

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

**THALES SCHWANKA TREVISAN**

**AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO E SEUS  
RISCOS À SAÚDE DO TRABALHADOR EM ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**THALES SCHWANKA TREVISAN**

**AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO E SEUS  
RISCOS À SAÚDE DO TRABALHADOR EM ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR.

Orientador: Prof. Esp. Antônio Denardi Jr.

**CURITIBA**

**2017**

**THALES SCHWANKA TREVISAN**

**AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO E SEUS  
RISCOS À SAÚDE DO TRABALHADOR EM ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

---

Prof. Esp. Antonio Denardi Júnior  
Professor do CEEST, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

---

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

---

Prof. Dr. Adalberto Matoski  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

---

Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba  
2017

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e condições de ter chegado a esse final de curso.

A minha família, por ter sempre me dado suporte e apoio nos momentos bons e nos difíceis.

Ao meu orientador Prof. Esp. Antônio Denardi Jr., pela orientação durante a elaboração deste trabalho.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por toda a infraestrutura disponibilizada para que se pudesse realizar esse trabalho.

Agradeço também a outros amigos que estiveram sempre presentes e que contribuíram de alguma forma por mais esse aprendizado e conquista.

## RESUMO

Os agentes químicos gasosos de ETEs formados de processos anaeróbios em estações de tratamento de esgoto oferecem riscos aos seus operadores no local de trabalho. Assim, o objetivo geral desta monografia foi realizar uma avaliação quantitativa de gases existentes em três estações de tratamento de esgoto de uma companhia de saneamento do Brasil, as quais utilizam processos anaeróbios com tratamentos complementares diferentes, a fim de analisar a variação e os efeitos desses gases em diferentes condições climáticas. Desses gases, o foco foi o sulfeto de hidrogênio devido seu grau de insalubridade, considerando os possíveis riscos para a saúde e segurança dos operadores. Neste trabalho, a metodologia adotada foi um estudo de caso com a utilização do aparelho multi-gases para a medição dos gases nas estações. Os resultados mostraram que a geração de sulfeto de hidrogênio no ambiente, varia devido às características do esgoto, das variações de temperatura e de outras condições climáticas. Encontrou-se também como resultado que o tratamento complementar com a lagoa facultativa gera mais sulfeto de hidrogênio no ambiente do que o por flotação. Ademais, a explosividade devido ao metano também foi identificada em uma das ETEs, portanto, além do gás sulfídrico, são recomendadas devidas adequações de segurança.

**Palavras-chave:** Estação de Tratamento de Esgoto, Tratamento anaeróbio, Riscos Químicos, Sulfeto de Hidrogênio.

## ABSTRACT

Gaseous chemical agents from STPs formed from anaerobic processes at sewage treatment plants pose risks to their operators in the workplace. Thus, the overall objective of this monograph was to conduct a quantitative gas assessment at three sewage treatment plants of a Brazilian sewage company, which use anaerobic processes with different complementary treatments, in order to analyze the variation and the effects of these Different climatic conditions. Of these gases, the focus was hydrogen sulphide due to its degree of insalubrity, considering the possible risks to the health and safety of the operators. In this work, the methodology adopted was a case study with the use of the multi-gas apparatus for the measurement of gases in the stations. The results showed that the generation of hydrogen sulphide in the environment, varies due to the characteristics of the sewage, variations of temperature and other climatic conditions. It was also found as a result that the complementary treatment with the facultative pond generates more hydrogen sulphide in the environment of than by flotation. In addition, the explosion due to methane has also been identified in one of the STPs and therefore, in addition to hydrogen sulphide, suitable safety adjustments are recommended.

**Keywords:** Sewage Treatment Station, Anaerobic Treatment, Chemical Hazards, Hydrogen Sulphide.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Saída do esgoto no RALF.....	16
Figura 02: Foto de uma lagoa facultativa de esgoto.....	18
Figura 03: Rotas metabólicas e fases da digestão anaeróbia.....	19
Figura 04: Corrosão provocada pelo H <sub>2</sub> S em um poço de visita de esgoto.....	24
Figura 05: Efeitos da asfixia bioquímica pelo monóxido de carbono.....	26
Figura 06: Foto do aparelho multi-gases utilizado na monografia.....	29
Figura 07: Foto do local do RALF na estação A onde constatou-se a geração de gases.....	30
Figura 08: Local dos RALFs da estação B onde em que identificou-se geração de sulfeto de hidrogênio.....	31
Figura 09: Local de coleta do esgoto tratado após tratamento pelo RALF na estação B.....	32
Figura 10: Coleta de lodo do RALF para análise laboratorial pelo operador.....	33
Figura 11: Coleta de lodo depois de tratado na saída do RALF.....	33
Figura 12: Coleta de esgoto na saída da canaleta do RALF pelo operador.....	34
Figura 13: Local de junção das linhas dos RALFs.....	34
Figura 14: Coleta de esgoto pelo operador na saída da lagoa facultativa.....	35
Figura 15: Médias de H <sub>2</sub> S na primeira semana na ETE A.....	36
Figura 16: Médias de H <sub>2</sub> S na segunda semana na ETE A.....	37
Figura 17: Médias de H <sub>2</sub> S na terceira semana na ETE A.....	37
Figura 18: Médias de H <sub>2</sub> S na primeira semana na ETE B.....	38
Figura 19: Médias de H <sub>2</sub> S na segunda semana na ETE B.....	39
Figura 20: Médias de H <sub>2</sub> S na terceira semana na ETE B.....	40
Figura 21: Médias de H <sub>2</sub> S na primeira semana na ETE C.....	41
Figura 22: Médias de H <sub>2</sub> S na segunda semana na ETE C.....	42
Figura 23: Médias de H <sub>2</sub> S na terceira semana na ETE C.....	43
Figura 24: Respirador semi-facial indicado pela 3M para o sulfeto de hidrogênio.....	45
Figura 25: Sugestão de placa de perigo para os ambientes com risco de explosividade.....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

NR – Norma Regulamentadora

PPR – Programa de Proteção Respiratória

EPI – Equipamento de Proteção Individual

RALF – Reator anaeróbio de leito fluidizado

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

OMS – Organização Mundial da Saúde

H<sub>2</sub>S – Fórmula química do Sulfeto de Hidrogênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FISPQ – Ficha de informações de segurança de produtos químicos

VMP – Valor máximo permitido

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>09</b>
<b>1.1 OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
1.1.1 Objetivos Gerais.....	10
1.1.2 Objetivos Específicos.....	10
1.1.3 Justificativas.....	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>12</b>
2.1 SITUAÇÃO DO SANEAMENTO NO BRASIL E IMPORTÂNCIA PARA A SAÚDE PÚBLICA.....	12
2.2 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO.....	15
2.3 PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DO ESGOTO SANITÁRIO.....	19
2.4 RISCOS AMBIENTAIS.....	21
2.4.1 Riscos químicos.....	22
2.4.1.1 Sulfeto de Hidrogênio.....	23
2.4.1.2 Monóxido de Carbono.....	25
2.4.1.3 Metano.....	26
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>30</b>
4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS DE GERAÇÃO DOS GASES.....	30
4.2 DESCRIÇÃO E COMENTÁRIOS DAS CONCENTRAÇÕES ENCONTRADAS NAS ESTAÇÕES.....	35
4.2.1 Concentrações da Estação A.....	36
4.2.2 Concentrações da Estação B.....	38
4.2.3 Concentrações da Estação C.....	40
4.3 INTERPRETAÇÕES IMPORTANTES DAS CONCENTRAÇÕES ENCONTRADAS.....	44
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>48</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), saneamento pode ser entendido como o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. (PHILIPPI JR e MALHEIROS, 2005). Utilizando esse conceito, existe ainda a definição de saneamento ambiental que, de acordo com o Projeto de Lei nº 1144 de 2003, define como um conjunto de ações socioeconômicas que têm, por objetivo, alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental.

Portanto, nesse enfoque, entende-se que o saneamento tem por objetivo minimizar os danos ao meio ambiente que interferem na saúde da população. Um dos marcos nacionais para a regulamentação do saneamento foi a Lei Federal nº 11.445 de 2007, que instituiu a Política Nacional de Saneamento. Nessa lei, é definido que o saneamento básico corresponde ao conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais.

A respeito do esgotamento sanitário, umas das áreas do saneamento básico, suas atividades e operações de seus sistemas envolvem riscos à saúde e segurança do trabalhador. A Norma Regulamentadora nº 15, em seu anexo 14, descreve que trabalhos ou operações em contato permanente com esgotos, envolvendo galerias ou tanques são atividades insalubres de grau máximo, devido a presença de agentes biológicos. No entanto, em estações de tratamento de esgoto existem outros riscos ambientais que precisam ser destacados. Especificamente sobre os agentes químicos, em estações de tratamento de esgoto sob regime anaeróbio, de acordo com Lins (2010), são gerados gases considerados nocivos ao meio ambiente.

Dentre esses gases, um que merece destaque é o sulfeto de hidrogênio, visto que, uma vez gerados os sulfetos no processo de tratamento anaeróbio, é inevitável a exalação de gases mau cheirosos como o sulfeto de hidrogênio, que causam desconforto para a população residente em torno das estações de tratamento de esgoto (ALVES et. al, 2002). Além dessa consequência negativa, Silva (2008) descreve que esse gás é altamente tóxico aos seres humanos, porque se combina com o ferro do citocromo e outros compostos essenciais que contêm ferro na célula.

Diante desses fatos, o presente trabalho pretende como objetivo identificar de maneira quantitativa a concentração de alguns desses gases gerados no ambiente em que os trabalhadores estão envolvidos, com uma atenção especial para o sulfeto de hidrogênio, para

analisar quais são os efeitos para o trabalhador, de acordo com os valores encontrados, e propor alternativas para minimizar os riscos à saúde do trabalhador decorrentes da presença dos mesmos.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral da monografia foi avaliar a geração quantitativa do sulfeto de hidrogênio em três estações de esgoto com diferentes tipos de tratamento para analisar a variação e os efeitos da presença desse gás em diferentes condições climáticas, considerando quais são os possíveis riscos para a saúde e segurança do trabalhadores envolvidos na operação da estação.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a insalubridade dos agentes químicos para os trabalhadores.
- Determinar quais são os malefícios para a saúde do trabalhador, com relação à inalação dos gases gerados na estação.
- Propor quais equipamentos de segurança individual ou coletivos são necessários para eliminar e/ou minimizar os riscos para a saúde do trabalhador em relação aos gases gerados no ambiente.
- Comparar a variação da geração do sulfeto de hidrogênio, monóxido de carbono e metano, decorrentes das condições meteorológica e com diferentes tipos de tratamento do esgoto.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

O processo de tratamento de esgoto sanitário no Brasil ainda precisa de um longo

caminho para se atingir 100% da população atendida pelo sistema e assim se evitar doenças relacionadas a essa área. Em relação ao sistema, o tratamento do efluentes por anaerobiose é muito difundido nas estações de tratamento de esgoto do país, devido a condições climáticas favoráveis para o bom funcionamento do sistema e principalmente a questão financeira, visto que estudos mostram que o sistema aeróbio, embora mais eficiente na qualidade do efluente final, é mais caro para operacionalizar.

Os trabalhadores envolvidos na operação dessas estações de esgoto via sistema anaeróbio estão sujeitos a inúmeros riscos ambientais que precisam de estudos para analisar realmente quais são e o que pode ser feito para eliminar tais riscos, seja eliminando-os ou utilizando equipamentos de proteção individual.

Especificamente nos riscos químicos, a geração de gases no processo de tratamento anaeróbio merece uma atenção, visto que são gerados certos elementos que são tóxicos e prejudiciais a saúde humana. O sulfeto de hidrogênio é um desses gases e é altamente tóxico, tendo já ter sido responsável por fatalidades em inúmeras áreas de trabalho e por isso o foco do trabalho será principalmente na avaliação da geração quantitativa desse gás.

Sabe-se, no entanto, que a quantidade gerada desses gases varia devido a algumas variáveis e, uma delas, é as condições meteorológicas e, por isso, se pretende medir a geração em diferentes situações do clima, e assim oferecer dados e subsídios maiores sobre o tema na área de segurança do trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 SITUAÇÃO DO SANEAMENTO NO BRASIL E IMPORTÂNCIA PARA A SAÚDE PÚBLICA

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), o conceito de saneamento abrange o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. Utilizando esse conceito, a Lei Federal Nº 10.257 de 10 de Julho de 2001, estabelece diretrizes gerais da política urbana do país e, uma das diretrizes gerais da mesma é garantir dentre outras coisas, o saneamento ambiental para a cidade.

O conceito de saneamento ambiental vem sendo discutido e implementado como política municipal em vários municípios e, de acordo com o Projeto de Lei Federal Nº 1144 de 2003 é definido como:

O conjunto de ações socioeconômicas que têm, por objetivo, alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, por meio do abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção de disciplina sanitária do uso e ocupação do solo, drenagem urbana e controle de vetores e reservatórios de doenças transmissíveis, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida.

Logo, é possível compreender que o saneamento ambiental busca melhorar as condições de salubridade ambiental de uma cidade. Esta, por sua vez, pode ser entendida como a qualidade ambiental que é capaz de prevenir doenças que são veiculadas pelo meio ambiente e de aperfeiçoar as condições favoráveis à saúde da população urbana e rural (São Paulo, 1999).

Um marco para o saneamento foi a Lei Federal Nº 11.445 de 2007, a qual estabeleceu a Política Nacional de Saneamento Básico. Para os efeitos dessa Lei, o saneamento básico é considerado um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais que abrangem o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e a drenagem e manejo das águas pluviais.

Feita essas considerações, importante descrever a situação do saneamento no Brasil. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2015), 82,5% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada. Isso representa que mais de 35 milhões de não possuem acesso a esse serviço básico. Já em relação a coleta de esgoto, a mesma

fonte descreve um percentual de acesso a esse serviço muito menor do em que relação a água tratada. No país, 48,6% da população têm acesso à coleta de esgoto, o que significa que mais de 100 milhões de brasileiros não tem acesso a este serviço.

Esses dados mostram que o Brasil ainda precisa se desenvolver mais nessas áreas buscando a universalização do acesso, que é um dos princípios fundamentais da Política Nacional de Saneamento. Segundo O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), deveriam ser investidos 0,63% do Produto Interno Bruto, mas efetivamente são investidos apenas 0,22%. É oportuno definir nesse momento que a OMS conceitua a saúde como um estado de completo bem-estar físico, social e mental, e não apenas a ausência de doenças. Logo, é possível compreender que saúde e saneamento se relacionam diretamente.

Analisando essa situação, para exemplificar, Jordão e Pessôa (2011) relacionaram índices de saneamento com a mortalidade infantil, mostrando que quanto maior o atendimento dos serviços que compõem o saneamento, menor a mortalidade infantil. A Tabela 1 mostra essa relação.

**Tabela 1 – Saneamento Básico e Mortalidade Infantil**

Região	Abastecimento de Água (%)	Coleta de Esgotos (%)	Mortalidade Infantil (p/1000 nasc. vivos)
Brasil	81,2	43,2	20,0
Norte	57,6	5,6	22,1
Nordeste	68,0	18,9	28,7
Sudeste	90,3	66,6	14,6
Sul	86,7	32,4	12,9
Centro-Oeste	89,5	44,8	16,5

Fonte: Jordão e Pessôa (2011).

Analisando especificamente o setor de esgotamento sanitário, o foco desse trabalho, o Banco Mundial agrupa as infecções relacionadas com excrementos a partir de uma perspectiva ambiental, juntando os tipos de doenças conforme os seus respectivos grupos de transmissão no meio ambiente. A partir da Tabela 2, é possível observar a importância da coleta e do tratamento dos esgotos domésticos.

**Tabela 2 – Classificação ambiental de infecções relacionadas com excretas.**

<b>Categoria</b>	<b>Características</b>	<b>Possíveis Infecções</b>	<b>Focos Dominantes de Transmissão</b>
I	Não-Latente, baixa dose infecciosa	Amebíase, giardíase	Contaminação Pessoal ou Doméstica
II	Não-Latente, média ou alta dose infecciosa	Febre tifoide, cólera	Contaminação pessoal, doméstica, da água ou da lavoura.
III	Latente e persistente mas sem hospedeiroz	Ascaridíase, tricuriase	Contaminação do solo, dos campos ou da lavoura
IV	Latente e persistente com hospedeiros	Teníase	Contaminação do solo, dos campos ou da comida animal
V	Latente e persistente com hospedeiro intermediário aquático	Esquistossomose, fascioliose	Contaminação de águas superficiais
VI	Insetos-vetores relacionados com excreta	Filariose	Reprodução de insetos em locais contaminados por fezes

**Fonte: Jordão e Pessoa (2011).**

Assim, utilizando essas informações como referencial, nota-se a importância do tratamento de esgoto sanitário para se evitar possíveis doenças. Por meio disso, é possível observar o cuidado que os operadores das estações de tratamento de esgoto precisam ter na área de saúde e segurança do trabalho para não contraírem doenças no processo.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO

O esgoto sanitário, de acordo com a Fundação Nacional de Saneamento Básico (2007), pode ser entendido como aquele que provém principalmente de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõe de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas. Compõem-se essencialmente da água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

Em relação às suas características físicas, os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, sendo que é a fração restante que inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Logo, é devido a essa fração

de 0,1% que se faz necessário o tratamento dos esgotos. Destacar que as características dos esgotos variam de acordo com clima, situação social, econômica e hábitos da população (VON SPERLING, 2005).

A respeito do seu tratamento, o esgoto é usualmente classificado em níveis de eficiência. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2009), existem fases de tratamento, definidas como preliminar, primária, secundária e terciária. Relevante salientar que não se faz necessário todas as fases, que dependem de variáveis como os recursos financeiros disponíveis e do enquadramento do corpo receptor. No entanto, é preciso que esteja de acordo com a legislação vigente e ser previamente negociada com os órgãos de recursos hídricos e ambientais competentes.

Analisando as fases do tratamento do esgoto, a fase preliminar, segundo o Módulo Operacional da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR, 2012), é destinado a remoção de sólidos grosseiros, materiais flutuantes, detritos minerais e óleo e graxas. Essa remoção é realizado por meio de cestos e grades de barras, dispostos de modo a permitir a retenção e posterior remoção do material considerado estranho contidos nos esgotos.

Na etapa do tratamento primário, a matéria poluente do esgoto pode ser separada da água por processos físico-químicos, usualmente sendo utilizado os decantadores primários nas estações e a eficiência desse tratamento, dependendo da estação, pode chegar a 60%. No entanto, permanece na água pequenas partículas que não são passíveis de serem removidas por sedimentação e portanto, se faz necessário os tratamentos biológicos, estes que fazem parte do tratamento secundário (COSTA JUNIOR E LIMA, 2014).

A fase do tratamento secundário destina-se à degradação biológica do esgoto. De maneira geral, a grande maioria das estações construídas no país alcançam apenas até esse nível, pois proporciona um reduzido nível de poluição por matéria orgânica, podendo, na maioria dos casos, lançar seu efluente diretamente no corpo receptor (MMA, 2009).

A degradação biológica do esgoto pode ser anaeróbia, isto é, sem que resulte na transformação da matéria orgânica biodegradável, na ausência de oxidante externo, com produção de metano e dióxido de carbono, deixando na solução aquosa subprodutos como amônia, sulfetos e fosfatos. Ou, ela pode ser aeróbia que, diferentemente do tratamento anaeróbio, utiliza o oxigênio para a degradação. Destacar que esse sistema é mais eficiente para remoção da matéria orgânica, pois as bactérias responsáveis pelo processo de eliminação são, em sua maioria, heterótrofas aeróbias e facultativas, ou seja, também degradam na falta de oxigênio (CHERNICARO, 1997).

Devido à geração dos gases estarem relacionados diretamente ao tratamento anaeróbio,

o enfoque maior será aos sistemas anaeróbios que serão analisados nessa monografia.

Dentre esses sistemas, existe o Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF). A Figura 01 mostra a saída do esgoto depois de passar pela manta de lodo, pela parte de cima.



Figura 01: Saída do esgoto no RALF.

Fonte: o autor (2013).

Esses reatores são os mais utilizados no país e de acordo com Jordão e Pessôa (2011), possuem as seguintes características:

- Câmara de digestão: inferior, onde se localiza o leito de lodo e se processa a digestão anaeróbia. O esgoto ao penetrar no interior do RALF, entra por essa manta de lodo e a atravessa no sentido ascendente. Parte da matéria orgânica permanece nessa zona de lodo e assim se inicia a digestão anaeróbia.
- Separador de fases: dispositivo que fisicamente caracteriza uma zona de sedimentação e uma câmara de coleta de gases que separa as fases sólida, da líquida e gasosa.
- Zona de transição: entre a câmara de digestão e a zona de sedimentação superior.
- Zona de sedimentação: o esgoto penetrando pela abertura da parte inferior, alcança os vertedores de superfície, com uma velocidade de subida adequada para a

sedimentação dos sólidos e flocos. A parte líquida é recolhida com características de efluente clarificado.

- Zona de acumulação de gás: o gás produzido na fase de digestão é retido em uma zona superior de acumulação, onde é coletado e eventualmente aproveitado.

Face ao exposto, os RALFs, no entanto, apresentam uma eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) na faixa de 65% a 75% e com bastante frequência necessitam de um tratamento complementar para atender as normas ambientais de lançamento de efluentes nos corpos hídricos. Por isso, Lima (2006) descreve que o objetivo do reator RALF é remover parcela significativa da matéria orgânica do afluente, para que o tratamento complementar use menos área física e gasto de energia.

Dentre os sistemas de tratamento complementares ao reator RALF, pode-se comentar a respeito das lagoas de estabilização. De acordo com a Sanepar (2012), constituem-se na forma mais simples para o tratamento de esgotos. Existem algumas variantes dessas lagoas, mas para o presente trabalho é relevante descrever sobre as lagoas facultativas.

Em geral, essas unidades apresentam profundidades que variam de 1,00 a 2,0 metros e tempos de detenção hidráulicos próximos a 20 dias. O termo facultativa refere-se à dualidade ambiental característica desse tipo de lagoa: aeróbia na superfície e anaeróbia no fundo. Durante a maior parte do dia, prevalece as condições aeróbias na maior parte da coluna líquida, devido principalmente à produção de oxigênio fotossintético e a reaeração superficial. Ao anoitecer, cessada a incidência da luz solar sobre a lagoa, a produção de oxigênio, a partir da fotossíntese, é interrompida. Com isso, passa a prevalecer a condição anaeróbia na maior parte da coluna líquida. Essa região em que ora aparece como aeróbia, ora como anaeróbia, caracteriza e denomina esse tipo de lagoa como facultativa (KELLNER e PIRES, 1998). A Figura 2, a seguir ilustra uma lagoa facultativa de uma estação de tratamento de esgoto no Brasil.



Figura 02: Foto de uma lagoa facultativa de esgoto.  
Fonte: o autor (2013).

Outro sistema de tratamento complementar ao reator RALF é o por flotação. Neste, segundo Coutinho (2007), é utilizado bolhas de ar para separar as partículas. Isto é, no tratamento de esgoto, ela separa sólidos em suspensão e concentra lodos biológicos. A flotação do esgoto acelera o processo de remoção de partículas muito pequenas e de baixa sedimentação, sendo portanto uma etapa físico-química. É passível nesse sistema de se utilizar produtos químicos para a absorção das bolhas ou para a floculação, sendo que o tempo de detenção é entre 10 a 30 minutos (SANEPAR, 2012).

Segundo Aisse et al. (2001), a flotação por ar dissolvido (FAD) é um método apropriado para pós-tratamento de efluente sanitário, alcançando bons níveis de qualidade, além de apresentar vantagens como a flexibilidade do processo, pois permite que se trabalhe em uma maior faixa de vazão de recirculação e de pressão, sendo possível o controle da quantidade de ar desprendida aliado ao pequeno tamanho das bolhas formadas. Além disso, o mesmo autor descreve que a combinação por reatores anaeróbios, como o RALF, com a flotação tem uma eficiência acima de 90% na remoção da matéria orgânica.

### 2.3 PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DO ESGOTO SANITÁRIO

Durante muito tempo acreditou-se que a aplicação de processos anaeróbios para o tratamento de águas residuárias não era uma boa alternativa. No entanto, segundo Bodik *et al.* (2003), com o passar dos anos, muitas pesquisas foram realizadas nessa área e constatou-se que os processos anaeróbios, se projetados com responsabilidade e bem operados, apresentam bons resultados.

Nesse processo de tratamento, o Brasil tornou-se um dos países líderes no mundo no uso de processos anaeróbios para o tratamento de esgoto sanitário. Isso se deve as vantagens geradas pelo seu clima favorável (ABREU e ZAIAT, 2008).

Em relação ao processo de digestão anaeróbia, o mesmo é ocorre naturalmente e envolve a decomposição bioquímica dos complexos orgânicos através dos processos biológicos que, segundo Chernicaró (1997), possuem quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. O objetivo do tratamento biológico é converter a matéria orgânica presente no esgoto em materiais mineralizados inertes (VON SPERLING, 1996).

A Figura 03 ilustra as etapas da digestão anaeróbia explicadas posteriormente para melhor visualização.

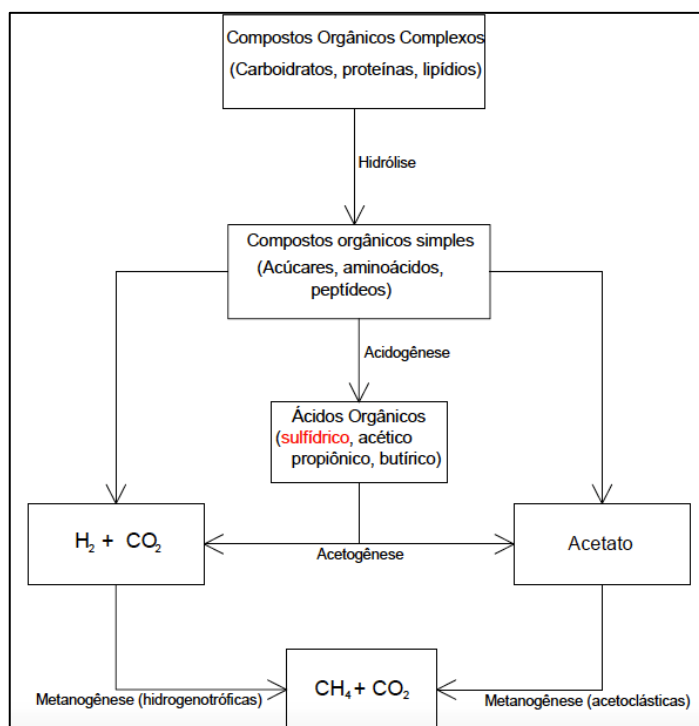


Figura 03: Rotas metabólicas e fases da digestão anaeróbia. Em vermelho, destaque para o local da geração do gás sulfídrico.

Fonte: Chernicaró (1997).

Na primeira fase, a hidrólise, as bactérias fermentativas hidrolíticas convertem os compostos complexos, denominado de polímeros, em materiais dissolvidos de menor peso molecular através da ação de exoenzimas (CHERNICARO, 1997).

A próxima etapa, a acidogênese, o mesmo autor descreve que os compostos solúveis oriundos da hidrólise são metabolizados no interior das células através do metabolismo fermentativo produzindo compostos simples, como os ácidos orgânicos, álcoois, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio.

Chernicaró (1997) comenta que na próxima etapa, as bactérias acetogênicas oxidam os compostos orgânicos produzidos na etapa da acidogênese em substratos apropriados para os microrganismos metanogênicos, presentes na próxima etapa (acetato, hidrogênio e dióxido de carbono).

Finalmente, na última etapa, o metano é produzido pelas metanogênicas acetoclásticas, através da redução do ácido acético ou pelas bactérias metanogênicas hidrogenotróficas, através da redução do dióxido de carbono (CHERNICARO, 1997).

Esse metano gerado na última fase, em conjunto com outras gases gerados no processo de digestão, forma o biogás. De acordo com a Sanepar (2012), esses gases gerados são descartados para a atmosfera, queimados ou até reaproveitados para fins energéticos. A composição química do biogás varia conforme o efluente a ser tratado, mas a Tabela 03 contém a composição básica do biogás produzido na biodigestão.

**Tabela 03 - Composição do Biogás**

<b>Componente</b>	<b>Concentração (por volume)</b>
Metano	40-75%
Dióxido de Carbono	25-40%
Sulfeto de Hidrogênio	0,1 – 0,5%
Amônia	0,1 – 0,5%
Nitrogênio	0,5 – 2,5%
Oxigênio	0,1 – 1%
Hidrogênio	1 – 3%
Monóxido de Carbono	0 – 0,1%

**Fonte: Castanón (2002).**

Todavia, nesse processo de digestão anaeróbia, ocorre de modo paralelo o processo da sulfetogênese. Neste, de acordo com Machado (2016), as bactérias redutoras de sulfato ou sulforedutoras competem com as bactérias das etapas da acetogênese e metanogênese acima

explicadas pelos ácidos voláteis e outros intermediários, gerando o sulfeto de hidrogênio.

Por isso, é necessário um controle contínuo no processo de tratamento anaeróbio, visto que algumas condições interferem diretamente na eficiência do mesmo. Fernandes (2001) descreve que temperaturas abaixo de 20<sup>o</sup>C limitam a etapa da hidrólise, assim como o potencial hidrogeniônico (pH) ideal para a metanogênese é próximo a 7. Além disso, de acordo com a Sanepar (2012), uma maneira de minimizar a geração de sulfeto de hidrogênio, devido a sua toxicidade, é tentar manter o pH do efluente a ser tratado sempre maior que 6,8.

## 2.4 RISCOS AMBIENTAIS

O Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), estabelecido por meio da Norma Regulamentadora NR-9 (BRASIL, 2016a), considera os agentes físicos, químicos e biológicos como riscos ambientais. Em estações de tratamento de esgoto (ETEs), os riscos associados a cada processo variam de acordo com a planta de tratamento e com os produtos químicos utilizados em cada um deles, mas podem ser divididos em físicos, químicos, ergonômicos, biológicos e de acidentes. Logo, para prevenir ou reduzir os impactos sobre a saúde do trabalhador é necessário identificar, avaliar e controlar os riscos.

Conforme os objetivos do trabalho, é importante dar um enfoque nos riscos biológicos e químicos. Sobre o primeiro, de acordo com a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz, 2017), são considerados riscos biológicos: vírus, bactérias, parasitas, protozoários, fungos e bacilos. Estes, ocorrem por meio de microrganismos que, em contato com o homem, podem provocar inúmeras doenças. Entre as inúmeras doenças profissionais provocadas por microrganismos, incluem-se: tuberculose, brucelose, malária, febre amarela.

Na área de esgotamento sanitário, os riscos dessa área são principalmente devido a exposição a microrganismos presentes nos resíduos humanos e de outras espécies animais. Além disso, outras fontes de contaminação são provenientes do processo de aeração para tratamento dos efluentes, pois esses microrganismos podem estar dispersos no ar e, é relevante destacar, que a situação de risco pode assumir maiores proporções quando houver extravasamento do esgoto (MTE, 2002).

Em relação a esses microrganismos, o MTE (2002) descreve que os presentes são fungos bactérias e vírus que podem causar enfermidades agudas ou crônicas. Dentre as agudas predominam as doenças infecciosas diarreicas, hepáticas e respiratórias. Já as crônicas são representadas principalmente pela asma brônquica e pela alveolite alérgica.

Além disso, importante descrever que o trabalho ou operações, em contato permanente com esgotos é classificada, conforme a NR 15 em seu anexo nº 14 (BRASIL, 2016b), como atividades insalubres de grau máximo. Logo, o trabalhador dessa área deve receber um adicional de insalubridade de 40% sobre o salário mínimo.

#### 2.4.1 Riscos Químicos

Dentro da classificação dos riscos ambientais, conforme a NR-09 (BRASIL, 2016a), existem os riscos químicos. Estes, são o perigo a que determinado indivíduo está exposto ao manipular produtos químicos que podem causar-lhes danos físicos ou prejudicar-lhe a saúde. Os danos físicos relacionados à exposição química incluem desde irritação na pele e olhos, passando por queimaduras leves, indo até aqueles de maior severidade, causando por incêndio ou explosão. Os danos à saúde podem advir de exposição de curta e/ou longa duração, relacionadas ao contato de produtos químicos tóxicos com a pele e olhos, bem como a inalação de seus vapores, resultando em doenças respiratórias crônicas, doenças do sistema nervoso, doenças nos rins e fígado, e até mesmo alguns tipos de câncer (FIOCRUZ, 2017).

No contexto das Normas Regulamentadoras (NRs), os riscos químicos são tratados na NR -15 (BRASIL, 2016b), que trata sobre atividades e operações insalubres. De acordo com a atual versão, os agentes encontrados e identificados acima dos limites de tolerância que constam nos Anexos 11, 12 e 13 fazem que com a atividade seja considerada como insalubre.

Relevante destacar as formas de contato humano com os diferentes agentes químicos que podem ser encontrados no dia-a-dia de trabalho. Segundo Trivelato (2008), as formas típicas de contato são através da inalação, nas formas de poeiras, fumos, gases, neblinas, névoas ou vapores. Além disso, outras formas são pela natureza da atividade, de exposição, que possam ter contato ou absorção cutânea ou ainda por ingestão, sendo estas as maneiras de contaminação do organismo do trabalhador.

Em relação a inalação, o fato de grande parte dos agentes químicos encontrarem-se dispersos na atmosfera, e grande quantidade de ar trocada durante uma jornada de trabalho, tornam as vias respiratórias as de maior facilidade para o contato com os agentes químicos. Por sua vez, estes podem causar problemas localizados com a área de contato, ou até mesmo ingressar na corrente sanguínea, dependendo do tamanho das partículas para alguns líquidos e sólidos. Se gasosos, o contato é direto (VENDRAMA, 2007).

A contaminação por absorção cutânea, no entanto, apresenta uma característica

singular, pois a pele, é mais resistente a ações de tais agentes, já que naturalmente é impermeável. Mesmo assim, Vendrama (2007) descreve que tal fato não exclui a possibilidade de lesão causada pelo contato com agentes químicos. Pode haver ação na superfície da pele, provocando irritação. Na pior das hipóteses, a penetração através da pele e a possibilidade de contato com a corrente sanguínea podem criar os casos mais agravantes deste tipo de contato.

A contaminação por ingestão, em termos de ocorrência de acidentes, é avia de menores casos, sendo caracterizada na ingestão acidental de agentes desta natureza, ou a inalação de pós e fumos. Quando comparada com as maneiras anteriores, pode apresentar como vantagem o fato do sistema digestivo ser seletivo apenas aos elementos que sejam úteis ao organismo (VENDRAMA, 2007).

#### 2.4.1.1 Sulfeto de Hidrogênio

Como já ressaltado nos capítulos anteriores, entre as fontes de emissão de sulfeto de hidrogênio, estão os reatores de fluxo ascendente do tipo UASB ou Ralf (como adotado pela Sanepar) que vindo sendo muito utilizados para o tratamento de esgoto sanitário de grandes centros urbanos. De acordo com Glória (2009), o tratamento de esgotos é feito por microrganismos anaeróbios que convertem a matéria orgânica do efluente em gases como metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e os sulfatos em sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Em condições, geralmente anaeróbicas, os microrganismos decompõem o enxofre orgânico encontrado nas proteínas dos seres vivos, transformando-as em sulfeto de hidrogênio (GARCIA JR, 1989).

O problema é que, além de que como descreve Aroca et al. (2007), as emissões de sulfeto de hidrogênio são a principal causa de corrosões e odores desagradáveis, semelhante a ovo podre, esse gás apresenta alta toxicidade para os seres humanos e por isso sua concentração no ambiente de trabalho merece monitoramento e atenção. A Figura 04 mostra a corrosão provocada pela gás sulfídrico em uma tampa de um poço de visita em uma estação de esgoto.



Figura 04: Corrosão provocada pelo H<sub>2</sub>S em um poço de visita de esgoto

Fonte: o autor (2017)

Segundo o Guia de Primeiros Socorros para o Sulfeto de Hidrogênio da Environmental Protection Agency (E.P.A, 2001), a toxicidade desse gás ocorre pela inalação ou pelo contato com a pele e olhos. Em suas características descritas na Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ, 2013), o gás sulfídrico é considerado é um gás liquefeito que pode ser fatal se inalado em altas concentrações, podendo provocar irritação ocular e danos respiratórios graves. Além disso, é considerado um gás extremamente inflamável. Outras observações importantes na qual a FISPQ descreve, é que pode provocar parada respiratória por depressão das atividades do sistema nervoso central.

A superexposição ao sulfeto de hidrogênio incluem dor de cabeça, vertigem, tonteira, confusão mental, dor no peito, alterações olfatórias, inconsciência e morte. Rinites, faringites, pneumonites, edema pulmonar e cianose também podem ocorrer (FISPQ, 2013).

Na identificação dos perigos, a FISPQ (2013) classifica o H<sub>2</sub>S nas seguintes categorias:

- Gás inflamável - Categoria 01
- Toxicidade aguda: Inalação – Categoria 02
- Corrosão/irritação à pele – Categoria 03
- Lesões oculares graves/irritação ocular – Categoria 02
- Toxicidade para órgãos (alvo específicos) – Exposição única – Categoria 01

Mills (1998) ressalta que o olfato humano pode detectar o gás sulfídrico em níveis de concentração de 0,13 ppm. Porém, se exposto a tempo prolongados, a sensibilidade oftálmica diminui tornando o olfato um detector imperfeito do sulfeto de hidrogênio. A exposição máxima permitida por períodos prolongados é de 10 ppm, sendo que trinta minutos de

exposição a concentrações superiores a 300 ppm torna-se fatal (MAAT et al., 2004).

A NR-15, em seu anexo nº 11, descreve os agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. Segundo a referida Norma, o limite de tolerância para o sulfeto de hidrogênio é de 8 ppm em até 48 horas semanais de trabalho, sendo que o grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização é máximo (BRASIL, 2016b).

#### 2.4.1.2 Monóxido de Carbono

Na composição dos gases gerados no tratamento anaeróbio de esgoto, conforme pode ser vista na Tabela 03, o monóxido de carbono é um dos que são formados no processo.

Esse gás, em sua ficha da FISPQ (2014), apresenta riscos para o trabalhador se não controlado e monitorado, pois pode formar mistura explosiva com o ar, causar sérios danos ao sistema central, ser fatal mesmo na presença de oxigênio e também pode ocasionar vertigem e sonolência para o trabalhador.

Além disso, a FISPQ (2014) classifica o monóxido de carbono nas seguintes categorias abaixo:

- Gás inflamável - Categoria 01
- Gases sob pressão – Gases comprimidos – Categoria 01
- Toxicidade aguda, Inalação – Categoria 03 - Perigo
- Toxicidade à reprodução – Categoria 1A - Perigo
- Toxicidade para órgãos (alvo específicos) – Exposição única – Categoria 01

Nota-se, portanto, que a principal forma de contaminação em relação ao monóxido de carbono é por inalação. A Figura 05 abaixo mostra a relação das concentrações com os efeitos à saúde.

<b>EFEITOS DA ASFIXIA BIOQUÍMICA PELO MONÓXIDO DE CARBONO</b>		
Concentração (ppm)	Tempo de exposição	Efeitos
39	8 horas	Nenhum.
200	3 horas	Ligeira dor de cabeça. Desconforto
600	1 hora	Dor de cabeça. Desconforto
1000 - 2000	2 horas	Confusão. Dor de cabeça.
1000 - 2000	1,5 hora	Tendência a cambalear
1000 - 2000	30 minutos	Palpitação leve
2000 - 5000	30 minutos	Inconsciência.
10000	30 minutos	Fatal

Figura 05: Efeitos da asfixia bioquímica pelo monóxido de carbono.

Fonte: Manual de Proteção Respiratória da Petrobras (2016).

Em relação a NR-15 (BRASIL, 2016b), sobre atividades e operações insalubres, em seu anexo 11 que trata a respeito dos agentes químicos, existe um limite de tolerância para esse gás. De acordo com a referida norma, em uma jornada de trabalho de até 48 horas por semana, o limite de tolerância para o monóxido de carbono é de 39 ppm, sendo que o seu grau de insalubridade no caso de sua caracterização é considerado máximo.

#### 2.4.1.3 Metano

O gás metano ( $\text{CH}_4$ ) é principal gás gerado no tratamento anaeróbico de esgoto sanitário. Na composição do Biogás, que são todos os gases gerados no processo de digestão, ele corresponde em concentração em volume, de 40% até 75% da concentração total de gases gerados (CASTANÓN, 2002).

De acordo com a Comissão Internacional de Agricultura e Engenharia Biossintética (CIGR, 1994), o metano é um gás incolor, não tem cheiro, cor ou sabor, é mais leve que o ar e possui baixa toxicidade. Ele oferece mais riscos de explosão do que danos para a saúde, todavia, em níveis elevados pode ser asfixiante.

A FISPQ (2016) para o metano o classifica como um gás extremamente inflamável que pode explodir sob efeitos de calor. Ela descreve que o metano é perigoso em altas concentrações podendo causar no trabalhador Hipoxia. Esta, por sua vez, é devido a asfixia que pode resultar em fadiga, deficiência visual e falta de coordenação motora, capacidade alterar o julgamento, cianose, sensação de desmaio, perda de consciência e em casos severos, até a morte.

Em relação a NR-15 de operações e atividades insalubres (BRASIL, 2016b), no seu

respectivo anexo 11 que trata sobre os agentes químicos, o metano não possui uma concentração definida de limite de tolerância, mas é classificado como asfixiante, por isso, requer atenção e monitoramento.

### **3 METODOLOGIA**

Definido o tema, a metodologia empregada nesse trabalho foi inicialmente qualitativa, pois o mesmo, segundo Oliveira (2000), é considerado como um método exploratório e auxiliar na pesquisa científica. Logo, para o presente estudo, recorreu-se à pesquisa bibliográfica, utilizando livros, monografias, sites, normas e outras fontes para dar suporte ao tema de pesquisa.

Levantado informações sobre o tema, realizou-se uma metodologia de estudo de caso em três estações de tratamento de esgoto que utilizam o sistema de tratamento anaeróbio, escolhidas através de conversas junto ao gerente da área de esgotamento sanitário da empresa responsável.

Em relação às estações de tratamento de esgoto, conforme explicado no referencial teórico, duas delas utilizam como processo de tratamento o sistema composto de reator anaeróbio e o sistema por flotação como tratamento complementar, mas com capacidades de vazões de esgoto diferentes. Uma com capacidade de até 50 l/s, definida como Estação A e a outra com 500 l/s, definida como Estação B. A outra estação, denominada como Estação C, avaliada era composta por um reator anaeróbio e o tratamento complementar é feito por lagoa facultativa com capacidade de até 700 l/s. Em conversa com o gerente da respectiva empresa, surgiu o interesse por parte desta de avaliar se havia diferentes gerações de sulfeto de hidrogênio se usados tratamentos complementares diferentes.

Para realizar a medição quantitativa de alguns gases gerados, com foco no sulfeto de hidrogênio, utilizou-se um medidor multigases de modelo Gas Alert Micro Clip XL, que monitora os seguintes gases: Sulfeto de Hidrogênio, Monóxido de Carbono, L.E.L (explosividade, relacionado a concentração de metano no ambiente) e gás oxigênio.



Figura 06: Foto do modelo do aparelho multi-gases utilizado no trabalho.

Fonte: O autor (2017).

A respeito da periodicidade das visitas, conforme definido entre orientador e gerente da empresa, para se ter dados consistentes, foram feitas visitas durante 11 dias nas três estações nos mesmos dias em três semanas distintas. Nas Estações A e B, foram realizadas sete medições em um intervalo de 10 minutos cada, totalizando um hora em cada estação por dia. Por sua vez, na Estação C, devido ao tamanho físico da mesma, foram realizadas sete medições em intervalos de vinte minutos cada, totalizando uma hora e quarenta minutos na estação por dia.

Além disso, no momento das medições das concentrações em cada estação de esgoto, eram coletados valores de temperatura e vento, obtidos pelo site Weather Channel, os quais podem ser visto na íntegra nos apêndices desta monografia.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A seguir serão apresentados os resultados encontrados com as medições nas três estações em relação aos gases identificados pelo equipamento e a interpretação dos valores encontrados comparando com as normas regulamentadoras. Além disso, pretende-se descrever a possível influência das condições climatológicas na geração dos gases.

#### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS DE GERAÇÃO DOS GASES

Na coleta das concentrações, importante descrever quais foram os locais em que os operadores trabalham e circulam em que se identificaram a geração de gases.

Na estação A, a de menor vazão, o equipamento detectou concentrações de sulfeto de hidrogênio no Reator anaeróbio, o RALF, no local de saída do esgoto após tratado. O operador de esgoto faz limpezas e coletas periódicas do esgoto a montante e a jusante depois de tratado no respectivo ambiente. A Figura 07 mostra a foto do mesmo.



Figura 07: Foto do local do RALF na estação A onde constatou-se geração de gases.

Fonte: o autor (2017).

Por sua vez, na Estação B, que utiliza mesmo processo de tratamento que a A, possui maior capacidade de tratamento de esgoto, com valores de vazão tratados até dez vezes maior que o da estação A. Até por isso, ela possui 06 reatores anaeróbios, enquanto que a Estação A possui apenas um.

Na estação B, por mais que os reatores estejam confinados, como visto na Figura 08, identificou-se novamente concentrações de sulfeto de hidrogênio na saída dos reatores após

tratado o esgoto, mostrando que ainda escapa gases mesmo com o sistema confinado.



Figura 08: Local dos RALFs da Estação B em que identificou-se geração de sulfeto de hidrogênio.

Fonte: o autor (2017).

Além disso, na saída geral do sistema dos RALFs em que encaminha o esgoto tratado pelos reatores para o sistema de flotação que, no caso, é o tratamento complementar, foi constatado também geração de sulfeto de hidrogênio. Este é o local em que os operadores de esgoto fazem a coleta do esgoto tratado pelos RALFs de maneira periódica, conforme pode ser visto na Figura 09.



Figura 09: local de coleta do esgoto tratado após tratamento pelo RALF na estação B.

Fonte: o autor (2017).

Por mais que após investigação e conversas com os operadores e os técnicos de laboratório seja observado que há geração de sulfeto de hidrogênio no sistema de flotação, nas duas estações que possuem esse tratamento complementar não se identificou no equipamento concentrações de pelo menos 01 ppm no local.

Já a estação C, de maior vazão entre todas, foi o local em que se identificou mais locais de geração de sulfeto de hidrogênio, tendo o equipamento também constatado a formação de metano no processo de tratamento do esgoto sanitário.

Na estação, existem 07 reatores anaeróbios, sendo separados em duas construções. Em uma delas há 05 reatores e na outra 02 reatores. Nas duas infraestruturas foram identificadas geração de sulfeto de hidrogênio. Na Figura 10 abaixo é mostrado o operador de esgoto da estação fazendo coleta periódica do lodo do RALF para análise laboratorial. Observa-se nessa Figura o contato direto que o trabalhador possui com o sulfeto de hidrogênio.



Figura 10: Coleta de lodo do Ralf para análise laboratorial pelo operador.  
Fonte: o autor (2017).

Além disso, constatou-se outra atividade realizada pelos operadores da estação. Nas Figuras 11 e 12 observam-se as coletas periódicas da saída do esgoto dos Ralfs que os mesmos fazem durante seu expediente de trabalho.



Figura 11: Coleta do esgoto depois de tratado na saída do Ralf.  
Fonte: o autor (2017).



Figura 12: Coleta de esgoto na saída da canaleta do RALF pelo operador.

Fonte: o autor (2017).

Além desses locais em que foram constatados a geração de sulfeto de hidrogênio, em outro ponto da estação, os operadores também realizam limpeza, manutenção e coleta do esgoto para avaliar a qualidade. No caso, é o local em que os esgotos das duas construções dos RALFs se juntam antes de serem direcionados para a lagoa facultativa, que é o tratamento complementar. Destacar que nesse local foi identificado além da geração de sulfeto de hidrogênio, a presença de explosividade devido a presença do metano. Esse gás, conforme visto no referencial teórico requer muito atenção, pois o mesmo é explosivo. A Figura 13 mostra a foto desse local de junção dos RALFs.

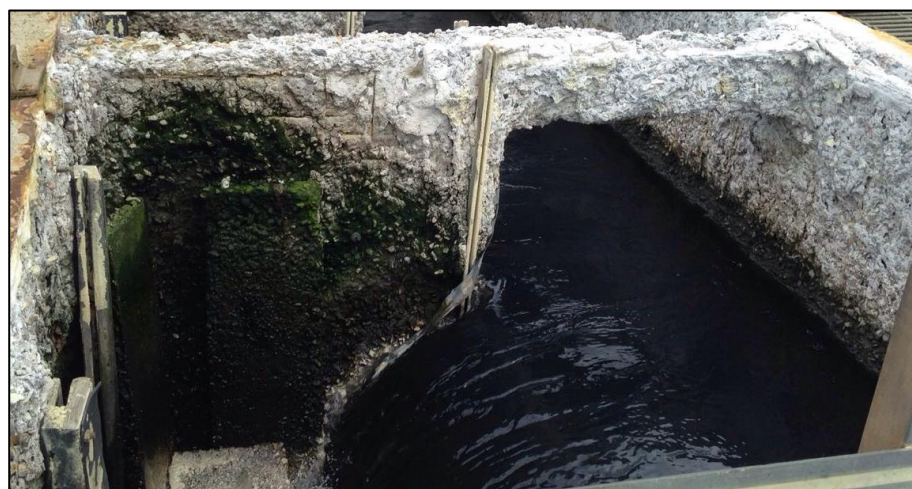


Figura 13: Local de junção das linhas dos RALFs.

Fonte: o autor (2017)

Por fim, o aparelho multi-gases identificou a geração de sulfeto de hidrogênio na saída do esgoto depois de tratado na lagoa facultativa, ou seja, na etapa final do tratamento. A Figura 14 ilustra a foto do operador fazendo a coleta habitual e frequente do esgoto no respectivo local.



Figura 14: Coleta do esgoto pelo operador na saída da lagoa facultativa.

Fonte: o autor (2017).

Realizado essa etapa de identificação dos locais de geração de gases nas três estações de esgoto, no capítulo seguinte será descrito as concentrações encontradas com interpretação e comparação dos valores encontrados. Relevante já destacar que embora presente no biogás gerado pelos reatores, o monóxido de carbono não foi identificado pelo equipamento em nenhuma das três estações.

#### 4.2 DESCRIÇÃO E COMENTÁRIOS DAS CONCENTRAÇÕES ENCONTRADAS NAS ESTAÇÕES

Realizada a descrição e identificação dos locais das estações em que foi constatado pelo aparelho a geração de gases, nos capítulos a seguir será relatado os valores encontrados e suas interpretações.

#### 4.2.1 Concentrações da Estação A

Conforme relatado em capítulos anteriores, na estação A, foi identificada geração somente de sulfeto de hidrogênio na estrutura do reator anaeróbico RALF. No gráfico da Figura 15 é mostrado os resultados encontrados a partir da média dos valores encontrados em cada dia.

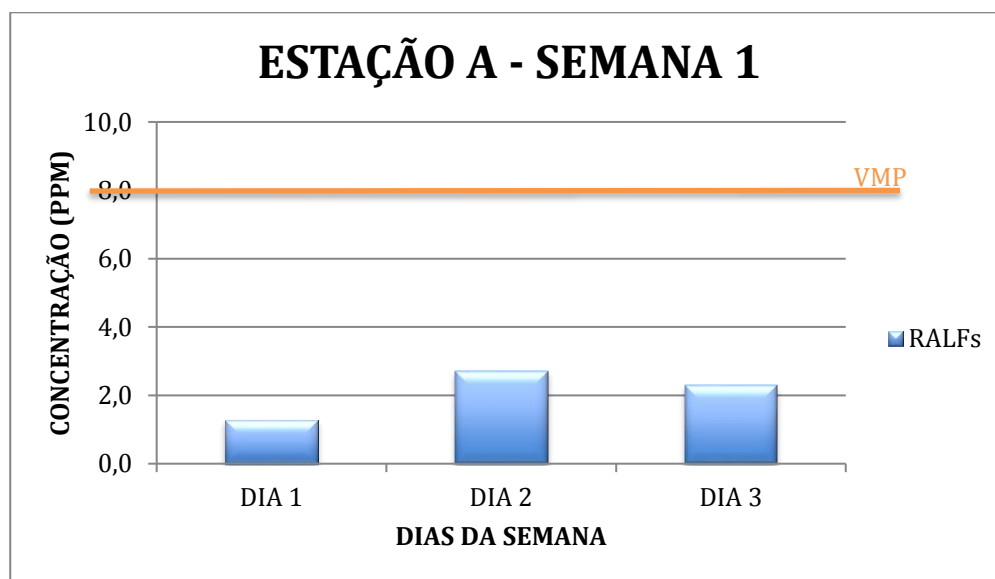


Figura 15: Médias de H<sub>2</sub>S na primeira semana na ETE A.

Nota-se, portanto, que em nenhum dia de monitoramento, embora sobre diferentes condições de temperatura foi identificado valores acima do valor máximo permitido (VMP) do sulfeto de hidrogênio de acordo com a NR-15. Destacar no entanto, que no dia 2 da respectiva semana, era o dia de maior temperatura, podendo dizer uma possível relação diretamente proporcional entre o aumento da temperatura e a geração.

Em relação à semana 2, o gráfico da Figura 16 ilustra as médias encontradas para o H<sub>2</sub>S.

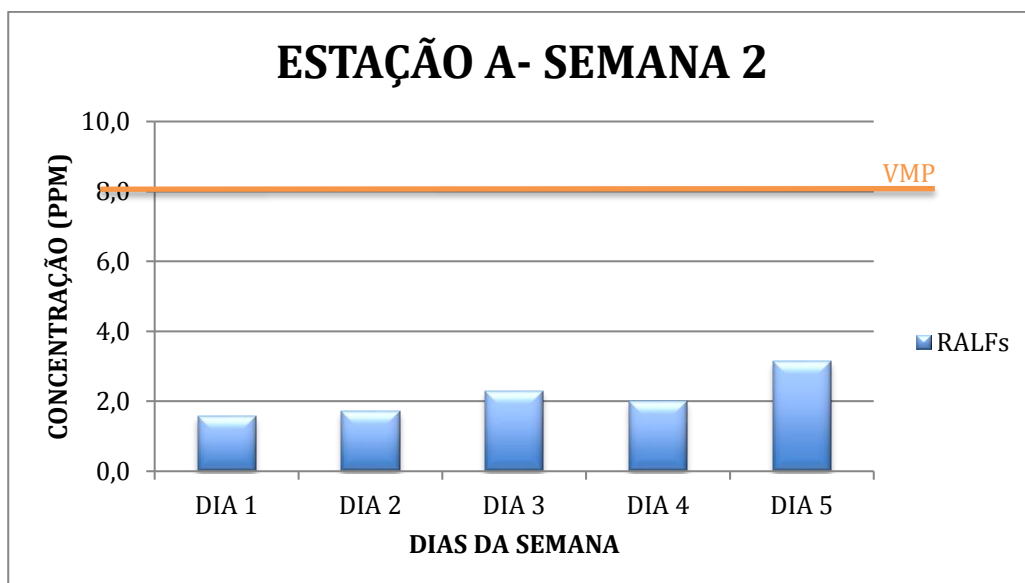


Figura 16: Médias de H<sub>2</sub>S na segunda semana na ETE A.

Novamente, assim como na primeira semana, não foram identificados valores acima do VMP do sulfeto de hidrogênio, o que não caracteriza portanto insalubridade para os operadores de esgoto. O que é interessante descrever é que no dia 05, na sexta-feira, o dia estava com praticamente nenhum vento, dificultando a dispersão dos gases gerados no RALF e possivelmente seria a explicação de se ter a maior geração de gases da semana.

Finalmente, na terceira semana, a Figura 17 mostra os resultados encontrados de gás sulfídrico.

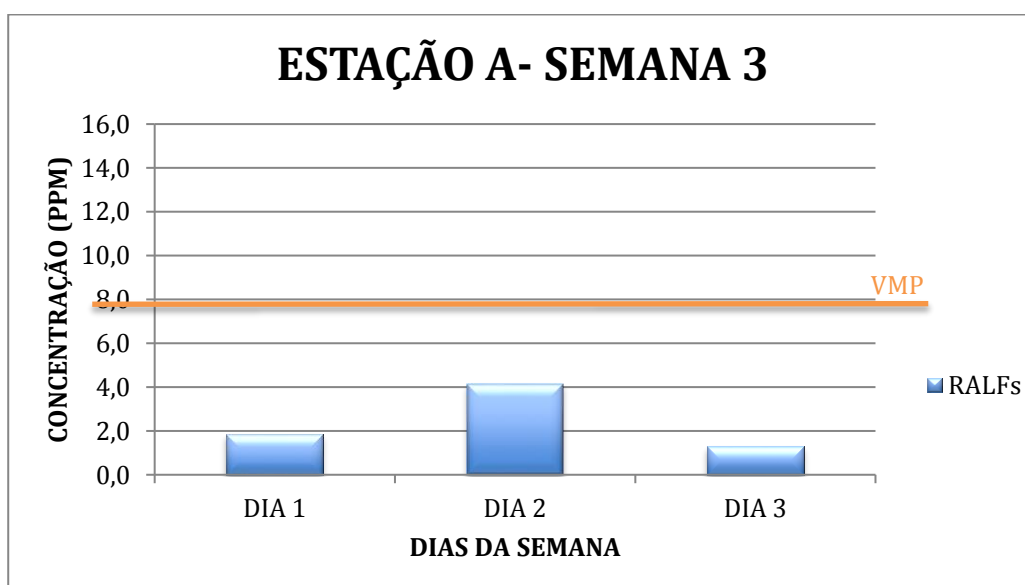


Figura 17: Médias de H<sub>2</sub>S na terceira semana na ETE A.

Como pode ser visto, novamente na semana 3 não foram encontrados valores acima do permitido para o sulfeto de hidrogênio na ETE A e portanto, para os operadores dessa estação de esgoto, em relação aos agentes químicos medidos, não há presença de atividade insalubre. Outra situação que pode ser considerada a esse fator, é devido ao fato da vazão de esgoto ser pequena se comparada as outras estações da empresa e, após levantamento junto ao gerente da empresa, a constatação do esgoto recebido pela estação ser bem diluído, o que contribui ainda mais para uma menor geração de gases.

#### 4.2.2 Concentrações da Estação B

A respeito da estação B, como visto anteriormente, a mesma possui maior capacidade volumétrica de recebimento de esgoto que a estação A e possui o mesmo tipo de tratamento. No entanto, a diferença é que os reatores anaeróbios são confinados, para evitar e minimizar a geração de gases. Novamente, destaca-se que o aparelho identificou somente o sulfeto de hidrogênio nas estruturas dos reatores anaeróbios. A Figura 18 ilustra as médias das concentrações encontradas na semana 01.

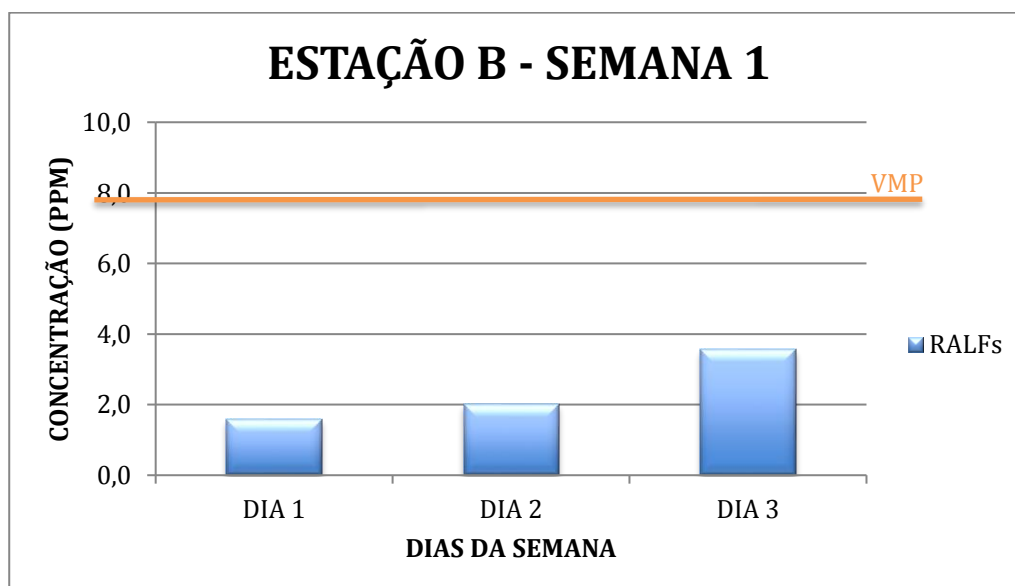


Figura 18: Médias de H<sub>2</sub>S na primeira semana na ETE B.

A partir dos valores encontrados na Estação B, nota-se que em nenhum dia foi encontrado concentrações acima do valor máximo permitido para o sulfeto de hidrogênio. Relevante dizer que, acima como observado na Estação A, o dia 3, o de maior geração de sulfeto

de hidrogênio da semana, estava com temperaturas mais elevadas do que em relação aos outros dias e portanto, novamente se constata essa relação direta de maior geração de sulfeto de hidrogênio com maiores temperaturas.

Na segunda semana de medições dos gases, as concentrações encontradas já foram maiores, como mostra a Figura 19.

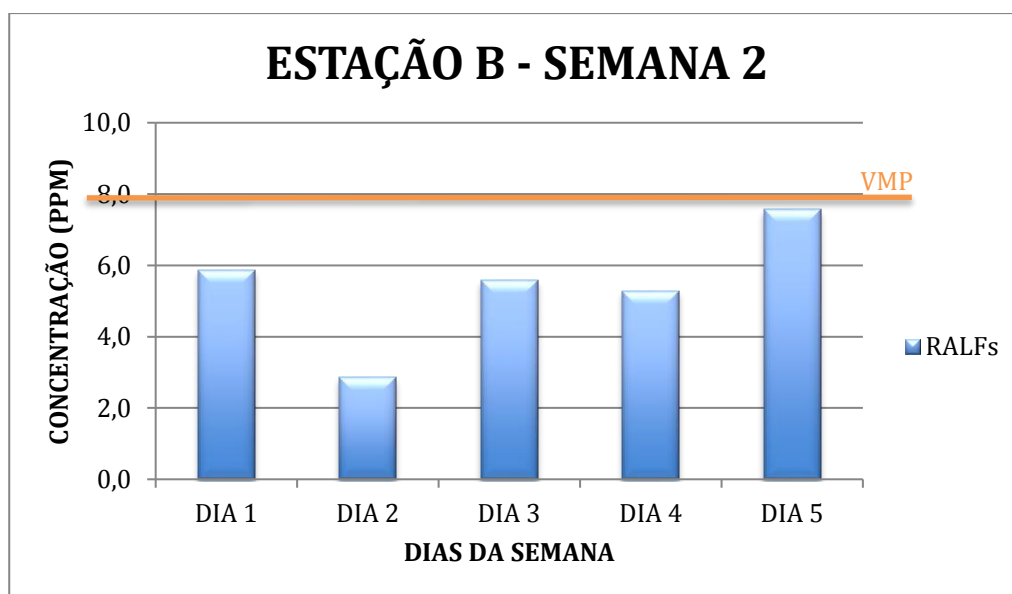


Figura 19: Médias de H<sub>2</sub>S na segunda semana na ETE B.

É possível observar que por mais que as concentrações encontradas, por mais que foram maiores que da semana anterior, ainda assim ficaram abaixo do valor máximo permitido para o sulfeto de hidrogênio, conforme a NR-15. É relevante destacar que as temperaturas dos dias dessa semana estavam bem elevadas, o que mostra novamente a relação da mesma com a geração do gás sulfídrico.

Além disso, observou-se também que no último dia da semana de medição, o dia 5, constatou-se que havia acabado o peróxido de hidrogênio líquido. Este elemento químico é utilizado pela empresa na saída do tratamento dos reatores anaeróbios para minimizar a geração de sulfeto de hidrogênio. Segundo Alves (2006), a utilização de peróxido de hidrogênio para combater a geração do gás sulfídrico tem se mostrado eficiente, visto que ele oxida os sulfetos tanto em soluções ácidas ou mais alcalinas, transformando-os em enxofre elementar, em óxidos de enxofre e água. Logo, conforme visto na Figura 19, essa é a possível explicação para a média das concentrações de sulfeto de hidrogênio no dia 5 da semana ter sido de 7,6 ppm, bem próxima do valor máximo permitido pela NR do Ministério do Trabalho.

Na terceira semana, a estação B recebeu o novo estoque de peróxido de hidrogênio

somente no terceiro dia de medição. As médias das concentrações encontradas, mostram que dois dos três dias de medição foram encontrados valores acima do permitido pela NR-15. A Figura 20 mostra as médias das concentrações da terceira semana de medição.

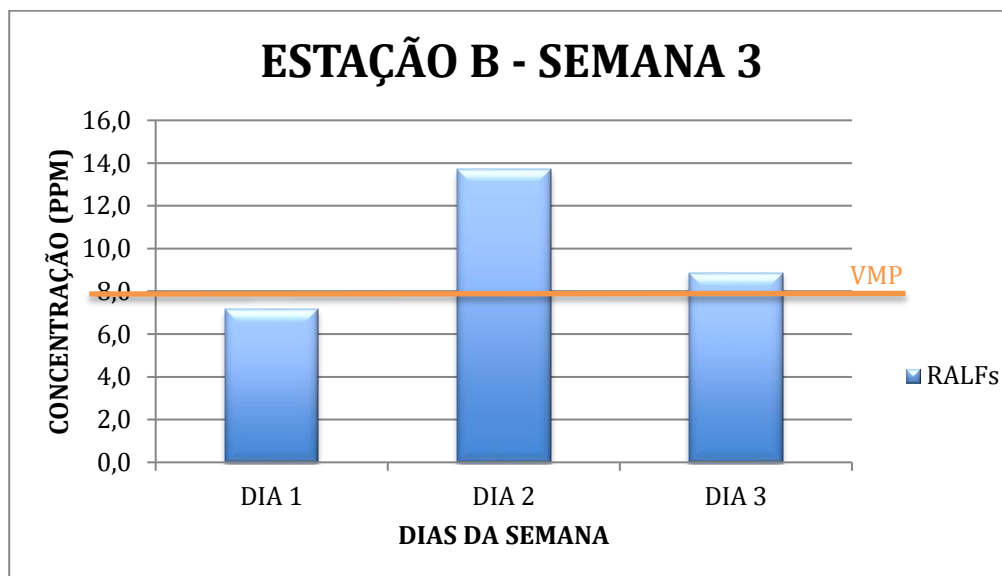


Figura 20: Médias de H<sub>2</sub>S na terceira semana na ETE B.

Portanto, fazendo uma média dos três dias da semana de medição, chega-se ao valor de 9,9 ppm que, por estar acima da média semanal acarreta situação de insalubridade pelo gás sulfídrico, necessitando tomar medidas de proteção para os operadores da estação.

#### 4.2.3 Concentrações da Estação C

Na maior estação avaliada, a estação C, os valores de concentração medidos mostram que principalmente esta necessita uma atenção especial. A Figura 21, mostra as médias das concentrações nos quatro pontos da estação em que foram detectados pelo aparelho multi-gases na primeira semana.

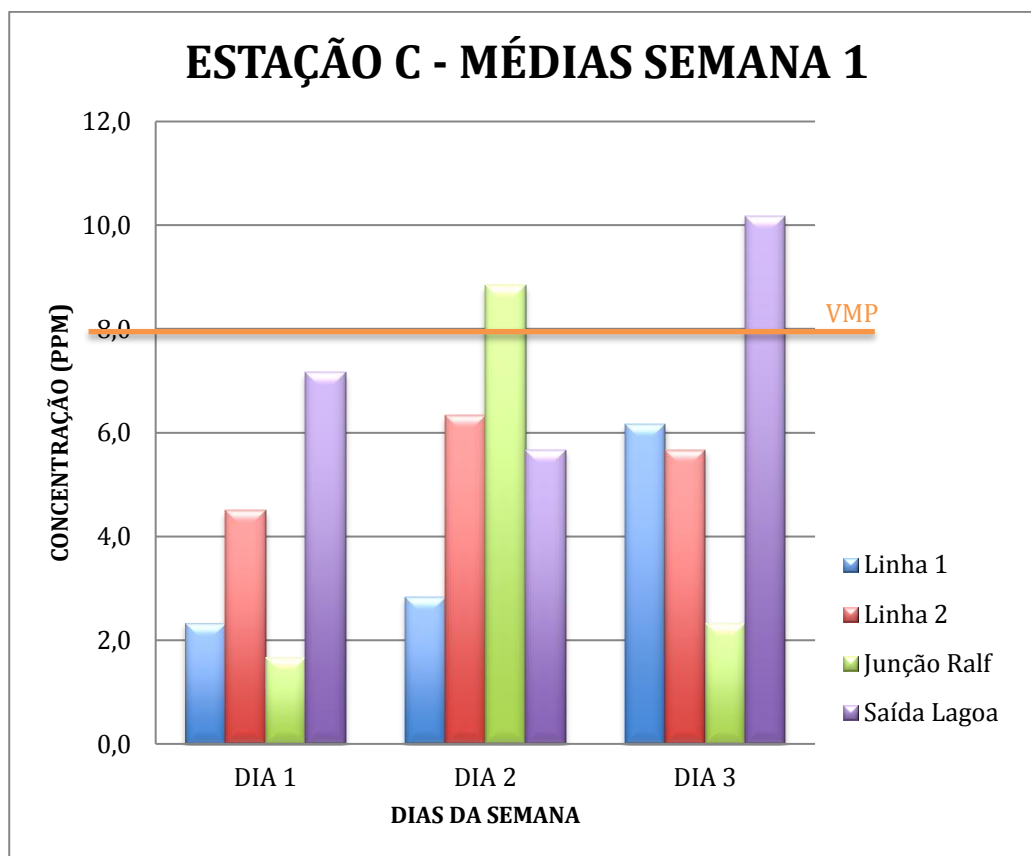


Figura 21: Médias de H<sub>2</sub>S na primeira semana na ETE C.

Conforme observado nos dados obtidos, as concentrações encontradas na junção da saída dos reatores anaeróbios e na saída do esgoto após o tratamento na lagoa facultativa foram acima do valor máximo permitido para o sulfeto de hidrogênio, o que caracterizaria como insalubridade. No entanto, se for realizada uma média semanal com os valores das médias diárias, conforme orientado pela NR-15, a média estaria inferior a 08ppm e, portanto, não seria uma atividade insalubre. Relevante dizer que nesses dois pontos, há um regime de cascadeamento do esgoto o que acaba por contribuir para a geração. De acordo com Vasconcellos (2009), em regime de turbulência, os sulfetos são facilmente desprendidos para a atmosfera, quando existe algum tipo de agitação no meio líquido.

Na segunda semana de medição, foram encontrados concentrações que mostram o quanto essa estação precisa de ações devido a insalubridade gerada pelo sulfeto de hidrogênio. A Figura 22 descreve as médias encontradas nos diferentes pontos da estação C.

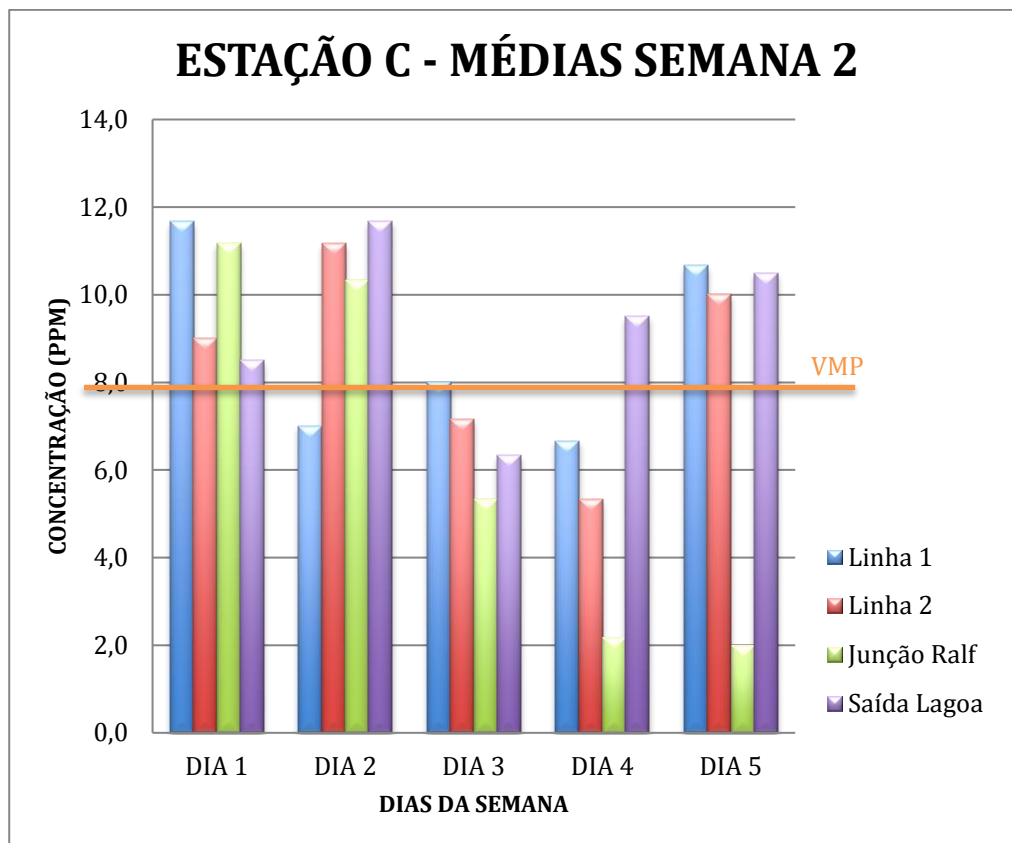


Figura 22: Médias de H<sub>2</sub>S na segunda semana na ETE C.

As concentrações encontradas na semana 2, mostram que foram encontrados valores acima do permitido pela NR-15 de sulfeto de hidrogênio para as linhas 1 e 2 dos reatores anaeróbios e para o local da saída da lagoa facultativa. Nesta semana, nos dois primeiros dias não havia mais peróxido de hidrogênio no estoque da estação para tratar o gás sulfídrico e, portanto, mostra o quanto isso influencia na formação do H<sub>2</sub>S, visto que no ponto da junção dos RALFs foi gerado concentrações acima do permitido semanalmente.

Além disso, o efeito do cascadeamento também contribui para os valores encontrados na saída da lagoa e para as linhas dos reatores anaeróbios, visto que isso ocorre nessas estruturas. Importante descrever como a temperatura também influencia na geração, pois essa semana teve dias bem abafados, com medições sendo realizados a temperaturas ambiente com até 28<sup>o</sup>C.

Por fim, a Figura 23 ilustra o gráfico com os valores encontrados em ppm para o sulfeto de hidrogênio na terceira semana de medição na Estação C.

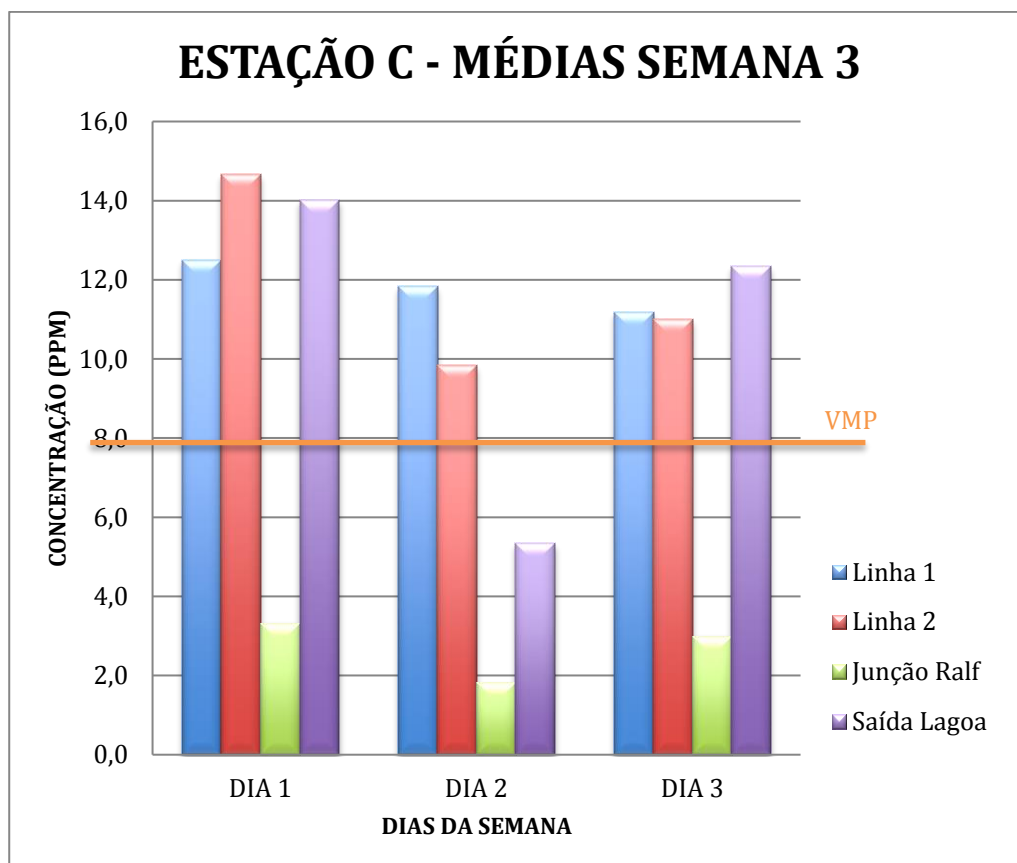


Figura 23: Médias de H<sub>2</sub>S na terceira semana na ETE C.

Considerando portanto as informações obtidas no gráfico da Figura 23, observa-se que, com exceção do ponto de junção dos reatores anaeróbios, os outros locais medidos apresentaram médias de concentração de gás sulfídrico acima do valor máximo permitido pela NR-15. Dessa maneira, isso caracteriza como atividade insalubre e medidas precisam ser adotadas para proteção dos operadores da estação de esgoto.

A respeito dos dias medidos, nota-se novamente o quanto o cascadeamento influencia no desprendimento do gás, visto que o local a saída do esgoto na lagoa facultativa apresentou concentrações altas. Além disso, sobre as concentrações encontradas nas linhas dos RALFs, a composição do esgoto, como descreve Leite e Pilotto (2010), influencia diretamente na geração do sulfeto de hidrogênio. Essa situação evidencia os resultados encontrados se comparados entre a Estação A e a C, visto que na primeira o esgoto é mais diluído, enquanto que a Estação C se localiza em uma área industrial, recebendo parcela significativa de efluentes dessas indústrias, tornando o esgoto mais concentrado.

Além disso, ainda em relação aos resultados encontrados na terceira semana na Estação C, notou-se que no primeiro dia foram identificados as maiores concentrações de gases pelo aparelho multi-gases. Destacar que nesse dia, medido no período da manhã, havia uma

forte neblina na estação e pouquíssimo vento, o que pode ser a explicação para a difícil dispersão dos gases gerados na estação de esgoto naquele momento.

Finalmente, descrever que foi detectado um Limite de Explosividade (L.E.L) para o gás metano de até 6% em alguns dias nos pontos de junção das linhas dos RALFs e nas linhas dos RALFs. Essa porcentagem de explosividade encontrada já requer atenção nas atividades, pois os operadores da estação precisam evitar fontes de calor nesses locais.

#### 4.3 INTERPRETAÇÕES IMPORTANTES DAS CONCENTRAÇÕES ENCONTRADAS

Ao analisar as concentrações encontradas e identificadas no capítulo anterior, notou-se que ocorreram concentrações de sulfeto de hidrogênio com média semanal superior ao VMP permitido pela NR-15 nas Estações B e C, o que caracteriza a atividade dos operadores da estação como insalubre. Os valores encontrados mostram que com a exposição prolongada, a sensibilidade oftálmica do operador pode ir diminuindo com o tempo, tornando o olfato imperfeito para a detecção do gás.

Além disso, observou-se que ocorrem variações na geração do gás sulfídrico dependem como foi visto, de condições climatológicas, operacionais e do tipo de tratamento adotado.

Assim, identificadas essas situações, seria importante que os operadores antes de realizarem suas atividades nesses locais utilizassem um aparelho multi-gás para que, uma vez que fossem nesses pontos da estação de esgoto e o equipamento detectasse concentrações consideradas elevadas, os mesmos se retirassem desses locais para colocarem o EPI adequado para a atividade.

Relevante destacar inicialmente que não foram detectados valores nos ambientes superiores a 16ppm de gás sulfídrico o que, segundo a norma, caracterizaria como uma atividade de risco grave e iminente, e a mesma teria que ser parada na hora.

De acordo com a empresa 3M, empresa global reconhecida na área de segurança do trabalho, considerando as concentrações detectadas pelo equipamento, um respirador semi-facial com pressão negativa com filtro de cor ocre (cor adotada para identificação do filtro indicado para gases de cor ácida), seria o adequado para proteger o operador da estação de esgoto em relação ao sulfeto de hidrogênio. A Figura 24 ilustra como é o desenho desse respirador.



Figura 24: Exemplo do respirador semi-facial indicado pela empresa 3M para o sulfeto de hidrogênio.

Fonte: Catálogo da 3M (2017)<sup>1</sup>.

Além disso, em relação a detecção de explosividade devido ao metano na Estação C, nas linhas de junção dos RALFs e das linhas dos reatores anaeróbios, o valor encontrado de 6% já torna o ambiente explosivo. Todavia, segundo a NR-15 em seu anexo 11, pelo fato do metano ser um asfixiante simples, a atividade dos operadores de esgoto seria considerado como de risco grave e iminente se a concentração do oxigênio mínima de oxigênio for inferior a 18%, o que não ocorreu. Mesmo assim, placas de perigo precisam ser ambientes para os operadores terem atenção na operação de suas atividades, evitando fontes de calor, visto que é comum que trabalhadores dessa área sejam fumantes. Uma sugestão de placa pode ser visualizado na Figura 25 abaixo.



Figura 25: Sugestão de placa de perigo para os ambientes com risco de explosividade.

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://www.brasoxnew.com.br/Respirador-Semifacial-3M-Linha-6000-Grande/prod-188716/>>. Acesso em: 25 de Abr. 2017.

Fonte: Catálogo Aqui tem Placas (2017)<sup>2</sup>

Finalmente e não menos importante, é fundamental a realização de treinamentos periódicos com os operadores alertando sobre os riscos químicos da estação e sobre a utilização e manutenção correta dos equipamentos de segurança individuais.

---

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://aquitemplacas.com.br/placa-perigo/364-1090-gas-explosivo-nao-fume.html>>. Acesso em: 25 de Abr. 2017.

## 5 CONCLUSÕES

A partir das medições realizadas com o aparelho multi-gases em três diferentes estações de tratamento de esgoto, é possível concluir que a Estação C, na qual utiliza o sistema de tratamento composto por reator anaeróbico com lagoa facultativa é o que mais gera sulfeto de hidrogênio para o ambiente e que acarreta maiores condições de insalubridade em relação as outras estações.

Observou-se também que embora o confinamento dos reatores anaeróbios diminua a dispersão do sulfeto de hidrogênio como visto na Estação B, condições climatológicas como temperatura, vento e características do esgoto recebido pela estação contribuem para a geração do gás. Notou-se que com temperaturas mais elevadas a geração do  $H_2S$  é maior.

Além disso, identificou-se o equipamento de proteção individual adequado para a atividade, conforme as médias das concentrações de sulfeto de hidrogênio identificadas. Um respirador semi-facial com pressão negativa de cor ocre (cor adotada para identificação do filtro indicado para gases de cor ácida) auxiliaria os operadores para minimizar a insalubridade provocada pelo sulfeto de hidrogênio.

Em relação ao monóxido de carbono, não foi identificadas concentrações nas três estações. Já para o metano, detectou-se na Estação C uma porcentagem de explosividade que requer atenção dos operadores para que se evitem fontes de calor nesse ambiente, como fumar.

Assim, esse trabalho mostrou que na operação de uma estação de tratamento de esgoto, além dos riscos biológicos que podem ser considerados como principal fator de insalubridade para os operadores da mesma, outros riscos, como os químicos avaliados nesse trabalho, precisam da mesma atenção e, se não puderem ser eliminados, ao menos que sejam minimizados para proteger a saúde do trabalhador.

Uma vez realizado esse trabalho, sugere-se para monografias futuras um trabalho para uma possível implementação de um programa de proteção respiratória para as estações de tratamento de esgoto da empresa objeto desse estudo.

## REFERÊNCIAS

ABREU, S.B.; ZAIAT, M. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.13, n.2, jun. 2008.

AISSE, M. et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de flotação**. In: Chericaro, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios. Belo Horizonte, 2001.

ALVES, V.P. **Remoção de sulfeto em uma estação de tratamento de efluentes de níquel por oxidação úmida**. 2006. 85 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

AROCA, G et al. *Comparison on the removal of hydrogen sulfide in biotrickling filters inoculated with Thiobacillus thioparus and Acidithiobacillus thiooxidans*. *Electronic Journal of Biotechnology*, Valparaíso, p. 514-520, 18 abr. 2007.

BODIK, I. et al. *Nitrogen removal in an anaerobic baffled filter reactor with aerobic post-treatment*. *Bioresource Technology*, v.86, p. 79-84, 2003.

BRASIL. Câmara dos Deputados (2003). Projeto de Lei nº 1144, de 29 de maio de 2003. Poder Executivo, Brasília, DF, 29 mai. 2003. Disponível em: <<http://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:camara.deputados:projeto.lei;pl:2003-05-29;1144>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

BRASIL. Ministério da Casa Civil(2007). Lei Federal nº 10.257, de 10 de Julho de 2001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 11 jul. 2007. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 20 dez. 2016.

BRASIL. Ministério da Casa Civil(2007). Lei Federal nº 11.445, de 05 de Janeiro de 2007. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 08 jan. 2007. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 20 dez. 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR - 09 – PPR. Manuais de Legislação Atlas. 77ª Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2016a.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR -15 – Atividades e operações insalubres. Manuais de Legislação Atlas. 77ª Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2016b.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Manuais de procedimentos para auditoria no setor saneamento básico. Brasília: MTE, 2002.

CASTANÓN, N.J.B. Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais. Material do Curso: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CHERNICARO, C.A. de L. Reatores anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. DESA/UFMG. Belo Horizonte – MG, v.5, 1997.

CIGR. *Aerial environment in animal housing: concentration in and emissions from farm buildings*. Dublin, 1994.

COSTA JUNIOR, M. A. F.; LIMA, S.F.V. Tratamento de Esgoto. **Caern**. 2014. Disponível em:  
<<http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=12037&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=>>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

COUTINHO, W. **Emprego da flotação a ar dissolvido no tratamento de cursos d'água**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SANEAMENTO. **Manual de saneamento – orientações técnicas**. Brasília: Ministério da Saúde, 2007, 409 p.

E.P.A. *Emergency first aid treatment guid for hydrogen sulfide*. 2001. Disponível em:  
<<http://www.epa.gov/swercepp/ehs/firstaid/7783064.txt>>. Acesso em: 25 fev. 2017.

FERNANDES, C. **Digestão Anaeróbia**. 2001. Disponível em:  
<<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/DigeAnae.html>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

FIOCRUZ. **Riscos Biológicos**. Disponível em  
<[http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab\\_virtual/riscos\\_quimicos.html](http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/riscos_quimicos.html)>. Acesso em: 20 fev. De 2017.

FIOCRUZ. **Riscos Químicos**. Disponível em  
<[http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab\\_virtual/riscos\\_quimicos.html](http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/riscos_quimicos.html)>. Acesso em: 20 fev. De 2017.

FISPQ. **Sulfeto de Hidrogênio**. Disponível em:

<<http://www.higieneocupacional.com.br/download/sulfeto-white.pdf>>. Acesso em: 26 de fev. 2017.

FISPQ. **Gás Metano**. Disponível em:

<<http://www.comgas.com.br/pt/gasNatural/conhecaGasNatural/Documents/documentos-composicao/FISPQ%20G%C3%81S%20NATURAL.pdf>>. Acesso em: 26 de fev. 2017.

FISPQ. **Monóxido de Carbono**. Disponível em:

<[http://www.praxair.it/sa/br/WMSEGPRO.NSF/43419c9f92323ddf83257a8c004a0d1e/0c5766dcb286343a83256b280044e035/\\$FILE/P4576.pdf](http://www.praxair.it/sa/br/WMSEGPRO.NSF/43419c9f92323ddf83257a8c004a0d1e/0c5766dcb286343a83256b280044e035/$FILE/P4576.pdf)>. Acesso em: 26 de fev. 2017.

GARCIA JR, O. **Estudos da biolixiviação de minérios de urânio por thiobacillus ferrooxidans**. 1989. 276 f. Tese (Doutor em Ciências) – Unicamp, Campinas, 1989.

GLORIA, R.M. **Estudo dos processos de formação, acumulação, emissão e oxidação de sulfeto de hidrogênio em reatores UASB tratando esgotos domésticos**. 2009. 65 f. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas Saneamento 2013: saneamento básico melhora em todas as regiões do país, mas diferenças ainda existem. Censo 2010. Disponível em:

<[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1998&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1998&id_pagina=1)>. Acesso em: 07 jan. 2017.

JORDÃO, C.; PESSÔA, E.P. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6 ed. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2011.

KELLNER, E.; PIRES, E.C. Lagos de estabilização. Rio de Janeiro: Editora ABES, 1998, 244 p.

LEITE, B.Z.; PILOTTO, J.S. Proposta para remoção de odor em biofiltro após cascadeamento do efluente de estações de tratamento de esgoto. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 32., 2010, Punta Cana. **Artigo...** Punta Cana: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), 2010.

LIMA, A.B.B.V. **Pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio em sistema sequencial constituído de ozonização em processo biológico aeróbio**. 2006. 99 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

LINS, Gustavo A. **Impactos ambientais em estações de tratamento de esgotos (ETEs)**. 2010. 286 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica e Escola

de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MACHADO, B. Sulfatogêneses na biodigestão anaeróbia. **Portal do biogás**. 2016. Disponível em: <<http://www.portaldobiogas.com/sulfatogenese-na-biodigestao-anaerobia/>>. Acesso em: 03 fev. 2017.

MILLS, B. *Reviem of methods of odour control: Filtration and separation*. Elsevier Science, Yardley, p. 147-152, 23 jun. 1998.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários**. Brasília, MMA, 2009.

OLIVEIRA, C. S. **Metodologia científica, planejamento e técnicas de pesquisa**: uma visão holística do conhecimento humano. São Paulo: Editora LTR, 2000.

PHILLIP JR, A.; MALHEIROS, T.F. **Saneamento e saúde pública**: integrando homem e meio ambiente. In: PHILLIP JR, A. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Editora Manole, 2005.

SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Tratando esgoto – ambiente legal**. Curitiba: Sanepar. 2012.

SÃO PAULO. IN: *Indicador de salubridade ambiental*. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. Manual Básico. São Paulo, Brasil, 37 p. 1999.

SILVA, M.B. *Influência do tipo de meio suporte no desempenho de biofiltros aplicados à remoção do H<sub>2</sub>S atmosférico em sistemas de esgoto sanitário*. 2008. 156 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFES, Vitória, 2008*.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2015). Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

TRIVELATO, G. da C. NR-15 Agentes químicos: aplicação e análise crítica. In: 22<sup>a</sup> JORNADA CIENTÍFICA DA AMIM, 2008, Belo Horizonte.

VASCONCELLOS, E.H. **Avaliação e modelagem do desprendimento de sulfeto de hidrogênio em ressaltos hidráulicos**. Curitiba, 2009. Trabalho de conclusão de curso – PUC-PR – Parceria com a APD – SANEPAR.

VENDRAME, A.C.F. **Agentes químicos: reconhecimento, avaliação e controle na higiene ocupacional**. São Paulo: Ed. do Autor, 2007.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgoto**. Vol. 2. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 211 p.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Vol. 1. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452 p.

**APÊNDICE A** – Concentrações e outros dados obtidos da Estação A

**Tabela 01** – Medições e dados da Estação A

ESTAÇÃO A											
RALFs	SEMANA 1			SEMANA 2					SEMANA 3		
DIAS	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11
Temperatura	23°C	30°C	26°C	22°C	24°C	23°C	22°C	20°C	24°C	20°C	24°C
Vento	no 11Km/h	ono 10Km/h	nne 5Km/h	ne 2Km/h	ono 21km/h	no 11Km/h	no 24 km/h	se 8km/h	no 5Km/h	nno 10Km/h	nno 14Km/h
T1	0,0	4,0	3,0	0,0	2,0	1,0	3,0	4,0	2,0	6,0	2,0
T2	0,0	4,0	3,0	0,0	2,0	2,0	2,0	5,0	2,0	7,0	2,0
T3	0,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	1,0
T4	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	4,0	2,0	3,0	1,0	3,0	1,0
T5	3,0	2,0	2,0	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	1,0	3,0	1,0
T6	2,0	3,0	3,0	3,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	3,0	1,0
T7	2,0	2,0	2,0	3,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	1,0
M. DIA	1,3	2,7	2,3	1,6	1,7	2,3	2,0	3,1	1,9	4,1	1,3
M. SEMANAL	2,1			2,1					2,4		

**APÊNDICE B – Concentrações e outros dados obtidos da Estação B**

**Tabela 01 – Medições e dados da Estação B**

<b>ESTAÇÃO B</b>											
<b>RALFs</b>	<b>SEMANA 1</b>			<b>SEMANA 2</b>					<b>SEMANA 3</b>		
<b>DIAS</b>	<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>	<b>DIA 4</b>	<b>DIA 5</b>	<b>DIA 6</b>	<b>DIA 7</b>	<b>DIA 8</b>	<b>DIA 9</b>	<b>DIA 10</b>	<b>DIA 11</b>
Temperatura	26°C	26°C	22°C	24°C	23°C	24°C	22°C	22°C	23°C	22°C	22°C
Vento	no 5Km/h	n 8Km/h	ne 8Km/h	L 16Km/h	nno 11Km/h	no 8km/h	se 18Km/h	sse 14Km/h	n 5Km/h	nno 11Km/h	nno 16Km/h
T1	1,0	1,0	1,0	5,0	4,0	6,0	6,0	8,0	8,0	9,0	7,0
T2	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	7,0	6,0	10,0	10,0	13,0	6,0
T3	1,0	2,0	7,0	7,0	3,0	6,0	7,0	7,0	7,0	11,0	13,0
T4	2,0	3,0	4,0	7,0	3,0	6,0	4,0	7,0	7,0	16,0	9,0
T5	1,0	2,0	3,0	6,0	2,0	5,0	6,0	5,0	9,0	14,0	9,0
T6	2,0	2,0	6,0	6,0	3,0	4,0	4,0	9,0	5,0	17,0	10,0
T7	2,0	2,0	2,0	7,0	2,0	5,0	4,0	7,0	4,0	16,0	8,0
M. DIA	1,6	2,0	3,6	5,9	2,9	5,6	5,3	7,6	7,1	13,7	8,9
M. SEMANAL	2,4			5,4					9,9		

## APÊNDICE C – Concentrações e outros dados obtidos da Estação C

Os valores de temperatura e velocidade do vento estão descritos no começo da tabela e são os mesmos para os outros pontos de medição, visto que era a mesma estação de esgoto.

ESTAÇÃO C											
Linha 1	SEMANA 1			SEMANA 2					SEMANA 3		
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11
Temperatura	29°C	25°C	17°C	26°C	21°C	27°C	20°C	25°C	23°C	26°C	22°C
Vento	O 21Km/h	N 8Km/h	sse 5Km/h	ne 10Km/h	N 10Km/h	so 14Km/h	se 13Km/h	ne 10Km/h	ne 3Km/h	no 18Km/h	no 19Km/h
T1	2,0	3,0	3,0	9,0	5,0	11,0	6,0	7,0	10,0	13,0	12,0
T2	2,0	3,0	2,0	12,0	6,0	9,0	6,0	9,0	8,0	11,0	14,0
T3	3,0	7,0	6,0	14,0	9,0	6,0	9,0	12,0	12,0	13,0	13,0
T4	2,0	2,0	9,0	10,0	8,0	6,0	8,0	10,0	9,0	9,0	10,0
T5	2,0	1,0	8,0	14,0	7,0	8,0	5,0	13,0	16,0	12,0	8,0
T6	3,0	1,0	9,0	11,0	7,0	8,0	6,0	13,0	20,0	13,0	10,0
M. DIA	2,3	2,8	6,2	11,7	7,0	8,0	6,7	10,7	12,5	11,8	11,2
M. SEMANAL	3,8			8,8					11,8		
Linha 2	SEMANA 1			SEMANA 2					SEMANA 3		
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11
T1	4,0	6,0	7,0	8,0	12,0	6,0	5,0	9,0	16,0	12,0	13,0
T2	5,0	7,0	6,0	10,0	10,0	4,0	4,0	11,0	15,0	16,0	12,0
T3	4,0	8,0	5,0	11,0	13,0	8,0	6,0	10,0	14,0	8,0	9,0
T4	5,0	5,0	6,0	9,0	11,0	10,0	6,0	10,0	12,0	6,0	9,0
T5	5,0	6,0	6,0	8,0	10,0	7,0	7,0	11,0	14,0	8,0	11,0
T6	4,0	6,0	4,0	8,0	11,0	8,0	4,0	9,0	17,0	9,0	12,0
M. DIA	4,5	6,3	5,7	9,0	11,2	7,2	5,3	10,0	14,7	9,8	11,0
M. SEMANAL	5,5			8,5					11,8		
Junção Ralf	SEMANA 1			SEMANA 2					SEMANA 3		
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11
T1	2,0	12,0	3,0	18,0	10,0	4,0	3,0	2,0	4,0	2,0	6,0
T2	2,0	10,0	2,0	10,0	8,0	3,0	4,0	2,0	5,0	2,0	4,0
T3	2,0	10,0	3,0	10,0	13,0	8,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0
T4	2,0	8,0	2,0	10,0	11,0	7,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0
T5	1,0	5,0	2,0	9,0	10,0	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
T6	1,0	8,0	2,0	10,0	10,0	6,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0
M. DIA	1,7	8,8	2,3	11,2	10,3	5,3	2,2	2,0	3,3	1,8	3,0
M. SEMANAL	4,3			6,2					2,7		
Saida Lagoa	SEMANA 1			SEMANA 2					SEMANA 3		
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11
T1	6,0	7,0	12,0	7,0	15,0	5,0	7,0	12,0	13,0	6,0	16,0
T2	7,0	6,0	9,0	8,0	12,0	6,0	9,0	14,0	11,0	6,0	12,0
T3	8,0	5,0	10,0	13,0	10,0	6,0	9,0	10,0	18,0	4,0	11,0
T4	8,0	3,0	9,0	9,0	12,0	7,0	8,0	13,0	14,0	5,0	11,0
T5	6,0	5,0	12,0	6,0	9,0	8,0	12,0	8,0	16,0	6,0	14,0
T6	8,0	8,0	9,0	8,0	12,0	6,0	12,0	6,0	12,0	5,0	10,0
M. DIA	7,2	5,7	10,2	8,5	11,7	6,3	9,5	10,5	14,0	5,3	12,3
M. SEMANAL	7,7			9,3					10,6		

## APÊNDICE D: Certificado de Calibração do Aparelho Multi-Gases

 <b>CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO</b> Nº CERTIFICADO: 1577/2016		CNPJ: 18.121.153/0001-18    UNIDADE: MONTE CARLOS    INSC. EST.: 0646309-14		
		RUA: ADEMAR SAAD, 496 - PORTO DAS LARANJEIRAS - CEP: 86703-280 - ABAUCÁRIA - PARANÁ TEL/FAX: 41 3352-1474    E-MAIL: CALIBRA@CALIBRASUL.COM.BR    WWW.CALIBRASUL.COM.BR		
<b>1-INSTRUMENTO CALIBRADO</b>				
CLIENTE: THALES SCHWANKA TREVISAN,				
CPF: 085.654.389-61,		CIDADE: Quatro Barras.		
ENDEREÇO: Av. 25 de Janeiro Nº 13 Condomínio Postada,		ESTADO: PR.		
FABRICANTE: BW Technologies,		TAG: AI-30L.		
MODELO: Gas Alert Micro C3p XL.		Nº SÉRIE: KA415-1021286.		
GAS MONITORADO: H <sub>2</sub> S / CO / L.E.L. / O <sub>2</sub> .				
<b>2- CONDIÇÕES AMBIENTAIS</b>				
TEMPERATURA: 20°C		URR: 70%		
<b>3-PADRÃO UTILIZADO</b>				
Mistura Padrão Primário				
DESCRIÇÃO	CERTIFICADO POR	LOTE	PRECISÃO	VALIDADE
Sulfito de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S) 25 ppm	CALGAZ	S116799 - 15	+/- 3%	07/06/2018
Monóxido de Carbono (CO) 50 ppm	CALGAZ	S116799 - 15	+/- 3%	07/06/2018
Combustível (50% L.E.L.) 2.5% CH <sub>4</sub>	CALGAZ	S116799 - 15	+/- 2%	07/06/2018
Oxigênio (O <sub>2</sub> ) 12,00%	CALGAZ	S116799 - 15	+/- 2%	07/06/2018
<b>4- RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO.</b>				
Sensor	Gás Aplicado	Leitura antes da Calibração	Leitura após a Calibração	
H <sub>2</sub> S	Sulfito de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S) 25 ppm	25 ppm	25 ppm	
CO	Monóxido de Carbono (CO) 50 ppm	50 ppm	50 ppm	
L.E.L.	Combustível (50% L.E.L.) 2.5% CH <sub>4</sub>	50 % L.E.L.	50% L.E.L.	
O <sub>2</sub>	Oxigênio (O <sub>2</sub> ) 12,00%	12,00%	12,00%	
<b>5-INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES E OBSERVAÇÕES</b>				
Realizado limpeza e calibração.				
Certificado valido somente durante o periodo de locação.				
<b>6-EXECUTANTES</b>				
 <b>Renny Carlos Stacki.</b> CREA: PR-9332MTD <b>TÉCNICO EXECUTANTE</b>		 <b>Victor Michel.</b> <b>RESPONSÁVEL</b>		
DATA DE ENTREGA: 09/01/2017		DATA DO CERTIFICADO: 15/12/2016		
Este certificado é válido exclusivamente para o objeto descrito, não sendo extensivo a lotes, mesmo que similar. Não é permitido a reprodução do mesmo, válido somente original.				
Pág. 1/1.				