

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

GESTÃO DOS RISCOS OCUPACIONAIS NO MANEJO DO
LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS E A
NBR ISO 31000

ALYSSON ROGERIO DA SILVA

SÃO CARLOS - SP
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**GESTÃO DOS RISCOS OCUPACIONAIS NO MANEJO DO
LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS E A
NBR ISO 31000**

ALYSSON ROGERIO DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof.^a Dr.^a Cali Laguna Achon

SÃO CARLOS - SP
2019

*Dedico este trabalho à minha
amada esposa Larissa e meu
querido filho Max.*

AGRADECIMENTO

Agradeço a minha esposa Larissa, companheira que está sempre me apoiando e torcendo pelo meu sucesso. Minha grande parceira no maior projeto de nossas vidas. Certamente minhas conquistas não ocorreriam sem ela ao meu lado.

Ao meu amado filho Max, que me ensina a cada dia o significado verdadeiro das palavras realização, felicidade e amor.

Aos meus pais Mercília e Alenoar, por terem sido excelentes exemplos, educadores e incentivadores. São minhas maiores referências em educação, amor, paciência, confiança e apoio. Sempre me motivaram, entenderam as minhas faltas e momentos de afastamento e me mostraram o quanto era importante estudar, mesmo não tendo eles a mesma oportunidade no passado.

A professora, orientadora e amiga Cali Laguna Achon, que acreditou e apostou nesta pesquisa, contribuindo com seus conhecimentos, orientação e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao corpo docente do PPGEU/UFSCar que contribuiu para meu desenvolvimento pessoal e profissional, mostrando a importância de uma visão crítica e responsável. Em especial à coordenação do Programa.

Aos amigos e colegas de mestrado pelo companheirismo e torcida.

A todos meus familiares, amigos e colegas que me incentivaram e apoiaram em todos os momentos enfrentados nesta jornada.

“A verdade que torna os homens livres é, na maioria dos casos, a verdade que os homens preferem não ouvir”.

Helbert Sebastian Agar

RESUMO

As ETEs desempenham papel crucial na manutenção da saúde da população, pois tratam os esgotos domésticos e devolvem efluente líquido tratado aos corpos d'água. Porém, geram quantidade considerável de lodo de esgoto (LETE), e este resíduo sólido deve ser destinado, através de recuperação, reúso ou reciclagem, ou ainda, disposto como rejeito em aterro, quando todas as possibilidades de destinação forem esgotadas, conforme previsto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Os custos relacionados ao manejo do LETE podem representar 60% dos custos operacionais de um ETE. Além disso, o LETE pode ser prejudicial à saúde humana e os trabalhadores que atuam direta ou indiretamente no seu manejo estão expostos a diversos riscos ocupacionais. Esta pesquisa tem como objetivo analisar a relação entre o manejo do LETE e os riscos ocupacionais associados, através de uma proposta de gestão de riscos, baseada na NBR ISO 31000, que aplicam métodos de identificação, análise, avaliação e controle dos riscos ocupacionais em duas ETEs de médio porte do interior paulista que utilizam tecnologias diferentes, lodos ativados convencionais e reatores anaeróbios UASB. Dentre os principais riscos ocupacionais avaliados, foram considerados críticos a exposição a microrganismos patogênicos dispersos no ar e no contato direto acidental, além do risco de acionamentos acidentais de equipamentos durante a manutenção. Percebe-se que ainda há muita resistência tanto dos trabalhadores quanto dos empregadores em relação à saúde e segurança do trabalho. Muito se deve a fatores culturais e sociais, e, portanto, sempre haverá a necessidade da atualização dos instrumentos legais e intensificação da fiscalização. Além disso, é necessário promover, de forma frequente, a conscientização dos trabalhadores e, principalmente, dos empregadores, discutindo o papel dos gestores dos serviços de saneamento básico, em especial no tratamento de esgotos, no processo de desenvolvimento de cultura de segurança do trabalho nas empresas.

Palavras-chave: Manejo do LETE, Lodo de Esgoto, Gestão de Riscos Ocupacionais, Saúde e Segurança do Trabalho, NBR ISO 31000.

ABSTRACT

The wastewater treatment plants (WWTP) performance a crucial role in maintaining the health of the population by treating domestic sewage and returning treated effluent to the water sources. However, generate a considerable amount of sewage sludge and this solid waste must be destined, through recovery, reuse or recycling, or disposed as waste in landfill, when all destination possibilities are exhausted, as provided by National Policy on Solid Waste. The costs related to the management of sewage sludge can represent 60% of the operational costs of the WWTP. In addition, sewage sludge can be dangerous to human health and workers who act directly or indirectly in their management are exposed to various occupational risks. This research objects to analyses the relationship between the sewage sludge management and their occupational risks, through a risk management proposal, based on ISO 31000, which apply methods of identification, analysis, assessment and control of occupational risks in two medium-sized WWTP in the interior of São Paulo state, using different technologies, conventional activated sludge and UASB anaerobic reactors. Among the main occupational risks assessed, were considered critical the exposure to pathogenic microorganisms dispersed in the air and in direct accidental contact, and the risk of accidental drives of equipment during maintenance. It can be seen that there is still a lot of resistance both from employees and from employers about health and safety at work. Much is due to cultural and social factors, and therefore, there will always be a need to update legal instruments and intensify surveillance. In addition, it is necessary to promote, on a frequent basis, the awareness of employees and, especially, of employers, discussing the role of managers of basic sanitation services, especially in the treatment of sewage, in the process of development of work safety culture in the companies.

Key words: Sewage Sludge Management, Sewage Sludge, Occupational Risk Management, Health and Safety, ISO 31000.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Evolução do número de publicações por ano	25
Figura 3.2 - Publicações por país sobre manejo do LETE (Busca C)	26
Figura 3.3 - Publicações por país sobre gestão de riscos ocupacionais (Busca F)...	26
Figura 3.4 - Citações por país sobre manejo do LETE (Busca C).....	27
Figura 3.5 - Citações por país sobre gestão de riscos ocupacionais (Busca F)	28
Figura 3.6 - Colaboração entre países no manejo do LETE (Busca C).....	28
Figura 3.7 - Colaboração entre países na gestão de riscos ocupacionais (Busca F)	29
Figura 4.1 - Ilustração do sistema urbano de saneamento básico	33
Figura 4.2 - Esquema representativo de lagoas de estabilização	37
Figura 4.3 - Detalhe do tratamento secundário (lodos ativados convencional)	39
Figura 4.4 - Representação esquemática de reator UASB	40
Figura 4.5 - Destinação do LETE em 32 ETE no estado de São Paulo	50
Figura 4.6 - Disposição Final do LETE em 32 ETE no estado de São Paulo	51
Figura 4.7 - Remoção manual de LETE em lagoa anaeróbia em Vitória, ES.....	55
Figura 4.8 - Remoção de LETE por sucção.	56
Figura 4.9 - Métodos de desaguamento de LETE.....	59
Figura 4.10 - Métodos de secagem de LETE	59
Figura 4.11 - Conceito do sistema <i>Sludge2Energy</i>	62
Figura 4.12 - Processo de gestão de riscos	69
Figura 4.13 - Exemplo de mapa de risco de um refeitório	72
Figura 4.14 - Exemplo de árvore de falhas	79
Figura 4.15 - Exemplo de árvore de eventos	80
Figura 4.16 - Composição das normas ISO em 2016	82
Figura 5.1 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	87
Figura 5.2 - Métodos utilizados para a gestão de riscos	89
Figura 5.3 - Fluxograma para Determinação do Nível de Risco.....	91
Figura 6.1 - Imagem aérea da ETE 1	96
Figura 6.2 - Reator aeróbio da ETE 1	97
Figura 6.3 - Centrífuga e tubulação de LETE desidratado	98
Figura 6.4 - Armazenamento de LETE desidratado em silo vertical.....	98
Figura 6.5 - Etapas do tratamento de esgotos da ETE 1	99

Figura 6.6 – Manejo do LETE e possíveis locais de exposição da ETE 1.....	100
Figura 6.7 - Vista parcial da ETE 2.....	101
Figura 6.8 - Reatores UASB da ETE 2.....	103
Figura 6.9 - Sistema lateral de remoção do LETE dos reatores UASB.....	103
Figura 6.10 - Raspadores e canaletas para remoção do LETE no Flotador	104
Figura 6.11 - Centrífuga da ETE 2	105
Figura 6.12 - Sistema de carregamento mecanizado de caçambas.....	105
Figura 6.13 - Etapas do tratamento da ETE 2.....	106
Figura 6.14 – Manejo do LETE e possíveis locais de exposição da ETE 2.....	107
Figura 6.15 - Processo genérico de manejo do LETE.....	109
Figura 6.16 - Fluxograma do manejo do LETE na ETE 1.....	110
Figura 6.17 - Local de coleta de amostras do LETE desaguado na ETE 1	111
Figura 6.18 - Fluxograma do manejo do LETE na ETE 2.....	113
Figura 6.19 - Sistema de remoção do LETE dos reatores UASB na ETE 2.....	114
Figura 6.20 - Sistema de transporte e armazenamento do LETE na ETE 2	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Resultados da coleta de dados	24
Tabela 3.2 - Informações gerais sobre os dados	25
Tabela 3.3 - Fontes de publicações sobre manejo do LETE (Busca C)	30
Tabela 3.4 - Fontes de publicações sobre gestão de riscos ocupacionais (Busca F)30	
Tabela 4.1 - Eficiência de remoção de cada etapa de tratamento	36
Tabela 4.2 - Caracterização química de LETE de diferentes ETE	44
Tabela 4.3 - Composição físico-química do LETE gerado em diferentes sistemas...46	
Tabela 4.4 - Quantidade de LETE gerado nos sistemas de tratamento	47
Tabela 5.1 - Parâmetros de probabilidade.	91
Tabela 5.2 - Parâmetros de consequência.....	91
Tabela 5.3 - Matriz de probabilidade x consequência.	92
Tabela 5.4 - Parâmetros de controle.	94
Tabela 6.1 – Comparação de Parâmetros das ETEs Visitadas.....	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Termos utilizados na coleta de dados	23
Quadro 4.1 - Origem dos lodos gerados nas ETE.....	45
Quadro 4.2 - Principais microrganismos encontrados no LETE	46
Quadro 4.3 - Principais estratégias para reciclagem de LETE	52
Quadro 4.4 - Ordem cronológica dos principais avanços legais da SSO no Brasil ...	64
Quadro 4.5 - Normas regulamentadoras (NR) brasileiras	65
Quadro 4.6 - Aplicabilidade das técnicas para gestão de riscos	75
Quadro 4.7 - Exemplo de matriz de probabilidade e consequência	80
Quadro 4.8 - Classificação dos riscos ocupacionais	84
Quadro 5.1 - Modelo de APR utilizado para a identificação de riscos.....	90
Quadro 5.2 - APR com a avaliação de riscos.....	92
Quadro 5.3 - Avaliação e controle de riscos.....	93
Quadro 6.1 - Principais riscos ocupacionais identificados.....	116
Quadro 6.2 - Análise preliminar de riscos no manejo do LETE	118
Quadro 6.3 - Avaliação dos riscos no manejo do LETE na ETE 1	120
Quadro 6.4 - Avaliação dos riscos no manejo do LETE na ETE 2	121
Quadro 6.5 - Propostas para controle dos riscos	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AAE	Análise de Árvore de Eventos
AAF	Análise de Árvore de Falhas
AET	Análise Ergonômica do Trabalho
APPCC	Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle
APR	Análise Preliminar de Riscos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
CNAE	Código Nacional de Atividade Econômica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FMEA	Análise de Modos de Falha e Efeito
GEE	Gases de Efeito Estufa
HAZOP	<i>Hazard and Operability Studies</i> - Estudo de Perigos e Operabilidade
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	<i>Internacional Organization for Standardization</i>
LETE	Lodo Gerado em Estação de Tratamento de Esgoto
MPT	Ministério Público do Trabalho
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAC	Poli Cloreto de Alumínio
PCC	Pontos Críticos de Controle
PDCA	Ciclo de Melhoria Contínua - <i>Plan, Do, Check, Action</i>

pH	Potencial hidrogeniônico
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PPGEU	Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SESMT	Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SF	Sólidos Fixos
SPE	Substâncias Poliméricas Extracelulares
SRA	<i>Society for Risk Analysis</i>
SINS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SSO	Saúde e Segurança Ocupacional
SST	Saúde e Segurança do Trabalho
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
UASB	<i>Up Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor</i>
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo Geral.....	21
2.2. Objetivos Específicos.....	21
3. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	22
3.1. Coleta de Dados	23
3.2. Análise Bibliométrica.....	24
3.2.1. Contribuição por Países	26
3.2.2. Distribuição por Fontes e Palavras Chaves.....	30
3.3. Limitações da Análise	31
3.4. Considerações Finais	31
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
4.1. Tratamento de Esgoto	32
4.1.1. Tipos de Tratamento	35
4.1.1.1. Lagoas de Estabilização	36
4.1.1.2. Lodos Ativados	38
4.1.1.3. Tratamento Anaeróbio	40
4.1.2. Cenário Brasileiro do Tratamento de Esgoto.....	41
4.1.3. Economia Circular no Tratamento de Esgoto.....	42
4.2. Lodo de ETE.....	43
4.2.1. LETE Aeróbio	47
4.2.2. LETE Anaeróbio	48
4.2.3. Aspectos Legais sobre o LETE	48
4.2.4. Destinação, Aproveitamento e Disposição Final do LETE	49
4.3. Manejo do LETE	53
4.3.1. Manejo Primário do LETE	55
4.3.1.1. Remoção	55
4.3.1.2. Adensamento.....	56
4.3.1.3. Estabilização.....	57
4.3.1.4. Condicionamento	57
4.3.1.5. Desaguamento.....	58

4.3.2. Manejo Secundário do LETE.....	59
4.3.2.1. Tratamentos Térmicos e Secagem	59
4.3.2.2. Compostagem.....	60
4.3.3. Manejo Final do LETE	61
4.3.3.1. Construção Civil.....	61
4.3.3.2. Geração e Cogeração de Energia	61
4.3.3.3. Tecnologias Futuras	62
4.4. Saúde e Segurança Ocupacional	63
4.4.1. Aspectos Legais	64
4.5. Avaliação e Gestão de Riscos	67
4.5.1. Processo de Gestão de Riscos	69
4.5.1.1. Identificação de Riscos	71
4.5.1.2. Análise de Riscos	73
4.5.1.3. Avaliação de Riscos.....	74
4.5.2. Técnicas para Gestão de Riscos.....	75
4.5.2.1. Listas de Verificação.....	76
4.5.2.2. Análise Preliminar de Perigos e Riscos (APR).....	76
4.5.2.3. Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP).....	76
4.5.2.4. Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle (APPCC)	77
4.5.2.5. Técnica Delphi	77
4.5.2.6. Entrevistas	78
4.5.2.7. Brainstorming.....	78
4.5.2.8. Análise de Árvore de Falhas (AAF).....	79
4.5.2.9. Análise de Árvore de Eventos (AAE)	79
4.5.2.10. Índice de Risco	80
4.5.2.11. Matriz de Probabilidade e Consequência	80
4.5.3. Sistemas de Gestão de Riscos	81
4.5.3.1. International Organization for Standardization (ISO)	81
4.5.4. Riscos Ocupacionais.....	83
4.6. Análise Crítica da Revisão Bibliográfica	85
5. METODOLOGIA.....	87
5.1. Procedimentos Metodológicos.....	87
5.2. Métodos Utilizados	88
5.2.1. Identificação de Riscos	89

5.2.2. Análise e Avaliação de Riscos	90
5.2.3. Tratamento dos Riscos e Monitoramento das Ações	93
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
6.1. Descrição das ETEs Visitadas	95
6.1.1. ETE 1 – Lodos Ativados Convencionais	95
6.1.2. ETE 2 – Reatores Anaeróbios UASB	101
6.2. Comparação entre as ETEs Visitadas	108
6.3. Visão Sistêmica do Manejo do LETE	109
6.3.1. Manejo do LETE na ETE 1 – Lodos Ativados	110
6.3.2. Manejo do LETE na ETE 2 – Reatores Anaeróbios	112
6.4. Gestão dos Riscos	116
6.4.1. Identificação dos Riscos	116
6.4.2. Análise e Avaliação dos Riscos	119
6.4.2.1. Riscos Críticos	122
6.4.2.2. Riscos Parcialmente Mitigados	123
6.4.2.3. Riscos Mitigados	125
6.4.3. Tratamento dos Riscos e Monitoramento das Ações	125
6.5. Limitações dos Resultados	127
7. CONCLUSÕES	128
8. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES	130
REFERÊNCIAS	131

1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento populacional nas áreas urbanas no país nas últimas décadas, a demanda por serviços de saneamento básico cresceu no Brasil. Além de se tratar de direito fundamental do indivíduo e da coletividade, assegurado pela Constituição Federal de 1988, o saneamento básico é considerado um serviço público essencial. É regulamentado e definido pela Lei 11.445/2007 como conjunto dos serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais. Tais sistemas são interligados, complementares e deveriam ser geridos de forma integrada, pois se algum dos sistemas for administrado de forma inadequada os demais também ficam comprometidos, afetando diretamente a saúde pública, preservação do meio ambiente e qualidade de vida.

Pode-se afirmar que o objetivo do esgotamento sanitário é coletar e transportar o esgoto sanitário gerado na área urbana até o local de tratamento, chamado de estação de tratamento de esgoto (ETE). Na ETE o esgoto deve ser tratado e o efluente líquido lançado em cursos d'água ou reaproveitado para outras finalidades. Porém, os dados demonstram um cenário deficitário e alarmante no país com relação a coleta e tratamento de esgoto. Pouco mais da metade da população brasileira tem acesso à coleta de esgoto e, menos da metade deste esgoto coletado é tratado.

Existem diversas tipologias e tecnologias para o tratamento do esgoto e, conseqüentemente, diversos problemas relacionados, como por exemplo: falta de manutenção adequada, deficiências de controle e monitoramento do processo, escolha inadequada da tecnologia utilizada, falta de interesse em promover a melhoria contínua e ineficiência de determinadas etapas do processo. Todos esses problemas podem ser maximizados quando não há gestão adequada, pautada em ciência e tecnologia. Além disso, a falta de visão sistêmica do processo e o desinteresse dos gestores podem contribuir negativamente nos âmbitos ambiental e social. Outro grave problema ocorre quando o tratamento dos resíduos gerados, em especial, do lodo gerado na ETE (LETE), é negligenciado, mal planejado ou gerido.

O LETE é o principal resíduo sólido gerado nas ETEs, e pode representar de 1 a 3% do volume total de esgoto tratado. Se apresenta, inicialmente, em forma semissólida, fluida ou pastosa, e possui teor médio de umidade de 98%, o que representa, em média, 2% de sólidos totais, dos quais 70 a 80% são constituídos de

matéria orgânica. Ainda assim, seu manejo é complexo e tem custo elevado, podendo representar até 60% do total de custos operacionais de uma ETE.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) tornou, a partir de 2014, ilegal a prática ainda comum, de dispor o LETE em aterros sanitários, exceto quando todas as possibilidades de tratamento e recuperação possíveis e tecnicamente viáveis para este resíduo se esgotarem.

Considerando que, aproximadamente, três quartos (3/4) da população brasileiras não possui esgoto tratado e que há uma maior pressão legal, existe uma tendência evidente de aumento na geração de LETE nos próximos anos, e o manejo deste material se tornará cada vez mais importante.

O principal objetivo do manejo do LETE é gerar produto mais estável, com menor volume para facilitar seu manejo e economizar nos processos subsequentes, além de buscar destinações adequadas para esse resíduo. Ressalta-se que, nesta pesquisa, o manejo do LETE considera todas as etapas desde a geração até a destinação (recuperação, reúso ou reciclagem) ou disposição final, considerando ainda as formas de transporte e armazenamento entre as etapas.

Não existe, atualmente no Brasil, legislação específica para regulamentar os serviços de saneamento básico no âmbito da saúde e segurança do trabalho. Além disso, não há um código CNAE (Código Nacional de Atividade Econômica) que represente exclusivamente a operação das ETEs, o que inviabiliza a coleta de dados precisos referentes a número de funcionários, acidentes, afastamentos e doenças relacionadas com o trabalho nesta área.

Sabe-se que o lodo de esgoto pode ser prejudicial ao meio ambiente e à saúde das pessoas, logo, os trabalhadores que atuam diretamente no seu manejo estão expostos a diversos riscos, que podem comprometer sua saúde e segurança. Dessa forma, a justificativa principal da presente pesquisa se pauta na ausência de aparato legal específico e de respaldo técnico/científico sobre a questão. Assim, os princípios e metodologias de gestão de riscos, baseado na série de normas ISO 31000, podem contribuir com a atividade laboral relacionada ao manejo do LETE.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo geral analisar a relação entre o manejo do lodo gerado em ETE (LETE) e os riscos ocupacionais envolvidos neste manejo, utilizando os princípios propostos pela NBR ISO 31000 para a identificação, análise e avaliação dos riscos ocupacionais em duas ETEs de médio porte, localizadas no interior do Estado de São Paulo, que utilizam tecnologias diferentes: lodos ativados convencionais e reatores anaeróbios do tipo UASB seguido de tratamento físico-químico.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Descrever os processos de interação entre os trabalhadores e o LETE, através da observação realizada em visitas, acerca do processo de tratamento e da gestão dos riscos ocupacionais de ambas ETEs;
- Descrever os principais riscos ocupacionais presentes e apresentar as potenciais consequências na saúde destes trabalhadores;
- Identificar, analisar e avaliar os riscos ocupacionais identificados, utilizando os princípios propostos pela NBR ISO 31000;
- Sugerir medidas tratativas e de monitoramento para os riscos, como prevê a NBR ISO 31000.

3. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A análise bibliométrica é uma das estratégias existentes para a captação do conhecimento sobre produções científicas e posterior avaliação (ZUPIC & CATER, 2015). Pode ser definida como conjunto de princípios e regras estabelecidas com objetivo de avaliar de forma quantitativa a literatura científica (WILMERS *et al.*, 2017). De acordo com Daim *et al.* (2006), essa ferramenta pode auxiliar na coleta, organização e análise de grande quantidade de dados históricos, fornecendo informações que auxiliam na identificação de lacunas a serem exploradas nas pesquisas, tornando possível analisar as produções científicas a partir da construção de indicadores sobre a dinâmica e evolução da informação científica e tecnológica de determinadas disciplinas, áreas, organizações ou países.

A bibliometria é um campo das áreas da biblioteconomia e da ciência da informação que aplica métodos estatísticos e matemáticos para analisar e construir indicadores. Pode ser utilizada de forma integrada com profissionais de outras áreas do conhecimento, promovendo o enriquecimento dos campos científicos (SILVA, 2011; WILMERS *et al.*, 2017). De acordo com Maricato (2010), a análise bibliométrica apresenta diversas possibilidades de aplicação, podendo-se destacar as seguintes:

- Identificar tendências e crescimento do conhecimento numa determinada área;
- Estudar a dispersão e obsolescência de alguns campos científicos;
- Medir o impacto das publicações e da disseminação da informação;
- Estimar a cobertura dos periódicos e revistas científicas;
- Identificar autores e instituições mais produtivos e revistas mais relevantes;
- Investigar relações entre disciplinas e áreas do conhecimento;
- Monitorar o desenvolvimento da ciência e tecnologia.

Nesse contexto, este capítulo tem como objetivo apresentar a análise bibliométrica resumida sobre o manejo do LETE e gestão de riscos ocupacionais, considerando os trabalhos publicados nos últimos 50 anos, apontando os principais meios de divulgação das áreas e identificando os países mais relevantes em relação à produção acadêmica. Os resultados obtidos foram analisados de modo a evidenciar oportunidades de estudos e pesquisas, contribuindo para a justificativa do presente trabalho. Para a realização da análise foram desenvolvidas duas etapas, a coleta dos dados bibliográficos e a análise bibliométrica propriamente dita.

3.1. COLETA DE DADOS

Foram definidos diversos termos principais para a coleta dos dados: *Sewage Sludge Management*, *Sewage Sludge Treatment*, *Occupational Risk Management*, *Occupational Risk Assessment*, *Health*, *Safety* e *ISO 31000*. Posteriormente estes termos foram associados através de expressões booleanas do tipo “AND”, “OR” e “NOT”. Destaca-se que todas as palavras utilizadas na coleta de dados foram de língua inglesa, devido à escassez de publicações em língua portuguesa. A partir da definição dos termos principais, foram realizadas buscas na base de dados *Scopus*, que é a maior base de dados de resumos e citações de produções acadêmicas, e devido a sua atualização diária, apresenta o panorama mais completo e atual da produção científica mundial (ELSEVIER, 2017).

As buscas dos termos foram realizadas nos títulos de artigos, resumos e palavras-chaves em todos os tipos de publicações disponíveis na base de dados (periódicos, livros e anais de congressos), e ocorreram no mês de junho de 2018. Os diversos agrupamentos de termos utilizados, são apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Termos utilizados na coleta de dados

Busca	Termos Principais
A	“Sewage Sludge Management”
B	“Sewage Sludge Treatment”
C	“Sewage Sludge Management” OR “Sewage Sludge Treatment”
D	“Occupational Risk Management”
E	“Occupational Risk Assessment”
F	“Occupational Risk Management” OR “Occupational Risk Assessment”
G	Busca "C" AND "F"
H	Busca "C" AND ("Risk" OR "Occupational" OR "Health" OR "Safety" OR "ISO 31000")
I	("Sewage Sludge") AND ("Risk Management" OR "Risk Assessment") AND ("Occupational" OR "Health" OR "Safety")
J	"Sewage Sludge" AND "Risk Management"
K	Busca "C" AND “Occupational”

Fonte: Autor (2018).

Os resultados das buscas foram armazenados em arquivos digitais, no formato “.bib”, que registram informações sobre: nome dos autores, instituições, anos de publicação, países de origem, tipos de documentos, quantidade de citações, palavras chaves relacionadas, além de outros dados que não foram utilizados nesta análise.

3.2. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Na bibliometria são adotados métodos estatísticos, analisando a relação quantitativa dos dados estudados (GENG *et al.*, 2017). Sendo assim, após a coleta, os dados foram analisados com o auxílio do sistema BibView (CAVALCA, 2018) que consiste em ferramenta *online* que permite realizar análise bibliométrica a partir dos dados publicados na base *Scopus*, utilizando a linguagem de programação “R” e o pacote Bibliometrix (BIBLIOMETRIX, 2016). Este sistema foi desenvolvido por Cavalca (2018), para utilização dos alunos do Mestrado em Engenharia Urbana, da UFSCar. O pacote Bibliometrix, permite, a partir das informações coletadas, gerar matrizes de dados sobre citações e análises de colaboração científica.

Como resultado inicial da coleta de dados, foram retornadas um total de 2061 publicações em 1157 fontes de publicação (periódicos, livros e congressos) entre os anos de 1972 a 2018, conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Resultados da coleta de dados

Busca	Termos Principais	Resultados	Período
A	“ <i>Sewage Sludge Management</i> ”	141 Artigos em 79 Fontes	1975 - 2018
B	“ <i>Sewage Sludge Treatment</i> ”	497 Artigos em 278 Fontes	1972 - 2018
C	Busca A OR B (Manejo de LETE)	625 Artigos em 325 Fontes	1972 - 2018
D	“ <i>Occupational Risk Management</i> ”	70 Artigos em 43 Fontes	1996 - 2018
E	“ <i>Occupational Risk Assessment</i> ”	171 Artigos em 96 Fontes	1982 - 2018
F	Busca D OR E (Gestão de Riscos Ocupacionais)	241 Artigos em 139 Fontes	1982 - 2018
G	Busca C AND F	0 Artigos	-
H	Busca C AND (“ <i>Risk</i> ” OR “ <i>Occupational</i> ” OR “ <i>Health</i> ” OR “ <i>Safety</i> ” OR “ <i>ISO 31000</i> ”)	98 Artigos em 61 Fontes	1973 - 2018
I	(“ <i>Sewage Sludge</i> ”) AND (“ <i>Risk Management</i> ” OR “ <i>Risk Assessment</i> ”) AND (“ <i>Occupational</i> ” OR “ <i>Health</i> ” OR “ <i>Safety</i> ”)	187 Artigos em 111 Fontes	1985 - 2018
J	“ <i>Sewage Sludge</i> ” AND “ <i>Risk Management</i> ”	26 Artigos em 21 Fontes	1995 - 2018
K	Busca C AND “ <i>Occupational</i> ”	5 Artigos em 4 Fontes	2004 - 2009

Fonte: Autor (2018).

A Figura 3.1 apresenta o número de publicações por ano, das buscas C e F, no período de análise, as quais representam os termos de busca para Manejo de LETE (Busca C) e gestão/avaliação de riscos ocupacionais (Busca F). No total foram analisadas 865 publicações em 464 fontes diferentes, sendo 625 publicações relacionadas ao manejo e 241 à gestão de riscos ocupacionais. Estas duas buscas apresentam visões separadas das áreas, haja visto que a interface delas,

representada pela busca G, não trouxe resultados. Além disso, as demais buscas não proporcionaram resultados relacionados com o tema desta pesquisa, por apresentarem termos mais genéricos. Verifica-se ainda que o número de publicações é relativamente baixo, porém ambos os casos apresentam tendência clara de crescimento das publicações, em especial nos últimos anos, o que gera expectativa positiva em relação à produção científica e à relevância do presente trabalho.

Figura 3.1 - Evolução do número de publicações por ano



Fonte: Autor (2018).

A Tabela 3.2 apresenta as informações referentes aos artigos, autores e suas participações em publicações individuais e de múltipla autoria, além de dados sobre a média de citações por artigo, referentes às buscas C e F.

Tabela 3.2 - Informações gerais sobre os dados

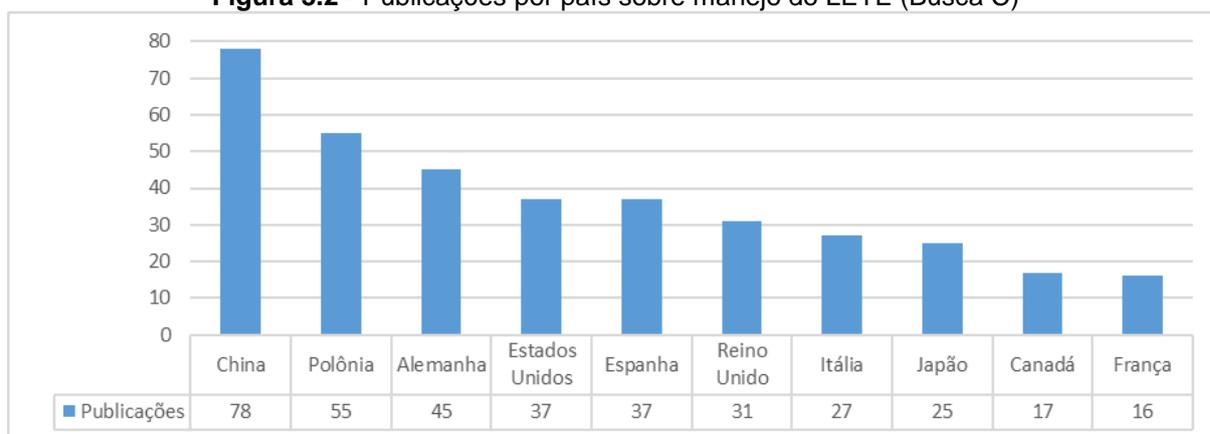
Informações	Busca C	Busca F
N.º Artigos	625	241
Fontes (Periódicos, Livros, Anais, etc.)	325	139
Média de Citações por Artigo	15,3	6,85
Autores	1781	766
Autores de Publicações Individuais	70	33
Autores de Publicações de Múltiplas Autoria	1711	733
Artigos por Autor	0,351	0,315
Autores por Publicações	2,85	3,18
Coautores por Publicações	3,51	3,77
Índice de Colaboração	3,30	3,67

Fonte: Autor (2018).

3.2.1. Contribuição por Países

A partir dos dados analisados, foi possível evidenciar os países que mais contribuem com a produção de conhecimento. A Figura 3.2, mostra que, em termos quantitativos, a China lidera com o maior número de publicações em relação ao Manejo do LETE (Busca C), com 78 trabalhos o que representa 12% do total, seguida pela Polônia (9%) e Alemanha (7%), o Brasil fica em 13º com 11 publicações.

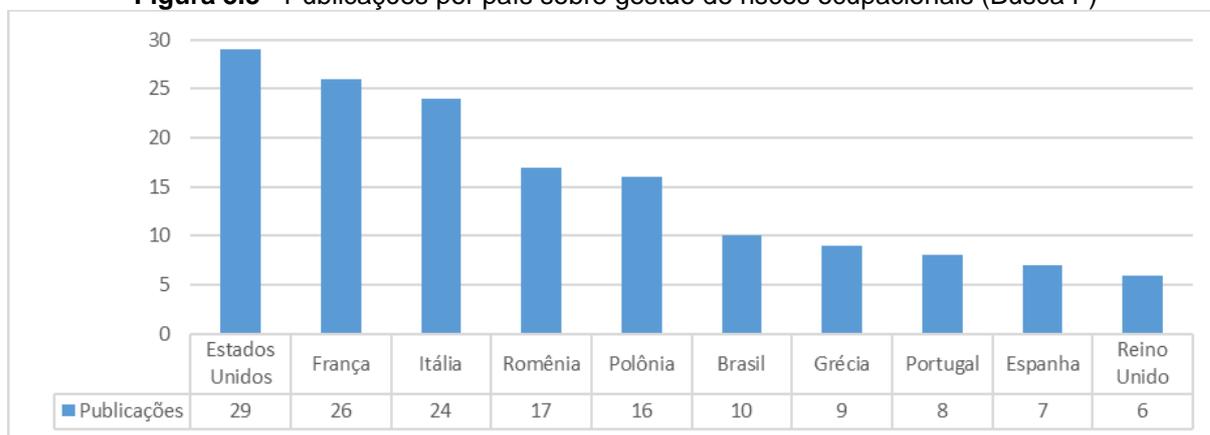
Figura 3.2 - Publicações por país sobre manejo do LETE (Busca C)



Fonte: Autor (2018).

A Figura 3.3 apresenta as publicações relativas a Gestão de Riscos Ocupacionais (Busca F), e os Estados Unidos surgem como maior produtor com 29 publicações que representam 19% do total, seguido pela França (8%) e Itália (7%). O Brasil aparece como 6º no ranking com 10 publicações (4% do total).

Figura 3.3 - Publicações por país sobre gestão de riscos ocupacionais (Busca F)

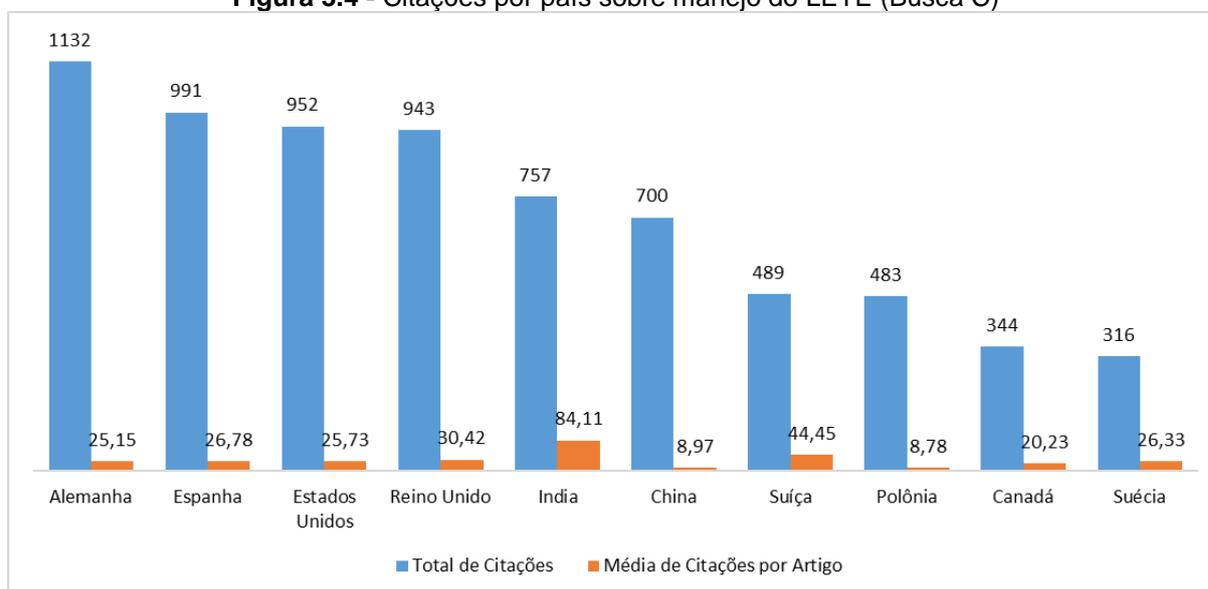


Fonte: Autor (2018).

A Polônia surge nos primeiros lugares, nas figuras 3.2 e 3.3, à frente de países como Estados Unidos (Manejo do LETE) e Reino Unido (Gestão de riscos ocupacionais), devido às pressões legais e aos padrões restritivos estabelecidos nas últimas décadas por parte da União Europeia, tanto em relação ao tratamento de esgoto e manejo do LETE (restrições a uso de aterros e disposição no solo), quanto em relação a aspectos ocupacionais e trabalhistas. Neste sentido, há um estímulo às pesquisas acadêmicas para avaliar e viabilizar soluções para o país (CIEŚLIK, 2015).

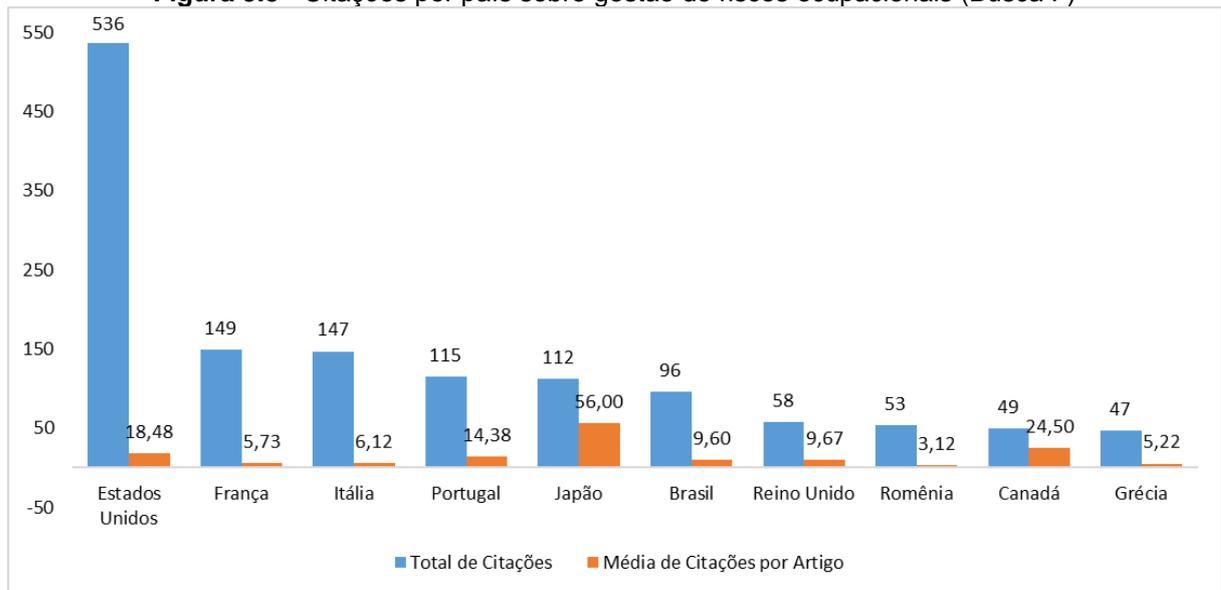
No entanto, há outro fator a ser considerado que é a relevância dos estudos. Tal relevância pode ser medida a partir do total de citações por país e pela média de citações por artigo. Em relação ao Manejo do LETE (Figura 3.4), a Alemanha aparece como primeira seguida pela Espanha e Estados Unidos no que se refere ao número de citações. Já em relação à média de citações por artigo, a Índia aparece em primeiro, com 84,11 citações por artigo publicado, seguida pela Suíça (44,45) e Reino Unido (30,42). O Brasil surge na 21ª posição com 84 citações no total e com média de 7,64 citações por artigo publicado.

Figura 3.4 - Citações por país sobre manejo do LETE (Busca C)



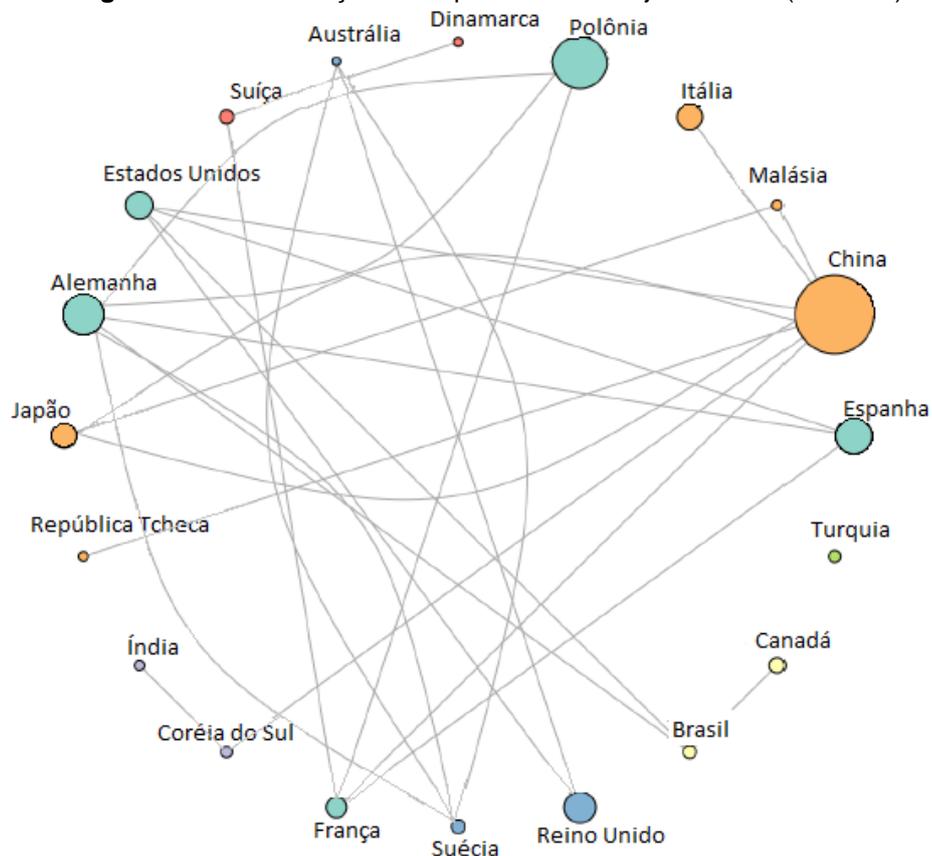
Fonte: Autor (2018).

A Figura 3.5, que aborda a gestão de riscos ocupacionais, apresenta os Estados Unidos, França e Itália, respectivamente, em número total de citações. E, em termos de citações por artigo publicado, o Japão aparece em primeiro com média de 56 citações por artigo, seguido pelo Canadá com 24,5 e Estados Unidos com 18,48.

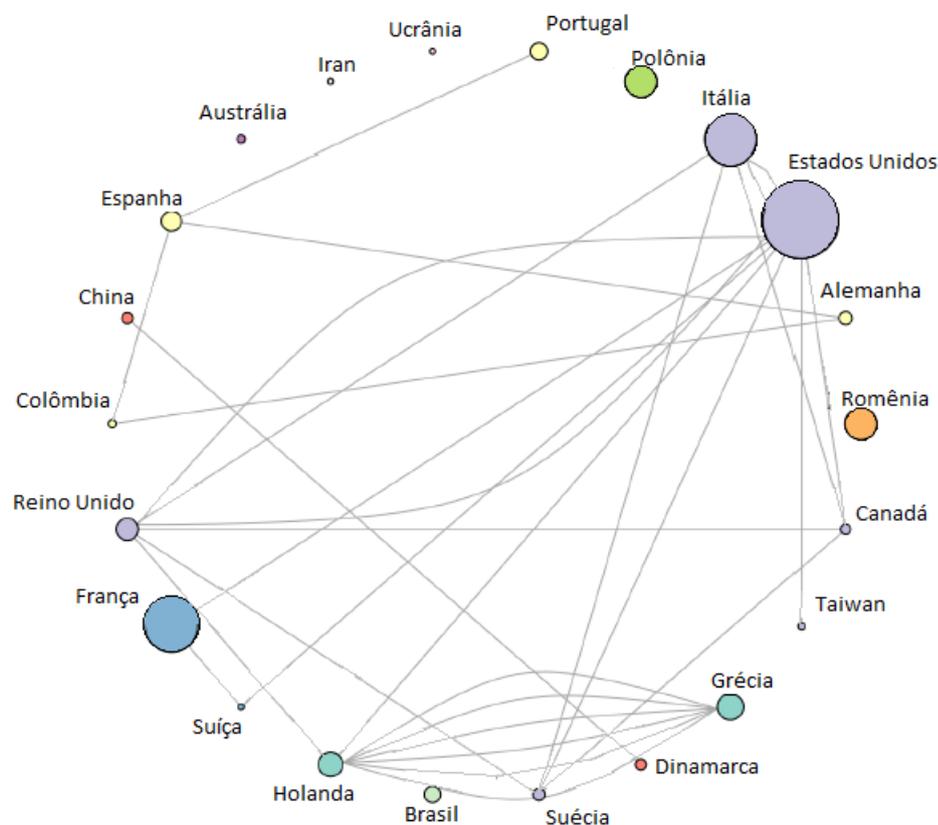
Figura 3.5 - Citações por país sobre gestão de riscos ocupacionais (Busca F)

Fonte: Autor (2018).

Pode-se ainda representar a transferência de conhecimento através do comportamento colaborativo dos países, representados nas Figuras 3.6 e 3.7.

Figura 3.6 - Colaboração entre países no manejo do LETE (Busca C)

Fonte: Autor (2018).

Figura 3.7 - Colaboração entre países na gestão de riscos ocupacionais (Busca F)

Fonte: Autor (2018).

Podemos destacar a China, Alemanha e Estados Unidos, no Manejo do LETE por apresentarem trabalhos colaborativos com outros países. Na Gestão de Riscos ocupacionais, os Estados Unidos, Reino Unido, Holanda, Grécia e Itália aparecem entre os principais responsáveis pela transferência de conhecimento internacional.

O desenvolvimento científico atual possui como uma das principais características o aumento do perfil colaborativo em todas as áreas de conhecimento. Cerca de 70% dos artigos produzidos atualmente no mundo estão associados a autores de diferentes instituições. Desses, cerca de 44% são provenientes de colaborações internacionais e 56% nacionais. Os principais motivos para essa busca por colaboração internacional estão vinculados à transferência de conhecimentos, aumento da qualidade e visibilidade da pesquisa, reduções do tempo dispensado e da ocorrência de erros, além da obtenção ou ampliação de financiamentos (RS, 2011). Nesse contexto, a busca por colaboração internacional, articulação de redes colaborativas e internacionalização das instituições se tornam elementos de extrema

importância nas estratégias de desenvolvimento científico nacional, pois podem influenciar de maneira determinante a qualidade e produtividade científica.

3.2.2. Distribuição por Fontes e Palavras Chaves

Os rankings com as 10 principais fontes de publicação são apresentados nas Tabelas 3.3 e 3.4, que representam respectivamente, o Manejo do LETE (Busca C) e a Gestão de Riscos Ocupacionais (Busca F).

Tabela 3.3 - Fontes de publicações sobre manejo do LETE (Busca C)

Fonte	N.º de Publicações
Water Science And Technology	39
Environmental Science And Technology	14
Journal Of Cleaner Production	14
Waste Management	11
Water Research	11
Bioresource Technology	10
Chemosphere	7
Journal Of Environmental Science And Health Pt A	7
Water And Environment Journal	7
Communications In Soil Science And Plant Analysis	6

Fonte: Autor (2018).

Tabela 3.4 - Fontes de publicações sobre gestão de riscos ocupacionais (Busca F)

Fonte	N.º de Publicações
Archives Des Maladies Professionnelles Et De L Environnement	18
Safety Science	8
Journal Of Occupational And Environmental Hygiene	7
Medycyna Pracy	7
International Journal Of Occupational Safety And Ergonomics	6
Quality Access To Success	6
Geingegneria Ambientale E Mineraria	5
Gigiena I Sanitariia	4
Advances In Intelligent Systems And Computing	3
Annals Of Occupational Hygiene	3

Fonte: Autor (2018).

A partir do levantamento das principais palavras-chaves é possível identificar tendências e os assuntos principais dos trabalhos da área. Foi possível identificar no Manejo do LETE que as tendências dos trabalhos estão relacionadas ao gerenciamento do LETE, análises de metais pesados e às formas alternativas de disposição. Já na Gestão de Riscos, as tendências estão relacionadas a avaliações de riscos aplicados à saúde humana, contaminação do ar e monitoramento ambiental.

3.3. LIMITAÇÕES DA ANÁLISE

As publicações analisadas foram coletadas na *Scopus*, maior base de dados da atualidade. Portanto, os resultados apresentam abrangência ampla dos temas estudados. Porém, este trabalho possui algumas limitações: foram considerados apenas publicações em inglês; as buscas foram realizadas nos títulos, resumos e palavras-chaves em periódicos, livros e anais de congressos; publicações dos últimos anos não têm alta frequência de citação por serem recentes.

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo apresenta um panorama abrangente das publicações na área de Manejo do LETE e Gestão de Riscos Ocupacionais, disponíveis na base de dados *Scopus*, nos últimos 50 anos. Os principais objetivos da análise, como a identificação dos principais meios de divulgação, países de maior influência em número de publicações e citações, relevância dos temas propostos na pesquisa, além de outros aspectos relevantes em relação à produção acadêmica, foram alcançados.

Em relação ao manejo do LETE, a China é o país com mais publicações no período analisado. Não obstante, se encontra em 6ª posição nos países mais citados, com a média de 8,97 citações por artigo. Por outro lado, a Índia aparece como o país mais citado (84,11/artigo), sendo que o país não figurou entre os dez países que mais publicaram, evidenciando que a quantidade de publicações não deve ser a única métrica a ser avaliada, e sim deve estar associada à relevância da publicação, a qual pode ser medida pelo número de citações. Na gestão de riscos ocupacionais, os Estados Unidos é o país com mais publicações no período analisado e se encontra na 1ª posição nos países mais citados, com a média de 18,48 citações por artigo. Destaca-se que a maioria dos países que se sobressaem são desenvolvidos e há uma carência de pesquisas em países em desenvolvimento nestas áreas.

A presente análise bibliométrica contribui para o maior entendimento e o direcionamento da pesquisa, visto que não foram encontrados outros estudos metodológicos de bibliometria sobre os temas propostos. Corrobora ainda com a justificativa principal do trabalho que se pauta na ausência de amparo legal e de respaldo científico sobre o tema, pois a quantidade de trabalhos diretamente relacionados com o tema é incipiente.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

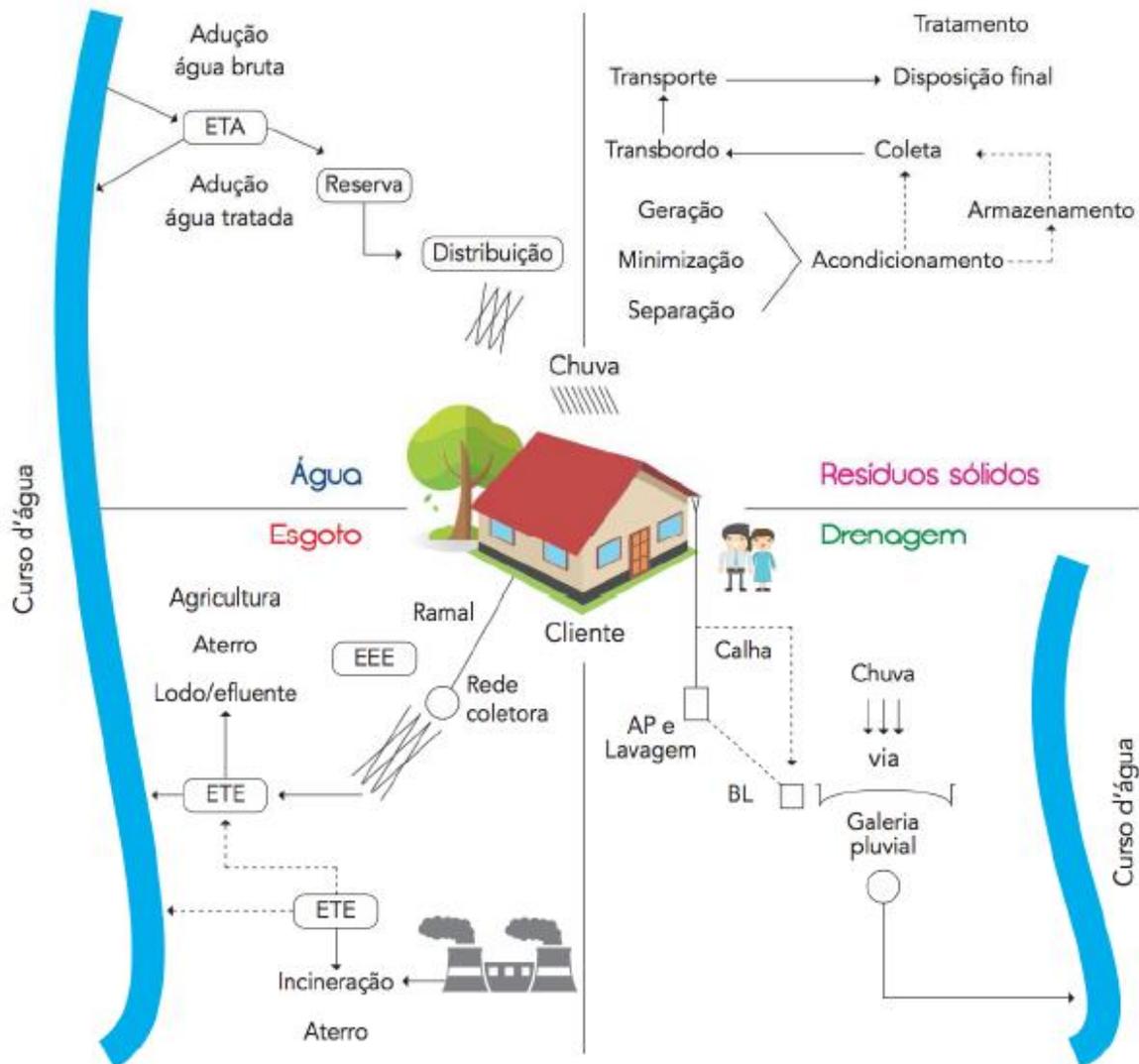
4.1. TRATAMENTO DE ESGOTO

A relação entre a saúde pública e saneamento básico é notória e bem explorada na literatura. Várias doenças de veiculação hídrica são transmitidas e se proliferam por falta de água potável, pelo manejo inadequado de águas pluviais e pela ausência de coleta, tratamento e destinação final adequada de esgotos sanitários e de resíduos sólidos. Assim como os demais subsistemas que compõem o saneamento, o esgotamento sanitário é fundamental para a manutenção e promoção da saúde da população, evitando assim a propagação de doenças e vetores. Dados censitários demonstram que os maiores índices de mortalidade infantil se encontram nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, regiões que possuem os menores índices de coleta e tratamento de esgotamento sanitário nos domicílios (HELLER, 1997).

O esgotamento sanitário abrange desde a geração dos esgotos residenciais urbanos, a coleta, transporte, tratamento, até a destinação final e reúso dos efluentes líquidos, sólidos e gasosos (CORDEIRO, 2016). Os principais constituintes deste subsistema são as ligações prediais, redes coletoras, coletores tronco, interceptores, estações elevatórias, emissários, estações de tratamento de esgotos (ETEs), unidades de tratamento de resíduos e corpo receptor (NUVOLARI, 2003).

Quando se estuda qualquer subsistema que compõe o saneamento básico é muito importante termos a visão sistêmica e geral de todo o processo, pois cada sistema está interligado intrinsecamente aos demais. De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), publicado em 2013, todos os aspectos, inclusive investimentos, que envolve o tema saneamento básico deveria ser tratado de maneira integral e sistêmica, fato que demonstra a importância de abordagem holística quando tratamos de saneamento básico (BRASIL, 2013).

A Política Nacional do Saneamento Básico no Brasil, Lei 11.445/2007, regulamentou diretrizes para o setor e, no seu Art. 3º, inciso I, o descreve como conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007). Podemos ilustrar esses quatro subsistemas integrados que compõem o saneamento na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Ilustração do sistema urbano de saneamento básico

Fonte: Cordeiro (2016).

O esgotamento sanitário, pode ser definido como a água pós utilização humana, é a água com a adição de partículas originárias dos despejos domésticos (fezes, urina, saponáceos, detergentes, restos de alimentos, entre outros). Além dos despejos domésticos, nas redes de esgotos sanitários pode conter águas pluviais conectadas de forma irregular, além de águas provenientes de infiltração e despejos industriais (CORDEIRO, 2016).

As características dos esgotos podem variar em função de fatores ambientais, climáticos, sociais, culturais e econômicos. De forma qualitativa, essas características podem ser definidas através de parâmetros biológicos, físicos e químicos, como potencial hidrogeniônico (pH), quantidade de sólidos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), ausência ou presença de

fósforo, nitrogênio, óleos e graxas, metais, parasitas e outros microrganismos (ACHON *et al.*, 2017).

Quando o esgoto sanitário é lançado em cursos d'água sem nenhum tratamento, a matéria orgânica e os nutrientes presentes promovem a proliferação de alguns microrganismos presentes nas águas, suscitando um aumento na demanda biológica de oxigênio (DBO), reduzindo assim a quantidade de oxigênio dissolvido na água, causando desequilíbrio ambiental e a morte da fauna local. As águas naturais têm a capacidade de restabelecer o equilíbrio no meio aquático, até certo ponto, através do fenômeno da autodepuração que transforma os contaminantes, trazidos pelo esgoto, em produtos mineralizados inertes, visto que perdem as suas propriedades. Esse mesmo tipo de processo ocorre no tratamento de esgoto, porém com o ingresso de novas tecnologias permitiu-se que o tratamento fosse executado com mais rapidez e em condições controladas e com taxas mais elevadas de qualidade do resultado final (VON SPERLING, 2002).

Logo, o tratamento de esgotos surge como processo de mimetização biológica, com o objetivo de remover as partículas indesejáveis presentes, de modo que os produtos finais sejam reutilizados ou não causem dano ao meio ambiente (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994). Assim, o tratamento funciona como sistema seletivo de remoção, pois podemos retirar partículas de tamanhos e complexidades diferentes e devolver ao meio ambiente o efluente tratado, dentro dos padrões exigidos pelas Resoluções CONAMA N.º 357/2005 e 430/2011 que estabelecem as condições e padrões de qualidade das águas, e as condições e padrões de lançamento de efluentes, respectivamente (BRASIL, 2005; 2011).

O tratamento do esgoto ocorre, geralmente, em instalação denominada de estação de tratamento de esgoto (ETE), com o objetivo de remover as partículas indesejáveis ou poluentes usando determinada combinação de processos físicos, químicos e biológicos (HREIZ *et al.*, 2015).

As etapas do tratamento podem ser classificadas em tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar é destinado à remoção dos sólidos em suspensão e grosseiros como trapos, galhos e sólidos flutuantes (óleos e graxas), que podem trazer problemas operacionais ao processo. Os métodos mais comuns para remoção destes sólidos são peneiramento ou gradeamento e sedimentação/desarenador. O tratamento primário tem por finalidade a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis (matéria orgânica), com a utilização de

decantadores, que promovem a passagem vagarosa do esgoto, permitindo que os sólidos em suspensão se depositem no fundo. A massa formada no fundo do decantador é o lodo primário bruto. O tratamento secundário é destinado à remoção de matéria orgânica dissolvida e em suspensão, sólidos não-sedimentáveis, nutrientes e patógenos (ambos parcialmente). Esta etapa é conhecida também como tratamento biológico, pois a remoção da matéria orgânica ocorre em função de reações bioquímicas, realizadas por microrganismos como em sistemas de lagoas de estabilização, lodos ativados, filtros biológicos, tratamentos anaeróbios e disposição no solo. Finalmente, o tratamento terciário pode remover nutrientes, patógenos, compostos não-biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, e sólidos em suspensão remanescentes, através de mecanismos de desinfecção, troca iônica, osmose reversa, aplicação artificial de ultravioleta, entre outros.

Existem diversas alternativas tecnológicas para realizar o tratamento de esgotos sanitários, desde de sistemas simples que utilizam lagoas de estabilização até sistemas com reatores totalmente automatizados.

4.1.1. Tipos de Tratamento

O tratamento de esgotos sanitários ocorre em três fases distintas: líquida, gasosa e sólida. O tratamento da fase líquida se refere à recuperação da maior parte da água presente no esgoto, através da remoção das partículas indesejadas, até chegar a sua característica final e lançamento no corpo receptor. O tratamento da fase gasosa compreende o processamento dos gases gerados no tratamento, que são desagradáveis ao olfato ou potencialmente nocivos à saúde e ao meio ambiente. Já o tratamento da fase sólida envolve o tratamento das partículas ou resíduos sólidos removidos ao longo do processo na estação de tratamento de esgoto (ETE).

A eficiência do sistema de tratamento de esgotos e os benefícios que ele pode propiciar vão depender não somente do processo escolhido e aplicado, mas dos parâmetros e critérios adotados no projeto, dos cuidados construtivos e dos procedimentos operacionais, que vão contribuir com a remoção dos contaminantes da água, a fim de adequá-la ao padrão de qualidade exigido por legislação antes do lançamento (TIRABOSCHI, 2004). A Tabela 4.1 apresenta a eficiência das etapas de tratamento do esgoto em função da remoção das partículas.

Tabela 4.1 - Eficiência de remoção de cada etapa de tratamento

Grau de Tratamento	Eficiência de Remoção (%)			
	Matéria Orgânica	Sólidos em Suspensão	Nutrientes	Bactérias
Preliminar	5-10	5-20	Não remove	10-20
Primário	25-50	40-70	Não remove	25-75
Secundário	80-95	65-95	Pode remover	70-99
Terciário	40-99	80-99	Até 99	Até 99,999

Fonte: Adaptado de CETESB (2016).

Existem diversas tipologias de tratamentos dos esgotos sanitários, com características diferentes. Sendo assim, é necessário o conhecimento das especificidades das principais tecnologias existentes de tratamento.

4.1.1.1. Lagoas de Estabilização

Por apresentarem baixos custos de implantação e operação, as lagoas de estabilização são frequentes nos países em desenvolvimento e são mais indicadas para regiões de clima tropical. Quando bem projetadas e instaladas, atuam de maneira eficiente, com matéria orgânica bastante estável. No entanto, deve-se considerar que fatores externos podem intervir no processo. Além disso, as condições de projeto e operação das lagoas devem ser conduzidas de forma criteriosa, criando equilíbrio entre as condições locais e as cargas poluidoras. Mesmo assim, existem alguns inconvenientes nos processos, como exalação de mau cheiro, estética desfavorável, DBO do efluente elevada, coliformes fecais em excesso, mosquitos, entre outros. Como as lagoas ocupam áreas extensas, as consequências do mau funcionamento podem atingir comunidades próximas, principalmente em relação ao mau cheiro.

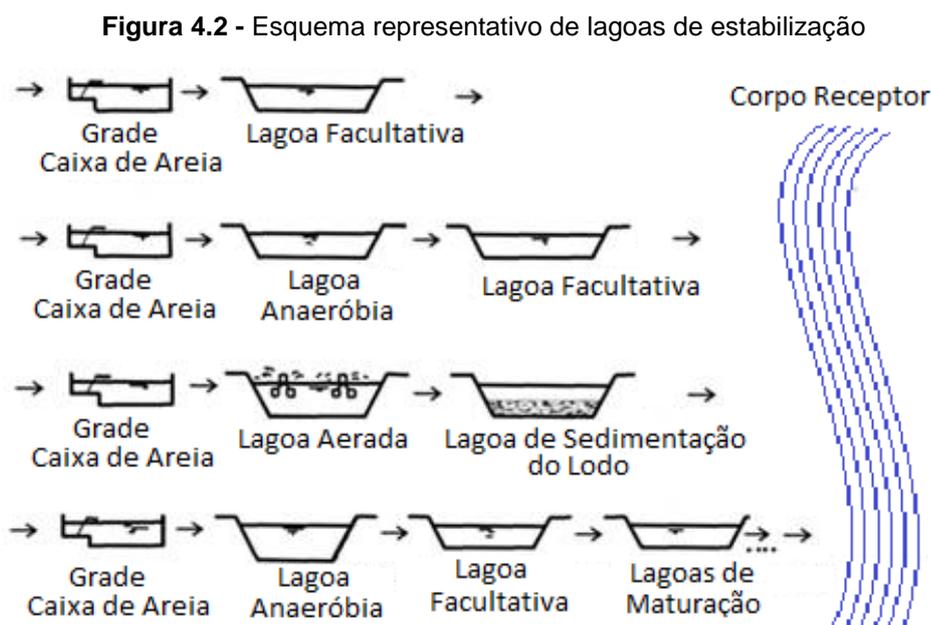
As lagoas de estabilização são uma das formas mais simples para o tratamento de esgotos, podem ser divididas em lagoas anaeróbias, lagoas facultativas, lagoas aeradas, lagoas aeradas seguidas por lagoas de decantação e lagoas de maturação. Seguem as principais características de cada tipo de lagoa (CASAROTTI, 2012):

- Lagoas anaeróbias: Predominam processos fermentativos anaeróbios. Ocupam áreas menores que as lagoas facultativas, mas têm menor eficiência na remoção de DBO;
- Lagoas facultativas: Ocorrem, de forma simultânea, processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia e redução fotossintética. Há predominância de decomposição anaeróbia, devido ao depósito de lodo no fundo. A zona aeróbia

situa-se na parte superior da lagoa, e na zona intermediária encontra-se a camada facultativa;

- Lagoas aeradas: Há o fornecimento artificial de oxigênio por dispositivos eletromecânicos com a finalidade de manter a concentração de oxigênio dissolvido em toda, ou quase toda, parte da massa líquida, garantindo as reações bioquímicas que caracterizam o processo. Devido ao menor tempo de detenção proporcionado pela aeração artificial, a área ocupada chega a ser até cinco vezes menor que as lagoas facultativas. O lodo biológico gerado precisa ser separado do efluente de lançamento no corpo receptor, utilizando-se para isso lagoa de sedimentação de lodo que tem por objetivo a retenção e digestão;
- Lagoas de maturação: São unidades dispostas após a lagoa facultativa com o objetivo principal de aumentar a remoção de microrganismos patogênicos, através da ação dos raios ultravioletas do Sol. Também reduz sólidos em suspensão, nutrientes e parcela de DBO. Algumas ETEs contam com várias lagoas de maturação, dispostas em série após a lagoa facultativa. Pode se obter remoções de coliformes superiores a 99,99%.

Algumas das possíveis configurações de sistemas de lagoas de estabilização estão representadas na Figura 4.2. Destaca-se que não foram consideradas as etapas de manejo do LETE na representação.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

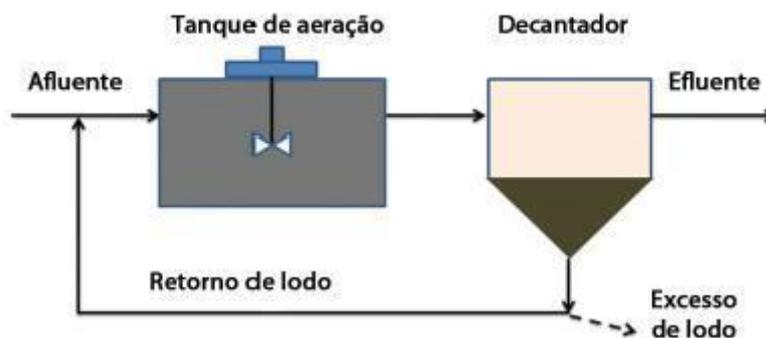
As lagoas de estabilização retêm o esgoto por determinado período de tempo, suficiente para que o processo de estabilização da matéria orgânica ocorra de forma natural (VON SPERLING, 2005). Considerando que a natureza do processo é lenta, carece de grandes áreas devido ao longo tempo para que as reações se completem, a atividade biológica é fortemente afetada pelas condições naturais, logo compreende-se que esta forma de tratamento é mais adequada para locais cuja terra é barata e o clima favorável (ARCIEVALA, 1981).

4.1.1.2. Lodos Ativados

A tecnologia de lodos ativados é uma das formas de tratamento mais utilizada em nível mundial. Esse processo foi desenvolvido no início do século passado e ainda hoje mantém semelhanças com esse sistema convencional (PEREZ-ELVIRA *et al.*, 2006). Os sistemas de lodos ativados são mais utilizados quando é necessária qualidade maior dos efluentes e a disponibilidade de área é reduzida, e para atingir tal objetivo faz uso de maior sofisticação operacional e conseqüentemente maior consumo de energia (VON SPERLING, 1997).

Amplamente utilizado em diversos países, o sistema de lodos ativados pode ser adaptado para incluir remoções biológicas de nitrogênio e fósforo. Durante o processo, o esgoto bruto e os lodos ativados são misturados, agitados e aerados no reator por determinado tempo. Posteriormente o lodo é novamente separado por sedimentação nos decantadores. Esse lodo ativado retorna de novo ao processo e seu excesso é retirado para tratamento e destinação final (TIRABOSCHI, 2004).

A ETE que utiliza lodos ativados combina geralmente dois níveis de tratamento, isto é, primário e secundário. O tratamento primário assegura a remoção de poluentes particulados, por exemplo, areia, detritos, graxa, óleos e outros resíduos particulados. Estes materiais são separados das águas residuais através de método de separação gravitacional em tanque, denominado decantador primário. Os resíduos sólidos produzidos no decantador primário são chamados de lodo primário. Durante o tratamento secundário, representado na Figura 4.3, os componentes dissolvidos e coloidais são removidos no clarificador secundário ou tanque de decantação, resultando na produção de lodo secundário que retorna, em parte, para o processo ou segue para o tratamento do lodo (HREIZ *et al.*, 2015).

Figura 4.3 - Detalhe do tratamento secundário (lodos ativados convencional)

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Devido à recirculação do lodo, a concentração de sólidos em suspensão no reator é cerca de 10 vezes maior do que uma lagoa aerada sem recirculação. Isto possibilita tempo de detenção do líquido baixo e volume do tanque de reação reduzido. Porém, os sólidos permanecem no sistema por tempo superior ao do líquido. O tempo de retenção dos sólidos é denominado idade do lodo. É devido a esta maior permanência dos sólidos no sistema que se garante o tempo suficiente para a biomassa metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos.

No sistema convencional, parte da matéria orgânica é retirada antes da aeração por meio do decantador primário, com o objetivo de aproveitar a energia do próprio efluente. A idade do lodo é de 4 a 10 dias e a detenção hidráulica de 6 a 8 horas. Neste período a biomassa retirada necessita de estabilização, já que apresenta matéria orgânica em suas células. Tal estabilização se dá pela retirada da umidade, diminuindo o volume de lodo a ser tratado, por meio dos digestores anaeróbios. Dentre as variantes deste processo temos lodos ativados com aeração prolongada de 18 a 30 dias (VON SPERLING, 1997).

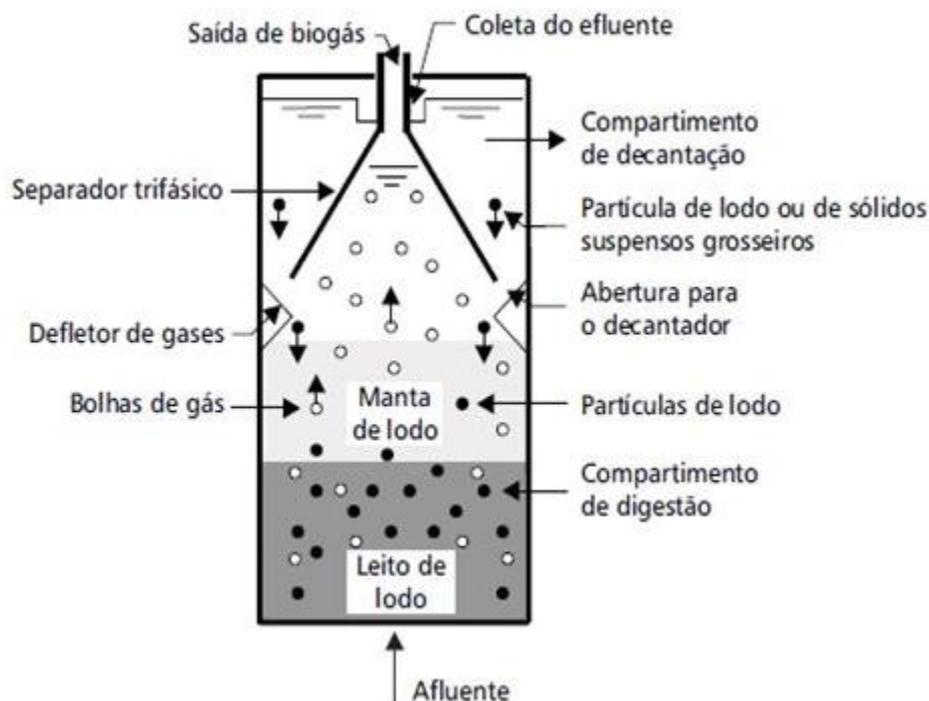
A quantidade de biomassa tende a aumentar no reator devido à recirculação e à reprodução dos microrganismos. Caso não haja controle desse aumento, a concentração de biomassa poderia atingir níveis excessivos, dificultando a transferência de oxigênio às células, o que também sobrecarregaria o decantador secundário, impedindo os sólidos de decantarem satisfatoriamente e compromete a qualidade de todo o processo. Para manter o sistema em equilíbrio é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada por reprodução. Esta quantidade é denominada lodo biológico excedente, que pode ser extraído diretamente do reator ou da linha de recirculação.

Cabe considerar que o tipo de reator tem influência na retenção e estratificação da biomassa, visto que a concentração da água influencia o regime hidráulico, determinando limitações termodinâmicas e de transferência de massa (AQUINO; CHERNICHARO, 2005).

4.1.1.3. Tratamento Anaeróbio

O tratamento anaeróbio geralmente ocorre em reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (RAFA/UASB em inglês). O reator UASB é um sistema que opera por meio da separação das fases sólidas, líquidas e gasosas. Neste tipo de reator o processo consiste em fluxo ascendente de esgotos através do leito de lodo denso e de elevada atividade, que é responsável pela estabilização anaeróbia da matéria orgânica. Acima da manta de lodo, são colocados dispositivos que possibilitam a separação de gases (principalmente o metano) e a sedimentação dos sólidos. Como podemos observar na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Representação esquemática de reator UASB



Fonte: Campos *et al.* (1999).

A biomassa cresce dispersa no meio formando o lodo. A concentração de bactérias é bastante elevada e forma a manta de lodo no reator. O efluente entra por

baixo do reator e possui fluxo ascendente. No topo do reator existe uma estrutura cônica ou piramidal, que possibilita a separação dos gases resultantes do processo anaeróbico (gás carbônico e metano) da biomassa, que sedimenta no cone sendo devolvida ao reator, e do efluente. A área deste sistema é bastante reduzida devido à alta concentração das bactérias. A produção de lodo é baixa e este já sai estabilizado e os odores podem ser evitados com projeto adequado (SPERLING, 1995).

Apesar da eficiência do tratamento, os reatores UASB apresentam dificuldades em produzir efluente que se enquadre nos padrões estabelecidos pela legislação e, neste caso, é necessário que se realize pós-tratamentos do efluente.

As principais vantagens da utilização dos reatores UASB são:

- Sistema compacto e com baixa demanda de área;
- Baixo custo de implantação e operação;
- Baixa produção de lodo;
- Baixo consumo de energia;
- Eficiência na remoção DBO/DQO, da ordem de 65-75%;
- Elevada concentração de lodo excedente.

Já em relação às desvantagens, temos:

- Possibilidade de emissão de maus odores;
- Baixa capacidade do sistema de tolerar cargas tóxicas;
- Elevado intervalo de tempo para a partida do sistema.

4.1.2. Cenário Brasileiro do Tratamento de Esgoto

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), apenas 52% da população brasileira tem acesso à rede coletora de esgoto e, apenas 45% do volume de esgoto coletado é tratado. Existe ainda grande disparidade entre os municípios em função do seu tamanho, quanto maior a população do município, maiores são a disponibilidade de investimentos e a proporção de domicílios com serviço de coleta e tratamento de esgoto. Nos municípios com população maior que 1 milhão de habitantes a relação entre os esgotos tratado e o esgoto coletado é superior a 90%. Destacando a falta de investimento no país, em especial nos municípios de médio e pequeno porte (SNIS, 2016).

O déficit de tratamento de esgoto no Brasil representa um importante desafio, considerando a coleta que atinge cerca de 55% dos municípios e o tratamento apenas

28% dos municípios, segundo o último levantamento oficial publicado (IBGE, 2008). O desafio inclui a necessidade de ampliação da coleta e transporte de esgotos, a instalação e gerenciamento de novas ETEs, além da implantação do tratamento da fase sólida em todas as ETEs, o que pode garantir a disposição e reaproveitamento adequado dos resíduos gerados, conforme estabelecido na Lei 12.305/2010. Ainda de acordo com a lei, apenas os rejeitos, que são resíduos sólidos cuja possibilidade de tratamento e recuperação foram esgotadas, podem ser destinados a aterros. Mesmo assim, o lodo de ETE, que é classificado como resíduo sólido, ainda é disposto em aterros sanitários em 41,43% dos municípios brasileiros (IBGE, 2008).

Além disso, a inexistência de tratamento e aproveitamento adequado do lodo de ETE está sujeita a sanção legal de acordo com a Lei 9.605/1998, conhecida como “Lei dos crimes ambientais”. Tal sanção prevê pena de reclusão de um a cinco anos para quem “causar poluição (...) por lançamento de resíduos sólidos, líquidos (...) em desacordo com exigências estabelecidas em leis ou regulamentos”.

Assim, quando se analisa o funcionamento das ETEs no Brasil, principalmente quanto à forma de gestão e manejo dos resíduos sólidos gerados, faz-se necessária discussão mais profunda para que a cultura de gestão de qualidade se torne prática. Esse cenário remete aos desafios do século XXI na área de saneamento em relação à gestão desses resíduos, de acordo com os preceitos das normas e leis vigentes. Esses resíduos precisam ser gerenciados com visão sistêmica, ampliando as possibilidades e atratividade para o tratamento do lodo, garantindo a sustentabilidade econômica, social e ambiental do sistema.

4.1.3. Economia Circular no Tratamento de Esgoto

Nos últimos anos, particularmente na Europa, o desenvolvimento de tecnologia e de conceitos de ETE têm se direcionado para processos de economia circular, no qual a tecnologia do processo deve ser equilibrada com a proteção dos recursos naturais, se tornando assim mais sustentável (WWAP, 2017). Apesar disso, a maioria das ETEs no país ainda se fundamentam em processos de tratamentos biológicos desenvolvidos unicamente para remover matéria orgânica e, às vezes, nutrientes, através da combinação de biorreatores anaeróbios e aeróbios, além de processos de separação físico-químicos. Essa abordagem tradicional atinge resultados convincentes em relação à remoção de matéria orgânica e nutrientes, porém, essas

instalações enfrentam desafios provenientes da necessidade de reduzir seu impacto ambiental. Esses impactos estão relacionados com o uso do solo para instalação da ETE, alto consumo de energia, grande quantidade de lodo (LETE) gerada, variada gama de micro poluentes orgânicos (hormônios, produtos farmacêuticos e de cuidado pessoal), além da massiva emissão de gases de efeito estufa (GEE).

Algumas técnicas inovadoras de tratamento biológico têm demonstrado benefícios importantes em relação à eficiência de remoção de poluentes e custos operacionais como, por exemplo, os processos baseados na oxidação anaeróbia de amônia (*Anammox*), ou ainda em sistemas híbridos que combinam diferentes condições redox, biorreatores com filmes biológicos de leito móvel ou fixo, entre outros (BILAL *et al.*, 2017). Além disso, os esforços para redução de área requerida para a instalação da ETE, o reaproveitamento, reúso e reciclagem de resíduos sólidos, a redução do consumo de energia elétrica e redução da emissão de GEE, são de suma importância para a sustentabilidade ambiental, social e econômica, além de contribuir com o processo de economia circular. Contudo, ainda há a necessidade de pesquisas, especialmente no Brasil, sobre os impactos positivos da economia circular no tratamento de esgoto e no gerenciamento do LETE.

4.2. LODO DE ETE

O termo lodo é empregado para denominar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. O lodo gerado nas ETE (LETE) é o principal resíduo gerado no tratamento de esgoto e pode apresentar características muito distintas em relação a sua composição e origem (ABELLEIRA *et al.*, 2012). Além disso, as características também variam, além dos fatores já citados, em função do tipo de tratamento adotado (sistemas de tratamento aeróbios e/ou anaeróbios).

O LETE gerado a partir do esgoto sanitário pode apresentar altas concentrações de matéria orgânica (DBO e DQO), fósforo, nitrogênio, além de metais pesados, como Zn, Cu, Ni, Pb, Hg e Cr (TAO *et al.*, 2012). Já os de origem industrial, podem apresentar diversos tipos de poluentes tóxicos específicos, que variam de acordo com o tipo de indústria e processo utilizado. Como exemplos temos o lodo gerado em indústrias farmacêuticas e o lodo gerado em refinarias de petróleo, que podem apresentar altas concentrações de disruptores endócrinos e antibióticos (GALAN *et al.*, 2012), vários compostos orgânicos altamente tóxicos, carcinogênicos

e mutagênicos. Nos casos das indústrias, esses poluentes específicos devem ser considerados como prioritários, com controles rigorosos para sua liberação no meio ambiente (JING *et al.*, 2012).

O LETE é o principal resíduo sólido gerado na ETE, tanto em quantidade como em complexidade. É composto basicamente por 2% de matéria orgânica (células microbianas, óleos e graxas) gerada durante o tratamento do esgoto e 98% de água. De forma geral, essa biomassa contém aproximadamente 30% de proteínas, 40% carboidratos e os 30% restantes são lipídios particulados (SAHINKAYA *et al.*, 2015). Na Tabela 4.2 são apresentadas algumas caracterizações químicas do LETE de localidades diferentes, porém com processos semelhantes e podemos observar a variação dos componentes do lodo.

Tabela 4.2 - Caracterização química de LETE de diferentes ETE

Atributo	Unidade	Barueri	Franca	Curitiba	Jundiaí	Barcelona
Umidade	%	71,2	82,7		76,2	
Sólidos Voláteis	%	56,8	72,5		69,0	85,2
pH		6,4	5,4	5,9	5,5	6,1
Carbono Orgânico	g kg ⁻¹	293	382	321	226	
Nitrogênio Total	g kg ⁻¹	42,1	68,2	49,1	21,2	42,0
Fósforo	g kg ⁻¹	26,9	12,9	3,7	4,5	7,2
Potássio	g kg ⁻¹	1,0	1,0	1,5	0,66	1,2
Cálcio	g kg ⁻¹	47,8	24,8	15,9	6,6	14,0
Enxofre	g kg ⁻¹	17,1	15,7		11,1	
Sódio	g kg ⁻¹	0,5	0,9		2,4	
Magnésio	g kg ⁻¹	4,5	2,2	6,0	1,3	2,2
Alumínio	mg kg ⁻¹	23.283	23.317		11.465	
Cádmio	mg kg ⁻¹	9,4	2,0	3,0		0,6
Chumbo	mg kg ⁻¹	348,9	140,5	123	136,4	34
Cobre	mg kg ⁻¹	953,0	240,9	325	547	167
Cromo	mg kg ⁻¹	1297,2	1230,3	140	97,5	28
Mercúrio	mg kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	1,0		1,4
Molibdênio	mg kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01			
Níquel	mg kg ⁻¹	605,8	72,4	73	25,3	14
Selênio	mg kg ⁻¹	< 0,01	< 1			
Zinco	mg kg ⁻¹	3372	1198	728	839	459
Boro	mg kg ⁻¹	29,3	19,7		10,1	
Manganês	mg kg ⁻¹	418,9	232,5		425	
Ferro	mg kg ⁻¹	37.990	24.176		15.728	5.750

Fonte: Adaptado de Berttiol & Camargo (2006); Reis (2017).

A geração de LETE ocorre, em princípio, em todos os processos de tratamento bioquímico ou biológico. Sua produção e origem estão relacionadas com o tipo de sistema utilizado para o tratamento do esgoto, conforme Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Origem dos lodos gerados nas ETE

LETE Gerado	Origem na ETE
Lodo primário	Tanque séptico; Decantadores primários
Lodo aeróbio (não estabilizado)	Lodos ativados convencional e; Reatores aeróbios com biofilme (alta carga)
Lodo aeróbio (estabilizado)	Lodos ativados aeração prolongada e; Reatores aeróbios com biofilme (baixa carga)
Lodo anaeróbio (estabilizado)	Lagoas de estabilização; Reatores UASB e Filtros anaeróbios
Lodo químico	Decantador primário com precipitação química e; Lodos ativados com precipitação de fósforo

Fonte: Andreoli *et al.* (2001); Metcalf *et al.* (2013).

O lodo bruto ou primário, gerado nos decantadores primários que recebem esgoto, é composto por sólidos sedimentáveis do próprio esgoto. Em geral apresentam forte odor, principalmente quando submetidos a tempo elevado nos decantadores, apresentam coloração acinzentada, aspecto pegajoso, e de fácil digestão sob condições adequadas de operações da ETE (VON SPERLING, 2001).

Já o lodo biológico ou secundário é o lodo gerado na etapa biológica do tratamento, e é composto pela própria biomassa que se multiplicou a partir do esgoto afluente. Pode se acumular no sistema e, portanto, deve ser removido para não sair junto com o efluente final. Em alguns sistemas os lodos primários e secundários são misturados e enviados para o tratamento do lodo, é o chamado lodo misto. Apresentam aparência floculenta, coloração de marrom a preta, odor pouco ofensivo (quando fresco), e pode ser digerido sozinho ou misturado ao lodo primário. Estes sólidos necessitam de etapa de digestão posterior, pois não se encontram estabilizados (digeridos) e podem apresentar microrganismos patogênicos.

O lodo que passou por estabilização biológica (aeróbia ou anaeróbia) é chamado de lodo digerido, não possui odor ofensivo e se apresenta com coloração marrom escuro. Este tipo de lodo não requer etapa de digestão posterior.

Ainda podem ser gerados lodos químicos quando a ETE incorpora etapas físico-químicas para melhorar o desempenho dos decantadores primários ou para remover algum nutriente no tratamento terciário. Geralmente é resultado da precipitação química com sais metálicos ou cal (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

Mesmo com a variabilidade das características do LETE, alguns parâmetros físico-químicos, apresentados na Tabela 4.3, permitem a distinção e a comparação entre os tipos de LETE provenientes de tratamentos aeróbio e anaeróbio.

Tabela 4.3 - Composição físico-química do LETE gerado em diferentes sistemas

Características	Lodo primário ¹ (tanque séptico)	Lodo secundário	
		Lodo ativado ²	Lodo anaeróbio estabilizado ³
Sólidos Totais	221 g/kg	0,880 g/kg	101 g/kg
Sólidos Voláteis	280 g/kg	0,777 g/kg	682 g/kg
Nitrogênio	21 g/kg	0,047 g/kg	60,8 g/kg
Fósforo	-	4,13 g/L	21 g/kg
Carbono Orgânico	155 g/kg	0,165 g/kg	325 g/kg
pH	7,0	6,17	-

Fonte: ¹Silva *et al* (2008); ²Magalhães (2008); ³Adani & Tambone (2005) adaptado por Correia (2009).

Pode-se encontrar os mais variados microrganismos patogênicos no LETE, desde de bactérias, vírus, protozoários e helmintos. A prevalência e densidade desses microrganismos está relacionada ao quadro epidemiológico da comunidade local e do tratamento dado ao esgoto e ao LETE (CARRINGTON, 2001). No Quadro 4.2 constam os principais microrganismos que podem ser encontrados no LETE.

Quadro 4.2 - Principais microrganismos encontrados no LETE

Bactérias	Vírus	Helmintos	Protozoários	Fungos
<i>Salmonella spp</i>	<i>Poliovírus</i>	<i>Taenia spp</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Aspergillus spp</i>
<i>Shigella spp</i>	<i>Hepatite A-vírus</i>	<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Giardia lamblia</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Rotavírus</i>	<i>Ancylostoma duodenale</i>	<i>Criptosporidium spp</i>	
<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Parvovírus</i>	<i>Hymenolepis nana</i>	<i>Toxoplasma gondii</i>	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	<i>Influenza Vírus</i>	<i>Toxocara spp</i>	<i>Sarcocystis</i>	
<i>Vibrio cholera</i>		<i>Stroglyoides stercolaris</i>		
		<i>Trichiuris trichiura</i>		

Fonte: Carrington (2001); USEPA (2003) citado por Correia (2009).

Segundo Andreoli e colaboradores (2001), dentre os sistemas de tratamento de esgoto, as lagoas de estabilização são as que geram menor volume de lodo, e os sistemas de lodos ativados convencional geram maior volume. A razão é que nas lagoas o lodo fica retido durante anos e sofre digestão e adensamento reduzindo assim seu volume e, no sistema de lodos ativados convencional, o tempo de permanência do lodo ou idade do lodo, dificultando a digestão do lodo no próprio

tanque de aeração. De forma geral, ocorre mais formação de lodo quando utilizamos sistemas de metabolismo aeróbio, o que explica a grande quantidade de lodo a ser descartado nos sistemas de lodos ativados. Nos sistemas anaeróbios, geralmente ocorre menor formação de lodo, conforme Tabela 4.4, e o lodo se apresenta estabilizado, o que o caracteriza como sistema vantajoso em relação à produção e disposição final do lodo.

Tabela 4.4 - Quantidade de LETE gerado nos sistemas de tratamento

Tipo de Sistema	Volume de LETE Gerado (L/hab.d)
Lagoas Facultativas	0,05 – 0,15
Reator UASB	0,2 – 0,6
Lodos ativados convencional	3,1 – 8,2
Aeração prolongada	3,3 – 5,6
Lagoa anaeróbia	0,1 – 0,3
Filtro biológico de alta carga	1,4 – 5,2
Lagoa aerada facultativa	0,08 – 0,22

Fonte: Metcalf *et al.* (2013).

As características do LETE gerado e armazenado nas lagoas de estabilização variam em função do tempo de retenção do lodo. A remoção do LETE gerado nas lagoas deve ser realizada com planejamento, pois existe o risco de haver alterações na característica do lodo. As principais técnicas de remoção do lodo de lagoas podem ser classificadas em mecanizadas ou não mecanizadas e com paralisação ou sem paralisação do funcionamento da lagoa.

4.2.1. LETE Aeróbio

O LETE aeróbio é aquele proveniente de sistemas de tratamento com a presença de oxigênio, como lodos ativados e variantes, lagoa aerada, lagoa aeróbia, lagoa facultativa, filtros biológicos aeróbios, biofiltros aerados, entre outros. No processo de biodegradação aeróbia a matéria orgânica sofre degradação na presença de oxigênio através da ação de microrganismos aeróbios ou facultativos. O processo de biodegradação aeróbio é a via mais rápida, desde que o fornecimento de oxigênio seja contínuo (ANDREOLI; LARA; FERNANDES, 2001).

A adição de oxigênio no esgoto bruto por algumas horas remove a matéria orgânica através da síntese em biomassa, pois na medida em que as bactérias

metabolizam a matéria orgânica presente no esgoto elas absorvem o oxigênio e liberam gás carbônico e se multiplicam adicionando grande população de microrganismos ao LETE a ser biodegradado (HAMMER, 1979).

Neste sentido, o LETE aeróbio, por ser gerado em processo de tratamento diferente do LETE anaeróbio, apresenta características distintas em relação a este, inclusive características relacionadas à capacidade de desaguamento e manejo.

4.2.2. LETE Anaeróbio

A biodegradação anaeróbia se dá na ausência de oxigênio através da ação de microrganismos anaeróbios ou facultativos, e inicia no momento em que o oxigênio dissolvido é consumido pelos microrganismos aeróbios (SANEPAR, 1997).

Como exemplo de LETE anaeróbio temos aquele originário de reatores do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Este tipo de sistema de tratamento dispensa o uso de decantador primário e as etapas de adensamento e digestão, pois estes processos ocorrem dentro do reator. Porém, geralmente é necessária etapa de tratamento biológico complementar para atender aos requisitos de qualidade do efluente tratado (MORTARA, 2011). Desta forma, sistemas de tratamento que utilizam reatores UASB demandam apenas o desaguamento e a secagem como processos de manejo do LETE. O lodo gerado no reator UASB já se encontra adensado e digerido/estabilizado, quando submetido ao desaguamento.

Existem outras tipologias de tratamento que também geram LETE anaeróbio, como lagoas anaeróbias, filtros e reatores anaeróbios, entre outros.

4.2.3. Aspectos Legais sobre o LETE

A gestão do LETE é um tema de importância crescente em todo o mundo, devido ao potencial dano ambiental que pode causar e aos elevados custos operacionais das ETE associados ao este gerenciamento. Na Europa, as regulamentações que preconizavam o armazenamento foram substituídas por outras que priorizam o reúso e a reciclagem deste resíduo, com o objetivo de promover o gerenciamento sustentável do LETE, através da recuperação de matérias-primas importantes a partir deste resíduo potencialmente danoso ao meio ambiente, permitindo o seu aproveitamento na agricultura, na indústria ou na recuperação de calor e energia (BARTKIEWICZ & PIERŚCIENIAK, 2011).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12305/2010) classifica, em seu Art. 13, os resíduos sólidos quanto à origem, apresentando onze categorias diferentes de classificação para os resíduos sólidos. E uma dessas categorias diz respeito aos resíduos gerados nos serviços de saneamento básico, como é o caso do lodo gerado no esgotamento sanitário (BRASIL, 2010). Ainda no âmbito nacional, a ABNT possui norma para classificação de resíduos sólidos (NBR 10004) que inclui em sua definição de resíduos sólidos os “lodos provenientes de sistemas de tratamento de água [...] bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água [...]” (ABNT, 2004).

Portanto, o LETE é classificado como resíduo sólido e deve atender aos preceitos da Lei 12.305/2010 e demais considerações legais. Desta forma, no Brasil, o LETE só deveria ser considerado rejeito, cujas únicas disposições possíveis seriam em aterros sanitários ou incineração, quando todas as demais possibilidades de reaproveitamento, reúso ou reciclagem já tiverem sido esgotadas.

Entretanto, grande parte desse resíduo ainda é enviado a aterros sanitários, muitas vezes com pouca ou nenhuma tentativa de reduzir, reutilizar ou reciclar esse material, conforme preconiza a legislação nacional, na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997b) e Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998). Além disso, devido ao seu volume, ocupa grandes áreas nos aterros, diminuindo seu tempo de vida e capacidade.

4.2.4. Destinação, Aproveitamento e Disposição Final do LETE

O gerenciamento do LETE no Brasil, se apresenta como grande desafio tanto em relação à destinação quanto em relação ao aproveitamento desse resíduo. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12305/2010) estabelece que os resíduos sólidos gerados na ETE devem ter destinação adequada, em termos ambientais, e deveriam ser encaminhados para disposição final, em aterros sanitários, apenas quando forem considerados rejeitos, ou seja, quando todas as possibilidades de tratamento e recuperação do resíduo, por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, se esgotarem (BRASIL, 2010).

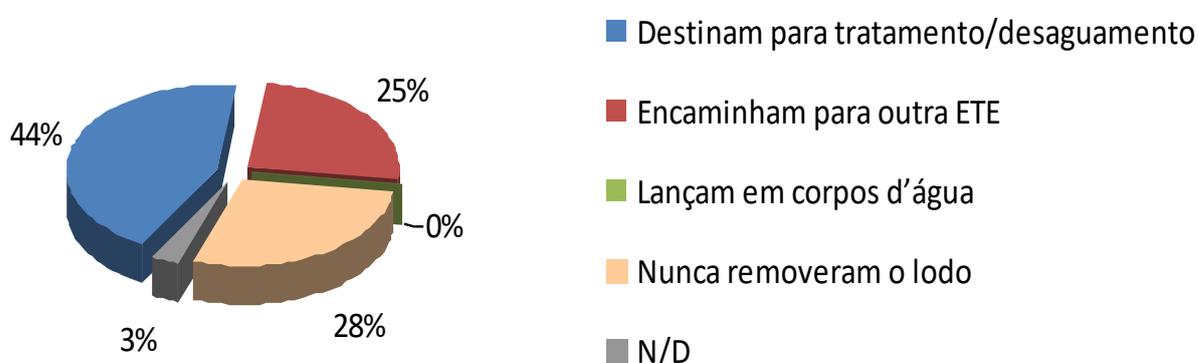
De acordo com os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada em 2008 (IBGE, 2008), pode-se estimar a geração de LETE no Brasil, entre 150 e 220 mil toneladas de sólidos em base seca por ano (PEDROZA, 2010).

Considerando que apenas 25% da população urbana têm seu esgoto tratado, é de se esperar que a geração de LETE superaria 600 mil toneladas em base seca por ano, caso todo o esgoto urbano fosse tratado no país.

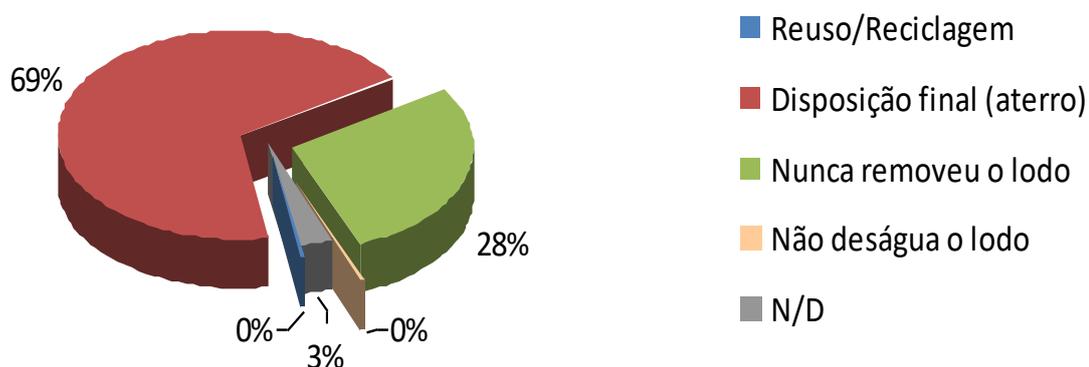
Em 2006, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução n.º 375, definiu critérios e procedimentos para a aplicação agrícola do LETE e seus derivados. A resolução determina as concentrações máximas de metais, as cargas cumulativas máximas permitidas para a aplicação em solos agrícolas, e presença de patógenos e as espécies para as quais o seu uso é recomendado (BRASIL, 2006). Porém, a aplicação do LETE na agricultura vem se mostrando ineficaz no país, tanto pela falta de estudos abrangentes, como pela dificuldade em se garantir a reprodutibilidade dos parâmetros estabelecidos pela resolução.

Sendo assim, o LETE deve ser classificado como resíduo, já os produtos gerados no sistema de gradeamento e na caixa de areia devem ser considerados rejeitos. Infelizmente, essa não é a prática comum no país. A maior parte do LETE é enviada para aterros sanitários após etapas de desaguamento, com a finalidade de reduzir os custos com o transporte e disposição no aterro. Achon e Cordeiro (2016) avaliaram a destinação do LETE em 32 ETEs na mesma sub-bacia localizada no Estado de São Paulo e, conforme Figura 4.5, a forma de destinação que prevalece nessas unidades é o encaminhamento do LETE para sistema de desaguamento (44%), seguido de encaminhamento do LETE para outra ETE que possui sistema de desaguamento (25%) e, por fim, as ETEs que ainda não removeram o LETE (28%). Além disso, o mesmo estudo apresenta a disposição final do LETE (Figura 4.6).

Figura 4.5 - Destinação do LETE em 32 ETE no estado de São Paulo



Fonte: Achon & Cordeiro (2016).

Figura 4.6 - Disposição Final do LETE em 32 ETE no estado de São Paulo

Fonte: Achon & Cordeiro (2016).

Podemos observar que, na sua maioria, o LETE desaguado é disposto em aterro sanitário (69%) e que nenhuma ETE faz reuso ou reciclagem do LETE. As demais ETEs ainda não removeram o LETE de suas lagoas de tratamento. Recordar-se que o Estado de São Paulo concentra a maior parte dos investimentos e apresenta os melhores índices de atendimento deste serviço no país.

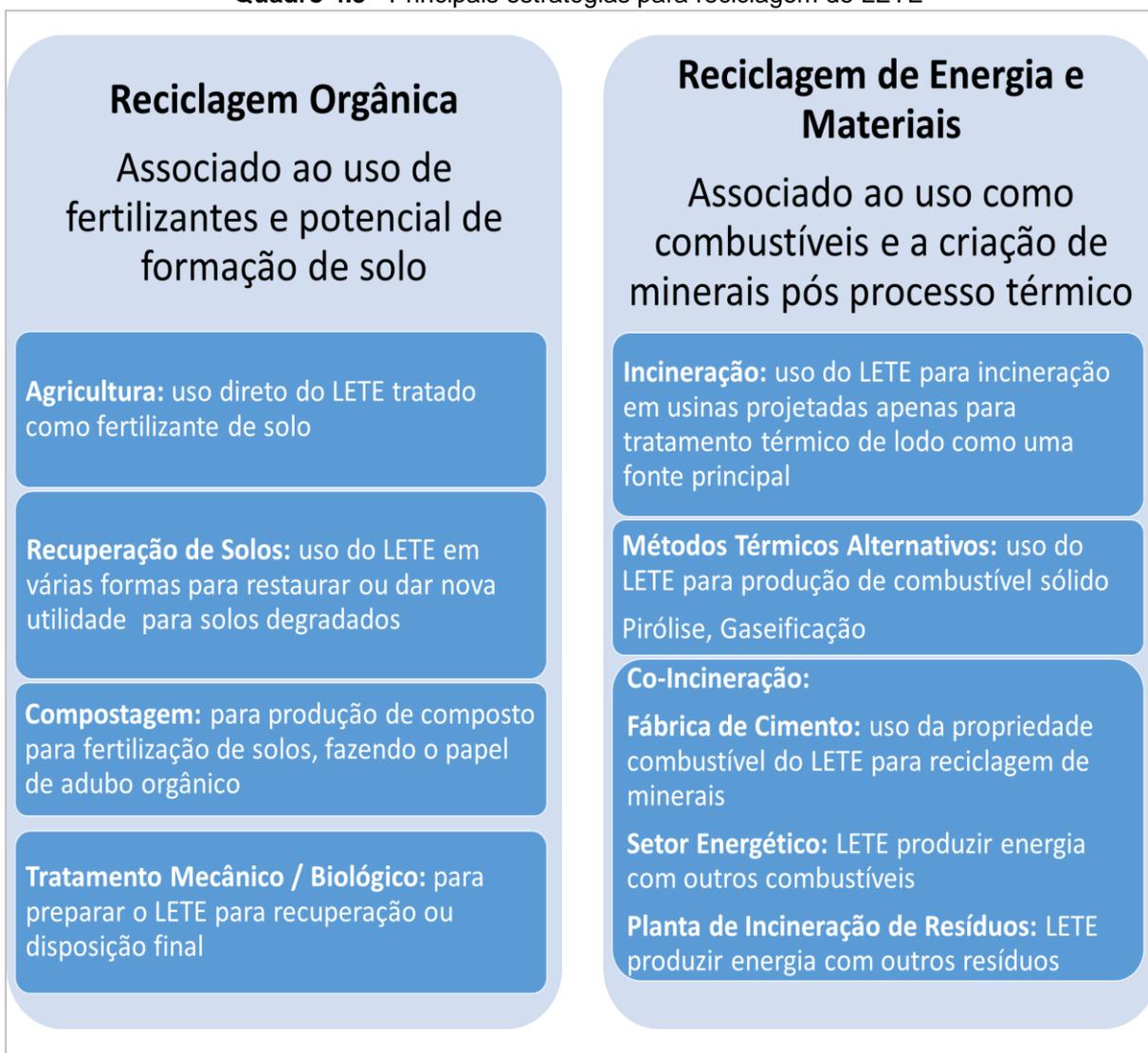
A disposição do LETE em aterros sanitários só deve ser considerada benéfica quando dispõem de recuperação do metano para produção de energia, o que está longe de ser realidade (SAMOLADA & ZABANIOTOU, 2014).

Um inventário desenvolvido pela Comunidade Europeia, para avaliar o desempenho ambiental de diferentes opções para o gerenciamento da fração orgânica de resíduos sólidos municipais, chegou a importantes conclusões preliminares: a utilização de aterros sanitários para a disposição final de bioresíduos deve ser evitada, em favor de outras opções, pois não é uma abordagem ambiental eficiente; a escolha da destinação e disposição final deve ser o resultado de análise que considera fatores locais específicos, produtos a serem evitados, a disponibilidade de outras opções de tratamento e a eficiência dos tratamentos; os efeitos positivos da destinação (recuperação, reuso ou reciclagem) dos bioresíduos excedem os efeitos negativos em todos os aspectos; desempenho ambiental ótimo é alcançado quando vários métodos de tratamento são adotados simultaneamente, em vez de se concentrar apenas em métodos únicos de tratamento (KRUTWAGEN *et al.*, 2008).

Atualmente, diversas tecnologias estão disponíveis para a destinação, seja ela através da recuperação, reuso ou reciclagem do LETE. Algumas dessas opções incluem etapas de adensamento, estabilização, condicionamento, desaguamento,

secagem, digestão anaeróbia, reutilização na agricultura, em materiais da construção civil, recuperação energética, cogeração e incineração. Existem duas linhas principais para a destinação do LETE, chamadas de reciclagem orgânica e reciclagem de energia e materiais, apresentadas no Quadro 4.3 (KACPRZAK *et al.*, 2017).

Quadro 4.3 - Principais estratégias para reciclagem de LETE



Fonte: Adaptado de Kacprzak (2017).

4.3. MANEJO DO LETE

O manejo do LETE, considera todas as etapas desde a geração do LETE no processo de tratamento de esgoto, até a destinação (recuperação, reúso ou reciclagem) e disposição final, considerando ainda as formas de transporte e armazenamento entre as etapas. O objetivo principal do manejo do LETE é gerar produto mais estável, com volume menor para facilitar seu manejo, transporte e economizar nos processos subsequentes, além de buscar destinações adequadas para esse resíduo. Pode-se utilizar processos físicos, químicos e/ou biológicos para esse fim. Em geral, essa etapa do processo ocorre na unidade de tratamento de resíduos (UTR), seguindo etapas de remoção, adensamento, estabilização, condicionamento, desaguamento, secagem, entre outras. O processo típico de manejo do LETE pode ser resumido em três etapas principais, são elas:

Manejo Primário do LETE:

- Remoção;
- Adensamento (por gravidade, mecânico);
- Estabilização (digestão aeróbia e anaeróbia, calagem);
- Condicionamento (através de coagulação e flotação),
- Desaguamento (leitões de secagem, leitões de drenagem, lagoas de lodo, sacos geotêxteis, centrífugas, filtro prensa).

Manejo Secundário do LETE:

- Compostagem, Secagem, Tratamentos Térmicos (incineração, pirólise, gaseificação, entre outros).

Manejo Final do LETE:

- Destinação (enquanto resíduo) – aplicação na agricultura, elaboração de materiais para indústria da construção, recuperação de solos degradados, geração e cogeração de energia, entre outros;
- Disposição final (enquanto rejeito) – aterro sanitário.

O objetivo do manejo primário pode ser resumido como redução de volume do resíduo, através da remoção do máximo de água possível, utilizando-se de processos simples e baratos para reduzir custos de transporte e disposição final. O manejo secundário visa à preparação do LETE para a destinação através de recuperação, reúso ou reciclagem. E o manejo final consiste na destinação ambientalmente adequada ou disposição final do LETE.

O lodo deve ser adensado, elevando a concentração de sólidos e reduzindo seu volume. Deve ainda ser estabilizado antes de sua destinação, para reduzir a quantidade de matéria orgânica e microrganismos patogênicos presentes, através de digestão anaeróbia, aeróbia, compostagem ou incineração. No condicionamento o LETE é preparado para o desaguamento, em geral, através de processos de floculação e/ou coagulação. Na etapa de desaguamento/secagem, através do uso de centrífugas, tambores rotativos, filtros prensa, leitos de secagem, membranas filtrantes ou processos térmicos, promove-se a separação da água livre, reduzindo o teor de umidade e aumentando o teor de sólidos totais (ST). Isso facilita o manejo e transporte do LETE até a sua destinação final, através da recuperação, reúso ou reciclagem deste resíduo, conforme prevê a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

É também necessário considerar o armazenamento de todos os produtos e subprodutos, como o LETE úmido, LETE seco, composto e cinzas, além do transporte interno e externo desses materiais durante todo o processo, através de veículos em estradas, tubulações industriais ou outras formas.

Durante o manejo do LETE suas características podem sofrer alterações. No processo de estabilização ou desinfecção, a microflora do LETE é alterada. O processo de fermentação do metano gera diminuição na quantidade de carbono total, enquanto o tratamento térmico, dependendo da temperatura, pode resultar no adensamento do LETE, ou mesmo na transformação de toda a matéria orgânica em compostos inorgânicos. Portanto, vários tipos diferentes de LETE são gerados a cada etapa do manejo, e cada qual apresenta composição química e biológica diferente. Podem variar em relação as propriedades físicas, consistência ou mesmo em parâmetros como toxicidade ou estabilidade de poluentes. Essa variação pode influenciar as mudanças na tecnologia de processamento, a fim de desenvolver outros métodos de manejo. Portanto, é importante que em todas as etapas do manejo do LETE os produtos, subprodutos e intermediários sejam submetidos a análises físico-químicas abrangentes.

O manejo do LETE é parte integral do tratamento de esgotos. Portanto, o fluxograma da ETE só pode ser considerado completo, se incluir as etapas relacionadas com o manejo do LETE gerado durante o tratamento.

4.3.1. Manejo Primário do LETE

4.3.1.1. Remoção

A etapa de remoção está relacionada com a retirada ou remoção do LETE, do processo de tratamento da fase líquida do esgoto dentro da ETE. A remoção do LETE pode ser manual ou mecanizada e essa operação pode se tornar mais ou menos complexa de acordo com o tipo de alternativa disponível. O grau de dificuldade em remover o LETE do processo influencia diretamente o tempo do manejo, pois quanto maior a complexidade da remoção, maior será o ciclo de operação. Em alguns processos, como em lagoas de estabilização, a remoção do LETE pode ser manual e de longa duração, como podemos observar na Figura 4.7.

Figura 4.7 - Remoção manual de LETE em lagoa anaeróbia em Vitória, ES



Fonte: Gonçalves (1999).

Nos sistemas de tratamentos compactos (como lodos ativados e UASB) há outras formas de remoção do LETE, como o uso de veículos específicos para remoção (de sucção do tipo “limpa fossa”), raspagem manual ou mecanizada da superfície de tanques ou flotores, sistemas de sucção através de tubulações (Figura 4.8), drenagem de fundo de tanque, válvulas de remoção nos reatores UASB, entre outras.

Figura 4.8 - Remoção de LETE por sucção.

Fonte: UPE (2019).

Dependendo da forma como o manejo é realizado, a etapa de remoção pode ser novamente necessária durante o processo, como por exemplo para retirar o LETE desaguando de leitos de drenagem ou de secagem ou ainda na limpeza periódica de lagoas, reatores e tanques.

4.3.1.2. *Adensamento*

O processo de adensamento tem como objetivo reduzir o teor de água não ligada diretamente ao LETE. Visa à diminuição e a redução do volume, além da máxima concentração de sólidos. Utiliza-se de métodos naturais como o adensamento por gravidade, por flotação com ar dissolvido ou processos mecânicos, como adensador de esteira, centrífuga ou tambor rotativo (VON SPERLING, 2005).

4.3.1.3. Estabilização

A estabilização visa à redução da matéria orgânica através da redução de sólidos voláteis presentes do LETE. Os sólidos voláteis são degradados e os microrganismos patogênicos reduzidos, assim como outras características indesejáveis (TCHOBANOGLOUS *et al.*, 2003). Pode ser obtida através da redução biológica ou oxidação química do material volátil, desinfecção térmica ou aplicação de produtos químicos que tornam o LETE inadequado à sobrevivência de microrganismos (DAVID, 2002). Existem várias opções de processos biológicos disponíveis para a estabilização do LETE, incluindo digestão anaeróbia, digestão aeróbia e compostagem (PILLI *et al.*, 2015). Os processos de estabilização do LETE não apenas produzem biossólidos estáveis, mas também outros produtos com valor agregado, como composto e bioenergia na forma de metano (KHANAL *et al.*, 2007).

O processo de digestão aeróbia é amplamente utilizado para a estabilização, e envolve o tratamento de LETE adensado no reator aerado. A biodegradação na digestão aeróbia é altamente dependente do tempo de retenção e da temperatura do reator (SEMBLANTE *et al.*, 2015). É o processo comumente utilizado nas ETE de pequeno porte, pois apresentam baixos custos de investimento inicial, porém o custo operacional aumenta, devido ao consumo de energia para a aeração.

A digestão anaeróbia é, em termos de custo, tecnologia altamente eficaz, pois fornece recuperação de energia na forma de biogás (metano), com impacto ambiental limitado. É o processo utilizado na maioria das ETE de grande porte. Tem a capacidade de reduzir consideravelmente os sólidos finais, bem como inativar a maioria dos microrganismos patogênicos (ABELLEIRA *et al.*, 2012). Apesar disso, a digestão anaeróbia é considerada como processo relativamente lento, pois os compostos necessitam de maiores tempos de retenção e requerem maiores volumes do biorreator (PILLI *et al.*, 2015).

4.3.1.4. Condicionamento

O condicionamento pode ser considerado como etapa de preparação para o desaguamento, e tem como objetivo principal melhorar as características de separação das fases sólido-líquida do LETE, podendo ser realizada por processos físicos ou químicos, e geralmente são utilizadas coagulação e floculação.

A coagulação promove a desestabilização das partículas sólidas com o uso de coagulante, que pode ser sal metálico, cal ou polímeros orgânicos. Dentre os coagulantes inorgânicos mais utilizados podemos citar o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico e cal. Já a floculação permite a aglomeração das partículas sólidas por meio de mistura lenta, empregando baixos gradientes de agitação. O tipo de condicionamento selecionado influencia diretamente a eficiência dos processos de desaguamento (GONÇALVES *et al.*, 2001).

4.3.1.5. Desaguamento

O desaguamento ou desidratação do LETE é o processo físico empregado no manejo com o intuito de reduzir valores significativos do teor de umidade para posterior processamento e utilização do LETE. Esse processo é capaz de alcançar teores de sólido totais variando entre 15 e 30%, dependendo do método empregado (AMUDA *et al.*, 2008).

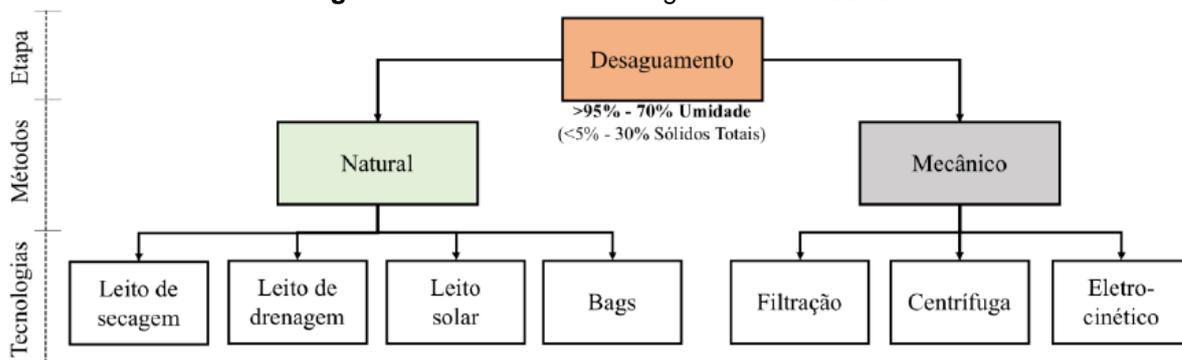
A retirada da água presente no LETE pode ser realizada de forma natural ou mecanizada. As principais razões da realização do desaguamento do LETE, segundo Metcalf *et al.* (2013), são as seguintes:

- Reduzir os custos com transporte para destinação e disposição final devido ao menor volume ocupado devido à retirada parcial de água;
- Facilitar o manejo do LETE;
- Aumentar o potencial de incineração, devido ao menor teor de umidade;
- Reduzir o custo com utilização de produtos químicos caso a compostagem seja o processo escolhido;
- Diminuir o potencial ofensivo do LETE e favorecer melhores práticas gerenciais;
- Reduzir a geração de lixiviado quando da disposição final no solo.

Os métodos naturais incluem lagoas de lodo, leitos de secagem, leitos de drenagem, leitos solares, sacos geotêxteis (*bags*) e disposição no solo. E os processos mecanizados são aqueles que se utilizam de centrífugas, filtros prensa de placas, filtros-prensa de esteira, filtros a vácuo, entre outros (MORTARA, 2011).

A Figura 4.9 representa, esquematicamente, os principais métodos de desaguamento de LETE, classificando-os como naturais ou mecânicos.

Figura 4.9 - Métodos de desaguamento de LETE



Fonte: Reis (2017).

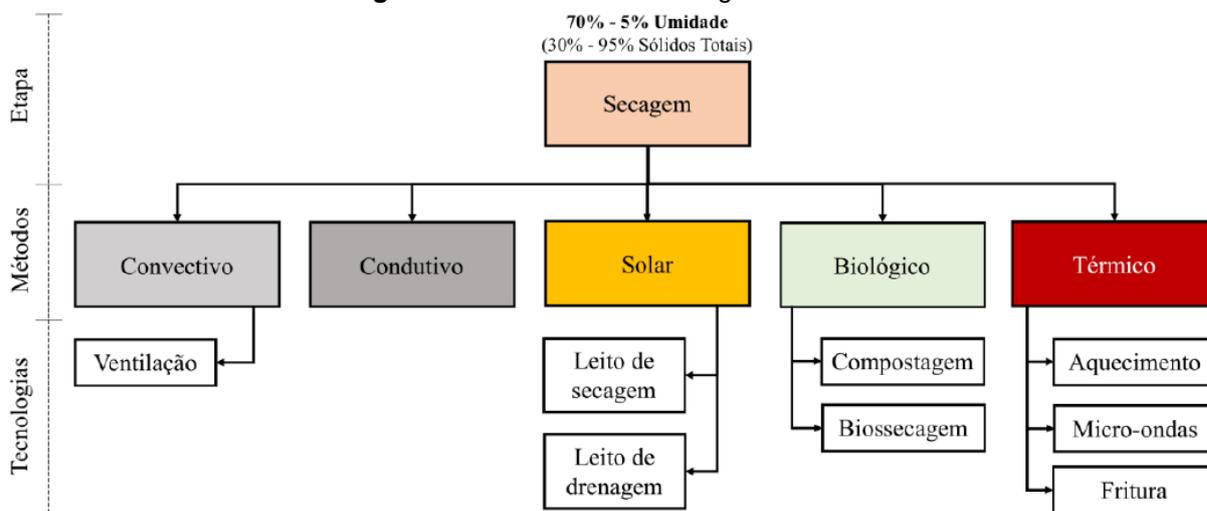
Além dos métodos apresentados, existe ainda a possibilidade de adoção de métodos combinados. A eficiência do processo de desaguamento depende principalmente do método escolhido e das características do LETE.

4.3.2. Manejo Secundário do LETE

4.3.2.1. Tratamentos Térmicos e Secagem

Depois da etapa de desaguamento, geralmente o LETE alcança entre 15 e 30% de teor de sólidos totais, visto que somente a água livre e pequena parcela de água intersticial podem ser removidas com os métodos de desaguamento. Portanto, são necessários métodos complementares para se obter teores de sólidos maiores. A Figura 4.10 representa, esquematicamente, alguns métodos de secagem de LETE.

Figura 4.10 - Métodos de secagem de LETE



Fonte: Reis (2017).

Os métodos de secagem empregam mais energia. Alguns dos métodos podem ser convectivos, condutivos, solares (leito de secagem e leito de drenagem), biológico (compostagem e biossecagem ou *biodrying*), térmico (aquecimento convencional, micro-ondas e fritura), entre outros. Algumas tecnologias utilizadas no desaguamento também podem ser consideradas como tecnologias de secagem, posto que dependendo das condições climáticas locais e das características operacionais, podem ser alcançados teores de sólidos maiores que 30%.

4.3.2.2. Compostagem

A compostagem pode ser aplicada para a conversão do LETE em produto estabilizado que pode ser utilizado como fertilizante orgânico (MALINSKA *et al.*, 2014). A compostagem ocorre em processo cíclico com três etapas de evolução da temperatura. É necessária a adição de agente agregador como serragem para iniciar o processo. O primeiro estágio é atribuído ao crescimento da microbiota mesofílica, que aumenta a temperatura do sistema (em torno de 40°C) e pode durar até 15 dias. O segundo estágio está associado à ativação da microbiota termofílica (entre 60 e 70°C). Neste estágio, a maioria dos patógenos perece sob o regime de altas temperaturas, pode durar até dois meses. Finalmente, o terceiro estágio é a fase de maturação que envolve a diminuição na temperatura e reativação da população mesofílica. Também dura em média dois meses e é caracterizado pela queda da atividade microbiana. A compostagem tem sido usada com sucesso como método de manejo secundário tanto em escala laboratorial quanto em escala piloto e industrial (GONZALEZ *et al.*, 2017).

Essa tecnologia é amplamente aceita para a estabilização do lodo, no entanto, pode ser limitada devido à presença de alguns compostos complexos, pela diminuição de temperatura, indisponibilidade de microrganismos, presença de materiais não estabilizados e patógenos. Pode haver ainda a compostagem do LETE adicionada com outros resíduos, como a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos.

4.3.3. Manejo Final do LETE

Esta última etapa do manejo, está relacionada com a destinação e disposição final do LETE. Seja a disposição final em aterro sanitário, ou a destinação (recuperação, reúso e reciclagem) na agricultura, indústria da construção, recuperação de solos degradados, geração e cogeração de energia, como descrito no Item 4.2.2 deste trabalho. Destaca-se, a seguir, a aplicação na indústria da construção, na geração e cogeração de energia e tecnologias futuras.

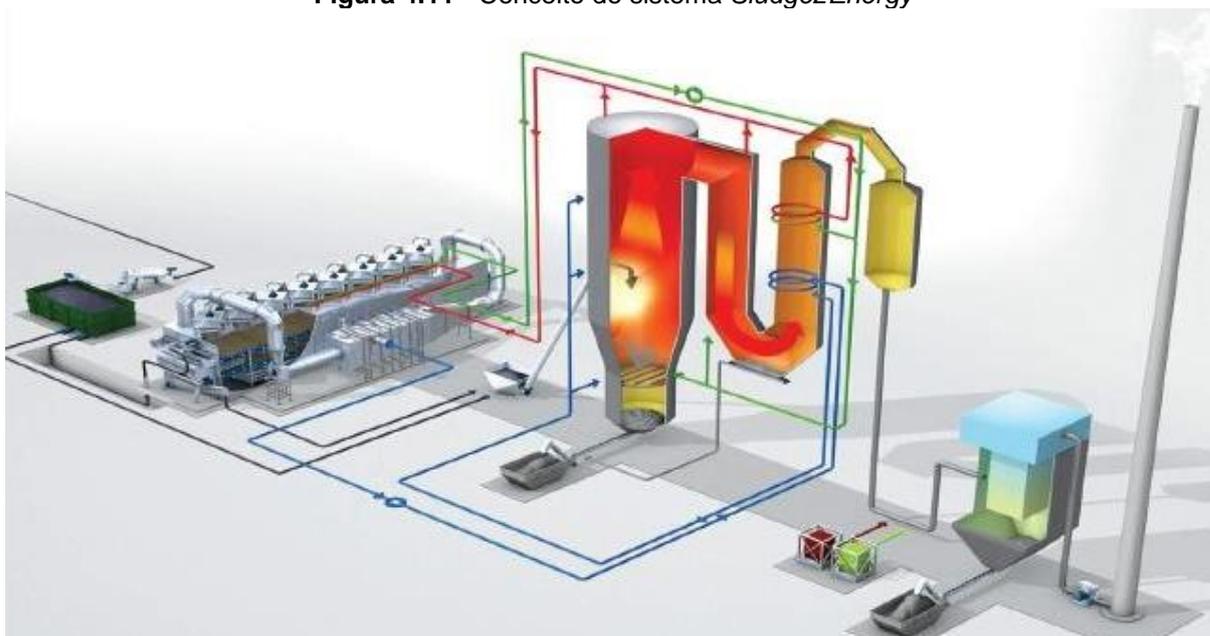
4.3.3.1. Construção Civil

O LETE tem sido aplicado em diversos materiais relacionados à indústria da construção. Existem aplicações para LETE seco e para suas cinzas, geradas durante a combustão do LETE em incineradores. As principais aplicações na indústria da construção, segundo Smol *et al.* (2015), estão na:

- Indústria cerâmica como matéria-prima na fabricação de cerâmica de construção (tijolos, azulejos e telhas cerâmicas);
- Componente da mistura de matérias-primas para produção de cimento (concreto e argamassa);
- Aditivo para aglutinantes do cimento;
- Substituto da areia e/ou cimento em bases de cimento estabilizadas, sub-bases e aterros em construções rodoviárias; e
- Agregado de concreto leve.

4.3.3.2. Geração e Cogeração de Energia

A geração e cogeração de energia está relacionada ao aproveitamento energético do LETE e de outros resíduos sólidos orgânicos, que podem ser classificados como biomassa ou biossólidos, e são considerados recursos energéticos renováveis. Podem ser utilizadas inúmeras formas para obtenção de energia. Como exemplos é possível citar a combustão ou incineração direta, co-processamento, gaseificação e pirólise. A Figura 4.11 apresenta um exemplo de sistema de co-processamento da empresa inglesa *Huber Technology*, chamado de *Sludge2Energy*, que seca o lodo e o utiliza como fonte de energia térmica e elétrica (HUBER TECHNOLOGY, 2019).

Figura 4.11 - Conceito do sistema *Sludge2Energy*

Fonte: Huber Technology (2019).

4.3.3.3. *Tecnologias Futuras*

Existem algumas tecnologias futuras surgindo para produção e recuperação de energia por meio da utilização de resíduos do tratamento de esgoto, como a:

- Conversão de LETE em óleo e gás;
- Cultivo de biomassa;
- Produção de hidrogênio a partir do esgoto;
- Produção de bioeletricidade a partir de células de combustível microbianas.

No entanto, são necessários estudos adicionais para incrementar o desempenho, a segurança e o custo-benefício destas tecnologias.

Além destes, existem vários outros estudos e relatos na bibliografia, para o aproveitamento do LETE, como a aplicação na agricultura, na recuperação de solos degradados, em reflorestamento, entre outros (SAMOLADA & ZABANIOTOU, 2014).

4.4. SAÚDE E SEGURANÇA OCUPACIONAL

A área multidisciplinar que compreende a saúde e segurança ocupacional (SSO), atualmente representa um dos fatores mais importantes para o bem-estar da sociedade moderna, devido à importância cada vez maior da relação trabalho, realização pessoal, profissional e qualidade de vida. A SSO pode ser definida como a ciência ou conjunto de disciplinas que tem como objetivo prevenir acidentes e doenças relacionadas com o trabalho, através de análise, avaliação e gerenciamento de riscos presentes nos ambientes de trabalho, protegendo assim, a integridade física e mental dos trabalhadores (SOUNIS, 1991).

Acidentes e doenças ocupacionais são fontes principais de perdas financeiras e organizacionais. Representam grandes desafios para os governos, empresas e instituições, devido aos altos custos sociais e econômicos decorrentes direta ou indiretamente dos acidentes e doenças do trabalho. Além disso, o trabalhador-vítima e seus familiares sofrem com as consequências dos acidentes e doenças do trabalho, nos aspectos emocionais, sociais e econômicos (PINHO, 2007).

Pode-se definir acidente do trabalho, de acordo com a Previdência Social (2010), como aquele que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho, provocando lesão corporal ou perturbação funcional, permanente ou temporária, que cause a morte, a perda ou a redução da capacidade para o trabalho. Doenças relacionadas com o trabalho e acidentes nos deslocamentos residência-trabalho-residência, se equivalem, legalmente, aos acidentes de trabalho. Para Almeida e Vilela (2010), acidentes e doenças relacionadas ao trabalho são eventos influenciados por aspectos relacionados à situação imediata de trabalho como maquinário, tarefa, meio técnico ou material, e também pela organização do trabalho.

De acordo com dados do Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho MPT-OIT (Ministério Público do Trabalho - Organização Internacional do Trabalho), no Brasil foram gastos cerca de R\$ 20 bilhões, entre 2012 e 2016, para o pagamento de auxílios-doença por acidente de trabalho, aposentadorias por invalidez acidentária, pensões por morte acidentária e auxílios-acidente. Somente com auxílio-doença com acidente de trabalho, o Instituto Nacional de Seguro Social (INSS) gastou cerca de R\$ 12 bilhões neste período. Além disso, mais de 250 milhões de dias de trabalho foram perdidos, somando o total de dias de cada afastamento do tipo auxílio-acidente, nos casos de acidente de trabalho. Os dados da OIT indicam ainda, que as

perdas econômicas por acidentes e doenças relacionadas ao trabalho são estimadas em 4% do PIB (Produto Interno Bruto) mundial (OIT, 2017).

A adoção de práticas com foco em prevenção, gestão de saúde e segurança do trabalho e gestão de riscos ocupacionais, deve ser tratada com condição fundamental para a sustentabilidade do negócio. Devendo fazer parte dos planos estratégicos de qualquer organização. As áreas de saúde, segurança e gestão de riscos ocupacionais têm recebido interesse substancial e cada vez maior da comunidade científica, com objetivo de melhorar a segurança e diminuir o número de acidentes. Este cenário, promove importante discussão sobre os temas relacionados, seus aspectos legais, riscos ocupacionais, além da gestão e avaliação destes riscos (AKAMANGWA, 2016).

4.4.1. Aspectos Legais

A legislação que aborda os temas relacionados com a SSO, acompanharam a evolução industrial no país, embora com algum atraso. De acordo com Fernandes (1995) os progressos e as leis de maior relevância no âmbito nacional acompanham a ordem cronológica apresentada no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 - Ordem cronológica dos principais avanços legais da SSO no Brasil

Ano	Principais Avanços Legais
1891	Leis que proíbe o trabalho de menores de 12 anos
1907	Organização de sindicatos urbanos
1919	Aprovada a Lei de Acidentes do Trabalho
1923	Criada a Instituição do Seguro Social para ferroviários
1925	Instituída a Lei das Férias;
1930	Criação do Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio
1931	Editadas as Leis Sindicais
1932	Referências sobre o Trabalho da Mulher / Instituídas as Convenções Coletivas
1935	Aprovada a Lei da Indenização por Dispensa Injusta do Trabalhador
1939	Criação da Justiça do Trabalho
1940	Instituído o Salário Mínimo;
1943	Criada a Consolidação das Leis do Trabalho – CLT, Decreto-Lei 5.452.
1972	Torna obrigatória a existência de SESMT nas Empresas - Portaria 3.237 do MTE
1977	MTE edita as Normas Regulamentadoras (NR) - Portaria 3.214

Fonte: Adaptado de Fernandes (1995).

A CLT em 1943, estabeleceu, em seu Capítulo V, as normas de segurança, higiene e medicina do trabalho. Entretanto, houve pouco avanço em relação ao assunto no país. Até que em 1972, a Portaria 3.237 do Ministério do Trabalho torna obrigatória a existência de Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT) nas empresas, conforme era estabelecido pela OIT, em sua Recomendação n.º 112. Já em 1977, a Lei 6.514, incumbe ao Ministério do Trabalho a regulamentação dos assuntos referentes à Segurança e Medicina do Trabalho e, no mesmo ano, a Portaria 3.214 edita as Normas Regulamentadoras (NR), relativas à Saúde e Segurança Ocupacionais. Nos anos seguintes, o Brasil ratifica e incorpora outras Convenções da OIT à legislação nacional, podendo criar, alterar, complementar ou revogar as normas em vigor (BRASIL, 1977 e 1978).

A evolução tecnológica acontece muito mais depressa do que a atualização dos instrumentos legais de proteção ao trabalhador, mesmo assim a legislação referente à SSO deve ser dinâmica, para acompanhar as mudanças nos conceitos e processos de trabalho. Atualmente, a legislação trabalhista conta com 37 Normas Regulamentadoras (NR), apresentadas no Quadro 4.5, com conteúdo detalhado, com temas e questões diversificadas, de modo a nortear as ações na área de saúde e segurança do trabalhador. Apesar das NRs apresentarem caráter educativo, elas têm força de lei e sua não aplicação torna a empresa passível de penalidades.

Quadro 4.5 - Normas regulamentadoras (NR) brasileiras

(continua)

NR	Descrição Normas Regulamentadoras
NR 01	Disposições Gerais
NR 02	Inspeção Prévia
NR 03	Embargo ou Interdição
NR 04	Serviços Especializados em Eng. de Segurança e em Medicina do Trabalho
NR 05	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA)
NR 06	Equipamentos de Proteção Individual (EPI)
NR 07	Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO)
NR 08	Edificações
NR 09	Programas de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA)
NR 10	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
NR 11	Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais
NR 12	Máquinas e Equipamentos
NR 13	Caldeiras e Vasos de Pressão
NR 14	Fornos
NR 15	Atividades e Operações Insalubres

Quadro 4.5 - Normas regulamentadoras (NR) brasileiras

(conclusão)

NR	Descrição Normas Regulamentadoras
NR 16	Atividades e Operações Perigosas
NR 17	Ergonomia
NR 18	Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção
NR 19	Explosivos
NR 20	Líquidos Combustíveis e Inflamáveis
NR 21	Trabalho a Céu Aberto
NR 22	Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração
NR 23	Proteção Contra Incêndios
NR 24	Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho
NR 25	Resíduos Industriais
NR 26	Sinalização de Segurança
NR 27	(Revogada) Registro Profissional do Técnico de Segurança do Trabalho no MTB
NR 28	Fiscalização e Penalidades
NR 29	Segurança e Saúde no Trabalho Portuário
NR 30	Segurança e Saúde no Trabalho Aquaviário
NR 31	SST na Agricultura, Pecuária Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura
NR 32	Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Saúde
NR 33	Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados
NR 34	Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria Naval
NR 35	Trabalho em Altura
NR 36	SST em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados
NR-37	Segurança e Saúde em Plataformas de Petróleo

Fonte: Adaptado de BRASIL (1978).

É possível observar que algumas NRs, são gerais e sua aplicação é obrigatória a todos os setores, como as NR 5, 6, 7, 9, 23 e 24 que abordam respectivamente, comissão interna de prevenção de acidentes (CIPA), equipamento de proteção individual (EPI), programas de controle médico ocupacional (PCMSO), programas de prevenção de riscos ambientais (PPRA), proteção contra incêndios e condições sanitárias e de conforto nos locais de trabalho. Por outro lado, outras NRs são específicas, como a NR 18, 29, 31, 32 e 36, que tratam respectivamente, de atividades da construção civil, trabalho portuário, trabalho aquaviário, agricultura e pecuária, serviços de saúde, e abate e processamento de carnes e derivados.

A legislação trabalhista nacional é ampla e abrangente, já que considera diversas condições de trabalho específicos em vários setores e cujo objetivo é garantir as condições mínimas ideais para realização das atividades protegendo a integridade do trabalhador. Contudo, a operação de ETE, e o manejo do LETE apresentam alguns

riscos ocupacionais específicos, que será discutido a seguir, contudo carecem de maior atenção da legislação no Brasil.

4.5. AVALIAÇÃO E GESTÃO DE RISCOS

O risco está presente em todas as áreas de negócios, indústria, prestação de serviços, agropecuária, setor financeiro, construção civil, segurança do trabalho, saúde, transporte, logística, gerenciamento de suprimentos, entre outras.

O conceito de risco e avaliação de risco sempre estiveram presentes na nossa história, auxiliando a tomada de decisões individuais e em grupo. Entretanto, a gestão e avaliação de riscos, enquanto área científica específica, é relativamente nova, com pouco mais de 40 anos. Neste período, surgiram as primeiras publicações científicas abordando os princípios básicos e as ideias fundamentais de como avaliar e gerenciar adequadamente os riscos. Grande parte desses princípios e ideias, disseminadas nos anos 70 e 80, ainda estão presentes, porém grandes avanços foram alcançados desde então. Métodos e técnicas analíticas mais atuais e eficientes foram desenvolvidos e estão sendo aplicadas aos mais diversos tipos de riscos.

Existem duas formas principais de abordagens quando lidamos com riscos. A primeira é a aplicação das técnicas de avaliação e gestão de riscos para estudar e tratar os riscos de alguma atividade específica, como, por exemplo, na operação de refinarias de petróleo ou na área de investimentos financeiros. A segunda forma seria atuar em pesquisa e desenvolvimento de riscos genéricos, relacionados a conceitos, teorias, princípios e métodos, para compreender, caracterizar, comunicar e gerir, de maneira mais ampla, os riscos (AVEN & ZIO, 2014).

Essa segunda forma, mais genérica, fornece as ferramentas e técnicas necessárias para avaliar e gerenciar os riscos das questões mais específicas. A abordagem de risco mais genérica define, na sua maioria, a ciência do risco. No entanto, as aplicações específicas também podem ser consideradas científicas, quando o trabalho contribuir para novas formas de pensar, novos problemas, ou novas formas de conduzir determinado método na prática. Neste trabalho aplicam-se conceitos e princípios bem estabelecidos em normas internacionais para estudar e tratar os riscos de atividade específica, neste caso no manejo do LETE.

Existem várias definições para o conceito de risco em sentido mais amplo. Por se tratar de campo ou disciplina científica, é necessário que os termos e conceitos

sejam bem definidos e universalmente compreendidos. Porém, a experiência mostrou que concordar com conjunto unificado de definições não é realista. Partindo deste ponto, a *Society for Risk Analysis* (SRA) conduziu reflexão que resultou no glossário da associação, com definições para a área. A ideia fundamental deste glossário estabelece que ainda é possível formar definições oficiais sob diferentes perspectivas e fazer a distinção entre definições globais e suas medidas associadas. Segue a definição de risco, segundo o glossário da SRA (2015):

Considerando atividade futura, por exemplo fenômeno natural, e definimos risco em relação às consequências dessa atividade futura com relação a algo que os seres humanos valorizam. As consequências são consideradas em relação a alguns valores de referência (valores planejados, objetivos, etc.), e o foco é normalmente em consequências negativas e indesejáveis. Há sempre pelo menos um resultado considerado negativo ou indesejável. Seguem as definições globais de risco:

- a. A possibilidade de uma ocorrência infeliz ou lamentável;
- b. O potencial para a realização de consequências negativas e indesejadas de um evento;
- c. Exposição a uma hipótese (ex.: ocorrência de uma perda) que é incerta;
- d. As consequências da atividade e incertezas associadas;
- e. Incerteza sobre e gravidade das consequências de uma atividade em relação a algo que valorizamos;
- f. A ocorrências de alguma consequência específica da atividade e incertezas associadas;
- g. O desvio do valor de referência e incertezas associadas (SRA, 2015).

Todas essas definições expressam essencialmente a mesma ideia, adicionando a variável da incerteza a eventos (atividades) e suas consequências. De acordo com a NBR ISO 31000 (ABNT, 2018), o risco é o efeito da incerteza nos objetos, que é bastante similar as definições globais da SRA.

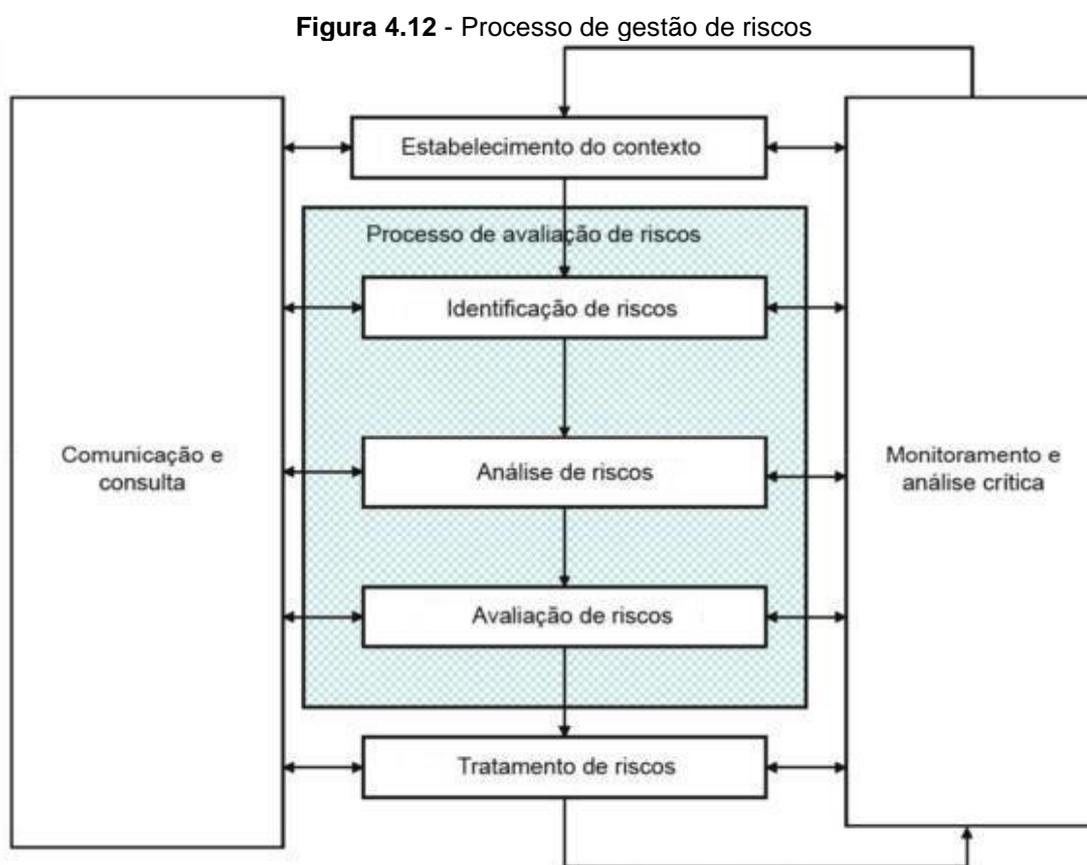
Para descrever ou avaliar/medir os riscos, usamos diversas técnicas, entre elas usamos métodos qualitativos e quantitativos como as combinações de probabilidade, gravidade das consequências e frequência, entre outras formas. A aplicabilidade de cada técnica depende da situação. Várias destas técnicas, para avaliação de riscos, estão descritas e compiladas na NBR ISO/IEC 31010 (ABNT, 2012).

O método utilizado para entender e descrever os riscos influencia profundamente na análise desses riscos, portanto, tem implicações na gestão dos

riscos e na tomada de decisões. A incerteza é o conceito chave para descrever e avaliar os riscos, e é importante lembrar que qualquer metodologia utilizada para gerenciar riscos, deve ser tratada apenas como ferramenta. Sempre terão limitações e estas devem receber a devida atenção. Sem essa ideia clara, diferenciando o conceito geral de risco e como ele está sendo medido, fica mais difícil saber o que procurar e como melhorar as ferramentas utilizadas (AVEN, 2015).

4.5.1. Processo de Gestão de Riscos

A NBR ISO/IEC 31010 reconhece que o processo de gestão de riscos (Figura 4.12) proporciona entendimento aperfeiçoado dos riscos que poderiam afetar o alcance dos objetivos, bem como a adequação e eficácia dos controles em uso. Essas informações são fundamentais aos tomadores de decisão e às partes responsáveis, pois fornecem base para a seleção das abordagens mais apropriadas para a gestão dos riscos. Ademais, a norma afirma que “a saída do processo de avaliação de riscos é a entrada para os processos de tomada de decisão da organização” (ABNT, 2012).



Fonte: ABNT (2012).

O processo de avaliação de riscos engloba os elementos centrais da gestão de riscos, definidos na NBR ISO 31000. O que inclui a aplicação de métodos lógicos e sistemáticos para a comunicação e consulta ao longo de todo o processo; o estabelecimento do contexto para identificar, analisar, avaliar e tratar o risco; o processo de avaliação de riscos (identificação, análise e avaliação); o tratamento de riscos; o monitoramento e análise crítica de riscos; além do reporte e registro dos resultados de forma apropriada. O processo de avaliação de risco é responsável por identificar, de forma estruturada, como os objetivos podem ser afetados, e por analisar o risco em termos de consequências e probabilidades, antes de decidir se são necessários tratamentos adicionais (ABNT, 2018).

A correta avaliação de riscos auxilia no entendimento do risco e seu potencial impacto na organização fornece informações importantes aos tomadores de decisões, contribui para a seleção adequada de tratamentos ao risco, ampara no estabelecimento de prioridades, colabora para prevenção de incidentes e acidentes, fornece atendimento de requisitos legais, entre outros benefícios.

A avaliação de riscos depende de comunicação e consulta eficazes com as partes interessadas para obter êxito. O envolvimento das partes interessadas deve ocorrer em todas as fases, e irá auxiliar no plano de comunicação, na definição do contexto, assegurar a identificação de riscos, assim como o apoio para a aplicação do tratamento. Depende ainda do estabelecimento adequado do contexto, com a definição dos parâmetros básicos, internos e externos relevantes para a organização e para a gestão de risco, além de definir o escopo e os critérios para todo o processo. Devem ser levados em consideração fatores culturais, econômicos e ambientais, percepções, valores, fluxos de informações, processos, política e organização interna da organização. Deve-se definir os responsáveis e responsabilidades, tempo de projeto, metodologias para avaliação de riscos, avaliação de desempenho da gestão de riscos, critérios para decidir se o risco é aceitável ou tolerável, entre outros (ABNT, 2012).

Após a definição e estabelecimento da comunicação e do contexto, iniciamos o processo de avaliação de risco, que inclui a identificação, análise e avaliação de risco. Este pode ser feito em nível organizacional, departamental, para projetos, atividades individuais ou riscos específicos, com a utilização de diferentes técnicas para diferentes contextos. As etapas da avaliação de risco serão melhores detalhadas no próximo tópico. Avaliado o risco, deve se optar por uma ou mais formas de

tratamento, caso seja necessário, de forma a alterar (reduzir) a probabilidade de ocorrência e/ou o efeito do risco. O controle do risco deve ser acompanhado pelo processo cíclico de melhoria contínua, para a reavaliação do novo nível de risco, até que se alcance a tolerância estabelecida previamente ou a eliminação completa do risco. E, finalmente, temos as etapas de monitoramento e análise crítica, que devem ocorrer de forma regular, com o objetivo de verificar se as premissas estabelecidas continuam válidas, se os resultados estão de acordo com o esperado, se as técnicas estão sendo aplicadas de forma apropriada, e se os tratamentos ainda são eficazes (ABNT, 2012).

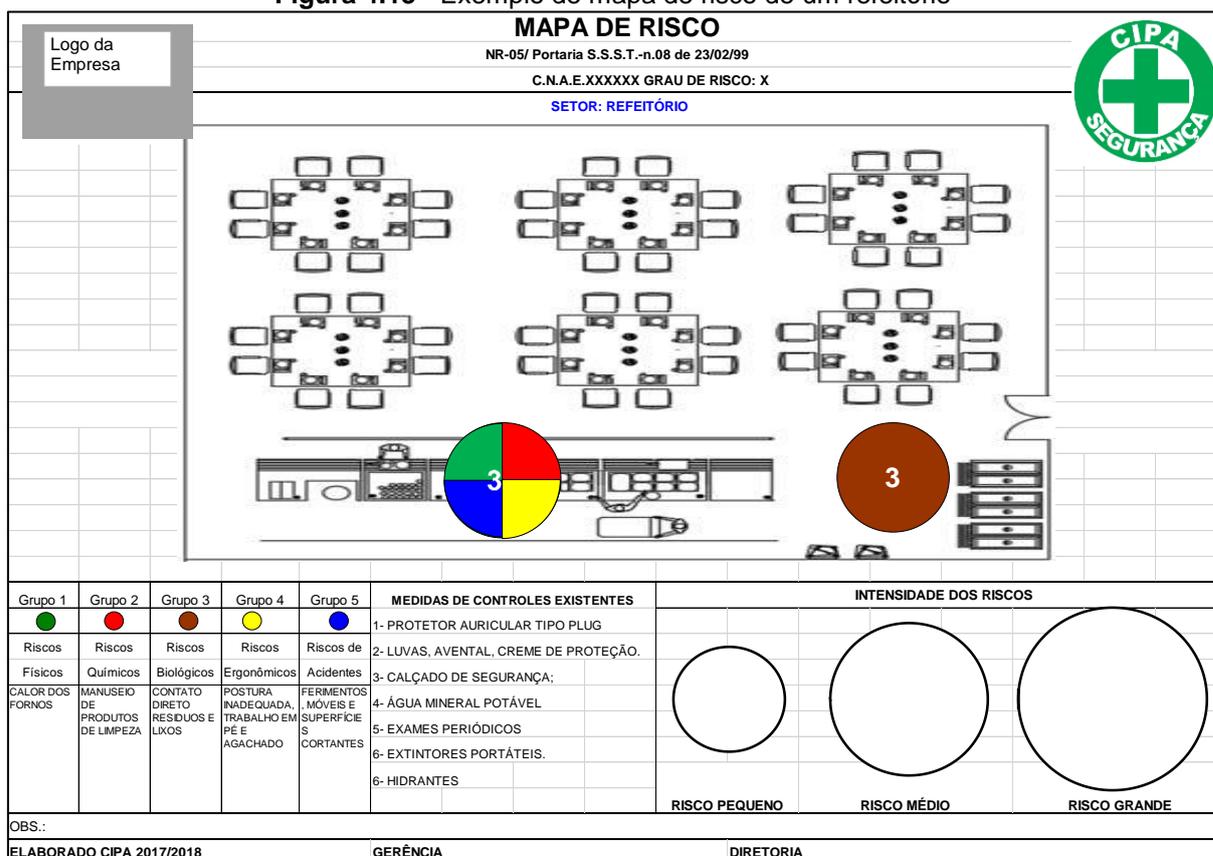
4.5.1.1. *Identificação de Riscos*

Nesta primeira etapa, o risco ou o conjunto devem ser identificados, com o objetivo de gerar relação abrangente de riscos que possam aumentar, evitar, reduzir, acelerar ou atrasar a realização dos objetivos. Obviamente, o risco não identificado nesta etapa, não será incluído nas análises posteriores, portanto, é necessário bastante atenção e esforço. A tendência é que as organizações incrementem essa lista com o passar do tempo, pois a compreensão dos riscos evolui ao longo do tempo, a identificação de riscos deve ser considerada como processo iterativo, que faz progresso através de tentativas sucessivas de refinamento, cuja frequência será diferente para cada situação, melhorando continuamente o processo.

Segundo a NBR ISO/IEC 31010, a identificação de riscos é “o processo de encontrar, reconhecer e registrar os riscos” (ABNT, 2012). Nada mais é do que a determinação dos riscos que podem afetar a atividade, no caso deste trabalho, são os riscos que podem afetar a saúde e segurança dos trabalhadores que atuam diretamente no manejo do lodo (LETE). A finalidade deste processo é identificar situações que possam afetar a realização da atividade, em outras palavras, o processo junta a identificação de causa e origens do risco.

A NR 5, delega à CIPA a atribuição de “identificar os riscos do processo de trabalho, e elaborar o mapa de riscos, com a participação do maior número de trabalhadores, com assessoria do SESMT, onde houver” (BRASIL, 1978). O mapa de riscos consiste em representação gráfica baseada no *layout* do local analisado, com os riscos presentes. A Figura 4.13 apresenta exemplo de mapa de risco.

Figura 4.13 - Exemplo de mapa de risco de um refeitório



Fonte: Autor (2018).

Alguns mapas de risco, trazem informações além da identificação de risco, como a intensidade do risco (pequeno, médio grande), outra vezes a quantidade de trabalhadores expostos, configurando assim não apenas a etapa de identificação de riscos, mas também a análise prévia e avaliação de riscos. O mapa de risco deve ser elaborado por profissionais da empresa que recebem curso específico, e pode ser utilizado como fonte de informação para processo de avaliação de risco mais abrangente e estruturado.

A etapa de identificação de risco é crucial no processo de avaliação e gerenciamento de riscos, pois gera grande impacto na precisão de análises posteriores. Apesar da existência de vários métodos e técnicas, a precisão dos resultados depende da descrição adequada das atividades.

De acordo com a NBR ISO/IEC 31010, os métodos de identificação de riscos podem incluir métodos baseados em evidências (listas de verificação e análises críticas de dados históricos), abordagens sistemáticas de equipe (equipe de especialistas segue processo sistemático para identificação de riscos através de conjunto estruturado de instruções ou perguntas), técnicas de raciocínio indutivo tais

como o HAZOP. Outras técnicas podem ser utilizadas para melhorar a exatidão da identificação como o *Brainstorming* e o método Delphi (ABNT, 2012).

4.5.1.2. *Análise de Riscos*

A análise de riscos está relacionada ao entendimento do risco previamente identificado. Na análise ocorre a determinação das potenciais consequências e suas probabilidades, levando em consideração a existência e a eficácia de eventuais medidas de controle existentes. As consequências e suas probabilidades devem ser combinadas para determinar o nível de risco. Essa etapa possibilita a avaliação da importância de cada risco e sua priorização, geralmente é conduzida através de uma matriz de probabilidade e impacto. De acordo com a NBR ISO 31000, "a análise de riscos pode ser realizada com diversos graus de detalhe, dependendo do risco, da finalidade e das informações, dados e recursos disponíveis. Dependendo da circunstância a análise pode ser qualitativa, semiquantitativa, quantitativa ou combinação destas" (ABNT, 2018).

Análises qualitativas determinam consequência, probabilidade e nível de risco por níveis de relevância ou significância, tais como alto, médio e baixo, pode combinar consequência e probabilidade, e avaliar o nível de risco resultante em comparação com critérios qualitativos. Nos métodos semiquantitativos são utilizadas escalas de classificação numérica para consequência e probabilidade que são combinadas e produzem o nível de risco através de fórmula. Essas escalas podem ser lineares ou não. A análise quantitativa estima valores práticos para consequência e probabilidade, e produz o valor para o nível de risco. Devido a informações insuficientes sobre o sistema ou atividade, nem sempre é possível conduzir a análise quantitativa completa. Algumas aplicações complexas podem requerer mais de uma técnica ou a combinação de métodos.

A análise de riscos fornece a compreensão sobre os riscos identificados. Envolve a análise das causas e fontes de risco, suas consequências positivas e negativas, e também a probabilidade de que essas consequências venham a ocorrer. Nessa etapa, deve-se analisar todos os riscos identificados na etapa anterior, verificando quais são as consequências e probabilidade dos riscos, dados que serão importantes para a etapa posterior de avaliação de riscos.

O nível de risco estimado pela análise, dependerá da adequação e eficácia da dos controles existentes. É necessário conhecer esses controles, verificar se são realmente capazes de tratar o risco, e se estão operando de acordo com sua forma pretendida. O nível de eficácia dos controles que irá contrapor o nível de risco pode ser expresso em termos qualitativa, semiquantitativa, quantitativamente.

O mesmo evento pode apresentar gama de consequências ou impactos de diferentes magnitudes e afetar diferentes objetos e partes interessadas. Portanto, é necessário analisar as consequências, levando em consideração os controles existentes e seus efeitos sobre ela, as consequências imediatas e aquelas que podem surgir ao longo do tempo, além das consequências secundárias que podem impactar os sistemas, atividades ou organizações.

Para realizar a análise e estimativa de probabilidades, a NBR ISO 31010 indica três abordagens gerais, que podem ser utilizadas separadamente ou em conjunto:

- Utilização de dados históricos pertinentes, para extrapolação da probabilidade de ocorrência futura baseada em situações passadas;
- Uso de técnicas preditivas, dedução da probabilidade pela análise do sistema, devido à indisponibilidade de dados históricos. Uso de métodos como a análise de árvore de falhas e análise da árvore de eventos;
- Uso de processo sistemático e estruturado para estimar a probabilidade baseando-se em opinião de especialistas. Emprego de métodos como Delphi, comparações emparelhadas, classificação de categorias e julgamentos de probabilidade absoluta (ABNT, 2012).

4.5.1.3. Avaliação de Riscos

A avaliação de riscos consiste em comparar o nível de risco encontrado durante o processo de análise com os critérios de risco estabelecidos quando o contexto foi considerado. Se utiliza da compreensão do risco, obtida durante a análise, para tomadas de decisões sobre futuras ações. As decisões podem incluir a definição se o risco precisa de tratamento, quais as prioridades para implementação do tratamento, se a atividade deve ser realizada, qual rumo alternativo deve se tomar.

Algumas decisões podem depender do custo-benefício entre assumir o risco ou tratá-lo. Em geral, se divide os riscos em três faixas para realizar a avaliação: na primeira constam os riscos considerados intoleráveis cujo tratamento é essencial; na

segunda os riscos são considerados parcialmente toleráveis e tratamento é recomendável, deve-se levar em conta as potenciais consequências; na terceira o nível de risco é considerado muito pequeno, irrelevante e nenhuma medida de tratamento é necessária.

4.5.2. Técnicas para Gestão de Riscos

A literatura apresenta diversas técnicas e ferramentas que podem ser empregadas em cada etapa do processo de avaliação de riscos. O Quadro 4.6 apresenta algumas técnicas classificadas conforme a norma NBR ISO/IEC 31010.

Quadro 4.6 - Aplicabilidade das técnicas para gestão de riscos

Ferramentas e Técnicas	Identificação de Risco	Análise de Risco	Avaliação de Riscos
<i>Brainstorming</i>	AA	NA	NA
Entrevistas Estruturadas ou Semiestruturadas	AA	NA	NA
Delphi	AA	NA	NA
Listas de Verificação	AA	NA	NA
Análise Preliminar de Perigos e Riscos (APR)	AA	NA	NA
Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP)	AA	A	A
Análise de Perigos e Pontos Críticos Controle (APPCC)	AA	A	AA
Avaliação de Risco Ambiental	AA	AA	AA
Técnica Estruturada "e se" (SWIFT)	AA	AA	AA
Análise de Cenários	AA	A	A
Análise de Impactos no Negócio	A	A	A
Análise de Causa-Raiz	NA	AA	AA
Análise de Modos de Falha e Efeito (FMEA)	AA	AA	AA
Análise de Árvore de Falhas	A	A	A
Análise de Árvore de Eventos	A	AA	NA
Análise de Causa e Consequência	A	AA	A
Análise de Causa e Efeito	AA	A	NA
Análise de Camadas de Proteção (LOPA)	A	A	NA
Árvore de Decisões	NA	AA	A
Análise da Confiabilidade Humana	AA	AA	A
Análise <i>Bow tie</i>	NA	AA	A
Manutenção Centrada em Confiabilidade	AA	AA	AA
<i>Sneak Analysis (SA) e Sneak Circuit Analysis (SCA)</i>	A	NA	NA
Análise de Markov	A	A	NA
Simulação de Monte Carlo	NA	NA	AA
Estatística Bayesiana e Rede de Bayes	NA	A	AA
Curvas FN	A	AA	AA
Índices de Risco	A	AA	AA
Matriz de Probabilidade/Consequência	AA	AA	A
Análise de Custo/Benefício	A	A	A
Análise de Decisão por Multicritérios (MDCA)	A	AA	A
Legenda:			
AA = altamente aplicável / NA = não aplicável / A = aplicável			

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

Destaca-se e detalha-se a seguir algumas das técnicas aplicáveis para a identificação, análise e avaliação de riscos, conforme a NBR ISO/IEC 31010.

4.5.2.1. Listas de Verificação

Também conhecidas como *checklists*, é uma forma simples para identificação de riscos. Deve ser previamente desenvolvida uma lista, códigos ou normas para posterior aplicação. Apesar de ser ferramenta para a identificação de riscos, esta contribuição é restrita a riscos já identificados em processos anteriores. É uma ferramenta muito simples de ser construída e aplicada. Não obstante, há certos cuidados a serem tomados, para tornar o uso das listas de verificações realmente efetivo. Devem ser construídos para fácil aplicação e interpretação. Neste sentido, a adequada diagramação do formulário da lista de verificação é fundamental.

4.5.2.2. Análise Preliminar de Perigos e Riscos (APR)

Consiste em uma análise indutiva cujo objetivo é identificar os perigos e situações perigosas que podem causar danos para uma determinada atividade ou sistema. A técnica deve ser aplicada nas fases iniciais do projeto ou nova atividade. A APR consiste na construção de lista ou tabela, na qual são elencados os perigos inerentes à atividade, sistema ou processo, quais as causas e possíveis consequências. Esta relação pode ser expandida e melhorada, incluindo probabilidade, impacto e, conseqüentemente, a categoria do risco. Podem ser agregadas também as medidas preventivas, corretivas ou mitigadoras, responsável, prazos, transformando a planilha em plano de ação.

4.5.2.3. Estudo de Perigos e Operabilidade (HAZOP)

É um processo de identificação de riscos para definir possíveis desvios do desempenho esperado. Busca-se, através de equipe multidisciplinar, identificar fatores de risco e problemas operacionais, ao percorrer o fluxograma de processo e para cada parâmetro de processo, e utilizar palavras-guias com o intuito de questionar, buscando identificar e quantificar os efeitos. A principal vantagem do HAZOP é sua abrangência, devido ao fato de ser procedimento estruturado e sistemático.

4.5.2.4. *Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle (APPCC)*

É um sistema proativo, preventivo e sistemático para assegurar a qualidade do produto, confiabilidade e segurança dos processos através da medição e monitoramento das características específicas que são requeridas para estarem dentro dos limites definidos. A aplicação do APPCC é definida em sete passos:

- Identificação dos perigos e avaliação de sua severidade;
- Determinação dos PCC (pontos críticos de controle);
- Estabelecer medidas e critérios para assegurar o controle do processo;
- Monitorar os PCC;
- Estabelecer sistema de arquivos e registro de dados;
- Agir corretivamente sempre que os resultados do monitoramento indicarem que os critérios não estão sendo seguidos;
- Verificar se o sistema está funcionando como planejado.

4.5.2.5. *Técnica Delphi*

Método para levantamento de ideias e obtenção de consenso a partir da participação anônima dos especialistas, de modo a evitar a parcialidade e influência dos participantes na conclusão. É uma técnica colaborativa para a construção de consenso entre os especialistas. Seguem os principais passos para aplicação:

- Define-se o facilitador que fica responsável por compilar as informações dos questionários respondidos pelos especialistas;
- Define-se critérios de consenso ou de término das rodadas;
- Selecione os especialistas com base no tema sendo analisado;
- Cria-se o questionário para enviar para os especialistas. Por exemplo: Questionário para levantar os riscos de um projeto;
- O facilitador organiza as respostas recebidas e cria o sumário das respostas para submeter aos especialistas de modo a buscar uma revisão da resposta inicial e assim conseguir consenso entre eles;
- Caso não seja obtido o consenso, repete-se o segundo passo até que seja obtido o consenso ou que algum critério pré-definido seja alcançado, como por exemplo, o número de rodadas.

Como desvantagem temos o tempo dispendido e, conseqüentemente, o custo associado, pois podem ser necessárias várias rodadas para se alcançar o consenso. Porém, o método pode ser adaptado conforme sua necessidade.

4.5.2.6. *Entrevistas*

É uma forma de coleta de amplo conjunto de ideias e avaliação. As entrevistas podem ser categorizadas como estruturadas ou semiestruturadas. As entrevistas estruturadas ocorrem através da aplicação individual de questionário, cujas questões pré-elaboradas têm como objetivo incentivar o entrevistado a analisar situações a partir de determinados pontos de vista, possibilitando assim a identificação dos riscos. As entrevistas semiestruturadas ocorrem de maneira análoga, todavia sob estrutura menos rígida, que permite maior liberdade para explorar assuntos que possam surgir eventualmente. Entrevistas são utilizadas para coletar diferentes tipos de informações, e caracterizam método que permite maior liberdade nas respostas. Algumas vantagens dessa técnica são:

- Proporciona tempo para o entrevistado refletir sobre questões;
- Pode permitir considerações mais aprofundadas, já que a comunicação é direta;
- Permite o envolvimento e participação de maior número de pessoas.

Algumas desvantagens dessa técnica são:

- É dispendiosa em termos de tempo para o aplicador do questionário;
- Vieses não são removidos devido à ausência da discussão em grupo.

4.5.2.7. *Brainstorming*

Esta técnica consiste em estimular o fluxo de ideias através da conversação de grupo de pessoas. Este grupo é frequentemente composto pela equipe de trabalho e outra equipe multidisciplinar de especialistas. Em outras palavras, a técnica se fundamenta na realização de reuniões entre equipes com o propósito de encorajar ideias que, por sua vez, desencadearão novas ideias de outras pessoas. A técnica gera uma lista abrangente de riscos. As principais vantagens dessa técnica são:

- Incentivo à imaginação, permite a identificação de novos riscos e busca de soluções inovadoras;

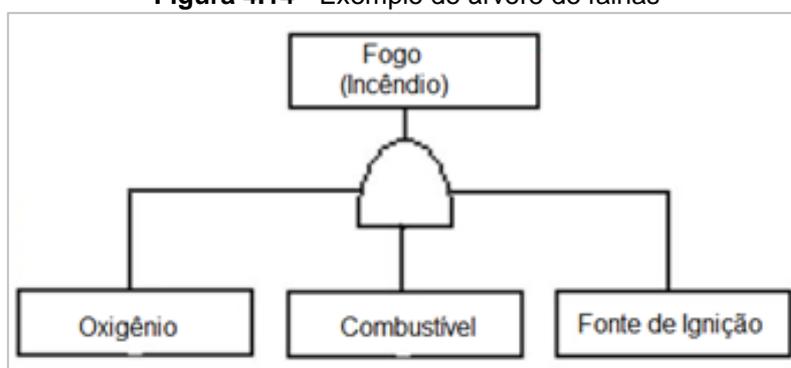
- Envolvimento da equipe e melhora na comunicação global;
- Preparação relativamente fácil.

Dentre as desvantagens, devido ao grau de não-estruturação da técnica torna-se difícil a comprovação da abrangência do processo (verificação de que todos os riscos principais foram identificados). Ainda há a predominância da opinião e participação de apenas algumas pessoas.

4.5.2.8. *Análise de Árvore de Falhas (AAF)*

É um método dedutivo, que busca determinar, a partir de falhas, as possíveis causas, identificando a probabilidade de ocorrência e os conjuntos mínimos de fatores que podem levar a esta falha. Através da atribuição de probabilidade de falhas para os eventos anteriores, pode-se chegar à probabilidade do evento final. A técnica se inicia com o evento indesejado e, a partir dele, se determina todas as formas em que ele poderia ocorrer. Os resultados são apresentados graficamente em diagrama de árvore lógica, como podemos observar na Figura 4.14.

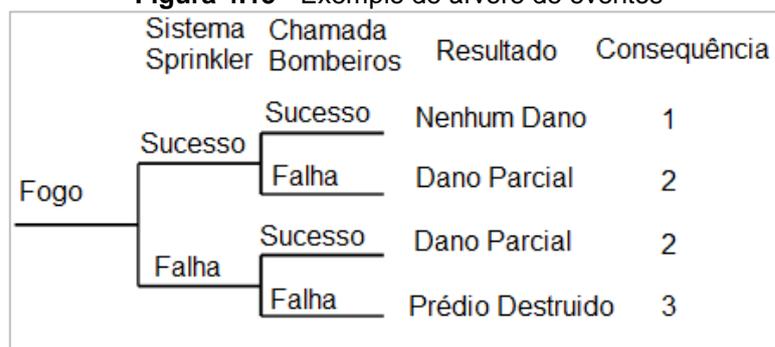
Figura 4.14 - Exemplo de árvore de falhas



Fonte: Autor (2018).

4.5.2.9. *Análise de Árvore de Eventos (AAE)*

É um método similar ao AAF, porém indutivo. Ao invés de construir a árvore para trás, buscando causas, constrói-se a árvore para a frente, para identificar os possíveis desdobramentos de falhas iniciais nas fases mais avançadas do processo. Utiliza o raciocínio indutivo para traduzir as probabilidades de diferentes eventos iniciais em resultados possíveis, como podemos observar na Figura 4.15.

Figura 4.15 - Exemplo de árvore de eventos

Fonte: Autor (2018).

4.5.2.10. Índice de Risco

Um índice de risco é uma medida semiquantitativa do risco e utiliza uma abordagem de pontuação mediante escalas ordinais. Podem ser utilizados para avaliar uma série de riscos com o uso de critérios similares, de modo que possam ser comparados. Podem ser utilizados para classificar diferentes riscos associados a uma atividade, se o sistema for bem entendido. As escalas ordinais, em certa medida, são arbitrárias, portanto, são necessários dados suficientes para validar o índice.

4.5.2.11. Matriz de Probabilidade e Consequência

A matriz deve caracterizar as combinações de probabilidade e consequência, e classifica dos riscos de acordo com sua prevalência em níveis a serem estabelecidos. O Quadro 4.7 apresenta exemplo de matriz de probabilidade versus consequências.

Quadro 4.7 - Exemplo de matriz de probabilidade e consequência

Matriz de Riscos		Probabilidade		
		Baixa	Média	Alta
Consequência	Baixa	Muito Baixo	Baixo	Médio
	Média	Baixo	Médio	Alto
	Alta	Médio	Alto	Muito Alto

Fonte: Autor (2018).

Com a matriz é possível estabelecer quais são os riscos críticos da atividade e direcionar o desenvolvimento de ações e medidas de resposta a estes riscos. A avaliação de probabilidade e impacto deve ser feita para cada risco identificado, a partir da opinião especializada. A avaliação deve ser feita através de entrevistas ou reuniões com membros da equipe de trabalho e pessoas competentes externas.

4.5.3. Sistemas de Gestão de Riscos

O gerenciamento dos riscos, além de preocupação global, é prática recomendada pela legislação brasileira, sendo citada em diversas Normas Regulamentadoras (NR) do Ministério do Trabalho e Emprego, entre elas a NR 5, NR 9, NR 10, NR 18, NR 22, NR 29, NR 32, NR 33, NR 35 (BRASIL, 1978).

Faz-se necessária abordagem estruturada para o gerenciamento dos riscos, pois os riscos, de forma geral, são aspectos inerentes aos processos e atividades. O objetivo dos processos relacionados ao gerenciamento dos riscos é minimizar o impacto de eventos potencialmente negativos e obter vantagem das oportunidades para melhoria nos processos.

As principais normas sobre gestão disponíveis dedicadas a temas relacionados com saúde e segurança do trabalho e gestão de riscos são as normas OHSAS 18001 - Sistemas de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional, norma britânica amplamente adotada em todo o mundo, que serviu de modelo e será gradativamente substituída pela ISO 45001:2018; e a ABNT NBR ISO 31000:2018 - Gestão de Riscos.

4.5.3.1. International Organization for Standardization (ISO)

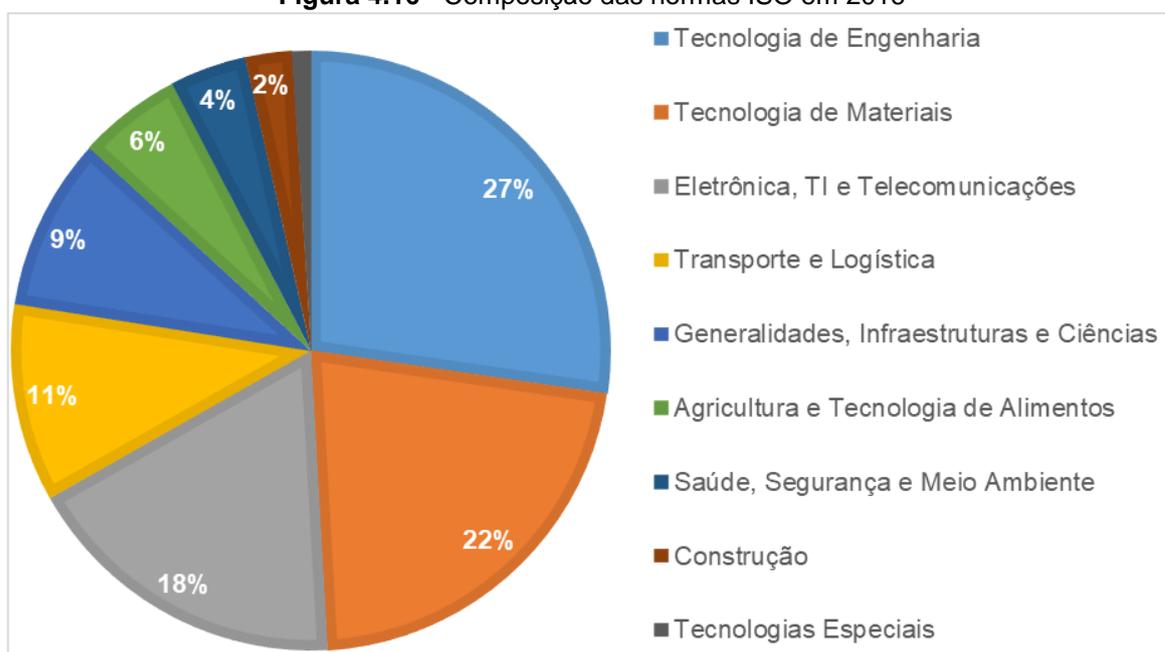
A *International Organization for Standardization (ISO)* é uma organização não-governamental e sem fins lucrativos que iniciou suas atividades em 1947, com 67 Comitês Técnicos (grupo de especialistas com foco em assuntos específicos), e se estabeleceu em Genebra, na Suíça. Na época havia grande preocupação mundial quanto à padronização de normas industriais para facilitar as trocas comerciais internacionais de produtos e serviços (ISO, 2016).

Inicialmente, a ISO esteve diretamente relacionada ao desenvolvimento de especificações e normas técnicas de produtos, como parafusos e papel. Mas isso não impediu que nos 80, comitês específicos fossem formados para tratar de assuntos gerenciais, incluindo temas de gestão da qualidade e meio ambiente. Posteriormente

foram publicadas normas de gestão como a ISO 9001 – Gestão da Qualidade em 1987, e a ISO 14001 – Sistemas de Gestão Ambiental em 1996.

Atualmente suas normas abrangem quase todos os setores de tecnologia e negócios, como é possível observar na Figura 4.16. Possui 161 países membros, incluindo o Brasil que é representado na organização pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e conta com mais de 22.047 normas publicadas e 778 comitês e subcomitês técnicos (ISO, 2016).

Figura 4.16 - Composição das normas ISO em 2016



Fonte: Adaptado de ISO (2016).

É possível observar ainda hoje que a maioria das normas publicadas pela ISO estão voltadas a tecnologias de engenharia e de materiais. As normas direcionadas à gestão de saúde e segurança ocupacional e gestão de riscos não chegam a somar 4% do total, sabendo que foram tabuladas com normas relacionadas ao meio ambiente. Mesmo assim, demonstram mudança sutil no foco da ISO, de normas estritamente técnicas para normas de gestão que possuem grande impacto na sociedade, organizações e nas políticas públicas.

Quando os modelos de gestão da qualidade e ambiental foram criados a adesão foi lenta e gradual nas organizações, porém, assim que descobriram o quanto seus resultados podiam ser melhorados a partir desses modelos, houve a introdução

acelerada e crescente dos modelos na gestão mundo afora. O mesmo efeito vem se repetindo na gestão de saúde e segurança do trabalho, e na gestão de riscos.

4.5.4. Riscos Ocupacionais

Seguindo definição de risco discutida anteriormente, o risco ocupacional é a combinação da probabilidade de ocorrência e a gravidade de evento indesejado relacionado à atividade de trabalho, ou ocupacional, de um ou mais indivíduos. A legislação brasileira, na NR 9, determina em relação aos riscos: “consideram-se riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador” (BRASIL, 1978).

Os danos ou eventos indesejados, decorrentes das atividades de trabalho podem ser sobre seres vivos, meio ambiente ou sobre materiais. Os eventos ocorridos anteriormente ao dano são denominados causas, e estas são chamadas de fatores ou situações de risco. A possibilidade de ocorrência de dano está intimamente ligada à exposição, ou seja, contato entre agente e receptor, sendo que inexistindo esta interação, impossibilita-se a ocorrência do dano. Desta forma, risco ocupacional é frequentemente definido como a combinação da exposição e da gravidade dos efeitos à saúde do trabalhador em relação a algum agente.

Ainda de acordo com a Portaria 3.214 de 1978, que institui as NRs, além dos riscos físicos, químicos, biológicos, definidos na NR 9, temos ainda riscos ergonômicos e de acidentes, que podem comprometer a saúde e segurança no trabalho (BRASIL, 1978).

Os riscos físicos, estão relacionados a diversas formas de energia. Entre os descritos na NR 15 temos os ruídos intermitente e de impacto, calor e frio, vibrações, radiações ionizantes e não ionizantes, umidade, além de pressões anormais. Além dos agentes físicos, temos os agentes químicos que são substâncias, compostos ou produtos que podem penetrar no organismo pela via respiratória, nas formas de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade de exposição, podem ter contato ou ser absorvido pelo organismo através da pele ou por ingestão. Já os biológicos compreendem as bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus, entre outros. Todos com o potencial de causar problemas à saúde humana. Os riscos ergonômicos estão relacionados a desajustes

de ritmo e frequência de trabalho, equipamento e instrumentos utilizados na atividade profissional que podem gerar desgaste físico, emocional, fadiga, sono, dores musculares, na coluna e articulações. Os riscos de acidentes estão relacionados com arranjo físico inadequado, máquinas e equipamentos sem proteção, ferramentas inadequadas ou defeituosas, iluminação inadequada, eletricidade, probabilidade de incêndio ou explosão, armazenamento inadequado, animais peçonhentos, espaços confinados, trabalho em altura, e outras situações de risco que poderão contribuir para a ocorrência de acidentes (BRASIL, 1978). Os riscos ocupacionais, descritos anteriormente, podem ser categorizados, classificados e identificados por cores, conforme podemos observar no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 - Classificação dos riscos ocupacionais

Grupo	Riscos	Cor de Identificação	Descrição
1	Físicos	Verde	Ruído, calor, frio, pressões, umidade, radiações ionizantes e não ionizantes, vibrações, etc.
2	Químicos	Vermelho	Poeiras, fumos, gases, vapores, névoas, neblinas, etc.
3	Biológicos	Marron	Fungos, vírus, parasitas, bactérias, protozoários, insetos, etc.
4	Ergonômicos	Amarela	Levantamento e transporte manual de peso, monotonia, repetitividade, responsabilidade, ritmo excessivo, posturas inadequadas de trabalho, trabalho em turnos, etc.
5	Acidentais	Azul	Arranjo físico inadequado, iluminação inadequada, incêndio e explosão, eletricidade, máquinas e equipamentos sem proteção, quedas e animais peçonhentos.

Fonte: Hökerberg, *et al.* (2006).

Tão importante quanto conhecer e identificar os riscos ocupacionais, é gerenciá-los de forma adequada. Quando estamos lidando com riscos, devemos pensar em antecipar os potenciais fatores geradores de acidentes e doenças no trabalho, o que possibilitará a adoção de medidas de proteção eficazes. Em outras palavras, significa gerenciar os riscos ocupacionais com o objetivo de evitá-los, minimizá-los ou, ao menos, controlá-los.

4.6. ANÁLISE CRÍTICA DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica se iniciou apresentando informações sobre os sistemas de tratamento de esgoto sanitário, com ponderações sobre os tipos de tratamentos, o atual cenário nacional e o conceito de economia circular no tratamento de esgoto. A partir dessa abordagem inicial, ponderou-se sobre o lodo gerado nas ETEs, características do LETE, seus aspectos legais, destinação, aproveitamento e disposição do LETE, e etapas do Manejo do LETE (remoção, adensamento, estabilização, condicionamento, desaguamento, tratamentos térmicos, secagem, compostagem, reaproveitamento e destinação final). Posteriormente foram apresentados aspectos relacionados à saúde e segurança ocupacional, seus aspectos legais, conceitos de avaliação e gestão de riscos, etapas e técnicas, sistemas de gestão de riscos, além de considerações sobre riscos ocupacionais.

De acordo com os dados disponíveis sobre o sistema de esgotamento sanitário no país pode-se afirmar que a situação, de modo geral, ainda é deficiente e distante do que foi estabelecido na Política Nacional do Saneamento Básico (BRASIL, 2007). Esta situação negativa se intensifica ainda mais quando se considera a confiabilidade e credibilidade das informações e dados disponíveis, visto que são fornecidas por distintas administrações públicas e privadas, com diversos interesses políticos-financeiros, que podem informar erroneamente, de maneira incompleta ou até mesmo inverídica e distorcida (PLANSAB, 2013; IBGE, 2008; SNIS, 2016).

As ETEs podem causar danos ambientais, contradizendo o objetivo para o qual foram concebidas, pois em seus processos geram resíduos, como em qualquer tipo de atividade. A sociedade, de forma gradual, está percebendo a importância da preservação dos recursos naturais em prol da qualidade de vida e da sua própria existência no planeta. Pode-se afirmar que o Brasil possui legislação ambiental de alta amplitude, porém é necessário que os gestores e responsáveis pelas ETEs tenham conhecimento mais aprofundado desta legislação. Por fim, pode-se mencionar ainda a carência de fiscalização ambiental e trabalhista mais incisiva e abrangente para garantir boas práticas relativas à gestão e ao manejo do LETE.

Torna-se imprescindível que haja maior esforço em relação ao manejo do LETE. A preocupação com os resíduos gerados e os aspectos trabalhistas têm que fazer parte de todas as etapas, desde a concepção dos projetos das ETEs até a sua operação. É importante que sempre exista a busca por melhoria em relação às

alternativas de destinação do LETE; adequada capacitação de recursos humanos; avaliação de novas tecnologias; projetos de extensão com a participação das comunidades. Tais melhorias podem contribuir com o desenvolvimento sustentável das atividades desempenhadas nas ETEs.

Outro ponto a se discutir é a falta de padronização das etapas de manejo do LETE. Na bibliografia consultada não se encontrou publicações que definissem ou agrupassem todas as etapas que compõem o manejo do LETE ou mesmo representação que direcionasse e ordenasse tais etapas. Desse modo, para este trabalho e de acordo com seus objetivos, foi elaborada proposta de padronização do manejo do ETE (Figura 6.15), ordenando e definindo as etapas que o compõe.

Durante a realização deste trabalho, observou-se a existência de várias pesquisas relacionadas com gestão e avaliação de riscos ocupacionais em diversas áreas e setores, mas poucos trabalhos nacionais e nenhum abordando, especificamente, os riscos ocupacionais presentes no manejo do LETE. Destaca-se o trabalho de Buda (2004) que abordou alguns aspectos de segurança e higiene ocupacional em ETEs. Além disso, percebe-se a escassez de trabalhos relacionados à gestão de riscos ocupacionais no Brasil para as áreas de saneamento básico, como foi demonstrado no Capítulo 3 deste trabalho (Análise Bibliométrica), não existem trabalhos acadêmicos publicados no Brasil ou no mundo, que abordem de forma integrada a gestão de riscos ocupacionais no manejo do LETE. Portanto, é necessário que haja mais trabalhos nesta área.

A adoção de práticas preventivas e seguras pode reduzir o número de incidentes e acidentes que geram interrupções, afastamentos e prejuízos financeiros, além de melhorar a eficiência e produtividade. Embora seja tema de relevância para a sustentabilidade dos negócios, a cultura de segurança e a gestão de riscos ocupacionais parecem estar restritas a países desenvolvidos.

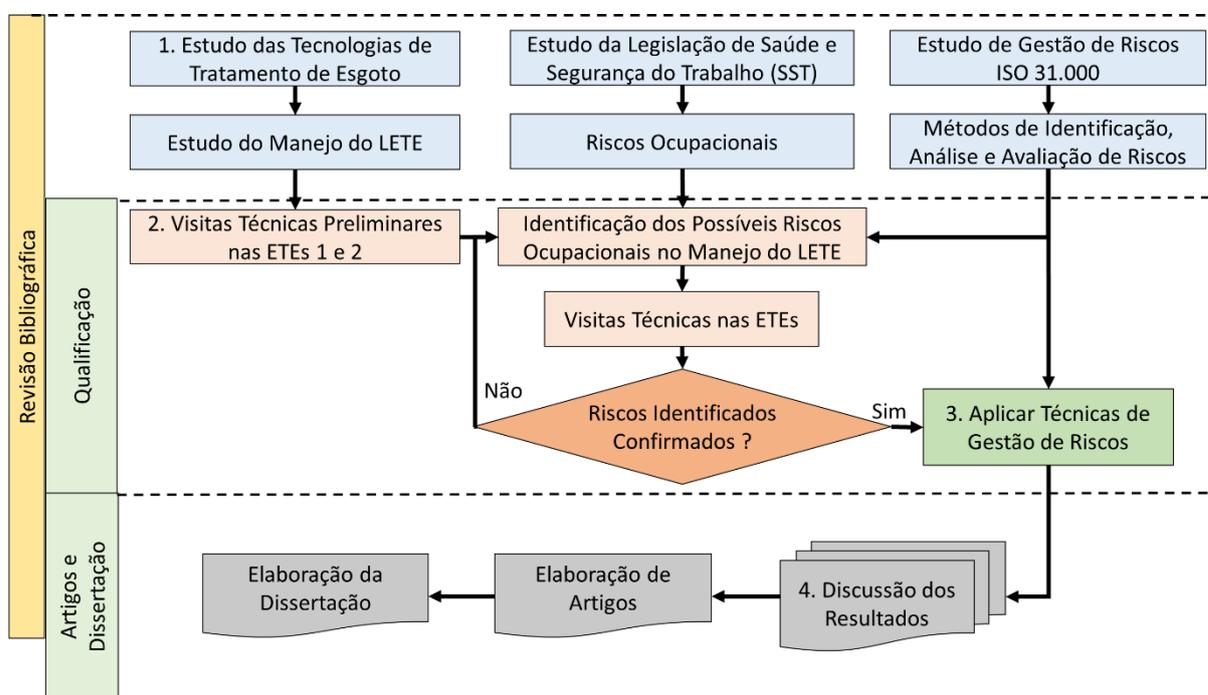
5. METODOLOGIA

O presente trabalho foi elaborado a partir de levantamento bibliográfico sobre o manejo do LETE, suas formas de remoção, transporte, destinação, tratamento e disposição final, além da revisão sobre saúde e segurança ocupacional e gestão de riscos. Foram realizadas visitas técnicas e levantamento de dados *in loco* em duas ETEs localizadas no estado de São Paulo com diferentes tecnologias de tratamento. A partir dos dados e informações obtidos foram aplicadas metodologias de gestão de riscos, conforme os princípios da NBR ISO 31000:2018 (ABNT, 2018) e técnicas da NBR ISO/IEC 31010 (ABNT, 2012), descritas posteriormente.

5.1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho foi realizado em quatro etapas principais, conforme apresentado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Fluxograma das etapas de desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autor (2019).

Na primeira etapa foi realizado embasamento teórico sobre temas diretamente relacionados ao estudo, que se estendeu ao longo da realização do trabalho, como: tecnologias de tratamento de esgoto sanitário, manejo do LETE, legislação pertinente

a saúde e segurança do trabalho, riscos ocupacionais, breve histórico da normalização, gestão de riscos, as normas da série ISO 31000.

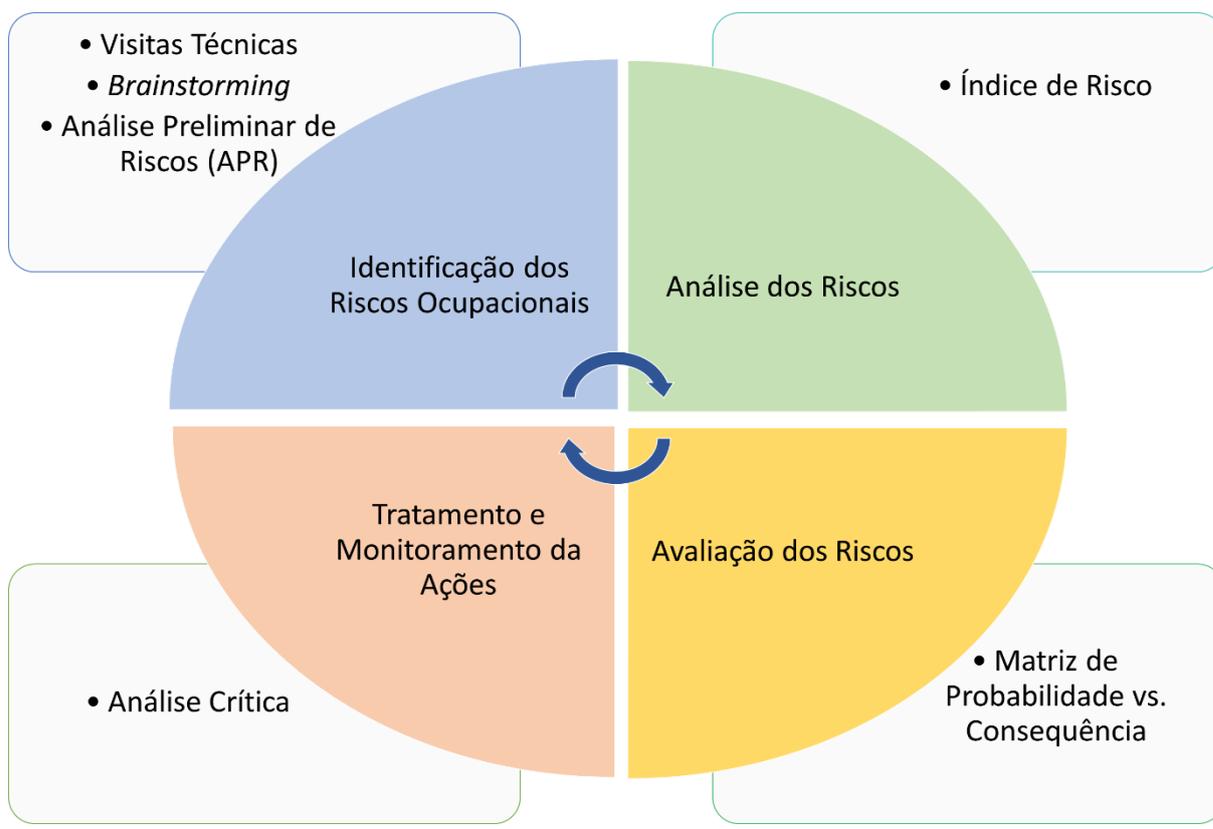
A segunda etapa foi dedicada à coleta de dados *in loco* das ETEs, com a abordagem de temas relacionados ao manejo do LETE. Para se realizar esta coleta de dados pode-se utilizar recursos como documentos escritos sobre os objetos de estudo, fotografias e demais informações disponíveis. Além disso, houve ainda a realização de algumas visitas técnicas às ETEs, cujo objetivo principal foi observar o manejo do LETE e identificar os possíveis riscos ocupacionais presentes. As visitas foram realizadas em pelo menos dois momentos distintos da pesquisa (visitas preliminares e confirmatórias). As ETEs visitadas utilizam processos de tratamento de esgotos distintos (lodos ativados e reatores anaeróbios seguido por processo físico-químico). Todas as visitas foram dirigidas e acompanhadas por responsáveis técnicos das ETEs, ocorrendo registro fotográfico e observações/anotações pessoais.

Na terceira etapa foram aplicadas as técnicas de gestão dos riscos identificados e confirmados na segunda etapa. Essas metodologias serão detalhadas no próximo subitem deste trabalho. A quarta e última etapa dedicou-se à apresentação e discussão dos resultados obtidos, elaboração da dissertação e de artigos científicos, e às conclusões e considerações finais do trabalho.

5.2. MÉTODOS UTILIZADOS

O primeiro passo para se desenvolver processo de gestão dos riscos é o estabelecimento do contexto. Neste caso, deve-se estabelecer e definir os parâmetros básicos, internos e externos relevantes, além de definir o escopo e os critérios para todo o processo. No manejo do LETE considerou-se que todo e qualquer risco ocupacional é relevante e deve ser investigado. Nenhuma variável encontrada deve ser descartada do processo, que poderá ser extrapolado para outras unidades semelhantes em relação ao porte e à tecnologia empregada.

Definido o contexto, deve-se determinar os métodos que serão utilizadas no processo de gestão dos riscos, que incluem etapas de identificação, análise e avaliação de riscos, além de ações de tratamento de riscos e monitoramento dessas ações. O resumo das técnicas utilizadas nesta pesquisa é apresentado na Figura 5.2 e segue as recomendações da ISO 31000 expostas na Figura 4.12.

Figura 5.2 - Métodos utilizados para a gestão de riscos

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

Vale ressaltar que o objetivo principal deste trabalho se limita à identificação, análise e avaliação dos riscos. Porém, com o intuito de completar as etapas da gestão de riscos é necessário, ao menos, sugerir algumas medidas de tratamento para os riscos considerados críticos e moderados, além de recomendar formas de monitoramento dessas medidas, uma vez que a melhoria contínua é um dos principais objetivos de qualquer sistema de gestão, que pretende buscar de forma recorrente o aperfeiçoamento do sistema, a fim de alcançar, gradativamente, melhores níveis de desempenho global na organização ou empresa.

5.2.1. Identificação de Riscos

Os métodos empregados, de forma complementar, para a identificação dos riscos foram o *Brainstorming* e a análise preliminar de risco (APR), com base nas visitas técnicas. Ambos métodos foram utilizados com o intuito de identificar de forma rápida e assertiva os perigos e situações perigosas que podem causar danos para a

saúde e segurança dos trabalhadores que atuam no manejo do LETE. As visitas foram conduzidas por profissionais que atuam nas áreas operacionais das ETes.

O *Brainstorming* foi realizado posteriormente às visitas, com base na observação de forma individual. A partir dessas informações foi elaborado a análise preliminar de riscos (APR), que consiste em planilha de dados, representada no Quadro 5.1, na qual os riscos identificados são elencados e classificados. Em seguida são preenchidas as demais informações como a natureza do risco (biológico, físico, químico, acidente ou ergonômico), em quais atividades ou etapas do manejo do LETE esse risco aparece, quais as causas e quais as possíveis consequências desse risco.

Quadro 5.1 - Modelo de APR utilizado para a identificação de riscos.

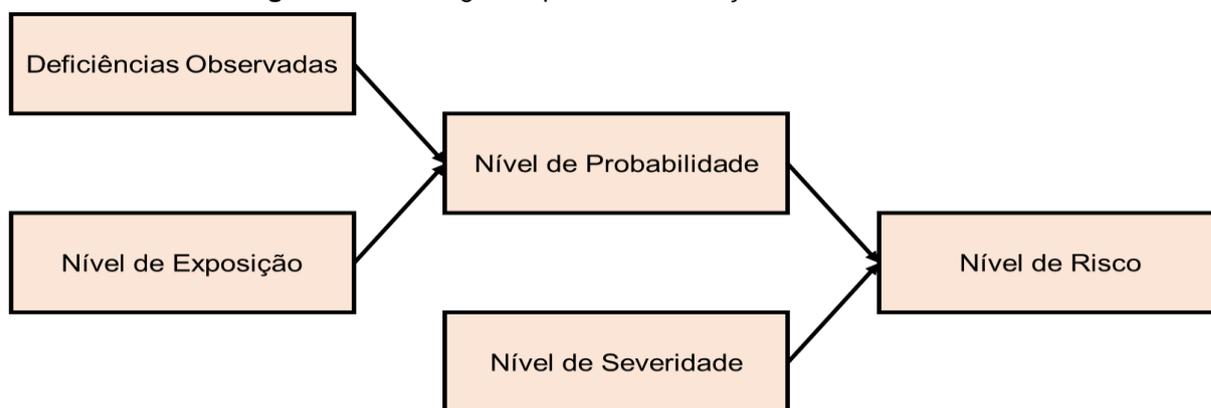
APR - ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS				
ATIVIDADES	NATUREZA DO RISCO A/B/F/Q/E	RISCO	CAUSAS	POSSÍVEIS CONSEQUÊNCIAS

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

5.2.2. Análise e Avaliação de Riscos

A partir da elaboração da APR foi possível estabelecer o índice ou nível de risco e, posteriormente, classificar os riscos em uma matriz de probabilidade e consequência determinada. Sendo, então, possível avaliar os riscos e determinar quais são mais críticos e relevantes, direcionando o desenvolvimento de medidas de tratamento e controle de riscos de forma objetiva, organizada e criteriosa.

O índice de risco é uma medida semiquantitativa do risco, consiste em estimativa que utiliza abordagem de pontuações mediante escalas ordinais. Permite a avaliação de vários riscos diferentes utilizando critérios similares, como probabilidade e consequência. O índice de risco define o risco como o produto da severidade e probabilidade, que por sua vez é definida em função das deficiências que contribuem para o acontecimento não desejado e do nível de exposição observados (Figura 5.3).

Figura 5.3 - Fluxograma para Determinação do Nível de Risco

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

Para a determinação dos níveis de risco foram estabelecidos parâmetros de probabilidade e consequência, também chamados de referenciais teóricos, apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 - Parâmetros de probabilidade.

Categoria	Denominação	Valor de Referência
1	Muito Improvável	<10%
2	Improvável	10-30%
3	Possível	30-50%
4	Provável	50-80%
5	Muito Provável	>80%

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

Tabela 5.2 - Parâmetros de consequência.

Categoria	Denominação	Descrição
1	Baixíssimo	Não Provoca Lesões
2	Baixo	Lesões Leves
3	Moderado	Lesões Moderadas
4	Alto	Lesões Graves
5	Altíssimo	Pode Provocar Morte

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

A análise e avaliação de probabilidade e consequência foi realizada para cada risco identificado. E, a partir da APR, foi possível expandir e melhorar a planilha, estabelecendo os níveis de risco, multiplicando os níveis de probabilidade e consequência, gerando os níveis de risco puro, ou seja, como observado, sem nenhuma medida adicional de controle ou tratamento (Quadro 5.2).

Quadro 5.2 - APR com a avaliação de riscos.

APR - ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS					AVALIAÇÃO DE RISCOS		
ATIVIDADES	NATUREZA DO RISCO A/B/F/Q/E	RISCO	CAUSAS	POSSÍVEIS CONSEQUÊNCIAS	PROBABILIDADE DO PERIGO 1 - Muito Improvável 2 - Improvável 3 - Possível 4 - Provável 5 - Muito Provável	CONSEQUÊNCIA 1 - Baixíssimo 2 - Baixo 3 - Moderado 4 - Alto 5 - Altíssimo	NÍVEL DE RISCO (Probabilidade x Consequência)

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

Para avaliação dos riscos foi adotada uma matriz de risco (5x5) que estabelece as combinações dos parâmetros de probabilidade e consequência (nível de risco) em valores numéricos variando de 1 (menos grave) até 25 (mais grave). O que permite avaliar, classificar e ordenar os riscos de acordo com sua prevalência, em riscos críticos (vermelho), riscos parcialmente mitigados (amarelo) ou riscos mitigados (verde) conforme apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Matriz de probabilidade x consequência.

Matriz de Riscos		Consequência				
		1	2	3	4	5
Probabilidade	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

5.2.3. Tratamento dos Riscos e Monitoramento das Ações

A partir do estabelecimento dos níveis de risco e da classificação dos riscos em críticos, parcialmente mitigados ou mitigados, foram adotados critérios para adoção e priorização das medidas de tratamento ou controle.

Definiu-se que para valores de níveis de risco inferiores a 4 (valores em verde na Tabela 5.3) o risco, considerado mitigado, não requer qualquer ação adicional. Já para valores maiores que 4 e inferiores a 12 (valores em amarelo) o risco, considerado parcialmente mitigado, necessita de ações complementares para tratar o risco. E, finalmente, para valores superiores a 12 (valores em vermelho) o risco, considerado crítico, deve ser priorizado, com a recomendação que se interrompa a atividade até que alguma ação de controle adicional seja implementada, sugere-se ainda avaliação mais detalhada desse risco.

Para os riscos considerados críticos ou parcialmente mitigados (entre 4 e 25), que demandam ações para o controle do risco e monitoramento, é sugerida complementação da planilha de avaliação de riscos, apresentada no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 - Avaliação e controle de riscos.

AVALIAÇÃO DE RISCOS			TRATAMENTO DOS RISCOS		
PROBABILIDADE DO PERIGO	CONSEQUÊNCIA	NÍVEL DE RISCO (Probabilidade x Conseqüência)	CONTROLE (DESCREVER)	CONTROLE	NÍVEL DE RISCO CONTROLADO
1 - Muito Improvável 2 - Improvável 3 - Possível 4 - Provável 5 - Muito Provável	1 - Baixíssimo 2 - Baixo 3 - Moderado 4 - Alto 5 - Altíssimo				

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

Deve-se, portanto, estabelecer critérios e parâmetros para as medidas de controle propostas e descritas, propostos na Tabela 5.4. A partir dos parâmetros de controle se estabelece um novo nível de risco, chamado de nível de risco controlado, dividindo-se o nível de risco puro pelo nível de controle, sendo então possível verificar se as medidas de controle propostas são suficientes para neutralizar o risco avaliado.

Tabela 5.4 - Parâmetros de controle.

Categoria	Descrição
1	Não há Controle
2	Controle Insuficiente
3	Controle Parcial
4	Controle Adequado
5	Totalmente Eficaz

Fonte: Adaptado de ABNT (2012).

Por último, deve-se monitorar as ações adicionais de controle implantadas e realizar análise crítica para avaliar se a aplicação e eficácia das medidas estão de acordo com o esperado. Deve-se ainda identificar oportunidades de melhoria das técnicas aplicadas, com o objetivo de se alcançar melhoria contínua no processo.

Deve-se salientar que as medidas de controle, tratamento e monitoramento dos riscos devem ser idealizadas e realizadas pelos responsáveis pelas ETEs, que conhecem a realidade e a capacidade operacional e financeira das unidades. Portanto, tais medidas figuram nesta pesquisa como uma proposta (teórica e acadêmica) para complementação do processo de gestão de riscos ocupacionais.

Outro ponto a se destacar se refere às alterações que venham a ocorrer no processo de tratamento e no manejo do LETE. Sempre que houver alterações significativas no processo deve-se atualizar a avaliação dos riscos (identificação, análise e avaliação), pois os riscos também podem sofrer alterações, tanto em sua intensidade como em sua probabilidade (deficiências e exposição).

Acrescente-se, ainda, que a utilização das escalas ordinais (parâmetros), em certa medida, é arbitrária, portanto, são necessários dados suficientes para validá-las.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir estão relacionados às visitas realizadas nas ETEs, que contribuíram para a concepção da visão sistêmica do manejo do LETE nessas duas estações, além de fornecer subsídios para a elaboração da proposta de gestão dos riscos ocupacionais, englobando a identificação, análise, avaliação, tratamento dos riscos e monitoramento das ações, conforme apresentados nos itens subsequentes.

6.1. DESCRIÇÃO DAS ETEs VISITADAS

Foram realizadas visitas técnicas abordando o manejo do LETE e seus potenciais riscos ocupacionais em duas ETEs. As visitas ocorreram em três momentos distintos na ETE 1 (17/05/2017, 13/11/2017 e 29/03/2018) que utiliza tecnologia de lodos ativados, e foram acompanhadas por responsáveis pelo gerenciamento da unidade e técnico de segurança do trabalho. Na ETE 2 as visitas ocorreram em dois momentos (13/09/2017 e 03/04/2018) e foram acompanhadas por técnico responsável pela operação da ETE, que utiliza reatores anaeróbios do tipo UASB.

6.1.1. ETE 1 – Lodos Ativados Convencionais

A ETE 1 está localizado na região nordeste do Estado de São Paulo, em município que possui população aproximada de 650 mil habitantes (IBGE, 2017). No último censo realizado em 2010, o município possuía 98,7% das residências atendidas pela rede de abastecimento de água, sendo 96,9% delas ligadas à rede coletora de esgoto (IBGE, 2010). O serviço de abastecimento de água e coleta do esgoto do município é administrado por autarquia municipal, já o tratamento é gerido por empresa privada através de concessão pública. Toda a captação de água é subterrânea (Aquífero Guarani), sendo que o município possui cerca de 100 poços artesianos em operação. O esgoto é tratado em duas estações, sendo uma delas responsável por tratar 14% do total coletado, e a ETE 1, que trata os 86% restantes.

A ETE 1 (Figura 6.1), objeto de estudo, trata o esgoto doméstico de população aproximada de 550 mil habitantes. A tecnologia utilizada é de lodos ativados convencionais, aerados por turbo compressores e difusores de membrana, possui ainda sistema de digestão anaeróbia de lodos de alta carga e reaproveitamento de

energia (biogás). Sua operação teve início em 2003, e é responsável por tratar 1500 litros por segundos (L/s), removendo 96% da carga orgânica do esgoto. Atualmente possui 38 funcionários.

Figura 6.1 - Imagem aérea da ETE 1



Fonte: CETESB (2018).

O esgoto doméstico coletado é transportado por gravidade e com o auxílio de estações elevatórias, até o Poço de Grossos da ETE, que remove do esgoto sólidos grosseiros sedimentados com o auxílio de guindaste e os armazena em contêineres. Os resíduos sólidos são, posteriormente, enviados ao aterro sanitário. Com os sólidos grosseiros retirados, o esgoto segue por bombeamento para o tratamento preliminar que é composto por gradeamento intermediário e fino, que remove os demais sólidos grosseiros, através de grade automática de 3mm, seguida de desarenador e desengordurador, que deve extrair e separar toda areia e gordura presentes no esgoto, através de sistema composto por ponte móvel com bomba vertical e separadores. A areia e a gordura extraída do esgoto são armazenadas e enviadas ao aterro sanitário. O esgoto, já sem os sólidos, areia e gordura, segue para o decantador primário, no qual ocorre a separação de sólidos sedimentáveis e dissolvidos. O material sedimentado, chamado de lodo primário, é enviado aos digestores anaeróbios para estabilização do lodo. Em seguida, o esgoto segue para o reator aeróbio (Figura 6.2), onde recebe aeração que fornece oxigênio aos microrganismos

presentes, que se proliferam e assimilam a matéria orgânica. O reator é do tipo carrossel e a aeração é realizada por turbinas e agitadores submersos.

Figura 6.2 - Reator aeróbio da ETE 1



Fonte: Autor (2018).

A próxima etapa consiste em separar os microrganismos, que compõem o lodo ativado, do esgoto tratado (efluente líquido). Essa separação é realizada no decantador secundário, onde os sólidos (lodos) sedimentam. Esse lodo também é chamado de secundário. Parte dos lodos sedimentados retornam ao reator para manter o controle e o equilíbrio do processo bioquímico de tratamento. O restante é bombeado para tanques espessadores (gravidade e flotação), onde os lodos são adensados, reduzindo seu volume. Posteriormente são encaminhados aos digestores anaeróbios, juntamente com o lodo primário que foi separado no decantador primário. Nos digestores é realizada a homogeneização e estabilização dos lodos através de tratamento biológico anaeróbio. Nesse processo, o biogás gerado nos reatores é armazenado e utilizado como combustível para a geração de energia elétrica, consumida na própria ETE. Após o tratamento, o lodo é desaguado utilizando-se condicionamento prévio com polímero em sistema mecânico do tipo centrífuga (Figura 6.3), dando origem ao lodo desaguado, que poderia, caso todas as exigências ambientais fossem atendidas, ser considerado biossólido para utilização como adubo

orgânico. Porém, todo o LETE gerado atualmente na estação, é armazenado em silos verticais (Figura 6.4) e encaminhado para aterro sanitário.

Figura 6.3 - Centrífuga e tubulação de LETE desidratado



Fonte: Autor (2018).

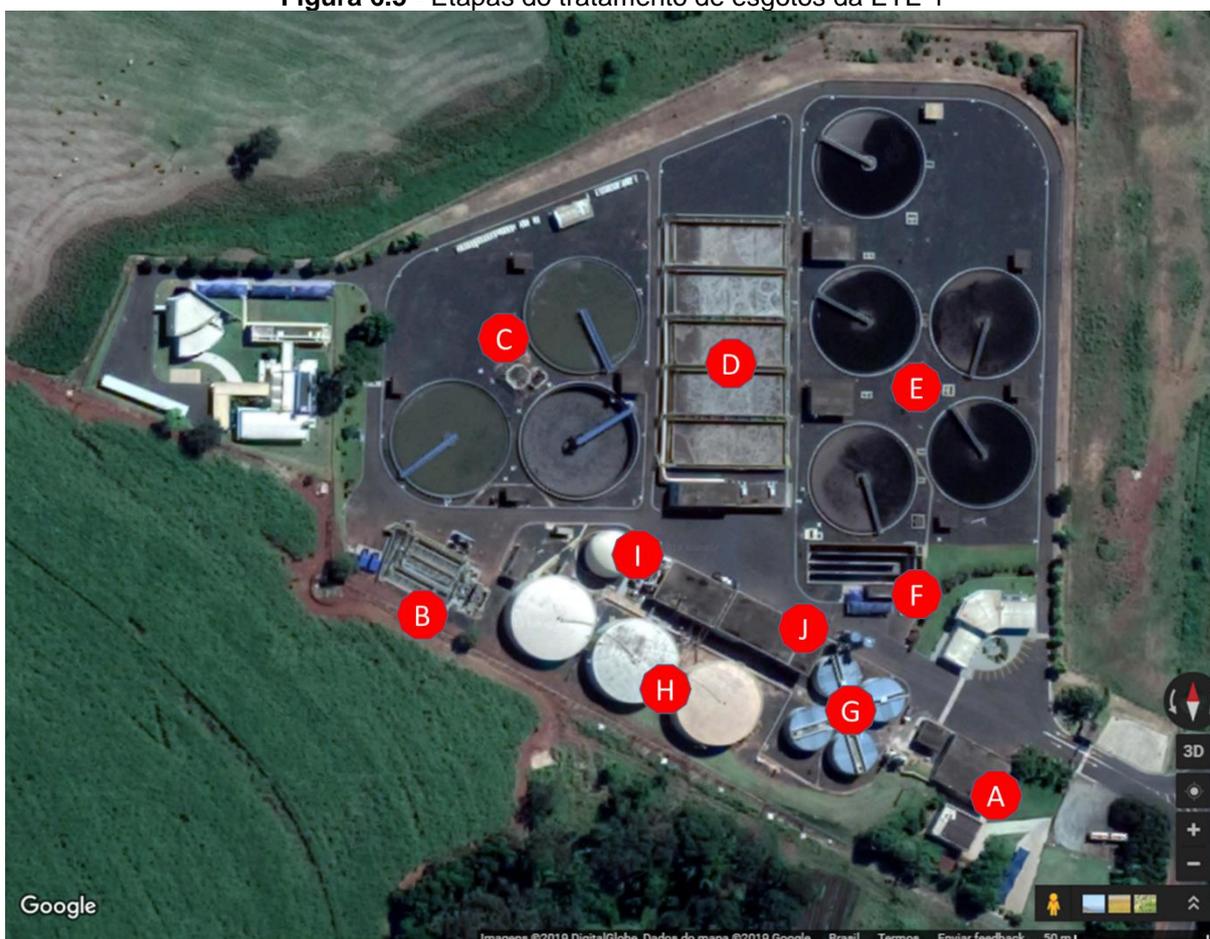
Figura 6.4 - Armazenamento de LETE desidratado em silo vertical



Fonte: Autor (2018).

O esgoto tratado (efluente) percorre pela câmara de cloração, que só será utilizada se existir alguma epidemia na cidade, sendo então lançado em córrego, que se situa nas proximidades da estação. O breve resumo das etapas do tratamento da ETE 1 é apresentado na Figura 6.5, através de imagens de satélite.

Figura 6.5 - Etapas do tratamento de esgotos da ETE 1

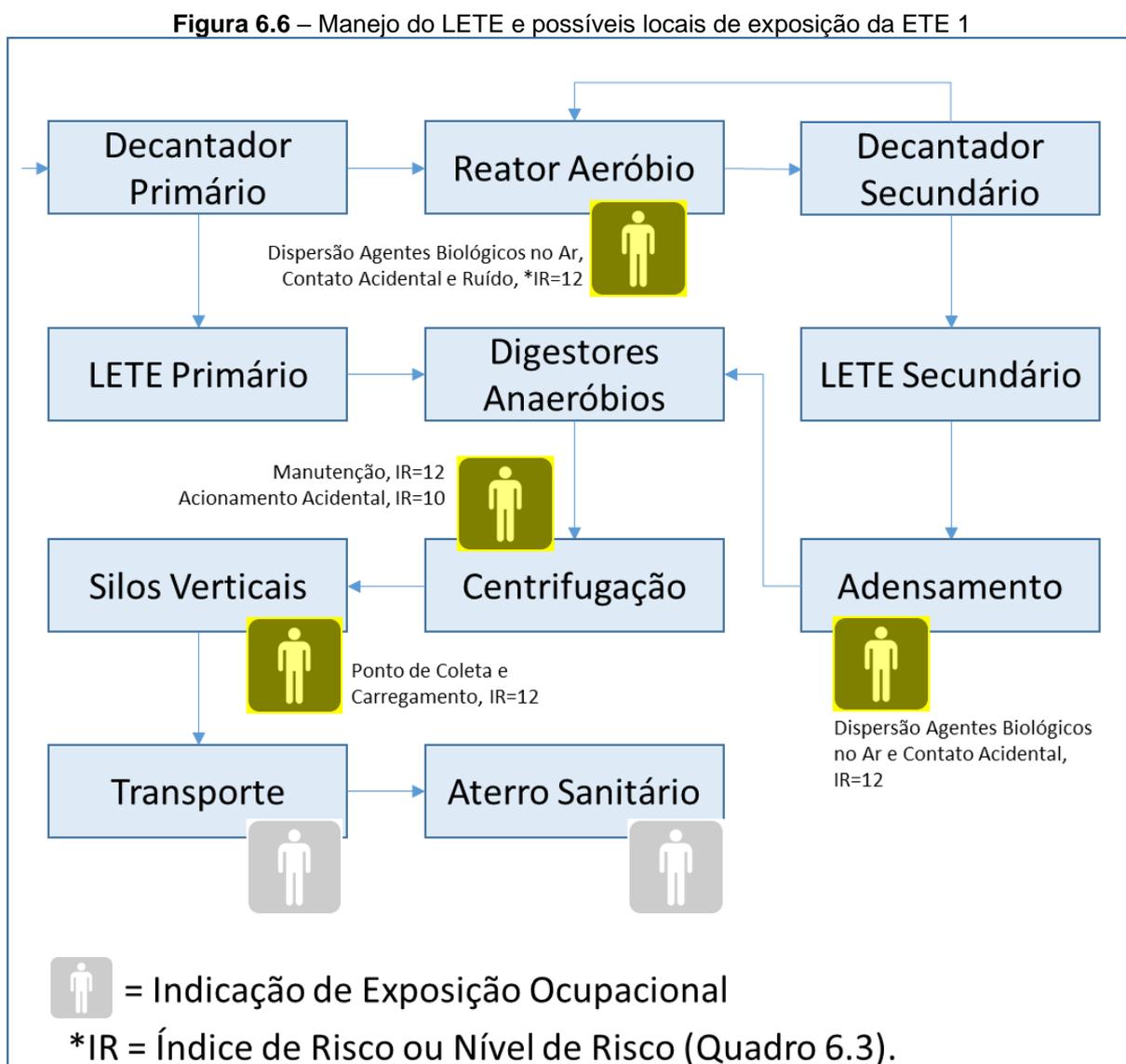


Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

Na Figura 6.5 é possível visualizar o ponto de chegada do esgoto bruto (A), o tratamento preliminar (gradeamento e desarenador) (B), decantadores primários (C), reatores aeróbios (D), decantadores secundários (E), câmara de cloração e ponto de saída do esgoto tratado (F), adensadores e tanques tampão (G), digestores anaeróbios de lodos (H), gasômetro de membrana para armazenamento do biogás e conjunto gerador de energia elétrica (I) e, por fim, a instalação onde ocorre o desaguamento e o armazenamento do LETE (J).

A unidade apresenta nível de automação elevado, todo o processo é controlado de forma automática, com exceção de poucas válvulas que são acionadas manualmente. Todo LETE gerado nos decantadores é bombeado e transportado com

o mínimo de contato com operadores, inclusive o armazenamento no silo e o carregamento dos caminhões de transporte ocorrem de forma mecanizada. Um fluxograma resumido do manejo do LETE com os possíveis locais de exposição dos trabalhadores é apresentado na Figura 6.6.



Fonte: Autor (2019).

Na remoção do LETE primário e secundário dos decantadores, assim como na recirculação de LETE no reator aeróbio, é utilizado um sistema de bombeamento automatizado que não expõe os trabalhadores. No reator aeróbio e no adensamento pode haver a dispersão no ar de microrganismos patogênicos devido à aeração e floculação do LETE. No adensamento há a adição de polímero diretamente no tanque com o LETE, e na centrífuga pode haver o contato durante a operação e manutenção

do equipamento. Entre a centrifugação e o armazenamento nos silos há o ponto de coleta de amostras do LETE desaguado, onde também pode ocorrer a exposição dos trabalhadores ao LETE. O carregamento do LETE nos caminhões de transporte acontece em carrocerias abertas, que posteriormente serão cobertas, e também pode haver a dispersão no ar de partículas do LETE já desaguado, inclusive a queda de lodo no solo. E, por fim, ocorre o transporte e a disposição no aterro que, em tese, pode expor tanto o motorista como os operadores do aterro, porém não se pode assegurar tal exposição, pois essas etapas não foram avaliadas neste estudo.

6.1.2. ETE 2 – Reatores Anaeróbios UASB

A ETE 2 (Figura 6.7) está localizada na região centro-leste do Estado de São Paulo, em município que possui população aproximada de 250 mil habitantes (IBGE, 2017). O município possui cobertura de 100% da população atendida por rede de abastecimento de água, sendo 98% delas ligadas à rede coletora de esgoto. A água de abastecimento da cidade provém de duas fontes, captação superficial (40%) e captação subterrânea (60%). Existem no município duas Estações de Tratamento de Água, além de três Estações de Tratamento de Esgoto. O abastecimento de água e esgotamento sanitário são de responsabilidade de autarquia do município.

Figura 6.7 - Vista parcial da ETE 2

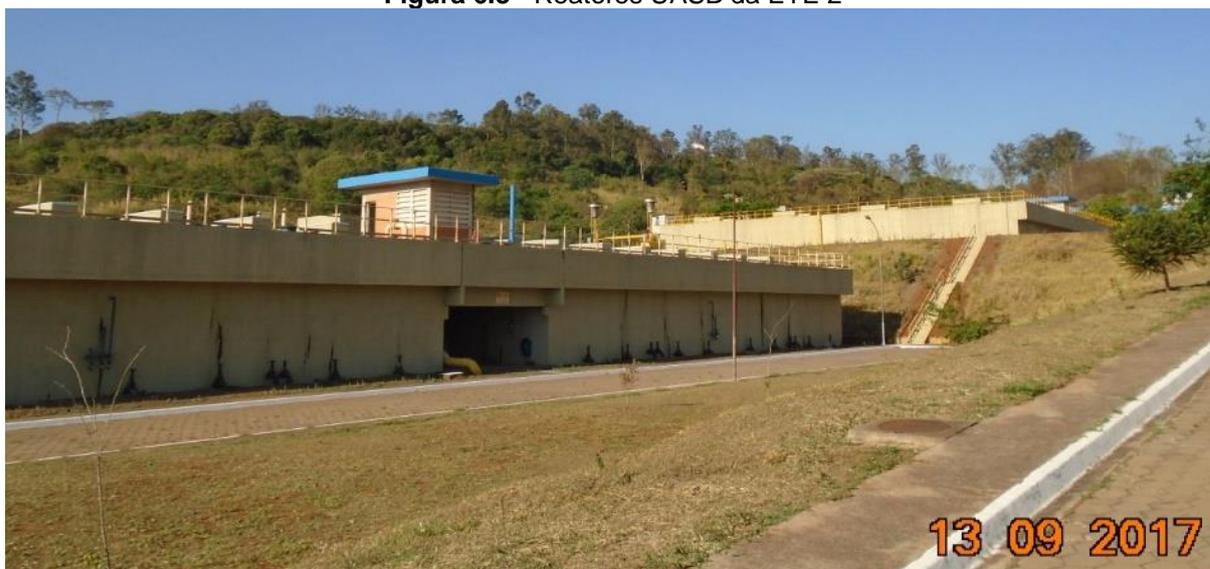


Fonte: Autor (2017).

A ETE foi inaugurada em 2008, possui área total de 20 mil m² e foi projetada para ser construída em três etapas elaboradas segundo as estimativas de crescimento populacional da cidade. A primeira etapa (até 2015) alcançou 100% de tratamento do esgoto sanitário coletado da população do município à época, com vazão média aproximada de 600 litros por segundo. A segunda etapa (2015 a 2031, período vigente), quando se prevê população de cerca de 380.000 habitantes, contará com vazão média de 950 litros por segundo. E, na terceira (2031 a 2055), em que se estima população aproximada de 500 mil habitantes, o tratamento previsto será de cerca de 1300 litros por segundo. A ETE-2 opera ininterruptamente, se encontra no início das obras para a segunda etapa, e conta com 27 funcionários responsáveis pela administração e operação da estação.

O tratamento de esgoto da ETE 2 é constituído por tratamento preliminar (remoção de sólidos grosseiros, areia e gordura), tratamento biológico com reatores anaeróbios (UASB) seguido por processo físico-químico de floculação com a adição de coagulantes e polímeros (remoção de fósforo), flotação por ar dissolvido (remoção de sólidos suspensos), além de processo de desinfecção do efluente final com radiação ultravioleta (UV) e escada hidráulica (pós-aeração) antes de lançar o esgoto tratado no corpo d'água (CAMPOS, 2013).

O esgoto é recepcionado por caixas de dissipação de energia na entrada na unidade, antes de ser direcionado ao tratamento preliminar (gradeamento grosso e fino mecanizado), para a retenção de sólidos grosseiros. O material retido (rejeito) é removido e segue para caçambas de armazenados até que sejam destinados ao aterro sanitário. O esgoto segue para calha *Parshall*, onde recebe hidróxido de sódio (NaOH), que auxiliará o processo biológico nos reatores, passa por desarenadores, cujos rejeitos são armazenados em caçambas, sendo também destinados ao aterro. Os raspadores superficiais dos desarenadores retêm e removem espuma, cujo destino é o reator para degradação de gorduras. O esgoto segue, então, para os reatores anaeróbios do tipo UASB (Figura 6.8) e é distribuído de maneira homogênea por tubulações que se subdividem desde as porções superiores até as inferiores, com o total de 768 tubos por reator.

Figura 6.8 - Reatores UASB da ETE 2

Fonte: Autor (2017).

Os reatores possuem em seu interior uma manta de lodo composta por microrganismos anaeróbios, que realizam a degradação de matéria orgânica. Os reatores possuem ainda sistema lateral de remoção do excesso de lodo (Figura 6.9) para otimizar a eficiência do reator, e sistema para a coleta de gases produzidos no processo de decomposição do esgoto, em especial, o biogás.

Figura 6.9 - Sistema lateral de remoção do LETE dos reatores UASB

Fonte: Autor (2017).

O LETE é removido de forma manual pela lateral do reator, segue por uma galeria lateral aberta para câmara de armazenamento e o biogás para queimadores do tipo “*Flare*”. O efluente líquido segue do reator para tanque de mistura rápida, recebe polímero e cloreto férrico (FeCl_3) que atenua o odor característico do gás sulfídrico (H_2S) que é liberado pelas reações bioquímicas dos reatores UASB, além de promoverem a desestabilização das partículas e sedimentação de fósforo. O efluente líquido é encaminhado aos flocluladores, e por meio da mistura lenta ocorre o processo de coagulação/floculação e, em seguida, ao processo de flotação por ar dissolvido que permite a ascensão das partículas flocluladas. Estas partículas formam o LETE nas porções superiores dos flotadores, são removidos através de raspadores, que destinam o material que flota à canaletas (Figura 6.10). Já o LETE que sedimenta no flotador é removido diariamente através de um dreno no fundo do tanque.

Figura 6.10 - Raspadores e canaletas para remoção do LETE no Flotador



Fonte: Autor (2017).

Ambas porções de LETE (flotado e sedimentado) seguem para a mesma câmara onde o LETE removido dos reatores UASB foi enviado. O LETE gerado tanto nos reatores quanto nos flotadores é desaguado por processo mecânico de centrifugação (Figura 6.11) com o condicionamento prévio através da adição de polímero catiônico.

Figura 6.11 - Centrífuga da ETE 2

Fonte: Autor (2017).

Na sequência, o LETE com cerca de 75% de umidade segue para o sistema de carregamento mecanizado (Figura 6.12) e é armazenado em caçambas abertas para posterior envio ao aterro sanitário, assim como os rejeitos sólidos gradeados e a areia do tratamento preliminar.

Figura 6.12 - Sistema de carregamento mecanizado de caçambas

Fonte: Autor (2017).

A fase líquida proveniente do desaguamento do lodo retorna à montante dos reatores UASB. O efluente líquido dos flotadores é destinado ao processo de desinfecção, que conta com raios UV para inativar microrganismos patogênicos. Por fim, o efluente tratado é encaminhado para uma escada hidráulica, que aumenta a taxa de oxigênio dissolvido, e é desaguado em um corpo d'água próximo à unidade.

Um breve detalhamento das instalações da estação ETE 2 é apresentado na Figura 6.13, utilizando-se imagens de satélite.

Figura 6.13 - Etapas do tratamento da ETE 2

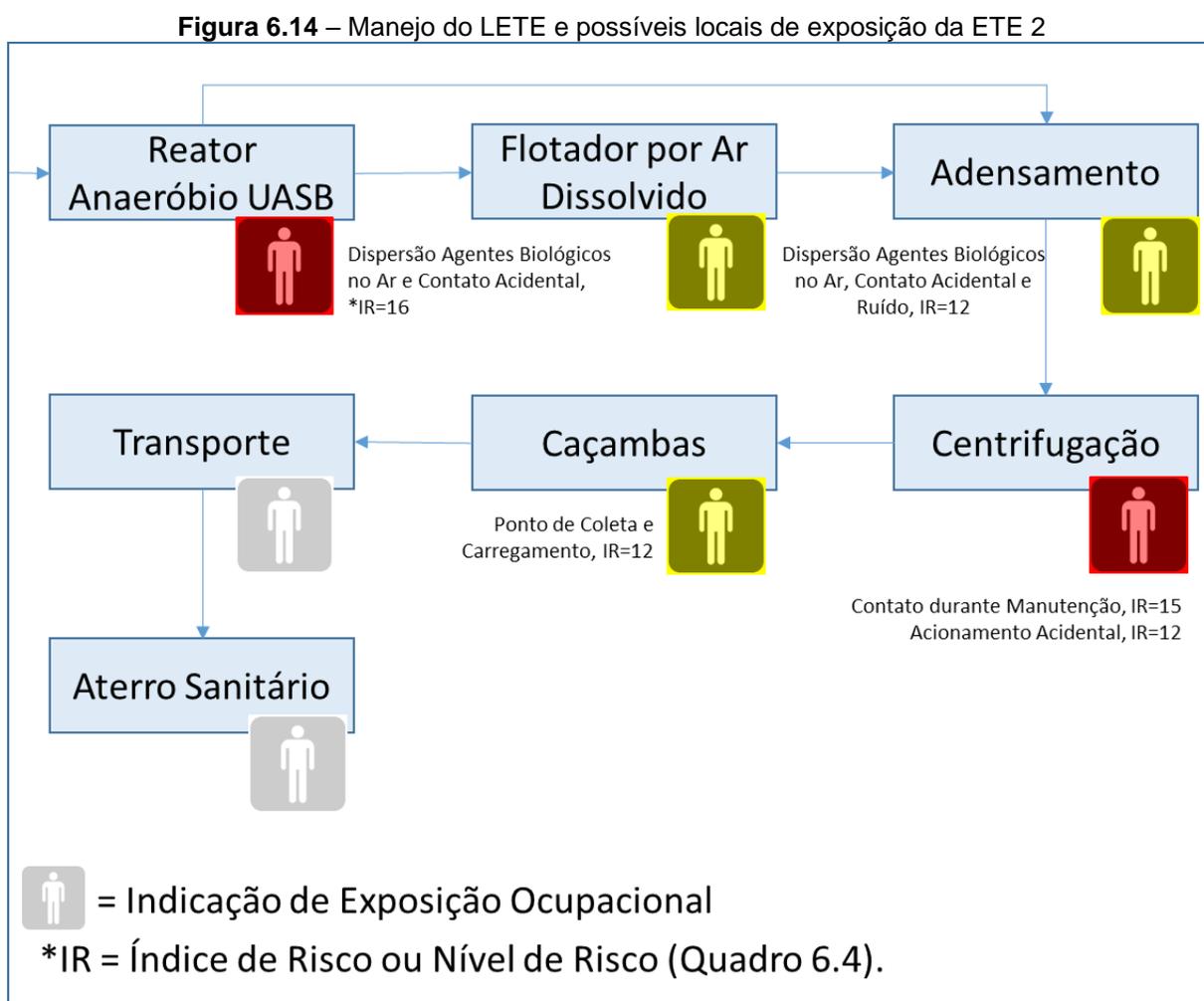


Fonte: Adaptado de Google Earth (2019).

Na Figura 6.13 pode-se visualizar o prédio administrativo (A), o ponto de entrada do esgoto bruto e o tratamento preliminar (gradeamento, desarenador e desengordurador) (B), reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) (C), floculador (D), flotadores por ar dissolvidos (E), instalações de desaguamento (centrifugação) e armazenamento do LETE (F), desinfecção por UV, escada hidráulica, ETA de serviço e ponto de saída do esgoto tratado da ETE (G).

Esse processo alcança índices de eficiência superiores a 85% de remoção de matéria orgânica. A ETE trata em média 600 litros por segundo de esgoto. No tratamento preliminar são retiradas cerca de 10 toneladas de sólidos a cada 45 dias e 30 toneladas de areia por mês. Além disso, são produzidos diariamente cerca de 45 toneladas de LETE com 25% de teor de sólidos totais. Um fluxograma resumido do

manejo do LETE da ETE 2 com os possíveis locais de exposição dos trabalhadores é apresentado na Figura 6.14.



Fonte: Autor (2019).

Na remoção do LETE dos reatores anaeróbios é utilizado um sistema manual de abertura de registros que libera o LETE em galerias abertas a menos de 2 metros dos operadores, o que os expõem ao LETE disperso no ar e nos registros. Neste processo não foi verificado o uso de EPIs adequados. No flotador e no adensamento também pode ocorrer a dispersão no ar do LETE nas áreas no entorno dos tanques devido à aeração e flotação. Na centrifugação há a adição de polímero diretamente no tanque com o LETE. E, nesta etapa, pode haver a exposição durante a operação e manutenção do equipamento. O sistema de carregamento do LETE nas caçambas é mecânico (rosca “infinita”), e neste ponto são coletadas amostras do LETE desaguado, onde também pode ocorrer a exposição dos trabalhadores. O carregamento do LETE nos caminhões de transporte acontece em carrocerias

abertas, que posteriormente são cobertas e, assim como na ETE 1 deste estudo, também pode haver a dispersão no ar de partículas do LETE.

Por fim, o transporte e o acondicionamento no aterro podem expor tanto o motorista do veículo como os operadores do aterro, porém não se pode verificar tal exposição pois essas etapas não foram avaliadas neste estudo.

6.2. COMPARAÇÃO ENTRE AS ETES VISITADAS

Mesmo se tratando de ETES distintas, tanto na tecnologia empregada como no porte e níveis de automação, é possível realizar uma comparação de alguns parâmetros como apresentado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Comparação de Parâmetros das ETES Visitadas.

PARÂMETRO	ETE 1	ETE 2
Tecnologia Empregada	Lodos Ativados	Reatores Anaeróbios UASB + Físico-Químico
N.º de Funcionários Próprios	38	27
Vazão de Esgoto	1500 litros por segundo	600 litros por segundo
Relação entre N.º de funcionários e vazão tratada	25,3 funcionários por m ³ de esgoto tratado	45,0 funcionários por m ³ de esgoto tratado
Eficiência de Remoção de Matéria Orgânica	96%	85%
Início da Operação da ETE	2003	2008

Fonte: Autor (2019).

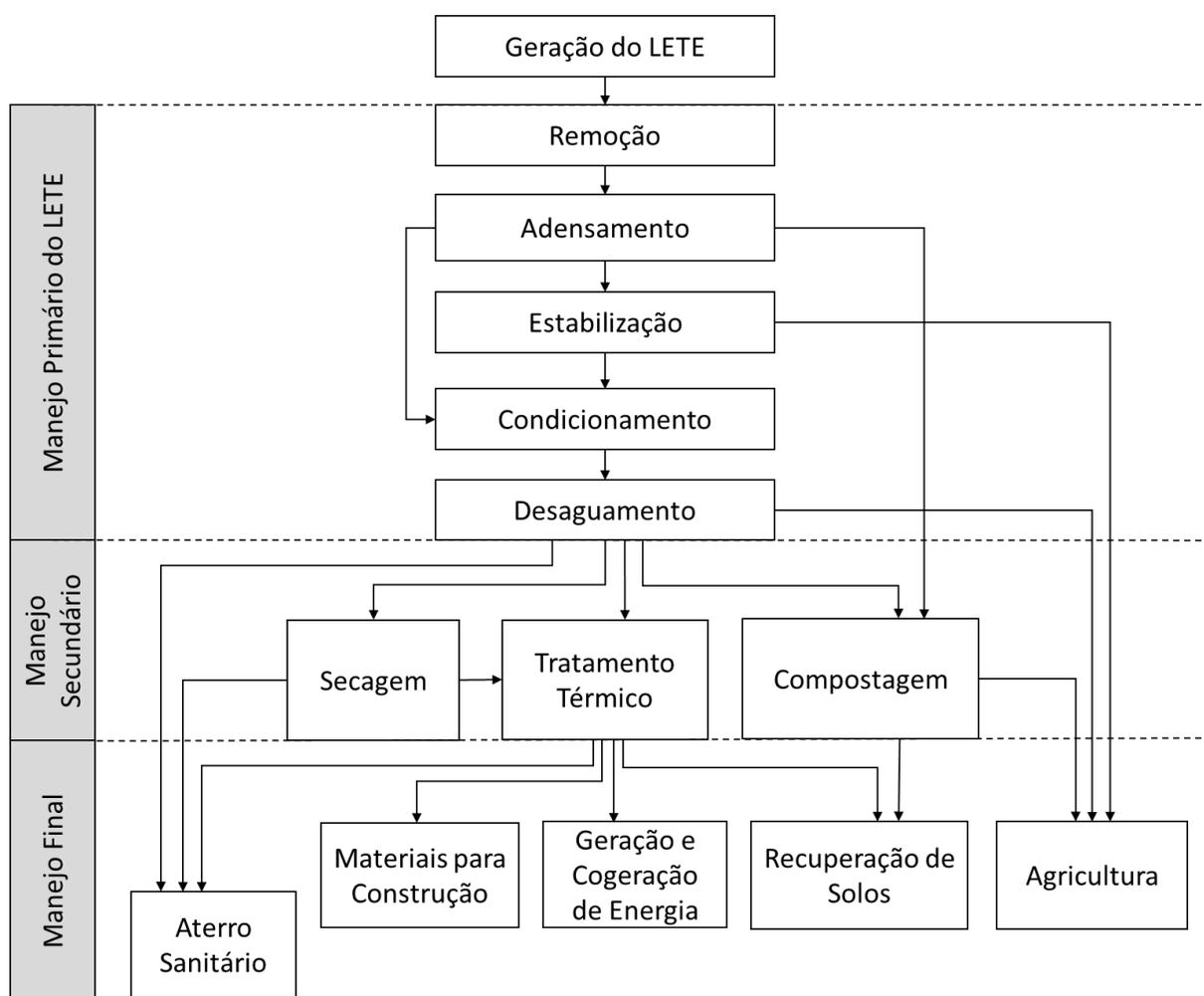
Pode-se destacar que a ETE 2, mesmo tendo iniciado sua operação cinco anos mais tarde que a ETE 1, apresenta eficiência e capacidade de tratamento (vazão) menores do que a ETE 1. A quantidade de funcionários necessários para operar e tratar a mesma quantidade de esgoto (custo operacional humano) é maior na ETE 2, por se tratar de um processo menos automatizado.

Entretanto, devido ao tipo de processo utilizado a quantidade de LETE gerado é diferente. A ETE 1 (lodos ativados) gera mais LETE, a ser descartado do sistema, do que a ETE 2, que utiliza sistemas anaeróbios (UASB). Além disso, o LETE anaeróbio já está estabilizado, o pode caracterizar o processo da ETE 2 como vantajoso quanto ao manejo do LETE.

6.3. VISÃO SISTÊMICA DO MANEJO DO LETE

Através das características dos processos utilizados em cada ETE foi possível propor uma visão sistêmica do manejo do LETE. Destaca-se que o entendimento abrangente do manejo do LETE nas ETEs visitadas pode auxiliar na identificação das interações entre os trabalhadores e o LETE e, conseqüentemente, dos riscos ocupacionais presentes. O processo genérico é proposto na Figura 6.15.

Figura 6.15 - Processo genérico de manejo do LETE



Fonte: Autor (2019).

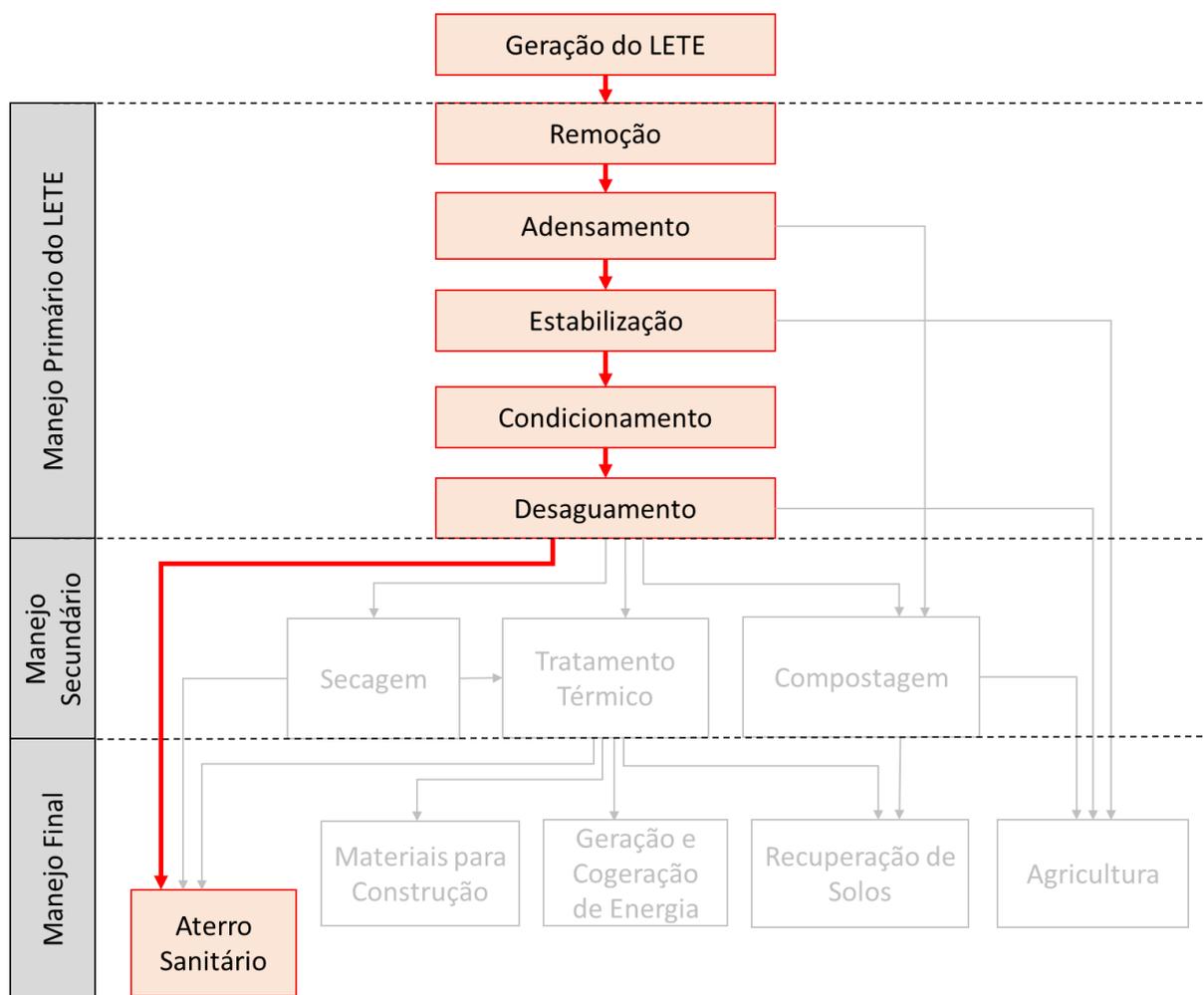
Pode-se dizer que o principal objetivo do manejo é produzir um material mais estável e com menor volume, através de processos físicos, químicos e/ou biológicos. O manejo considera desde as etapas de geração até a destinação e disposição final do LETE, considerando ainda que são necessárias etapas intermediárias de armazenamento dos produtos e subprodutos, além do transporte desses materiais.

O manejo do LETE pode ser resumido em três etapas principais: manejo primário cujo objetivo é a redução de volume através da remoção de água, utilizando processos mais simples e baratos que envolvam adensamento, estabilização, condicionamento e desaguamento; manejo secundário que visa à preparação do LETE para a destinação através de compostagem, secagem ou tratamentos térmicos; e o manejo final que consiste na destinação ambientalmente adequada (recuperação, reúso ou reciclagem) ou disposição final do LETE.

6.3.1. Manejo do LETE na ETE 1 – Lodos Ativados

A partir do processo genérico de manejo do LETE foi possível caracterizar o manejo do LETE na ETE 1 com os lodos ativados, apresentado na Figura 6.16.

Figura 6.16 - Fluxograma do manejo do LETE na ETE 1



Fonte: Autor (2019).

O manejo do LETE na ETE 1 pode ser considerado, exclusivamente, de nível primário, cujo objetivo se resume em reduzir o volume do LETE para baratear custos de transporte e disposição final em aterro sanitário. Já que não é realizada nenhuma forma de preparação do LETE para a destinação (manejo secundário) através de recuperação, reúso ou reciclagem. O processo consiste na remoção do LETE dos decantadores através de bombeamento em tubulações fechadas, adensamento por gravidade e flotação, digestão anaeróbia do LETE, condicionamento e desaguamento por centrifugação. O LETE é então, bombeado e armazenado em silos verticais, até que seja carregado e transportado, por veículos para o aterro sanitário.

Mesmo em ETEs com altos níveis de mecanização ou automação, como no caso da ETE 1, em que o bombeamento do LETE ocorre em tubulações fechadas e a maior parte dos controles e acionamentos de válvulas são automatizados, ainda assim é possível identificar algumas interações importantes que expõem os trabalhadores a riscos. Pode-se destacar os seguintes locais de interação:

- No local de coleta de amostras de LETE desaguado (Figura 6.17);
- No carregamento do LETE nos veículos de transporte;
- Durante a manutenção de equipamentos e tubulações;
- No descarregamento e acondicionamento no aterro.

Figura 6.17 - Local de coleta de amostras do LETE desaguado na ETE 1



Fonte: Autor (2018).

A coleta de amostras é realizada em local próximo aos silos de armazenamento do LETE e é realizada de forma manual. O operador aciona a válvula de abertura e o LETE desaguado verte em galeria aberta para ser coletado. Após a coleta é realizada a limpeza do local com mangueira de alta pressão. Este processo é realizado com vestimentas não impermeáveis e luvas de proteção, porém, verificou-se que os operadores não utilizam nenhuma proteção respiratória ou ocular que seriam recomendadas para este tipo de atividade.

Próximo a área de coleta ocorre ainda o carregamento do LETE. O veículo do tipo carreta se posiciona sob os silos e estes são abertos manualmente, assim que uma seção do compartimento de cargas se enche, o veículo se desloca, com o silo aberto. Neste processo é possível que haja a dispersão do resíduo no ar e no solo, expondo os operadores da ETE e os motoristas dos veículos ao LETE.

Existe ainda a necessidade periódica ou emergencial de limpeza, reparo e manutenção nos equipamentos, edificações, veículos, centrífugas, tanques e tubulação, e pode haver a exposição dos trabalhadores nestes processos.

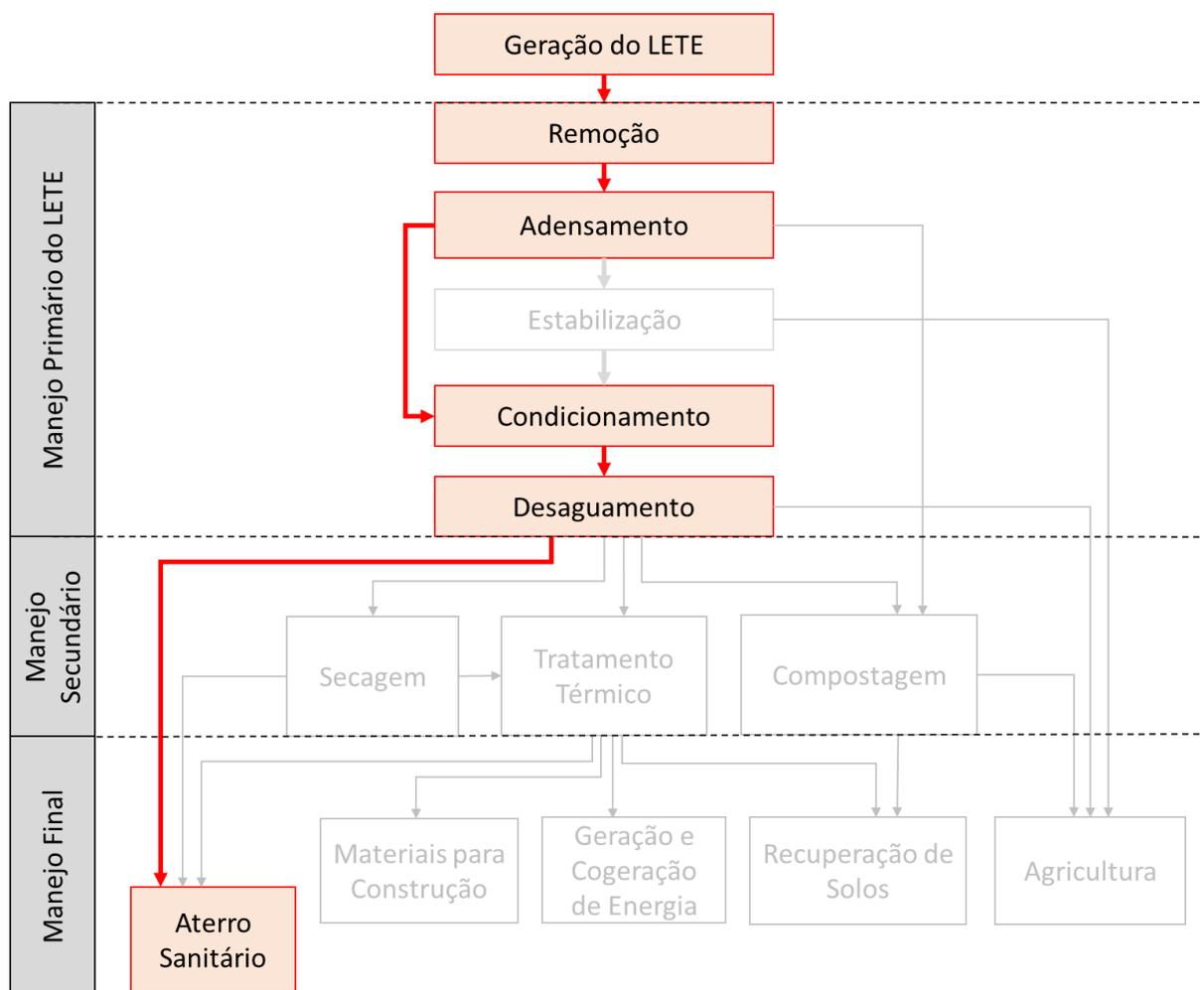
Além disso, no descarregamento e acondicionamento deste resíduo no aterro sanitário pode haver, em teoria, a exposição dos motoristas dos veículos e dos operadores do próprio aterro no manuseio do lodo.

Outras interações são possíveis, como em atividades diversas executadas em áreas próximas aos reatores aerados e na manipulação de produtos químicos para adição nos tanques com lodo ainda na ETE.

6.3.2. Manejo do LETE na ETE 2 – Reatores Anaeróbios

De forma semelhante, o manejo do LETE na ETE 2 com reatores anaeróbios do tipo UASB, apresentado na Figura 6.18, também pode ser considerado como exclusivamente de nível primário, cujo objetivo se resume em reduzir o volume do LETE com a finalidade de diminuir custos de transporte e disposição final em aterro. Uma diferença mencionável em relação à ETE 1 é que o LETE de origem anaeróbia, assim como o LETE de origem físico-química, não necessita de estabilização como o LETE aeróbio.

Figura 6.18 - Fluxograma do manejo do LETE na ETE 2



Fonte: Autor (2019).

O processo consiste na remoção manual do LETE dos reatores, e na remoção mecanizada de LETE adensado dos flotores, o LETE é, então, condicionado e desaguado por centrifugação, segue para transportadores mecânicos que carregam as caçambas de armazenamento que serão, por fim, enviadas para o aterro sanitário.

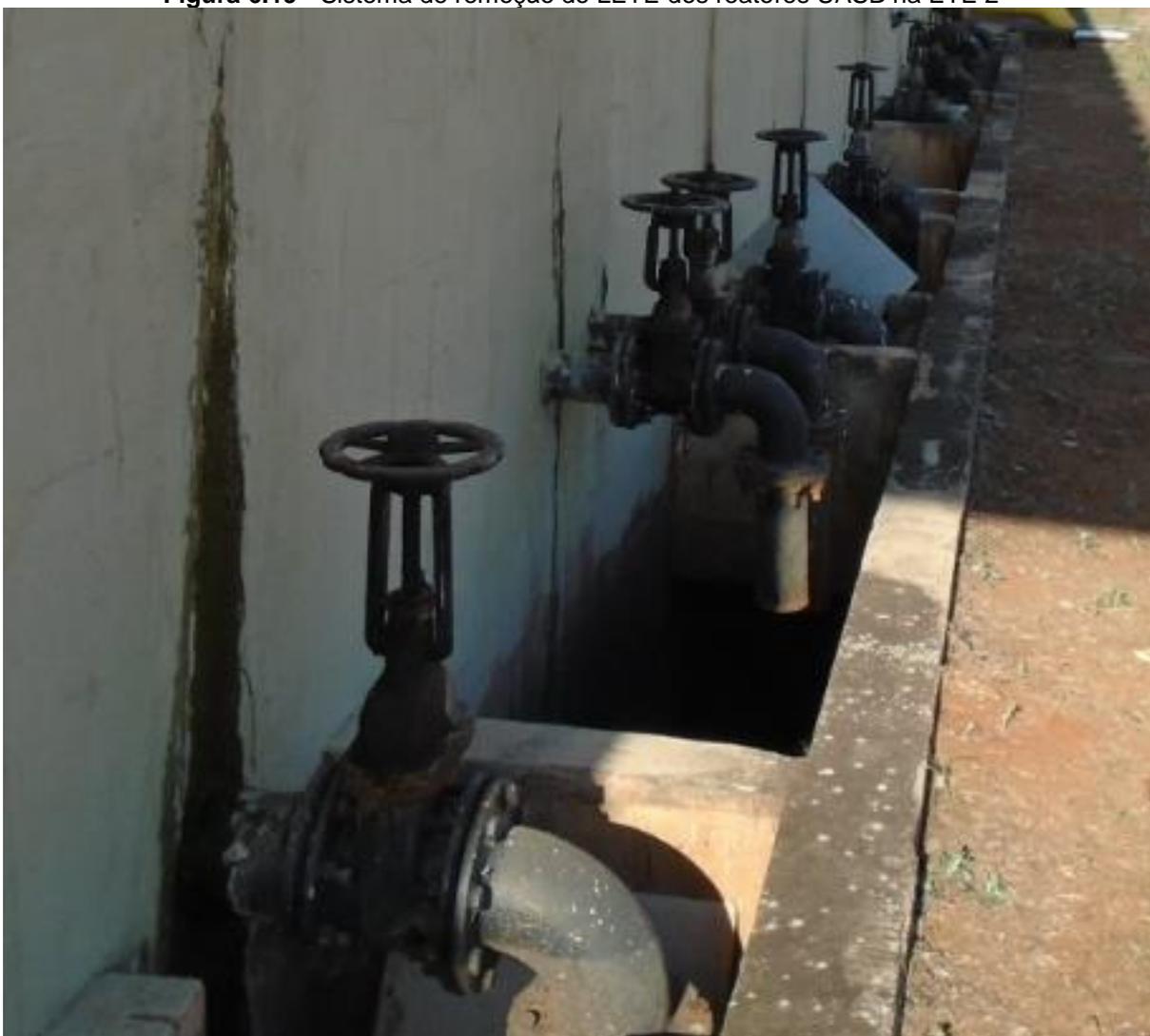
A ETE 2 apresenta nível de mecanização ou automação que pode ser considerado mediano, se comparado com a ETE 1. O transporte interno do LETE ocorre em galerias abertas e tubulações fechadas, os acionamentos de válvulas e controles são manuais, o raspador de lodo do flotor é mecanizado. Sendo assim, foi possível identificar as principais interações que expõem os trabalhadores ao LETE durante o manejo. Destaca-se os seguintes locais de interação:

- Na remoção do LETE dos reatores UASB;
- Nas áreas próximas dos flotores por ar dissolvido;

- No armazenamento e carregamento do LETE nos veículos;
- Durante a manutenção de equipamentos e tubulações;
- No descarregamento e acondicionamento no aterro.

A remoção do LETE dos reatores ocorre por sistema localizado na lateral dos reatores anaeróbios, onde o operador aciona as válvulas de abertura de forma manual e o LETE verte em galeria aberta. Ocorre, então, a dispersão do resíduo no ar. Este processo é realizado com vestimentas não impermeáveis, sem luvas de proteção, e sem proteção respiratória ou ocular. O sistema de remoção é ilustrado na Figura 6.19.

Figura 6.19 - Sistema de remoção do LETE dos reatores UASB na ETE 2



Fonte: Autor (2017).

A remoção do LETE dos flutuadores por ar dissolvido ocorre de forma mecanizada (raspadores de superfície e dreno de fundo), porém nas áreas próximas

aos flotores é possível que haja dispersão do resíduo no ar, expondo os operadores ao LETE na forma de “*sprays*” ou bioaerossóis.

O armazenamento e carregamento do LETE nos veículos ocorre através do transporte do LETE desaguado por sistema mecanizado do tipo rosca “infinita”, que transporta o lodo em dutos abertos até as caçambas de armazenamento (Figura 6.20). Neste processo é possível que haja a dispersão do resíduo no ar e no solo, expondo os operadores da ETE ao LETE.

Figura 6.20 - Sistema de transporte e armazenamento do LETE na ETE 2



Fonte: Autor (2017).

Há também a necessidade periódica ou emergencial de reparo, manutenção e limpeza nos equipamentos, edificações, veículos, centrífuga, reatores, flotores e tubulações, e pode haver a exposição dos trabalhadores. Além disso, no descarregamento e acondicionamento do LETE no aterro pode haver a exposição dos motoristas dos veículos e dos operadores do aterro sanitário.

6.4. GESTÃO DOS RISCOS

A primeira etapa no processo de gestão de riscos é a identificação dos riscos. Através da visão sistêmica do manejo do LETE foi possível identificar os principais riscos ocupacionais presentes nas duas ETEs visitadas. Na sequência, esses riscos identificados foram analisados e avaliados de forma estruturada para posterior tratamento e monitoramento das ações, concluindo assim, o ciclo de gestão com o objetivo de melhoria contínua.

6.4.1. Identificação dos Riscos

Os riscos do manejo do LETE variam de acordo com a tecnologia empregada na ETE, etapas do manejo, nível de automação/mecanização dos processos e gestão operacional. Ainda assim, é possível destacar os principais riscos ocupacionais identificados no manejo do LETE das unidades analisadas. As visitas e o *Brainstorming* forneceram conjunto de potenciais riscos, resumidos no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 - Principais riscos ocupacionais identificados.

Tipo de Risco	Descrição do Risco
Biológico	Exposição a Microrganismos Patogênicos
Químico e Acidente	Formação de Atmosferas Perigosas (tóxicas, asfixiantes ou explosivas)
Físico	Exposição a Ruído
Físico	Exposição a Umidade
Acidente	Acionamento Acidental (Máquinas e Equipamentos)
Acidente	Quedas de Trabalhadores de Altura
Acidente	Afogamento de Trabalhadores
Acidente	Colisões de Veículos (Trânsito)
Acidente	Animais Peçonhentos
Ergonômico	Fatores Biomecânicos e Ambientais

Fonte: Autor (2019).

Os riscos identificados incluem a exposição a agentes biológicos (microrganismos patogênicos), químicos (gases nocivos como metano e sulfeto de hidrogênio), físicos (ruído e umidade), além de riscos de acidentes (explosões,

quedas, acionamentos acidentais, afogamento, colisões e animais peçonhentos). Os riscos são provenientes das máquinas, ferramentas e equipamentos, procedimentos, insumos, produtos, subprodutos utilizados e da manipulação direta do LETE.

Pode-se citar ainda os riscos ergonômicos, que podem estar presentes no manejo do LETE. Estão relacionados com o esforço físico, levantamento de peso, posturas inadequadas, controle rígido de produtividade, situações de estresse, trabalhos em período noturno, jornada de prolongada, monotonia e repetitividade, entre outras. Podem provocar sérios danos à saúde do trabalhador pois geram alterações no organismo e no estado emocional, comprometendo sua produtividade, saúde e segurança. As alterações mais comuns são lesões por esforço repetitivo (LER) e distúrbios osteomusculares (DORT). Para evitar que estes riscos comprometam a saúde do trabalhador, é necessária uma análise ergonômica do trabalho (AET), que deve ser conduzida por um profissional habilitado nesta área (ergonomia), para identificar os riscos e indicar os ajustes necessários na relação do trabalhador com o ambiente de trabalho, conforme requisitos da NR-17. Portanto, neste trabalho, apenas citaremos o risco ergonômico em potencial, este risco não será considerado na proposta de gestão de riscos ocupacionais.

A partir das visitas e o do *Brainstorming*, que forneceram o conjunto inicial de informações, foi possível construir uma análise preliminar de riscos (APR). Esse tipo de análise consiste em método indutivo que permite analisar sistemas existentes e auxilia na priorização dos riscos. Pode ser utilizada quando há pouca informação disponível (como é o caso), pois informações detalhadas sobre número de acidentes, doenças ocupacionais, afastamentos, absenteísmo, custos com tratamento de saúde, entre outros, relacionadas ao manejo do LETE, são difíceis de se obter.

Para a concepção da APR os riscos identificados previamente são elencados em uma planilha sem ordem preestabelecida. Em seguida, os riscos foram classificados de acordo como a natureza de cada risco (biológico, físico, químico, ou risco de acidente). O Quadro 6.2, apresentada a análise preliminar de riscos (APR) com os principais riscos identificados no manejo do LETE das ETEs visitadas.

Quadro 6.2 - Análise preliminar de riscos no manejo do LETE

ATIVIDADES	RISCO A/B/F/Q	PERIGO/ RISCO	CAUSAS	POSSÍVEIS CONSEQUÊNCIAS
Operação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos (Flotadores, centrífugas e reatores); ou Remoção (UASB), Carregamento, Armazenamento e Transporte do LETE (interno ou aterro)	B	Microrganismos Patogênicos - Dispersos no ar	Dispersão no ar, na forma de Bioaerossóis e sprays - Vias Respiratórias	Doenças infecciosas e parasitológicas, tuberculose, brucelose, febre amarela, hepatite e leptospirose
	B	Microrganismos Patogênicos - Contato direto	Contato Acidental - Pele, olho, boca e nariz	
Operação e Manutenção de Máquinas e Equipamento (Decantadores, Digestores Anaeróbios, Flotadores, Adensadores, Tanques); ou Remoção (UASB), Carregamento, Armazenamento e Transporte do LETE (interno ou aterro); ou Inspeções (galerias e pontos de visita)	Q	Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	Formação de atmosferas tóxicas ou asfixiantes	Irritações nos olhos, perda do olfato, desconforto, desmaio e morte (>500ppm)
	Q	Metano (CH ₄)	Formação de atmosferas tóxicas ou asfixiantes	Asfixia e morte
Operação e Manutenção das Bombas e Centrífugas; ou Áreas próximas a Aeradores; Uso de Lavadoras de Pressão para limpeza	F	Ruído	Máquinas e equipamentos	Redução da concentração, Perda auditiva, hipertensão e impotência sexual
Operação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos; ou Armazenamento e uso de Biogás; ou Inspeções (tanques e tubulações)	A	Explosões	Formação de atmosferas explosivas	Queimaduras, traumas e morte
Operação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos	A	Acionamento Acidental	Máquinas e equipamentos (manutenção)	Contusões, escoriações, choques, fraturas e morte
	A	Queda de Altura	Pisos e corrimões desprotegidos; Enlombamento dos caminhões	Contusões, escoriações, fraturas e morte
Transporte do LETE (ETE-Aterro)	A	Colisão de Veículo	Acidente de Trânsito	Contusões, escoriações, fraturas e morte
Operação e Manutenção de Máquinas e Equipamentos; ou Transporte do LETE (ETE-Aterro)	A	Animais Peçonhentos	Animais Peçonhentos	Dor intensa, hemorragias, queda da pressão arterial, choque anafilático e morte

Fonte: Autor (2019).

6.4.2. Análise e Avaliação dos Riscos

A análise preliminar de riscos (APR) forneceu informações preliminares importantes, que foram analisadas e avaliadas de forma mais abrangente. A partir da APR foi possível analisar e estabelecer níveis de risco e com a matriz de probabilidade e consequência foi possível categorizar os riscos e estabelecer quais são os mais críticos e relevantes, direcionando assim as medidas de controle e tratamento de riscos de forma organizada e criteriosa.

Partindo dos parâmetros utilizados de probabilidade e consequência estabelecidos na metodologia e da matriz de risco adotada (5x5) foi possível estabelecer o índice ou nível de risco para cada um dos riscos identificados previamente. O índice ou nível de risco representa a magnitude de cada risco expressa em termos da combinação (multiplicação) das possíveis consequências e das suas probabilidades ou frequência de ocorrência.

Em relação aos critérios utilizados para graduar, seguiu-se o que foi proposto nos parâmetros teóricos: para probabilidades abaixo de 10% (muito improvável) foi estabelecido a menor magnitude (peso 1), de 10-30% (improvável) foi dado peso 2, e assim sucessivamente até o peso 5 (muito provável) para situações com probabilidade acima de 80%. Para consequência foi considerada a pior situação possível em relação a severidade. Se há a possibilidade, ainda que mínima, de causar a morte foi considerado o maior peso (5) e assim por diante.

Nos Quadros 6.3 e 6.4, são apresentadas as análises preliminares dos riscos acrescentadas com as análises e avaliações dos riscos identificados no manejo do LETE, respectivamente, para a ETE 1 que utiliza lodos ativados e ETE 2 que emprega reatores anaeróbios do tipo UASB seguido por processo físico-químico.

Quadro 6.3 - Avaliação dos riscos no manejo do LETE na ETE 1

RISCO A/B/F/Q/E	PERIGO/ RISCO	CAUSAS	POSSÍVEIS CONSEQUÊNCIAS	PROBABILIDADE DO RISCO 1 - Muito Improvável 2 - Improvável 3 - Possível 4 - Provável 5 - Muito Provável	CONSEQUÊNCIA 1 - Baixíssimo 2 - Baixo 3 - Moderado 4 - Alto 5 - Altíssimo	NÍVEL DE RISCO (Probabilidade x Consequência)
B	Microrganismos Patogênicos - Dispersos no ar	Dispersão no ar, na forma de Bioaerossóis e sprays - Vias Respiratórias	Doenças infecciosas e parasitológicas, tuberculose, brucelose, febre amarela, hepatite e leptospirose	3	4	12
B	Microrganismos Patogênicos - Contato direto	Contato Acidental - Pele, olho, boca e nariz		3	4	12
Q	Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	Formação de atmosferas tóxicas ou asfixiantes	Irritações nos olhos, perda do olfato, desconforto, desmaio e morte (>500ppm)	2	5	10
Q	Metano (CH ₄)	Formação de atmosferas tóxicas ou asfixiantes	Asfixia e morte	2	5	10
F	Ruído	Máquinas e equipamentos	Redução da concentração, Perda auditiva, hipertensão e impotência sexual	4	3	12
A	Explosões	Formação de atmosferas explosivas	Queimaduras, traumas e morte	2	5	10
A	Acionamento Acidental	Máquinas e equipamentos (manutenção)	Contusões, escoriações, choques, fraturas e morte	2	5	10
A	Queda de Altura	Pisos e corrimões desprotegidos; Enlonação dos caminhões	Contusões, escoriações, fraturas e morte	2	5	10
A	Colisão de Veículo	Acidente de Trânsito	Contusões, escoriações, fraturas e morte	2	5	10
A	Animais Peçonhentos	Animais Peçonhentos	Dor intensa, hemorragias, queda da pressão arterial, choque anafilático e morte	2	5	10

Fonte: Autor (2019).

Quadro 6.4 - Avaliação dos riscos no manejo do LETE na ETE 2

RISCO A/B/F/Q/E	PERIGO/ RISCO	CAUSAS	POSSÍVEIS CONSEQUÊNCIAS	PROBABILIDADE DO RISCO 1 - Muito Improvável 2 - Improvável 3 - Possível 4 - Provável 5 - Muito Provável	CONSEQUÊNCIA 1 - Baixíssimo 2 - Baixo 3 - Moderado 4 - Alto 5 - Altíssimo	NÍVEL DE RISCO (Probabilidade x Consequência)
B	Microrganismos Patogênicos - Dispersos no ar	Dispersão no ar, na forma de Bioaerossóis e sprays - Vias Respiratórias	Doenças infecciosas e parasitológicas, tuberculose, brucelose, febre amarela, hepatite e leptospirose	4	4	16
B	Microrganismos Patogênicos - Contato direto	Contato Acidental - Pele, olho, boca e nariz		4	4	16
Q	Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	Formação de atmosferas tóxicas ou asfixiantes	Irritações nos olhos, perda do olfato, desconforto, desmaio e morte (>500ppm)	2	5	10
Q	Metano (CH ₄)	Formação de atmosferas tóxicas ou asfixiantes	Asfixia e morte	2	5	10
F	Ruído	Máquinas e equipamentos	Redução da concentração, Perda auditiva, hipertensão e impotência sexual	4	3	12
A	Explosões	Formação de atmosferas explosivas	Queimaduras, traumas e morte	2	5	10
A	Acionamento Acidental	Máquinas e equipamentos (manutenção)	Contusões, escoriações, choques, fraturas e morte	3	5	15
A	Queda de Altura	Pisos e corrimões desprotegidos; Enlonação dos caminhões	Contusões, escoriações, fraturas e morte	2	5	10
A	Colisão de Veículo	Acidente de Trânsito	Contusões, escoriações, fraturas e morte	2	5	10
A	Animais Peçonhentos	Animais Peçonhentos	Dor intensa, hemorragias, queda da pressão arterial, choque anafilático e morte	2	5	10

Fonte: Autor (2019).

6.4.2.1. Riscos Críticos

Não ocorreram riscos considerados críticos na ETE 1. Nenhum dos riscos analisados e avaliados no manejo do LETE nesta ETE superou o índice de risco estabelecido na matriz de risco como crítico, valor numérico acima de 12 (em vermelho) na tabela de análise e avaliação de riscos (Quadro 6.3).

No manejo do LETE na ETE 2 o risco biológico, de exposição a microrganismos potencialmente perigosos, e o risco de acidente, de acionamento acidental de máquinas e equipamentos, foram considerados críticos e devem ser priorizados no direcionamento de ações de controle, o que demanda a implementação imediata de medidas para que se continue com a atividade. Além disso, se faz necessário avaliação mais específica, quantitativa e detalhada de cada um destes riscos em particular, tanto para validar a presente avaliação como para detalhar os requisitos para o controle dessas ações.

A exposição aos agentes biológicos dispersos no ar e/ou o contato direto do trabalhador na ETE 2 alcançou valores considerados altos (16) em escala de 1 a 25. Mesmo não tendo o potencial de levar à morte, as consequências dessa exposição podem provocar doenças infecciosas e parasitológicas graves. Além disso, a exposição pode ocorrer em diversas atividades, como na operação e manutenção dos flotores, centrífugas e reatores anaeróbios; na remoção do LETE dos reatores; no carregamento das caçambas; na coleta de amostras; no transporte do LETE; e na disposição em aterro sanitário.

As principais rotas de entrada no corpo humano para os contaminantes de natureza biológica são as vias respiratórias (inalação) e o contato direto com a pele. Como visto anteriormente, existe tanto na remoção do LETE dos reatores UASB como na flotação por ar dissolvido na ETE 2 a dispersão de partículas (bioaerossóis) que são transportadas pelo ar, portanto, existem algumas áreas próximas a essas operações que recebem essa carga de materiais suspensos potencialmente perigosos, que podem, conforme as condições atmosféricas locais, ser transportados por longas distâncias. A maior parte do material inalado nas vias respiratórias é eliminado dos pulmões e engolido. Como resultado, a exposição respiratória e gastrointestinal pode ocorrer a partir de agentes biológicos inalados.

Os microrganismos patogênicos também podem entrar no corpo através de ferimentos ou lesões na pele, e alguns podem entrar através das superfícies e

mucosas dos olhos, nariz e boca. Porém, a forma mais comum de contaminação é o contato com as mãos durante a alimentação, ingestão de bebidas, manuseio de adornos, fumar, ou limpeza do rosto com as mãos ou luvas contaminadas. As infecções comumente estudadas entre esse grupo de trabalhadores (ETE) incluem a leptospirose, hepatite e infecções por *Helicobacter pylori* (TIWARI, 2008).

O risco de acidente por acionamento acidental de máquinas ou equipamentos em manutenção também foi considerado crítico devido ao potencial lesivo desse tipo de acidente somado à frequência de manutenção das máquinas ou equipamentos envolvidos no manejo do LETE. Deve-se seguir todos os requisitos de segurança estabelecidos pelas normas NR-10 e NR-12, que estabelecem, respectivamente, requisitos de segurança em serviços em eletricidade, e segurança no trabalho em máquinas e equipamentos (BRASIL, 1978).

6.4.2.2. Riscos Parcialmente Mitigados

Os riscos considerados como parcialmente mitigados são aqueles que necessitam de medidas complementares para tratar ou controlar o risco, mas, diferente dos riscos críticos, essas medidas não precisam de implementação imediata para que se continue com a atividade. Esta categoria apresenta níveis de risco maiores que 4 e inferiores ou iguais a 12 (valores em amarelo nos Quadros 6.3 e 6.4).

No manejo da ETE 1 todos os riscos avaliados foram considerados parcialmente mitigados, desde o risco biológico (exposição a microrganismos potencialmente perigosos); risco químico (formação de atmosferas tóxicas ou asfixiantes); risco físico (ruído na operação de equipamentos); e riscos de acidentes (como explosões, de acionamento acidental, quedas, colisões e animais peçonhentos); cujos níveis ficaram entre 4 e 12, necessitando de medidas complementares, mas não sendo consideradas críticas ou prioritárias.

Em ambas ETEs o risco químico de exposição ao sulfeto de hidrogênio (H_2S) e metano (CH_4) foi considerado parcialmente mitigado (valor de nível de risco 10). Mesmo em baixas concentrações, o sulfeto de hidrogênio (H_2S) tem ação irritante nos olhos e no trato respiratório. Em casos de intoxicação leve (de 10 a 500 ppm) pode haver dor de cabeça por várias horas, dor nas pernas e, em alguns casos, pode haver síncope e perda de consciência. Em concentrações maiores (acima de 500 ppm) pode haver perda de consciência, síncope e morte. O metano (CH_4) é considerado

asfixiante simples, pode formar misturas explosivas quando em contato com oxidantes e halogênios, e sua inalação pode levar à inconsciência e lesar o sistema nervoso central, podendo provocar asfixia e morte. A acumulação e exposição a esses gases pode ocorrer na operação e manutenção de máquinas e equipamentos (decantadores, reatores anaeróbios, flotores, adensadores, e demais tanques), remoção do LETE (reatores UASB), carregamento, armazenamento e transporte do LETE (interno ou aterra); ou inspeções (canais de transporte de LETE e pontos de visita). Os trabalhadores também são expostos a produtos químicos utilizados no manejo do LETE, como os polímeros. Os produtos químicos podem ainda ser absorvidos pela pele no contato com o LETE.

A exposição ao ruído proveniente do processo pode causar desde a redução da concentração, zumbidos, ansiedade e nervosismo, até a impotência sexual, perda da audição e hipertensão. No manejo do LETE em ambas estações pode haver a exposição ao ruído durante a operação ou manutenção das bombas e centrífugas, ou nas atividades que ocorrem em áreas próximas aos aeradores, sopradores e lavadoras de alta-pressão (limpeza de rotina). É necessário um controle ambiental para avaliar as áreas e atividades expostas a esse risco para se propor medidas de tratamento efetivas (como a aplicação de EPCs e EPIs), além disso é necessário controle ocupacional da saúde auditiva dos trabalhadores expostos.

Alguns riscos de acidentes figuram entre parcialmente mitigados devido a sua potencial consequência de levar à morte dos trabalhadores acometidos. Pode-se citar o risco de explosões devido à formação de atmosferas explosivas durante a operação e manutenção de instalações do manejo do LETE, desde inspeções de rotina em canais e tubulações de lodo, centrífuga, bombas, pontos de visita, tanques, até a operação e manutenção de equipamentos (centrífuga, adensadores) próximos à área de armazenamento e uso de biogás através de geradores (ETE 2).

O risco de acidente por acionamento acidental de máquinas ou equipamentos em manutenção foi considerado crítico para o manejo do LETE na ETE 2 e parcialmente mitigado para a ETE1. O potencial lesivo desse tipo de acidente é o mesmo para ambos os casos, porém a frequência de manutenção das máquinas ou equipamentos envolvidos no manejo foi considerada maior na ETE 2.

Os riscos de queda acidental de altura foram considerados parcialmente mitigados em ambas ETES. Tais situações podem ser causadas por superfícies escorregadias ou ausência de sinalização ou guarda corpo, em tanques,

decantadores, flotadores ou reatores, além de atividades em altura (escadas e andaimes) durante a operação e manutenção de instalações e equipamentos utilizados no manejo do LETE. Apresentam um alto potencial de gravidade devido ao trauma da queda e possibilidade de afogamento ou contato com partes móveis dos equipamentos em operação.

Temos ainda o risco de acidentes com animais peçonhentos em áreas de armazenamento e acondicionamento do LETE como nos tanques, silos e caçambas. Os animais podem se aproximar desses locais atraídos pela possibilidade de alimentação e proteção. Os acidentes com esses animais podem levar ao óbito se não tratados de forma rápida e assertiva. Em ambos os casos (ETE 1 e ETE 2) este risco foi considerado parcialmente mitigado.

Por fim, temos o risco de colisões entre veículos ou acidentes de trânsito durante o transporte do LETE até o aterro sanitário. Todos esses riscos podem causar desde consequências leves como contusões e escoriações, até consequências graves como fraturas, queimaduras, hemorragias, podendo chegar até ao óbito dos trabalhadores expostos.

6.4.2.3. Riscos Mitigados

São os riscos que podem ser considerados cuja intensidade é reduzida (níveis de risco abaixo ou iguais a 4, em verde), pois tanto a probabilidade como a consequência são baixos, e, portanto, não requerem quaisquer medidas adicionais. Dos principais riscos analisados e avaliados no manejo do LETE das duas ETEs, nenhum se enquadrava como mitigado, pois nos riscos identificados não foram considerados riscos muito improváveis e com consequências consideradas leves.

6.4.3. Tratamento dos Riscos e Monitoramento das Ações

A partir dos níveis de cada risco analisado e avaliado foi possível categorizar e priorizar os riscos mais críticos e relevantes ao processo. Deve-se então estabelecer medidas para o tratamento ou controle dos riscos, em especial para os riscos considerados críticos à saúde e segurança dos trabalhadores. A priorização das ações para mitigar os riscos sempre deve seguir a seguinte ordem: evitar ou eliminar o risco (medidas de caráter administrativo); reduzir o risco (medidas de proteção coletivas);

controlar e gerenciar o risco (medidas de proteção individual); e transferir o risco (pagamento de adicionais e seguros de vida).

Neste trabalho apresentam-se algumas propostas de cunho geral, para o controle e tratamento dos riscos, considerados críticos e parcialmente mitigados, com o objetivo de exemplificar o processo completo de gestão de risco. As propostas sugeridas são apresentadas no Quadro 6.5.

Quadro 6.5 - Propostas para controle dos riscos

Item	Medida Proposta	Justificativa
1	Alterar o armazenamento do LETE na ETE 2 para modo de armazenamento fechado	Reduzir o contato com o LETE nas etapas de armazenamento
2	Alterar o modo de descarga do LETE dos reatores anaeróbios na ETE 2	Reduzir o contato no momento de descarga dos reatores
3	Isolar as áreas próximas aos Flotadores por ar dissolvido na ETE 2	Minimizar o contato das equipes e visitantes com o LETE
4	Instalação de Dispositivos de higienização das mãos nas áreas de operação das ETEs	Disponibilizar Locais para Higiene Pessoal
5	Intensificar a Fiscalização do Uso de EPI e EPC	Minimizar o contato com o LETE
6	Instalar Detectores e Alarmes de Acúmulo de Gases Perigosos	Monitoramento de gases em locais propícios ao acúmulo (canais de LETE, reatores e tubulações)
7	Elaborar Projeto de Ventilação da ETE	Determinar locais de instalação do monitoramento de gases (item anterior)
8	Estabelecer Procedimentos de Manutenção de Equipamentos com Travamentos de acionamentos acidentais (<i>Lockout/Tagout</i>)	Evitar Acionamentos acidentais de equipamentos e máquinas
9	Elaborar Programa Contínuo de Treinamentos para Trabalhadores, Terceiros e Visitantes	Higiene Pessoal / Uso dos EPI / Direção defensiva / Ergonomia
10	Elaborar Programa de Manutenção Periódica Preventiva	Minimizar o contato das equipes de manutenção e limpeza
11	Elaborar Programa de Conservação Auditiva (PCA)	Previne a instalação ou evolução das perdas auditivas ocupacionais
12	Seguir todos os requisitos estabelecidos na NR-35 para Trabalhos em Altura	Prevenir quedas de locais acima de 2 metros (Centrífuga. flotadores)
13	Sinalizar de forma adequada - Locais de Risco	Evitar a deambulação desnecessária
14	Manter áreas de armazenamento de materiais limpas e arejadas	Evitar a proliferação de insetos e animais peçonhentos
15	Elaborar Análise Ergonômica do Trabalho conforme NR-17	Prevenir lesões e doenças relacionadas ao trabalho

Fonte: Autor (2019).

Pode-se destacar os itens de 1 a 8 como medidas prioritárias, pois pretendem controlar diretamente os riscos considerados críticos, que estão relacionados com os riscos biológico, químico e de acionamento acidental de equipamentos e máquinas.

As propostas abordam os riscos avaliados de forma abrangente e apresentam desde medidas corretivas como alteração de processos existentes e medidas preventivas como a implantação de programas de treinamentos e manutenção periódica.

Além disso, é necessário o monitoramento dessas medidas propostas para verificar se realmente estão controlando ou tratando os riscos. Tanto as medidas de controle como de monitoramento devem ser planejadas e realizadas por profissionais que conhecem a realidade e a capacidade operacional e financeira das estações, para que as medidas sejam específicas, eficazes e sustentáveis. Para o monitoramento sugere-se análise crítica depois de implantadas as medidas de controle e sempre que houver alguma alteração nos processos. Sugere-se ainda avaliação mais detalhada dos riscos críticos para que as medidas de controles sejam dimensionadas de forma adequada, sem subestimar ou superestimar os riscos.

6.5. LIMITAÇÕES DOS RESULTADOS

As metodologias do presente trabalho foram elaboradas para auxiliar a realização da avaliação e gestão de riscos ocupacionais no manejo do LETE seguindo os princípios da NBR ISO 31000:2018 e NBR ISO/IEC 31010:2012, de maneira a proporcionar uma sequência lógica de etapas para esse procedimento nas duas ETEs estudadas. Portanto, as limitações deste trabalho estão relacionadas ao porte e às tecnologias utilizadas nas duas ETEs avaliadas. Seus resultados não devem ser extrapolados para ETEs que utilizam tecnologias de tratamento diferentes e que, conseqüentemente, geram LETE de natureza e características diferentes.

Além disso, como já mencionado, estações de menor porte apresentam mais atividades manuais e, portanto, seus riscos podem ser diferentes em tipo e intensidade. No entanto, os instrumentos elaborados podem ser ampliados e devem ser adaptados a cada ETE analisada, tendo em vista a diversidade de tipologias e tecnologias de tratamento do esgoto e manejo do LETE existentes.

Por fim, as etapas de transporte e a disposição no aterro que, em tese, podem expor os trabalhadores, não foram avaliadas neste estudo. Os riscos ergonômicos não foram avaliados de forma abrangente. As fases de tratamento dos riscos e monitoramento das ações foram elaboradas apenas como sugestões para exemplificar o ciclo de gestão de risco.

7. CONCLUSÕES

No manejo do LETE encontramos riscos ocupacionais de todas as naturezas: físicos; químicos; biológicos, ergonômicos e de acidentes. Tais riscos variam de acordo com a tecnologia utilizada, o porte da estação e o nível de automatização empregado. De forma geral, processos com menores níveis de automatização tendem a apresentar mais atividades manuais, como na ETE 2, o que intensifica a exposição a alguns riscos. Nos casos estudados, as ETEs apresentam níveis de automatização diferentes, em especial na remoção, no armazenamento e carregamento do LETE.

As condições de saúde e segurança do trabalho (SST), de forma geral, não são adequadas, uma vez que apresentam riscos consideráveis no manejo do LETE das ETEs analisadas. Ferramentas de gestão de riscos ocupacionais são pouco utilizadas pelas empresas, principalmente no Brasil. Mesmo em unidades modernas e bem planejadas ainda existem riscos não gerenciados na manutenção dos equipamentos, limpeza das instalações, armazenamento e transporte do LETE. Muitos dos riscos identificados poderiam ser minimizados ou até eliminados na fase de planejamento.

Em ambas ETEs visitadas não há manejo secundário, cujo objetivo é preparar o LETE para destinação, através de recuperação, reúso ou reciclagem. A forma de manejo final utilizada é, exclusivamente, o transporte e a disposição final em aterro sanitário, o que contraria a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12305/2010).

O manejo realizado na ETE 1 apresenta poucos momentos de exposição direta dos trabalhadores ao LETE uma vez que, quase todo o processo é automatizado e/ou mecanizado e ocorrem em estruturas fechadas (tubulação, galerias, bombas e tanques) com exceção para os procedimentos de carregamento e descarregamento do LETE desaguado nos veículos de transporte, coleta de amostras, manutenções, operação da centrífuga e manipulação de produtos químicos.

No manejo na ETE 2 existem mais ocasiões de exposição direta dos trabalhadores com o LETE. Parte das operações são automatizados e/ou mecanizados, porém há outros processos manuais como a abertura de válvulas e registros. Algumas etapas ocorrem em estruturas fechadas e em outras abertas (flotador, galerias, caçambas). O manejo na ETE 2 expõe os trabalhadores, em especial, nos procedimentos de remoção do LETE dos reatores anaeróbios, carregamento das caçambas, transporte do LETE desaguado nos

caminhões/carretas, coleta de amostras, manutenções, operação da centrífuga, manipulação de produtos químicos.

Ainda há muita resistência dos trabalhadores e dos empregadores em relação à saúde e segurança do trabalho. Muito se deve a fatores culturais e sociais e, portanto, sempre haverá a necessidade da atualização dos instrumentos legais e intensificação da fiscalização como ocorreu recentemente em outros setores da economia com resultados favoráveis em relação a diminuição de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho. Além disso, é necessário promover de forma frequente a conscientização dos trabalhadores e empregadores, com o objetivo de desenvolver uma cultura de segurança nas empresas nacionais, seguindo alguns modelos estabelecidos em países considerados desenvolvidos, em que esse tipo de cultura se faz mais presente.

Por fim, é possível concluir que as ETEs podem operar de modo mais seguro e adequado visando a redução dos riscos, implantando sistemas de gestão de riscos ocupacionais e aprimorando suas atividades e condições de trabalho, de forma a atender melhor aos anseios da sociedade por mais qualidade de vida, proteção ao trabalho e ao trabalhador.

8. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Este e outros trabalhos relacionados podem contribuir com a melhoria das condições de saúde e segurança dos trabalhadores que atuam direta ou indiretamente no manejo do LETE. Pode também contribuir com a reflexão sobre a necessidade da criação de legislação específica para regulamentar a saúde e segurança do trabalho nas atividades de saneamento básico, em especial na operação das ETEs. Outras normas da série ISO 9000 (gestão da qualidade), ISO 14000 (gestão ambiental), ISO 24511 (gestão dos prestadores de serviços de esgoto), OHSAS 18001 e ISO 45000 (gestão de segurança e saúde ocupacional), bem como outras ferramentas de gestão, também podem ser utilizadas para a melhoria da gestão das ETEs, juntamente com os instrumentos desenvolvidos neste trabalho.

O investimento em saúde e segurança do trabalho, além de reduzir o número de afastamentos e os custos causados por doenças e acidentes, também proporciona aumento de produtividade, que está diretamente relacionada com as condições do ambiente de trabalho que os profissionais estão submetidos, pois representa a valorização pessoal e profissional do trabalhador.

As empresas e seus responsáveis, por obrigação legal, precisam proporcionar aos trabalhadores, ambiente laboral com as condições adequadas para o desempenho de suas funções e atividades, garantindo assim a saúde e integridade física, mental e social através de tecnologia e informação.

Algumas medidas de caráter preventivo, que podem evitar acidentes e doenças dos profissionais envolvidos no manejo do LETE como: programas educacionais permanentes para os trabalhadores que atuam com os resíduos nas ETEs; sinalização dos locais perigosos; planos de emergência; treinamento para trabalhadores terceirizados e prestadores de serviço; higienização dos locais de trabalho; controle médico constante com realização de exames periódicos; uso adequado, guarda e conservação de EPI; a proibição de fumar; entre outras; devem fazer parte dos valores e da cultura da empresa.

REFERÊNCIAS

- ABELLEIRA, J., PEREZ-ELVIRA, S.I., SANCHEZ-ONETO, J., PORTELA, J.R., NEBOT, E. **Advanced thermal hydrolysis of secondary sewage sludge: A novel process combining thermal hydrolysis and hydrogen peroxide addition.** Resource, Conservation and Recycling. ed.59. 2012, p.52–57.
- ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR ISO 10006:2000 - Gestão da Qualidade - Diretrizes para a qualidade no gerenciamento de projetos.** Rio de Janeiro, RJ. ABNT, 2000.
- ____ – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: resíduos sólidos.** São Paulo, 2004.
- ____ – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR ISO/IEC 31010:2012 - Gestão de Riscos - Técnicas para o processo de avaliação de riscos.** Rio de Janeiro, RJ. ABNT, 2012. 96 p.
- ____ – Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR ISO 31000:2018 - Gestão de Riscos - Diretrizes.** Rio de Janeiro, RJ. ABNT, 2018. 17 p.
- ACHON, C.L., CORDEIRO, J.S. (2016). **Gestão de resíduos dos serviços de saneamento (água e esgoto), a Lei 12.305/2010 e os desafios no Brasil.** In: XXXV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), Anais. Catagena – Colombia. ID 1955, 7 p.
- ____, C.L.; KELLNER E.; AKUTSU J. **Subsídios para Gestão de Esgotamento Sanitário: Abordagem da Fase Sólida.** In: AMÉRICO-PINHEIRO, J.H.P.; BENINI, S.M; AMADOR, M.B.M. (2017) Organizadoras. Recursos Hídricos: Gestão e Sustentabilidade. Capítulo 6. Tupã: ANAP, 2.ed., 2017. 224p.
- ADANI, F.; TAMBONE, F. **Long-term effect of sewage sludge application on soil humic acids.** Elsevier: Chemosphere, n. 60, 2005, 1214-1221p.
- AKAMANGWA, N. **Working for the environment and against safety: How compliance affects health and safety on board ships.** Safety Science, v.87, 2016, p131-143.
- ALMEIDA, I. M.; VILELA, R. A. G. **Modelo de Análise e Prevenção de Acidentes de Trabalho - M.A.P.A.** Piracicaba: CEREST, 2010.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. (orgs.). **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. 2. ed.** Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2001. 288 p.
- ANDREOLI, C.V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final.** Rio de Janeiro: Editora ABES, 2001. 483p.

- ANJUM, M.; AL-MAKISHAH, N.H.; BARAKAT, M.A., **Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods**. Process Safety and Environment Protection, v.102, 2016, p.615-632.
- AMUDA, O.S.; DENG, A.; ALADE, A.O.; HUNG, Y-T. **Conversion of sewage sludge to biosolids**. In: Wang, L. K., Shamas, N. K., Hung, Y. T. Biosolids Engineering and Management. Humana Press, ed.7, 2008. p.65-115.
- AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. **Acúmulo de ácidos graxos voláteis (agvs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle**. Eng. Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro. n. 2, 2005, p.152-161.
- ARCIEVALA, S. J. **Wastewater treatment and disposal**. New York: Marcel Dekker, 1981.
- AVEN, T.; ZIO, E. **Foundational issues in risk analysis**. Risk Analysis, v.34, n.7, 2014, p.1164-1172.
- AVEN, T. **Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation**, European Journal of Operational Research, v.253, 2015, p.1-13.
- BARTKIEWICZ, B.; PIERŚCIENIAK, M. **Management of biogas produce in the methane fermentation process in wastewater treatment plants**. Ochrona środowiska i zasobów naturalnych, v.47, 2011, p.39.
- BERTTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.) **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente, 2006, 349p.
- BIBLIOMETRIX –**Bibliometrix R Package**. Massimo Aria, 2016. Disponível em: <<http://www.bibliometrix.org/>>. Acesso em 31 mai. 2018.
- BILAL, M.; IQBAL, H.; HU, H.; WANG, W.; ZHANG, X. **Enhanced bio-catalytic performance and dye degradation potential of chitosan-encapsulated horseradish peroxidase in a packed bed reactor system**. Sci. Total Environ. v.505, 2017, p.1352–1360.
- BRASIL. Presidência da República Federativa do Brasil. **Legislação Federal Brasileira**. Brasília, DF. Lei 6.514 de 22 de dezembro de 1977. Altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), relativo a segurança e medicina do trabalho. Disponível em: < <http://www4.planalto.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 31 mai. 2018.
- _____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Legislação Federal Brasileira**. Brasília, DF. Portaria MTE 3.214 de 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 31 mai. 2018.
- _____. Presidência da República Federativa do Brasil. **Legislação Federal Brasileira**. Brasília, DF. Lei 6.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política

Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: < <http://www4.planalto.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

_____. Presidência da República Federativa do Brasil. **Legislação Federal Brasileira**. Brasília, DF. Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: < <http://www4.planalto.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. CONAMA. Resolução do CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. CONAMA. Resolução do CONAMA 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. CONAMA. Resolução do CONAMA 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

_____. Presidência da República Federativa do Brasil. **Legislação Federal Brasileira**. Brasília, DF. Lei 11.445 de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/legislacao/>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

_____. Presidência da República Federativa do Brasil. **Legislação Federal Brasileira**. Brasília, DF. Lei 12.305 de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

_____. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. 2013. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/>> Acesso em: 31 mai. 2018.

BUDA, J.F. **Segurança e Higiene no trabalho em estação de tratamento de esgoto**. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CAMPOS, J.R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. 464p. PROSAB, ABES, Rio de Janeiro, 1999.

- CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgoto no Brasil: cenários e inovações**. In: BAGNATO, V.S.; BARRIONUEVO, W. (Coord.). Intercâmbio de inovações tecnológicas entre Brasil e Itália. São Carlos: Inst. Física de São Carlos, USP, 2013.
- CARRINGTON, E. G. **Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction: final report**. Study contract no B4-3040/2001/322179/MAR/A2. European Commission. Set/2001. p.42.
- CASAROTTI, E.G.; MATSUMOTO, T.; ALBERTIN, L.L. **Avaliação da influência do vento na circulação de uma lagoa de estabilização**. Eng. Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v.17, n.4, 2012, p.401-412.
- CAVALCA, D. L. **BIBVIEW – Análise Bibliométrica**. 2018. Disponível em: <<https://diegocavalca.shinyapps.io/bibView/>>. Acesso em 19 jun. 2018.
- CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2016. São Paulo: CETESB, 2016.
- CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Notícias. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2016/03/10/17595>>. Acesso em 19 jun. 2018.
- CIEŚLIK, B.M.; NAMIEŚNIK, J.; KONIECZKA, P. **Review of sewage sludge management: Standards, regulations and analytical methods**. Journal of Cleaner Production, v.90, 2015, p1-15.
- CORDEIRO, J. S. **Precariedades e desafios do saneamento ambiental**. Federação Nacional dos Engenheiros - FNE. Cresce Brasil + Engenharia + Desenvolvimento Cidades, 2016. 73-83 p.
- CORREIA, J. E. **Caracterização Físico-química e microbiológica do lodo gerado na estação de tratamento de esgoto contorno**. Feira de Santana, BA.2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.
- DAIM, T. U.; RUEDA, G.; MARTIN, H.; GERDSRI, P. **Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis**. Technological Forecasting & Social Change, v.73, 2006, p.981–1012.
- DAVID, A.C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação de umidade e equilíbrio**. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 151p. 2002.
- ELSEVIER. Scopus. **Editora Elsevier**, 2017. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/americalatina/ptbr/scopus>>. Acesso em: 20 mai 2018.
- FAJARDO, P.A. **Proposta de instrumentos para a realização de análise ambiental inicial em ETEs à luz da NBR ISO 14001:2004: O caso da ETE-Monjolinho, São Carlos-SP**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 229p. 2014.

- FERNANDES, A. **Acidentes do trabalho**. São Paulo: Editora LTr, 1995.
- GALAN, M.J.G.; DÍAZ-CRUZ, M.S.; BARCELO, D. **Removal of sulfonamide antibiotics upon conventional activated sludge and advanced membrane bioreactor treatment**. *Anal. Bioanal. Chem.*, v.404, 2012, p.1505–1515.
- GENG, S.; WANG, Y.; ZUO, J.; ZHOU, Z.; DU, H. e MAO, G. **Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.76, 2017, p.176-184.
- GONÇALVES, R. F. **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas** - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, PROSAB. Vitória 1999.
- GONÇALVES, R.F.; LUDUVICE, M.; LIMA, M.R.P.; RAMALDES, D.L.C.; FERREIRA, A.C.; TELES, C.R.; ANDREOLI, C.V. **Desidratação de lodos de esgoto**. In: ANDREOLLI, C.V. (2001) *Coord. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Capítulo 3. Rio de Janeiro: ABES Projeto PROSAB 2, 2001. 282p.
- GONÇALVES, R. F. (coord) **Desinfecção de Efluentes Sanitário, Remoção de Organismos Patógenos e Substâncias Nocivas** - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, PROSAB. ABES, Rio de Janeiro 2003.
- GONZALEZ, I.; SERRANO, A.; GARCÍA-OLMO, J.; GUTIÉRREZ, M.C.; CHICA, A.F.; MARTÍN, M.A., **Assessment of the treatment, production and characteristics of WWTP sludge in Andalusia by multivariate analysis**. *Process Safety and Environmental Protection*, v.109, 2017, p.609-620.
- HAMMER, M. J. **Sistemas de abastecimento de água e esgotos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 563 p.
- HELLER, L. **Saneamento e Saúde**. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde, 1997.
- HÖKERBERG, Y.H.M.; SANTOS, M.A.B.; PASSOS, S.R.L.; ROZEMBERG, B.; COTIAS, P.M.T.; ALVES, L.; MATTOS, U.A.O. **O processo de construção de mapas de risco em um hospital**. *Revista Ciência e Saúde Coletiva*. Rio de Janeiro. v.11, n.2, 2006, P.503-513.
- HREIZ, R.; LATIFI, M.A.; ROCHE. N. **Optimal design and operation of activated sludge processes: State-of-the-art**. *Chem. Engin. J.*, v.281, 2015, p.900–920.
- HUBER TECHNOLOGY, **Solution for On-Site Sludge Incineration**. Disponível em: <<https://www.huber.co.uk/solutions/sludge-treatment/thermal-utilisation.html>> Acesso em: 23 abr. 2019.
- ISO – International Standardization for Organization. **Annual Report 2016**. Disponível em: <<https://www.iso.org/>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

- IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional De Saneamento Básico**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2008.
- ____ – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010: Características da População e dos Domicílios: Resultados do Universo**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2010.
- ____ – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data referência em 1º de julho de 2017**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2017.
- JING, G.; LUAN, M.; DU, W.; HAN, C. **Treatment of oily sludge by advanced oxidation process**. Environ. Earth Sci., v.67, 2012, p.2217–2221.
- KACPRZAK, M.; NECZAJ, E.; FIJAŁKOWSKI, K.; GROBELAK, A.; GROSSER, A.; WORWAG, M.; RORAT, A.; BRATTEBO, H.; ALMÁS, A.; SINGH, B.R. **Sewage sludge disposal strategies for sustainable development**. Environmental Research. V.156, 2017, p.39-46.
- KERZNER, H. **Project Management: a systems approach to planning, scheduling and controlling**. 9ª ed. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2006.
- KHANAL, S.K.; SUNG, D.; SHIHWUVAN, L.J. **Ultrasound applications in wastewater sludge pretreatment: A review**. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. v.37, 2007, p.277-313.
- KRUTWAGEN, B.; KORTMAN, J.; VERBIST, K. **Inventory of Existing Studies Applying Life Cycle Thinking to Biowaste Management**. Office of Official Publications of the European Communities, 2008, Luxembourg.
- LIU, G.; YANG, Z.; CHEN, B.; ZHANG, J.; LIU, X.; ZHANG, Y.; SU, M.; ULGIATI, S. **Scenarios for sewage sludge reduction and reuse in clinker production towards regional ecoindustrial development: a comparative energy-based assessment**. Journal of Cleaner Production, v.103, 2015, p.371-383.
- MAGALHÃES, J. M. M. **Caracterização inicial do lodo de esgoto de uma indústria de bebidas**. Monografia (Conclusão de curso de Gestão Ambiental na Agropecuária). 2008, 39 f. Escola Agrotécnica Federal. Inconfidentes, MG, 2008.
- MALINSKA, K.; ZABOCHNICKA-SWIATEK, M.; DACH, J. **Effects of biochar amendment on ammonia emission during composting of sewage sludge**. Ecological Engineering, v.71, 2014, p.474–478.
- MARICATO, J. M. **Dinâmica das relações entre Ciência e Tecnologia: estudo Bibliométrico e Cientométrico de múltiplos indicadores de artigos e patentes em biodiesel**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

- METCALF & EDDY; TCHOBANOGLIOUS, G.; STENSEL, H.D.; TSUCHIHASHI, R.; BURTON, F. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery**. 5ed., McGraw-Hill Education, New York, 2013.
- MORTARA, F. C. **Utilização de leitos de drenagem no desaguamento de lodos anaeróbios**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011. 241p.
- NUVOLARI, A. (Coord.). **Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
- OIT – Organização Internacional do Trabalho. **Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho 2017**. Disponível em: <http://www.ilo.org/brasilia/noticias/WCMS_551769/index.htm/>. Acesso em: 11 mar. 2018.
- PEDROZA, M.M.; VIEIRA, G.E.G.; SOUSA, J.F.; PICKLER, A.C.; LEAL, E.R.M.; MILHOMEN, C.C. **Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão**. Rev. Liberato, Novo Hamburgo, v.11, n.16, p.89-XX, jul/dez. 2010.
- PEREZ-ELVIRA, S. I.; DIEZ, P. N.; FDZ-POLANCO, F. **Sludge 36 minimization technologies**. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, v.5, n.4, 2006, p.375-398.
- PILLI, S.; YAN, S.; TYAGI, R.D.; SURAMPALLI, R.Y. **Overview of Fenton pre-treatment of sludge aiming to enhance anaerobic digestion**. Rev. Environ. Sci. Biotechnol., v.14, 2015, p.453–472.
- PINHO, D.L.M.; RODRIGUES, C.M.; GOMES, G.P. **Perfil dos acidentes de trabalho no Hospital Universitário de Brasília**. Rev Bras Enferm. v.60, n.3, 2007, p.291-294
- PREVIDÊNCIA SOCIAL. Ministério da Previdência Social. **Anuário Estatístico da Previdência Social 2010**. Disponível em: <<http://www.previdencia.gov.br/dados-abertos/aeps-2010-anuario-estatistico-da-previdencia-social-2010/>>. Acesso em: 11 mar. 2018.
- REIS, R. F. **Sistema de Remoção de Água de Lodo Gerado em Estação de Tratamento de Esgoto com Duas Fases: Desaguamento Inicial em Leito de Drenagem Seguido de Biossecagem**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.
- RS – ROYAL SOCIETY. **Knowledge, networks and nations: global scientific collaboration in the 21st century**. London: The RS, 2011.
- SAHINKAYA, S.; KALIPCI, E.; ARAS. S. **Disintegration of waste activated sludge by different applications of Fenton process**. Process Safety Environ. Protect., v.93, 2015, p.274–281.

- SAMOLADA, M.C.; ZABANIOTOU, A.A. **Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece**. Waste Manag. v.34, 2014, p.411-420.
- SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto do Paraná**. Curitiba: SANEPAR, 1997. 96 p.
- SEMBLANTE, G.U.; HAIA, F.I.; HUANGB, X.; BALL, A.S.; PRICE, W.E.; NGHIEMA, L.D. **Trace organic contaminants in biosolids: Impact of conventional wastewater and sludge processing technologies and emerging alternatives**. J. Hazard. Mater., v.300, 2015, p.1-17.
- SILVA, A. G. da; LEITE, V. D.; SILVA, M. M. P da; PRASAD, S.; FEITOSA, W. B. da S. **Compostagem aeróbia conjugada de lodo de tanque séptico e resíduos sólidos vegetais**. Engenharia Sanitária Ambiental. Rio de Janeiro: ABES. 2008, v. 13, n. 4, p. 371-379, out./dez. 2008.
- SILVA, M. R.; HAYASHI, C. R. M.; HAYASHI, M. C. P. I. **Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo**. InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação, v.2, n.1, 2011, p.110-129.
- SMOL, M.; KULCZYCKA, J.; HENCLIK, A.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. **The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy**. Journal of Cleaner Production, 95, 2015. 45-54 p.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016**. Ministério das Cidades. Brasília, DF. Disponível em: <<http://snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 31 mai. 2018.
- SOUNIS, E. **Manual de higiene e medicina do trabalho**. São Paulo: Ícone, 1991.
- SRA – Society for Risk Analysis. **Glossary Society for Risk Analysis, 2015**. Disponível em: <<http://www.sra.org/resources>>. Acesso em: 31 mai. 2018.
- TAO, J.; WU, S.; SUN, L.; TAN, X.; YU, S.; ZHANG, Z. **Composition of Waste Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plant**. Procedia Environ. Sci., v.12: 2012, p.964–971.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F.; STENSEL, H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4ed., McGraw-Hill Education, New York, 2003.
- TIRABOSCHI, M. H. F. S. **Contribuição para concepção e análise de alternativas de tratamento de esgotos sanitários com base em princípios e critérios de sustentabilidade**. (Dissertação de Mestrado) São Carlos, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2004.
- TIWARI, R.R. **Occupational health hazards in sewage and sanitary workers**. Indian J Occup Environ Med. v.12(3), 2008, p.112-115.

- USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Environmental regulations and technology: control of pathogens and vector attraction in sewage sludge**. under 40 CFR Part 503. Washington, DC 20460. Jul. 2003. p. 178.
- UPE – Universal Process Equipment's Industriais. **Removedores de lodo por sucção**. Disponível em: <<http://www.upe.com.br/index.php/removedores-de-lodo-por-succao/>>. Acesso em: 08 jul. 2019.
- VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Epgraf, Campina Grande, Paraíba, 1994.
- VAN HAANDEL, A.C.; MARAIS, G.V.R. **O comportamento do sistema de lodo ativado**. Campina Grande: Epgraf, 1999.
- VON SPERLING, M. **Lodos ativados**. 2ed. Belo Horizonte; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 1997.
- _____. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.
- _____. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Rio de Janeiro: ABES, 2002. 243p.
- _____. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuais**. v.1, 3ed., 452p. Belo Horizonte; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2005.
- WILMERS, J. T. A. V. L.; CAVALCA, D. L.; FERNADES, R. A. S. **Análise bibliométrica da área de pesquisa denominada Demand Response**. Anais do IV Encontro Regional dos Estudantes de Biblioteconomia, Documentação, Ciência da Informação e Gestão da Informação – Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- WWAP – United Nations World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource**, Paris, UNESCO.
- ZUPIC, I.; CARTER, T. **Bibliometric Methods in Management and Organization**. Organizational Research Methods, v.18, n.3, 2015, p.429–472.