

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

TÚLIO PINHEIRO PÔRTO

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTOS PARA A ÁREA II  
DA EEL - USP**

Lorena  
2020

TÚLIO PINHEIRO PÔRTO

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTOS PARA A ÁREA II  
DA EEL - USP**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Róbson da Silva Rocha

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

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado  
da Escola de Engenharia de Lorena,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Pôrto, Túlio Pinheiro  
Proposta de um sistema de tratamento de esgotos  
para a Área II da ELL-USP / Túlio Pinheiro Pôrto;  
orientador Róbson da Silva Rocha. - Lorena, 2020.  
42 p.

Monografia apresentada como requisito parcial  
para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia  
Ambiental - Escola de Engenharia de Lorena da  
Universidade de São Paulo. 2020

1. Saneamento ambiental. 2. Tratamento de  
esgotos. 3. Meio ambiente. 4. Área ii eel-usp. I.  
Título. II. Rocha, Róbson da Silva, orient.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço sobretudo à minha família: minha mãe, Márcia Cristina de Melo Pinheiro, pelo amor incondicional e por ter iluminado meu caminho profissional; ao meu irmão, Caio Graco Pinheiro Pôrto, por ter me ensinado os verdadeiros valores da disciplina; ao meu pai, Nilo Sérgio da Frota Pôrto, que sempre incentivou a educação; e ao meu padrasto, André Luiz Garofolo, que me ensinou que os grandes momentos da vida são compartilhados. Em um mundo de muitos órfãos, ter dois “paizões” é um grande privilégio.

Agradeço à minha namorada, Juliana Napolitano Alves Pinheiro, pelo amor, parceria e incentivo em toda minha vida.

Agradeço todos os amigos que fiz no intercâmbio nos EUA, sejam do Arizona ou de Idaho; vocês fizeram eu entender a complexidade cultural do nosso planeta. Agradeço principalmente aos meus colegas do 2047 que, brasileiros como eu, tornaram minha estadia de um ano e meio muito mais tranquila.

Agradeço todos os professores e colegas do curso de Engenharia Ambiental da EEL – USP, pois em cada trabalho ou atividade realizada sempre tive a certeza de ter escolhido a profissão certa.

Agradeço ao funcionário Alberto “Beto” Amador, da manutenção da área II da EEL – USP, que me apoiou intensamente nas colegas de esgoto.

Agradeço especialmente o meu colega de curso José Antônio da Silva Júnior, que me deu suporte na elaboração dos mapas desse trabalho.

Agradeço a todos moradores e ex-moradores da república A Casa Lar pelo convívio e ensinamentos nesses anos. Tenho certeza que esse sentimento de fraternidade persistirá pra sempre em mim. Vocês são meus irmãos!

Agradeço à banda A Casa Jah, por possibilitar que eu expressasse todos os sentimentos impossíveis de serem demonstrados a não ser pela arte. Como diria o romancista alemão Herman Hesse no livro *RossHalde*: “o homem é um dos poucos mamíferos que não tem rabo e portanto, não consegue exprimir seus sentimentos mais íntimos; cabendo à arte essa função”.

Agradeço especialmente meu orientador professor Doutor Róbson Rocha da Silva, pela dedicação e paciência em orientar esse trabalho. Também agradeço por todas as aulas ministradas na graduação sobre saneamento, elas me fizeram despertar sobre essa temática importantíssima para a saúde pública e o meio ambiente.

Agradeço à AGEVAP pela oportunidade de um estágio no poder público, onde pude contribuir para o bem coletivo.

E por último, agradeço à GRI/Solví pelo tempo de estágio com posterior efetivação, a temática de resíduos sólidos é algo imprescindível para o mundo contemporâneo.

## **RESUMO**

**PÔRTO, T. P. Proposta de um sistema de tratamento de esgotos para a Área II da ELL-USP**  
2020. 43 p. Monografia (Trabalho de Graduação) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

Os sistemas de tratamento de esgotos são operações elementares para a saúde pública e a conservação ambiental. Como os efluentes variam bastante quanto às suas características, não existe um modelo de tratamento que se adequa a todas realidades, justificando a necessidade da caracterização do efluente. Esgotos gerados em campus universitários podem ser muito diferentes dos domiciliares, principalmente devido à existência de laboratórios de pesquisas, os quais possam vir a descartar seus reagentes nas galerias de esgoto. Uma vez que a área II da Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP) não conta com nenhum sistema de tratamento para seus efluentes, o presente trabalho apresenta uma proposta de projeto para esse *campi*. Como parte essencial do trabalho, também foi investigado a condição das estruturas de saneamento existentes bem como as principais características do esgoto ali gerado. Todavia, devido às medidas de restrição social impostas à contenção da propagação do COVID-19, a caracterização do efluente foi parcial. Diante disso, e em consulta às legislações aplicáveis, foi elaborada uma proposta de um sistema de tratamento de esgotos para a área 2 da EEL – USP.

**PALAVRAS CHAVE:** Saneamento ambiental. Tratamento de esgotos. Meio Ambiente. Área II EEL-USP

## **ABSTRACT**

**PÔRTO, T. P. Proposal of a wastewater treatment system for Area II of EEL – USP.** 2020. 43 p. Monograph (Final Course Assignment) – Engineering School of Lorena, University of São Paulo, Lorena, 2020.

Wastewater treatment plants are elementary operations for public health and environmental conservation. Once the kinds of sewage are vast, there is no general solution for every case, then the characterization is always needed. University areas' sewage could have lots of components which make them very different of that wastewater generated in houses, mainly because the research's laboratories which could discharge their liquid waste in the wastewater's pipes. Area II does not have any system of treatment of its sewage, then the main aim of this article is a proposal of this structure. As an essential part, it has also been investigated the conditions of the actual structures, as well as the characteristics of the sewage itself. However, due to the imposed social distance to minimize the spread of COVID-19 the characterization has been partial. According to this, and with the study of applicable laws, it was possible to propose a wastewater system treatment for the locality.

**KEY WORDS:** Wastewater treatment. Environment. Área II EEL-USP

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Principais características dos sistemas de tratamento de esgotos .....	13
Quadro 2 - Metodologia proposta .....	20

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Fachada do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR) .....	9
Figura 2. Arranjo operacional de um sistema de lodos ativados .....	11
Figura 3. Partes de um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente .....	13
Figura 4. Vista superior do local de descarte de esgoto da área 2 da EEL - USP .....	23
Figura 5 - Coleta do efluente gerado na área II da EEL - USP.....	25
Figura 6 - Vista geral da área de descarte de efluentes.....	29
Figura 7 - Diagrama do esquema de tratamento proposto .....	33

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Percentual da população brasileira atendida por serviços de saneamento.....	7
Tabela 2 - Principais características dos esgotos domésticos .....	16
Tabela 3 - Parâmetros da coleta realizada em período não letivo.....	26

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES**

ALESP	Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo
APP	Área de Preservação Permanente
CACS	Campus Universitário A. C. Simões
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CH <sub>4</sub>	Gás Metano
CO <sub>2</sub>	Gás Dióxido de Carbono
COVID-19	<i>Corona Virus disease 19</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO <sub>5</sub>	DBO de 5 dias
DEMAR	Departamento de Engenharia de Materiais
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEL - USP	Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
H <sub>2</sub> S	Gás Sulfídrico
IC	Cromatografia de íons
MF	Membrana de Microfiltração
MO	Matéria Orgânica
NMP	Número mais provável
N <sub>a</sub>	Nitrogênio Ammoniacal
N <sub>2</sub>	Gás Nitrogênio
N <sub>o</sub>	Nitrogênio orgânico
NO <sub>2-</sub>	Ion Nitrito
NO <sub>3-</sub>	Ion Nitrato
N <sub>t</sub>	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
O <sub>2</sub>	Gás Oxigênio
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PROGERE – UFC	Programa de Gerenciamento de Resíduos da Universidade Federal do Ceará
P <sub>t</sub>	Fósforo Total
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas
UASB	<i>Upflow anaerobic sludge blanket</i>

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	7
2. Justificativa .....	8
3. Revisão bibliográfica .....	10
3.1. Principais processos de tratamentos de esgotos.....	10
3.1.1. Processos aeróbios de tratamento de esgotos.....	10
3.1.2. Processos anaeróbios de tratamento de esgotos.....	12
3.1.3. Comparação entre os processos aeróbios e anaeróbios.....	13
3.2. Principais indicadores para a caracterização de efluentes .....	14
3.2.1. Caracterização de efluentes gerados em campus universitários .....	16
4. Objetivo.....	20
5. Metodologia .....	20
5.1. Diagnóstico do sistema de afastamento de esgoto da área 2 da EEL – USP .....	20
5.2. Caracterização do efluente gerado na área 2 da EEL – USP .....	21
5.3. Proposta de esquema de tratamento de esgoto e identificação de possíveis áreas para implementação .....	21
5.4. Proposta para reuso do efluente tratado .....	22
5.5. Aproveitamento do lodo gerado na Estação de tratamento de esgoto para compostagem	22
6. Resultados .....	23
6.1. Diagnóstico do sistema de afastamento de esgoto da área 2 da EEL – USP .....	23
6.2. Caracterização do efluente gerado na área 2 da EEL – USP .....	24
6.3. Proposta de esquema de tratamento de esgoto e identificação de possíveis áreas para implementação .....	27
6.3.1. Identificação de áreas para implementação .....	28
6.3.2. Considerações sobre os requisitos da proposta de sistema de tratamento para a área II da EEL – USP .....	30
6.3.3. Proposta de projeto para tratamento dos esgotos gerados na área II da EEL - USP...	32
7. Considerações finais e próximos passos .....	33
8. Referências Bibliográficas .....	34

## **1.Introdução**

O Brasil vem sofrendo um constante processo de urbanização. No último meio século, o êxodo rural fez com que o deslocamento de pessoas do campo para a zona urbana se acentuasse. Uma das principais consequências dessa movimentação foi a melhoria na qualidade de vida desses indivíduos, visto que esses passaram a ter acesso a serviços que eram inexistentes no seu local de origem (ANAIS DO VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 2016). Diante disso, os serviços de coleta e tratamento de esgotos passaram a ser peça chave nas gestões governamentais, principalmente devido à sua relação com a saúde pública (MENEZES, 2017).

Entretanto, o Brasil ainda está longe de universalizar o acesso aos serviços de esgoto (CARNEIRO; 2018). A Tabela 1 mostra as porcentagens da população brasileira com acesso a dois dados principais: a coleta de esgoto, e o tratamento deste; os anos de referência foram 2011 e 2016.

Tabela 1 - Percentual da população brasileira atendida por serviços de saneamento

Ano	Porcentagem da população brasileira atendida por serviço de coleta de esgoto	Porcentagem brasileira atendida por serviço de tratamento de esgoto
2011	48,1%	51,9%
2016	37,5%	44,9%

Fonte: Adaptado de Carneiro et al. (2018).

É perceptível que o Brasil ainda se encontra longe de atingir a meta de universalização, acordado por vários países, na Agenda 2030 - que diz que até 2030 todos países devem atingir índice de cobertura máximo desses serviços (CARNEIRO; 2018).

De acordo com Sousa (2014), efluente, água residuária ou esgoto é a designação dada à água que após o uso humano, industrial ou comercial, passa a ter suas principais características alteradas. Geralmente, esse resíduo é composto de 99,9% de água e 0,1% de outros compostos, principalmente matéria orgânica na sua forma solúvel. Entretanto, compostos inorgânicos e populações de organismos patogênicos também podem ser encontrados (SHOWKAT; NAJAR, 2018).

Segundo Hoque et al. (2019), microrganismos causadores de gastroenterite viral aguda podem constituir grandes populações em corpos d'água que recebem águas residuárias não

tratadas; sendo a contaminação humana por esses patógenos algo recorrente em países subdesenvolvidos. Aliado à poluição difusa causada pelas atividades agrícolas, o despejo de esgotos em rios também é um importante contribuinte do fenômeno da eutrofização. Causado quando a concentração de nutrientes, principalmente compostos nitrogenados e fosfatados, excede a capacidade de autodepuração do corpo hídrico, esse acontecimento gera a proliferação de cianobactérias, organismos que impactam drasticamente a biota, visto que produzem toxinas (OLANO et al., 2019).

A matéria orgânica (MO) presente no esgoto também pode causar sérios impactos ao corpo receptor. Como a reação de respiração celular das bactérias presentes na água necessita de dois produtos básicos, oxigênio ( $O_2$ ) e matéria orgânica, elevadas concentrações desta última necessitam de uma maior demanda bioquímica de oxigênio (DBO), causando um maior consumo desse gás por parte dos microrganismos e consequentemente, diminuindo os níveis de oxigênio dissolvido (OD) na água. A redução da concentração dessa variável ambiental impacta todos os estratos ecológicos presentes no ecossistema, podendo causar desequilíbrios populacionais entre espécies (SPERLING, 2005).

Considera-se Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), estruturas que possuem a função de adequar as características do esgoto àquelas da água do corpo hídrico receptor, sendo que estas são definidas por legislação ambiental específica (GONTIJO, 2018).

Em 1.981 o Brasil decretou a primeira Lei sobre padrões de qualidade ambiental, níveis de segurança de poluentes nos diversos estratos ambientais; foi a Lei Federal 6.938, Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (BRASIL, 1981). Entretanto, foi somente em 2005 que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou legislação específica a respeito de níveis seguros de compostos em corpos hídricos, a Resolução 357. Estabelecendo classes de enquadramentos para os corpos d'água de acordo com os seus usos, essa lei define os níveis de parâmetros químicos para o lançamento de efluentes, de acordo com a categoria definida do corpo hídrico. Dessa forma, de posse da classe, é possível conceber a forma como o esgoto será tratado (CONAMA, 2005).

## **2. Justificativa**

A área 2 do campus da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (EEL – USP) é um ambiente acadêmico de notória produção científica, abrigando, desde 1978, o

Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR) (DEMAR, 2019). Além disso, a repartição possui outras atribuições, são elas:

- Ministrar algumas disciplinas do ciclo básico para todos os cursos de engenharia da EEL – USP;
- Ministrar disciplinas específicas da grade curricular dos cursos de Engenharia Física e Engenharia de Materiais da EEL – USP;
- Administrar os cursos de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Materiais;

Produzindo pesquisas nas áreas de materiais poliméricos, impressões 3D, microscopia eletrônica e áreas correlatas, o DEMAR conta com aproximadamente 30 laboratórios. A Figura 1 mostra a fachada da instituição.

Figura 1 - Fachada do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR)



Fonte: DEMAR (2019).

Distante aproximadamente 2 Km de uma das mais importantes rodovias do país, a BR – 116 – Rodovia Presidente Dutra, o departamento localiza-se no Polo Urbano-Industrial, Gleba AI-6 sem número - Lorena (SP) nas coordenadas 45° 6'W e 22° 46'S (DEMAR, 2019).

Diferentemente da área 1 da EEL – USP, que conta com um sistema de tratamento de esgotos, a área 2 não possui nenhuma infraestrutura para execução dessas atividades. Diante da existência de diversos laboratórios, que podem estar descartando resíduos na rede de esgoto, a

concepção de um sistema de tratamento é uma etapa importantíssima para o saneamento ambiental da área geográfica em que o DEMAR está inserido, a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

### **3. Revisão bibliográfica**

De maneira geral, o tratamento de esgoto conta com 3 etapas indispensáveis: tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento secundário. Enquanto que o primeiro e o segundo relacionam-se à remoção de sólidos grosseiros e sólidos em suspensão, respectivamente; a terceira fase é responsável pela remoção da matéria orgânica solúvel, caracterizando-se, dessa forma, por ser uma etapa biológica. Existe uma variedade de tipos de tratamento secundário. Entretanto, este é dividido em duas classes principais: os processos aeróbios, cuja a presença de oxigênio para a degradação dos compostos pelos microrganismos é obrigatória; e processos anaeróbios, em que a presença de oxigênio pode vir, inclusive, a ser tóxica aos microrganismos consumidores de matéria orgânica (SPERLING, 2005).

#### **3.1. Principais processos de tratamentos de esgotos**

##### **3.1.1. Processos aeróbios de tratamento de esgotos**

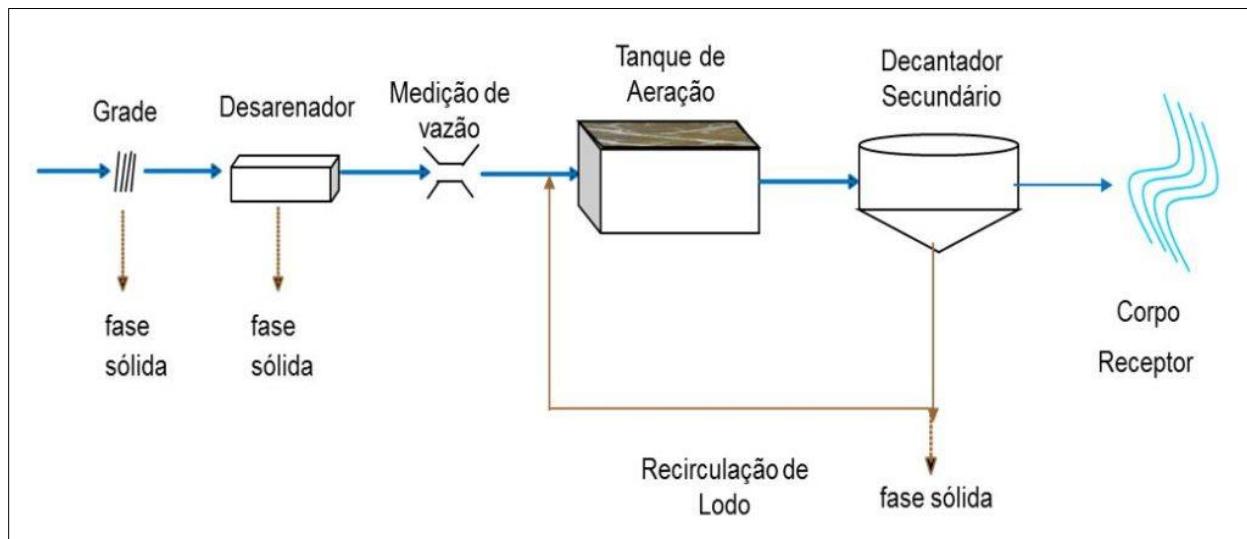
Os processos aeróbios, também conhecidos por lodos ativados possuem algumas características gerais. Por existir o predomínio de microrganismos anabólicos frente aos catabólicos, existe elevada produção de lodo, biomassa resultante do processo de degradação do esgoto pelas bactérias. Como esse tipo de resíduo possui potencial patogênico, sua gestão é um elemento primordial a ser considerado na concepção de um sistema deste tipo. Um outro inconveniente dos processos aeróbios, seria a necessidade de aeração constante nos reatores, devido ao consumo de oxigênio pelos microrganismos, fator responsável por um custo maior com energia elétrica, e até mesmo, necessidade de áreas maiores para construção do arranjo operacional (SPERLING, 2002).

Todavia, a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados, e de matéria orgânica (MO) por esse tipo de processo é muita eficaz, sendo que esta última atinge uma eficiência aproximada de 90%; enquanto que a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados pode atingir até 30%. Importante variável indicadora de contaminação fecal, os coliformes termotolerantes (CONAMA,

2005), também possui elevado índice de remoção nos sistemas de lodos ativados, também atingindo cerca de 90%. Além disso, os subprodutos gasosos da digestão da matéria orgânica desse processo são os gases Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) e Nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), sendo que o último é o composto mais abundante na atmosfera, não apresentando potencial de toxicidade (SPERLING, 2002).

A alta produção de lodo dos sistemas aeróbios implica em outra importante característica desse processo: a necessidade de promover mecanismos de recirculação do lodo (Von Sperling, 2005). Usualmente, uma bomba costuma direcionar parte do lodo excedente formado no decantador para o reator biológico, de modo que este último apresente altas taxas de degradação da matéria orgânica. Com isso, a porcentagem do lodo circulado deve ser um parâmetro importante a ser considerado na operação, de maneira que a concentração de sólidos no reator biológico seja mantida constante (REYNOLDS; RICHARDS, 1996). A Figura 2 mostra o esquema básico operacional de um sistema de lodos ativados.

Figura 2. Arranjo operacional de um sistema de lodos ativados



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

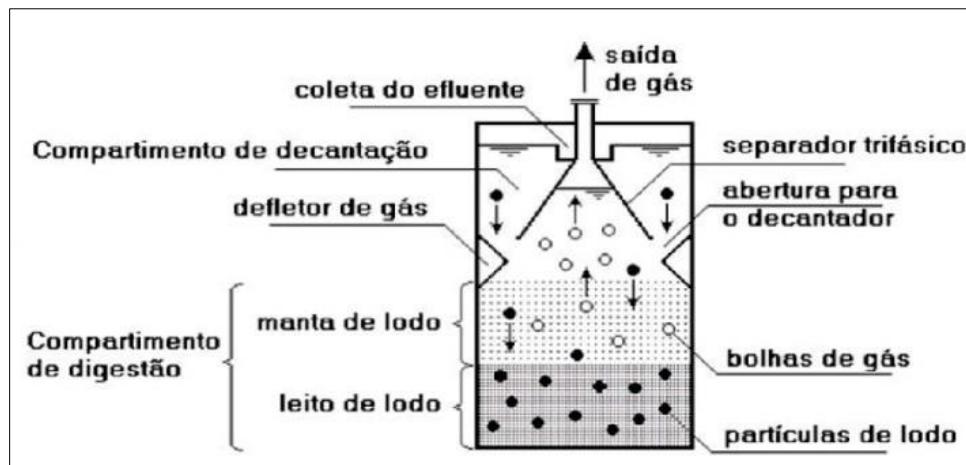
Outra importante característica desse processo é a existência de aeradores no tanque biológico, que possuem duas funções principais: fornecimento de oxigênio, de modo a suprir as necessidades biológicas dos microrganismos; e recirculação dos nutrientes, com vistas à homogeneização do tanque, maximizando a interação entre compostos a serem metabolizados e organismos degradadores (REYNOLDS; RICHARDS, 1996).

### **3.1.2. Processos anaeróbios de tratamento de esgotos**

Por sua vez, os processos anaeróbios caracterizam-se pelo predomínio dos processos catabólicos frente aos anabólicos. Dessa forma, a geração de lodo é menor quando comparado a um sistema aeróbio, necessitando de menos gastos com a gestão desse resíduo sólido. Além disso, sistemas dessa natureza não requerem grandes áreas para implementação, o que permitem o estabelecimento em áreas com restrição de espaço. Entretanto, a remoção de matéria orgânica não é tão eficaz quanto dos sistemas aeróbios, sendo no máximo 70%. Ademais, as degradações de compostos nitrogenados, fosfatados e coliformes termotolerantes são insignificantes, exigindo a existência de um pós-tratamento (SPERLING, 2005).

A temperatura também é outro fator limitante nos processos anaeróbios, uma vez que o rendimento dos microrganismos é estrito a uma faixa de operação limite: até 20 °C. Com isso, a aplicação desses sistemas em países tropicais, onde a média de temperatura costuma ser superior a esse valor, pode ser considerada uma restrição (JOSÉ ROBERTO CAMPOS, 1999). Ademais, os processos aeróbios apresentam como sub produtos gasosos: o gás Metano ( $\text{CH}_4$ ) e sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Enquanto aquele pode ser um potencial contribuidor para o efeito estufa, este é responsável pela proliferação de odores nas imediações da área de tratamento e, em elevadas concentrações, apresenta potencial tóxico (BRANDT et al., 2018). Entretanto, apesar dos efeitos inconvenientes desses gases, eles podem ser aproveitados para a geração de energia na própria planta de tratamento. De maneira geral, os sistemas anaeróbios mais populares são os reatores UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) e os reatores anaeróbios de leito expandido (PROSAB, 1999). A Figura 3 detalha as partes de um reator UASB, também denominado RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente).

Figura 3. Partes de um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente



Fonte: Santos et al. (2014).

Logo na entrada, o efluente a ser tratado passa pelo compartimento de digestão, principal mecanismo de remoção da matéria orgânica (SPERLING, 2005). Após isto, o efluente, já tratado, é segregado em um separador trifásico, onde os gases gerados ascendem e o lodo gerado decanta, sendo a força gravitacional principal força motriz da etapa (SANTOS et al., 2014).

### 3.1.3. Comparação entre os processos aeróbios e anaeróbios

A Quadro 1 sintetiza as principais características dos sistemas de tratamentos de esgotos anaeróbios e aeróbios.

Quadro 1 – Principais características dos sistemas de tratamento de esgotos

Tipo de tratamento	Forma-ção de lodo	Eficiênia de remoção de MO	Remoção de compostos nitrogenados e fosfatados	Remoção de coliformes termotolerantes	Subprodutos gasosos	Consumo energético
Aeróbio	Elevada	65 – 90 %	Boa	Alta	Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	Alto
Anaeróbio	Baixa	Até 70 %	Inexistente	Inexistente	Metano (CH <sub>4</sub> ) e gás sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	Baixo

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Conforme citado anteriormente, tanto o processo aeróbio, quanto o anaeróbio produzem como subproduto sólido, o lodo biológico ou excedente. Esse resíduo necessita de remoção periódica, inclusive para não prejudicar a operação do sistema de tratamento (REYNOLDS; RICHARDS, 1996). Porém devido à elevada concentração de matéria orgânica, o lodo possui destinações finais que podem proporcionar aproveitamento econômico (Von Sperling, 2005). De acordo com Penido et al. (2019), lodos provenientes de tratamento de esgoto podem ser importantes insumos para a recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração; além de possuírem significativo potencial para equilibrar o pH do solo dessas localidades.

Com vistas ao aproveitamento dos aspectos positivos de cada um dos processos de tratamento biológico de esgotos, modelos que combinassem sistemas anaeróbios com aeróbios começaram a serem desenvolvidos. Na existência de um pré-tratamento anaeróbio anterior ao sistema aeróbio, a geração de lodo pode ser muito menor (MENDONÇA, 2002). Do mesmo modo, processos combinados também podem apresentar significativo potencial na redução do consumo de energia de plantas de tratamento de efluentes, na medida em que os gases produzidos na parte anaeróbia do tratamento sejam reaproveitados para geração energética (REIS et al., 2019).

De acordo com Dias et al. (2018), um sistema em série composto de um reator UASB, seguido por duas lagoas de maturação e um filtro de pedras, pode ser um importante sistema de tratamento de efluentes gerados por pequenas comunidades com aproximadamente 300 habitantes; além de possuir um significativo potencial para implementação em países tropicais.

### **3.2. Principais indicadores para a caracterização de efluentes**

Existem diversos indicadores relacionados ao estado da qualidade de águas e efluentes, sendo divididos em três classes principais: parâmetros físicos, químicos e biológicos. Cor, Turbidez, odor e temperatura, são alguns dos parâmetros físicos e possuem significativa importância principalmente em sistemas de abastecimento de água. Já as concentrações de Fósforo, Nitrogênio e OD, bem como a DBO e Demanda Química de Oxigênio (DQO) são parâmetros químicos. Por outro lado, o levantamento qualitativo ou quantitativo de populações de microrganismos, como coliformes termotolerantes, são parâmetros biológicos (SPERLING, 2005).

Possuindo uma importância biológica muito relevante para diversos seres vivos (JÚNIOR, 2000), o Nitrogênio é um importante parâmetro de monitoramento em efluentes devido ao impacto da eutrofização em corpos hídricos, causado quando a concentração desse elemento é excessiva. (BARRETO et al., 2013). Segundo Metcalf & Eddy (1991), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) são formas de nitrogênio desprezíveis em esgotos domésticos, porém o nitrogênio amoniacal costuma estar compreendido entre 12 e 50 mg/L, e o nitrogênio orgânico entre 8 e 35 mg/L. Entretanto, são os fertilizantes agrícolas os maiores contribuidores à existência de altas concentrações de compostos nitrogenados em corpos hídricos (BARRETO et al., 2013).

Todavia, o fósforo também é outro elemento com significativo potencial de contribuição ao processo de eutrofização de corpos d'água (Von Sperling, 2005). No esgoto doméstico ele está presente majoritariamente na forma polifosfatos, orto-fosfatos ou fósforo orgânico, sendo o detergente um dos principais produtos fonte dessas substâncias; porém é perceptível que muitos fabricantes desses produtos passaram a substituir componentes eutrofizantes por outros menos não eutrofizantes, o que tem reduzido os impactos ambientais (SOUSA, 2014). Assim como o nitrogênio, o fósforo também é constituinte de fertilizantes agrícolas (BARRETO et al., 2013).

O OD refere-se à concentração de oxigênio na forma gasosa ( $\text{O}_2$ ) na água, tendo um valor aproximado de saturação de 8mg/L nas em condições normais de temperatura e pressão; com isso quanto maior seu valor, melhor a qualidade da água analisada (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997). Além disso, esse parâmetro necessita de frequente monitoramento nos processos aeróbios de tratamento de esgotos, já que os microrganismos ali presentes necessitam de  $\text{O}_2$  para realizar a degradação de matéria orgânica (SPERLING, 2005)

Por sua vez, a DBO, visa quantificar a concentração de matéria orgânica biodegradável na amostra. Também expressa em mg/L, os métodos de determinação dessa variável costumam medir o OD antes e depois de determinado período de tempo, simulando dessa forma, o quanto de oxigênio foi consumido pela microbiota. Normalmente, o intervalo entra uma medida e outra dura cinco dias, sendo designada por DBO de cinco dias ( $\text{DBO}_5$ ) (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

Outro parâmetro de relevada importância, a DQO indica a concentração de oxigênio consumido para degradar a matéria orgânica, biodegradável ou não biodegradável, de uma amostra; para isso, são feitas reações em meio ácido com agente químico oxidante forte (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997). Dessa forma, a relação entre DQO e DBO acaba sendo

um importante indicador de biodegradabilidade; para valores de DQO/DBO menores que 5 o esgoto é considerado biodegradável (PORTO, 1991).

Com larga presença nos esgotos domésticos, organismos patogênicos são aqueles que podem causar doenças em humanos, como a gastroenterite. Em águas e efluentes, organismos dessa classe são, em sua maioria representados pelos coliformes termotolerantes, principalmente por *Escherichia coli*, cujo habitat exclusivo é o intestino de animais homeotérmicos (Reynolds and Richard, 1996). Dessa forma, um elevado número de coliformes termotolerantes indica que a amostra ou localidade encontra-se afetada por contaminação fecal. Vale salientar, que esse parâmetro é um importante indicador de saúde pública da população, uma vez que indivíduos saudáveis não excretam esses organismos (SPERLING, 2005).

A Tabela 2 resume as faixas de concentração dos principais parâmetros de qualidade da água para esgotos domésticos fracos, médios e fortes.

Tabela 2 - - Principais características dos esgotos domésticos

Parâmetro	Concentração (mg/L)		
	Fracos	Médio	Forte
DBO (5 dias – 20°C)	100	200	400
DQO	230	455	910
Nitrogênio Total	16	40	75
Nitrogênio Orgânico	8	20	40
Nitrogênio Amoniacal	8	20	35
Fósforo Total	4	8	15
Fósforo Orgânico	1	3	5
Fósforo Inorgânico	3	5	10

Fonte: Adaptado de Reynolds & Richards (1996);

\*Concentrações de Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) são insignificantes.

### 3.2.1. Caracterização de efluentes gerados em campus universitários

Conhecidas pela sua importância na disseminação de conhecimentos e incentivo à prática científica, as instituições de ensino superior, que possuem laboratórios de pesquisa, são consideradas pequenas unidades geradoras de resíduos perigosos. Isso ocorre porque muitos

pesquisadores e funcionários ao descartarem os reagentes e amostras de seus experimentos, acabam por fazê-lo no próprio sistema de esgoto, o qual muitas vezes não possui tratamento adequado a esses tipos de resíduos, e pode inclusive, afetar os microrganismos existentes nas ETEs (ALVES, 2005).

Além de contar com cursos de graduação de engenharia ambiental, engenharia de minas e engenharia química, o campus universitário de Poços de Caldas (MG) da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL), também conta com programas de pós-graduação nas áreas de Física, Química e Meio Ambiente (UNIFAL, 2019). Toda essa estrutura de serviços acadêmicos, implica na existência de diversos laboratórios de pesquisa, que podem vir a descartar seus resíduos líquidos diretamente na rede de esgoto.

Em estudo de caracterização do efluente gerado no campus universitário da UNIFAL, Menezes (2017) determinou o valor de DQO durante o período letivo e férias. Enquanto o segundo apresentou valor médio foi de 151,67 mg/L, o primeiro teve um valor médio de 829,13 mg/L. De acordo com Metcalf & Eddy (2003), os valores de DQO para um esgoto doméstico fraco, moderado e forte são, respectivamente: 250 mg/L, 430 mg/L e 800 mg/L. Com isso, percebe-se que o esgoto gerado na instituição no período letivo apresenta características similares a um esgoto doméstico forte; por outro lado, o esgoto gerado durante as férias escolares pode ser comparado ao esgoto doméstico fraco, levando-se em conta somente o parâmetro DQO (MENEZES, 2017).

O campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), também conta com laboratórios nas áreas de Engenharia, Química, Materiais e áreas correlatas. Em estudo de caracterização do efluente gerado nesse estabelecimento, Bertolino et al. (2008) encontrou valores de DBO entre 100 e 360 mg/L, sugerindo que estes efluentes podem ter características similares aos esgotos domésticos, já que segundo Sperling (2005) a faixa de DBO para esgoto domésticos é de 250 a 400 mg/L. Além disso, os autores determinaram a DQO, calcularam o valor da relação entre as demandas de oxigênio, e constaram que o efluente possui elevado teor de matéria orgânica biodegradável.

Diversas concentrações de metais pesados também foram determinadas por Bertolino et al. (2008), sendo que nenhuma delas extrapolou o limite permitido pela legislação do Estado de Minas Gerais. Além de poderem causar danos à saúde humana, elevadas concentrações desses elementos, também podem causar inibição da atividade microbiana, gerando prejuízos nos sistemas de tratamentos de efluentes (SPERLING, 2005).

Em outro estudo similar, Sousa (2014) caracterizou o esgoto gerado no campus universitário da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e propôs métodos de reuso dentro da própria instituição. Na determinação de nitrogênio amoniacal, o autor encontrou um valor médio de 33,206 mg/L, o que segundo Metcalf & Eddy (1991) está dentro da faixa dos esgotos domésticos, no caso entre 12 e 50 mg/L. Sousa (2014) também constatou uma concentração média de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0,379 mg/L, o que também encontra-se dentro do range de efluentes residenciais, no máximo 1 mg/L (SPERLING, 2005). O autor também determinou a concentração de NO<sub>2</sub>, 0,023 mg/L, o que também reforça o caráter de esgotos domésticos da localidade, já que esse valor deve ser insignificante ao ser comparado com as concentrações de outros compostos nitrogenados (SOUZA, 2014).

Ademais, também foi atestado o valor médio de fósforo total do efluente gerado no campus da UEPB, aproximadamente 7,26 mg/L, quantidade essa que também se encontra dentro da faixa de esgotos domésticos, de 4 a 15 mg/L (SPERLING, 2005). Ainda foram determinados os valores de DBO, 306,06 mg/L, e DQO, 558,57 mg/L, os quais também se enquadram nas faixas de valores para esgotos domésticos, que são: até 400 mg/L para a DBO (SPERLING, 2005) e até 800 mg/L para DQO (Metcalf & Eddy, 2003).

Por último, Sousa (2014) também encontrou valores de coliformes termotolerantes através do método dos tubos múltiplos. Através da fermentação de lactose, diversas diluições sucessivas do efluente são realizadas, de modo que número mais provável (NMP) desses microrganismos em uma amostra de 100 mL possa ser estimado (Reynolds and Richard, 1996). O valor encontrado por Sousa (2014) foi de 2,76 x 10<sup>6</sup> UFC/100 mL, o que de acordo com Von Sperling (2005) encontra-se dentro da faixa de esgotos domésticos, no caso entre 106 e 109 organismos/100 mL.

O campus universitário A.C. Simões (CACS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) é outra instituição que possui diversos laboratórios de pesquisa, contando ainda com Hospital Universitário. Em estudo de caracterização do efluente gerado no local, Cavalcante (2017) encontrou 471,71 mg/L para DQO e 416,86 mg/L para a DBO. De acordo com Reynolds and Richard (1996), um valor de DBO para um esgoto forte costuma ser aproximadamente 400 mg/L e um valor de DQO para esgoto médio costuma ser 455 mg/L; levando-se a constatar que a DBO se encontra ligeiramente acima das características de um esgoto doméstico. A relação DBO/DQO encontrada foi 0,73, o que indica que o efluente possui fração biodegradável elevada (SPERLING, 2005).

Ainda para o estudo da UFAL, também foram determinadas as concentrações médias de nitrogênio total ( $N_t$ ), nitrogênio amoniacal ( $N_{am}$ ) e fósforo total ( $P_t$ ). Enquanto a primeira e a segunda apresentaram 62,08 e 35,63 mg/L, respectivamente, a terceira foi 5,56 mg/L. Segundo Reynolds and Richard (1996) a concentração de nitrogênio total para um esgoto doméstico forte é por volta de 75 mg/L, sendo relativamente próximo ao valor encontrado; a quantidade de nitrogênio amoniacal para um esgoto doméstico forte é aproximadamente 35 mg/L, concentração essa também muito próxima à encontrada pela autora; e a concentração de fósforo para um esgoto doméstico caracterizado como médio é 8 mg/L, podendo-se inferir que o esgoto estudo é relativamente fraco em relação às concentrações de fósforo total.

Além disso, também foram realizados ensaios ecotoxicológicos com o microrganismo *Artemia franciscana*. De acordo com a Resolução CONAMA 357, esse tipo de ensaio é realizado com o intuito de verificar os efeitos deletérios causados à biota (BRASIL, 2005). No estudo realizado na UFAL, verificou-se que o efluente pode ser considerado tóxico para o organismo indicado, podendo- se pressupor que tal característica pode estar relacionada com a existência do hospital na instituição, algo que já foi levantado por literatura específica (CAVALCANTE, 2017).

De acordo com Bertolino et al. (2008), resíduos líquidos gerados em laboratório podem apresentar elevado pH e alta DQO, características muito diversas daquelas encontradas no esgoto sanitário doméstico. Com isso, previamente à concepção de qualquer tratamento de águas residuárias para campus universitários, é imprescindível que o efluente seja caracterizado (MENEZES, 2017).

Entretanto, Sousa (2014) e Bertolino et al. (2008) em estudos relacionados à caracterização de efluentes de campus universitários, concluíram que estes apresentaram características similares ao esgoto doméstico. Vale ressaltar, que isso pode estar correlacionado com o incentivo a programas de gestão de resíduos sólidos no meio acadêmico. Como exemplo, o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Universidade Federal do Ceará (PROGERE - UFC), tem realizado inúmeros treinamentos que aumentaram significativamente a coleta de resíduos perigosos na UFC (SILVA et al., 2015).

## **4. Objetivo**

O presente trabalho visa conceber uma proposta de modelo de tratamento de efluentes para a área 2 da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (EEL – USP).

## **5. Metodologia**

A concepção do sistema de tratamento de esgotos será dividida em duas etapas de diagnóstico e outras duas de prognóstico. Além disso, também são abordadas duas ações que poderão ser implementadas durante a operacionalização do sistema proposto. O Quadro 2 explicita essa divisão.

Quadro 2 - Metodologia proposta

<b>Diagnóstico</b>	Diagnóstico do sistema de afastamento de esgoto da área 2 da EEL – USP  Caracterização do efluente gerado na área 2 da EEL - USP
<b>Prognóstico</b>	Proposta de esquema de tratamento de esgoto e identificação de possíveis áreas para implementação
<b>Recomendações após o início da operação do sistema proposto</b>	Proposta para reuso do efluente tratado  Aproveitamento do lodo gerado na Estação de tratamento de esgoto para compostagem

Fonte: Próprio autor (2019).

Nos subtópicos seguintes serão abordadas as principais atividades relacionadas a cada etapa.

### **5.1. Diagnóstico do sistema de afastamento de esgoto da área 2 da EEL – USP**

Este tópico, visará mostrar quais estruturas de esgotamento sanitário existem no campus universitário. Além disso, outras informações serão levantadas. São elas:

- Local e corpo receptor onde ocorre o despejo do esgoto;

- Classe do corpo receptor;
- Existência de problemas relacionados ao esgotamento sanitário na localidade;
- Consulta ao projeto da rede coletora, se existente.

## **5.2. Caracterização do efluente gerado na área 2 da EEL – USP**

De acordo com Sperling (2005), para estudos de concepção de tratamento de efluentes, os constituintes a serem degradados deverão ser determinados, o que explica a necessidade da caracterização do esgoto gerado. Como a área 2 da EEL – USP possui um importante setor de laboratórios de tecnologia avançada, alguns compostos tóxicos ou não biodegradáveis podem estar presentes nas águas residuárias, exigindo tratamento específicos (BERTOLINO et al.,2008).

O período letivo para os alunos da graduação, maioria dos alunos da área 2, compreende dois semestres. Enquanto o primeiro costuma iniciar em Fevereiro ou Março e encerrar na segunda quinzena de Junho, o segundo, por pressuposto, começa na primeira semana de Agosto e termina na segunda quinzena de Novembro. Portanto, nos períodos não letivos, o número de pessoas que frequenta o local é menor; o que caracteriza uma vazão flutuante a ser atendida pelo sistema de tratamento (Borges et al., 2013).

Dessa forma, pretende-se realizar duas caracterizações para o esgoto do local: uma no período letivo, e outra no não letivo. Os parâmetros que poderão ser medidos serão: DBO, DQO, séries de Nitrogênio, séries de Fósforo, além de ensaios ecotoxicológicos. Entretanto, a tomada de decisão com relação aos testes a serem realizados, dependerá da disponibilidade de laboratórios da universidade.

Nesta etapa do trabalho, também serão quantificados o número de indivíduos que frequenta o campus, e a possível população de fim de projeto; esta última imprescindível para a determinação da capacidade máxima das estruturas de coleta e tratamento (SPERLING, 2005).

## **5.3. Proposta de esquema de tratamento de esgoto e identificação de possíveis áreas para implementação**

Após a caracterização do esgoto gerado na área 2 da EEL – USP, será proposto um modelo de tratamento que busque adequar os parâmetros de esgoto àqueles do corpo hídrico que ocorrerá o despejo, exigidos pelo Resolução CONAMA 357 (2005) e 430 (2011). Além disso, as vazões

máximas e mínimas terão de ser consideradas no projeto; enquanto a primeira é importante para garantir condições adequadas aos microrganismos do tratamento biológico, a segunda é necessária para determinação dos parâmetros hidráulicos (SPERLING, 2005).

Nesta etapa, também poderão ser executados desenhos das principais vistas da infraestrutura projetada; para isso, poderá ser utilizado o software AutoCad. Outra atividade imprescindível será a identificação das possíveis áreas de construção do projeto; aqui poderão ser utilizados softwares de georreferenciamento tais como ArcGis e QuantumGis.

#### **5.4. Proposta para reuso do efluente tratado**

Devido ao elevado número de laboratórios presentes na instituição, também poderão ser propostas sistemas de reúso do efluente tratado (Schwab et al., 2018). Além disso, a área II da EEL – USP possui um sistema de refrigeração para algumas máquinas dos laboratórios, contando inclusive com uma torre de resfriamento. Portanto, seria interessante que alternativas de reuso do efluente possam ser consideradas.

#### **5.5. Aproveitamento do lodo gerado na Estação de tratamento de esgoto para compostagem**

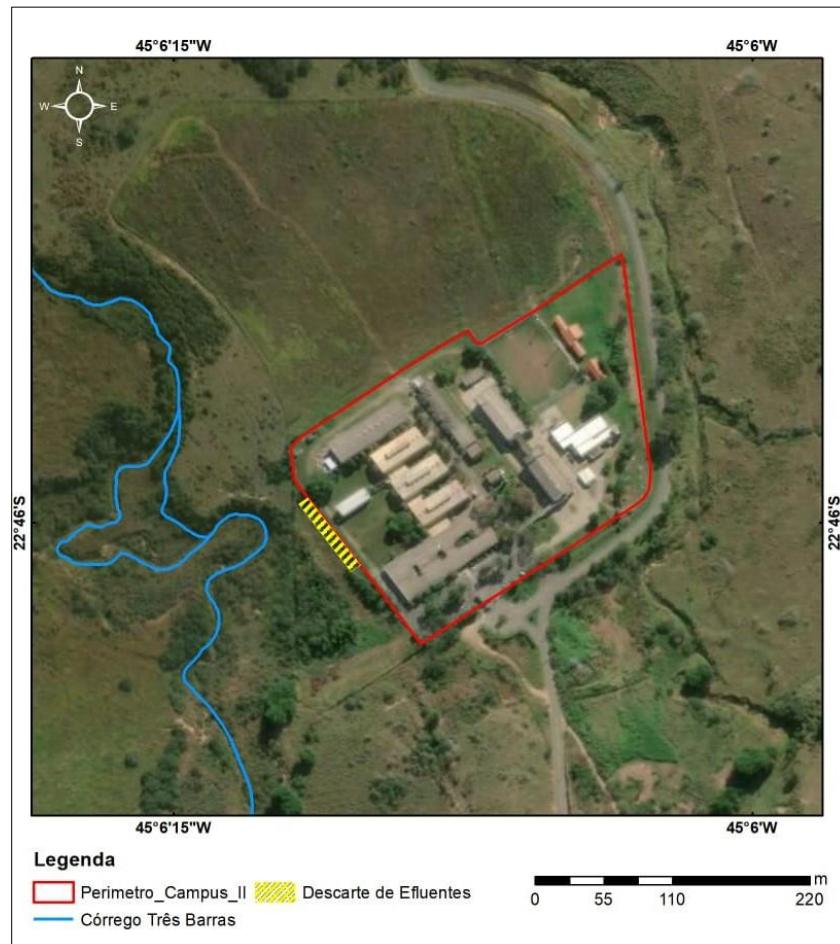
De acordo com Faria (2018), o processo de compostagem com o lodo, gerado nos processos de tratamento de esgotos, pode permitir aproveitamento desse resíduo em aplicações nas atividades agrícolas. Como ocorrem serviços de capina e roçada na área 2 da EEL – USP, serão propostas criações de leiras de compostagem a partir dos lodos da ETE e dos resíduos vegetais provenientes desses serviços. Também será feita, através de georreferenciamento, a proposta de alocação dessas atividades, de modo que odor e outras variáveis não venham a perturbar as atividades acadêmicas desenvolvidas no campus universitário. Ademais, será sugerido a integração da atividade de compostagem com a entidade estudantil Projeto Criança Feliz (PCF), de forma que os conceitos de educação ambiental possam ser passados aos alunos assistidos pelos trabalhos dessa organização sem fins lucrativos.

## 6. Resultados

### 6.1. Diagnóstico do sistema de afastamento de esgoto da área 2 da EEL – USP

A rede coletora de esgotos do *campi* desemboca em duas estruturas cilíndricas de concreto, que de acordo com funcionários da manutenção, possuem aproximadamente três metros de profundidade. Elas estão localizadas na porção Sudoeste da área, após descarte nessas estruturas, existe um emissário que conduz o efluente até o corpo receptor; insta salientar que não existem estações elevatórias de esgotos na localidade (EEE), portanto, todo escoamento do efluente ocorre por gravidade. A Figura 4 a seguir detalha a localização dessas estruturas.

Figura 4. Vista superior do local de descarte de esgoto da área 2 da EEL - USP



Fonte: próprio autor (2020)

Vale frisar, que não existe nenhuma estrutura de tratamento do efluente, portanto, o esgoto é despejado *in natura* no corpo receptor, o Córrego Três Barras. O Decreto Paulista válido para a classificação dos rios da porção paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul é o 10.775, de 22 de Novembro de 1.977 da Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (Alesp). O corpo receptor em questão não possui classificação pela legislação vigente, mas o Ribeirão Taboão, rio onde o Córrego Três Barras desemboca, é classificado, a partir da confluência entre esses dois corpos hídricos, como classe 4. A distância entre o local de despejo dos efluentes gerados pela e a foz do Córrego Três Barras é aproximadamente 700 metros.

De acordo com a Resolução 357 do CONAMA, águas de classe 4 podem ser destinadas somente à navegação e à harmonia paisagística (CONAMA, 2005). Todavia, não existe nenhuma fiscalização por parte do poder público do uso tanto no Ribeirão Taboão, quanto no Córrego Três Barras, sendo comum inclusive, o uso por moradores locais, dessas águas para banho durante o verão; segundo relato de funcionários da manutenção da área II da EEL – USP.

## **6.2. Caracterização do efluente gerado na área 2 da EEL – USP**

Conforme já citado, planejou-se a realização de duas coletas: uma em período letivo e outra em período não letivo. Todavia, devido às medidas de isolamento social para contenção ao COVID-19, não foi possível realizar a coleta em período letivo, visto que as aulas presenciais foram suspensas. A amostragem foi realizada conforme a norma 9898 de Junho de 1987 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Para isso, foi utilizado um frasco plástico de 500 mL acoplado a um barbante, para facilitar o içamento.

A coleta relacionada ao período não letivo foi realizada dia 14/02/2020 e teve ajuda imprescindível da área de manutenção do *campi*. Vale salientar que todos os cuidados sanitários foram tomados na operação. A Figura 5 mostra a operação.

Figura 5 - Coleta do efluente gerado na área II da EEL - USP



Fonte: Próprio autor (2020)

Portanto, os parâmetros utilizados para a caracterização do esgoto foram: DQO, Nt, Nitrogênio orgânico (No), Pt, coliformes totais, coliformes fecais. Para a detecção e quantificação de No, Nt e Pt formados durante a degradação foi utilizada cromatografia de íons (IC) em um cromatógrafo de íons modelo Pro 850 da Metrohm, com detector de condutividade, coluna de ânions A Supp 5 com 150 mm, o eluente utilizado foi uma solução de carbonato de sódio  $3,2 \times 10^{-3}$  mol L<sup>-1</sup> e bicarbonato de sódio  $1,0 \times 10^{-3}$  mol L<sup>-1</sup>, com fluxo de 0,7 mL min<sup>-1</sup> e volume de injeção de 20 µL de amostra.

Para determinação da DQO foi utilizado bloco de aquecimento e espectrofotômetro marca Hach seguindo procedimento descrito no Standard Methods 21<sup>a</sup> ed. 3500 B, 3-58 (EATON; TAYLOR, 2005).

Para detecção de coliforme totais e termotolerantes foi utilizado o método dos tubos múltiplos conforme descrito pelo Manual prático de análise de água da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) (BRASIL, 2013). Os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros da coleta realizada em período não letivo

Parâmetro	Valor
DQO	381 mg/L
Nitrogênio total	31 mg/L
Nitrogênio orgânico	18 mg/L
Fósforo total	12 mg/L
Coliformes totais	Positivo
Coliformes fecais	Positivo

Fonte: próprio autor (2020)

Comparando-se os resultados obtidos com aqueles expostos pela Tabela 2, podemos intuir que o esgoto gerado no período não letivo é predominante fraco, visto que:

- A DQO é menor que o valor médio (455 mg/L), sendo por isso um valor fraco;
- A concentração de N<sub>t</sub> é menor que o valor médio (40 mg/L), também um valor fraco;
- A concentração de N<sub>o</sub> é menor que o valor médio (20 mg/L), o qual é fraco;
- A concentração de P<sub>t</sub> é maior que o valor médio (8 mg/L), sendo portanto o único valor médio.

Por sua vez, os parâmetros biológicos mensurados – coliformes fecais e totais – foram positivos, sendo possível concluir que a amostra possui quantidades significativas de fezes humanas. Se o período não letivo, época de melhor circulação pessoas na área, possui esses resultados, é muito provável que o período letivo apresente resultados similares para os parâmetros biológicos, uma vez que um maior número de pessoas frequenta o local, gerando ainda mais material proveniente de necessidades humanas.

Outrossim, a concentração média de fósforo total poderia ser explicada pelo elevado uso de detergentes e outros compostos fosfatados na limpeza de vidrarias dos laboratórios de pesquisa, além do descarte de alguns outros reagentes diretamente nas pias dos laboratórios. Vale salientar, que os laboratórios possuem bombonas para acondicionar reagentes vencidos e residuais, porém podemos supor que uma parte desses compostos também pode estar sendo direcionado aos esgotos, conforme citado no início desse trabalho.

Ressalta-se novamente que, a elevada concentração de compostos fosfatados em corpos hídricos pode causar eutrofização; caracterizada principalmente pela proliferação excessiva de algas e macrófitas, gerando diversos danos a todos estratos tróficos (Sperling, 2002).

Com relação ao número de alunos que frequentam o campus, foi aberto um requerimento para obter essa informação, no dia 30 de Março; todavia, devido à pandemia do COVID – 19 acredita-se que o setor responsável foi dispensado dos serviços, não sendo possível obter essa informação. A estimativa de vazões mínima e máxima também foi prejudicada pela paralisação, mas certamente terá espaço em trabalhos posteriores.

### **6.3. Proposta de esquema de tratamento de esgoto e identificação de possíveis áreas para implementação**

A resolução 430 do CONAMA, que complementa a resolução 357 de 2005 do mesmo órgão, também aborda as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos. São algumas destas:

1. pH entre 5 e 9;
2. Temperatura inferior a 40 °C;
3. Ausência de materiais flutuantes;

O monitoramento do despejo do esgoto nessas condições, será feito principalmente por aqueles responsáveis pela operação do sistema, através de monitoramento constante e outras tarefas. Portanto, não consideraremos essas condições para a proposta de projeto; o que será avaliado será como reduziremos os parâmetros de caracterização encontrados (Tabela 3) àqueles determinados pelas legislações aplicáveis do CONAMA.

Para o parâmetro N<sub>t</sub>: a resolução CONAMA 430 de 2011 estabelece que o efluente a ser despejado no corpo hídrico deve ter uma concentração máxima de 20 mg/L. De acordo com a Tabela 3, o efluente gerado na área II da EEL – USP para o período não letivo é 31 mg/L. Dessa forma, para esse parâmetro, nosso sistema de tratamento deverá atender a seguinte redução percentual:

$$\frac{20 \text{ mg/L}}{31 \text{ mg/L}} = 64,51\% \quad 100\% - 64,51\% = 35,49\%$$

Para o parâmetro Fósforo Total (Pt): as resoluções 430, de 2011, e 357, de 2005, do CONAMA não estabelecem níveis máximos para esse parâmetro no despejo em corpos hídricos classe 4. Dessa forma, será considerado um valor de redução próximo ao estabelecido para rios classe 3 em ambiente lótico, que é 0,15 mg/L. Então, considerando a concentração obtida na caracterização de 12 mg/L, tem -se:

$$\frac{0,15 \text{ mg/L}}{12 \text{ mg/L}} = 1,25\% \quad 100\% - 1,25\% = 98,75\%$$

Com isso, o sistema proposto terá de apresentar uma redução aproximada de 35,49 % para o N<sub>t</sub> e 98,75% para o P<sub>t</sub>. Todavia, para este último não necessitará sermos tão criteriosos, uma vez que o valor de remoção considerado é adotado para corpos hídricos classe 3 e o Córrego Três Barras é considerado classe 4.

Ainda de acordo com a Resolução 430 de 2011 do CONAMA Art. 16, todo sistema de tratamento de efluentes deve apresentar uma redução mínima de 60% da DBO. Portanto, o sistema proposto nesse trabalho também se atentará a essa condição.

### **6.3.1. Identificação de áreas para implementação**

Como já existe uma estrutura receptora dos esgotos gerados na área 2 da EEL – USP, as intervenções para o esquema proposto serão feitas nesse próprio local (Figura 4). A lei 12.727 de 2012, o Novo Código Florestal, estabelece o valor das faixas de Áreas de Preservação Permanente (APPs) de acordo com a largura dos corpos hídricos. Segunda essa lei, é considerada APP:

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 12.727, 2012)

Para rios perenes, com fluxo contínuo durante todo o ano, com menos de 10 metros de largura, caso do Córrego Três Barras, a faixa de APP deve ter pelo menos 30 metros. Através de

softwares de georreferenciamento, foi constado que a distância entre a área de descarte de efluentes e o Córrego Três Barras é aproximadamente 28 metros. Então, o ideal é que o sistema de tratamento evita-se exceder a largura da APP.

Todavia, havendo algum imprevisto no ato de implantação, sendo necessário o uso da faixa de APP para obras e outras adequações, o próprio Código Florestal, no seu artigo 8 diz que podem ocorrer intervenções nessas áreas em três condições: utilidade pública, interesse social e atividade de baixo impacto ambiental. Ainda de acordo com o artigo 3 da mesma lei, é considerado utilidade pública: “as obras de infraestrutura destinadas às concessões e aos serviços públicos de transporte, sistema viário, inclusive aquele necessário aos parcelamentos de solo urbano aprovados pelos Municípios, saneamento...” (BRASIL, 2012).

Como o tema tratado é uma obra de saneamento, poderá ocorrer supressão. Todavia, como a USP é uma instituição de ensino e pesquisa de grande destaque e, o modelo proposto de tratamento de esgotos buscará evitar novas supressões de vegetação ali existente, até para servir como exemplo a sistemas de outras universidades. Além disso, poderão ser criados projetos de reconstituição da flora ali existente, de forma que será escolhido um sistema que use a menor área possível. A Figura 6 nos mostra uma vista geral da área.

Figura 6 - Vista geral da área de descarte de efluentes



Fonte: Próprio autor (2020)

Pode-se constatar que além da presença de algumas plantas rasteiras, a vegetação predominante do local é pasto, utilizado para fins pecuários.

### **6.3.2. Considerações sobre os requisitos da proposta de sistema de tratamento para a área II da EEL – USP**

Conforme relatado nos tópicos anteriores, o sistema de tratamento proposto deverá atender aos seguintes requisitos:

1. Baixa área de implementação;
2. Remoção de no mínimo 60% da carga orgânica;
3. Remoção de aproximadamente 35% de Nitrogênio Total ( $N_t$ );

As resoluções do CONAMA sobre despejo de efluentes não abordam valores de redução de Fósforo Total ( $P_t$ ) e coliformes totais/fecais para rios Classe 4, porém cita que deve-se atender às legislações específicas relacionadas ao corpo hídrico em questão. Em pesquisa ao acervo legislativo do município de Lorena (SP) e demais leis estaduais, constatou-se que não existe nenhum respaldo legal sobre as faixas para esses parâmetros no rio que ocorrerá o despejo.

Entretanto, caso o Córrego Três Barras fosse um Rio Classe 3 necessitar-se-ia uma redução de quase 99% desses parâmetros, conforme calculado no item 6.3. Visto que o requisito área é um importante limitante para a proposta em questão, a redução dos parâmetros  $P_t$  e Coliformes não será o objetivo principal do tratamento proposto.

Comparando-se os dois sistemas principais de redução de carga orgânica, os aeróbios e anaeróbios (seção 3.1.1. e 3.1.2.), nota-se que enquanto o primeiro requer grandes áreas para instalação, o segundo precisa de pouco espaço. Além disso, os sistemas anaeróbios geram menos lodos, principal resíduo do processo de tratamento de esgotos, fato que também contribui para um menor uso da área. Dessa forma, para a listagem de itens obrigatórios, percebe-se que o requisito área será melhor atendido por um sistema anaeróbio.

Com relação à redução de carga orgânica, nota-se que os sistemas aeróbios são muito mais eficientes. Todavia, sistemas anaeróbios conseguem atingir remoções de até 70% e no caso em questão, a legislação obriga uma remoção mínima de 60%. Entretanto, a literatura aborda,

inclusive, remoção de matéria orgânica por sistemas anaeróbios da ordem de 80 % (GONTIJO, 2018). Assim, percebe-se que um sistema anaeróbio que atingisse o requisito de 60% de redução de carga orgânica também poderá ser considerado.

O último atendimento obrigatório do sistema proposto seria a remoção percentual de 35% do parâmetro  $N_t$ . Com base no exposto na seção 3.1., os tratamentos aeróbios possibilitam uma redução considerável dessa grandeza; por outro lado, os sistemas anaeróbios não conseguem reduzir as concentrações desse parâmetro. Então, nota-se que o emprego de um sistema anaeróbio necessitaria de um pós tratamento, com vista ao atendimento da Resolução CONAMA 430 de 2011.

Contudo, existem tecnologias que à jusante de reatores anaeróbios, poderiam atuar significativamente na remoção dos compostos nitrogenados. Um processo que vem ganhando espaço na área de tratamento de água e esgotos à a aplicação de membranas de microfiltração (MF) (FELIZATTO, 2017).

De acordo com Battistelli, Vidal, Souza e Cavallini (2016), um processo de MF como pós tratamento de um reator UASB, pode remover até 50,4 % de  $N_t$ , valor esse que superaria, e com uma boa margem, os 35% necessários à proposta deste trabalho. Insta salientar, que o valor considerado de remoção foi calculado de acordo com o período não letivo. Como não foi possível determinar o valor do período letivo, supõe-se que devido a maior presença de pessoas na área nessa época, as concentrações de  $N_t$  podem ser superiores, porém como o valor de remoção foi superado por uma boa quantia, este tipo de arranjo pode ser considerado, nas atuais circunstâncias, um bom modelo. Além disso, as MFs conseguem remover até 76,8% de  $P_t$ , o que contribuiria para reduzir significativamente o valor desse parâmetro (BATISTELLI; VIDAL; SOUZA; CAVALLINI; 2016).

Uma limitação do processo de membranas de microfiltração, que deve ser considerada na aplicação da proposta, seria o efeito *fouling*. Responsável por reduzir consideravelmente o desempenho do sistema, esse problema consiste na presença de incrustações na entrada do dispositivo que pode ser causado por diversos fatores operacionais e de projeto, podendo ser de dois tipos: reversível e irreversível (FELIZATTO, 2017). Enquanto o primeiro é removível através de limpeza, o segundo costuma ter um processo de remoção bem mais difícil. De acordo com Olveira (2016) como forma de evitar esse efeito, é interessante que, além de limpezas periódicas

com retrolavagem, deve-se respeitar dois imprescindíveis parâmetros de projeto: o fluxo limite e o fluxo crítico.

### **6.3.3. Proposta de projeto para tratamento dos esgotos gerados na área II da EEL - USP**

O sistema proposto será constituído por três unidades na ordem abaixo e com as seguintes funções principais. São elas:

- Gradeamento – visará remover objetos volumosos presentes na rede de esgoto;
- Caixa de área – remoção de areia, por decantação, presente no efluente;
- Reator anaeróbio UASB – removerá a carga orgânica do efluente;
- Membrana de microfiltração – com vistas à remoção de  $N_t$  e também contribuindo para a remoção de  $P_t$ ;

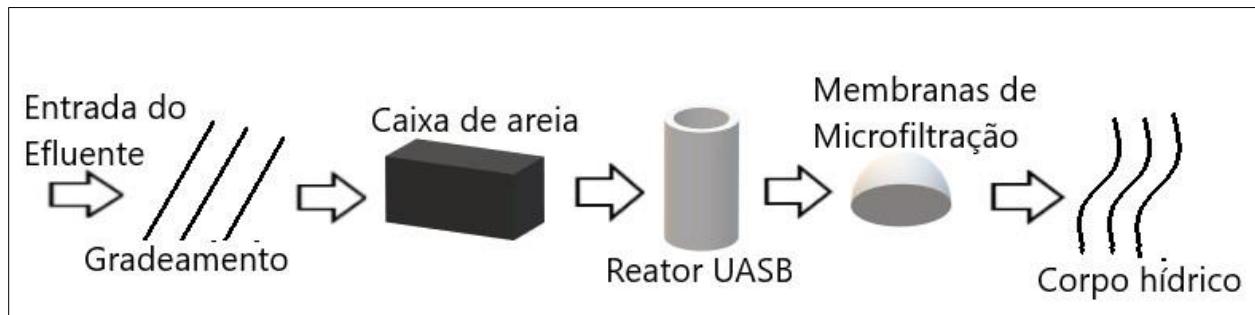
O reator UASB é um dispositivo que não necessita de mão de obra full time para operação e não gera grandes volumes de lodo, o qual pode ser gerenciado por mão de obra esporádica, ou até mesmo por um sistema automatizado. Os subprodutos gasosos da decomposição da matéria orgânica, ver item 3.1.2., podem gerar odores na vizinhança, mas também podem ser aproveitados para geração de energia do próprio sistema, algo que também deve ser considerado na implementação dessa proposta. Por outro lado, tanto o gradeamento, a caixa de areia e a MF devem ser lavados frequentemente, necessitando também de mão de obra esporádica para a execução dessas atividades.

Outro grande conveniente dos reatores UASB é a comercialização em blocos; que permite que, no caso de aumento de volume de esgoto gerado, este possa ser combinado com outro, não necessitando de grandes adequações espaciais no entorno (MIKI, 2010). Essa característica seria fundamental para o tratamento proposto, uma vez que o local possui grandes variações de vazão, devido aos períodos letivos e não letivos.

Uma outra característica interessante da proposta, seria a otimização da área pelas MFs. A maioria dos pós-tratamentos sugeridos ao reator UASB, consiste de lagoas de remoção/estabilização, ou até mesmo, sistemas de lodos ativados; porém esses tratamentos necessitam da construção de tanques e toda a estrutura submersa a eles (SPERLING, 2005). Por

outro lado, as MFs também levam vantagem nesse aspecto, visto que não exigirá escavação e grandes áreas para implementação. A Figura 7 mostra o esquema proposto.

Figura 7 - Diagrama do esquema de tratamento proposto



Fonte: Próprio autor (2020)

Em conclusão, também podemos considerar os dois temas propostos pelos itens 5.4 e 5.5, o reuso do efluente tratado e a utilização do lodo para compostagem. Com relação ao primeiro, um cuidado operacional seria a temperatura de entrada do efluente proveniente da torre de resfriamento, visto que a alta temperatura na entrada do sistema de tratamento pode prejudicar a eficiência da digestão da carga orgânica pelas bactérias (Schwab et al., 2018).

Já tratando-se da compostagem, ressalta-se que um curso de capacitação, principalmente relacionado a inativação dos patógenos ali presentes, teria de ser ministrado. Por conter elevada carga microbiológica, é imprescindível que o lodo usado para compostagem passe por certos processos, de modo que a população que venha ter contato com a operação não contraia doenças (FARIA, 2018).

## 7. Considerações finais e próximos passos

O presente estudo foi um passo importante para a implementação de um sistema de tratamento de esgotos da área II da EEL – USP. Os três aspectos mais importantes levantados aqui foram: as características do corpo receptor; o diagnóstico e a localização das estruturas de saneamento do local; e a caracterização do efluente gerado. Infelizmente, esse último aspecto não pode ser concluído com êxito, devido à interrupção das aulas pela pandemia.

Com relação às características do corpo receptor, constatou-se que não existe uma lei de enquadramento específico a ele, sendo adotada, para fins de cálculo de parâmetros físico químicos a classe do rio em que o Córrego Três Barras desemboca, o Ribeirão Taboão. No presente trabalho, esse fato foi limitante principalmente no cálculo da redução do parâmetro  $P_t$ , pois considerou-se o valor permitido para despejo, aquele aplicado a um Rio Classe 3.

Dessa forma, recomenda-se aos próximos trabalhos da temática, que além de ser feito um monitoramento constante do corpo hídrico receptor, principalmente relacionado ao  $P_t$ , execute-se uma interface com o poder público de Lorena, com vistas à criação de um enquadramento mais efetivo aos rios do município.

Já com relação as estruturas de saneamento do local, o presente trabalhou teve bastante êxito, uma vez que foi constatado o local de descarte de efluentes assim como, a forma que este possa ser rearranjado em caso de uma intervenção na área. Além disso, essa parte do trabalho vinculou todos os aspectos locacionais da estrutura ao Código Florestal, propondo inclusive uma intervenção mínima no local com projetos para a restauração ecológica, visto que a vegetação ali presente é predominantemente pasto utilizado para fins pecuários (Figura 6).

Por fim, para os próximos trabalhos recomenda-se uma caracterização mais efetiva e constante para o efluente ali gerado, de forma que as vazões máximas e mínimas, e outros parâmetros abordados pelas Resoluções CONAMA também possam ser investigados.

## 8. Referências Bibliográficas

ALVES, L. C.; CAMMAROTA, M. C.; FRANÇA, F. P. Inibição de lodo biológico anaeróbio por constituintes de efluentes de laboratório de controle de poluição. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro (RJ), v. 10, n. 3, p. 236-242, jul./set. 2005.

ANAIS DO VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 6., 2016, São Paulo. **A urbanização no Brasil: retrospectivas, componentes e perspectivas**. São Paulo: Abep - Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2016. 47 p. Disponível em: <<http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/456/442>>. Acesso em: 07 mar. 2019;

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO (Alesp). Decreto nº 10.775, de 22 de novembro de 1977. São Paulo (SP);

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro (RJ): Copyright, 1987. 22 p.;

BARRETO, Luciano Vieira et al. EUTROFIZAÇÃO EM RIOS BRASILEIROS. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia (GO), v. 9, n. 16, p.2165-2179, 01 jul. 2013;

BATTISTELLI, André Aguiar; VIDAL, Carlos Magno de Sousa; SOUZA, Jeanette Beber de; CAVALLINI, Grasiele Soares. Tratamento Avançado de Efluente de Reator UASB por Membrana de Microfiltração Associado à Desinfecção por Radiação Ultravioleta. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, [s.l.], v. 37, n. 1, p. 45, 16 mar. 2016. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2016v37n1p45>;

BERTOLINO, Sueli M. et al. Caracterização e biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos esgotos produzidos em campus universitário. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Ouro Preto (MG), v. 13, n. 3, p.271-277, 03 jun. 2008;

BRANDT, Emanuel Manfred Freire et al. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 4: Controle de corrosão e emissões gasosas. **Revista Dae**, [s.l.], v. 66, n. 214, p.56-72, 2018. Editora Cubo Multimidia. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2018.041>;

Brasil. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água** / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília : Funasa, 2013. 150 p.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília (DF);

BRASIL. Lei Federal nº 12.727, de 17 de Outubro de 2012. **Código Florestal Brasileiro** Brasília (DF);

BRASIL. **Resolução nº 357**, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 18 de Março de 2005. Brasília (DF);

BRASIL. **Resolução nº 430**, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 13 de Maio de 2011. Brasília (DF);

CAVALCANTE, Juliana Costa. **Caracterização dos Efluentes Líquidos produzidos no campus A.C. Simões da Universidade Federal de Alagoas**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Alagoas, Maceió (AL), 2017;

CARNEIRO, Marta Camila Mendes de Oliveira et al. A gestão do saneamento no Brasil e sua relação com a gestão de recursos hídricos. **Inovae**, São Paulo (SP), v. 6, n. 1, p.100-116, dez. 2018.

CHERCHIA, Carla et al. Municipal reclaimed water for multi-purpose applications in the power sector: A review. **Journal Of Environmental Management**, Pasadena, v. 236, n. 1, p.561-570, 14 fev. 2019;

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 2005. Brasília , DF;

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 430, de 2011. Brasília , DF

DEMAR, Departamento de Engenharia de Materiais. **Início**. Disponível em: <<http://www.demar.eel.usp.br/>>. Acesso em: 10 maio 2019;

D. F. C. Dias, R. G. Passos, V. A. J. Rodrigues, M. P. de Matos, C.R. S. Santos & M. von Sperling (2018) Performance evaluation of a natural treatment system for small communities, composed of a UASB reactor, maturation ponds (baffled and unbaffled) and a granular rock filter in series, **Environmental Technology**, 39:4, 490-502, DOI:10.1080/09593330.2017.1304456;

EATON, Andrew D.; TAYLOR, Baker &. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Denver (co): Pharmabooks, 2005. 1274 p.;

FARIA, Marianne Fidalgo de. **COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO E INDICADORES DE PATOGENICIDADE**. 2018. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências Florestais, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Campus Botucatu, Botucatu (SP), 2018;

FELIZATTO, Mauro Roberto. **Tratamento de esgotos sanitários usando reator UASB seguido de microfiltração por membrana submersa**. 2017. 215 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasilia, 2017;

GONTIJO, Jéssica Cristine. **DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE ODOR EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS E SEUS PROBLEMAS RELACIONADOS**. 19. ed. Curitiba: Programa de Apoio à Iniciação Científica - Paic 2017-2018, 2018. 16 p. Disponível em: <<https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/303>>. Acesso em: 04 mar. 2019;

HOQUE, Sheikh Ariful et al. Alarming Situation of Spreading Enteric Viruses Through Sewage Water in Dhaka City: Molecular Epidemiological Evidences. **Food And Environmental Virology**, [s.l.], v. 11, n. 1, p.65-75, 3 jan. 2019. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s12560-018-09363-z>;

JOSÉ ROBERTO CAMPOS. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB). **Tratamento de esgotos por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro (RJ): Copyright, 1999. 464 p.;

MENDONÇA, Luciana Coêlho. **Microbiologia e Cinética de Sistema de Lodos Ativados como Pós-Tratamento de Efluente de Reator Anaeróbio de Leito Expandido.** 2002. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos (SP), 2002;

MENEZES, Leda Carolina Carvalho. **CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE GERADO NO CAMPUS POÇOS DE CALDAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS.** 2017. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Alfenas., Poços de Caldas (MG), 2017;

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse.** 3<sup>rd</sup> Edition. McGraw-Hill, 1991;

MIKI, Marcelo Kenji. Dilemas do UASB. **Revista DAE**, São Paulo (SP), v. 183, n. 1, p. 25-37, 18 mar. 2010;

OLANO, H. et al. Wastewater discharge with phytoplankton may favor cyanobacterial development in the main drinking water supply river in Uruguay. **Environmental Monitoring And Assessment**, [s.l.], v. 191, n. 3, p.1-16, 9 fev. 2019. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-019-7288-4>;

OLIVEIRA, Amanda Tobias Costa de. **Determinação do Fluxo crítico e fluxo limite em membrana de microfiltração utilizada no pós-tratamento de esgoto doméstico.** 2016. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

PENIDO, Evanise Silva et al. Combining biochar and sewage sludge for immobilization of heavy metals in mining soils. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, Lavras (MG), v. 1, n. 1, p.326-333, 02 fev. 2019;

PORTO, R. La L. **Hidrologia ambiental.** Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 3 São Paulo: Edusp, 1991, 411 p.;

REIS, Cristiano E. R. et al. Vinasse Treatment within the Sugarcane-Ethanol Industry Using Ozone Combined with Anaerobic and Aerobic Microbial Processes. **Environments**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.1-13, 7 jan. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/environments6010005>;

REYNOLDS, T.D.; RICHARDS, P. **Unit operations and processes in environmental engineering.** 2nd ed. Boston: PWS Publishing Co; 1995;

SANTOS, Ivan Felipe Silva dos et al. Um estudo dos custos de implantação de empreendimentos de aproveitamento energético do biogás de estações de tratamento de esgoto. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá (MG), v. 20, n. 2, p.145-155, jan. 2014;

SHOWKAT, Uzma; NAJAR, Ishtiyaq Ahmed. Study on the efficiency of sequential batch reactor (SBR)-based sewage treatment plant. **Applied Water Science**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.1-10, 1 dez. 2018. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-018-0882-8>;

SILVA, J. M. da et al. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS LABORATORIAIS: A EXPERIÊNCIA DO PROGERE-UFC. **Extensão em Ação**, Fortaleza (CE), v. 8, n. 1, p.99-107, jul. 2015;

SOUSA, Matheus Urtiga. **Caracterização Físico-Química e Mircobiológica do esgoto da UEPB com proposta de tratamento para fins de reuso.** 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande (PB), 2014;

SPERLING, Marcos von. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1).** Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005;

UNIFAL, Universidade Federal de Alfenas. **Graduação.** Disponível em: <<https://www.unifal-mg.edu.br/pocosdecaldas/campus;>>. Acesso em: 14 abr. 2019;

VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães; SILVA, Assunta Maria Marques. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Eclética Química**, [s.l.], v. 22, p.49-66, 1997. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-46701997000100005>.