



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA  
QUÍMICA



# **Estudo de caso: Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes de um campus universitário**

*Autor: Louidi Lauer Albornoz*

*Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Isabel Cristina Tessaro*

Porto Alegre, julho de 15

## Sumário

Sumário	ii
Resumo	iv
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
Lista de Abreviaturas e Siglas	vii
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica	3
2.1 Recursos hídricos no Brasil	3
2.2 Qualidade da água	3
2.3 Tratamento de água	4
2.3.1 Tratamento preliminar	4
2.3.2 Tratamento primário	5
2.3.3 Tratamento terciário	5
2.4 Tratamento de efluentes	6
2.4.1 Histórico do tratamento de esgotos no Brasil	6
2.4.2 Legislação ambiental	7
2.4.3 Etapas do tratamento de efluentes	8
2.4.4 Tratamento preliminar	8
2.4.5 Tratamento primário	8
2.4.6 Tratamento secundário	8
2.4.7 Tratamento terciário	11
2.4.8 Tratamento do lodo de excesso	11
2.5 Parâmetros de qualidade de efluentes	12
2.6 Parâmetros operacionais de processos por lodo ativado	12
2.7 Reúso do efluente tratado	12
3 Estudo de Caso	14
3.1 Estação de tratamento de efluentes	14
4 Materiais e Métodos	16
4.1 Pontos do processo avaliados no presente trabalho	16
4.2 Análises físico-químicas e biológicas	16
4.2.1 pH	17
4.2.2 Alcalinidade total	17
4.2.3 Turbidez	18
4.2.4 Oxigênio dissolvido	18
4.2.5 Condutividade elétrica	18
4.2.6 Cor	18
4.2.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	19
4.2.8 Demanda Química de Oxigênio	19
4.2.9 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis	20
4.2.10 Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis	21
4.2.11 Coliformes totais e fecais	22

---

4.2.12	Nitrogênio Total Kjeldahl	22
4.2.13	Amônia	23
4.2.14	Nitrito e nitrato	24
4.2.15	Cone Imhoff e Índice Volumétrico de Lodo (IVL)	24
5	Resultados	25
5.1	Efluente bruto	25
5.2	Ajustes realizados	25
5.3	Avaliação da eficiência da ETE	26
5.4	Parâmetros de controle de processo	28
5.5	Alternativas de reúso	29
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	31
7	Referências	32
	APÊNDICE A	36

## Resumo

Com o crescente apelo em relação às questões ambientais de gerenciamento da água, devido à sua escassez em diversos locais do Brasil, o tratamento e o reúso de efluentes gerados em grande e pequena escala têm cada vez mais importância. Não apenas o tratamento de água visando à remoção dos poluentes para atender às exigências das legislações ambientais, mas também o reúso desse efluente para os mais diversos fins: na agricultura como aporte de água e nutrientes, em uso urbano na lavagem de calçadas e de carros, na construção civil, na cultura de peixes, entre outros. O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência do tratamento da estação de tratamento de efluentes instalada no Campus Litoral Norte (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), localizado na cidade de Tramandaí. Esta estação utiliza o tratamento preliminar, secundário e terciário para promover a remoção dos poluentes gerados em seu campus. O gradeamento foi utilizado como tratamento preliminar, o tratamento secundário é realizado através do contato do efluente com lodo ativado em meio contendo oxigênio dissolvido. A desinfecção do efluente foi promovida pelo contato do mesmo com hipoclorito de sódio (10 %). A avaliação da eficiência foi realizada através da coleta mensal em 6 pontos da estação: entrada do reator aeróbio, reator aeróbio, decantador secundário, lodo de retorno, tanque de desinfecção e tanque de armazenamento. Com os resultados das análises pode-se calcular as eficiências de remoção e os valores finais de concentração para 6 parâmetros específicos: DBO, DQO, NTK, NH<sub>3</sub>, SST e coliformes fecais. Comparando esses valores de remoção e concentração com os valores esperados pela empresa fabricante da estação e com as legislações ambientais verificou-se que a estação possui uma grande capacidade de remoção da matéria orgânica carbonácea resultando em valores de remoção de DBO de 93% em média a partir da 5ª coleta; apresenta remoção de 74 % em média no parâmetro NTK. O tempo de detenção hidráulica da estação de tratamento foi 7,6 dias com uma vazão de entrada de efluente de 5,9 m<sup>3</sup>/dia. Com esses resultados, também realizou-se uma proposta de reúso do efluente tratado na piscicultura, visto que para o uso nessa alternativa necessitava-se de um número menor de etapas posteriores para adequação do efluente, frente a outras alternativas avaliadas no trabalho.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos. Tratamento de efluentes. Eficiência. Reúso

## Lista de Figuras

<b>Figura 3.1:</b> ETE do Campus Litoral Norte da UFRGS. ....	15
<b>Figura 4.1:</b> Fluxograma da estação de tratamento e os pontos utilizados no trabalho. ....	16
<b>Figura 5.1:</b> % de remoção de turbidez entre P1-P3, P1-P4 e P1-P6 .....	25
<b>Figura 5.2:</b> % de remoção de sólidos suspensos entre P1-P3, P1-P4 e P1-P6.....	26
<b>Figura A.1:</b> Curva típica de crescimento bacteriano. ....	36
<b>Figura A.2:</b> Curva genérica de $DBO_{\text{carbonácea}}$ e $DBO_{\text{nitrogenada}}$ .....	37
<b>Figura A.3:</b> Fluxograma da estação de tratamento e os pontos utilizados no trabalho. <b>Erro!</b> <b>Indicador não definido.</b>	

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 2.1:</b> Parâmetros que compõe o IQA, significado e peso. ....	4
<b>Tabela 2.2:</b> Valores de concentração e eficiência de remoção segundo CONSEMA .....	8
<b>Tabela 2.3:</b> Valores de concentração e eficiência de remoção segundo CONAMA .....	8
<b>Tabela 2.4:</b> Classificação e definição do reúso de efluentes.....	13
<b>Tabela 2.5:</b> Principais parâmetros de controle para o reúso de efluentes tratados. ....	13
<b>Tabela 4.1:</b> Análises realizadas em cada ponto avaliado da ETE. ....	17
<b>Tabela 5.1:</b> Valores de concentração do ponto P1 nas 12 coletas. ....	25
<b>Tabela 5.2:</b> Valores de concentração do ponto P3 para as 12 coletas, valores esperados pela empresa fabricante e valores exigidos pela legislação.....	26
<b>Tabela 5.3:</b> Valores de concentração do ponto P4 nas 12 coletas, valores esperados pela empresa fabricante e valores exigidos pela legislação. ....	26
<b>Tabela 5.4:</b> Valores de concentração do ponto P6 nas 4 últimas coletas, valores esperados pela empresa fabricante e valores exigidos pela legislação.....	27
<b>Tabela 5.5:</b> Percentuais de remoção para DQO, SST, NTK e coliformes fecais entre P1-P4 para 12 coletas e valores esperados pela empresa.....	27
<b>Tabela 5.7:</b> Percentuais de remoção para DQO, SST e NTK entre P1-P6 para as 4 últimas coletas e valores esperados pela empresa.....	28
<b>Tabela 5.8:</b> Valores de IVL, A/M, OD no P2, vazão média e tempo de detenção hidráulica encontrados no monitoramento .....	29
<b>Tabela 5.9:</b> Parâmetros utilizados para avaliação do reúso do efluente tratado .....	29
<b>Tabela 5.10:</b> Alternativas de reúso e parâmetros em não conformidade .....	30
<b>Tabela A.1:</b> Resumo das etapas de tratamento anaeróbio. ....	36
<b>Tabela A.2:</b> Volumes dos equipamentos da ETE.....	37
<b>Tabela A.3:</b> Dados de vazão, potência, tipo e observações das bombas utilizadas na ETE	37
<b>Tabela A.4:</b> Valores de sedimentabilidade de acordo com o IVL. ....	37

**Lista de Abreviaturas e Siglas**

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
- ANAMMOX – OXIDAÇÃO ANAERÓBIA DE AMÔNIA
- BRM - BIORREATOR COM MEMBRANA
- CE – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
- CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE
- CORSAN – COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO
- DBO – DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
- DQO – DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO
- ETE – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
- IQA – ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS
- IVL – ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODO
- NH<sub>3</sub> – AMÔNIA
- NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - NITRITO
- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - NITRATO
- NTK – NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL
- NTU – UNIDADES DE TURBIDEZ NEFELOMÉTRICA
- OD – OXIGÊNIO DISSOLVIDO
- PLANASA – PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO
- POA – PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS
- POC – PROCESSOS OXIDATIVOS CONVENCIONAIS
- SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> – SULFATO
- SSF – SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS
- SST – SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS
- SSV – SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS

ST – SÓLIDOS TOTAIS

STF – SÓLIDOS TOTAIS FIXOS

STV – SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS

UASB - UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET

UFRGS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

$\theta$  – TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA



## 1 Introdução

A demanda atual para o tratamento de efluentes não encontra incentivo apenas para o cumprimento da legislação ou devido à fiscalização através dos órgãos ambientais, mas também na conscientização da população de que o tratamento é importante para a saúde coletiva, pois além de melhorar visualmente o ambiente, reduz a incidência de doenças, principalmente nas populações mais carentes.

Apesar da grande disponibilidade hídrica do Brasil, adições de pequenas quantidades de poluentes específicos em um corpo hídrico ou lençol freático causa uma grande contaminação, resultando em custos para o seu tratamento e um impacto ambiental negativo.

A questão do saneamento ambiental não está relacionada apenas com o tratamento de efluentes, mas com toda uma cadeia de conscientização. Pesquisas de novas tecnologias e processos são de extrema importância, contribuindo para uma melhor relação do homem com o meio ambiente. O conhecimento dos recursos hídricos disponíveis no Brasil, seus principais usos, quais os parâmetros de maior importância que devem ser monitorados, tanto para água quanto para efluentes, a interpretação destes parâmetros em situações específicas, o conhecimento dos processos de remoção dos poluentes em estações de tratamento e as legislações vigentes e, por fim, o destino final destes produtos tratados, são pontos que devem ser avaliados para um bom gerenciamento destes recursos. O conhecimento de como cada item mencionado interfere no outro possibilita o projeto e a construção de um desenvolvimento sustentável com a minimização dos danos ao meio ambiente.

Tradicionalmente o tratamento de efluentes é realizado em 4 etapas: tratamento preliminar visando a remoção de sólidos grosseiros, promovendo a proteção dos equipamentos utilizados no processo; tratamento primário para a remoção de sólidos que sedimentam ou flutam após a adição de produtos químicos. Tratamento secundário, que consiste na etapa biológica do tratamento onde ocorre a conversão da matéria orgânica poluente e complexa em produtos mais simples e não poluentes, podendo essa conversão ocorrer em ambiente com a presença de oxigênio ou na ausência do oxigênio e tratamento terciário que consiste na remoção de poluentes específicos que não são removidos nas etapas anteriores ou na desinfecção do efluente visando eliminar microrganismos patogênicos através da oxidação dos mesmos com produtos químicos ou através de processos físicos.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com vistas a participar de um desenvolvimento mais sustentável, promoveu, na construção do seu novo campus localizado no litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul, a instalação de uma estação de tratamento de efluentes para realizar o gerenciamento dos seus efluentes gerados. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é a avaliação da eficiência desta estação de tratamento de efluentes do Campus Litoral Norte da UFRGS e a proposição de alternativas de reúso do efluente tratado.

Para alcançar o objetivo proposto foi realizado o monitoramento semanal em pontos importantes de entrada e saída das diferentes etapas do tratamento. Em cada ponto foram realizadas as seguintes análises: oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade elétrica (CE), cor, turbidez, sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos

suspensos voláteis (SSV), alcalinidade total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total kjeldahl (NTK), amônia ( $\text{NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), índice volumétrico de lodo (IVL), coliformes totais e coliformes fecais. Além disso, com base nas características do efluente tratado realizou-se o estudo de alternativas de reúso do mesmo visando o não descarte do efluente na natureza, mas o seu reaproveitamento em algum setor que possa gerar algum valor econômico e evitar, desta forma, a poluição de um corpo hídrico.

## 2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os recursos hídricos no Brasil, a qualidade da água e as etapas que caracterizam o seu tratamento convencional, com ênfase para o tratamento de esgotos, objeto deste estudo.

### 2.1 Recursos hídricos no Brasil

Os recursos hídricos no Brasil apresentam uma situação favorável segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) em ANA (2013), considerando apenas o valor de disponibilidade per capita e comparando com valores de disponibilidade hídrica de outros países informados pela Organização das Nações Unidas (ONU), pois apresenta aproximadamente 12 % das reservas de água doce do planeta (MMA, 2006). Porém, a distribuição dos recursos hídricos no território brasileiro possui uma distribuição espacial extremamente heterogênea, visto que aproximadamente 81% da disponibilidade está concentrada na região hidrográfica da Amazônia, que possui apenas 5% da população brasileira, enquanto as regiões das bacias próximas ao Atlântico possuem 45,5% da população e apenas 2,7% da disponibilidade hídrica (ANA, 2015).

A disponibilidade hídrica atualmente no Brasil, em termos de vazão, é de 102.730 m<sup>3</sup>/s, sendo que 91.300 m<sup>3</sup>/s (88,9%) desta vazão corresponde a reservas superficiais e 11.430 m<sup>3</sup>/s (11,1%) corresponde a reservas subterrâneas que estão disponíveis para captação. A demanda consuntiva total, que representa a vazão retirada do corpo hídrico, estimada em 2010 foi de 2.373 m<sup>3</sup>/s, sendo que aproximadamente 54% (1.270 m<sup>3</sup>/s) foram utilizados na irrigação, contudo, sabe-se que esta demanda vem crescendo a taxas muito elevadas nos últimos anos. Os outros 46% (1.103 m<sup>3</sup>/s) estão distribuídos entre consumo urbano, industrial, animal e rural (ANA, 2015).

### 2.2 Qualidade da água

A qualidade da água e de efluentes é de difícil mensuração, pois existem inúmeros parâmetros que podem indicar a qualidade ou não de uma água ou efluente. Visando isto, na década de 70 um estudo da Nation Sanitation Foundation que posteriormente foi adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (CETESB, 2015) gerou o que atualmente é conhecido como o Índice de Qualidade das Águas (IQA). Este índice que varia de 0 a 100, sendo que 0 representa uma água totalmente poluída e 100 representa a água sem interferência humana, demonstra o estresse ambiental e é composto por 9 parâmetros físico-químicos e biológicos sendo que cada um possui um peso específico. O cálculo do IQA dado pela equação 2.1.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2.1)$$

onde:

$q_i$ : representa a qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, um valor entre 0 e 100;

$w_i$ : representa o peso correspondente do  $i$ -ésimo parâmetro, um valor entre 0 e 100, atribuído em relação a sua importância para a qualidade da água.

Os parâmetros que compõem o cálculo, o seu significado e seu peso correspondente estão apresentados na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1:** Parâmetros que compõe o IQA, significado e peso.

Parâmetro	Significado/Problemas ambientais	Peso específico (%)
Coliformes Fecais ou termotolerantes	Bactérias indicadores de poluição por esgotos domésticos. Não são patogênicas mas sua presença indica a possibilidade de existência de patógenos.	0,15
pH	Medida da concentração de hidrogênio presente na água. Alterações no pH podem ocasionar o aumento do efeito de substâncias química tóxicas, como metais pesados.	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica presente na água por microrganismos. Valores elevados de DBO indicam despejos de esgotos domésticos no corpo hídrico.	0,1
Nitrogênio total	Concentração de nitrogênio presente na água em suas diversas formas. Nitrogênio é um nutriente para o crescimento das algas ocasionando o consumo de oxigênio dissolvido na água.	0,1
Fósforo total	Concentração de fósforo presente na água em suas diversas formas. Fósforo é um nutriente para o crescimento das algas ocasionando o consumo de oxigênio dissolvido na água.	0,1
Temperatura	A temperatura influência os valores de diversos parâmetros como por exemplo tensão superficial e viscosidade. Altas temperaturas causam impedimento do crescimento e reprodução da fauna e flora aquática.	0,1
Turbidez	Indica o grau de atenuação da luz ao atravessar a água. Valores altos de turbidez são devidos a presença de sólidos suspensos em águas provenientes de despejos domésticos ou industriais. Afeta a preservação da fauna e flora aquática.	0,08
Resíduo total	Representa a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação de uma amostra de água. Os resíduos sólidos quando secam nas margens dos rios pode causar o assoreamento.	0,08
Oxigênio dissolvido	Representa a quantidade de oxigênio dissolvido em água. Um valor baixo de oxigênio dissolvido pode causar a morte de animais e indica que o corpo hídrico apresenta contaminação por esgotos.	0,17

Fonte: adaptado de ANA (2015).

### 2.3 Tratamento de água

O tratamento da água segundo UNESCO (2015) é fundamental para a manutenção de um ambiente saudável, assim como para garantir a dignidade social, além de gerar inúmeros benefícios econômicos sejam estes na agricultura ou no ambiente urbano.

No relatório da UNESCO (2015) é apresentada uma estimativa de retorno entre US\$ 5 a US\$ 28 para cada dólar aplicado em investimento no saneamento básico para regiões em desenvolvimento. Este valor de retorno é devido ao fato de ser mais barato realizar um investimento em saneamento básico (onde se inclui o tratamento de águas) do que realizar o tratamento de saúde da população contaminada por microrganismos patogênicos, tanto através do contato direto ou indireto com águas de abastecimento ou mesmo com a retirada local da água dos corpos hídricos sem tratamento.

O tratamento de água tradicional é realizado em Estações de Tratamento de Águas (ETA) visando à remoção de sólidos dissolvidos e em suspensão, matéria orgânica em suspensão, tais como algas e microrganismos patogênicos, garantindo, assim, uma potabilidade mínima. No Brasil 69,2% da água distribuída recebe tratamento tradicional, 23,2% recebe apenas uma desinfecção para a eliminação de microrganismos patogênicos e os outros 7,6% recebem tratamento de formas não tradicionais, tais como dessalinização, clarificadores de contato, filtração direta entre outros (IBGE, 2011).

As etapas do tratamento serão descritas em mais detalhes a seguir, pois muitas destas etapas também fazem parte do tratamento de efluentes que é o objetivo principal deste trabalho.

#### 2.3.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar é a etapa que visa atender 3 premissas básicas: (a) remoção de sólidos grosseiros que chegam à estação de tratamento e que não podem ser tratados pela mesma, como por exemplo, pedaços de madeira, pedras, restos de alimentos, papéis entre outros, (b) aumento da eficiência das unidades de tratamento posteriores atenuando picos de vazão e ou carga orgânica e (c) proteção dos equipamentos e

tubulações à jusante, evitando entupimento, desgaste, esforços excessivos das bombas (WEF, 2010). Como principais exemplos de tratamento preliminar podem ser citados o gradeamento e a caixa de areia.

As caixas de areia ou desarenadores têm como finalidade a remoção de partículas sólidas que não alteram sua forma, volume ou peso durante a sedimentação. Nesta sedimentação os principais sólidos removidos são os compostos de sílica (RICHTER, 2011). O gradeamento tem como finalidade a separação de materiais sólidos grosseiros é uma técnica utilizada devido à facilidade de instalação e limpeza. Consiste em um sistema de barras metálicas dispostas paralelas entre si podendo ser instaladas verticalmente ou inclinadas, sendo esta última instalada com inclinação entre 45° a 60° facilitando a limpeza pelos operadores (PRADO, 2006).

### 2.3.2 *Tratamento primário*

O tratamento primário consiste na remoção de sólidos em suspensão e ou sedimentáveis que podem ser de origem inorgânica ou orgânica, tais como gorduras ou óleos, por ação física (gravitacional, arraste ou coesão) ou por ação química através da adição de produtos químicos que facilitem a coesão das partículas (RICHTER, 2011). Os tratamentos primários mais utilizados são: decantação, sedimentação, coagulação, floculação, flotação e filtração.

A sedimentação e a decantação consistem na remoção de partículas que possuem massa específica maior que a da água através da força gravitacional. A sedimentação é utilizada para a remoção de partículas de diâmetro igual ou superior a 0,1 mm. A decantação é utilizada para separação de partículas floculentas (RICHTER, 2011).

A coagulação e a floculação consistem em processos de separação de partículas que não podem ser removidas pela ação da gravidade. A etapa de coagulação necessita da adição de produtos químicos para promover a desestabilização das forças que mantêm separadas as partículas sólidas em suspensão. Após a etapa de coagulação as partículas desestabilizadas sofrem colisões entre si e formam partículas de maior tamanho, chamados de flocos, que por possuírem uma massa maior decantam (RICHTER, 2011).

A flotação é o processo de separação baseado na retirada da fase sólida presente em solução através da adesão de microbolhas à superfície do sólido alterando sua massa específica e tornando-a menor que a do líquido, fazendo o sistema sólido-microbolhas flutuar e, desta forma, ocorre a sua separação na superfície (METCALF e EDDY, 2003).

A filtração é o processo mais utilizado para remoção de sólidos em suspensão. Consiste na passagem do líquido através de um meio poroso, sendo o filtro de areia o mais utilizado seguido pelo carvão ativado. A distribuição granular e a porosidade do meio têm grande influência na remoção dos sólidos (RICHTER, 2011).

### 2.3.3 *Tratamento terciário*

O tratamento terciário é utilizado para a remoção de componentes específicos que não são eliminados nos tratamentos primário e secundário, como, por exemplo, os microrganismos patogênicos e os compostos orgânicos que não são removidos por técnicas físico-químicas tradicionais utilizadas nos tratamentos primários (TEIXEIRA, 2002).

O tratamento terciário mais comum é a desinfecção por cloro, seja ele da forma de gás cloro, dióxido de cloro ou hipoclorito, segundo FUKUSHIMA *et al.* (2014). A desinfecção tem como objetivo a eliminação parcial ou total de um grupo de microrganismos que podem causar doenças. O processo é utilizado por ser extremamente barato, facilmente disponível e eficiente para a destruição da maioria dos microrganismos patogênicos, porém possui a desvantagem de poder formar compostos tóxicos para os seres humanos como, por exemplo, os organoclorados (RICHTER, 2011).

Os processos oxidativos convencionais (POC) são técnicas utilizadas para a mineralização de poluentes orgânicos através de processos físicos, químicos e biológicos (RODRIGUES-SILVA *et al.*, 2014). As técnicas mais utilizadas são a incineração e o tratamento biológico. A incineração é o POC mais conhecido e antigo e, por este motivo, é o mais utilizado, porém tem a desvantagem de gerar compostos altamente tóxicos em certas condições de tratamento e requerer alta carga energética. Os processos que utilizam o tratamento biológico possuem uma grande eficiência de remoção de diversos compostos orgânicos poluentes, porém apresentam as desvantagens de gerar uma grande quantidade de biomassa, serem muito sensíveis as condições ambientais e demandarem um longo tempo de tratamento (TEIXEIRA, JARDIM, 2004).

Em contraponto às desvantagens descritas para os processos oxidativos convencionais novas técnicas foram desenvolvidas para minimizar estes problemas e obter os mesmos resultados. Os processos oxidativos avançados (POA) são técnicas utilizadas para a mineralização química de poluentes orgânicos altamente estáveis em dióxido de carbono, água e ânions com uma toxicidade geralmente menor e que podem ser tratados com processos tradicionais (RODRIGUES-SILVA *et al.*, 2014). Estas técnicas utilizam compostos químicos altamente oxidantes como, por exemplo, radical hidroxila, oxigênio atômico, ozônio, peróxido de hidrogênio, entre outros, podendo utilizar radiação ou não. Estes processos possuem a vantagem de ser extremamente barato e gerar menos compostos tóxicos em relação aos POC (TEIXEIRA JARDIM, 2004).

## 2.4 Tratamento de efluentes

O tratamento de efluentes compreende o tratamento de águas residuárias que na sua grande maioria apresenta matéria orgânica poluente que necessitará de algum tipo de tratamento seja ele químico, biológico ou até mesmo natural. O tratamento de efluentes é extremamente necessário, pois o mesmo está ligado diretamente à poluição ambiental de recursos hídricos que são utilizados para a captação de águas para consumo humano e de animais, degradação visual do meio ambiente, inundações devido ao assoreamento dos rios e córregos em cidades que estão próximas a estas fontes além de inúmeras doenças causadas pela ingestão ou contato com águas contaminadas como, por exemplo, cólera, hepatite A, esquistossomose, leptospirose, diarreia entre outras (IBGE, 2011).

### 2.4.1 Histórico do tratamento de esgotos no Brasil

O histórico do tratamento de esgotos no Brasil pode ser separado em duas partes, antes da criação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) no ano de 1969 e após a sua criação (MMA, 2006; MONTEIRO, 1993). Anteriormente ao PLANASA o tratamento de esgotos era tratado com base em projetos isolados produzidos através do esforço de uma comunidade interessada. Este esforço isolado ocasionava diversos problemas, que podemos citar, como a inviabilidade econômica por parte de comunidades mais pobres

devido ao alto custo de implementação e pela baixa taxa de retorno do projeto; falta de material humano qualificado, ocasionando uma pequena qualidade no tratamento e aumento do custo operacional; aporte financeiro e de material humano em nível muito inferior ao necessário para um perfeito tratamento (MONTEIRO, 1993).

Somando-se ao fato de que a população brasileira no final da década de 60 era de aproximadamente 93 milhões de pessoas e que, grande parte desta população, se encontrava em locais com grande disponibilidade hídrica para a depuração de matérias orgânicas poluentes, a necessidade do tratamento não era visível. Porém com o avanço na área econômica ocasionado pelo “milagre econômico” durante o período militar, grande parte da população migrou das áreas rurais para as áreas urbanas e começou a se notar a necessidade do tratamento do esgoto gerado, pois o meio ambiente, que anteriormente conseguia promover a depuração destes poluentes, agora não mais conseguia, principalmente nas grandes cidades que estavam em franco crescimento populacional e no mesmo ritmo de aumento da poluição (MMA, 2006).

O PLANASA, através do decreto N° 82.587, de 1978 (BRASIL, 1978), tinha como objetivo permanente a correção dos problemas em relação ao saneamento que o país apresentava. Os objetivos específicos eram o planejamento, a programação e o controle sistematizado do equilíbrio entre a demanda e a oferta de serviços públicos de água e esgotos em núcleos urbanos, adequação dos níveis tarifários às possibilidades dos usuários permitindo, desta forma, um maior alcance do tratamento e o desenvolvimento institucional de companhias estaduais de saneamento básico, através de programas de treinamento e assistência técnica.

O alcance do plano segundo Monteiro (1993) para o serviço de esgoto foi de 6,07% ao ano em população atendida durante o período de 1970/1986 e um aumento da expectativa de vida por parte da população em 7 anos além do desenvolvimento e fortalecimento das companhias estaduais de saneamento por todo o Brasil.

#### *2.4.2 Legislação ambiental*

As legislações ambientais que regem o lançamento de efluentes na natureza são a Resolução N° 357, de 2005 (CONAMA, 2005), alterada pela Resolução N° 430, de 2011 (CONAMA, 2011), no âmbito nacional, e pela Resolução N° 128, de 2006 (CONSEMA, 2006a), e a Resolução N° 129, de 2006 (CONSEMA, 2006b) no âmbito estadual.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução n°357 alterada pela Resolução n° 430 estabelece os padrões de lançamento de poluentes no meio ambiente, proibindo o lançamento em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida.

O Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) do Estado do Rio Grande do Sul através das Resoluções n° 128 e n° 129, visando a redução progressiva da carga poluidora lançada nos recursos hídricos do estado, fixa novos padrões e critérios de emissão de efluentes líquidos em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.

Os valores de lançamento dos efluentes, segundo CONSEMA (2006a) e CONAMA (2011), estão apresentados nas Tabelas 2.2 e 2.3, respectivamente.

**Tabela 2.2:** Valores de concentração e eficiência de remoção segundo CONSEMA

Faixa de vazão (m³/d)	DBO5 (mg/L O2)	DQO (mg/L O2)	SS (mg/L)	Coliformes totais	
				Concentração (NMP/100 mL)	Eficiência de remoção (%)
Q < 20	180	400	180	NI	NI
20 ≤ Q < 100	150	360	160	NI	NI
100 ≤ Q < 200	120	330	140	NI	NI
200 ≤ Q < 500	100	300	100	1,0E+06	90
500 ≤ Q < 1000	80	260	80	1,0E+05	95
1000 ≤ Q < 2000	70	200	70	1,0E+05	95
2000 ≤ Q < 10000	60	180	60	1,0E+04	95
10000 ≤ Q	40	150	50	1,0E+03	99

NI: Não informado

Fonte: adaptado de CONSEMA (2006a).

**Tabela 2.3:** Valores de concentração e eficiência de remoção segundo CONAMA

Parâmetro/ Eficiência	Unidades	Valores
Faixa de pH	-	6 - 9
Concentração DBO	mg/L O2	120
Eficiência de remoção de DBO	%	60
Nitrogênio total Kjeldahl	mg/L N	20

Fonte: adaptado de CONAMA (2011).

#### 2.4.3 Etapas do tratamento de efluentes

O tratamento de efluentes domésticos, por apresentar uma quantidade de matéria orgânica e microrganismos patogênicos muito maior do que uma água bruta a ser tratada para consumo humano, possui um número maior de operações e processos unitários que depende das características do efluente a ser tratado. O tratamento é dividido em 4 etapas: preliminar, primário, secundário e terciário.

#### 2.4.4 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar já descrito no tópico de tratamento de águas. Em resumo, esta etapa tem a função de remover sólidos grosseiros, tais como: pedaços de madeira, pedras grandes, etc.; a remoção de sólidos mais densos que a água como, por exemplo, a areia. Os exemplos de tratamento preliminar são o gradeamento e caixa de areia.

#### 2.4.5 Tratamento primário

O tratamento primário, também descrito no tópico de tratamento de águas, se baseia na remoção de sólidos presentes através de operações unitárias envolvendo o conhecimento físico e físico-químico do efluente. São exemplos de tratamento primário a decantação, a coagulação, a floculação e a filtração.

#### 2.4.6 Tratamento secundário

O tratamento secundário de efluentes é a etapa mais importante de qualquer sistema de tratamento de efluentes tanto domésticos, quanto industriais, portanto ele será mais detalhado nesta parte do texto.



O tratamento secundário consiste na oxidação da matéria orgânica complexa, tais como carboidratos, óleos, graxas, lipídios e proteínas, em compostos mais simples e menos poluentes, como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  e etc., através da comunidade de microrganismos presentes no lodo (bactérias, vírus, fungos, algas e etc.) que a utilizam como fonte de energia para o crescimento e manutenção das suas necessidades energéticas. Esta oxidação pode ser conduzida em ambiente onde há a presença de oxigênio (processo aeróbio) ou ser conduzido em ambiente desprovido de oxigênio (processo anaeróbio) (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

### **Processo anaeróbio**

A degradação da matéria orgânica complexa por parte dos microrganismos ocorre em um ambiente anóxico, ou seja, sem a presença de oxigênio, de forma muito mais complexa do que se o tratamento fosse aeróbio. O resumo do processo de tratamento anaeróbio pode ser dividido em 4 partes conforme visto na Tabela A.1, localizada no apêndice A, adaptada de Campos (1999).

- *Hidrólise*: nesta etapa a matéria orgânica complexa é convertida em compostos mais simples e solúveis de menor massa molar por bactérias fermentativas. As proteínas são convertidas a aminoácidos, os carboidratos são convertidos em açúcares solúveis, principalmente mono e dissacarídeos, os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa, entre 15 a 17 carbonos. Esta etapa, em muitos casos, é a etapa limitante de todo o tratamento anaeróbio.

- *Acidogênese*: os compostos mais simples gerados na hidrólise são absorvidos pelas bactérias fermentativas anaeróbias obrigatórias, que apenas sobrevivem em ambientes isentos de oxigênio, e são excretados como substâncias mais simples. Os ácidos graxos de cadeia longa são convertidos em ácidos graxos voláteis de cadeia curta, os açúcares solúveis são convertidos em álcoois e ácido lático e compostos minerais simples.

- *Acetogênese*: nesta fase ocorre a transformação dos produtos que serão o substrato para a formação do metano na etapa de metanogênese. Estes produtos são o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono.

- *Metanogênese*: ocorre a redução do ácido acético por parte das bactérias acetotróficas ou a redução do dióxido de carbono por parte das bactérias hidrogenotróficas formando metano como produto final.

O tratamento anaeróbio possui vantagens em relação ao tratamento aeróbio, pois gera um volume de lodo 30% menor do que o aeróbio diminuindo o custo de tratamento, transporte e disposição deste lodo gerado (CAMPOS, 1999). Porém, possui a desvantagem de ser mais sensível as condições climáticas e gerar produtos com odor desagradável o que dificulta sua implementação em zonas centrais de cidades (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

No tratamento anaeróbio pode ocorrer também a oxidação da matéria orgânica por outros oxidantes alternativos, como, por exemplo, o  $\text{NO}_3^-$  e o sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Nesta forma de tratamento, temos a formação de produtos como o nitrogênio molecular no processo chamado de desnitrificação (SANT'ANNA JUNIOR, 2010) e o ácido sulfídrico, ou gás sulfídrico, um composto com odor desagradável, corrosivo e venenoso para as bactérias produtoras de metano na etapa de metanogênese (CAMPOS, 1999).

Lagoas anaeróbias e os decanto-digestores são exemplos de tratamento anaeróbio clássicos. Inúmeras pesquisas para o desenvolvimento de diferentes tecnologias foram desenvolvidas para o tratamento anaeróbio, nas quais podemos citar os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, chamados de UASB, (LI *et al.*, 2014), e os biorreatores associados a membranas, chamados BRM (RAMOS *et al.*, 2014).

### Processo aeróbio

No processo aeróbio para o tratamento de efluentes a comunidade microbiana utiliza a matéria orgânica como doadora de elétrons e o oxigênio gasoso como receptor de elétrons ocorrendo, assim, a oxidação da matéria orgânica inicial complexa e poluente em compostos químicos mais simples e menos poluentes, tais como o CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e NH<sub>3</sub>. Este processo é muito mais simples que o processo anaeróbio, mais rápido e com um aproveitamento energético muito maior por parte da comunidade microbiana. Porém, este maior aproveitamento tem como desvantagem uma maior geração de biomassa no sistema necessitando etapas adicionais para tratar esta biomassa gerada (METCALF e EDDY, 2004; SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

No processo aeróbio o sistema causa um estresse nas bactérias que realizam a conversão dos poluentes, através da pouca disponibilidade de nutrientes, variações locais bruscas de pH e temperatura, propiciando um ambiente competitivo e predatório destas bactérias com a comunidade microbiana. Devido a estas adversidades, as bactérias produzem camadas de polímeros ou cápsulas que facilitam a adesão em flocos formando a biomassa (SANT'ANNA JUNIOR, 2010; VAN HANDEEL, MARAIS, 1999).

Estes flocos possuem diferentes capacidades de adesão, podendo o sistema ser fixo ou em suspensão. Para o sistema com biomassa fixa tem-se como exemplos o leito expandido (VILLEMUR *et al.*, 2015) e o *air lift* (GUO *et al.*, 2014) e para o sistema com biomassa em suspensão tem-se as lagoas aeradas agitadas, poços profundos e o tanque agitado com reciclo de biomassa, chamado de lodos ativados, sendo o tratamento mais comum (OLIVEIRA, 2014).

No tratamento por lodos ativados, conforme mencionado, a biomassa permanece em suspensão através do movimento provocado pela aeração do tanque por difusores de ar localizados no fundo do tanque, ou através de aeradores mecânicos localizados na superfície. Ocorre também, um reciclo da biomassa decantada no decantador secundário localizado ao lado do tanque de aeração. O decantador é um equipamento com paredes inclinadas que promove a separação das fases líquida e sólida (METCALF e EDDY, 2004), ocasionando um aumento da concentração da biomassa e diminuindo o tempo do tratamento, pois esta biomassa não apresentara, desta forma, a fase *lag* da curva de crescimento dos microrganismos, conforme mostrada na Figura A.1, localizada no apêndice A. A parte de lodo que não é recirculada para o sistema é enviada para digestores de lodo de excesso (VAN HAANDEL, MARAIS, 1999; SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

A oxidação da matéria complexa e poluente em compostos mais simples depende da transferência de oxigênio da fase gasosa para a fase líquida. O oxigênio dissolvido é necessário para a oxidação dos poluentes e, também, para a respiração endógena por parte dos microrganismos, que representa o consumo de oxigênio necessário para a oxidação das reservas energéticas dos microrganismos quando ocorre uma diminuição na concentração de nutrientes no meio (SANT'ANNA JUNIOR, 2010; OLIVEIRA, 2014).

A oxidação da matéria carbonácea é realizada principalmente por bactérias em um sistema complexo, que apresenta ainda alguns organismos predadores como, por exemplo, protozoários (amebas (*Sarcodina*), flagelados (*Mastigophora*) e ciliados (*Ciliophora*)) que promovem a predação de flocos pequenos que não sedimentam rapidamente assegurando um efluente clarificado. Neste sistema, há a predominância de bactérias heterotróficas, que utilizam fontes de carbono orgânico como substrato e possuem alta taxa de reprodução, garantindo ao sistema robustez frente a variações de concentrações. O processo ocorre em uma grande faixa de temperatura (10 – 40°C), pH entre 7,5 a 8,5 e faixa de oxigênio dissolvido maior que 2,0 mg/L (SANT'ANNA JUNIOR, 2010; VON SPERLING, 2012).

A oxidação da matéria nitrogenada, um dos macronutrientes presentes em efluentes, é um processo mais lento do que a oxidação da matéria carbonácea e necessita de um tempo maior de contato, tempo de residência do efluente de aproximadamente 10 dias, entre a biomassa e o efluente, pois as bactérias nitrificantes, como, por exemplo, as *Nitrossomonas* que convertem a amônia em nitrito e as *Nitrobacter* que convertem nitrito em nitrato, e as bactérias desnitrificantes que realizam a conversão do nitrato em nitrogênio atmosférico, apenas conseguem se desenvolver quando a taxa de crescimento das bactérias que realizam a oxidação da matéria carbonácea estiver em um patamar de estabilização. Quando esta fase é atingida pode ocorrer a oxidação da matéria nitrogenada, porém necessitamos de temperaturas acima de 10°C para o início da oxidação (BASTOS, VON SPERLING, 2009).

O fósforo, o outro macronutriente presente em efluentes, provém de fosfatos, derivados de produtos de limpeza como, por exemplo, detergentes, e de fósforos ligados a certos aminoácidos, chamados de fósforo orgânico. O processo de remoção do fósforo é altamente complexo e pouco eficiente para processos convencionais de tratamento, principalmente para lodos ativados. No processo convencional segundo Bastos, Von Sperling (2009) tem-se que praticamente todo o fósforo orgânico é mineralizado para a forma de fosfato e este é removido no lodo de excesso que é gerado no sistema, porém apenas 2,5% do fosfato são efetivamente removidos, sendo que os outros 97,5% permanecem na fase líquida e são despejados no meio ambiente. Uma alternativa para aumentar a concentração de fosfato no lodo de excesso é utilizar um tempo de residência de lodo médio, entre 8 a 12 dias.

#### 2.4.7 Tratamento terciário

O tratamento terciário, conforme descrito no tópico de tratamento de águas, tem como objetivo a remoção de compostos específicos que não são eliminados ou convertidos nos tratamentos primário e secundário como, por exemplo, microrganismos patogênicos. São exemplos de tratamento terciário de efluentes a desinfecção por cloro, dióxido de cloro e os processos oxidativos avançados.

#### 2.4.8 Tratamento do lodo de excesso

O lodo gerado apresenta umidade elevada, metais pesados e nutrientes como nitrogênio e fósforo (OLIVEIRA *et al.* 2014; SOUZA *et al.* 2005). Esse lodo é gerado durante o processo e representa a parte que não foi recirculada para o sistema, devendo ser destinado para equipamentos ou locais específicos para a eliminação dos organismos patogênicos, estabilização da matéria orgânica não oxidada e secagem (METCALF e EDDY, 2004; CHAGAS, 2000).

## 2.5 Parâmetros de qualidade de efluentes

Os parâmetros de qualidade para efluentes dependem do fim para o qual este efluente será destinado e, também, deve-se considerar os resíduos sólidos gerados no seu tratamento. Se o destino final do efluente líquido são córregos ou rios na natureza deve-se observar as legislações ambientais estaduais ou nacionais. Os padrões de concentração para o lançamento de efluentes em córregos e rios em função da vazão de efluente são regidos pelas legislações do CONAMA, Resolução N° 430 de 2011, e CONSEMA, Resoluções N°128 e 129 de 2006. Nestas resoluções os valores de concentração dos parâmetros de interesse poluidor se tornam cada vez menores para vazões maiores para evitar a prática de diluição dos efluentes visando o não tratamento.

## 2.6 Parâmetros operacionais de processos por lodo ativado

O parâmetro chamado de tempo de detenção hidráulica ( $\Theta$ ) informa o tempo em que o efluente permanece no sistema de tratamento, geralmente expresso em horas, sendo este valor baixo para tratamentos aeróbios com lodos em suspensão, como no caso de lodos ativados, devido à grande concentração de sólidos presentes no sistema resultante da recirculação de lodo. O parâmetro de idade de lodo, ou tempo de retenção celular, representa a relação entre a quantidade de lodo ativado presente no sistema e a quantidade de lodo removido do sistema de tratamento, sendo expresso geralmente em dias, apresenta altos valores visando fornecer uma concentração alta de sólidos no sistema garantindo, desta forma, tempo suficiente para a biomassa metabolizar a matéria orgânica presente. O parâmetro que indica a disponibilidade nutricional é a relação de Alimento/ Microrganismos (A/M), definida como a quantidade de alimento adicionado ao sistema por unidade de biomassa presente no reator aeróbio. A relação A/M apresenta valores baixos para uma idade de lodo elevada devido à grande disponibilidade de microrganismos consumidores de matéria orgânica no sistema, garantindo, assim, a robustez do processo (BASTOS, VON SPERLING, 2009).

## 2.7 Reúso do efluente tratado

O reúso do efluente tratado cada vez mais tem importância devido ao quadro de poluição e escassez de água, provocada por um desenvolvimento não sustentável. O reúso promove um aproveitamento destes efluentes em novas finalidades que podem gerar um retorno financeiro como o aproveitamento dos nutrientes presentes para a piscicultura (SANTOS *et al.*, 2011), hidroponia (GONÇALVES *et al.*, 2003, ALVES *et al.*, 2014) ou diretamente na agricultura como aporte de água e ou de nutrientes (BASTOS, VON SPERLING, 2009; ALVARENGA *et al.*, 2015). Estes efluentes originalmente seriam devolvidos para a natureza com um padrão de qualidade possivelmente inferior ao corpo hídrico receptor. O reúso dos efluentes domésticos tratados para a descarga de toaletes, irrigação de campos de esporte, limpeza de ruas, combate a incêndios e lavagens de veículos são alternativas interessantes que não exigem um nível de tratamento de efluentes muito elevado (AISSE, BASTOS, FLORENCIO, 2006).

O Brasil ainda carece de resoluções e normas informando os limites de concentração para o aproveitamento de efluentes sanitários tratados visando o reúso. A resolução n° 54, de novembro de 2005 (CNRH, 2005), estabelece as modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e apresenta outras providências. A resolução n° 121, de dezembro de 2010 (CNRH, 2010), estabelece

diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definidos na resolução nº 54. Estas resoluções definem os diferentes tipos de reúso que estão apresentados na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4:** Classificação e definição do reúso de efluentes.

Para fins urbanos	Utilização da água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio
Para fins agrícolas e florestais	Aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas
Para fins ambientais	Utilização da água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente
Para fins industriais	Utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais
Para fins na aquicultura	Utilização da água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos
Irrigação irrestrita	Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, inclusive culturas alimentícias consumidas cruas, inclusive hidroponia
Irrigação restrita	Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua, inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores, inclusive a hidroponia
Uso irrestrito	Uso em campos de esporte, parques, jardins, usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas
Uso restrito	Uso em parques, canteiros de rodovias, usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeiras em estradas vicinais, usos na construção
Uso predial	Descargas de toaletes, para efluentes com concentrações de DBO e nitrato inferiores a 30 e 50 mg/L respectivamente, para evitar geração de odores no sistema de armazenamento

Fonte: adaptado de CNRH (2005) e AISSE, BASTOS, FLORENCIO (2006).

A definição dos parâmetros que devem ser monitorados e suas concentrações visando o reúso de efluentes tratados podem fornecer os subsídios à regulamentação do reúso da água de esgotos sanitários tratados conforme mostrado na Tabela 2.5 (AISSE, BASTOS, FLORENCIO, 2006).

**Tabela 2.5:** Principais parâmetros de controle para o reúso de efluentes tratados.

Uso do efluente tratado	Categoria	Coliformes fecais (NMP/100 mL)	Turbidez (NTU)	Amônia livre (mg/L)	pH (faixa)	Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Condutividade elétrica (mS/cm)	DBO (mg/L O <sub>2</sub> )
Uso agrícola	Irrigação irrestrita	$\leq 1 \times 10^3$	$\leq 5$	ND	6,5-9,0	< 450	> 2,0	< 0,7	< 10
	Irrigação restrita	$\leq 1 \times 10^4$	$\leq 5$	ND	6,5-9,0	450 < SDT < 2000	> 2,0	0,7 < CE < 3,0	< 30
Uso urbano	Uso irrestrito	$\leq 200$	$\leq 5$	ND	6-8	< 200	ND	ND	< 20
	Uso restrito	$\leq 1 \times 10^4$	$\leq 5$	ND	6-8	< 200	ND	ND	< 20
	Uso predial	$\leq 1 \times 10^3$	$\leq 5$	ND	6-8	< 200	ND	ND	< 30
Uso piscicultura	Afluente ao tanque	$\leq 1 \times 10^4$	ND	$\leq 2,5$	6,5-9,5	ND	> 3,0	ND	200 - 300
	No tanque	$\leq 1 \times 10^3$	ND	$\leq 2,5$	6,5-9,5	ND	> 3,0	ND	200

Fonte: adaptado de AISSE, BASTOS, FLORENCIO (2006), MACHADO (2006) e ABNT (1997).

Por exemplo, os coliformes fecais indicam a possibilidade de contaminação com microrganismos patogênicos; valores de turbidez abaixo de 5 NTU são necessários, pois em valores mais altos pode ocorrer a deposição de microrganismos na superfície da matéria orgânica em suspensão; valores de amônia livre na piscicultura maiores que 2,5 mg/L são extremamente tóxicos para os peixes; sólidos dissolvidos totais e condutividade elétrica são parâmetros que indicam a quantidade de íons dissolvidos no efluente, parâmetros que influenciam na troca osmótica e no valor de oxigênio dissolvido; valores elevados de DBO podem causar odor desagradável e diminuição do oxigênio dissolvido em corpos hídricos (AISSE, BASTOS, FLORENCIO, 2006; ABNT, 1997; MACHADO, 2006).

### 3 Estudo de Caso

A estação de tratamento de efluentes (ETE) do Campus Litoral Norte da UFRGS iniciou suas atividades em fevereiro de 2015. Desde então, o efluente tratado é armazenado em um tanque onde, a cada 2 ou 3 dias, é recolhido por um caminhão limpa-fossa da CORSAN e, então, enviado a uma ETE. Esse procedimento irá ser repetido até que o efluente tratado da estação alcance os padrões ambientais de qualidade exigidos pela legislação ambiental, quando poderá então ser destinado ao meio ambiente ou para reúso.

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação da eficiência de remoção de poluentes pela ETE através do acompanhamento da qualidade do efluente dos pontos selecionados, realizando análises físico-químicas e microbiológicas semanalmente, e o cálculo dos parâmetros de operação da ETE. Com essas informações, será possível a avaliação da qualidade do efluente tratado e enquadramento nas classes previstas na presente legislação. A partir desta avaliação serão propostas alternativas de reúso do efluente ou de descarte no meio ambiente.

#### 3.1 Estação de tratamento de efluentes

A estação de tratamento de efluentes (ETE) do Campus Litoral Norte da UFRGS foi projetada pela empresa FIBRATEC™ Engenharia com base nas normativas ambientais estabelecidas pela Resolução N° 430, de 2011 (CONAMA, 2011), que estabelece os padrões de lançamento de efluentes tratados na natureza, nas normas ABNT NBR 12209, para elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários, e na norma ABNT NBR 13969, para o projeto de tanques sépticos de desinfecção do efluente final. Uma fotografia da estação de tratamento é apresentada na Figura 3.1, onde podem ser visualizados a estação compacta onde, bem à frente, se encontra o tanque de desinfecção; atrás do tanque de desinfecção, observa-se o reator de aeração e o decantador secundário; mais ao fundo, observa-se o tanque de adensamento de lodo.

Para evitar o desgaste dos componentes do sistema por abrasão de eventuais materiais grosseiros, que são carregados com o efluente bruto, como, por exemplo, pedaços de galhos de árvores, pedras e sacolas plásticas, é utilizado o tratamento preliminar por gradeamento (PRADO, 2006). A caixa de gradeamento utilizada no projeto possui o cesto em aço inox com malha de 10 mm x 10 mm.

O efluente, após a passagem pelo gradeamento, é encaminhado à estação de recalque do efluente, que tem como função a elevação do esgoto bruto de uma cota inferior para uma cota superior, onde se encontra a entrada no sistema de tratamento. A elevação do efluente é promovida por duas bombas de recalque, sendo sua atuação alternada para evitar o aquecimento das mesmas. Para o acionamento das bombas são utilizadas boias elétricas fabricadas em polipropileno.

O sistema da ETE é caracterizado como um sistema de tratamento contínuo, através do tratamento biológico por lodo ativado com aeração prolongada, para a conversão da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada às suas formas oxidadas, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), respectivamente. Além disso, apresenta a fase anóxida, sem a presença de oxigênio, para a realização da conversão do nitrato a nitrogênio atmosférico

(N<sub>2</sub>). O processo de aeração é promovido por um aerador de 3,73 kW localizado na parte inferior do tanque de aeração.

Para a separação do efluente tratado é utilizado um decantador secundário, tipo Dortmund, muito utilizado em estações compactas por possuir grande declividade (aproximadamente 60°), impossibilitando sua utilização em estações de grande porte devido à exigência de grande profundidade (CHERNICHARO, 2001). O lodo separado pode retornar ao sistema através de uma bomba de recirculação pela válvula lateral inferior do tanque de aeração ou ser enviado ao tanque de adensamento de lodo. Esse tanque de adensamento tem como função o aumento da concentração do lodo nele presente, através da separação das fases líquida e sólida; a partir da separação, o clarificado é retirado e o lodo é devolvido ao sistema por ação da gravidade.



**Figura 3.1:** ETE do Campus Litoral Norte da UFRGS.

O efluente tratado é retirado do sistema através da válvula na parte superior da lateral do decantador secundário por ação da gravidade, sendo então enviado ao tanque de desinfecção que, por contato do efluente com o hipoclorito de sódio 10 % (m/m), ocorre a eliminação dos microrganismos patogênicos, que não foram removidos no processo de aeração. O tanque de desinfecção possui chicanas em seu interior com o intuito de aumentar o tempo de contato do efluente com o hipoclorito de sódio. O gotejamento da solução de hipoclorito ocorre por pulsos promovidos por uma bomba dosadora. A concentração de cloro na caixa de desinfecção deve ficar entre 6 a 8 mg/L.

Após a desinfecção, o efluente é enviado ao reservatório de efluente tratado para ser devolvido ao meio ambiente, através de uma tubulação presente após a etapa de desinfecção, caso possua as especificações adequadas para tal, ou então enviado à ETE da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN).

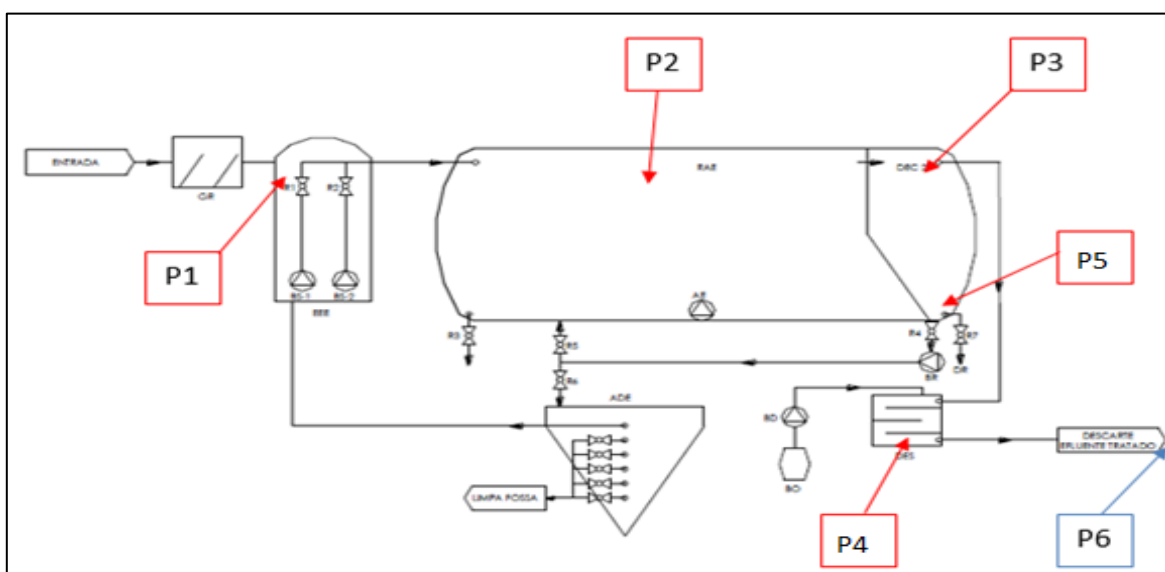
Para o projeto da estação foi utilizado o número de 700 pessoas como a população máxima a ser atendida no tratamento de efluentes. Os volumes dos equipamentos utilizados em cada etapa de tratamento na ETE são apresentados na Tabela A.2, localizada no apêndice A. Os dados de vazão, potência e tipo das bombas utilizadas na estação e algumas observações sobre as bombas são apresentados na Tabela A.3, localizada no apêndice A.

## 4 Materiais e Métodos

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para alcançar o objetivo proposto, que consiste na seleção dos pontos para o acompanhamento da ETE estudada, as análises realizadas e os equipamentos necessários para a execução das análises.

### 4.1 Pontos do processo avaliados no presente trabalho

A Figura 4.1 apresenta um fluxograma simplificado da ETE do Campus Litoral Norte da UFRGS com a indicação de todos os pontos avaliados neste trabalho. O ponto P1 corresponde ao efluente bruto, o ponto P2 corresponde ao efluente que sofreu o tratamento aeróbio, o ponto P3 corresponde ao ponto de coleta do efluente tratado e clarificado do decantador secundário, o ponto P4 corresponde ao ponto de coleta do efluente tratado após a etapa de desinfecção por contato com o hipoclorito de sódio, o ponto P5 corresponde ao lodo de excesso que irá ser recirculado ao sistema ou será enviado ao adensador de lodo. O ponto P6 corresponde ao ponto de coleta do efluente tratado que será destinado ao meio ambiente, caso possua as concentrações indicadas na legislação, ou destinado a uma ETE. Vale ressaltar que o ponto P6 foi incluído após a constatação de problemas no ponto P4, com objetivo de identificar possíveis causas de contaminação.



**Figura 4.1:** Fluxograma da estação de tratamento e os pontos utilizados no trabalho.

Fonte: Fibratec™.

### 4.2 Análises físico-químicas e biológicas

As análises utilizadas para a avaliação da eficiência da ETE foram realizadas semanalmente no Laboratório de Saneamento (LABSAN/LADETEC) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) localizado no Campus do Vale em Porto Alegre.

As análises realizadas neste trabalho foram: oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade elétrica (CE), cor, turbidez, sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV), sólidos suspensos (SS), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos



suspensos voláteis (SSV), alcalinidade total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total kjeldahl (NTK), amônia (NH<sub>3</sub>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), índice volumétrico de lodo (IVL), coliformes totais e coliformes fecais. A maioria das análises foram realizadas segundo o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA/AWA/WEF, 2012) ou referência indicada pelo equipamento utilizado na análise.

As análises realizadas para cada ponto estão mostradas na Tabela 4.1.

#### 4.2.1 pH

O pH representa o valor do logaritmo negativo da concentração do íon hidrogênio conforme equação 4.1.

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (4.1)$$

O conhecimento do valor do pH é importante para a escolha dos materiais utilizados no projeto da ETE para evitar corrosão dos equipamentos e das tubulações e para manutenção correta dos tratamentos químico e biológico do efluente.

A medida de pH foi realizada no pHmetro Químis Q400A calibrado com soluções padrão de valor de pH de 4, 7 e 10 da marca Dinâmica™.

**Tabela 4.1:** Análises realizadas em cada ponto avaliado da ETE.

Ponto	Análises
P1	pH, cor, turbidez, OD, CE, OD, BDO, DQO, Alcalinidade, ST, STV, STF, SST, SSF, SSV, coliformes totais, coliformes fecais, NTK, NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
P2	pH, cor, turbidez, OD, CE, OD, IVL, ST, STV, STF, SST, SSF, SSV, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
P3	pH, cor, turbidez, OD, CE, OD, DQO, DBO, ST, STV, STF, SST, SSF, SSV, NTK, NH <sub>3</sub>
P4	pH, cor, turbidez, OD, CE, OD, DQO, Alcalinidade, ST, STV, STF, SST, SSF, SSV, coliformes totais, coliformes fecais, NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
P5	pH, CE, OD, ST, STV, STF
P6	pH, cor, turbidez, OD, CE, OD, BDO, DQO, Alcalinidade, ST, STV, STF, SST, SSF, SSV, NTK, NH <sub>3</sub>

#### 4.2.2 Alcalinidade total

A alcalinidade total indica a capacidade que o efluente apresenta para neutralizar ácidos através da neutralização dos íons H<sup>+</sup> pela soma de todas as bases dissolvidas, principalmente hidroxila (OH<sup>-</sup>), carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) e bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Efluentes possuem alta alcalinidade proveniente da água utilizada, águas de superfície, subterrâneas e materiais adicionados durante o uso da água.

A medida de alcalinidade foi feita seguindo a método 2320 do Standard Methods (APHA/AWA/WEF, 2012) que consiste na titulação da amostra até o valor de pH 4,5, que representa o ponto de neutralização total de todas as bases presentes na amostra. A unidade utilizada para expressar alcalinidade é o mg/L de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>).

#### 4.2.3 Turbidez

A turbidez representa a quantidade de matéria suspensa ou coloidal que causa interferência na passagem da luz sobre a amostra. Esta matéria suspensa pode ser de origem inorgânica, areia, argila ou silte, ou orgânica, algas, bactérias, fungos e outros microrganismos em geral. Efluentes com elevada coloração e turbidez quando despejados na natureza dificultam a penetração da luz no corpo receptor inibindo a produção de oxigênio por parte das algas causando uma diminuição no oxigênio dissolvido promovendo, desta forma, a mortandade da fauna e da flora aquática (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

A medida de turbidez foi feita seguindo a método 2130 do Standard Methods (APHA/AWA/WEF, 2012) no turbidímetro Hach™ modelo 2100N calibrado com padrões de turbidez de 0,2; 2; 20; 200 e >4000 unidades de turbidez nefelométrica (NTU).

#### 4.2.4 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido em um efluente é o parâmetro mais importante quando o processo aeróbio for escolhido, devido ao seu consumo por parte dos microrganismos que o utilizam para a oxidação da matéria orgânica poluente. A concentração de oxigênio na água pura a 20°C é de aproximadamente 9 mg/L O<sub>2</sub> variando consideravelmente para um valor menor com o aumento da temperatura (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). A sua concentração é muito menor em águas contaminadas com sais minerais devido ao aumento da pressão osmótica da solução dificultando assim o equilíbrio líquido-gás do oxigênio com a água.

A medida de oxigênio foi realizada com sonda multiparâmetro Hach™ HQ40d utilizando o método 10360 LDO Hach™, que utiliza a medida da resistência da amostra a luminescência fornecida pela sonda. A unidade de medida de concentração de OD é mg/L de O<sub>2</sub>.

#### 4.2.5 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica representa a capacidade de condução de uma corrente elétrica por parte do efluente através de minerais inorgânicos dissolvidos em solução. Segundo Metcalf e Eddy (2003) o valor da condutividade elétrica é dos parâmetros mais importantes usados para o reúso de efluentes, principalmente na utilização na irrigação.

A medida da condutividade elétrica foi realizada na sonda multiparâmetro Hach™ HQ40d utilizando o método 8160 Hach™, que realiza a medida de condutividade através da diminuição da diferença de voltagem aplicada entre os eletrodos devido à resistência causada pela solução. A unidade de medida de condutividade elétrica é mS/cm.

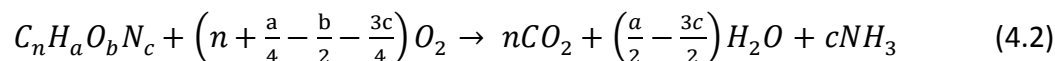
#### 4.2.6 Cor

A cor de uma amostra de água ou efluente está associada à diminuição da passagem de um feixe de luz pela mesma. Este decréscimo é proveniente de sólidos dissolvidos orgânicos, devido principalmente às substâncias húmicas e fúlvicas resultantes da decomposição natural de compostos orgânicos, e inorgânicos, tais como óxidos de manganês e de ferro entre outros (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003).

A determinação da cor foi realizada no colorímetro Digimed DM-COR que realiza a medida da coloração da amostra em 450 nm e posteriormente compara o valor obtido com uma curva de calibração previamente inserida no equipamento utilizando como soluções padrão de Platina Cobalto sendo expressa na unidade de mg/L de Pt-Co (Platina-cobalto).

#### 4.2.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

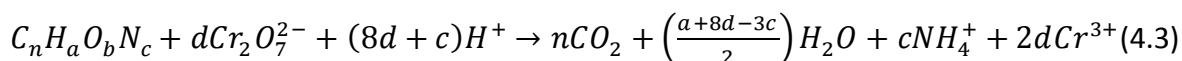
A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um parâmetro muito utilizado para a medida de oxigênio utilizado pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada, ou seja, indica o quanto da matéria orgânica presente em efluente pode ser oxidada simplesmente por ação dos microrganismos; é calculada conforme equação 4.2. Este parâmetro pode ser utilizado também para o projeto de estações de tratamento biológico, medida da eficiência do tratamento e qualidade do efluente a ser despejado no corpo hídrico (METCALF e EDDY, 2003). No entanto, apresenta a desvantagem de ser uma análise com um tempo longo de duração, impedindo o acompanhamento em tempo real do processo de tratamento.



A medida de DBO foi realizada segundo o método do OXITOP™ utilizando o conjunto marca WTW™ modelo IS12. Esta técnica consiste na medida de diferença de pressão provocada pela absorção do CO<sub>2</sub> formado no consumo do O<sub>2</sub> disponível, na garrafa do conjunto vedado, pela matéria orgânica da amostra, pelo hidróxido de sódio adicionado no início da análise. Esta análise é chamada de DBO<sub>5</sub><sup>20</sup>, pois a análise é realizada com temperatura controlada de 20°C e em um espaço de tempo de 5 dias, sendo então, lido o valor de DBO informado pelo equipamento. A unidade de medida de DBO é mg/L O<sub>2</sub> e representa apenas o consumo de oxigênio para oxidação da matéria orgânica carbonácea, pois o início da oxidação da matéria nitrogenada ocorre a partir do 10º dia (METCALF e EDDY, 2003). A Figura A.3, localizada no apêndice A, apresenta um diagrama da demanda de oxigênio em função do tempo para diferentes espécies de DBO.

#### 4.2.8 Demanda Química de Oxigênio

A demanda química de oxigênio representa a quantidade equivalente de oxigênio utilizada para oxidar totalmente a matéria orgânica, biodegradável e não-biodegradável; carbonácea e nitrogenada, contida no efluente, e pode ser calculada através da equação 4.3 (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003). A vantagem deste método em relação ao de determinação de DBO é a rapidez da obtenção do resultado, aproximadamente 3 horas, enquanto que no mínimo 5 dias para obtenção do resultado de DBO, porém possui a desvantagem de não indicar se a matéria orgânica é ou não biodegradável.



onde:

$$d = \left( \frac{2n}{3} + \frac{a}{6} - \frac{b}{3} - \frac{c}{2} \right)$$

Para a conversão de mols de dicromato (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>) em mols de O<sub>2</sub> basta proceder a conversão apresentada pela equação 4.4.

$$d \text{ mols } Cr_2O_7^{2-} * \frac{6eq.Cr_2O_7^{2-}}{mol Cr_2O_7^{2-}} * \frac{1eq O_2}{eq.Cr_2O_7^{2-}} * \frac{1 mol O_2}{4 eq O_2} * \frac{32000 mg O_2}{mol O_2} \quad (4.4)$$

A análise de DQO foi realizada seguindo o método 5220C do Standard Methods (APHA/AWA/WEF, 2012). O método se baseia na oxidação de toda matéria orgânica presente na amostra por uma quantidade conhecida e em excesso pelo dicromato de potássio em meio fortemente ácido obtido com a adição do reagente que contém ácido sulfúrico com sulfato de prata. Esta oxidação ocorre em refluxo da amostra na temperatura de 150°C e durante 2 horas em um digestor específico para DQO, Velp™ modelo DK6. Após o término da oxidação titula-se o dicromato em excesso com o reagente sulfato ferroso amoniacal podendo assim ser determinada a quantidade de dicromato consumido durante a oxidação.

#### 4.2.9 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

Os sólidos totais representam a quantidade de matéria suspensa e dissolvida em uma amostra de água ou efluente. Esses sólidos podem ser de origem orgânica ou inorgânica e podem causar impactos ambientais sérios como, por exemplo, assoreamento do leito e margens de rios ou lagos e diminuição da intensidade da luz que penetra no corpo hídrico, causando diminuição da fotossíntese pelas algas (SAWYER, MCCARTY, PARKIN, 2003).

A análise de sólidos totais foi realizada seguindo o método 2540B do Standard Methods (APHA/AWA/WEF, 2012). Este método consiste na evaporação a 103-105°C de um volume conhecido de amostra. Esta evaporação ocorre em duas etapas: primeiramente ocorre a evaporação da maior parte da água da amostra em banho maria, De Leo modelo BM8DOCA, até a secura da amostra presente em uma cápsula de porcelana previamente pesada para obter o seu valor de tara. Após esta evaporação as cápsulas de porcelana são colocadas na estufa, Brasimet™ modelo Professional 50, durante 1 hora a temperatura entre 103-105°C para a retirada de eventual umidade ainda presente na cápsula. Após este período na estufa as cápsulas são armazenadas em um dessecador com sílica gel, onde é aplicado vácuo para retirada de qualquer umidade presente no ambiente, quando as cápsulas atingem a temperatura ambiente são pesadas novamente em um balança analítica, Bel Engineering™ modelo Mark 250A, para determinar a quantidade de sólidos presentes. O cálculo é realizado segundo a equação 4.5.

$$\frac{mg}{L} \text{ Sólidos totais} = \frac{A-B}{\text{Volume da amostra, } L} \quad (4.5)$$

onde:

A = massa da cápsula mais amostra evaporada, em mg;

B = massa da cápsula, em mg.

A análise de sólidos totais fixos e voláteis foi realizada segundo a metodologia 2540E do Standard Methods (APHA/AWA/WEF, 2012) que consiste na ignição da cápsula de porcelana, proveniente da análise de sólidos totais, em uma mufla, Químis™ modelo Q.318.24, durante aproximadamente 15 a 20 min a temperatura de 550°C. Após a ignição a cápsula de porcelana é colocada em um dessecador com sílica gel, onde é aplicado

vácuo para retirada de qualquer umidade presente no ambiente até as cápsulas atingirem a temperatura ambiente para então serem pesadas novamente na balança analítica, Bel Engineering™ modelo Mark 250A, para determinar a quantidade de sólidos totais voláteis presentes. O cálculo é realizado segundo a equação 4.6 para a determinação da quantidade de sólidos totais voláteis e segundo a equação 4.7 para a determinação dos sólidos totais fixos.

$$\frac{mg}{L} \text{ Sólidos totais voláteis} = \frac{A-B}{\text{Volume da amostra, L}} \quad (4.6)$$

$$\frac{mg}{L} \text{ Sólidos totais fixos} = \frac{B-C}{\text{Volume da amostra, L}} \quad (4.7)$$

onde:

A = massa da cápsula mais amostra evaporada antes da ignição, em mg;

B = massa da cápsula mais amostra evaporada depois da ignição, em mg;

C = massa da cápsula, em mg.

A análise dos sólidos totais fixos informa o quanto dos sólidos totais presente na amostra de efluente são provenientes de compostos inorgânicos, pois todos os compostos orgânicos são oxidados a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O durante a ignição.

#### 4.2.10 Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis

Os sólidos suspensos representam os sólidos presentes na amostra que são retidos em um filtro de fibra de vidro ao se filtrar um volume conhecido de amostra, aplicando vácuo no sistema. O aumento da massa do filtro após a filtração representa o total de sólidos suspensos na amostra.

A análise de sólidos suspensos foi realizada seguindo o método 2540D do Standard Methods for (APHA/AWA/WEF, 2012). Este método realiza a filtração a vácuo, bomba Fabbe Primar modelo 341, de um volume conhecido de amostra em um filtro de fibra de vidro, Macherey-Nagel™ modelo GF-3 com diâmetro de 47mm. Após a filtração os filtros contendo a matéria suspensa retida são inseridos na estufa, Brasimet™ modelo Professional 50, durante 1 hora a temperatura entre 103-105°C para a evaporação da umidade dos filtros. Após este período na estufa os filtros são armazenados em um dessecador contendo sílica gel, onde é aplicado vácuo para retirada de qualquer umidade presente no ambiente, até os filtros atingirem a temperatura ambiente para então serem pesados novamente na balança analítica, Bel Engineering™ modelo Mark 250A, para determinar a quantidade de sólidos suspensos totais segundo a equação 4.8.

$$\frac{mg}{L} \text{ Sólidos suspensos totais} = \frac{A-B}{\text{Volume da amostra, L}} \quad (4.8)$$

onde:

A = massa do filtro + amostra evaporada, em mg;

B = massa do filtro, em mg.

A análise de sólidos suspensos fixos e voláteis foi realizada segundo a metodologia 2540E do Standard Methods (APHA/AWA/WEF, 2012) que consiste na ignição do material orgânico presente no filtro de fibra de vidro, proveniente da análise de sólidos suspensos totais, em uma mufla, Químis™ modelo Q.318.24, durante aproximadamente 15 a 20 min a temperatura de 550°C. Após a ignição a o filtro é colocado em um dessecador contendo sílica gel, onde é aplicado vácuo para retirada de qualquer umidade presente no ambiente, até os filtros atingirem a temperatura ambiente para então serem pesados novamente na balança analítica, Bel Engineering™ modelo Mark 250A, para determinar a quantidade de sólidos suspensos voláteis presentes segundo a equação 4.9 e para determinar a quantidade de sólidos totais fixos presentes segundo a equação 4.10.

$$\frac{mg}{L} \text{ Sólidos suspensos voláteis} = \frac{A-B}{\text{Volume da amostra, L}} \quad (4.9)$$

$$\frac{mg}{L} \text{ Sólidos suspensos fixos} = \frac{B-C}{\text{Volume da amostra, L}} \quad (4.10)$$

onde:

A = massa da cápsula mais amostra evaporada antes da ignição, em mg;

B = massa da cápsula mais amostra evaporada depois da ignição, em mg;

C = massa da cápsula, em mg.

A análise dos sólidos suspensos fixos informa o quanto dos sólidos suspensos totais presente na amostra de efluente é proveniente de compostos inorgânicos, pois todos os compostos orgânicos são oxidados a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O durante a ignição.

#### 4.2.11 Coliformes totais e fecais

Os coliformes totais e fecais, no caso deste trabalho a *Escherichia coli*, são bactérias gram-negativas e não são patogênicas ao homem, pois habitam em grande quantidade o intestino humano. Essa bactéria é utilizada como um indicador da presença de microrganismos patogênicos que são transmissores de doenças aos humanos, pois estão presentes em ambientes onde se encontram estes microrganismos (OLIVEIRA, RESENDE, CARDOSO, 2015).

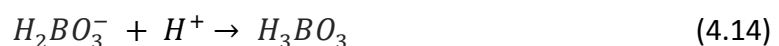
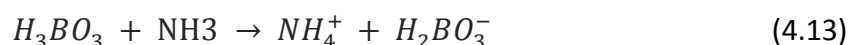
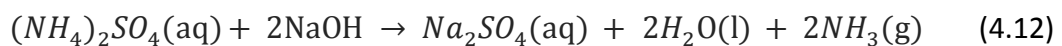
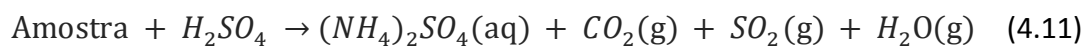
A análise de coliformes totais e fecais foi realizada segundo a metodologia do kit teste marca Colilert™ modelo IDEXX. Esse método utiliza um substrato definido com dois nutrientes indicador, ONPG® que é utilizado na determinação de coliformes totais, pois quando há o consumo deste nutriente pelos coliformes totais ocorre a coloração da amostra para a cor amarela, e o nutriente indicador MUG® que é utilizado para determinação dos coliformes fecais, pois quando ocorre o consumo deste nutriente pelos coliformes fecais ocorre a coloração da amostra na luz ultravioleta. A unidade utilizada foi a de NMP/100 mL que indica o número mais provável de microrganismos por 100 mL de amostra utilizada.

#### 4.2.12 Nitrogênio Total Kjeldahl

O nitrogênio total Kjeldahl é o método utilizado para determinar a concentração de nitrogênio na forma de nitrogênio orgânico, proveniente de proteínas e aminoácidos, e

de amônia. Esse método não representa o total de nitrogênio presente na amostra, pois não apresenta a contribuição de formas de nitrogênio inorgânicas como por exemplo nitrito e nitrato, porém, em efluentes, a maior contribuição de carga nitrogenada é proveniente de nitrogênio amoniacal e orgânico logo é um bom indicador da quantidade de nitrogênio (METCALF e EDDY, 2003). Altas concentrações de nitrogênio nas formas orgânica e amoniacal se descartadas no corpo hídrico diretamente podem causar o fenômeno de eutrofização, em que ocorre a alta procriação de algas devido à grande disponibilidade de nutrientes na água. Após esse consumo ocorre a morte das mesmas havendo então consumo de oxigênio dissolvido na água ocasionando assim a morte da fauna aquática.

A análise de nitrogênio total Kjeldahl foi realizada conforme o método 4500-N<sub>org</sub> C do Standard Methods (APHA/AWA/WEF, 2012). Esse método se baseia na transformação de todo o nitrogênio orgânico e amoniacal (NH<sub>3</sub>) para a forma de íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) através da digestão, Solab™ modelo SL145/6, da amostra em meio ácido em temperatura entre 375 - 385°C conforme equação 4.11. Após a digestão a amostra é neutralizada procedendo a transformação do nitrogênio da forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para a forma NH<sub>3</sub> conforme equação 4.12 que então é destilada, Foss™ modelo Kjeltch 2100, sendo recolhido em uma solução de ácido fraco com concentração conhecida, onde ocorre a reação de transformação da NH<sub>3</sub> para NH<sub>4</sub> conforme equação 4.13. Essa solução então é titulada com um ácido forte com concentração conhecida conforme equação 4.14 onde pelo volume utilizado de ácido na titulação é calculado o valor de nitrogênio total Kjeldahl pela equação 4.15.



$$\frac{mg}{L} NTK = \frac{(A-B) * 280}{mL amostra} \quad (4.15)$$

onde:

A = volume de ácido utilizado para titular a amostra, em mL;

B = volume de ácido utilizado para titular o branco, em mL.

#### 4.2.13 Amônia

A amônia presente em efluentes é proveniente da hidrólise da ureia proveniente de sanitários. Essa amônia se diretamente lançada em um corpo hídrico é altamente tóxico para os peixes além de causar a eutrofização (BASTOS, VON SPERLING, 2009).

A análise de amônia foi realizada seguindo o método 4500-NH<sub>3</sub> C do Standard Methods (APHA/AWA/WEF, 2012). Esse método se baseia na fixação do íon amônio na forma de amônia através do aumento do valor de pH seguida da destilação da amostra,

Foss™ modelo Kjelttech 2100, sendo recolhido em uma solução de ácido fraco com concentração conhecida onde ocorre a reação de transformação da  $\text{NH}_3$  pra  $\text{NH}_4^+$  conforme equação 4.13. Essa solução então é titulada com um ácido forte com concentração conhecida conforme equação 4.14 onde pelo volume utilizado de ácido na titulação é calculado o valor de amônia pela equação 4.15.

#### 4.2.14 Nitrito e nitrato

Os íons nitrito e nitrato são as formas inorgânicas presentes em efluentes sendo proveniente da conversão da amônia através de bactérias do gênero *Nitrossomonas* e *Nitrobacter* em ambiente com presença de oxigênio (BASTOS, VON SPERLING, 2009).

Para a análise de nitrito e nitrato foi utilizado o cromatógrafo iônico marca Metrohm™ modelo 882 Compact IC plus® com coluna analítica para análise de ânions Metrosep A supp5®. Foi utilizado como fase móvel uma solução de carbonato de sódio 3,2 mmol/L e bicarbonato de sódio 1,0 mmol/L com modo de eluição isocrática e com fluxo de 1,0 mL/min. A amostra foi previamente filtrada em um filtro de acetato de celulose marca Whatman™ de diâmetro de poro de 0,45 µm.

#### 4.2.15 Cone Imhoff e Índice Volumétrico de Lodo (IVL)

O índice volumétrico de lodo é uma análise que representa o volume em mL de 1 g de sólidos sedimentáveis durante o teste de cone Imhoff e nos informa o quão denso é o lodo presente no aerador (METCALF e EDDY, 2003). Um valor alto de IVL representa um lodo com dificuldade de sedimentação devido à baixa densidade e sendo então retirado no efluente sobrenadante do decantador secundário e não pelo lodo sedimentado no mesmo. Esse lodo presente no sobrenadante contamina o efluente aumentando sua turbidez, DQO, DBO e sólidos suspensos dificultando os tratamentos posteriores.

O teste do cone Imhoff é realizado seguindo o método 2540 F do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA/AWA/WEF, 2012). Esse método realiza a inserção da amostra do aerador em um cone graduado onde é deixado em uma superfície horizontal e é deixado em repouso durante um tempo determinado e após este tempo é realizada a leitura do volume de sólidos sedimentáveis. Com este valor obtido no cone e com o valor de sólidos suspensos totais da amostra do aerador da ETE obtemos o valor de IVL conforme a equação 4.16.

$$IVL \text{ em } \frac{\text{mL}}{\text{g}} = \frac{\text{Volume lido no cone, em mL/L} * 1000}{SSTa, \text{ em mg/L}} \quad (4.16)$$

onde:

SSTa = valor de sólidos suspensos totais na amostra do aerador, em mg/L.



## 5 Resultados

Os resultados do trabalho serão apresentados em gráficos e tabelas visando fornecer as informações necessárias para a avaliação da eficiência da ETE e para sugestão de alternativas de reúso.

### 5.1 Efluente bruto

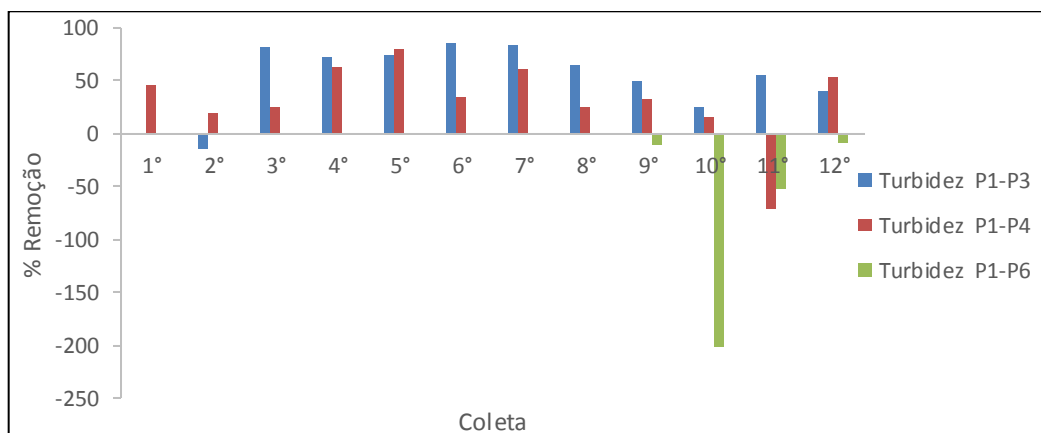
Na Tabela 5.1 são apresentados os dados de concentração do efluente bruto para os parâmetros utilizados para a avaliação da eficiência da estação.

**Tabela 5.1:** Valores de concentração do ponto P1 nas 12 coletas.

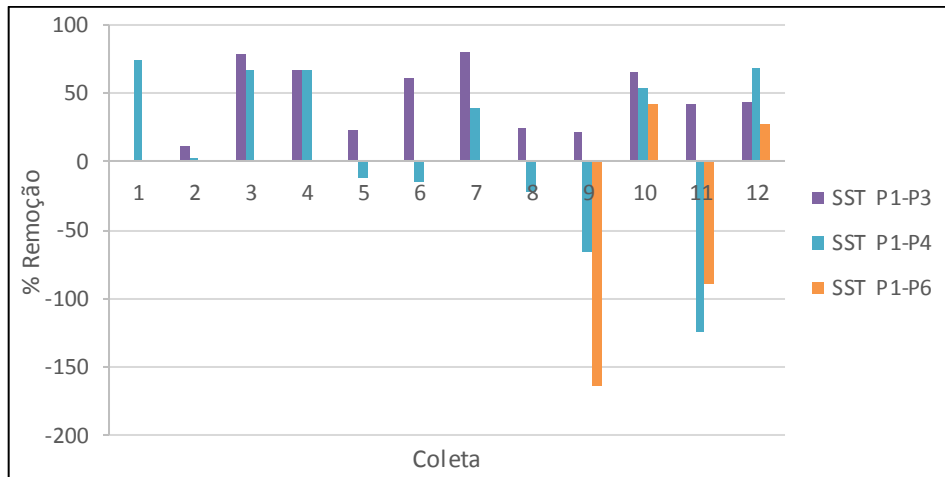
Análise	Coleta											
	1°	2°	3°	4°	5°	6	7°	8°	9°	10°	11°	12°
DBO (mg/L O <sub>2</sub> )	210,00	170,00	390,00	170,00	170,00	310,00	440,00	180,00	300,00	330,00	350,00	160,00
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	290	315	853	1132	660	223	670	752	1164	372	1160	519
Coliformes fecais (NMP/100mL)	1,20E+07	4,90E+06	1,67E+07	-	1,37E+07	-	1,32E+06	8,82E+05	6,97E+06	6,37E+06	2,40E+07	1,81E+06
NTK (mg/L)	143	56	51	142	118	161	201	94	113	180	186	80
NH <sub>3</sub> (mg/L)	126	49	37	141	95	121	137	74	97	139	145	62
SST (mg/L)	382	120	438	190	104	244	242	108	72	477	240	190

### 5.2 Ajustes realizados

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam as eficiências de remoção de turbidez e sólidos suspensos, respectivamente. Constatou-se que o ponto referente a saída da caixa de desinfecção (P4) apresentava valores de turbidez e sólidos suspensos elevados, indicando contaminação na caixa de desinfecção.



**Figura 5.1:** % de remoção de turbidez entre P1-P3, P1-P4 e P1-P6



**Figura 5.2:** % de remoção de sólidos suspensos entre P1-P3, P1-P4 e P1-P6.

Após a constatação do problema, foi realizada uma reunião com o operador da estação de tratamento e, a partir da 9ª coleta, foi incluído o ponto P6 na coleta semanal, além do aumento do escopo de análises do ponto P3, visando confirmar a suspeita de contaminação. Pela análise dos gráficos apresentados nas Figuras 5.1 e 5.2 verifica-se que essa suspeita se confirma, pois os valores de remoção, entre P1-P3, destes parâmetros na maioria das coletas apresentam valores superiores aos de remoção entre P1-P4 e P1-P6.

### 5.3 Avaliação da eficiência da ETE

A avaliação da eficiência da ETE será apresentada com base em 6 parâmetros: DBO, DQO, SS, NTK, NH<sub>3</sub> e coliformes fecais. Essa avaliação é realizada em relação à concentração final do efluente tratado em 3 pontos (P3, P4 e P6), os resultados estão mostrados nas Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4, respectivamente, e o percentual de remoção para 3 diferentes combinações: P1 em relação a P3 (P1-P3), P1 em relação a P4 (P1-P4), e P1 em relação a P6 (P1-P6), conforme resultados apresentados nas Tabelas 5.5, 5.6 e 5.7.

Os valores de concentração e o percentual de remoção são baseados nos valores da legislação vigente que estão apresentadas na Tabela 2.2 e na Tabela 2.3 sendo então tomado o menor valor de concentração e o maior percentual de remoção como parâmetro a ser alcançado, visando assim comparar os valores da ETE com os parâmetros mais rigorosos possíveis.

**Tabela 5.2:** Valores de concentração do ponto P3 para as 12 coletas, valores esperados pela empresa fabricante e valores exigidos pela legislação.

Análise	Concentração efluente tratado P3												Empresa	Legislação
	Coleta													
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°		
DBO (mg/L O <sub>2</sub> )	97	95	25	95	85	10	8	8	24	21	21	34	30	120
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	-	-	-	-	-	-	-	509,4	873,3	58,2	254,7	226,4	100	400
SST (mg/L)	88	106	94	62	80	94	48	82	56	165	138	108	40	180
NTK (mg/L N)	-	-	-	-	-	-	-	33,2	38,5	35,2	39,9	15,3	20	20
NH <sub>3</sub> (mg/L N)	-	-	-	-	-	-	-	26,4	31,7	18,8	28,8	9,4	< 20	< 20

**Tabela 5.3:** Valores de concentração do ponto P4 nas 12 coletas, valores esperados pela empresa fabricante e valores exigidos pela legislação.

Análise	Coleta												Empresa	Legislação
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°		
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	100,0	250,7	213,3	575,7	223,2	116,4	87,3	873,3	727,8	29,1	730,2	387,7	100	400
SST (mg/L)	98	116	148	64	116	282	148	132	120	220	540	60	40	180
NTK (mg/L N)	95,5	42,0	32,9	35,2	53,7	42,3	34,4	35,2	39,3	43,5	65,8	15,9	20	20
NH <sub>3</sub> (mg/L N)	88,2	37,6	31,7	33,2	50,2	24,4	31,4	26,4	31,7	18,2	28,2	9,1	< 20	< 20

**Tabela 5.4:** Valores de concentração do ponto P6 nas 4 últimas coletas, valores esperados pela empresa fabricante e valores exigidos pela legislação.

Análise	Coleta				Empresa	Legislação
	9°	10°	11°	12°		
<b>DQO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>	938,0	165,0	781,1	266,0	100	400
<b>SST (mg/L)</b>	190	277	455	138	40	180
<b>NTK (mg/L N)</b>	42,6	39,6	73,1	18,2	20	20
<b>NH<sub>3</sub> (mg/L N)</b>	31,7	18,5	27,9	8,5	<20	< 20

Os valores apresentados nas Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4 indicam que a ETE realiza de forma satisfatória o tratamento do efluente para determinados parâmetros como, por exemplo, DBO, sólidos suspensos e, para determinadas coletas, para o parâmetro de DQO, se forem considerados os valores exigidos pela legislação, demonstrando que a remoção da matéria carbonácea ocorre de forma eficiente. Para os valores previstos de concentração fornecidos pela empresa fabricante a ETE não fornece resultados satisfatórios, principalmente para os parâmetros de matéria orgânica nitrogenada, visto que a mesma necessita de um tempo de residência do efluente no reator aerado maior do que para a matéria orgânica carbonácea, indicando a necessidade de uma etapa posterior de tratamento, projetada especialmente para a remoção deste poluente.

Nas Tabelas 5.5, 5.6 e 5.7, a seguir, estão apresentados os valores de eficiência de remoção entre P1-P3, P1-P4 e P1-P6, os valores de eficiência esperados pela empresa e os valores de eficiência exigidos pela legislação para o parâmetro DBO.

**Tabela 5.5:** Percentuais de remoção para DQO, SST, NTK e coliformes fecais entre P1-P4 para 12 coletas e valores esperados pela empresa.

Eficiência do tratamento (%) P1-P4													
Análise	Coleta												Empresa
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	
<b>DQO</b>	65,5	20,3	75,0	49,1	66,2	47,8	87,0	-16,1	37,5	92,2	37,1	25,3	90
<b>SST</b>	74	3	66	66	-12	-16	39	-22	-67	54	-125	68	93
<b>NTK</b>	33,3	25,5	34,9	75,2	54,6	73,8	82,9	62,5	65,3	75,9	64,6	80,1	66
<b>Coliformes fecais</b>	91,8	90,9	99,4	-	94,4	-	97,7	99,5	98,6	96,4	97,9	99,0	99,9

**Tabela 5.6:** Percentuais de remoção para DBO, DQO, SST e NTK entre P1-P3 para 12 coletas, valores esperados pela empresa e valores exigidos pela legislação.

Eficiência do tratamento (%) P1-P3														
Análise	Coleta												Empresa	Legislação
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°		
<b>DBO</b>	54	44	94	44	50	97	98	96	92	94	94	79	94	60
<b>DQO</b>	-	-	-	-	-	-	-	32,3	25,0	84,3	78,0	56,4	90	-
<b>SST</b>	-	12	79	67	23	61	80	24	22	65	43	43	93	-
<b>NTK</b>	-	-	-	-	-	-	-	64,7	66,1	80,5	78,5	80,9	66	-

**Tabela 5.7:** Percentuais de remoção para DQO, SST e NTK entre P1-P6 para as 4 últimas coletas e valores esperados pela empresa.

Eficiência do tratamento (%) P1-P6					
Análise	Coleta				Empresa
	9°	10°	11°	12°	
<b>DQO</b>	19,4	55,7	32,7	48,7	90
<b>SST</b>	-164	42	-90	27	93
<b>NTK</b>	62,4	78,0	60,6	77,2	66

Os elevados percentuais de remoção de DBO apresentados na Tabela 5.6, confirmados pelos valores apresentados na Tabela 5.2, demonstram que a ETE possui grande capacidade de remoção de matéria orgânica carbonácea. O parâmetro NTK apresenta eficiência de remoção superior ao previsto pela empresa, porém a sua concentração final é elevada (Tabela 5.5), confirmando a suposição anterior de que a ETE necessita uma etapa posterior ao tratamento por lodo ativado visando a remoção da matéria orgânica nitrogenada.

O parâmetro de coliformes fecais apresenta valores elevados de eficiência de remoção, porém devemos atentar ao fato de que os valores deste parâmetro são extremamente elevados quando se trata de efluente sanitário, resultando em uma grande eficiência mesmo que o processo ocorresse sem a desinfecção, pois durante o processo de lodos ativados ocorre a remoção de microrganismos, seja pela oxidação promovida pela aeração, seja pela remoção dos mesmos no lodo de excesso.

Os percentuais de remoção de sólidos suspensos totais (SST) e DQO ficaram abaixo dos valores indicados pela empresa. Em relação à remoção de DQO não corresponder à esperada, pode ser devido ao fato de o efluente de entrada ser em sua maior parte composto de carbono na forma inorgânica, proveniente de infiltrações no sistema e ou à contribuição pluvial, sendo este não removido no tratamento. Para o parâmetro SST, a sua concentração em valores elevados no ponto P3 (decantador secundário) poderia indicar um lodo de má sedimentabilidade, porém observando a Tabela 5.8, que mostra os valores de IVL encontrados em cada coleta, notamos que a ETE apresenta valores baixos deste parâmetro, valores abaixo de 50 indicam ótima sedimentabilidade conforme Tabela A.4, localizada no apêndice A, excluindo então essa suposição de má sedimentabilidade. Outra explicação para a baixa remoção de SST pode ser proveniente de erro na coleta da amostra, pois o decantador possui um tempo mínimo para promover a separação de fases e a coleta deve ser realizada o mais próximo possível do tempo final de decantação. Caso a coleta não for realizada corretamente implicará em SST na amostra coletada.

#### 5.4 Parâmetros de controle de processo

Os parâmetros de controle de processo possuem a função de fornecer informações sobre a quantidade de oxigênio dissolvido, características da alimentação em relação à comunidade microbiana e sobre a sedimentabilidade do lodo ativado no decantador. Na Tabela 5.8 estão apresentados os valores dos IVL, OD, relação A/M, vazão média e tempo de detenção hidráulica ( $\Theta$ ) encontrados durante o monitoramento.

**Tabela 5.8:** Valores de IVL, A/M, OD no P2, vazão média e tempo de detenção hidráulica encontrados no monitoramento

Coleta	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
IVL (mL/g)	17,1	0,4	11,0	7,6	34,1	14,7	13,0	12,9	16,4	15,6	32,6	7,5
Relação A/M (kgDBO/kgSSVTA.dia)	1,5	3,5	4,9	1,2	1,4	2,4	7,1	3,0	4,1	3,4	11,7	40,0
Oxigênio dissolvido em P2 (mg/L O <sub>2</sub> )	4,31	5,96	9,00	9,34	0,88	8,43	7,44	7,72	8,08	7,21	7,90	7,26
Vazão média (m <sup>3</sup> /d)	5,9											
$\Theta$ (dia)	7,6											

Pela análise dos dados da Tabela 5.8 observa-se que o lodo apresenta ótima sedimentabilidade, pois possui valores menores que 50 mL/g, a relação A/M com valores elevados indica alta carga orgânica em relação à biomassa, demonstrando sobrecarga no sistema. Os valores de OD apresentaram valores acima de 2 mg/L como indica a literatura garantindo uma boa aeração. Os valores de vazão média diária apresentaram valores muito abaixo do valor projetado para a estação de 35 m<sup>3</sup>/dia, pois a ETE foi projetada para uma população diária de 700 pessoas e atualmente possui aproximadamente 300 pessoas em turnos alternados. Essa vazão muito menor do que a projetada pode implicar em valores encontrados no efluente tratado diferentes do projetado pela empresa.

## 5.5 Alternativas de reúso

As alternativas de reúso se aplicam ao efluente tratado pela estação e após passar pelo processo de desinfecção, ou seja, o ponto escolhido para a avaliação de viabilidade de reúso é o ponto P4. A Tabela 5.9 apresenta os parâmetros avaliados neste trabalho visando o reúso e fornece informações acerca do futuro uso deste efluente pela UFRGS, porém o escopo exigido pela legislação abrange outros parâmetros além dos avaliados e que por conta da inviabilidade de tempo e de recursos financeiros ainda não foram realizados neste monitoramento.

**Tabela 5.9:** Parâmetros utilizados para avaliação do reúso do efluente tratado

Parâmetro	Unidade	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
SDT	mg/L	366	262	484	508	308	388	98	364	250	396	458	400
NH <sub>3</sub>	mg/L N	88,2	37,6	31,7	33,2	50,2	24,4	31,4	26,4	31,7	18,2	28,2	9,1
pH	-	7,41	6,80	6,29	6,07	8,09	5,96	5,77	6,08	6,03	6,26	7,49	6,81
Condutividade elétrica	mS/cm	NR	1083	988	968	932	851	814	855	937	832	908	452
DBO	mg/L O <sub>2</sub>	97	95	25	95	85	10	8	8	24	21	21	34
Turbidez	NTU	34,8	46,4	228,0	70,6	19,7	151,0	113,0	66,8	74,8	102,0	292,0	42,9
OD	mg/L O <sub>2</sub>	3,61	4,10	8,56	8,56	7,34	6,91	7,92	6,25	7,52	7,04	7,07	6,80
Coliformes fecais	NMP/100 mL	9,8E+05	4,5E+05	9,8E+04	NR	7,6E+05	NR	3,0E+04	4,1E+03	9,7E+04	2,3E+05	5,0E+05	1,9E+04

NR: Não realizado

As alternativas de reúso apresentadas na Tabela 2.4 são: o uso agrícola, uso urbano e uso na piscicultura. Observando os dados da Tabela 5.10 conclui-se que em nenhuma alternativa de reúso todos os parâmetros são prontamente atendidos, necessitando para cada alternativa um processo posterior de remoção de algum parâmetro a fim de atender os valores exigidos. A Tabela 5.11 apresenta os parâmetros em não conformidade para cada alternativa de reúso.

**Tabela 5.10:** Alternativas de reúso e parâmetros em não conformidade

Usos		Parâmetros em não conformidade
Uso agrícola	Irrigação irrestrita	Coliformes fecais, turbidez, pH, SDT, condutividade elétrica, DBO
	Irrigação restrita	Coliformes fecais, turbidez, pH, condutividade elétrica, DBO
Uso urbano	Uso irrestrito	Coliformes fecais, turbidez, pH, SDT, DBO
	Uso restrito	Coliformes fecais, turbidez, pH, SDT, DBO
	Uso predial	Coliformes fecais, turbidez, pH, SDT, DBO
Uso piscicultura	Afluente ao tanque	Coliformes fecais, amônia, pH
	No tanque	Coliformes fecais, amônia, pH

Pela análise das informações apresentadas na Tabela 5.10 pode-se observar que a melhor alternativa de reúso para o efluente tratado seria na piscicultura, pois apresenta o menor número de parâmetros em não conformidade. Para que estes parâmetros estejam em conformidade devemos realizar etapas posteriores ao tratamento na ETE ou modificações no processo como, por exemplo, um aumento no tempo de contato do efluente com o hipoclorito de sódio diminuindo assim o número de coliformes fecais.

Para a remoção de nitrogênio pode ser utilizado o processo de oxidação anaeróbia de amônia (ANAMMOX) (BASTOS, VON SPERLING, 2009). Este processo consiste, na remoção biológica de nitrogênio baseada na oxidação da amônia por bactérias autotróficas e tendo como oxidante o nitrito. Esta técnica de remoção de nitrogênio, que já tem alguns sistemas em escala real em operação, dispensa a presença de material orgânico como redutor de nitrito ou nitrato.

A correção do pH pode ser realizada com a adição de ácidos ou bases fortes em quantidades calculadas para ajustar o pH de acordo com as especificações.

## 6 Conclusões e Trabalhos Futuros

A estação de tratamento de efluentes apresenta remoção satisfatória de diversos parâmetros se considerado como base as legislações ambientais vigentes. Porém, realizando-se uma análise mais crítica dos valores exigidos pela legislação, conclui-se que parâmetros importantes como coliformes totais e fecais não são informados valores como base para vazões muito baixas e, para o parâmetro de DBO, os valores de eficiência de remoção exigidos são baixos resultando em descarte de um efluente com alta concentração de matéria orgânica.

Se forem considerados os valores informados pela empresa como expectativa de remoção e concentração constata-se que a ETE não apresenta um desempenho tão satisfatório frente à legislação vigente. Uma explicação para esse desempenho inferior pode ser o fato de a ETE estar sendo subutilizada, pois o campus ainda não apresenta a totalidade de alunos e funcionários previstos no projeto.

Diversos parâmetros apresentaram eficiências de remoção bastante satisfatórias, sendo a DBO o que alcançou os melhores resultados, média de 93% a partir da 5ª coleta. O parâmetro de NTK atingiu valores de remoção em média 60,7% entre P1-P4 e 74,1% entre P1-P3 indicando que a ETE remove matéria orgânica nitrogenada mesmo que tenha sido projetada para a remoção de matéria orgânica carbonácea e, apenas, para remoção parcial da nitrogenada.

Se for analisada a concentração do efluente tratado observa-se que os parâmetros de DQO e SST apresentam valores altos para quase todas as coletas, indicando que a ETE necessita de etapas anteriores e ou posteriores de tratamento visando a remoção destes parâmetros, como, por exemplo, a utilização de filtros de areia para remoção dos sólidos suspensos. Essa filtração, além de promover a remoção de SST, diminuiria o valor de DQO do efluente final, pois a oxidação da matéria orgânica ocorre primeiramente nos poluentes dissolvidos e, posteriormente, o ataque aos SST que estão majoritariamente na forma de flocos. A remoção destes flocos implicará em uma diminuição da DQO do efluente tratado pelo sistema de tratamento.

Com base nos resultados obtidos até o momento sugerem-se para continuidade deste estudo os trabalhos futuros listados a seguir:

- Instalação de um filtro de areia antes da entrada do efluente ao reator aeróbio, visando a remoção de sólidos suspensos, turbidez e DQO.
- Utilização de etapas de tratamento posteriores a saída do efluente do decantador secundário, visando a remoção de NTK e  $\text{NH}_3$  e coliformes totais e fecais como, por exemplo, os processos oxidativos avançados e tecnologias de remoção de nitrogênio como o ANAMMOX.
- Instalação de um medidor de temperatura no reator aeróbio, visto que esse parâmetro fornece informações valiosas sobre a remoção da matéria orgânica, pois, de acordo com diversas referências, a remoção de nitrogênio do efluente ocorre em temperaturas mais elevadas do que a remoção de carbono ajudando a explicar a não conformidade dos valores de remoção das formas de nitrogênio presentes no efluente.

## 7 Referências

ABNT. **Tanques sépticos** – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, RJ. set. 1997, 60 p.

AISSE, M. M., BASTOS, R. K. X., FLORENCIO, L. **Rede cooperativa de pesquisas: Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p.

ALVARENGA, P. *et al.* Sewage sludge, compost and others representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits *versus* limiting factors. **Waste Management**, v. 40, p. 44-52, fev. 2015.

ALVES, S. M. C. *et al.* Fertirrigação de girassol ornamental com esgoto doméstico tratado em sistema de hidroponia. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 714-726, dez. 2014, 13 p.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Brasília: ANA, 2013. 432 p.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014**. Brasília: ANA, 2015. 107 p.

APHA/AWA/WEF. **Standard Methods for Examination of the Water and Wastewater**. 22<sup>nd</sup> Edition. Washington, 2012.

BASTOS, F. S.; VON SPERLING, M. V. **Rede Cooperativa de Pesquisas: Esgotos: Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Fortaleza: ABES, 2009. 430 p.

BRASIL. Decreto nº 82.587, de 6 de novembro de 1978. **Decreto no 82.587, de 6 de Novembro de 1978**. Brasília, 07 nov. 1978. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D82587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D82587.htm)>. Acesso em: 28 maio 2015.

CAMPOS, F. **Uso da respirometria na obtenção de parâmetros cinéticos e monitoramento de ETE's**. 2012. Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=3687>. Acesso em: 15/06/2015

CAMPOS, J. R. **Rede Cooperativa de Pesquisas: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 443 p.

CETESB. **IQA – Índice de Qualidade das Águas**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/02.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2015.

CHERNICHARO, C. A. L. *et al.* **Rede cooperativa de pesquisas: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

CNRH, Resolução nº121, de 16 de dezembro de 2010. **Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005**. Brasília, DF. Disponível



em: < [http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14.](http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14.)>. Acesso em 10 junho 2015.

CNRH, Resolução nº54, de novembro de 2005. **Estabelece critérios gerais para reuso de água potável.** Brasília, DF, 09 nov 2005. Disponível em: <[http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54\\_2005\\_criterios\\_gerais\\_uso\\_a\\_gua.pdf](http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54_2005_criterios_gerais_uso_a_gua.pdf)>. Acesso em 10 junho 2015.

CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Brasília, 18 jan. 2005. p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2015.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Brasília, 16 mai. 2011. p. 89. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 28 maio 2015.

CONSEMA. Resolução nº 128, de 24 de novembro de 2006. **Dispõe Sobre A Fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos Para Fontes de Emissão Que Lancem Seus Efluentes em águas Superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 07 dez. 2006. Disponível em: <[https://www.univates.br/unianalises/media/imagens/Anexo\\_IV\\_61957\\_3.pdf](https://www.univates.br/unianalises/media/imagens/Anexo_IV_61957_3.pdf)>. Acesso em: 29 maio 2015.

CONSEMA. Resolução nº 129, de 24 de novembro de 2006. **Dispõe Sobre A Definição de Critérios e Padrões de Emissão Para Toxicidade de Efluentes Líquidos Lançados em águas Superficiais do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, RS, 7 dez. 2006. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolucao\\_CONSEMA nº 129\\_2006 - Dispoe sobre a definicao crit e padroes emissao toxic efluent liqu lançados nas aguas superf RS.pdf](http://www.sema.rs.gov.br/upload/Resolucao_CONSEMA_nº_129_2006_-_Dispoe_sobre_a_definicao_crit_e_padroes_emissao_toxic_efluent_liqu_lançados_nas_aguas_superf_RS.pdf)>. Acesso em: 29 maio 2015.

**CRESCIMENTO MICROBIANO: FASES DO CRESCIMENTO BACTERIANO.** 2013. Disponível em: [http://microbiologiaja.blogspot.com.br/2013/03/crescimento-microbiano\\_28.html](http://microbiologiaja.blogspot.com.br/2013/03/crescimento-microbiano_28.html). Acesso em: 20/06/2015.

FUKUSHIMA, T. *et al.* Toxicity assessment of chlorinated wastewater effluents by using transcriptome-based bioassays and Fourier transform mass spectrometry (FT-MS) analysis. **Water Research**, Oxford, v. 52, n. 4, p.73-82, 1 abr. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.watres.2014.01.006.

GONÇALVES, R. F. **Rede cooperativa de pesquisas:** Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. Vitória: ABES, 2003. 435 p.

GUO, C. *et al.* Combined hydrolysis acidification and bio-contact oxidation system with air-lift tubes and activated carbon bioreactor for oilfield wastewater treatment. **Bioresource Technology**, v.169, n.1, p.630-636, jul. 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de saneamento 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. p. 268. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/default\\_zip.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm). Acesso em: 26/05/2015

LI, W. C. *et al.* Anaerobic treatment of p-acetamidobenzene sulfonyl chloride (p-ASC)-containing wastewater in the presence or absence of ethanol in a UASB reactor. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Oxford, v. 85, n. 1, p.81-88, mar. 2015.

MACHADO, B. C. **Avaliação da qualidade dos efluentes das lagoas de estabilização em série da estação de tratamento de esgoto de Samambaia – DF para o cultivo de Tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Caderno setorial de recursos hídricos: saneamento**. Brasília: MMA, 2006. 68 p.

MONTEIRO, J. R. R. **Plano Nacional de Saneamento: Análise de desempenho**. n.i: n.i, 1993. 11 p. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/fulltext/planasa/planasa.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2015.

OLIVEIRA, L. B. *et al.* Estado nutricional e teores de metais pesados em plantas de alface adubadas com compostos orgânicos. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 30, n.3, mai. 2014.

OLIVEIRA, N. M.; REZENDE, M. P. G.; CARDOSO, I. L. Determination of total and thermotolerant coliforms present in the hands of anglers. **Revista Eletrônica de Biologia (REB)**. ISSN 1983-7682, v. 8, n. 1, p. 138-145, 2015.

OLIVEIRA, P. H. S. **Influência da intensidade de aeração na formação do floco de lodo ativado e na eficiência de remoção de matéria orgânica**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós- Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

PRADO, G. S. (2006). **Concepção e estudo de uma unidade compacta para o tratamento preliminar de esgoto sanitário composta por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial**. 240p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RAMOS, C. *et al.* Chemical cleaning of membranes from an anaerobic membrane bioreactor treating food industry wastewater. **Journal of Membrane Science**, Amsterdam, v. 458, n.1, p.179- 188, mai. 2014.

- RICHTER, C.A. **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento**. São Paulo. Blucher. 2011.
- RODRIGUES-SILVA, C. *et al.* OCCURRENCE AND DEGRADATION OF QUINOLONES BY ADVANCED OXIDATION PROCESSES. **Química Nova**, Campinas, v. 37, n. 5, p.868-885, 20 fev. 2014. GN1 Genesis Network. DOI: 10.5935/0100-4042.20140139.
- SANT'ANNA JUNIOR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes: Fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- SANTOS, E. S. Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso do esgoto doméstico tratado na piscicultura. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, ABES, v.16, n.1, mar. 2011.
- SAWYER, C. N., MCCARTY, P. L., PARKIN, G. F. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. McGraw-Hill, 2003.
- SOUZA, Z. M. *et al.* Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.117-123, 2005.
- TEIXEIRA, C. P. A. B. (2002). **Estudo comparativo de tipos diferentes de processos oxidativos avançados**. 191p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. **Processos oxidativos avançados: Conceitos teóricos**. Campinas: Unicamp, 2004. 83 p.
- UNESCO, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: ÁGUA PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL SUMÁRIO EXECUTIVO**. WWAP: UNESCO, 2015. p. 8. Disponível em: <http://www.unesco.org/water/wwap>. Acesso em: 26/05/2015
- VAN HAANDEL, A; MARAIS, G. **O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações**. Campina Grande: Eppgraf, 142 p. 1999.
- VILLEMUR, R. *et al.* Development of four-stage moving bed biofilm reactor train with a pre-denitrification configuration for the removal of thiocyanate and cyanate. **Bioresource Technology**, v. 181, n.1, p.254-262, abr. 2015.
- VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos Ativados**. UFMG, v.4, 3ed, p. 428, 2012.
- VON SPERLING, M., FRÓES, C. M. V. **Dimensionamento e controle de decantadores secundários com base em uma abordagem integrada e simplificada da teoria do fluxo de sólidos**. Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), v. 3, n. 1/2, pp 42-54, 1998.
- WEF, Water environment federation. **Design of Municipal Wastewater Treatment Plants: WEF Manual of Practice No. 8**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2010.

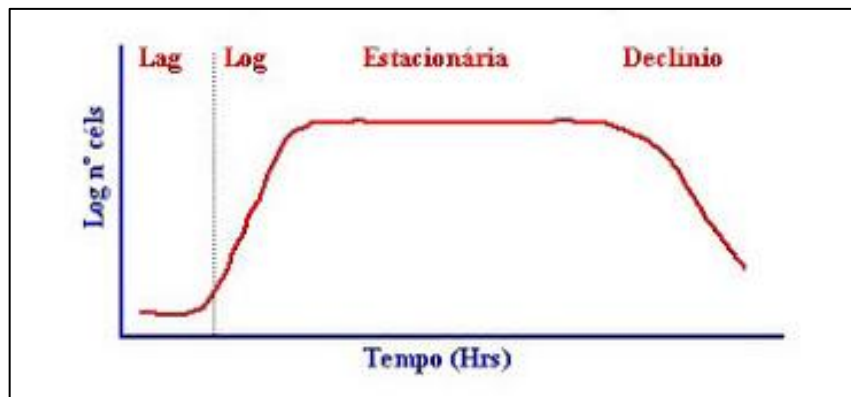
## APÊNDICE A

No apêndice A são apresentadas Tabelas e Figuras mencionadas no texto, visando acrescentar informações ao leitor.

**Tabela A.1:** Resumo das etapas de tratamento anaeróbio.

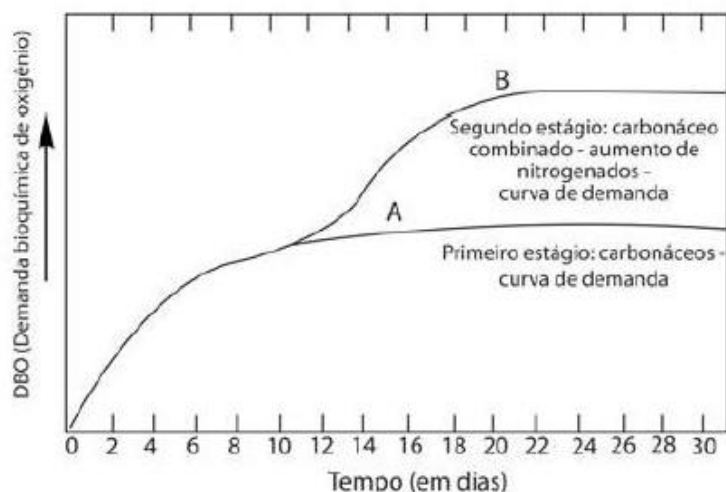
Etapa	Compostos iniciais	Compostos finais	Tipos de bactéria
Hidrólise	Lípidios, carboidratos e proteínas	Aminoácidos, açúcares solúveis e ácidos graxos de cadeia longa	Fermentativa
Acidogênese	Aminoácidos, açúcares solúveis e ácidos graxos de cadeia longa	Ácidos graxos voláteis de cadeia curta, álcoois, ácido láctico e compostos minerais (ácido sulfídrico e amônia)	Anaeróbias obrigatórias
Acetogênese	Ácidos graxos voláteis de cadeia curta, álcoois, ácido láctico e compostos minerais (ácido sulfídrico e amônia)	Ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono	Acetogênicas
Metanogênese	Ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono	Metano, monóxido de carbono e água	Acetotróficas ou hidrogenotróficas

Fonte: adaptado de Campos (1999).



**Figura A.1:** Curva típica de crescimento bacteriano.

Fonte: CRESCIMENTO BACTERIANO (2013).



**Figura A.2:** Curva genérica de  $DBO_{\text{carbonácea}}$  e  $DBO_{\text{nitrogenada}}$ .

Fonte: Campos (2012).

**Tabela A.2:** Volumes dos equipamentos da ETE

Equipamento	Volume (m <sup>3</sup> )
Estação elevatória de efluente bruto	2
Reator aeróbio	45
Caixa de desinfecção	1
Adensador de lodo de excesso	5
Reservatório de efluente tratado	20

**Tabela A.3:** Dados de vazão, potência, tipo e observações das bombas utilizadas na ETE

Bomba	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Potência (W)	Tipo	Observação
Recalque do efluente bruto	11,1	367,75	Centrífuga submersa	Recalque de 7m
Recirculação do lodo	24,4	367,75	Centrífuga submersa	Mesmo nível de altura da estação
Dosadora	0,005	30	Peristáltica	0,83 mL/pulso

**Tabela A.4:** Valores de sedimentabilidade de acordo com o IVL.

Sedimentabilidade	IVL [mL/g]
Ótima	0 a 50
Boa	50 a 100
Média	100 a 200
Ruim	200 a 300
Péssima	300 a 400

Fonte: adaptado de von Sperling, Fróes (1998).