma camada biológica removendo a matéria orgânica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local de Estudo

Este estudo foi realizado no sistema *wetland* construído, na Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgotos com Plantas na Escola de Engenharia, localizada no Campus I da Universidade Federal de Goiás (UFG), região Leste da cidade de Goiânia-GO (Figura 4).

Figura 4: Estação experimental *wetland* construído



Fonte: Própria autoria

A Escola de Engenharia atende alunos distribuídos nos cursos de Engenharia Ambiental e Sanitária, Engenharia Civil, Engenharia da Computação, Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica, nos três turnos. O sistema *wetland* construído recebe contribuição de efluente bruto dos banheiros e laboratórios de análises físico-químicas e biológicas das edificações mais antigas da Escola.

3.1.1 Estação Experimental de Tratamento de Esgotos

A elaboração da estação experimental ocorreu ao longo do desenvolvimento da pesquisa realizada por Pitaluga et al. (2015). O sistema era constituído por duas

unidades de pré-tratamento, sendo um tanque de equalização e um tanque séptico, seguidos por três unidades independentes de leito com plantas.

O sistema *wetland* da Universidade funciona por meio de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal, recebendo efluentes sanitários das unidades de contribuição desviados da rede principal de esgoto, por meio de um sistema by-pass sendo conduzidos às unidades de pré-tratamento.

Posteriormente o líquido é distribuído em três bombonas plásticas (cada unidade com capacidade útil de 143 L), responsáveis por abastecer cada leito de tratamento. Após cada leito com plantas foi instalado por Silveira (2018) uma caixa preenchida com diversos materiais para compor a unidade de polimento.

Por fim, o efluente tratado nos leitos com plantas e unidades de polimento é destinado a um reservatório enterrado. Caso extrapole a capacidade deste, o efluente retorna à rede coletora da concessionária local.

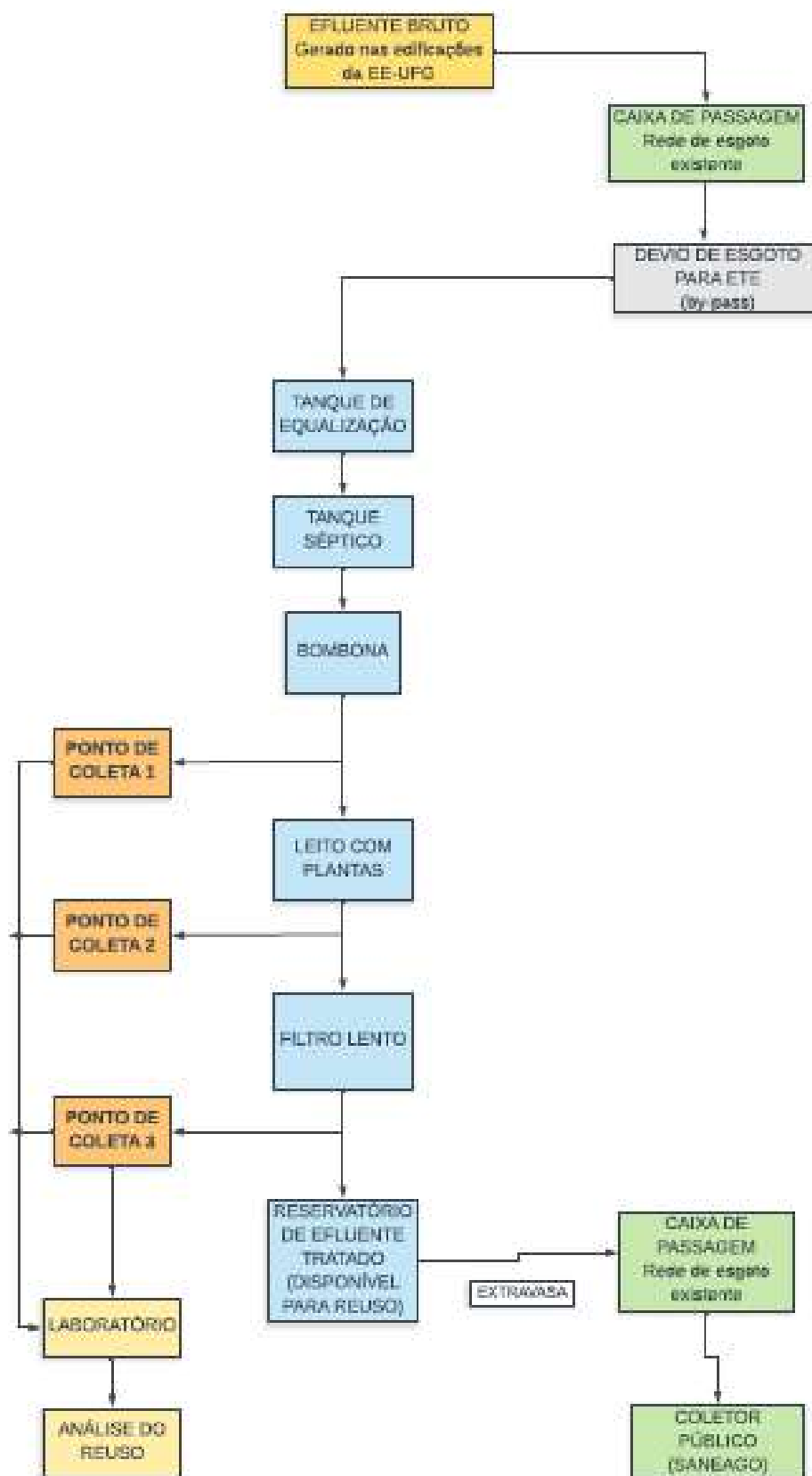
3.1.2 Avaliação e Reativação do Sistema

Para reiniciar as atividades de pesquisa no sistema, avaliaram-se as condições dos componentes da estação experimental de tratamento de efluentes. Com a finalidade de alcançar os objetivos propostos na pesquisa adotou-se analisar apenas uma unidade de tratamento com plantas seguido de filtro lento.

O efluente bruto é direcionado ao sistema *wetland* construído na caixa de passagem de desvio de esgoto. Assim, o efluente é encaminhado para o tanque de equalização e, em seguida, ao tanque séptico.

A bombona recebe efluente, desaguando no leito com plantas. Por sua vez, o efluente tratado é lançado no filtro lento. O fluxograma da pesquisa realizada é demonstrado na Figura 5.

Figura 5: Fluxograma da pesquisa



Fonte: Própria autoria (2019).

A Tabela 7 apresenta as dimensões das unidades que compõem o sistema *wetland* construído.

Tabela 7: Dimensão das unidades que compõem a estação de tratamento de efluentes

Unidade	Dimensões (m)			Volume útil (m³)
	Diâmetro superior	Diâmetro inferior	Profundidade útil	
Tanque de equalização	2,60	2,00	2,00	8,00
Tanque séptico	2,60	2,00	2,00	8,00
Filtro lento	0,87	0,61	0,53	0,15
Reservatório de efluente tratado	1,50	1,50	1,40	2,50
Unidade	Largura	Comprimento	Profundidade útil	Volume útil (m³)
Leito de tratamento	1,00	3,00	0,55	1,65

Fonte: Própria autoria (2019).

3.2 Efluente Bruto

Quando o by-pass foi acionado para desviar o efluente ao sistema, foi constatado que este não chegava ao sistema *wetland* construído. Assim, com o apoio da Secretaria de Infraestrutura, a tubulação da rede de esgoto principal foi isolada provisoriamente para que o efluente bruto fosse conduzido ao tanque de equalização por gravidade.

Após a realização do desvio, o sistema ainda apresentou problemas durante o estudo com vazamentos e entupimento da rede. Ambos os problemas foram solucionados com o apoio da SEINFRA.

3.3 Pré-Tratamento do Sistema *Wetland*

Definiu-se utilizar o tanque séptico como um tanque de equalização, devido às oscilações diárias de vazão do sistema. Isto ocorre por se tratar de uma unidade universitária com aulas distribuídas de segunda a sábado, em diferentes turnos, ministradas em salas de aula e laboratórios de pesquisa.

Portanto, o afluente direcionado ao sistema é encaminhado ao tanque de equalização, cuja função é equalizar as contribuições dos laboratórios e banheiros, realizando sua homogeneização, antes de ir para o tanque séptico. Como unidade de pré-tratamento tem-se o tanque séptico, de fluxo ascendente, cujo afluente advém do tanque de equalização.

3.3.1 Sistema *Wetland* Construído

3.3.1.1 Meio suporte

De acordo com Pitaluga et al. (2015), o substrato deve possuir grandes poros, garantindo a permeabilidade do sistema. A escolha por este tipo de componente previne a colmatção. Portanto, optou-se pela escolha da brita #0 como substrato do sistema *wetland* construído.

3.3.1.2 Macrófita dos leitos

A espécie utilizada foi a *Typha latifolia* L. baseado em estudos experimentais que comprovaram a eficiência desta planta no tratamento de efluentes. As mudas de taboa foram coletadas em meio natural e transportadas para o leito (SILVEIRA, 2018). Para mantê-las vivas ao longo do tempo procurou-se irrigar quando o sistema este não estivesse em operação.

3.3.2 Filtro Lento

Uma das alterações no arranjo do sistema se deu com a instalação de uma bomba submersa na bombona para que se tivesse o controle da vazão de entrada no

sistema visando o funcionamento da antiga unidade de polimento proposta por Silveira (2018) como uma unidade de filtro lento com solo, de fluxo ascendente.

Na unidade de filtro lento instalou-se um ponto de coleta de amostras para a realização das análises qualitativas do efluente tratado. Para que a unidade se comportasse como um filtro lento foi dimensionado, de acordo com Melo Júnior et al. (2019). De posse dos valores da vazão de controle e do volume do filtro determinou-se o tempo de detenção hidráulico por meio da equação:

$$\theta h = \frac{V}{Q}$$

Em que:

θh – tempo de detenção hidráulico (min)

V- volume do reservatório (m³)

Q- vazão de controle (L/s)

Considerando que a bomba submersa trabalhe com sua capacidade máxima, foi adotada a vazão de 0,077 L/s, indicada pelo fabricante. O volume do reservatório foi adotado de acordo com a Tabela 7. Com base nos cálculos encontrou-se um tempo de detenção de aproximadamente 33 minutos.

Essa informação permitiu compreender que o efluente tratado previamente pelo sistema *wetland* fica por este período dentro do filtro até atingir sua cota de saída/coleta. Para controle do tempo de aplicação foi instalado um temporizador, representado na Figura 6.

Figura 6: Temporizador instalado para controle do tempo de aplicação do efluente no leito de macrófitas



Fonte: Própria autoria (2019).

Com isso, decidiu-se aplicar esta vazão 8 vezes diariamente de segunda a sexta-feira por um período de 15 minutos, totalizando 560 L/dia de efluente entrando no sistema. A aplicação foi direcionada ao leito com macrófitas e deste vai ao filtro lento por gravidade.

3.3.3 Caracterização dos Afluentes e Efluentes

Após a estabilização do sistema e aplicação do afluente bruto, foram realizadas duas coletas de amostras simples em três pontos definidos, conforme a Tabela 8, nos dias 01 e 08 de novembro de 2019. Para cada ponto foram coletados dois frascos: um fraco de 1000 mL para as análises físico-químicas e um frasco de 300 mL para as análises microbiológicas, conforme apresentado na Figura 7.

Tabela 8: Pontos de coleta das amostras

Ponto de coleta	Tipo de amostra	Local de coleta
Bombona (P1)	Afluente vindo das unidades de pré tratamento	Após a bombona
<i>Wetland</i> (P2)	Efluente tratado	Após o leito com plantas
Filtro lento (P3)	Efluente tratado	Após o filtro lento

Fonte: Própria autoria (2019).

Figura 7: Frascos utilizados na coleta



Fonte: Própria autoria (2019).

3.3.3.1 Caracterização quantitativa

Durante o ajuste do sistema pode-se observar que a vazão do sistema varia consideravelmente, com picos durante os intervalos de aula. Com a finalidade de evitar problemas de afloramento e ausência de efluente no sistema e para o tratamento lento do efluente foi instalada uma bomba submersa para controlar a vazão de entrada no sistema.

Esta bomba foi acoplada juntamente com um timer, representado na Figura 6, que limita a quantidade de efluente em um determinado tempo. O timer utilizado possui períodos de acionamento de 15 em 15 minutos. Para a pesquisa foram adotadas 8 aplicações diárias de 15 minutos com vazão de 4,67 L/min, de segunda a sexta-feira. Com isso, o registro de saída da bombona foi fechado para que o efluente passasse apenas pela bomba.

3.3.3.2 Caracterização qualitativa

A análise qualitativa das amostras de afluente e efluente ocorreu no laboratório de Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Goiás (IFG), Campus Goiânia, de acordo com os métodos propostos *pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 2017).

Os procedimentos realizados das análises físicas, químicas e biológicas das amostras e os equipamentos e reagentes utilizados foram resumidos por Silveira (2018) e representados nas Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8: Procedimentos das análises físicas e químicas

Parâmetro	Método
Parâmetro físico	
Cor Aparente	Transferência de 10 ml da amostra para uma cubeta, realizando-se a leitura do parâmetro no aparelho Spectroquant® Move 100, após a calibração do aparelho, com resultado em PtCO.
	Outras unidades: 1 PtCo = 1 uH
	Preparação do branco para zerar o equipamento
	Este parâmetro também foi analisado no equipamento Spectrodirect (Lovibond)
Turbidez	Transferência de 10 ml da amostra para uma cubeta, realizando-se a leitura do parâmetro no aparelho Spectroquant® Move 100, após a calibração do aparelho, com resultado em FAU.
	Outras unidades: 1 FAU = 1 uT
	Preparação do branco para zerar o equipamento
	Este parâmetro também foi analisado no equipamento Spectrodirect (Lovibond)
Temperatura	Parâmetro aferido pela imersão do termômetro e sonda do condutivímetro na amostra, após a calibração do equipamento, com resultado em °C
Parâmetro químico	
Sólidos Suspensos Totais - SST	Transferência de 10 ml da amostra para uma cubeta, realizando-se a leitura do parâmetro no equipamento Spectroquant® Move 100, após a calibração do aparelho, com resultado em mg/L
	Preparação do branco para zerar o equipamento
	Este parâmetro também foi analisado no equipamento Spectrodirect (Lovibond)
Sólidos Dissolvidos Totais - SDT	Parâmetro aferido pela imersão da sonda do condutivímetro na amostra, após a calibração do equipamento, com resultado em mg/L
Condutividade elétrica - CE	Parâmetro aferido pela imersão da sonda do condutivímetro na amostra, após calibração do equipamento, com resultado em µS/cm
Demanda Química de Oxigênio - DQO	Transferência de 1 mL da amostra para um tubo de ensaio, adicionando-se 1 mL de solução digestora de dicromato de potássio/sulfato de mercúrio (HgSO ₄ /K ₂ Cr ₂ O ₇) - faixa baixa e 2 mL de solução de ácido sulfúrico/sulfato de prata (H ₂ SO ₄ /Ag ₂ SO ₄)
	Homogeneização da amostra no agitador
	Colocação dos tubos no termoreator (DQO MD100 COD, Lovibond) a 150°C durante 2 horas
	Após o resfriamento dos tubos, procede-se a leitura no equipamento Spectrodirect (Lovibond), após calibração do equipamento, com resultado em mg/L.
	Observação: Preparação do branco para zerar o equipamento

Fonte: Adaptado de Silveira (2018).

Figura 9: Procedimentos das análises químicas e biológicas

Oxigênio Dissolvido - OD	Parâmetro aferido pela imersão da sonda, modelo SO-400, conectada ao oxímetro, modelo PH-1500, após calibração do equipamento
pH	Parâmetro aferido pela imersão da sonda do pHmetro na amostra
Dureza	Transferência de 50 mL da amostra para um erlenmeyer, adicionando-se 1 mL de solução tampão pH10 e 0,05 g de negro de eriocromo T
	Titulação com solução de EDTA 0,01 mol/L até a mudança da cor vermelho para azul
	Cálculo da dureza:
	$mgL\ de\ CaCO_3 = 1000 * (mL\ da\ amostra) / 50$
Alcalinidade	Transferência de 100 mL da amostra para um erlenmeyer, adicionando-se 3 gotas de fenolftaleína, não havendo a indicação de cor, inclui-se 3 gotas de solução indicadora metilorange
	Titulação com solução de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) 0,02 mol/L até mudança da cor vermelho para amarelo
	$mgL\ de\ CO_2\ livre = 10 * (mL\ da\ amostra)$
Cloretos	Transferência de 100 mL da amostra para um erlenmeyer, adicionando-se 1 mL 1 mL da solução indicadora de cromato de potássio (K ₂ CrO ₄)
	Titulação com solução padrão de nitrato de prata 0,0141 N até a mudança de amarelo para vermelho
	Cálculo de cloreto:
	$mgL\ de\ Cl = -(A - B) * (0,0141) * 35,46 mL\ da\ amostra$
	em que A é o volume do titulante na amostra; e B, volume gasto no branco
Parâmetro biológico	
Coliformes totais	Teste presuntivo
	Bateria contendo 9 tubos de ensaio distribuídos de 3 em 3: Nos primeiros 3 tubos (caldo lactosado de concentração dupla), transfere-se 10 mL de amostra em cada tubo (Diluição 1:1) por meio de pipeta esterilizada; nos 6 tubos restantes (caldo lactosado de concentração simples), inocula-se nos 3 primeiros tubos, 1 mL da amostra (Diluição 1:10) e nos últimos 3 tubos, inocula-se 0,1 mL da amostra, em cada tubo (Diluição 1:100)
	Incubação a 35 ± 0,5° C durante 24/48 horas
	Caso haja a formação do gás dentro do tubo de Durham, o teste é positivo. Caso não, teste é considerado negativo

Fonte: Adaptado de Silveira (2018).

Figura 10: Procedimentos das análises biológicas

Parâmetro	Método
Parâmetro biológico	
Coliformes totais	Teste confirmativo
	Realização da repicagem dos tubos positivos do teste presuntivo, nas 3 diluições 1:1, 1:10; 1:100, em meio de cultura verde brilhante bile a 2%, transferindo através de uma alça de platina previamente flambada e fria
	Incubação a $35 \pm 0,5^\circ \text{C}$ durante 24/48 horas
	Caso haja a formação do gás dentro do tubo de Durhan, o teste é positivo. Caso não, teste é considerado negativo
	Determinação do Número Mais Provável (NMP) pela equação: $NMP100\text{mL} = NMP \text{ correspondente ao código} * 10 / \text{Maior volume inoculado}$
Coliformes termotolerantes	Toma-se os tubos positivos do teste presuntivo em meio de cultura EC nas 3 diluições 1:1, 1:10; 1:100, transferindo através de uma alça de platina previamente flambada e fria
	Agitação em banho de água durante 30 minutos
	Incubação em banho-maria a $44,5 \pm 0,2^\circ \text{C}$ durante 24 ± 2 horas
	Caso haja a formação de bolha, confirma-se a presença de coliformes de origem fecal
	Determinação do NMP pela equação: $NMP100\text{mL} = NMP \text{ correspondente ao código} * 10 / \text{Maior volume inoculado}$

Fonte: Adaptado de Silveira (2018).

3.3.3.3 Potencial de reuso de efluente tratado

Com o resultado das análises qualitativas avaliou-se o potencial de reuso do efluente filtrado para fins não potáveis com base nos parâmetros adotados pela ANA (2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Leito com Plantas

Antes de iniciar a aplicação do afluente bruto no sistema foi verificada a quantidade de plantas presentes no leito com plantas. No ano de 2018 foram plantadas 30 mudas sendo que para a retomada do estudo constavam apenas 8 plantas.

Figura 11: Planta *Typha latifolia* L.



Fonte: Própria autoria (2019).

Foi verificada a viabilidade do replantio das mudas que morreram, porém seria necessário cerca de 60 a 90 dias para que as mudas atingissem a idade ideal, prazo esse que não teríamos disponível ficando para o futuro da pesquisa.

4.2 Caracterização do Afluente e Efluentes do Sistema

4.2.1 Variáveis Meteorológicas

As variáveis meteorológicas verificadas no período de coleta e as médias semanais estão apresentadas nas tabelas 9 e 10, respectivamente.

Tabela 9: Variáveis meteorológicas dos dias de coleta

Data da coleta	Precipitação (mm)	Temperatura máxima (°C)	Umidade Relativa Média (%)
01/11/2019	0,00	32,1	40,67
08/11/2019	0,00	30,0	66,33

Fonte: Estação convencional 83423 – INMET (2019).

Tabela 10: Variáveis meteorológicas semanais das coletas

Semana da coleta	Precipitação (mm)	Temperatura máxima (°C)	Umidade Relativa Média (%)
27/10/2018 – 02/11/2019	2,9	35,8	49,57
03/11/2019 – 09/11/2019	11,6	36,1	57,15

Fonte: Estação convencional 83423 – INMET (2019).

Com isso pode-se verificar que estão em conformidade com as características inerentes ao clima tropical do município de Goiânia.

4.2.2 Caracterização Quantitativa

A quantificação da vazão afluente foi realizada no primeiro semestre de 2019 com os dados apresentados na Tabela 11. A aferição da vazão foi realizada de hora em hora por um tempo médio de 15 segundos. Foram utilizados para a medição béquer de 1000 mL, proveta de 1000 mL e cronômetro.

Tabela 11: Caracterização quantitativa do afluente

AFERIÇÃO DE VAZÃO DE ESGOTO BRUTO - SISTEMA WETLAND CONSTRUÍDO - UFG															
30/04/2019				02/05/19			03/05/19			06/05/19			19/06/19		
Horário	Volume em (L)	Tempo (s)	Vazão (L/s)	Volume em (L)	Tempo (s)	Vazão (L/s)	Volume em (L)	Tempo (s)	Vazão (L/s)	Volume em (L)	Tempo (s)	Vazão (L/s)	Volume em (L)	Tempo (s)	Vazão (L/s)
07:00	0,054	15,72	3,44E-03	0,600	15,00	4,00E-02	2,400	15,50	1,55E-01	0,082	30,47	2,69E-03	1,500	15,25	9,84E-02
08:00	0,755	13,72	5,50E-02	0,200	15,00	1,33E-02	1,380	15,40	8,96E-02	1,800	15,37	1,17E-01	0,790	15,20	5,20E-02
09:00	0,693	8,52	8,13E-02	0,200	15,00	1,33E-02	0,240	15,57	1,54E-02	0,240	15,47	1,55E-02	0,220	15,29	1,44E-02
10:00	0,64	12,57	5,09E-02	0,100	15,00	6,67E-03	1,180	15,07	7,83E-02	0,500	15,47	3,23E-02	0,640	15,04	4,26E-02
11:00	0,762	8,31	9,17E-02	1,820	15,00	1,21E-01	0,146	15,47	9,44E-03	1,320	15,91	8,30E-02	0,983	15,24	6,45E-02
12:00	0,176	16,15	1,09E-02	0,085	15,00	5,67E-03	0,189	15,66	1,21E-02	0,390	15,38	2,54E-02	0,137	15,33	8,94E-03
13:00	0,729	6,40	1,14E-01	0,420	15,00	2,80E-02	1,160	15,78	7,35E-02	0,190	15,59	1,22E-02	0,790	15,39	5,13E-02
14:00	0,669	13,41	4,99E-02	0,195	15,31	1,27E-02	0,695	15,00	4,63E-02	0,640	15,31	4,18E-02	0,445	15,16	2,94E-02
15:00	0,155	20,40	7,60E-03	0,780	8,50	9,18E-02	0,642	13,00	4,94E-02	0,760	15,68	4,85E-02	0,711	10,75	6,61E-02
16:00	0,675	10,48	6,44E-02	0,740	15,44	4,79E-02	0,132	15,00	8,80E-03	0,165	15,50	1,06E-02	0,436	15,22	2,86E-02
17:00	0,132	15,37	8,59E-03	0,200	15,44	1,30E-02	0,113	15,00	7,53E-03	0,174	15,72	1,11E-02	0,157	15,22	1,03E-02
18:00	0,123	15,31	8,03E-03	0,174	15,40	1,13E-02	0,380	15,00	2,53E-02	0,068	15,49	4,39E-03	0,277	15,20	1,82E-02
19:00	0,057	15,00	3,80E-03	0,069	15,90	4,34E-03	0,290	15,40	1,88E-02	0,540	15,94	3,39E-02	0,180	15,65	1,15E-02
20:00	0,078	15,00	5,20E-03	0,370	15,01	2,47E-02	0,038	15,59	2,44E-03	0,067	30,41	2,20E-03	0,204	15,30	1,33E-02
21:00	0,03	15,00	2,00E-03	0,023	30,25	7,60E-04	0,510	15,59	3,27E-02	0,010	30,78	3,25E-04	0,267	22,92	1,16E-02
22:00	0,016	15,00	1,07E-03	0,070	15,57	4,50E-03	0,090	15,62	5,76E-03	0,002	30,47	6,56E-05	0,080	15,60	5,13E-03
TOTAL	0,359	13,52	2,65E-02	0,378	15,74	2,40E-02	0,599	15,23	3,93E-02	0,434	19,31	2,25E-02	0,488	15,48	3,15E-02

Fonte: Própria autoria (2019).

Analisando os resultados podemos verificar que há uma grande variação de vazão ao longo do dia. Sendo assim foi instalada uma bomba submersa dentro da bombona para que pudéssemos controlar a vazão de entrada de efluente no sistema.

Trata-se de uma moto bomba submersa S300 da marca Sarlobetter com vazão máxima de operação de 0,077 L/s. Devido ao tempo transcorrido para reativação do sistema não foi possível quantificar as perdas de água do leito com plantas e do filtro por evapotranspiração.

4.2.3 Caracterização qualitativa

As coletas das amostras foram realizadas nos horários das 07:00 às 08:00h, em ambos os dias. Os resultados da composição do afluente do sistema estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12: Composições médias das amostras do afluente e efluentes tratados pelo sistema *wetland* construído e filtro lento

Parâmetros	Unidade	Contribuição afluente	Após <i>wetland</i>	Eficiência de remoção (%)	Após filtro	Eficiência de remoção (%)
Cor aparente	PtCO	80,50	22,00	72,67	25,50	negativa
Turbidez	FAU	18,00	15,62	13,22	2,83	82,00
Temperatura	°C	23,50	24,00	-	23,50	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	9,00	1,50	83,33	1,00	33,33
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	267,90	170,25	36,45	176,00	negativa
Condutividade elétrica	µS/cm	959,75	340,00	64,57	351,90	negativa
Demanda química de oxigênio	mg/L	71,00	21,75	69,37	23,75	negativa
Oxigênio dissolvido	mg/L	8,65	8,30	4,05	8,30	nula
pH	-	8,35	8,30	-	8,50	-
Dureza	mg/L	73,00	107,00	negativa	102,00	4,67
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	460,00	320,50	30,33	306,00	4,52
Cloretos	mg/L	217,50	105,00	51,72	132,50	negativa
Coliformes totais	NMP/ 100 mL	>11000	>11000	nula	>11000	nula
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100 mL	235	>11000	negativa	>11000	nula

Fonte: Própria autoria (2019).

4.2.4 Cor Aparente

As variações dos resultados de cor aparente estão representadas na Tabela 12. Conforme observado, obteve-se eficiência de remoção de 72,67% do parâmetro no leito com plantas. Já no filtro lento, o parâmetro teve um aumento no valor resultando em eficiência negativa de remoção.

4.2.3 Turbidez

Para o parâmetro turbidez obteve-se eficiência de remoção de 13,22% no leito com plantas e 82,00% no filtro lento. Portanto, para este parâmetro o sistema teve desempenho adequado.

4.2.3.1 Sólidos suspensos totais

Os sólidos suspensos totais apresentaram eficiência de remoção de 83,33% no leito com plantas e 33,33% no filtro lento. Pitaluga (2014) encontrou eficiência mínima de remoção de 81,3% aos 165 dias após a aplicação do esgoto. Já Sezerino *et al.* (2005) em um sistema de fluxo subsuperficial horizontal obteve eficiência de remoção dos sólidos suspensos de 82%, similar ao obtido neste trabalho. Portanto, pode-se constatar que o leito com plantas e filtro lento foram eficientes na remoção deste parâmetro.

4.2.3.2 Sólidos dissolvidos totais

Para o parâmetro sólidos dissolvidos totais obtiveram-se eficiência de remoção de 36,45% no leito com plantas e no filtro lento este parâmetro apresentou eficiência negativa. De acordo com Pitaluga (2014) a remoção dos sólidos ocorre por meio da sedimentação e filtração pelas raízes das plantas.

4.2.3.3 Condutividade elétrica

A remoção deste parâmetro no leito com plantas foi de 64,57% e eficiência negativa no filtro lento. No leito com plantas, espera-se que a condutividade elétrica seja aumentada em virtude da degradação da matéria orgânica, cujo processo libera íons a solução (FIA *et al.*, 2017). Pelas análises, pode-se verificar diminuição do valor de condutividade elétrica no leito com plantas e aumento no filtro lento.

4.2.3.4 Oxigênio dissolvido

A eficiência de remoção deste parâmetro no leito com plantas foi de 4,05% e nula no filtro lento. De acordo com Pitaluga (2014) a baixa eficiência de remoção é favorável, pois há menos perda de oxigênio dissolvido. A queda deste parâmetro era esperada uma vez que o sistema *wetland* construído necessita de quantidade de oxigênio dissolvido maior do que a quantidade fornecida pelas plantas. Isso se explica pelo processo de remoção de poluentes, onde é consumido o oxigênio fornecido pelas plantas e ainda parte do oxigênio disponível no afluente.

4.2.3.5 Demanda química de oxigênio

O valor de eficiência de remoção do parâmetro demanda química de oxigênio foi de 69,37% no leito com plantas. Já no filtro lento, o parâmetro teve um aumento no valor resultando em eficiência negativa de remoção. Como as plantas ainda não atingiram a idade ideal e o sistema está em fase de estabilização, pode-se verificar variação na remoção na matéria orgânica.

Costa *et al.* (2018) analisou em um sistema *wetland* construído de fluxo horizontal sub-superficial por quatro anos, implantado na Universidade Federal de Minas Gerais, cultivado com taboa (*Thypha latifolia*) e obteve eficiência de remoção de 72%.

De acordo com Metcalf e Eddy (2016) o oxigênio é essencial para a respiração dos microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e confrontando com os resultados obtidos para o parâmetro oxigênio dissolvido,

observa-se que o sistema está em condições propícias a degradação da matéria orgânica.

4.2.3.6 Potencial hidrogeniônico

Conforme dados apresentados nas Tabelas 12, os valores de pH do leito com plantas e filtro lento variaram de 8,35 a 8,50. Metcalf e Eddy (2016) dizem que o pH pode variar de 6,0 a 9,0. Assim, pode-se verificar que o sistema está em condições ideais de sobrevivência de microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

4.2.3.7 Dureza e alcalinidade

Os resultados de eficiência de remoção do parâmetro dureza e alcalinidade, respectivamente, foi negativo e de 30,33% no leito com plantas. Já no filtro lento os mesmos parâmetros, apresentaram eficiência de remoção de 4,67% e 4,52%. Diante do exposto, pode-se fundamentar essa grande variabilidade de resultados, em virtude do descarte de resíduos químicos provenientes de laboratórios.

Sperling (2005) menciona que a dureza não é importante para o esgoto sanitário. Metcalf e Eddy (2016) afirmam que a alcalinidade é importante uma vez que é necessária uma quantidade adequada para que ocorra a nitrificação completa.

4.2.3.8 Cloretos

Para o parâmetro cloreto obteve-se eficiência de remoção de 51,72% no leito com plantas e eficiência negativa no filtro lento. MetCalf e Eddy (2016) dizem que o cloreto pode afetar as aplicações do reuso do efluente tratado. Pode-se observar que o sistema *wetland* construído reduziu a concentração de cloreto no meio.

4.2.3.9 Coliformes totais e termotolerantes

Conforme apresentado na Tabela 12 as eficiências de remoção dos parâmetros coliformes totais e termotolerantes não apresentaram variação. Acredita-se que tal

ocorrido pode ser decorrente dos materiais utilizados para o preenchimento do leito com plantas e filtro lento. Portanto, é necessário proceder outras análises para verificação de novos resultados.

4.3 Análise do Potencial de Reuso

A análise do potencial de reuso foi realizada adotando os resultados alcançados na amostra de efluente final coletada no filtro lento sendo comparada com as resoluções vigentes apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Resultados dos parâmetros avaliados para águas de reuso

Parâmetro	Valor encontrado	Limite legal		Classe de enquadramento	
		NBR 13969	ANA	NBR 13969	ANA
Cor aparente	25,50	-	$\leq 10 - 30$ UC	-	Classe 3
Turbidez	2,83	< 10 UT	$\leq 2 - 5$ UT	Classes 1,2 e 3	Classe 3
Sólidos Suspensos Totais	1,00	-	$\leq 5 - 5000$ mg/L	-	Classes 1,2 e 3
Sólidos Dissolvidos Totais	176,00	< 200 mg/L	$\leq 500 - 1000$ mg/L	Classe 1	Classe 1
Condutividade elétrica	351,90	-	-	-	-
Demanda química de oxigênio	23,75	-	75 mg/L	-	Classe 4
Oxigênio dissolvido	8,30	> 2 mg/L	-	Classe 4	-
pH	8,50	6,0 – 8,0	6,0 – 9,0	Classe 1	Classes 1,2,3 e 4
Dureza	102,00	-	650 – 850 mg/L	-	-
Alcalinidade	306,00	-	350 – 500 mg/L	-	Classe 4
Cloretos	132,50	-	$< 350 - 600$ mg/L	-	Classes 3 e 4
Coliformes totais	> 11000	-	2,2 NMP/100 mL	-	-

Coliformes termotolerantes	>11000	< 200 NMP/100 mL	≤ 200 NMP/100 mL	-	-
-------------------------------	--------	------------------------	---------------------	---	---

Fonte: Própria autoria (2019).

5 CONCLUSÃO

Por meio da realização deste trabalho, pode-se concluir que o efluente final do sistema *wetland* construído, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás, nas condições atuais, não estão em conformidade com os limites estabelecidos pelas normativas de águas de reuso, devido à instabilidade do sistema. Diante do exposto, constata-se que o efluente tratado pelo filtro lento de solo atendeu a grande parte dos parâmetros estabelecidos pelas classes de reuso da ANA (2005) falhando no parâmetro biológico.

Conforme a Agência Nacional de Águas, especificamente no manual sobre “Conservação e reuso de água em edificações”, o efluente final do filtro lento de solo atendeu as exigências para os seguintes parâmetros:

- Água de reuso Classe 1: pH; cor aparente, turbidez;
- Água de reuso Classe 2: pH;
- Água de reuso Classe 3: pH, cor aparente, turbidez;
- Água de reuso Classe 4: pH, dureza, alcalinidade, DQO, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais.

Apesar de que a maioria das análises realizadas para o efluente filtrado pelo solo tenham se enquadrado nos parâmetros, não podemos afirmar que esta seja verídica. Uma vez que o sistema apresentou oscilações durante o período de estudo, sua composição vegetal reduziu consideravelmente em relação ao dimensionamento proposto por Silveira (2018).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Atlas Esgotos**: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017.

_____. **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo: ANA, 2005.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. Ed. Whashington D.C./USA: APHA, AWWA, WEF, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13969**: tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providencias. Brasília: Diário Oficial da União, 2006.

COSTA, J. F.; PAOLI, A. O.; SPERLING, M. V.; SEIDI, M. Avaliação do desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluente de reator UASB, com base em quatro anos de monitoramento. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, jan/fev. 2018, 191-200.

FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; FIA, R.; BORGES, A. C.; CECOM, P. R. Efeito da vegetação em sistemas alagados construídos para tratar águas residuárias da suinocultura. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.2, p. 303-311, mar./abr. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Estações Automáticas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODM0MjM=>>>. Acesso em: 13 nov.2019.

KADLEC, R. H; WALLACE, S. **Treatment wetlands**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

MANCUSO, P.C.; SANTOS, H.F. **Reuso de água**. Barueri: Manole, 2003.

MARRARA, D.A.F. **Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos e reuso**. Tese de mestrado. Campinas, 2005.

MELO, Antônio Renê Benevides. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativado**. (Dissertação). Mestrado em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Recife, PE: Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

MELO JÚNIOR, Ariston Silva; NASCIMENTO, Patrícia Cacho; RIBEIRO, Kleber Aristides; CAMPOS, Rubens; LUCENA, Luan Saraiva; SILVA, Leticia Rufo; et al. **Avaliação do desempenho em filtro lento quanto a melhoria no pH e condutividade elétrica de esgoto doméstico**. São Paulo, jan./dez, 2019; 7 (1): p. 1-19.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

PITALUGA, Douglas Pereira da Silva; ALMEIDA, Rogério Araújo; REIS, Ricardo Prado Abreu. **Wetland construído no tratamento de esgotos sanitários: substratos**. Goiânia: Novas Edições Acadêmicas, 2015.

PITALUGA, D. P. S. **Avaliação de diferentes substratos no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

PRATA, R. C.; MATOS, A. T.; CECOM, P. R.; MONACO, P. A. V.; PIMENTA, L. A. Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, 2013; 33 (6): p. 1144-1155.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (PROSAB). **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 114p.

QUELUZ, João Gabriel Thomaz. **Eficiência de alagados construídos para o tratamento de águas residuárias com baixas cargas orgânicas**. Originalmente apresentada como tese de doutorado. Botucatu, SP: Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2016.

SANTIAGO, Aníbal da Fonseca; CALIJURI, Maria Lúcia; LUIS, Patrícia das Graças. Potencial para utilização de sistemas de wetlands no tratamento de águas residuárias: uma contribuição a sustentabilidade dos recursos hídricos no Brasil. **Revista Natureza & Desenvolvimento**. 2005; 1 (1): p. 29-39.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Potencialidade dos filtros tratados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima tropical**. Tese de Doutorado. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; ALVARENGA, R. A. F.; VALENTE, V. B.; PHILIPPI, L. S. Filtro plantado com *Typha* spp de fluxo horizontal (constructed wetland) aplicado como polimento de efluente de lagoa facultativa. **23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 2005, Campo Grande, MS. Campo Grande: ABES, II-348, CD-ROM, 2005.

SILVA, Selma Cristina. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. Tese de Doutorado. Brasília, DF: Universidade de Brasília (UnB), 2007.

SILVA, Mayssa Alves; SANTANA, Claudemir Gomes. Reuso de água: possibilidades de redução do desperdício nas atividades domésticas. **Revista CEDS**, ago./dez., 2014; 1: p. 1-14.

SILVEIRA, Jéssica Rodrigues. **Potencial de reuso do efluente tratado por sistema Wetland construído**. Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2018.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

TELLES, Dirceu D'Alkmin; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água**: conceitos, teorias e práticas. 2. Ed. São Paulo: Blucher, 2010.

VALENTIM, Marcelus Alexander Acorinte. **Uso de leitos cultivados no tratamento de tanque séptico modificado**. Campinas, SP, 1999. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2003.