

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ENGENHARIA AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DOS
EFLUENTES, AFLUENTES E TECNOLOGIAS SOCIAIS APLICADAS EM
ÁREA DE MATA ATLÂNTICA

Alunos: Nelson Luiz Lima Barcelos; Patricia Tamaki Seto

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Monografia apresentada ao curso
de graduação em Engenharia
Ambiental da Escola de
Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo.

São Carlos

2024

NELSON LUIZ LIMA BARCELOS

PATRICIA TAMAKI SETO

**CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DOS
EFLUENTES, AFLUENTES E TECNOLOGIAS SOCIAIS APLICADAS EM
ÁREA DE MATA ATLÂNTICA**

Versão Original

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Zaiat

São Carlos

2024

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Nelson Luiz Lima Barcelos e Patricia Tamaki Seto**

Data da Defesa: 14/11/2024

Comissão Julgadora:

Marcelo Zaiat (Orientador(a))

Victor Eduardo Lima Ranieri

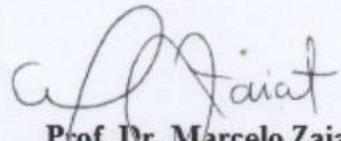
Mayara Caroline Felipe

Resultado:

Aprovado(a)

Aprovado/a

Aprovado (a)



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

B242c

Barcelos, Nelson Luiz Lima
Caracterização e diagnóstico da qualidade dos efluentes, afluentes e tecnologias sociais aplicadas em área de Mata Atlântica. / Nelson Luiz Lima Barcelos, Patricia Tamaki Seto; orientador Marcelo Zaiat -- São Carlos, 2024.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2024.

1. Tratamento. 2. Biorreatores. 3. Esgoto sanitário. 4. Sustentabilidade. 5. Tecnologias sociais. I. Barcelos, Nelson Luiz Lima. II. Asano, Patricia Tamaki Seto. III. Título.

Dedicamos este trabalho a todos aqueles que estiveram presentes em nossa jornada, família, amigos, professores e colaboradores que nos apoiaram nos momentos mais difíceis e serviram de apoio para chegarmos até aqui.

AGRADECIMENTOS

Com imensa gratidão, gostaríamos de expressar nossos agradecimentos a todos que contribuíram para a realização de nosso trabalho, e àqueles que nos apoiaram e nos moldaram para sermos quem somos hoje.

Agradecemos ao Instituto Terra Luminous (ITL) por proporcionar um ambiente acolhedor e inspirador, tendo nós recebido durante o desenvolvimento do nosso projeto, e que inicialmente trouxeram a oportunidade da realização deste trabalho. A colaboração com a equipe do instituto foi fundamental para o sucesso de nossa pesquisa e aplicação prática.

Queremos também agradecer ao coordenador do projeto, Victor Eduardo Lima Ranieri, e a todos que apoiaram o projeto, incluindo nosso professor orientador Marcelo Zaiat, cuja orientação e incentivo foram indispensáveis, assim como os outros docentes que passaram pelo projeto. Assim como professores, o projeto teve apoio de outros alunos da EESC, em especial do Grupo de Estudos e Intervenções Socioambientais (GEISA), grupo que forma estudantes através da extensão universitária, e graças a ele tivemos a oportunidade de participar do projeto, o GEISA nos proporcionou um espaço de aprendizado, crescimento pessoal e boas amizades. Também gostaríamos de agradecer a Bianca Jacobé Martins Soares, aluna da Universidade Federal de São Carlos, que nos ajudou durante as atividades dentro do Instituto.

Pelo acaso nos encontramos, e pelo acaso continuamos próximos um do outro. Agradecemos a todos aqueles que, por alguma razão, continuaram conosco em nossa jornada. A nossa família, por ter nos formado e apoiado mesmo quando não sabíamos as respostas das perguntas mais simples. A nossos amigos que fizemos na faculdade, que nos momentos de maior dificuldade nos apoiaram e confiaram em nosso apoio. A Enactus USP São Carlos, rede Enactus, e comunidade do Capão das Antas, que em especial nos formou como jovens empreendedores, e nos ajudou a superar grandes desafios através do trabalho em equipe, visão empreendedora e proatividade. Por fim, queremos estender nossa gratidão a toda a universidade, servidores, e comunidade USP, os quais dividimos experiências e vivências que continuarão em nossa memória.

RESUMO

BARCELOS, N. L. L.; SETO, T. P. **Caracterização e diagnóstico da qualidade dos efluentes, afluentes e tecnologias sociais aplicadas em área de mata atlântica.** 2024. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

O estudo foca na importância do saneamento básico e do tratamento adequado de esgoto, considerando a sazonalidade da população em áreas de ecoturismo, que pode impactar a geração de efluentes. Assim, este trabalho visa diagnosticar a qualidade dos efluentes e propor melhorias nos sistemas de tratamento, contribuindo para a preservação ambiental e o bem-estar das comunidades locais, tendo como exemplo o Instituto Terra Luminous (Juquitiba, SP). Após a caracterização da área de estudo, foi feito o processo de amostragem realizado em diferentes pontos estratégicos para a coleta de efluentes e afluentes, nos sistemas de tratamento de esgoto locais. Os sistemas são baseados em tecnologias naturais, como biodigestores, zona de raízes e círculos de bananeiras. Foram analisados três sistemas: do edifício Floresta, Grão e Pachamama. Foram estabelecidos critérios rigorosos para a coleta, incluindo a filtragem das amostras e a minimização do tempo entre a coleta e a análise, a fim de garantir a precisão dos dados. As análises laboratoriais foram conduzidas para avaliar a qualidade da água, utilizando métodos padronizados que permitiram a comparação dos resultados ao longo das diferentes etapas do tratamento, visando identificar a eficiência dos sistemas aplicados. Após definido e validado o método de amostragem e feitas as análises das amostras, pôde-se concluir que: o sistema do edifício Floresta destacou-se como o mais eficiente, apresentando a melhor remoção de matéria orgânica, nitrogênio (N) e fósforo (P), sendo o único que operava exclusivamente com dormitórios. Em contraste, os sistemas Grão e Pachamama, que incluíam um restaurante e uma lavanderia, respectivamente, não conseguiram remover N e P de forma eficiente, embora tenham demonstrado uma adequada remoção de matéria orgânica. Essa ineficiência foi atribuída ao uso de produtos de limpeza que continham N e P, que foram lançados nos pontos de coleta, resultando em altas concentrações desses nutrientes. A análise dos dados indicou que, apesar das limitações, a eficiência geral dos sistemas poderia ser melhorada com ajustes e monitoramento contínuo.

Palavras-chave: Tratamento. Biorreatores. Esgoto Sanitário. Sustentabilidade. Tecnologias Sociais.

ABSTRACT

BARCELOS, N. L. L;SETO, T. P. Characterization and diagnosis of the quality of effluents, tributaries and social technologies applied in an Atlantic forest area. 2024. Undergraduate Thesis (Bachelor in Environmental Engineering) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2024.

This study focuses on the importance of basic sanitation and proper sewage treatment. It also considers the seasonal influx of visitors in ecotourism areas, which can influence effluent generation. Thus, the aim of this research was to diagnose effluent quality and propose improvements to treatment systems, contributing to environmental preservation and the well-being of local communities, taking the Terra Luminous Institute (Juquitiba, SP) as an example. Following the characterization of the study area, a sampling process was conducted at various strategic points for the collection of effluents and influents from local sewage treatment systems. These systems are based on natural technologies, such as biodigesters, root zones, and banana circles. Three systems were analyzed: Floresta, Grão, and Pachamama buildings. Strict criteria were established for sample collection, including sample filtration and minimizing the time between collection and analysis to ensure data accuracy. Laboratory analyses were conducted to assess wastewater quality using standardized methods, allowing for the comparison of results across different stages of treatment to evaluate the efficiency of the applied systems. After defining and validating the sampling method and analyzing the samples, the following conclusions were drawn: the Floresta building's system stood out as the most efficient, achieving the highest removal rates of organic matter, nitrogen (N), and phosphorus (P), as it served only dormitory facilities. In contrast, the Grão and Pachamama systems, which included a restaurant and laundry, respectively, were unable to efficiently remove N and P, though they showed adequate organic matter removal. This inefficiency was attributed to the use of cleaning products containing N and P, which were introduced into the collection points, resulting in high concentrations of these nutrients. Data analysis indicated that despite certain limitations, the overall efficiency of the systems could be improved through adjustments and continuous monitoring.

Key-words: Wastewater Treatment. Bioreactors. Sewage. Sustainability. Social Technologies.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localização do Instituto Terra Luminous (ITL)..... | 22 |
| Figura 2: Desenho técnico dos sistemas de Tratamento de esgoto por Zonas de Raízes instalados no Instituto Terra Luminous..... | 24 |
| Figura 3: Sistema de tratamento de esgoto no Grão..... | 26 |
| Figura 4: Sistema de tratamento de esgoto no Pachamama..... | 26 |
| Figura 5: Sistema de tratamento de esgoto no Floresta..... | 27 |
| Figura 6: Localização dos pontos de amostragem..... | 28 |
| Figura 7: Coleta do G1..... | 29 |
| Figura 8: Coleta G5..... | 30 |
| Figura 9: Lago..... | 31 |
| Figura 10: Coleta do P1 utilizando um sifão..... | 32 |
| Figura 11: Coleta do P2..... | 32 |
| Figura 12: Coleta P3..... | 33 |
| Figura 13: Coleta P4..... | 33 |
| Figura 14: Coleta do F1..... | 34 |
| Figura 15: Coleta F2..... | 35 |
| Figura 16: Círculo de bananeiras do ITL..... | 38 |
| Figura 17: Novo sistema de tratamento de esgoto no Grão..... | 39 |
| Figura 18: Novo sistema de tratamento de esgoto no Pachamama..... | 39 |
| Figura 19: Ocupação atual do entorno da região do ITL..... | 46 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. OBJETIVO GERAL | 12 |
| 2.1 Objetivos Específicos | 12 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 3.1. Contextualização do tema | 13 |
| 3.2. Contextualização do problema enfrentado | 20 |
| 3.2.1. Biodigestor Anaeróbio | 22 |
| 3.2.2. Tratamento de esgoto por Zonas de Raízes | 23 |
| 3.2.3. Caixa de gordura | 24 |
| 3.2.4. Círculo de bananeiras | 25 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 25 |
| 4.1. Caracterização da Área de Estudo | 25 |
| 4.1.1. Grão | 25 |
| 4.1.2. Pachamama | 26 |
| 4.1.3. Floresta | 27 |
| 4.1.4. Lago | 27 |
| 4.2. Amostragem | 27 |
| 4.2.1. Escolha dos pontos de amostragem | 27 |
| 4.2.2. Primeira Amostragem | 28 |
| 4.2.3. Segunda Amostragem | 36 |
| 4.2.4. Terceira Amostragem | 37 |
| 4.2.5. Quarta Amostragem | 38 |
| 4.3. Análise das Amostras | 40 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 41 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES FUTURAS | 47 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 48 |
| | 10 |

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 2,3 bilhões de pessoas no mundo ainda vivem sem acesso a saneamento adequado, representando 30% da população global (WHO/UNICEF, 2017). A maior parte dessas pessoas, cerca de 70%, está em áreas rurais, onde práticas inadequadas como defecação a céu aberto e o uso de buracos no solo são comuns (WHO/UNICEF, 2015).

No Brasil, os dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2024, mostram que a proporção de domicílios com acesso à rede de coleta de esgoto no Brasil chegou a 62,5% em 2022. Isso representa um aumento significativo em relação aos anos anteriores, com 44,4% em 2000 e 52,8% em 2010. No entanto, ainda há 49 milhões de pessoas vivendo em residências sem descarte adequado de esgoto, o que corresponde a 24% da população. Em áreas rurais, a situação do saneamento básico é ainda mais desafiadora. De acordo com os dados do Censo 2022 divulgados pelo IBGE, 3.505 municípios brasileiros apresentavam menos da metade da população morando em domicílios com coleta de esgoto. Além disso, em 2.386 municípios, menos da metade dos habitantes residia em domicílios com esgotamento por rede coletora ou fossa séptica (IBGE, 2000; IBGE, 2010; IBGE, 2022; IBGE, 2024).

Para essas populações que vivem em zonas rurais, a implementação de sistemas descentralizados de saneamento pode ser uma solução viável. No entanto, essa implantação requer não apenas bons projetos e políticas públicas, mas também a participação ativa das comunidades locais para garantir que as tecnologias sejam apropriadas e sustentáveis. A cooperação entre os diversos atores envolvidos no processo é fundamental para alcançar sistemas de saneamento mais eficientes e adequados.

Há um movimento global em prol de tecnologias inovadoras de saneamento que podem ser aplicadas ao ITL: tecnologias mais avançadas, como vermicultração e bacias de evapotranspiração (BET), também estão sendo estudadas como alternativas eficazes e de baixo custo para o saneamento em áreas rurais, entretanto, o instituto possui o interesse em tecnologias mais simples, de fácil manipulação e implementação. Essas foram apenas exemplos de tecnologias existentes, mas não aplicadas no ITL.

Por isso, este estudo de caso tem como objetivo explorar a melhor abordagem para a implementação de sistemas de tratamento de esgoto em áreas de ocupação incomum, como a

região habitada sob a gestão do Instituto Terra Luminous (ITL), localizada na área rural de Juquitiba (SP), no bioma Mata Atlântica.

O ITL, é um instituto socioambiental que promove a conservação de um dos últimos remanescentes da Mata Atlântica por meio de iniciativas como preservação ambiental, educação, agrofloresta, e economia solidária. Por meio do Programa Cinturão Verde, o ITL pretende conectar o Parque Estadual da Serra do Mar, criando um corredor ecológico que protege os recursos hídricos e a biodiversidade local. A região é vital para a preservação da Mata Atlântica e para garantir a qualidade da água, essencial tanto para a saúde pública quanto para o abastecimento das comunidades.

O ITL utiliza atualmente um sistema composto por: biodigestores; que processam esgoto sanitário por meio da decomposição da matéria orgânica, gerando biogás e fertilizantes, caixas de gordura que separam gorduras das águas residuárias; zonas de raízes, que funcionam como biofiltros; e círculos de bananeiras para a destinação de águas cinzas. No entanto, a eficiência desse sistema ainda é desconhecida, pois não há monitoramento adequado dos efluentes e afluentes desses sistemas.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto das edificações do Instituto Terra Luminous (ITL).

2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Caracterizar e elaborar o diagnóstico analisando os parâmetros físico-químicos de qualidade dos efluentes provenientes das edificações do Instituto Terra Luminous (ITL), tanto no afluente quanto no efluente dos sistemas utilizados para tratamento de esgotos gerados.
- Avaliar a eficiência das tecnologias de tratamento dos efluentes e propor melhorias para as soluções já implantadas.
- Desenvolver estudo de alternativas tecnológicas para o tratamento dos efluentes, adaptadas à realidade local, com vistas a propor modelos de soluções aplicáveis à comunidade.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Contextualização do tema

A qualidade do ambiente depende de aspectos físicos e sociais. O ambiente físico é condicionado por fatores como o ar, a água, o solo e alimentos. O ambiente social pela política, economia, entre outras ações antrópicas que influenciam o ambiente direta ou indiretamente, como o saneamento básico (Silva, 2005).

O saneamento é um dos meios mais importantes de prevenção de doenças e de poluição hídrica, ajudando a promover a saúde. Segundo a Organização Mundial da Saúde: saneamento é “o controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre o seu bem-estar físico, mental ou social” (Motta, 1993).

De acordo com a Lei Federal 11.445/07, pode-se definir saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Quando em ação, o saneamento oferece melhoria na educação, na renda dos trabalhadores, na preservação dos recursos hídricos, na valorização dos imóveis e do turismo (Heller, 1998; Leoneti et al., 2011; Trata Brasil, 2020).

No Brasil, os maiores problemas de poluição são causados pelo aporte de despejo nas águas em áreas urbanas, pela poluição do ar, pela gestão precária de resíduos sólidos e poluição causadas por indústrias, mineração e queimadas. Nota-se que o saneamento básico precário está entre os maiores problemas de poluição. Por exemplo, segundo o Instituto Trata Brasil cerca de 32 milhões de pessoas vivem sem acesso à água potável e cerca de 90 milhões de pessoas não estão ligadas à rede geral de coleta de esgoto (Trata Brasil, 2024).

Os sistemas de tratamento de esgoto sanitário em cidades possuem como principais finalidades contribuir para a saúde pública, ao garantir o bom desempenho do abastecimento de água, destinar adequadamente os despejos lançados nos cursos d'água e garantir o bem-estar da população, diminuindo o mau cheiro, mantendo a estética atraente e eliminando patógenos da água (Viel, 1994). Entretanto, no Brasil, por mais que o saneamento básico, e por consequência, o tratamento de esgoto sanitário, seja um direito fundamental da população, o Estado ainda falha em tornar esse direito em uma realidade.

De acordo com o Censo Demográfico de 2022, cerca de 49 milhões de brasileiros, mais ou menos 24,3% da população, não têm acesso a uma estrutura adequada de saneamento básico (IBGE, 2022). Assim, o esgoto correndo a céu aberto é uma realidade em diversos locais, representando uma séria ameaça à saúde pública e ao meio ambiente, contribuindo para a geração de poluição por falta de tratamento.

A disposição correta e segura dos esgotos sanitários gera benefícios que vão além da proteção dos recursos naturais. Pois contribui diretamente para o bem-estar da população (Cooper, 1975; Folgueira; Ferraz; Correia, 2011; Rocha et al., 2004). Esse processo promove a redução de poluentes lançados no solo e nos corpos d'água, contribuindo para a preservação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, é um fator determinante para o controle da carga orgânica e de nutrientes em efluentes, minimizando os riscos de eutrofização e outros desequilíbrios ecológicos.

Dentro do saneamento básico, o esgoto pode ser definido como o líquido proveniente do banho, limpeza de roupas, louças ou descarga do vaso sanitário. Dependendo de sua origem, o esgoto pode apresentar diferentes características a depender do uso da água, tais como as de uso doméstico, comercial, hospitalar, industrial, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outras fontes. O esgoto doméstico pode ser classificado como águas cinzas ou negras, dependendo de sua origem. Água cinza é a água residual, proveniente de chuveiros, pias, máquinas de lavar roupa, pode conter restos de alimentos e até algumas partículas sólidas como areia, mas não contém excretas humanas. Já a água negra é toda a água residual proveniente de bacias sanitárias, contendo excretas humanas (urina e fezes) (Gonçalves, 2006).

Segundo Miguel et al. (2004), existem 3 classificações principais para os esgotos, de acordo com a sua origem:

- Sanitário, comum ou doméstico: provém principalmente de edifícios residenciais, comerciais, instituições ou quaisquer edifícios que contenham banheiros, lavanderias, cozinhas ou qualquer equipamento usado para água doméstica. Tais efluentes são compostos principalmente por água do banho, urina, fezes, papel, resíduos de alimentos, sabão e detergente (atividades familiares).
- Industrial: provém de indústrias, sendo que cada processo industrial gera um esgoto diferente.

- Pluvial: provém da coleta de precipitação atmosférica e da lavagem das ruas.

A composição do esgoto sanitário varia ao longo do dia, apresentando maiores impurezas em horários usados para banhos e serviços domésticos, carregando uma variedade de organismos patogênicos. Águas residuárias industriais podem fazer parte também da composição do esgoto sanitário quando descartadas nas redes coletoras. Em suma, o esgoto é composto basicamente por 99,9% de água e 0,1% de sólidos (partículas orgânicas, inorgânicas, suspensas e dissolvidas, além de microrganismos).

Quando descartadas, as águas residuárias além de afetarem a qualidade da água, diminuindo sua potabilidade, também são responsáveis por gerar impactos ambientais na biota aquática, desestabilizando todo o sistema e causando a mortes de seres vivos essenciais, não só para o ecossistema aquático, como o terrestre (Viel, 1994).

Por isso, para a devolução das águas ao meio ambiente, é imprescindível submetê-las a processos de tratamento que atendam aos padrões estabelecidos pelas legislações ambientais, para então serem lançadas adequadamente nos cursos d'água. A destinação correta e adequada do esgoto visa, dessa forma, garantir a qualidade e integridade dos recursos hídricos e dos ecossistemas naturais.

Segundo Jordão e Pessôa (2005), as características do esgoto podem variar qualitativa e quantitativamente. A quantificação é feita pelo parâmetro da vazão, composto pela quantidade do esgoto produzido pela cidade e a água de infiltração originadas da extensão da rede coletora de esgotos, defeitos nos tubos e paredes dos poços de visita durante um intervalo de tempo, em geral, considerado de um dia. Vale ressaltar que uma vazão atípica a normal, maior ou menor, pode persistir em um tempo continuado e eventualmente se repetir dependendo de alguns fatores, como feiras, campeonatos e feriados, e influenciam no comportamento da ETE (Jordão; Pessôa, 2005). Já as características qualitativas, devido à dificuldade de realizar esses testes em laboratório e ao fato de que os resultados deles não serem diretamente aplicáveis ao projeto, é preferível usar parâmetros indiretos. Esses parâmetros indiretos incluem características físicas, químicas e biológicas. Em outras palavras, em vez de tentar medir diretamente as características qualitativas, que podem ser complicadas e pouco práticas, é mais eficiente e útil medir parâmetros que indiretamente indicam essas características. Por exemplo, em um projeto de saneamento, pode ser mais fácil e relevante medir a qualidade da água através de parâmetros como turbidez (físico), pH (químico) e

presença de coliformes fecais (biológico), ao invés de tentar medir diretamente a "qualidade" da água de uma forma mais subjetiva. (Von Sperling, 2005).

As características físicas da água são aquelas de origem orgânica ou inorgânica, formadas por partículas sólidas, que alteram aspectos como a turbidez e sua cor, podendo gerar um odor e provocar alterações na temperatura, independentemente de sua característica química e biológica (Barros, 2014).

As características químicas são compostas por substâncias orgânicas (proteínas, gorduras, carboidratos, fenóis e substâncias sintéticas como detergentes e agrotóxicos) e inorgânicas solúveis. As substâncias com maior enfoque são nutrientes (nitrogênio e fósforo), enxofre, metais e compostos tóxicos (Barros, 2014).

Por último, as características biológicas são compostas predominantemente por microrganismos representados pelos coliformes fecais (presentes em fezes humanas), por coliformes totais (presentes nas fezes humanas, animais) e pelos patógenos (Leme, 2010).

Os parâmetros de qualidade da água para abastecimento no Brasil são regulados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e complementados por outras normas, como a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde. Esses parâmetros definem os padrões que garantem que a água seja segura para o consumo humano, protegendo a saúde pública e o meio ambiente. A água destinada ao abastecimento precisa atender a critérios de qualidade que variam de acordo com o seu uso e grau de tratamento (CONAMA, 2005).

Aqui está uma visão geral dos principais parâmetros e normas aplicados:

- Parâmetros de Potabilidade da Água - Portaria do Ministério da Saúde (Portaria GM/MS nº 888/2021)

A Portaria GM/MS nº 888/2021 define os critérios e padrões de qualidade da água para consumo humano. Esses parâmetros incluem:

- Microbiológicos: ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* em 100 mL de amostra, pois estes indicam possível contaminação fecal.
- Físico-químicos: parâmetros como cor, turbidez (máximo de 5 UNT), sabor, odor e temperatura, além de concentrações de metais pesados e compostos

orgânicos, como chumbo, cádmio, mercúrio, nitrato e nitrito, que devem obedecer aos limites regulamentados.

- Parâmetros de cloro residual: entre 0,2 e 2,0 mg/L para garantir desinfecção adequada, sem gerar riscos à saúde.
- Substâncias orgânicas e inorgânicas: como hidrocarbonetos, pesticidas e solventes, que possuem limites específicos de acordo com o impacto à saúde.
- Classificação dos Corpos Hídricos e Lançamento de Efluentes - Resolução CONAMA nº 357/2005 e suas atualizações:

A Resolução CONAMA nº 357/2005 regulamenta a classificação dos corpos d'água em diferentes classes e estabelece padrões de qualidade para cada tipo, além dos requisitos para o lançamento de efluentes.

- Classes de Água e Principais Parâmetros:
 - Água doce:
 - Classe Especial: águas destinadas ao abastecimento humano sem necessidade de tratamento e preservação do equilíbrio natural.
 - Classe 1: permite o abastecimento humano com tratamento simplificado, e é usada para proteção da fauna e flora aquática e para recreação.
 - Classe 2: permite o abastecimento humano com tratamento convencional, recreação de contato secundário e irrigação.
 - Classe 3: admite o abastecimento humano com tratamento avançado e uso para atividades industriais.
 - Classe 4: águas destinadas à navegação e harmonia paisagística.
 - Parâmetros de Qualidade e Padrões de Lançamento (CONAMA 430/2011):

Para cada classe, há limites específicos para:

- Oxigênio Dissolvido (OD): deve estar acima de 6 mg/L para Classe Especial e 5 mg/L para Classe 1, essencial para manter a vida aquática.
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}): mede a quantidade de matéria orgânica biodegradável; não deve ultrapassar 3 mg/L para Classe 1 e 5 mg/L para Classe 2.

- Nutrientes: como fósforo e nitrogênio, limitados para evitar eutrofização. No lançamento de efluentes, esses valores devem ser controlados, como o fósforo com máximo de 0,5 mg/L para corpos de água Classe 2.
- Toxicidade e Metais Pesados: há limites para metais como cádmio, chumbo e mercúrio, dependendo da classe do corpo hídrico.
- Temperatura: o lançamento de efluentes não pode elevar a temperatura do corpo hídrico em mais de 3°C acima da média.

Esses parâmetros são definidos com o intuito de evitar impactos ambientais e manter a água em condições adequadas para uso humano, recreativo e para a vida aquática.

A sazonalidade é caracterizada por variações periódicas que podem ocorrer ao longo do dia, ao longo da semana e dos meses do ano. De acordo com Nuvolari (2003), o esgoto sanitário é gerado a partir do uso de água do abastecimento, tendo o volume do efluente gerado proporcional à quantidade de água consumida pela população. Tal quantidade é influenciada por variações sazonais como a rotina e atividades da população, a flutuação populacional influenciada pelo turismo e o clima do ambiente (Oliveira, 2014).

Exemplos de locais onde o esgoto sanitário pode ser influenciado pela sazonalidade, são ocupações em áreas de ecoturismo. Considerando a localização do ambiente e atividades de turismo, tais locais acabam tendo uma flutuação populacional diferente da de áreas urbanas. Por conta dessas ocupações sazonais, descargas de esgoto são lançadas nos corpos hídricos em intensidades muito variadas e amplas, gerando um impacto repentino no local. Por esses motivos, principalmente, surge a necessidade de estudos e pesquisas sobre melhores opções de sistemas de tratamento de esgoto, uma vez que as estações de tratamento (ETE) comuns não são as mais adequadas para estes locais. As ETE comuns ocupam uma grande área, não estão geralmente preparadas para sobrecargas e nem para lançamentos sazonais, além de poderem interferir na harmonia paisagística.

A implementação de sistemas de tratamento de esgoto naturais em áreas rurais requer um planejamento cuidadoso para evitar impactos negativos. As principais preocupações incluem (Figueiredo, 2019):

- Dimensionamento Adequado do Sistema: Uma das preocupações mais frequentes é o subdimensionamento ou superdimensionamento dos sistemas. O

cálculo incorreto pode resultar em um tratamento ineficiente, seja pela sobrecarga do sistema em períodos de maior geração de esgoto (como em áreas turísticas), ou pelo acúmulo de resíduos quando há menos fluxo de efluentes. Estudos mostram que a eficiência do sistema pode ser comprometida se não houver um equilíbrio adequado entre a capacidade e a carga de efluentes.

- Monitoramento Contínuo: A falta de monitoramento contínuo pode resultar em falhas nos sistemas de tratamento, permitindo que poluentes escapem para o ambiente. Mesmo com sistemas naturais, é essencial realizar testes periódicos para verificar a qualidade dos efluentes tratados, a fim de garantir que eles atendam aos padrões ambientais.
- Riscos à Biodiversidade Local: Embora essas tecnologias possam ser benéficas ao ecossistema, é importante garantir que as plantas e micro-organismos usados no processo sejam nativos da área. A introdução de espécies exóticas ou não adaptadas ao bioma local pode causar impactos ecológicos negativos, prejudicando a biodiversidade da região. O manejo inadequado de zonas de raízes ou círculos de bananeiras, por exemplo, pode alterar a composição do solo ou a flora nativa.
- Influência de Variações Climáticas e Sazonalidade: Em áreas de ecoturismo, é crucial considerar como as mudanças sazonais e o clima afetam o desempenho desses sistemas. Em períodos de seca, por exemplo, a eficiência de evapotranspiração nas zonas de raízes e círculos de bananeiras pode ser reduzida, enquanto períodos de chuva intensa podem sobrecarregar o sistema, levando ao transbordamento de esgoto tratado de forma inadequada.
- Manutenção e Capacitação da Comunidade: A manutenção regular é essencial para garantir a eficiência do sistema. Embora esses sistemas sejam de baixo custo, eles não são completamente isentos de manutenção. Se não houver uma capacitação adequada das comunidades locais para a gestão e manutenção dos sistemas, podem ocorrer falhas operacionais ao longo do tempo.
- Regulamentação e Conformidade Legal: Outro ponto de preocupação é garantir que a implementação dessas tecnologias esteja em conformidade com as regulamentações ambientais locais e nacionais. Embora muitos desses sistemas estejam em consonância com as diretrizes de saneamento sustentável, ainda é

necessário garantir que sejam instalados dentro dos parâmetros legais, especialmente em áreas protegidas, onde as restrições podem ser mais rigorosas.

3.2. Contextualização do problema enfrentado

Com o objetivo de aprofundar os conhecimentos sobre a complexidade de locais como esses, além de estudar qual seria a melhor abordagem para a aplicação de sistemas de tratamento de esgoto já que é um caso de ocupação incomum, surge um estudo de caso, no qual este presente projeto será baseado. Tal estudo tem como foco principal a elaboração de um diagnóstico e propor ações para manutenção e melhoria da qualidade das águas em local habitado dentro de área de Mata Atlântica, sob domínio do Instituto Terra Luminous (ITL), uma vez que o ITL conta com um sistema baseado em biodigestores, caixas de gordura, zonas de raízes e círculos de bananeiras para o tratamento de suas águas, mas não se conhece a eficiência do processo, pois não há monitoramento dos despejos afluentes e dos efluentes dos sistemas de tratamento.

O ITL, localizado no município de Juquitiba (SP), é um instituto socioambiental que apoia a conservação de um dos últimos trechos remanescentes de Mata Atlântica do Brasil por meio de programas e atividades nas áreas de preservação ambiental, agrofloresta, educação, autoconhecimento, construção do espírito de comunidade, ecoturismo e economia solidária, visando o desenvolvimento local de forma sustentável. É possível conhecer mais sobre sua atuação no site <https://terraluminous.eco.br/>. Em 2021, o ITL estabeleceu como prioridade inventariar o patrimônio natural presente em seu território e estabelecer estratégias e ações de gestão para sua proteção e uso sustentável.

Por meio do Programa Cinturão Verde, o Instituto planeja adquirir as terras que conectam o Parque Estadual da Serra do Mar, a fim de criar um corredor ecológico conectando a região, como é indicado na Figura 1. A região em que está presente o ITL e áreas projetadas pelo Programa Cinturão Verde são uma área de intermédio entre a Área de Proteção Ambiental (APA) Serra do Mar e o Parque Estadual Serra do Mar - Núcleo Itariru. importante região pelo fato de ser o trecho mais preservado da Mata Atlântica na região metropolitana de São Paulo, ameaçado pelo rápido crescimento urbano na região, sendo também uma Área de Proteção aos Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo. Dessa forma, a preservação dos corpos d'água da região se tornam essenciais para garantir a qualidade da água, promover a saúde

pública e assegurar o abastecimento sustentável para as comunidades, contribuindo assim para a preservação dos recursos hídricos para as gerações futuras.

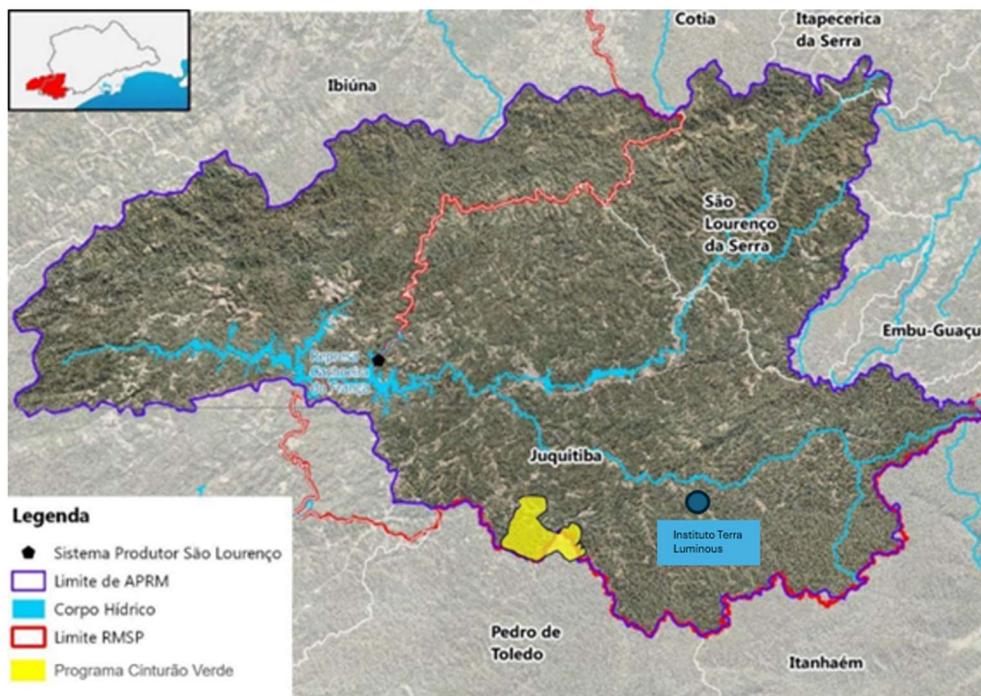
Ainda não se sabe ao certo a eficiência do funcionamento das tecnologias em operação no ITL. Porém, sabemos que o sistema de tratamento tem como base um biodigestor, que consiste em uma tecnologia que possibilita a decomposição de matéria orgânica gerando biogás e biofertilizantes, sendo capaz de processar o esgoto sanitário proveniente de edifícios (Lemes, 2008). Seu funcionamento ideal depende de parâmetros como o tempo de detenção hidráulica, a carga orgânica volumétrica e a taxa de produção de gás (Rocha, 2016), sendo variáveis de difícil controle em sistemas simplificados e em escala artesanal (Garay; Pariona, 2019; Mandlate, 2024).

Possui também uma caixa de gordura, que são dispositivos que retém as gorduras de águas provenientes de pias, chuveiros, tanques, entre outros e zonas de raízes consistem de um sistema que utiliza um processo de filtragem física em brita e areia, constituindo um biofiltro associado a plantas (Figueiredo, 2018).

Existem diversas tecnologias além das citadas acima nos dias de hoje, criadas com o intuito de serem aplicadas em áreas rurais, características por possuírem eficiência e serem de baixo custo. Essas tecnologias podem ser chamadas de sistemas de tratamento naturais de esgoto, os quais são métodos que utilizam processos biológicos e físicos para tratar efluentes de maneira sustentável e eficiente, de forma que não necessitam de grandes obras nos locais, não alterando muito a paisagem original. A vermicompostagem para o tratamento de efluentes sanitários, por exemplo, é baseada no processo de vermicompostagem para o tratamento de efluentes sanitários, porém ainda não há normas nacionais ou internacionais para o seu dimensionamento (Madrid, 2019). A bacia de evapotranspiração (BET) é uma das possíveis aplicações para tratamento de esgoto em áreas rurais e isoladas. Ainda pouco difundido, esse sistema tem como princípio aliar plantas com grande potencial de evapotranspiração ao tratamento biológico realizado por organismos anaeróbios, produzindo pouca quantidade de lodo e gerando pouco ou nenhum efluente final. Este sistema visa o aproveitamento da água e de nutrientes contidos no esgoto doméstico pelas plantas do sistema, sem necessidade de pós-tratamento (Figueiredo, 2019).

Mais tecnologias como essas estão sendo desenvolvidas e estudadas para uma melhor eficiência nos tratamentos de esgoto, uma vez que o tratamento de efluentes é essencial.

Figura 1. Localização do Instituto Terra Luminous (ITL)



Fonte: Instituto Terra Luminous/ITL (2020)

Legenda: Limite de APRM – Limite de Área de Proteção e Recuperação de Mananciais; Limite RMSP – Limite da Região Metropolitana de São Paulo

A seguir estão apresentados os principais componentes dos sistemas de tratamento instalados no ITL e como funcionam.

3.2.1. Biodigestor Anaeróbio

O biodigestor anaeróbio é um sistema fechado no qual é feita a degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio, que geralmente tem um sistema de entrada para a matéria orgânica, um tanque no qual ocorre a digestão, a saída da corrente de efluente tratado e um dispositivo para retirada do resíduo sólido. O tanque em que ocorre a bioconversão é basicamente uma câmara fechada, no qual, por processos fermentativos e de respiração anaeróbia, os microrganismos transformam a matéria orgânica em biogás e em um resíduo sólido com potencial biofertilizante (qualidade precisa ser avaliada) (Rocha, 2016). No caso do ITL, cada biodigestor utilizado recebe o esgoto gerado em uma edificação correspondente, e produz um efluente.

3.2.2. Tratamento de esgoto por Zonas de Raízes

O Tratamento de esgoto por Zonas de Raízes é feito em um percurso com macrófitas aquáticas suspensas em escoamento horizontal. As raízes das plantas, submersas nas águas, metabolizam parte dos nutrientes dissolvidos na água, como fósforo, nitrogênio e potássio (Sekadende, Machiwa, Mwanuzi, 2014).

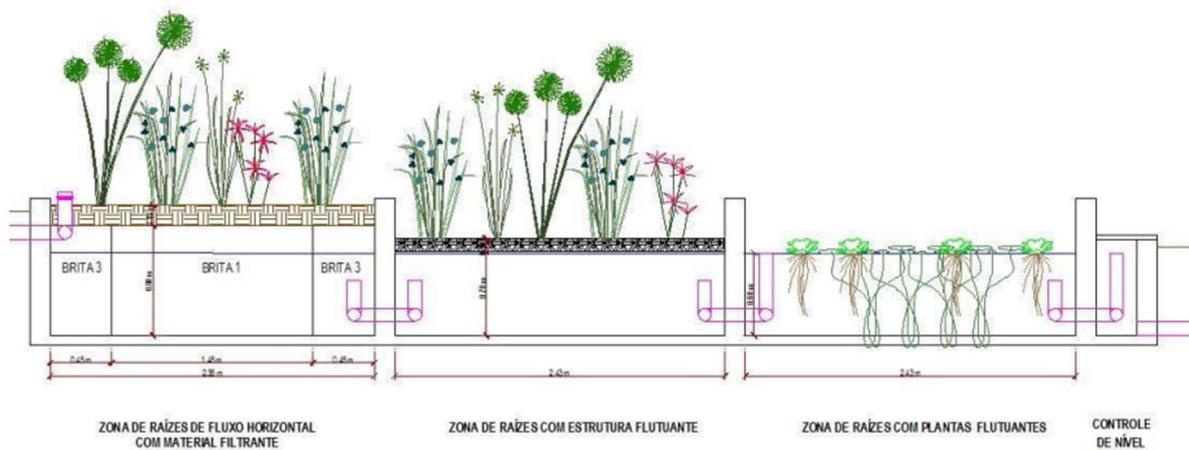
Os sistemas de Zonas de Raízes sofrem influência de diversos fatores como pH, temperatura, substrato, espécies de plantas, entre outros. Este sistema é bastante influenciado por seu layout de construção e funcionamento, que afetam diretamente a eficiência do sistema (Kataki et al., 2021).

No ITL, os sistemas de Zonas de Raízes, dimensionados por Guilherme Castagna¹, podem ser representados pelo modelo da Figura 2. O sistema possui 3 fases:

1. Zona de Raízes de escoamento horizontal com material filtrante: primeiro tanque por onde passa o esgoto, composto de brita como principal material filtrante, no qual o escoamento acontece por gravidade. A vegetação é composta de macrófitas terrestres.
2. Zona de Raízes com estrutura flutuante: segundo tanque do sistema, dividido em uma camada líquida por onde passa o esgoto, e uma camada sólida suspensa por um suporte de bambu, onde se encontra a zona de raízes de macrófitas terrestres. As 2 camadas estão em contato, possibilitando a absorção de nutrientes da água pelas plantas e bactérias.
3. Zona de Raízes com plantas flutuantes: último tanque do sistema, com fase totalmente líquida com macrófitas flutuantes, por onde o esgoto percorre.

¹ Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de Mauá (1998) e Permacultor (IPEC-2003), Sócio-fundador da Fluxus Design Ecológico. Trabalha com projetos de manejo integrado de água e foi premiado nacionalmente pela participação no projeto de Manejo de Águas Pluviais do Estádio Nacional de Brasília (Fluxus | Design Ecológico, 2024).

Figura 2: Desenho técnico dos sistemas de Tratamento de esgoto por Zonas de Raízes instalados no Instituto Terra Luminous



Fonte: Instituto Terra Luminous, 2020

3.2.3. Caixa de gordura

A Norma Brasileira NBR 8160/1999 define a caixa de gordura como uma unidade de retenção de gorduras, graxas e óleos. A caixa de gordura é um reservatório que funciona como um filtro, separando a gordura e outros resíduos da cozinha da água antes que eles entrem na rede de esgoto, através do processo natural de flotação. A gordura e outros resíduos mais densos ficam acumulados no fundo da caixa enquanto a água mais limpa é direcionada para fora da caixa (Degasperi, 2012).

A caixa de gordura é essencial para o bom funcionamento da rede de esgoto, pois impede que a gordura se acumule nos encanamentos e cause entupimentos. Sem esse dispositivo, os resíduos podem gerar mau odor, danificar a rede de esgoto e até atrair pragas como ratos e baratas.

Para garantir o funcionamento eficiente da caixa de gordura, é necessário realizar limpezas regulares, recomendadas a cada seis meses, no mínimo. Existem três formas principais de fazer essa manutenção (Degasperi, 2012):

- Abrir a caixa e retirar a camada de gordura, descartando-a no lixo orgânico;
- Contratar uma empresa especializada;
- Utilizar produtos que contêm bactérias que degradam a gordura.

3.2.4. Círculo de bananeiras

O círculo de bananeiras é um sistema de tratamento usado para tratar águas cinzas. Sua construção consiste em uma escavação no solo, delimitada pela terra retirada e posta em volta do buraco, formando uma “borda”. O buraco escavado normalmente é preenchido com pequenos galhos na camada mais a fundo e, sobre eles, folhas secas (folhas de bananeira, palha seca) para receber o esgoto a ser tratado. Na borda do sistema são plantadas bananeiras e outras plantas que gostam de umidade, formando um sistema de absorção de nutrientes pelas plantas, que se nutrem com a liberação de esgoto no interior do sistema. É importante ressaltar que o esgoto é conduzido até dentro, sem contato com a superfície e de forma subterrânea (Figueiredo; Santos; Tonetti, 2017).

4. MATERIAL E MÉTODOS

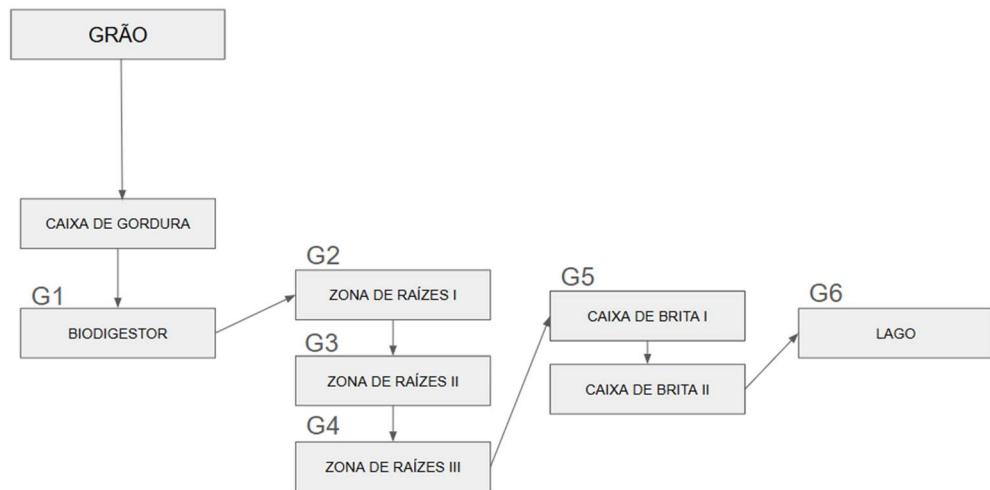
4.1. Caracterização da Área de Estudo

Os sistemas utilizados para tratamento de esgoto sanitário em cada edificação do instituto foram verificados e caracterizados durante a primeira visita ao ITL. O local é composto por acomodações/dormitórios, divididos em acomodações de moradores e de visitantes, um refeitório (acompanhado de uma cozinha). O ITL ainda possui um lago recreativo, que servia também como destinação final para as águas cinzas do refeitório. Devido ao número elevado de acomodações/dormitórios, totalizando 6, suas singularidades e a ocupação do local, decidiu-se restringir a área de estudo ao refeitório, o lago e 2 acomodações/dormitórios, por serem os ambientes utilizados com mais frequência no local e pela relevância e peculiaridade de cada um. Os locais foram designados pela terminologia utilizada pelo próprio ITL e estão descritos a seguir.

4.1.1. Grão

O Grão é o local onde as refeições são feitas, com capacidade de acomodação de até 35 pessoas. O tratamento de esgoto utilizado neste ponto consiste em uma caixa de gordura, um biodigestor, uma zona de raízes e duas zonas de britas terminando em um ciclo de bananeiras. Após o efluente passar pelo sistema de tratamento, é feito o lançamento no lago. A Figura 3 ilustra o sistema.

Figura 3: Sistema de tratamento de esgoto no Grão

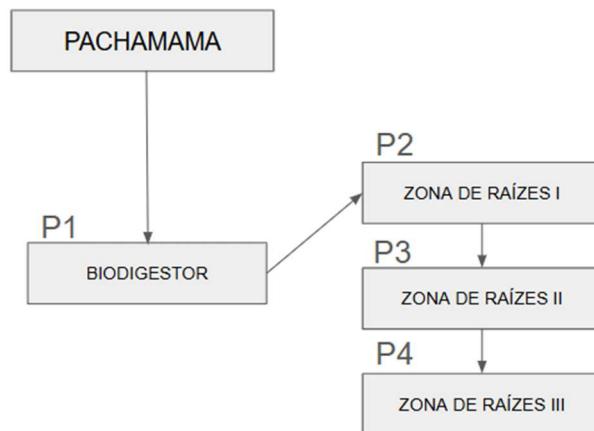


Fonte: Autoria própria

4.1.2. Pachamama

A Pachamama é uma casa de acomodação, com banheiro, quartos, sala e cozinha, com capacidade para até 5 pessoas. O sistema de tratamento do esgoto gerado consiste em um biodigestor e 3 zonas de raízes. Como ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Sistema de tratamento de esgoto no Pachamama

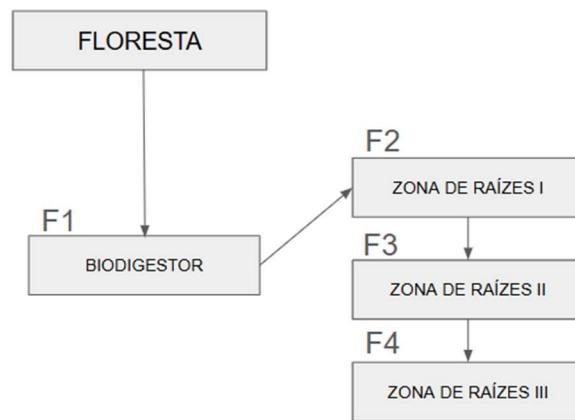


Fonte: Autoria própria

4.1.3. Floresta

A Floresta é outra casa de acomodação com 4 banheiros e quartos, com capacidade para hospedar até 11 pessoas. O sistema de tratamento do esgoto gerado consiste em um biodigestor e 3 zonas de raízes, e é direcionado ao lago. Como ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Sistema de tratamento de esgoto no Floresta



Fonte: Autoria própria

4.1.4. Lago

O lago está localizado em frente ao Grão, sendo o destino final da maior parte dos sistemas de tratamento do ITL, e é utilizado para recreação de contato direto (banho e nado).

4.2. Amostragem

4.2.1. Escolha dos pontos de amostragem

Tendo em mente a caracterização da área de estudo, foram escolhidos os pontos de coleta, que podem ser visualizados no mapa da Figura 6. Para a escolha foram considerados os tipos de tratamento de cada local e suas etapas.

Figura 6: Localização dos pontos de amostragem



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022)

Para cada etapa do sistema de tratamento de esgoto utilizado nos 3 pontos de estudo, foi feita uma coleta de amostra, visando entender a mudança das características do efluente ao longo dos processos. Para isso, preferiu-se coletar as amostras, em sua maioria, nas entradas e saídas de cada etapa.

4.2.2. Primeira Amostragem

A primeira amostragem foi feita na visita do dia 27 de novembro de 2021. Ela teve como objetivo decidir os pontos de coleta, e de acordo com os resultados das análises, aperfeiçoá-los.

4.2.2.1. Materiais utilizados

- 1 Concha (de cozinha) de metal com cabo longo;
- 1 sifão;
- 14 frascos plásticos com capacidade de 500 mL;
- Luvas plásticas;
- Caixa térmica;

Ao todo, foram coletadas 14 amostras, uma de cada ponto de coleta. Os pontos de coleta descritos abaixo estão representados nas figuras 7,8 e 9.

4.2.2.2. Grão

Nesta edificação foram coletadas 6 amostras, considerando o lago como uma extensão do sistema de tratamento. O sistema de tratamento recebe todo o esgoto gerados pela cozinha e 2 banheiros locais. A maioria dos pontos foram coletados por meio de uma concha de cabo longo diretamente da lâmina d'água ao fundo do leito de raízes. A coleta do Ponto 2 foi feita com sifão, já o Ponto 6 foi feito no próprio lago, o mais próximo possível do ponto de lançamento do efluente, o restante foi feito com a concha.

Ponto 1: G1 - essa amostra foi coletada na primeira etapa do sistema de tratamento, dentro do biodigestor, como mostrado na Figura 7. Para a sua coleta, foi utilizada uma concha de cabo comprido, de forma que alcançasse o líquido.

Figura 7: Coleta do G1.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 2: G2 - este ponto é na primeira zona de raízes, segunda etapa do tratamento, na qual o efluente do biodigestor deságua. A sua coleta nessa visita foi feita através de um sifão, porém não foi uma maneira prática de fazê-la. Assim, foram avaliados outros meios de realizá-la nas amostragens posteriores.

Ponto 3: G3 - amostra coletada na terceira etapa do tratamento, na segunda zona de raízes.

Ponto 4: G4 - seguindo para a quarta etapa do tratamento, este ponto fica na terceira zona de raízes.

Ponto 5: G5 - o quinto ponto de coleta (Figura 8) foi na primeira caixa de brita, ponto logo depois da terceira zona de raízes. Devido a superlotação do instituto na época de amostragem e a algum problema que estava entupindo a passagem da água desta caixa para a próxima, a caixa estava transbordando e a segunda caixa de brita estava vazia. Por isso, não foi realizada a coleta na segunda caixa.

Figura 8: Coleta G5.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 6: G6 - por fim, o último ponto de coleta foi no lago (Figura 9), pois é onde se lança o efluente tratado, sendo uma maneira de se analisar a eficiência do mesmo e de analisar a qualidade da água do lago, uma vez que ele é usado para recreação.

Figura 9: Lago



Fonte: Autoria própria.

4.2.2.3. Pachamama

No Pachamama foram coletadas 4 amostras, uma em cada etapa do sistema de tratamento local. Uma das razões deste local ter sido escolhido para análise é porque o Instituto acredita que o seu sistema de tratamento está saturado, devido a essa edificação possuir uma lavanderia e seu esgoto possuir uma demanda de tratamento de produtos com características diferentes do esgoto comum, sendo normalmente mais alcalino, com uma concentração maior de óleos e uma DBO mais alta. (Menezes, 2005)

Ponto 1: P1 - o primeiro ponto de coleta, localizado no biodigestor, a primeira etapa de tratamento do esgoto gerado. A coleta foi realizada utilizando um sifão, como ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Coleta do P1 utilizando um sifão.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 2: P2 - este ponto está localizado logo após o biodigestor, na primeira zona de raízes. A coleta foi realizada utilizando a concha de cozinha, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11: Coleta do P2.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 3: P3 - a coleta deste ponto mostrado na Figura 12 foi realizada na segunda zona de raízes, também utilizando a concha.

Figura 12: Coleta P3



Fonte: Autoria própria.

Ponto 4: P4 - esta coleta foi realizada na última etapa do tratamento do efluente, na terceira zona de raízes, como mostrado na Figura 13. Foi utilizada a concha para a amostragem.

Figura 13: Coleta P4.



Fonte: Autoria própria.

4.2.2.4. Floresta

Na edificação Floresta, foram coletadas 4 amostras no total. Uma em cada etapa do sistema de tratamento local. Todas elas foram coletadas utilizando-se a concha de cozinha.

Ponto 1: F1 - ponto de coleta no biodigestor, como ilustrado na Figura 14, primeira etapa do tratamento.

Figura 14: Coleta do F1.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 2: F2 - amostra coletada na segunda etapa de tratamento, na primeira zona de raízes, ilustrada na Figura 15.

Figura 15: Coleta F2.



Fonte: Autoria própria.

Ponto 3: F3 - amostra coletada na terceira etapa de tratamento, na segunda zona de raízes.

Ponto 4: F4 - amostra coletada na última etapa do tratamento, na terceira zona de raízes.

O volume das amostras não foi estritamente calculado, mas coletou-se cerca de 500 ml considerando a capacidade dos frascos nos quais foram armazenados.

Assim que todas as amostras foram coletadas, elas eram levadas ao freezer para serem congeladas e preservadas. O transporte delas de Juquitiba até São Carlos, onde elas foram analisadas, foi feito de carro. Para a preservação das características físico-químicas das amostras, foram armazenadas dentro de uma caixa térmica refrigerada e fechada durante todo o percurso. Após sua chegada na universidade, permaneceram congeladas por mais uma semana até serem feitas as análises.

4.2.3. Segunda Amostragem

A segunda amostragem foi feita na visita do dia 12 de dezembro de 2021. Ao todo foram coletadas 14 amostras, sendo a maioria nos mesmos pontos de coleta já definidos na primeira amostragem. O objetivo dessa segunda amostragem foi verificar a validade dos pontos de coleta e seus métodos.

Na primeira amostragem, durante a transferência do líquido da concha para o frasco, perdeu-se muito líquido, como forma de tornar esse processo mais produtivo, utilizou-se um funil nos pontos de coleta com maior dificuldade de acesso que possuíam carga para realizar esse processo.

4.2.3.1. Materiais utilizados:

- 1 Concha (de cozinha) de metal com cabo longo;
- 1 sifão;
- 14 frascos plásticos com capacidade de 500 mL;
- Luvas plásticas;
- 1 funil;
- Caixa térmica;

4.2.3.2. Grão

Os pontos G1, G2, G3 , G4 e G5 foram os mesmos da primeira visita. As únicas mudanças na amostragem foram:

- O ponto G6 não foi coletado no lago, pois estava inviável realizar essa coleta. Além disso, as duas caixas de brita estavam funcionando bem. Assim, a amostragem deste ponto foi feita na segunda caixa de brita utilizando a concha e em todas as próximas amostragens também.
- O método de coleta do ponto G2 na primeira amostragem não se mostrou prático (realizado por sifão), por isso nessa segunda visita foi utilizada a concha, método que se mostrou mais eficiente.

4.2.3.3. Pachamama e Floresta

A coleta no Pachamama e Floresta foi realizada da mesma forma que na visita anterior, utilizando os mesmos métodos nos mesmos pontos.

4.2.4. Terceira Amostragem

Para as últimas amostragens foram mantidos os pontos de coleta, que podem ser vistos na Figura 14, exceto o Lago, onde não foram mais coletadas amostras. Foram mantidos também os materiais utilizados na segunda amostragem.

A terceira amostragem foi feita na visita do dia 26 de março de 2022. Ao todo foram coletadas 6 amostras, sendo a maioria nos mesmos pontos de coleta já definidos na primeira amostragem. O número baixo de coletas se deve ao fato do ITL ter estado, antes da visita, sem nenhuma visitação por 15 dias, funcionando apenas com funcionários como relatado pela equipe do instituto. O objetivo dessa terceira amostragem foi obter os resultados das análises já feitas na segunda amostragem e compará-los. Foram utilizados os mesmos materiais.

4.2.4.1. Grão

Os pontos G1, G2, G3, G4 e G5 foram os mesmos da primeira visita. Os pontos G2 e G5 não foram coletadas amostras, pois estavam secos, sem material a ser coletado.

4.2.4.2. Pachamama

A coleta no Pachamama foi realizada da mesma forma que na visita anterior, utilizando os mesmos métodos e os mesmos pontos. Com algumas alterações em alguns pontos. Os pontos P1, P2 e P4 não foram coletados pois estavam secos.

4.2.4.3. Floresta

A coleta no Floresta foi realizada da mesma forma que na visita anterior, utilizando os mesmos métodos e os mesmos pontos. Com algumas alterações em alguns pontos. Foi feita a coleta da amostra somente do Ponto 4, pois os outros pontos estavam secos. Possivelmente pelo mesmo motivo das outras edificações: pouco uso.

4.2.5. Quarta Amostragem

A quarta e última amostragem foi feita na visita do dia 27 de agosto de 2022. Ao todo foram coletadas 12 amostras, sendo a maioria nos mesmos pontos de coleta já definidos na primeira amostragem. Apesar dos pontos de coleta terem se mantido os mesmos, dois sistemas de tratamento tiveram alterações. O sistema do Grão e do Pachamama tiveram suas águas cinzas desviadas, logo no início do sistema foram direcionadas para um círculo de bananeiras (Figura 16), de forma que elas não se diluem com as águas negras que seguem as etapas do sistema já implantado. Essas alterações foram feitas 1 mês antes das coletas.

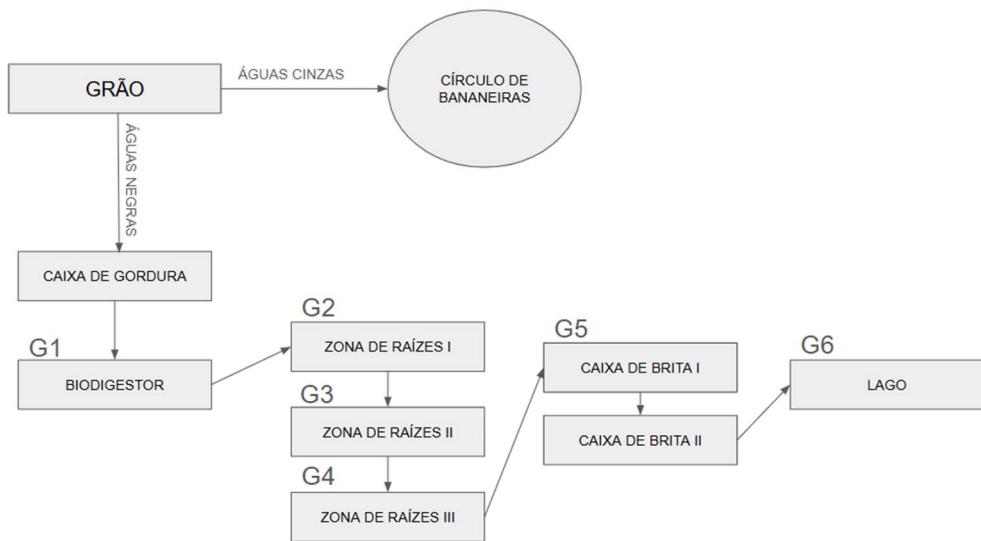
Figura 16: Círculo de bananeiras do ITL



Fonte: Autoria própria.

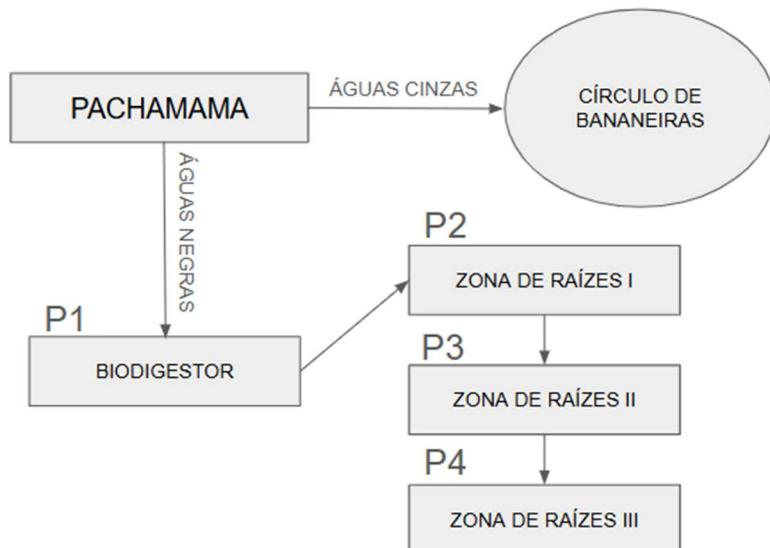
As Figuras (17 e 18) abaixo, podem ilustrar melhor como ficaram os novos sistemas.

Figura 17: Novo sistema de tratamento de esgoto no Grão.



Fonte: Autoria própria.

Figura 18: Novo sistema de tratamento de esgoto no Pachamama.



Fonte Autoria própria.

O objetivo dessa quarta amostragem foi obter os resultados das análises e compará-los com os resultados anteriores, avaliando se essas alterações nos sistemas foram eficientes. Foram utilizados os mesmos materiais das últimas amostragens.

4.2.5.1. Grão

Os pontos G1, G2, G3, G4 e G5 foram realizados nos mesmos locais da amostragem anterior.

4.2.5.2. Pachamama

A coleta no Pachamama foi realizada da mesma forma que na visita anterior, utilizando os mesmos métodos e os mesmos pontos com algumas alterações em alguns pontos.

4.2.5.3. Floresta

A coleta no Floresta foi realizada da mesma forma que na visita anterior, utilizando os mesmos métodos e os mesmos pontos com algumas alterações em alguns pontos. Foram feitas as coletas apenas dos pontos 1 e 2, pois os outros pontos estavam secos. Possivelmente pelo pouco uso na época de amostragem.

4.3. Análise das Amostras

Foram realizadas as seguintes análises com as amostras da primeira coleta:

- Demanda química de oxigênio - DQO - Método Espectrofotométrico (APHA; AWWA; WEF, 2005);
- Fosfato total - Método do Ácido Ascórbico (Espectrofotométrico) (APHA; AWWA; WEF, 2005);
- pH - Método Potenciométrico (APHA; AWWA; WEF, 2005);
- E. coli - Método 9223 B (APHA; AWWA; WEF, 2017) - somente na primeira amostragem;
- Coliformes fecais - Método 9223 B (APHA; AWWA; WEF, 2017) - somente na primeira amostragem;
- Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Nitrogênio Amoniacal - Método Titulométrico (APHA; AWWA; WEF, 2005).

As análises da primeira amostragem foram feitas pelos técnicos do laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da USP. As análises foram efetuadas de acordo com a 23^a Edição do Standard Methods.

A partir dos resultados das análises da primeira amostragem, observou-se que os resultados não foram totalmente válidos, uma vez que o objetivo principal era testar os pontos de coleta e métodos de análise. Como as amostras não foram filtradas, houve muita interferência nos valores das análises, além do tempo demorado entre a coleta e a análise. Por isso, foi proposto que ao analisar as amostras da segunda coleta, elas fossem filtradas em membrana 1,2 µm, retirando assim os sólidos.

As análises da segunda e terceira amostragem foram feitas no Laboratório de Processos Biológicos, no edifício da Engenharia Ambiental, na EESC - USP pelos alunos Patricia Tamaki e Nelson Barcelos, após treinamento completo no laboratório de Processos Biológicos da Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

A quarta e última amostragem, teve suas amostras analisadas pelos técnicos do laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, obtendo os resultados dos mesmos parâmetros analisados nas outras amostragens.

Todas as análises seguiram os mesmos métodos para preservar a qualidade e precisão dos resultados.

Com base nesses resultados, serão propostas ações e alternativas para aprimorar os sistemas de tratamento caracterizados, visando a manutenção do sistema e melhoria da qualidade das águas, por meio de revisões amplas da literatura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das duas primeiras amostragens realizadas foi possível definir os pontos de coleta utilizados ao longo do projeto, os melhores métodos de amostragem e quais análises realizar. Desta forma, os objetivos iniciais de caracterização da área de estudo e definição do plano de amostragem foram plenamente cumpridos.

É suspeito que os resultados da análise de coliformes é imprecisa por conta do tempo entre a coleta e a realização da análise, por este motivo, a partir da segunda amostragem não foi mais realizada essa análise. Para que o resultado da análise fosse preciso, seria necessário

realizá-la no momento de sua coleta, porém não tinham condições dela ser feita no ITL por conta da falta de estrutura local. Contudo, podemos confiar na taxa de remoção de *E. Coli.*, uma vez que o decaimento ou proliferação do mesmo contabilizado é confiável.

Os dados das 2 primeiras amostragens, com os sistemas alimentados por águas negras e cinzas, foram agrupados (exceto para as amostras de *E. coli.*) e são apresentados na Tabela 1. Os valores das amostras de *E. coli.* são os referentes a primeira amostra. Já os valores de DQO, NTK e fosfato, fez-se uma média aritmética com os valores das amostras.

Os valores da terceira amostragem seriam, inicialmente, utilizados para comparação com os dados da segunda amostragem. Entretanto, devido à limitação na coleta, que resultou em apenas 6 amostras, os dados foram considerados insuficientes para a elaboração de uma análise comparativa robusta e conclusões razoáveis.

Os resultados da quarta e última amostragem estão em uma tabela diferente, pois depois que o ITL modificou o sistema de tratamento local, não é válido comparar os resultados dessa amostragem com o das outras.

Ao analisar os resultados, observa-se que o sistema de tratamento que melhor apresentou remoção de matéria orgânica, N e P foi o sistema do edifício Floresta, o único na instituição com apenas dormitórios. Os sistemas Grão e Pachamama não tiveram N e P removidos eficientemente, mas apresentaram adequada remoção de matéria orgânica, o que pode ser devido a terem um restaurante e uma lavanderia nas edificações, respectivamente. Tais resultados podem ter sido causados por conta do uso de produtos de limpeza de cozinha e lavanderia, contendo N e P em suas composições, que devem ter sido lançados nos pontos G2 e P2 do sistema, pois apresentam valores altos de concentração dos nutrientes. No entanto, se esses valores (G2 e P2) forem comparados com o resultado dos pontos finais, a eficiência desses sistemas é maior, como apresentado na Tabela 1 em vermelho.

Dessa forma, os resultados das análises do sistema Floresta mostram sua alta eficácia e funcionalidade ao ser aplicado a apenas dormitórios e sanitários de uso sazonal, na remoção de matéria orgânica, N e P, além de ter sido o único sistema com remoção efetiva de *E. Coli*. Para sistemas com aporte de materiais de limpeza, como Grão e Pachamama, o ideal é que os aportes dos sistemas de restaurante e de lavanderia sejam segregados e conduzidos a outro sistema de tratamento mais específico. Outra possibilidade é o uso de produtos de limpeza alternativos,

com compostos facilmente biodegradáveis e sem adição de compostos fosfatados e nitrogenados.

Os resultados da quarta amostragem estão na Tabela 2. Esses resultados foram obtidos com os sistemas funcionando apenas com as águas negras, pois as águas cinzas foram desviadas para o círculo de bananeiras, sistemas não monitorados nesta pesquisa. O sistema Floresta não teve suas águas cinzas desviadas, continuando com eficiência satisfatória. O sistema Pachamama apresentou melhora na porcentagem de remoção de nutrientes e matéria orgânica, enquanto o sistema Grão continuou apresentando deficiência na remoção de nutrientes. Uma justificativa pode ser que o sistema recebeu produtos de limpeza em grande quantidade por um longo período, saturando-o. De qualquer forma, todos os sistemas apresentaram resultados muito satisfatórios, com eficiências de remoção de matéria orgânica acima de 90%.

Tabela 1: Resultados das análises obtidas nas 3 primeiras amostragens, com sistema operando com alimentação com águas cinzas e negras.

| Amostra/Parâmetros | E. Coli (NMP/100 mL) | DQO (mg/L) | NTK (mg/L) | Fosfato (mg/L) |
|----------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------------|
| Grão | | | | |
| G1 | $1,1 \times 10^8$ | 1830 | 589 | 72 |
| G2 | - | 110 | 853 | 118 |
| G3 | - | 146 | 167 | 28 |
| G4 | - | - | 282 | 32 |
| G5 | $1,3 \times 10^9$ | 140 | 326 | 26 |
| G6 (lago) | $2,1 \times 10^3$ | 21 | 8 | 0,1 |
| Eficiência de remoção (%) | 0,0 | 92,35 | 44,65 | 63,89 |
| Floresta | | | | |
| F1 | $1,9 \times 10^7$ | 1145 | 941 | 218 |

| | | | | |
|----------------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| F2 | - | 36 | 88 | 27 |
| F3 | - | 26 | 70 | 28 |
| F4 | 47 | 12 | 17 | 2,4 |
| Eficiência de remoção (%) | 99,99 | 98,95 | 98,19 | 98,90 |
| Pachamama | | | | |
| P1 | $1,2 \times 10^6$ | 222 | 194 | 33 |
| P2 | - | 106 | 502 | 175 |
| P3 | - | - | 79 | 26 |
| P4 | $6,9 \times 10^4$ | 39 | 147 | 23 |
| Eficiência de remoção (%) | 94,25 | 82,43 | 24,23 | 30,30 |
| | | | 70,72 | 86,86 |

Tabela 2: Resultados das análises obtidas na 4^a amostragem, com sistemas Grão e Pachamama operando somente com alimentação com águas negras, com as águas cinzas segregadas, sistema Floresta sem alteração.

| Amostra/Parâmetros | DQO (mg/L) | NTK (mg/L) | Fosfato (mg/L) |
|----------------------------------|---------------|---------------|-------------------|
| G1 | 1435 | 106 | 41 |
| G2 | 228 | 220 | 44 |
| G3 | 118 | 88 | 28 |
| G4 | 76 | 80 | 20 |
| G5 | 78 | 80 | 19 |
| Eficiência de remoção (%) | 94,56 | 24,53 | 53,67 |

| | | | |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| F1 | 2360 | 677 | 78 |
| F2 | 56 | 115 | 15 |
| Eficiência de remoção (%) | 97,63 | 83,01 | 80,77 |
| P1 | 782 | 897 | 70 |
| P2 | 178 | 255 | 124 |
| P4 | 70 | 88 | 27 |
| Eficiência de remoção (%) | 91,05 | 90,19 | 65,71 |

Após a análise dos resultados, e tendo os sistemas de tratamento validados, pode-se utilizar este caso de exemplo para aplicações em outras regiões pelo país, basta que estejam no bioma Mata Atlântica ou que possuam clima e vegetação semelhantes. Na área rural da cidade de Juquitiba (áreapresentada na Figura 19, não existe saneamento básico, tendo uma área de 0% coberta pelo serviço (IBGE, 2020). Não ter saneamento em lugares como esse é comum no país, por isso a importância de pesquisas sobre tecnologias e sistemas de tratamento eficientes que se encaixam nessas regiões.

A pesquisa apoia fortemente o uso de tecnologias de tratamento naturais de esgoto em áreas rurais devido à sua eficiência, baixo custo de instalação e necessidade de manejo técnico simplificado. No entanto, para garantir que essas tecnologias cumpram seu papel sem prejudicar o meio ambiente, são necessários um planejamento cuidadoso, monitoramento contínuo, adaptação às condições locais e conformidade com as normas ambientais. Isso assegurará que os sistemas sejam uma solução viável e benéfica para a preservação do meio ambiente e o bem-estar das comunidades rurais. Com tudo isso analisado e validado, este trabalho mostra que é possível sim construir um tratamento de esgoto com tecnologias naturais que seja eficiente, caso as condições do local sejam adequadas.

Figura 19: Ocupação atual do entorno da região do ITL.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022).

Em áreas de ecoturismo, o monitoramento ambiental é essencial para a preservação das atividades humanas e manutenção dos serviços ecossistêmicos, isso inclui não apenas o controle das saídas de esgoto, mas também a avaliação de diversos fatores ambientais que podem impactar a qualidade ambiental, razão pela qual esse estudo complementa outros trabalhos produzidos em conjunto ao ITL.

Para garantir que as atividades realizadas no instituto sejam sustentáveis, é fundamental não só medir a qualidade dos sistemas de tratamento como aperfeiçoá-los e estabelecer um processo eficaz de tratamento local, uma vez que se conclui pelas análises que eles possuem algumas falhas de tratamento. A avaliação contínua deles é essencial para preservar a integridade ambiental da região e o bem-estar de seus ocupantes.

Dentre as falhas dos sistemas analisados, a remoção de coliformes é com certeza a mais notável. Apesar de apresentar uma eficiência de remoção alta, a concentração ainda não está dentro da permitida segundo a resolução CONAMA nº 357/2005. Uma alternativa para esse caso pode vir a ser a implementação de banheiros secos, que consiste em um sistema com o mesmo propósito que o vaso sanitário, porém não utiliza a descarga com água e serve somente para a deposição de dejetos. Atualmente existem dois tipos de banheiros secos de alta eficiência: um no qual os resíduos vão direto para um buraco no solo e o outro com resíduos direcionados para câmaras de compostagem. O banheiro seco compostável é uma alternativa bem-vinda para o ITL. Essas alternativas iriam evitar o lançamento de águas contaminadas

com coliforme em locais inadequados, ajudando a preservar a qualidade das águas (Alves, 2009).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Após análise e discussão dos resultados, os sistemas de tratamento de esgoto por Zonas de Raízes precedidas por digestor anaeróbio apresentam eficiência satisfatória para a remoção de matéria orgânica. No entanto, para a remoção dos nutrientes N e P, são satisfatórias se os sistemas forem alimentados apenas com água negras, tendo as águas cinzas segregadas assim como os efluentes do restaurante e lavanderia. Baseado no sistema Floresta, a segregação das águas negras e cinzas não parece ser necessária caso o sistema receba apenas efluentes de sanitários.

Ainda para o ITL são sugeridas algumas alternativas para complementar e aumentar a efetividade dos sistemas de tratamento de esgoto locais. A primeira é a segregação dos efluentes da lavanderia e do restaurante para sistemas específicos ou alternativas próprias para tratar essas águas com concentrações altas de produtos de limpeza. Outra possibilidade é mudar o uso de produtos de limpeza comuns para produtos específicos, com tensoativos de fácil degradação e sem adição de P e N. Por fim, o lançamento do efluente do sistema Grão no lago deve ser desviado para outro ponto, podendo ser lançado na jusante do lago, ou então a implementação de banheiros secos no local, evitando o aporte de coliformes no lago.

Para locais nos quais o fluxo de esgoto é influenciado pela sazonalidade, visando aumentar a eficiência dos sistemas, principalmente em épocas de sobrecarga dos sistemas gerado por um aumento de visitantes, propõe-se o uso de banheiros secos e a separação de águas cinzas e negras para tratamento.

Com a eficiência desses sistemas validados pode-se concluir que são sistemas com possibilidade de aplicação para regiões rurais, carentes de saneamento básico pelo país. Não só as ocupações seriam beneficiadas com a implantação desses sistemas, como também as áreas de interesse para o ITL.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B. S. Q. *Banheiro seco: análise da eficiência de protótipos em funcionamento*. 2009.

APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2005.

APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2017. Método 9223 B.

APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8160: Sistemas de esgoto sanitário – Projetos. Rio de Janeiro, 1999.

BARROS, M. C. P. *Custo efetividade de tecnologia alternativa de esgotamento sanitário para pequenos municípios*. 2014. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

BRASIL, Instituto Trata; BATISTA, Mônica. *Manual do Saneamento Básico*. Edição: Agenilson Santana, 2012.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 30 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/secces/plantas-medicinais-e-fitoterapicos/aprendendo-sobre-plantas-medicinais/Publicacoes/portaria-de-consolidacao-no-5-de-28-de-setembro-de-2017.pdf/view>. Acesso em: 30 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: <https://abrac-ac.org.br/portaria-gm-ms-n-888-de-4->

de-maio-de-

2021/#:~:text=Altera%20o%20Anexo%20XX%20da,e%20seu%20padr%C3%A3o%20de%20potabilidade. Acesso em: 30 out. 2024.

CETESB. *Tipos de águas.* Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tipos-de-agua/>. Acesso em: 30 out. 2024.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.* Brasília, 2005. Ministério do Meio Ambiente.

COOPER, R. C. *Waste water management and infectious disease: part II: impact of waste water treatment.* Journal of Environmental Health, v. 37, n. 4, p. 342-350, 1975. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/44546820>. Acesso em: 30 out. 2024.

DEGASPERI, R. de L. P. de. *Caracterização de resíduos de caixas de gordura e avaliação da flotação como alternativa para o pré-tratamento.* 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

FIGUEIREDO, S. C. S.; SANTOS, B. S. C. dos; TONETTI, A. *Fossa verde e círculo de bananeiras.* 2017. Disponível em: <https://www.fecfau.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2017/11/Fossa-Verde-e-C%C3%ADrculo-de-Bananeiras-UNICAMP.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

FIGUEIREDO, I. C. S. et al. *Bacia de evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto de vaso sanitário.* Revista DAE, v. 67, n. 220, p. 115–127, 2019.

FIGUEIREDO, I. C. S.; SANTOS, Bárbara S. C.; TONETTI, A. L. *Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras.* Campinas, SP: Biblioteca/UNICAMP, 2018.

FIGUEIREDO, I. C. S. *Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas.* 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, São Paulo, 2019.

FOLGUEIRA, S. M.; FERRAZ, J. C. S.; CORREIA, D. T. *Water security: challenges for water governance and management.* Annual Review of Environment and Resources, v. 36, n. 1, p. 45-68, 2011. Disponível em:

https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-100809-125342#abstract_content. Acesso em: 30 out. 2024.

FLUXUS DESIGN ECOLÓGICO. *Quem somos.* 2022. Disponível em: <http://fluxus.eco.br/quem-somos/>. Acesso em: 30 out. 2024.

GARAY, J. G. R.; PARIONA, L. Z. C. *Eficiencia de un biodigestor en el tratamiento de agua residual doméstica a nivel familiar en la Asociación “Los Víquez” Carapongo - Lurigancho Chosica - Lima.* 2019. Disponível em: <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/e16ccfb2-4530-4025-a27c-34941a7818a7>. Acesso em: 30 out. 2024.

GONÇALVES, R. F. et al. (Coord.). *Uso racional da água em edificações.* Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

HELLER, L. *Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento.* Ciência & Saúde Coletiva, v. 3, n. 2, p. 73–84, 1998.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Brasileiro de 2000.* Rio de Janeiro: IBGE, 2000

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Brasileiro de 2010.* Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2013.* Volume 33. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. 133 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Brasileiro de 2020.* Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Brasileiro de 2022.* Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Brasileiro de 2024.* Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos.* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 1995. 681 p.

KATAKI, S.; CHATTERJEE, S.; VAIRALE, M. G.; DWIVEDI, S. K.; GUPTA, D. K. *Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: a review on types of wastewater treated and components of the technology (macrophyte, biofilm and substrate)*. Journal of Environmental Management, v. 283, 2021, p. 111986. ISSN 0301-4797. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111986>. Acesso em: 30 out. 2024.

LEME, E. J. de A. *Manual prático de tratamento de águas residuárias*. 1. ed. São Carlos, 2010.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L. DO; OLIVEIRA, S. V. W. B. DE. *Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI*. Revista de Administração Pública, v. 45, n. 2, p. 331–348, mar. 2011.

LEMES, J. L. V. B. et al. *Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural*. Revista Acadêmica: Ciência Animal, 2008.

MADRID, F. J. P. y L. et al. *Vermifilteração: o uso de minhocas como uma nova alternativa para o tratamento de esgoto*. Revista DAE, 2019.

MANDLATE, D. L. *Avaliação da eficiência e viabilidade da biodigestão anaeróbica em escala agrícola: estudo de caso da instalação e monitoramento de um biodigestor para produção de biogás*. 2024. Disponível em: <http://196.3.97.28/handle/123456789/3714?mode=full>. Acesso em: 30 out. 2024.

MENEZES, J. C. S. dos S. *Tratamento e reciclagem do efluente de uma lavanderia industrial*. 2005. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/6228>. Acesso em: 30 out. 2024.

MIGUEL, A. R.; BEVILACQUA, N.; GUERRA, P. A. D. V.; BAPTISTELLI, S. C. Tratamento de águas residuárias domésticas. In: ROMÉRO, M. A.; PHILIPPI JR., A.; BRUNA, G. C. *Panorama ambiental da metrópole de São Paulo*. São Paulo: Signus, 2004. p. 77-87, 96-103.

MOTTA, S. Saneamento. In: ROUQUAYROL, M. Z. *Epidemiologia & Saúde*. 4. ed. Rio de Janeiro: MEDS, 1993. Cap. 12, p. 343-364.

OLIVEIRA, D. I. S. *Impacto de variáveis meteorológicas nos padrões de consumo de água no noroeste de Portugal*. Tese (Mestrado integrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Moinho, Portugal, 2014.

ROCHA, C. M. da. *Proposta de Implantação de Um Biodigestor Anaeróbio de Resíduos Alimentares*. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Juiz de Fora.

ROCHA, M. M.; SARTI, H. L. C.; LIMA, L. F.; JUNIOR, O. C. *A urbanização e a poluição dos recursos hídricos*. O Mundo da Saúde, v. 28, n. 4, p. 388-394, 2004.

SEKADENDE, B. C.; MACHIWA, J. F.; MWANUZI, F. F. *Processes governing the retention of phosphorus and nitrogen in Yashishi wetland*. Open Journal of Ecology, 2014. DOI: 10.4236/oje.2014.43014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2014.43014>. Acesso em: 6 dez. 2024.

SILVA, F. C. *Saúde e ambiente*, 2005. Disponível em: http://www.saudepublica.web.pt/5%20Saúde%20Ambiental/Ambiente/saneamento_ambiente.htm. Acesso em: 15 mai. 2021.

NUVOLARI, A. *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso*. 2. ed. São Paulo, 2003. 565 p.

TRATA BRASIL. *Água*. Disponível em: Água - Trata Brasil. Acesso em: 30 out. 2024.

TRATA BRASIL. *Principais estatísticas*. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/principais-estatisticas>. Acesso em: 19 out. 2020.

TRATA BRASIL. *Ranking 2024 do Trata Brasil revela avanço lento do saneamento básico no Brasil*. Disponível em: *Ranking 2024 do Trata Brasil revela avanço lento do saneamento básico no Brasil* - carbonreport.com.br. Acesso em: 30 out. 2024.

VIEL, R. *Estudo do Funcionamento da Estação de Tratamento de Esgotos do Campus da Fundação Oswaldo Cruz*. Tese de Mestrado em Saúde Pública, Fiocruz – Rio de Janeiro, 1994. 54 p.

VON SPERLING, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. 470 p.

WHO/UNICEF. *Progress on sanitation and drinking water – 2015 update and MDG assessment*. WHO Press, Geneva, Switzerland, 2015. 90 p.

WHO/UNICEF. *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*. WHO Press, Geneva, Switzerland, 2017. 110 p.