



Gestão de Lamas Fecais em Sistemas Urbanos de Saneamento Local

Teresa da Costa Cabral Hazel

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Prof. José Manuel de Saldanha Gonçalves Matos

Júri

Presidente: Prof. António Alexandre Trigo Teixeira

Orientador: Prof. José Manuel de Saldanha Gonçalves Matos

Vogal: Prof.^a Filipa Maria Santos Ferreira

Janeiro 2015

Agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador, Professor José Saldanha Matos, por me ter dado a oportunidade de estudar este tema, pelo seu apoio, disponibilidade e paciência, assim como o conhecimento científico transmitido ao longo destes meses.

Agradeço também à Eng.^a Mafalda Pinto, bolsista do Instituto Superior Técnico, pela partilha do seu conhecimento sobre sistemas de saneamento locais, e pelo constante apoio e disponibilidade durante todo o trabalho.

Ao Eng.^o Rafael Tembo, do Município de Maputo, à Eng.^a Fernanda Quitano, do Fundo de Investimento e Património de Abastecimento de Água de Moçambique e ao Eng.^o Raúl Mutevuie, da Direção Nacional de Águas de Moçambique, agradeço a colaboração no caso de estudo da Cidade de Tete, disponibilizando a informação solicitada.

A todos os que me apoiaram neste trabalho, em especial ao José António Martinez, ao João Alves e à Rita Quitério, pela paciência e constante motivação; a todos os meus amigos pelo apoio e por serem sempre um escape de descontração nas alturas mais difíceis.

Por último, quero agradecer à minha mãe, a quem devo tudo o que sou, pelo esforço, dedicação e apoio incondicional, que contribuíram para a minha formação pessoal e académica.

Resumo

A gestão de lamas fecais é uma atividade fundamental para o adequado funcionamento de sistemas de saneamento locais. Atualmente, esta gestão é frequentemente negligenciada, nomeadamente nos países pobres em desenvolvimento, podendo resultar em graves impactos para a saúde pública e meio ambiente.

A presente dissertação tem como objetivo o estudo dos processos do ciclo da gestão de lamas fecais, em meios urbanos de países em desenvolvimento. Os conhecimentos adquiridos são aplicados ao caso de estudo da Cidade de Tete, em Moçambique.

Realiza-se uma descrição dos principais tipos de sistemas de saneamento, característicos de países em desenvolvimento, e os principais desafios que se colocam à respetiva gestão. Apresentam-se, resumidamente, as principais soluções técnicas dos processos de recolha, transporte, tratamento, e valorização e destino final das lamas fecais.

Finalmente procede-se ao pré-dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Lamas e Águas Residuais, do centro urbano da Cidade de Tete, integrada num sistema de gestão de lamas fecais. Analisa-se a estrutura urbana da cidade e propõe-se uma solução de tratamento adequada às lamas e águas residuais da zona central da cidade, da margem direita do rio Zambeze.

Palavras-chave: Águas residuais, gestão de lamas fecais, países em desenvolvimento, sistemas de saneamento local/pseudo-local

Abstract

Faecal sludge management is a fundamental activity for the adequate operation of on-site sanitation systems. Currently, this management is often overseen in developing countries, which can result in severe consequences to public health and the environment.

The present dissertation aims to study the several processes of the cycle of faecal sludge management in urban areas of developing countries. The knowledge gained is applied to a case study of the City of Tete, in Mozambique.

A description of the main types and challenges of sanitation systems of developing countries are briefly presented and discussed, and the technical solution of the processes of collection, transport, treatment and alternative final destination of faecal sludge are described.

Additionally, a preliminary design of a Sludge and Wastewater Treatment Plant, integrated in a faecal sludge management system, is carried out for the urban centre of the City of Tete. The urban structure is analysed and a treatment solution is proposed for the city's faecal sludge and sewage.

Keywords: Wastewater, faecal sludge management, developing countries, on-site sanitation systems

Índice do texto

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento e relevância do tema	1
1.2.	Objetivos.....	1
1.3.	Estrutura da dissertação	2
2.	Sistemas de gestão de lamas fecais em países em desenvolvimento.....	3
2.1.	Enquadramento histórico	3
2.2.	Situação global de saneamento	5
2.3.	Caracterização de sistemas de saneamento	7
2.3.1.	Sistemas de decomposição de lamas fecais	7
2.3.2.	Classificação de sistemas de saneamento quanto à localização	9
2.3.3.	Sistemas centralizados, descentralizados e semi-centralizados	12
2.4.	Desafios associados à gestão de lamas fecais	13
2.4.1.	Considerações gerais.....	13
2.4.2.	Aspetos técnicos	15
2.4.3.	Enquadramento institucional e legislativo	16
2.4.4.	Financiamento e economia	17
2.4.5.	Coordenação entre intervenientes	17
2.5.	Impactos associados à gestão incorreta de lamas fecais.....	18
2.5.1.	Impactos na saúde pública.....	18
2.5.2.	Impactos ambientais.....	19
3.	Gestão de lamas fecais em ambiente urbano.....	21
3.1.	Considerações gerais.....	21
3.2.	Caracterização lamas fecais	21
3.2.1.	Definição de lamas fecais	21
3.2.2.	Aspetos que influenciam a qualidade de lamas fecais	23
3.2.3.	Quantificação dos parâmetros de qualidade das lamas fecais.....	24
3.3.	Coleta e tratamento inicial	27
3.3.1.	Considerações Gerais	27

3.3.2.	Coleta manual	28
3.3.3.	Coleta mecânica.....	30
3.4.	Transporte de Lamas Fecais.....	32
3.4.1.	Considerações gerais.....	32
3.4.2.	Transporte manual	33
3.4.3.	Transporte motorizado	33
3.4.4.	Estações de transferência.....	33
3.5.	Tratamento complementar e desidratação de lamas fecais	36
3.5.1.	Considerações gerais.....	36
3.5.2.	Espessamento mecânico de lamas fecais	39
3.5.3.	Espessador gravítico	40
3.5.4.	Leitos de secagem	41
3.5.5.	Leitos de secagem com macrófitas.....	42
3.5.6.	Co-compostagem de lamas fecais	44
3.5.7.	Co-tratamento em lagoas de estabilização	45
3.5.8.	Adição de cal	51
3.6.	Tratamentos inovadores.....	51
3.6.1.	Tratamento através de organismos saprófagos.....	51
3.6.2.	Tratamento com amónia.....	52
3.6.3.	Secagem solar.....	52
3.7.	Destino Final.....	53
4.	Caso de Estudo – Cidade de Tete	57
4.1.	Considerações gerais.....	57
4.2.	Caracterização da Cidade de Tete.....	58
4.2.1.	Caracterização da província de Tete	58
4.2.2.	Estrutura urbanística da Cidade de Tete.....	60
4.2.3.	Clima da Cidade de Tete.....	64
4.3.	Caracterização da situação de referência de saneamento.....	65
4.3.1.	População.....	65
4.3.2.	Infraestruturas de saneamento	66

4.3.3.	Consumos de água	68
4.4.	Metodologia para a escolha de solução para a Estação Tratamento de Águas Residuais e Lamas Fecais	69
4.5.	Horizontes de projeto	71
4.6.	Critérios de projeto	71
4.6.1.	População.....	71
4.6.2.	Produção de lamas.....	72
4.6.3.	Caudais de projeto	74
4.6.4.	Estações de transferência	76
4.7.	Pré-dimensionamento dos órgãos da Estação de Tratamento de Lamas.....	78
4.8.	Localização da Estação de Tratamento de Águas Residuais e Lamas.....	88
4.9.	Considerações sobre a exploração da Estação de Tratamento de Lamas	89
5.	Conclusões e perspetivas de trabalhos futuros	91
	Referências Bibliográficas.....	93
	Anexos.....	I
	Anexo 1 - Microrganismos patogénicos	II
	Anexo 2 - Fatores de sobrevivência de microrganismos patogénicos.....	IV
	Anexo 3 – Parâmetros de caracterização de lamas fecais.....	V
	Anexo 4 - Planta de Ordenamento da Cidade de Tete.....	VI
	Anexo 5 - Plantas da rede de coletores e descarregadores da Cidade de Tete.	VII
	Anexo 6 - Estação de Tratamento de Águas Residuais e Lamas do Espaço Urbano da Cidade de Tete..	IX
	Anexo 7 – Localização da Estação de Tratamento de Lamas do Espaço Urbano da Cidade de Tete.	XI

Índice de figuras do texto

Figura 2.1: Percentagem de utilização de sistemas de saneamento melhorado, em 2012. Adaptada de WHO/UNICEF (2014).	6
Figura 2.2: Número de pessoas (milhões) a praticar defecação a céu aberto. Adaptada de WHO/UNICEF (2014).	6
Figura 2.3: Esquema de uma fosse seca ventilada (VIP), com delimitação da zona de digestão aeróbia (azul) e anaeróbia (cor-de-laranja). Retirada de Still & Foxon (2012)	8
Figura 2.4: Esquema de uma fossa séptica. Adaptada de Tilley, et al. (2014).	9
Figura 2.5: Percentagens da população que recorre a diversos tipos de sistemas de saneamento. Adaptada de The Boston Consulting Group, em Strande, et al. (2014).	11
Figura 2.6: Esquema simplificado da gestão de lamas fecais. Adaptada de Koné & Peter (2008). ..	12
Figura 2.7: Ciclo da gestão de lamas fecais em sistemas de saneamento pseudo-locais. Adaptada de EAWAG - Sandec (2006).	14
Figura 2.8: Diagrama F, com meios de transmissão para doenças de microrganismos patogénicos e respetivas barreiras para prevenção das mesmas. Adaptada de Wagner & Lanoix (1958), por Pinto (2013).	19
Figura 2.9: Exemplo de descarga indevida direta no meio ambiente em Yaoundé, Camarões. Retirada de Strande, et al. (2014).	20
Figura 3.1: Esquema das etapas da gestão de lamas fecais. Adaptada de Strande et. al 2014.	21
Figura 3.2: Gráfico da variação do conteúdo médio de água das lamas fecais por profundidade da latrina. Adaptada de Bakare, et al. (2012).	26
Figura 3.3: Correta proteção e método de coleta mecânica de lamas fecais numa recolha mecânica. Retirada de Strande, et al. (2014).	27
Figura 3.4: Exemplo de recolha manual com indivíduo dentro da fossa, não segura. Retirada de WIN-SA, (2011).	28
Figura 3.5: Exemplo de funcionamento de sistema de bombagem manual, através de movimento vertical. Adaptada de Stauffer et al. (2014).	29
Figura 3.6: Exemplo de uso de MAPET no Congo, para coleta manual de lamas fecais. Retirada de Stauffer et al. (2014).	29
Figura 3.7: Funcionamento de um parafuso motorizado (<i>'Pit screw augers'</i>) com trabalhador com correta proteção pessoal. Retirada de Still & Foxon (2012).	30
Figura 3.8: <i>Vacutug</i> criado pelo UN-HABITAT. Retirada de Still & Foxon (2012).	31
Figura 3.9: Camião de coleta e transporte de lamas fecais da cidade de Manila, nas Filipinas. Retirada de Strande et al. (2014).	32
Figura 3.10: Exemplo de transporte manual de contentores de lamas. Retirada de Stauffer et al. (2014).	33

Figura 3.11: Esquema de estação de transferência fixa de armazenamento permanente enterrada. Adaptada de Tilley et al. (2014).	35
Figura 3.12: Exemplo de estação de transferência móvel com integração de casa de banho pública em Serra Leoa. Retirada de Strande et al. (2014).	36
Figura 3.13: Formas de ligação de água existente em lamas fecais. Adaptada de Kopp and Dichtl (2001) em Strande, et al. (2014).	37
Figura 3.14: Pré-tratamento por gradagem numa estação de tratamento de lamas fecais em Kampala, Uganda. Retirada de Strande et al. (2014).	39
Figura 3.15: Funcionamento do sistema de filtro prensa. Adaptada de FCK Screw Press (2008).	40
Figura 3.16: Esquema de um espessador gravítico de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al. (2014).	40
Figura 3.17: Esquema de uma lagoa de sedimentação de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al., 2014.	41
Figura 3.18: Esquema de um leito de secagem de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al. (2014).	41
Figura 3.19: Esquema de um leito de secagem com macrófitas de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al. (2014).	43
Figura 3.20: Esquema de co-compostagem de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al. (2014).	44
Figura 3.21: Perfil longitudinal (1) e transversal (2) de um sistema de três lagoas. Adaptada de Tilley et al. (2014).	45
Figura 3.22: Relação entre taxa diária de carregamento volumétrica e temperatura em lagoas anaeróbias, segundo Mara, em Sperling & Chernicharo (2005).	46
Figura 3.23: Esquema dos principais tipos de regime hidráulico em sistemas de lagunagem. Adaptada de Sperling & Chernicharo (2005).	47
Figura 3.24: Exemplo de escavação de uma trincheira para enterramento de lamas fecais. Retirada de WIN-SA, 2011.	54
Figura 4.1: Mapa de Moçambique, com referência geográfica mundial, respetivas províncias e países fronteiriços. Retirada de Instituto Nacional de Estatística (2011).	58
Figura 4.2: Distritos da Província de Tete com identificação de principais estradas e linhas de água, prévia à adição de novos distritos, em 2013.	59
Figura 4.3: Mapa da Cidade de Tete, com especificação de bairros e população.	60
Figura 4.4: Mapa do Espaço Urbano da Cidade de Tete delimitado pelo vale de Nhartanda e o rio Zambeze. Adaptada de Google Maps.	61
Figura 4.5: Paisagem característica do bairro de M'Padwè. Retirada de Conselho Municipal de Tete (2011).	62
Figura 4.6: Mapa com delimitação do Espaço Urbano da Cidade de Tete. Adaptada de Google Maps.	63
Figura 4.7: Mapa Espaço Urbano com delimitação da zona com coletores (amarelo) e locais de estudo para análise de densidade de ocupação (cor de laranja). Adaptada de 'Google Earth'.	64

Figura 4.8: Imagem de malha urbana mais densa, no centro do Espaço Urbano, com delimitação de 1 hectare (100x100m) para o cálculo de densidade populacional. Adaptada de 'Google Earth'.	64
Figura 4.9: Imagem de malha urbana desordenada menos densa, no centro do Espaço Urbano, com delimitação de 1 hectare (100x100m) para o cálculo de densidade populacional. Adaptada de 'Google Earth'.	64
Figura 4.10: Delimitação da área com saneamento com rede de coletores. Adaptada de Google Earth.	67
Figura 4.11: Localização de descarregadores da Cidade de Tete.	67
Figura 4.12: Esquema estação de tratamento de lamas para o Espaço Urbano da Cidade de Tete.	70
Figura 4.13: Localização e raio de cobertura das estações de transferência para a área com saneamento pseudo-local do Espaço Urbano. Adaptada de Google Earth.	76
Figura 4.14: Mapa da Cidade de Tete, com delimitação da "área para expansão urbana". Retirada de Conselho Municipal de Tete (2011).	88
Figura 4.15: Delimitação da zona de localização da Estação de Tratamento de Lamas (encarnado) do Espaço Urbano (limites a preto). Adaptada de Google Earth.	89

Índice de tabelas do texto

Tabela 2.1: Identificação de tipos de sistemas de saneamento melhorado e não melhorado. Adaptada de WHO/UNICEF (2014).	5
Tabela 3.1: Principais parâmetros de caracterização de lamas fecais. Adaptada de Metcalf & Eddy et al. (2003).	22
Tabela 3.2: Quantidade de fezes diária produzida, por pessoa. Adaptada de Strande, et al. (2014).	25
Tabela 3.3: Gamas de lamas fecais em países tropicais e comparação dos diferentes sistemas de saneamento segundo Mara (1978) e Strauss, et al. (1997) adaptada de Koné & Peter (2008).	25
Tabela 3.4: Parâmetros de qualidade de lamas fecais de cidades africanas. Adaptada de Drechsel, et al. (2010).	26
Tabela 3.5: Valores de teor de água e sólidos totais com respetiva identificação de mecânicas Adaptada de Sperling & Chernicharo (2005).	38
Tabela 3.6: Valores de taxas de carregamento de CBO ₅ por hectare e por dia, em diferentes climas de regiões tropicais e subtropicais. Adaptada de Sperling & Chernicharo (2005).	47
Tabela 3.7: Eficiência de remoção de microrganismos patogénicos para várias combinações de lagoas, em sistemas de lagunagem. Adaptada de Sperling & Chernicharo (2005).	50
Tabela 4.1: Número de habitantes na Cidade de Tete, obtidos nos censos de 1997 e 2007. Retirada de (Instituto Nacional de Estatística, 2012)	65

Tabela 4.2: População da Cidade de Tete e respetiva taxa de crescimento populacional no ano de entrada.	66
Tabela 4.3: Volumes anuais de água fornecidos e consumos diários máximos e médios (ano 2013).	68
Tabela 4.4: Capitação em 2015.	68
Tabela 4.5: Distribuição da população das Cidade de Tete por bairro em 2007, com delimitação da população de Espaço Urbano.	71
Tabela 4.6: População da Cidade de Tete obtida para os horizontes de projeto, com respetiva taxa de crescimento geométrica.	72
Tabela 4.7: População servida pelos diferentes tipos de sistema de saneamento, para os anos de horizonte de projeto.	72
Tabela 4.8: Número de latrinas a esvaziar periodicamente no Espaço Urbano da Cidade de Tete, ao longo do horizonte de projeto.	73
Tabela 4.9: Volume de lamas a recolher (por unidade de tempo) proveniente de latrinas, do Espaço Urbano da Cidade de Tete, para os anos de horizonte de projeto.	73
Tabela 4.10: Volume de lamas a recolher (por unidade de tempo) de fossas sépticas, do Espaço Urbano da Cidade de Tete, nos anos de horizonte de projeto.	74
Tabela 4.11: Volume de lamas a recolher (por unidade de tempo) de fossas sépticas, do Espaço Urbano da Cidade de Tete, nos anos de horizonte de projeto.	74
Tabela 4.12: Capitações de água ao longo do horizonte de projeto.	75
Tabela 4.13: Determinação dos caudais de projeto domésticos.	75
Tabela 4.14: Determinação do número de contentores para armazenamento das lamas fecais, provenientes de latrinas, em cada estação de transferência.	77
Tabela 4.15: Dimensões do reservatório de descarga das lamas fecais de fossas sépticas.	78
Tabela 4.16: Determinação da área mínima de secagem necessária por dia.	78
Tabela 4.17: Massa anual de sólidos totais das lamas fecais, provenientes de fossas sépticas.	79
Tabela 4.18: Leitões de secagem.	79
Tabela 4.19: Dimensões de um leito de secagem.	80
Tabela 4.20: Caracterização do meio filtrante dos leitões de secagem.	80
Tabela 4.21: Determinação de volume anual de lamas desidratadas resultante dos leitões de secagem.	81
Tabela 4.22: Carga em CBO ₅ afluente ao sistema de lagunagem.	81
Tabela 4.23: Critérios para o dimensionamento das lagoas anaeróbias.	82
Tabela 4.24: Dimensões de uma lagoa anaeróbia.	82
Tabela 4.25: Eficiência de remoção de CBO ₅ no efluente da lagoa anaeróbia.	83
Tabela 4.26: Volumes e período de remoção das lamas acumuladas nas lagoas anaeróbias.	83
Tabela 4.27: Determinação da área mínima das lagoas facultativas.	83
Tabela 4.28: Dimensões de cada lagoa facultativa.	84

Tabela 4.29: Determinação do tempo de retenção hidráulico de cada lagoa facultativa.	84
Tabela 4.30: Volumes e períodos de remoção das lamas acumuladas nas duas lagoas facultativas.....	84
Tabela 4.31: Carga da CBO ₅ solúvel do efluente das lagoas facultativas.	85
Tabela 4.32: Carga de CBO ₅ particulada do efluente das lagoas facultativas.	85
Tabela 4.33: Concentração e eficiência de remoção de CBO ₅ total das lagoas facultativas	85
Tabela 4.34: Eficiência de remoção de coliformes fecais das lagoas facultativas.	86
Tabela 4.35: Área da lagoa de maturação.	86
Tabela 4.36: Dimensões exteriores e interiores da lagoa de maturação.	87
Tabela 4.37: Eficiência de remoção de coliformes fecais das lagoas de maturação e do conjunto de lagoas de maturação e facultativas.....	87
Tabela 4.38: Área de armazenamento de lamas fecais desidratadas da ETAR/ETL.	88

Índice de figuras em anexo

Figura A I: Planta de ordenamento com delimitação de usos previstos.	VI
Figura A II: Planta da rede de coletores do Espaço Urbano.	VII
Figura A III: Descarregador do Espaço Urbano da Cidade de Tete.	VIII
Figura A IV: Vista do descarregador da margem direita do rio Zambeze, junto à ponte do Espaço Urbano.	VIII
Figura A V: Representação esquemática dos 8 Leitões de Secagem da Estação de tratamento de lamas de fossas sépticas (ETAR/ETL).	IX
Figura A VI: Representação esquemática da planta do sistema de tratamento (metros).	X
Figura A VII: Zona em estudo para instalação da ETAR/ETL.	XI

Índice de tabelas em anexo

Tabela A I: Microrganismos patogénicos em lamas fecais e respetivas doenças e sintomas. Adaptada de Schönning and Stenström (2004), em Linda Strande et. al. (2014).	II
Tabela A II: Fatores que afetam a sobrevivência dos microrganismos patogénicos. Adaptada de Strauss (1985) e Jimenéz (2003), em WHO (2006b).	IV
Tabela A III: Valores médios comparativos de parâmetros para lamas fecais e para lamas de ETAR. Adaptada de Strande et al. (2014).	V

Lista de Acrónimos

Sigla	Significado
CBO ₅	Carência bioquímica de oxigénio aos cinco dias e a 20°C
CQO	Carência química de oxigénio
EAWAG	<i>Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology</i> (Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática)
FIPAG	Fundo de Investimento e Património de Abastecimento de Água de Moçambique
IWA	<i>International Water Association</i> (Associação Mundial de Água)
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milénio
SANDEC	<i>Department of Water and Sanitation for Developing Countries</i> (Departamento de Água e Saneamento para Países em Desenvolvimento) da EAWAG
UNICEF	<i>United Nations Children's Fund</i>
WASH	<i>Water, Sanitation and Hygiene</i> (Água, Saneamento e Higiene)
WASTE	WASTE Consultants on Appropriate Technology (Consultora de tecnologia apropriada para resíduos)
WHO	<i>World Health Organization</i> (Organização Mundial de Saúde)

1. Introdução

1.1. Enquadramento e relevância do tema

Estima-se que 2,7 mil milhões de pessoas dependam atualmente de sistemas de saneamento local, prevendo-se que este valor atinja os 5 mil milhões em 2030 (Strande, et al., 2014). Sendo os sistemas de saneamento local os mais utilizados em países em desenvolvimento, é indispensável a adequada gestão de lamas fecais, para prevenir problemas para a saúde pública e ambiente.

A gestão de lamas fecais baseia-se num conjunto de processos em ciclo, nomeadamente de coleta, transporte, tratamento e destino final, que se iniciam com o utilizador, numa interface, e terminam com retorno ao meio ambiente, onde se encontra também o utilizador.

Dado o elevado crescimento populacional nas cidades dos países em desenvolvimento que, em regra, não apresentam condições de resposta para este aumento, resultam elevadas densidades de ocupação, sendo que os meios urbanos são os que apresentam os desafios mais complexos para a gestão de lamas fecais. Considera-se que os sistemas locais não são, em regra, adequados para densidades populacionais superiores a 150 ou 200 habitantes por hectare, por não ser viável a infiltração dos efluentes destes sistemas, em áreas tão confinadas (Alaerts, et al., 1990).

A gestão de lamas fecais é um tema vasto, implicando o conhecimento de aspetos de ordem técnica, logística, financeira e legislativa, assim como as características das lamas, tipos de sistemas de saneamento, clima e outros, sendo indispensável estudar todo o ciclo, de modo a ter em consideração todas as etapas para garantir um funcionamento a longo prazo dos serviços. Além destes fatores, existem diversos intervenientes envolvidos, quer no planeamento, quer na exploração do sistema. Todos estes factos tornam a gestão de lamas fecais um tema complexo.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como intuito o estudo da gestão de lamas fecais como um todo, ou seja, o estudo das diversas componentes do ciclo da gestão, os fatores que afetam o sistema e uma análise crítica das soluções técnicas existentes, através de consulta a uma extensa revisão bibliográfica.

Pretende-se também aplicar o estudo à Cidade de Tete, em Moçambique, dimensionando uma estação de tratamento de águas residuais, integrada num sistema de gestão de lamas fecais.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, cujo conteúdo se apresenta em resumo nesta secção.

O capítulo 1 respeita a uma introdução geral ao tema da gestão de lamas fecais, enunciando-se os objetivos e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 são contextualizados os sistemas de gestão de lamas fecais, abordando-se o enquadramento e a situação atual global do saneamento. Classifica-se e caracteriza-se o tipo de sistemas de saneamento de lamas fecais, e apresentam-se os principais desafios e impactos associados.

No capítulo 3 discutem-se os fatores que influenciam as características das lamas fecais e os parâmetros utilizados para a caracterização de qualidade. Apresentam-se, resumidamente, as soluções técnicas para a coleta, transporte e tratamento, indicando as características mais relevantes, vantagens e desvantagens, assim como as condições ideais de funcionamento das infraestruturas, e apresentam-se as principais alternativas de valorização e destino final das lamas fecais.

No capítulo 4 é apresentado o caso de estudo. Inicialmente, caracteriza-se a Cidade de Tete, enquadrando-a geograficamente e descrevem-se aspetos relevantes das condições locais. Caracteriza-se a situação atual da população, infraestruturas de saneamento e consumos de água, e apresenta-se a metodologia efetuada para a seleção da solução de tratamento de lamas. Enunciam-se os critérios de projeto e desenvolve-se o pré-dimensionamento dos órgãos da estação de tratamento. Finalmente, apresentam-se algumas considerações sobre a exploração do sistema.

No capítulo 5 sintetizam-se as conclusões e apresentam-se sugestões para trabalhos futuros.

2. Sistemas de gestão de lamas fecais em países em desenvolvimento

2.1. Enquadramento histórico

Os sistemas de saneamento remontam ao período Neolítico, cerca de 3000 anos antes de Cristo, sendo que já nessa altura eram desenvolvidos sistemas urbanos de drenagem, em zonas como a Mesopotâmia, Ásia Central e China. Antes de Cristo, na Síria e na Palestina, o excreta já era reutilizado como fertilizante, após o seu transporte através de canais até campos agrícolas. Desde essa época têm existido, naturalmente, vários desenvolvimentos nos sistemas de saneamento, especialmente em centros urbanos, melhorando os sistemas de transporte, incluindo a interface do utilizador, e dispositivos para recolha da excreta e reutilização (De Feo et al., 2010). Na segunda metade do século XX, com o grande aumento populacional, a crise provocada pela falta de acesso a água e saneamento, com consequências em termos de saúde pública, chamou a atenção para a relevância do desenvolvimento dos sectores da água e saneamento (Albuquerque, 2012).

Nos anos 70, iniciou-se uma mudança no modo de encarar o saneamento em países em desenvolvimento. Começou-se a estudar e afirmar que os sistemas convencionais de redes de coletores, utilizados até então como regra geral, nem sempre seriam adequados a meios urbanos de países em desenvolvimento, por envolverem elevados custos e necessidades de manutenção, apresentando dificuldades acrescidas nos centros urbanos desses países. Em 1989 foi desenvolvida a “Abordagem de Saneamento Estratégica” (*Strategic Sanitation Approach*) pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas, no âmbito do Programa de Água e Saneamento que, entre diversos objetivos, reforça a necessidade de consideração de todo o ciclo de saneamento, e que é necessário ter em conta, para além dos sistemas, o método de coleta, transporte e tratamento das lamas, valorizando os serviços e a influência das comunidades e governos para encontrarem as soluções e tecnologias mais adequadas (Kennedy-Walker, et al., 2014).

Em 1990, Alaerts, et al., (1990) reforçam que de modo a proteger a saúde pública, deve ser dada igual atenção ao abastecimento de água e ao saneamento, sendo que, em geral, o custo para garantir um adequado saneamento é superior ao custo para garantir a distribuição de água segura.

Em 2000, o Conselho Colaborativo de Distribuição de Água e Saneamento (*Water Supply and Sanitation Collaborative Council*) desenvolveu um conjunto de princípios, *Bellagio Principles*, de saneamento urbano adequado. O conselho definiu como critérios principais a qualidade de vida, a dignidade humana e a proteção do meio ambiente, sublinhando a importância de participação das diversas entidades relevantes para a tomada de decisão e envolvimento na gestão das lamas fecais. Para a implementação dos princípios *Bellagio*, foi desenvolvido o programa de

saneamento ambiental a nível habitacional (*'Household Centered Enviromental Sanitation'*), que enuncia um conjunto de requisitos a cumprir, importantes para garantir a eficiência do sistema. Os principais requisitos incluem a) o apoio governamental, com políticas e estratégias de apoio; b) a criação de legislação com objetivos a cumprir; c) a formação e comunicação com os participantes envolvidos; d) a necessidade de um plano financeiro e o acesso e partilha de informação, para correta manutenção dos sistemas, e e) a aprendizagem e atualização contínuas do conhecimento.

Em 2007, a Associação Internacional da Água (*'International Water Association'*), criou uma plataforma técnica, denominada *'Sanitation 21'*, que pretende reunir conhecimento e informação sobre o planeamento em saneamento urbano. Reforça de novo a importância em envolver as entidades no planeamento da gestão de lamas fecais, abordando o ciclo total do saneamento, desde a coleta até à reutilização da excreta, assim como uma metodologia para encontrar soluções para os obstáculos (Kennedy-Walker, et al., 2014).

Em Janeiro de 2012, na conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável no Rio de Janeiro, foram firmados vários acordos para a criação de novos objetivos de desenvolvimento sustentável, até 2030. A proposta introdutória para a definição destes objetivos inclui 17 pontos principais, incluindo o objetivo número 6: "Assegurar a disponibilidade e sustentabilidade da gestão de água e saneamento para todos".

Nos últimos anos, têm existido mudanças e melhoramentos na abordagem ao saneamento, por parte de governos, agências internacionais e organizações não-governamentais (Nações Unidas, Division for Sustainable Development, 2014). Têm surgido em diversos países um grande número de iniciativas para melhorar a gestão de lamas fecais, tais como na África Ocidental (Senegal, Mali, Costa do Marfim, Burkina Faso, Gana); Sudeste Asiático (Nepal, Filipinas, Tailândia e Vietname) e também na América Latina. Os objetivos são, entre outros, o de encontrar soluções ajustadas à realidade desses países e auxiliar autoridades e responsáveis a prevenir a descarga indevida de lamas fecais e, conseqüentemente, a melhorar a saúde pública (Drechsel, et al., 2010).

Em Moçambique, em 1998, foi criado o Conselho Regulador de Água (CRA), que tem como objetivo assegurar a qualidade e acesso dos serviços de água e saneamento, além de pugnar pela sustentabilidade económica dos mesmos, maioritariamente em bairros informais urbanos que representam 75% da população (Albuquerque, 2012). No relatório do CRA de 2013, afirma-se que foi iniciado o estudo para a definição e organização dos serviços de saneamento com o estabelecimento de tarifas e a gestão de lamas fecais (Conselho de Regulação de Águas, 2014).

Destacam-se, de entre várias entidades internacionais que têm atuado de forma relevante o tema da gestão de lamas fecais, o Departamento de Água e Saneamento para Países em Desenvolvimento (SANDEC) do Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática (EAWAG); Organização Mundial de Saúde (WHO); Organização das Nações Unidas (ONU) e as

secções de Água, Saneamento e Higiene da Fundação Bill & Melinda Gates que têm realizado um esforço significativo para criar, divulgar e incentivar o conhecimento, nesse tema, em países em desenvolvimento. Salienta-se também o manual da autoria de Linda Strande et. al. (2014), “*Faecal Sludge Management*”, publicado em agosto de 2014 pela Associação Internacional de Água (IWA).

2.2. Situação global de saneamento

Atualmente cerca de 2,4 mil milhões de pessoas ainda não possuem sistemas de saneamento melhorado (United Nations, 2014). Considera-se como saneamento melhorado, uma infraestrutura ou um conjunto de infraestruturas que separem higienicamente o excreta do contacto humano (Strande, et al., 2014). Apresentam-se, na Tabela 2.1, os sistemas denominados de saneamento melhorado e não melhorado.

Tabela 2.1: Identificação de tipos de sistemas de saneamento melhorado e não melhorado. Adaptada de WHO/UNICEF (2014).

Saneamento melhorado	Saneamento não melhorado
Sistema a água ligados a:	Sistema a água com descarga direta para o meio recetor
<ul style="list-style-type: none"> • Rede de coletores • Fossa séptica • Fossa ou latrina seca com laje 	<ul style="list-style-type: none"> Fossa ou latrina seca sem laje Balde Instalação sanitária suspensa
Fossa seca ventilada (VIP)	Instalação partilhada de qualquer tipo
Casa de banho com compostagem	Sem sistema (defecação a céu aberto)

Na Figura 2.1 apresenta-se um mapa com indicação das percentagens de utilização de sistemas de saneamento melhorado. Verifica-se que na maioria dos países da África Subsaariana, partes da Ásia e no continente Americano, a Bolívia, menos de metade da população dispõe de sistemas de saneamento melhorado.

Em Setembro de 2000, na Cimeira do Milénio, os dirigentes mundiais comprometeram-se a atingir um conjunto de objetivos específicos. Sendo um desses objetivos, o de reduzir para metade, até 2015, o número de pessoas sem saneamento melhorado. Este objetivo traduz-se em reduzir a percentagem de população sem acesso a saneamento básico de 51%, em 1990, para 25%, em 2015. A UNICEF e OMS estimam que este objetivo não irá ser atingido em 2015, falhando por 8%, o que equivale sensivelmente a 500 mil milhões de pessoas (UNICEF, 2014).

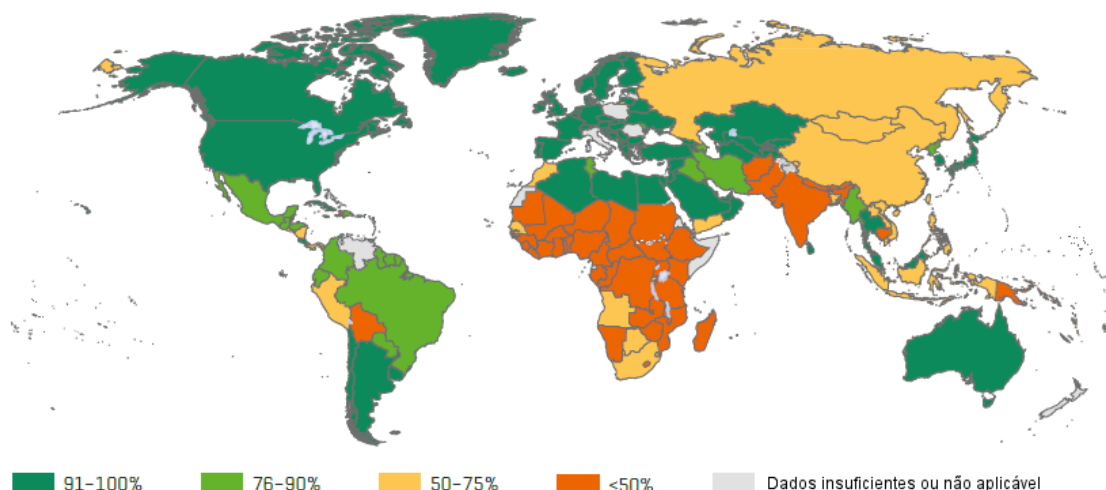


Figura 2.1: Percentagem de utilização de sistemas de saneamento melhorado, em 2012. Adaptada de WHO/UNICEF (2014).

Refere-se ainda a chamada de atenção do Secretário-geral das Nações Unidas, em Março de 2013, para a eliminação da prática de defecação a céu aberto até ao ano de 2025. Atualmente, cerca de mil milhões de pessoas (aproximadamente 15% da população mundial) pratica defecação a céu aberto. Sendo que a maioria desta população, 82%, encontra-se distribuída, maioritariamente pelos 10 países apresentados na Figura 2.2 (WHO/UNICEF, 2014).

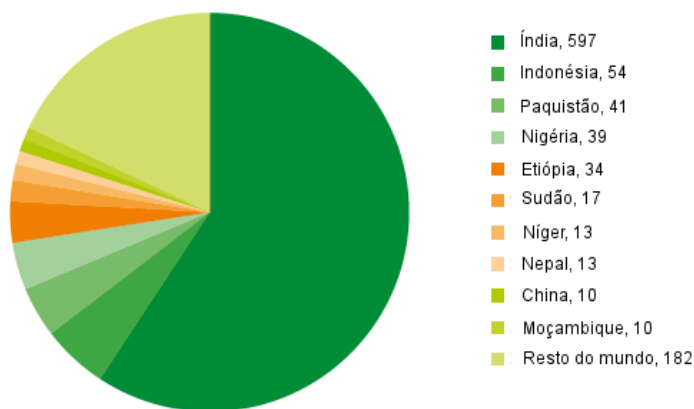


Figura 2.2: Número de pessoas (milhões) a praticar defecação a céu aberto. Adaptada de WHO/UNICEF (2014).

Estima-se que cerca de 2,7 mil milhões de pessoas dependem de sistemas de saneamento local (melhorado e não melhorado) (Strande, et al., 2014), de onde resultam lamas que necessitam de uma eficiente gestão, de modo a que o ciclo desde o utilizador até à descarga no meio ambiente, seja feito de um modo seguro.

Como referido na seção anterior, só recentemente começou a ser estudada em profundidade a perspetiva do saneamento sustentável com integração, à escala regional ou da cidade, da gestão

de lamas fecais, que nos países em desenvolvimento tem elevada expressão. No dimensionamento de uma rede de coletores sempre se teve em consideração diversas componentes do projeto, como a ligação à habitação, estações de bombagem, estações de tratamentos centralizadas e a reutilização ou a descarga de produtos finais tratados, enquanto num sistema de saneamento local, o dimensionamento dos sistemas considera, em regra, apenas a seleção do tipo de instalação sanitária a utilizar (como fossa séptica ou fossa a seco) e a interface do utilizador. No entanto, é fundamental abordar não só estas componentes mas também planear e prever a gestão de lamas fecais, envolvendo, assim, a coleta, o transporte, o tratamento e a valorização e destino final das lamas (Dodane, et al., 2012).

2.3. Caracterização de sistemas de saneamento

2.3.1. Sistemas de decomposição de lamas fecais

2.3.1.1. Sistema a seco

Segundo Alaerts, et al. (1990), os sistemas a seco são sistemas de saneamento local ou pseudo-local, que tal como o próprio nome indica, se baseiam em infraestruturas que necessitam de pouca ou nenhuma água para o respetivo funcionamento. Estes tipos de sistemas são tipicamente indicados para instalações individuais, com capitações de água inferiores a 30 L/(habitante.dia).

Os sistemas de carácter permanente podem ser esvaziados regularmente quando cheios, sendo a recolha efetuada, em geral, manualmente, com exceção dos localizados em áreas economicamente mais desenvolvidas, e de franco acesso a camiões. Alguns exemplos de sistemas a seco são a fossa seca simples, fossa seca ventilada (Ventilated Improved Pit “VIP”), fossa alterna e latrina ecológica. A fossa seca simples é uma das instalações sanitárias mais utilizadas como saneamento local. As fossas possuem geralmente um revestimento das paredes que suportam a infraestrutura, prevenindo o seu colapso (Tilley, et al., 2014).

Existem diversos fatores, tais como as práticas de dimensionamento e exploração dos sistemas de saneamento que influenciam o grau de digestão das lamas, o volume de lamas a remover, assim como a respetiva composição biológica, física e química. Existem duas zonas principais de degradação das lamas: uma zona superior, aeróbia, em contacto com o ar, em que tem lugar conversão de matéria orgânica, em condições aeróbias, em biomassa; e uma zona anaeróbia, onde ocorre a estabilização das lamas, que com o decorrer do tempo converte a matéria orgânica em produtos solúveis e gases, perdurando algum resíduo de matéria orgânica não biodegradável. A massa líquida percola no solo e o gás escapa por ventilação (Still & Foxon, 2012). Apresenta-se, na Figura 2.3, como exemplo, um esquema simplificado de uma fossa seca VIP com delimitação das respetivas zonas de digestão aeróbia e anaeróbia.

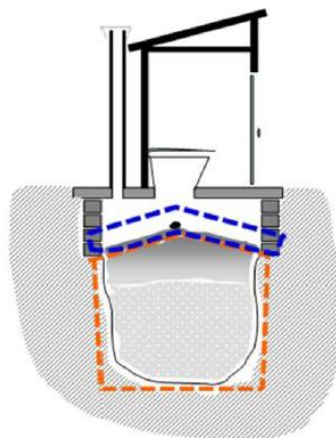


Figura 2.3: Esquema de uma fossa seca ventilada (VIP), com delimitação da zona de digestão aeróbia (azul) e anaeróbia (cor-de-laranja). Retirada de Still & Foxon (2012)

2.3.1.2. *Sistemas a água*

Nos locais com acesso a rede de distribuição de água, o valor da capitação tem tendência a ser elevado, sendo também elevada a produção de lamas. Os sistemas a água, com capitações entre 80 e 120 L/(habitante.dia), podem estar ligados a uma rede de coletores ou a sistemas de saneamento locais, como por exemplo fossas sépticas ou micro-fossas (*'Aquaprivy'*), considerando-se que sistemas locais a água são usuais em zonas com baixa densidade de ocupação (<150 a 200 hab/ha).

Nos sistemas de saneamento local a água, as lamas podem ser removidas manualmente ou mecanicamente, e é necessário ter em especial atenção o destino do efluente tratado, especialmente em locais com densidades populacionais mais elevadas, onde a deposição no solo se encontra condicionada. Nesse caso, o efluente deve ser transportado por redes convencionais ou não convencionais (i.e. rede de esgotos decantados) para destino adequado. A percolação do efluente através do solo pode representar riscos de contaminação de água subterrânea conforme o nível freático local. Pode também ocorrer a descarga direta do efluente que contaminando, as águas à superfície, agrava os riscos para a saúde pública.

Nas zonas de grande densidade e capitações relativamente elevadas, o sistema convencional de redes e estações de tratamento de águas residuais (ETAR) centralizadas, constituem, em regra, a melhor opção (Alaerts, et al., 1990).

A decomposição das lamas varia conforme o tipo de sistema utilizado. No caso de capitações baixas, entre 30 e 80 L/(habitante.dia), pode recorrer-se a fossas sépticas, desde que se garanta a autolimpeza no ramal afluente.

A fossa séptica consiste numa câmara onde se armazena água negra e cinzenta e onde ocorre tratamento primário (Figura 2.4). O líquido entra na câmara onde ocorre a decantação das

partículas sedimentáveis (lamas) enquanto os sólidos flutuantes, como gorduras e óleos, sobem à superfície criando uma camada denominada “escuma” ou “sobrenadante”. Como as lamas estão decantadas no fundo da fossa, o oxigênio extingue-se rapidamente, tendo lugar processos de fermentação anaeróbia que, dependendo do tempo de permanência dentro da fossa, levam à estabilização parcial ou total das lamas (Morais, 1962). Refere-se que para volumes de lamas acumuladas superiores a 2/3 do volume total da fossa séptica, a taxa de remoção de sólidos suspensos diminui drasticamente, pondo em causa a qualidade do efluente final (Alaerts, et al., 1990).

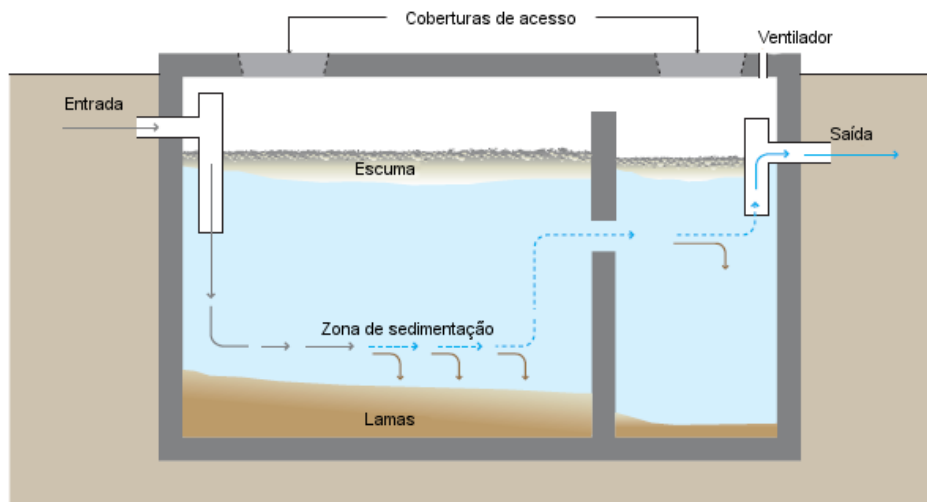


Figura 2.4: Esquema de uma fossa séptica. Adaptada de Tilley, et al. (2014).

2.3.2. Classificação de sistemas de saneamento quanto à localização

Do ponto de vista da localização existem dois tipos de sistemas de saneamento: os sistemas de saneamento local (“on-site sanitation”) em que a coleta, reserva, tratamento e destino final de efluentes e/ou excreta ocorrem maioritariamente na própria origem ou junto da mesma, e sistemas com deposição e tratamento longe da origem, que usualmente recorrem a redes de coletores e/ou a sistemas de transporte mecânico de lamas (“off-site sanitation”).

Alguns sistemas de saneamento local podem requerer, especialmente em centros urbanos, que as lamas sejam retiradas e tratadas longe da origem devido às elevadas densidades populacionais (WHO, 2008). No âmbito da presente dissertação, este tipo de sistemas de saneamento, em que após um determinado tempo é necessário efetuar a coleta, tratamento complementar e destino final das lamas fecais para longe da própria origem, mas em que o efluente é descarregado localmente, são referidos como sistemas de “saneamento pseudo-local”. É o caso geral das fossas sépticas, e de algumas latrinas em bairros de elevada densidade, que necessitam de ser esvaziadas periodicamente.

Os sistemas locais incluem, em regra, o tratamento de lamas fecais, através de desidratação e armazenamento no próprio local. As condições ideais para garantir a eficiência de desidratação em latrinas são as seguintes: temperaturas superiores a 35°C, humidade inferior a 40-50% e longos tempos de retenção, entre 1 e 2 anos (Jiménez, et al., 2014). Quando o sistema inclui soluções técnicas adequadas e é projetado, construído e mantido de forma apropriada, fornece um serviço adequado em termos de higiene e saúde pública.

Segundo Alaerts et al. (1990), os sistemas locais não são considerados adequados para densidades populacionais superiores a 150-200 habitantes por hectare, por se considerar que para estas densidades não é viável a infiltração dos efluentes no solo. Os sistemas de saneamento local podem incluir instalações individuais, instalações partilhadas (5 a 10 habitações) ou instalações comunitárias (10 a 100 habitações). Alguns exemplos de instalações sanitárias de saneamento local são a fossa séptica, a latrina ou fossa seca, a micro fossa séptica, fossa seca dupla ou fossa alterna, latrinas ecológicas e latrinas com compostagem.

Em centros urbanos, os sistemas de saneamento local só recentemente ganharam importância. Este tipo de sistema foi considerado, durante muito tempo, de carácter temporário, até ser possível a instalação de redes de drenagem com carácter permanente. Ainda hoje em dia, o saneamento local é frequentemente considerado como uma solução permanente apenas para o meio rural. Esta percepção tem vindo a mudar, admitindo-se atualmente sistemas de saneamento local e/ou pseudo-local, como uma solução viável a longo prazo para centros urbanos, especialmente em zonas de baixo e médio rendimento, periféricas das zonas centrais das “cidades de cimento”, com reduzida ou nula cobertura de infraestruturas. Este é o tipo de sistema de saneamento mais utilizado em países em desenvolvimento, especificamente na África Subsaariana, onde 65-100% do saneamento em áreas urbanas é garantido por sistemas deste tipo (Dodane, et al., 2012).

O saneamento com redes de coletores requer um elevado investimento e grandes quantidades de água, de modo a garantir a autolimpeza. Sendo indicada para alguns locais, noutros é uma solução impraticável, por falta de condições de funcionamento. O custo de um sistema de saneamento deste tipo pode ser cinco vezes superiores ao de um sistema de saneamento local (Dodane, et al., 2012). O saneamento por rede de coletores é utilizado maioritariamente nos países desenvolvidos, nos aglomerados urbanos, servindo setenta a noventa por cento da população desses países. Sendo também comum nos centros das cidades de países em desenvolvimento.

Em países em desenvolvimento existem redes de coletores em zonas limitadas de grandes centros urbanos, sendo que nas restantes zonas e em meio rural se recorre a saneamento local (Koné & Peter, 2008). A instalação de estações de tratamento de águas residuais “tradicionais” (ETAR) em países em desenvolvimento, tem resultado, maioritariamente, em fracasso. Em situações específicas, foram utilizadas com sucesso redes de coletores com diâmetros mais pequenos e sistemas de pressão sob vácuo, no Brasil, Gana e outros países (Strande, et al., 2014).

Apresentam-se, na Figura 2.5, percentagens de população que recorrem aos diferentes tipos de sistemas de saneamento.

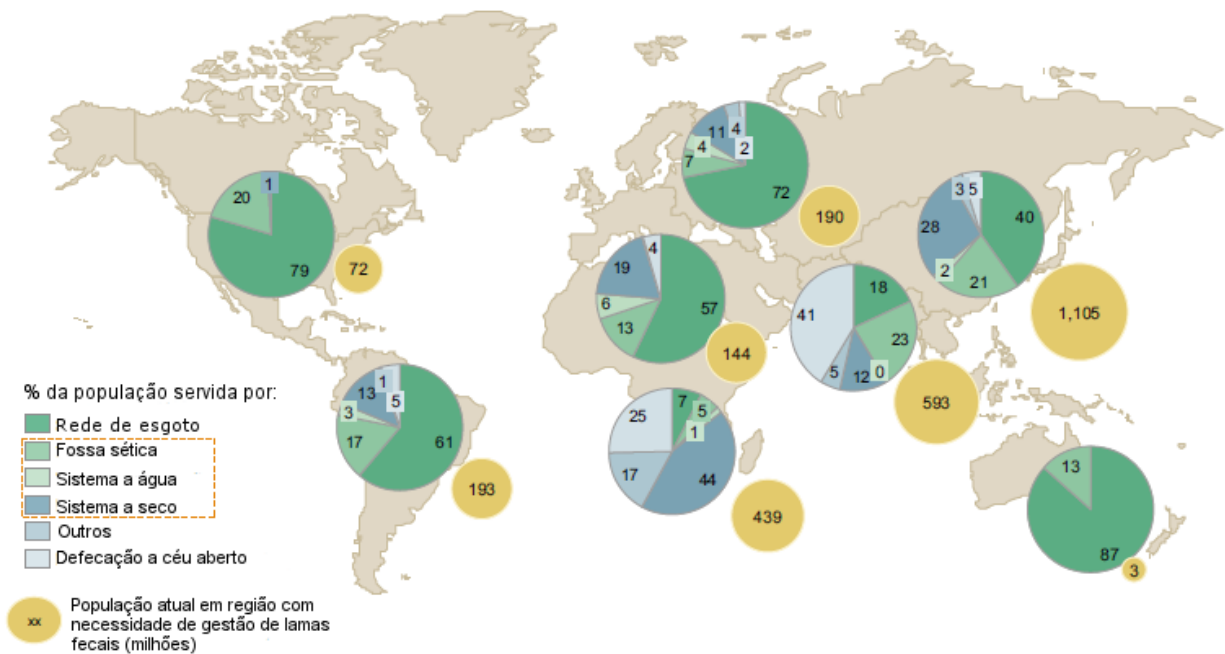


Figura 2.5: Percentagens da população que recorre a diversos tipos de sistemas de saneamento. Adaptada de The Boston Consulting Group, em Strande, et al. (2014).

No saneamento por rede de coletores, as águas residuais são, em regra, encaminhadas para uma estação de tratamento de águas residuais, de onde resultam lamas e efluentes tratados. Posteriormente, o efluente tratado é descarregado no meio ambiente e as lamas prosseguem para tratamento próprio, incluindo estabilização química ou biológica e desidratação. Existem várias alternativas de destino final das lamas, de entre os quais se destacam a reutilização em agricultura, o processamento térmico (como incineração, coincineração com resíduos sólidos municipais) e o aterro (Spinosa & Vesilind, 2001).

No saneamento pseudo-local, as lamas fecais são recolhidas e transportadas até ao local adequado para receber tratamento complementar e, posteriormente, descarregadas. As lamas fecais podem ser tratadas em conjunto com as lamas resultantes de águas residuais (co-tratamento) ou tratadas (i.e. estabilizadas e desidratadas) de forma separada. Se os tempos de retenção nas fossas ou latrinas forem longos (i.e. 2 anos ou mais) pode dispensar-se, em regra, a estabilização complementar das lamas.

Apresenta-se na Figura 2.6 um esquema simplificado da gestão de lamas para os dois tipos de saneamento, quanto à localização.

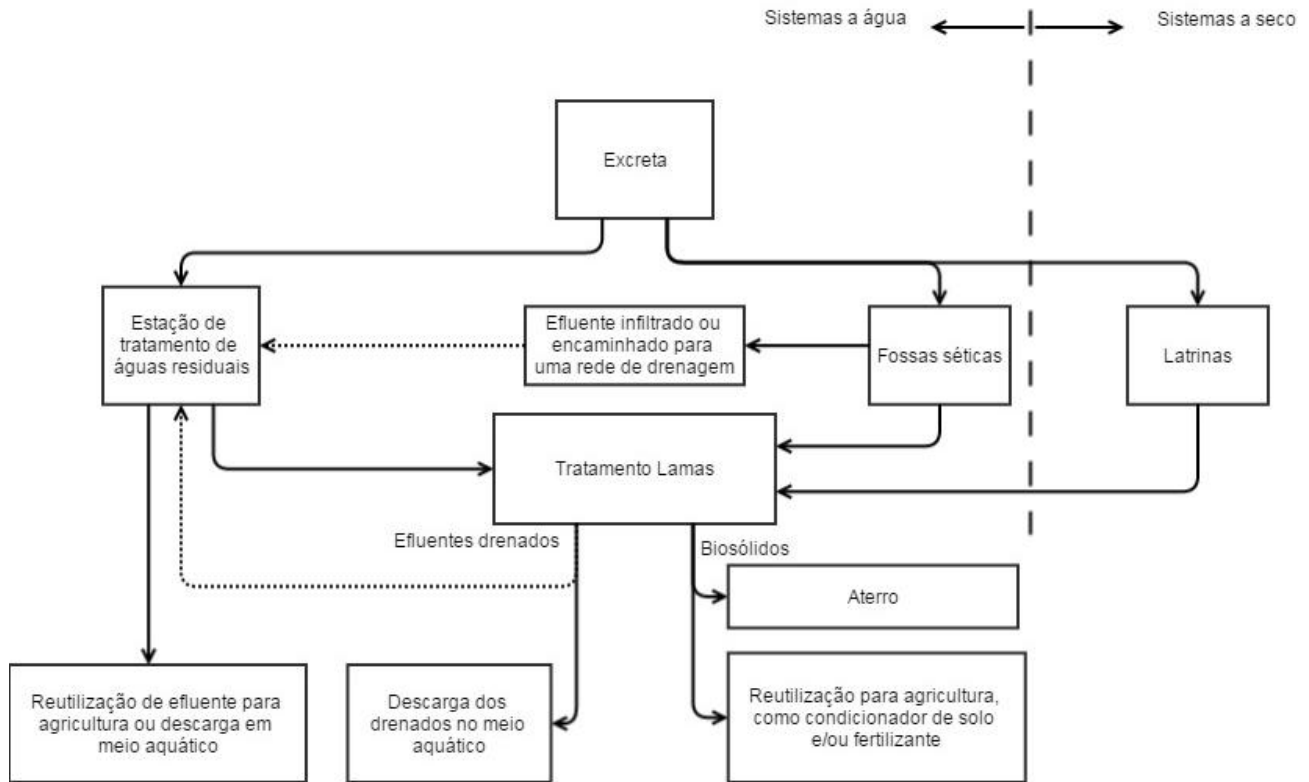


Figura 2.6: Esquema simplificado da gestão de lamas fecais. Adaptada de Koné & Peter (2008).

2.3.3. Sistemas centralizados, descentralizados e semi-centralizados

Em relação à localização e modo de utilização das infraestruturas de tratamento, podem discriminar-se os sistemas centralizados, sistemas descentralizados e sistemas semi-centralizados.

Os sistemas centralizados baseiam-se, em regra, em infraestruturas com capacidade significativa, onde se realiza o tratamento de águas residuais proveniente de diversas povoações, em apenas um local de tratamento. Este tipo de sistemas implica a coleta e transporte das águas residuais desde o local de origem até ao local de tratamento, através de rede de coletores e/ou outros meios de coleta e distribuição (SSWN, 2014; WHO, 2006; WHO, 2006a). Considera-se que estes sistemas são especialmente adequados para densidades populacionais elevadas, superiores a 150-200 habitantes/hectare (Alaerts, et al., 1990), com consumos de água *per capita* relativamente elevados.

Ainda que o custo de investimento em coletores e estações de tratamento, por unidade de volume de águas residuais tratadas, são relativamente reduzidos, existem situações que podem resultar em aumentos de custo significativos, como por exemplo no caso de estações de tratamento de águas residuais com elevadas exigências de exploração (Sasse, 1998).

Os sistemas descentralizados, conhecidos na língua inglesa como DEWATS (*'Decentralised wastewater systems technology'*), referem-se a sistemas de pequena escala, incluindo também a coleta, tratamento e descarga de águas residuais. Os sistemas descentralizados são adequados, em regra, ao tratamento de caudais entre 1 e 500 m³/dia (Sasse, 1998).

Este tipo de sistemas apresenta diversas vantagens: devido às menores distâncias a percorrer para o transporte de efluente e das lamas, resultando em menores requisitos de energia; as infraestruturas são de tamanho reduzido; os sistemas estão, em regra, melhor adaptados às condições locais, permitindo uma adequada gestão ao nível de comunidade. A reutilização de efluentes pode ficar facilitada devido à proximidade de espaços disponíveis (Flores, et al., 2008). Alguns exemplos de processos de tratamento que constam em sistemas descentralizados são o tratamento primário em lagoas de sedimentação, em fossa séptica ou tanque *Imhoff*, o tratamento por filtros anaeróbio ou sistemas de lagunagem (Sasse, 1998).

Os sistemas semi-centralizados surgem como solução intermédia, pois consideram sistemas de tratamento para bairros ou conjuntos de bairros. As estações de tratamento podem estar ligadas a uma rede de drenagem (Sasse, 1998) ou integradas num sistema de gestão de lamas fecais com tecnologias com maior capacidade e mais avançadas do que, em regra, no caso dos sistemas puramente descentralizados (Tilley, et al., 2014). Os custos de construção são relativamente reduzidos mas o custo total pode variar muito devido aos encargos de exploração (Sasse, 1998).

Estes sistemas surgem, em parte, devido à falta de adequação dos sistemas centralizados convencionais a países em desenvolvimento, que requerem equipamentos específicos que geralmente não se encontram disponíveis localmente; elevados conhecimentos técnicos e elevada disponibilidade de água, reagentes e energia. Em zonas com elevadas densidades populacionais, os sistemas descentralizados não constituem, frequentemente, soluções adequadas, por não ser possível a monitorização de qualidade, higiene, manutenção e operação do sistema como um todo, como acontece nos sistemas semi-centralizados (Weber, et al., 2007).

Considerando o que foi referido anteriormente, entende-se que os sistemas de saneamento local são sistemas descentralizados por natureza, enquanto os sistemas de saneamento pseudo-local e fora do local ("off-site") podem ser centralizados ou semi-centralizados, conforme seja feita a gestão dos efluentes e das lamas fecais.

2.4. Desafios associados à gestão de lamas fecais

2.4.1. Considerações gerais

A gestão de lamas fecais pode ser apresentada como um ciclo fechado de água e nutrientes, como se observa na Figura 2.7, que se subdivide em diversas etapas. Inicia-se com o utilizador na instalação sanitária, segue-se a coleta das lamas dos órgãos de armazenamento, em que pode ter

lugar tratamento inicial, o transporte para tratamento complementar e o destino final que pode consistir em reutilização na natureza, com eventualmente produção de alimento, restabelecendo-se de novo a ligação com o utilizador. O saneamento, e consequente gestão de lamas fecais, são necessários tanto em meio urbano como em meio rural.

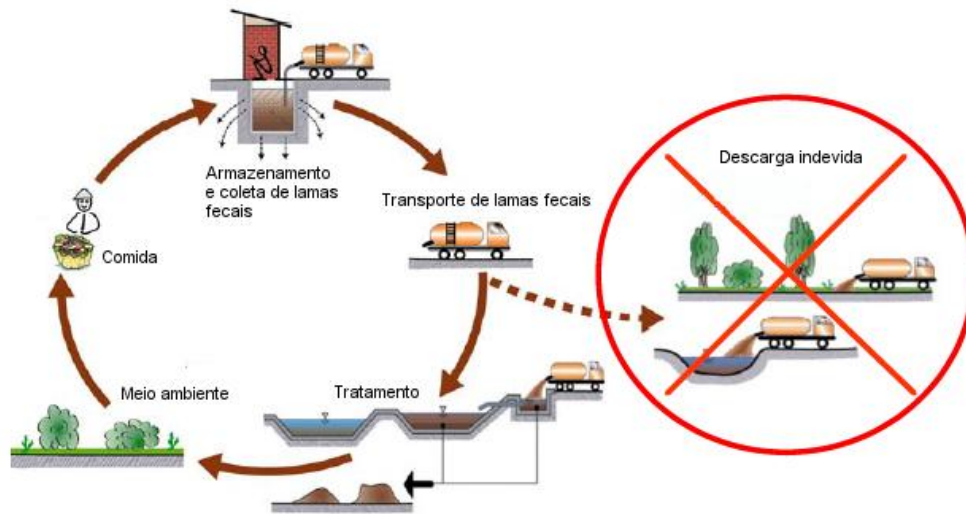


Figura 2.7: Ciclo da gestão de lamas fecais em sistemas de saneamento pseudo-locais. Adaptada de EAWAG - Sandec (2006).

O objetivo fundamental da gestão de lamas em contexto rural consiste em impedir o contacto da população com microrganismos patogénicos, sendo que o tratamento é, em geral, realizado através de percolação do efluente no solo e estabilização das lamas (Alaerts, et al., 1990). Em meio rural, as soluções tecnológicas e a gestão de lamas não constituem um problema, sendo de custo reduzido e relativamente eficiente e seguro utilizar tecnologias simples, como a fossa seca drenante (*'leaching pit latrines'*). Estes sistemas são, em geral, seguros para o meio ambiente e para a saúde pública, por existirem grandes áreas naturais disponíveis para absorver as cargas poluentes. Os maiores problemas, em meio rural, são, em regra, a reduzida capacidade financeira e aceitação cultural de soluções tecnológicas (Alaerts, et al., 1990). Em zonas remotas com difícil acesso, existem dificuldades de comunicação com as populações e o planeamento e construção de infraestruturas é dificultado (Albuquerque, 2012).

A presente dissertação foca-se na temática da gestão de lamas fecais em contexto urbano, por ser esta que apresenta desafios maiores e mais complexos. A crescente densidade populacional resulta em elevadas quantidades de lamas que esgotam a capacidade natural de assimilação pela natureza e o transporte até ao destino final torna-se dispendioso, dificultando a escolha das soluções locais. Esta situação exige grande atenção, pelo facto de, se a gestão de lamas não for eficiente, poderão resultar em consequências graves em termos de saúde pública (Alaerts, et al., 1990).

Nos últimos anos tem-se desenvolvido o conceito de “saneamento sustentável”, ou seja, um conjunto de infraestruturas e serviços economicamente viável, aceite socialmente, adequado tecnicamente, e que proteja o meio ambiente e recursos naturais, promovendo a saúde pública. Os principais objetivos a atingir para uma gestão de lamas fecais sustentável são os seguintes (Drechsel, et al., 2010):

- Remoção de poluentes;
- Higienizar as lamas fecais para reutilização;
- Aumentar a concentração e recuperação de nutrientes;
- Implementação de eficiência económica e energética das soluções.

A gestão de lamas fecais constitui um processo complexo que envolve diversos intervenientes e aspetos, divididos nesta secção em quatro temas principais (Strauss & Montangero, 2002): i) aspetos técnicos, relacionados maioritariamente com as soluções e problemas tecnológicos da coleta, ii) tratamento e transporte das lamas fecais; aspetos legislativos; iii) aspetos financeiros e económicos e iv) aspetos socioculturais, que incluem a coordenação entre os vários intervenientes. Pretende-se, nesta secção, enunciar e sintetizar os principais desafios associados a cada uma destas temáticas, que são condicionantes nomeadamente nos bairros pobres das cidades de países em desenvolvimento.

2.4.2. Aspetos técnicos

A coleta das lamas fecais pode ser realizada por autoridades municipais ou empresas privadas, de modo mecânico ou manual. A coleta e transporte por meios mecânicos é frequentemente condicionada por limitações em termos de acessibilidade.

As dificuldades de acesso franco às habitações associam-se às exigências das viaturas com mangueiras de sucção pois muitas vezes é necessário que atravessem casas e terrenos vizinhos, para alcançar as latrinas, causando transtorno e pouca segurança à população. Devido a estas razões e ao custo elevado, é comum as famílias recorrerem à coleta manual sendo que esta é muitas vezes efetuada de noite e de forma clandestina. Um método para ajudar a solucionar estes problemas consiste na descentralização e envolvimento direto de entidades locais institucionais nas soluções escolhidas (Strauss & Montangero, 2002) através da implementação local, por exemplo, de estações de transferência, apresentadas em detalhe na secção 3.4.4. desta dissertação.

Os problemas decorrentes do transporte de lamas devido a grandes distâncias e de elevados custos *per capita*, resultam frequentemente na descarga indevida de lamas em áreas desocupadas, próximas da origem. Este é um dos principais problemas da gestão de lamas fecais em meios urbanos. Existem grandes quantidades de lamas fecais, frescas ou parcialmente digeridas, que são diretamente utilizadas na agricultura ou despejadas em valas e cursos de água,

afetando o ambiente e saúde pública. Na maioria dos países em desenvolvimento, o acesso à eletricidade é muito limitado.

Segundo Drechsel, et al. (2010), 75% da população da África Subsaariana e 50% da do Sul da Ásia não tem acesso a energia elétrica. Assim, é fundamental encontrar soluções tecnológicas sustentáveis para a gestão de lamas fecais, sem dependência de rede de energia elétrica, ou que utilizem energias renováveis.

2.4.3. Enquadramento institucional e legislativo

O estabelecimento de leis, políticas e enquadramento institucional são a expressão formal das intenções do Estado, refletindo o compromisso em cumprir e implementar determinados objetivos. É fundamental existirem leis, políticas e instituições adequadas, que forneçam as ferramentas necessárias e assegurem uma abordagem participativa e responsável, de acordo com as leis e políticas estabelecidas.

No âmbito do saneamento, o enquadramento jurídico e institucional visa promover a sustentabilidade do mesmo. Existem diversos procedimentos que o Estado pode implementar para favorecer a sustentabilidade e apoiar as boas práticas de saneamento, estabelecendo normas a cumprir, programas de subsídios para melhorar a acessibilidade dos serviços e harmonizar as atividades das diferentes instituições (Albuquerque, 2012).

É fundamental, para a gestão de lamas, que exista legislação e instituições que assegurem a implementação das várias fases de coleta, transporte, tratamento e destino final das lamas. A proibição de más práticas foi já aplicada em países, como Gana e Bangladesh, que reconheceram os riscos de saúde e perigos existentes na coleta manual de lamas fecais, impedindo atividades deste tipo. Outras soluções para melhorar a gestão de lamas fecais, são, por exemplo, a formação de trabalhadores e a criação de licenças para operadores de esvaziamento de latrinas (Strande, et al., 2014).

A grande maioria da legislação de tratamento das lamas em países em desenvolvimento provém de regulamentação utilizada em tratamentos de águas residuais, que não têm em conta a problemática de lamas fecais (Strande, et al., 2014). Em 2006, a Organização Mundial de Saúde publicou um conjunto de diretivas para a utilização segura de águas residuais, excreta e água cinzenta na agricultura e na aquacultura (*'WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture'*). Estas diretivas são mais adequadas para países em desenvolvimento, por apresentarem alternativas e soluções para os diferentes níveis de tratamento e qualidade de lamas fecais (Strande, et al., 2014).

2.4.4. Financiamento e economia

A maioria dos países em desenvolvimento não tem uma estrutura financeira e organizativa adequada para realizar a gestão de lamas, dependendo de financiamento de países e de organizações estrangeiras para as pôr em prática (Strande, et al., 2014). No entanto, as condições de saneamento têm fortes implicações no crescimento económico dos países em desenvolvimento. A falta e/ou inadequados sistemas de saneamento resultam em prejuízos, equivalentes a 3,9% do PIB no Paquistão, 6,4% do PIB na Índia e 7,2% do PIB no Camboja. Estes prejuízos estão associados a mortes prematuras, encargos com unidades de saúde e da poluição resultante da descarga indevida das lamas, que afetam o meio ambiente e os ecossistemas (The World Bank, 2013).

O abastecimento de água tem, em geral, um maior destaque na agenda política dos governos que o saneamento, por tender a ser mais fácil de financiar. Os sistemas de saneamento são também mais complexos, necessitando de financiamento não só para as instalações mas também para o armazenamento, coleta e transporte de resíduos, tratamento e destino final. Para garantir um eficiente funcionamento do sistema, os governos devem também investir em campanhas de sensibilização e promoção de higiene. Muitas vezes, os financiamentos são direcionados para redes de drenagem e tratamento, que são altamente subsidiados, mas que servem apenas uma pequena parte da população, e não incluem infraestruturas para gestão de lamas fecais (Albuquerque, 2012).

A nível das entidades locais, surgem por vezes alguns problemas devido à falta de capacidade financeira da população. Na maioria dos casos existe uma taxa relativa à descarga de lamas, para cobrir os encargos de funcionamento da estação de tratamento. Para evitar o pagamento desta taxa, as lamas são despejadas por vezes indevidamente, causando problemas de saúde pública e risco para o meio ambiente. Assim, mesmo quando existem locais adequados para tratamento das lamas, apenas uma pequena fração das lamas, por vezes da ordem dos 10%, são formalmente recolhidas, tratadas e transportadas para esses locais (Strande, et al., 2014).

Um método para atrair recursos financeiros para projetos de saneamento consiste em aumentar a sustentabilidade do sistema, associando as infraestruturas de saneamento urbano a outros serviços de desenvolvimento da cidade, como a recolha de resíduos sólidos (“lixos”), ou o transporte para reutilização das lamas estabilizadas para produção agrícola, com benefícios económicos diretos (Drechsel, et al., 2010).

2.4.5. Coordenação entre intervenientes

Em países em desenvolvimento, as tecnologias de gestão de lamas fecais não resultam a longo-prazo, sem existir uma abordagem de planeamento integrado que inclua a participação e coordenação dos diversos intervenientes. Consideram-se como “intervenientes” todas as

organizações, grupos ou indivíduos que influenciam ou são influenciados pelo projeto em questão, dos quais se destacam: autoridades nacionais, regionais, e municipais; empresas privadas ou públicas que realizam a gestão de lamas fecais; autoridades tradicionais e líderes influentes (como líderes religiosos ou étnicos); organizações dadoras, como organizações não-governamentais (ONG'S); potenciais utilizadores dos subprodutos finais, como agricultores, e utilizadores dos sistemas. É fundamental definirem-se as funções e responsabilidades, assim como entender os interesses, necessidades e limitações de cada um dos intervenientes, através de uma participação ativa, nomeadamente nas fases iniciais de planeamento. Podem também ser criados incentivos para motivar a participação dos intervenientes, assegurando que providenciam 'feedback' para melhorar continuamente os serviços. A coordenação de diversas entidades é especialmente importante no caso dos sistemas descentralizados de lamas fecais pois não são como os sistemas centralizados, em que o transporte é realizado através de redes de coletores e que são geridos, em regra, por apenas uma única entidade (Strande, et al., 2014).

2.5. Impactos associados à gestão incorreta de lamas fecais

2.5.1. Impactos na saúde pública

Quando feita de forma incorreta, a gestão de lamas fecais pode resultar em graves impactos de saúde pública. Estima-se que cerca de 1,8 milhões de pessoas morrem todos os anos de doenças diarreicas, sendo que cerca de 90% são crianças com menos de 5 anos, maioritariamente em países em desenvolvimento. A diarreia infecciosa é uma doença causada por infeções virais, bacterianas ou parasitárias cuja transmissão pode resultar da falta de higiene e/ou saneamento adequado (The World Bank, 2014).

Os problemas de saúde provenientes da gestão incorreta de lamas fecais advêm do contacto direto e indireto, por exemplo através do consumo de comida com microrganismos patogénicos. Estes microrganismos variam de local para local, em função das condições de saúde pública (Drechsel, et al., 2010). Apresenta-se, na Figura 2.8, o diagrama F que representa os meios de transmissão de doenças por microrganismos patogénicos, e o tipo de barreiras para prevenção das mesmas.

Os principais riscos para a saúde pública decorrentes da gestão inadequada de lamas advêm das descargas indevidas e inadequada reutilização das lamas fecais. A descarga indevida é efetuada, na maioria das cidades, perto de áreas pobres e semiabandonadas, mas onde existem comunidades vulneráveis que ficam gravemente expostas à contaminação (Strande, et al., 2014). A reutilização das lamas na agricultura deve ser monitorizada para garantir a segurança das mesmas como fertilizante, o que muitas vezes se torna difícil devido à deficiente capacidade e qualidade dos laboratórios locais (Drechsel, et al., 2010).

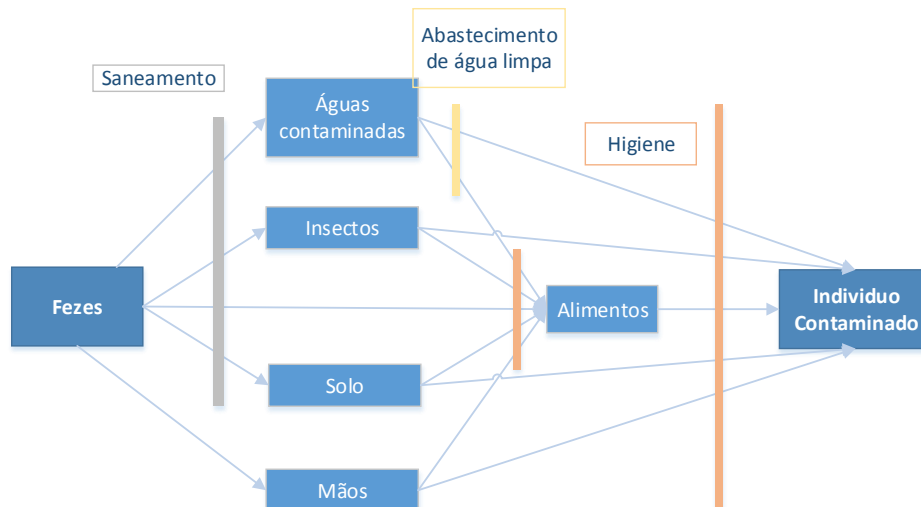


Figura 2.8: Diagrama F, com meios de transmissão para doenças de microrganismos patogênicos e respectivas barreiras para prevenção das mesmas. Adaptada de Wagner & Lanoix (1958), por Pinto (2013).

São particularmente vulneráveis a estas doenças as crianças, os idosos e os trabalhadores com risco de contacto direto com as lamas, nas operações de coleta. Podem ser também afetadas as famílias dos trabalhadores, assim como pessoas em habitações próximas de locais onde tenha lugar o manuseamento de lamas fecais (Drechsel, et al., 2010)

2.5.2. Impactos ambientais

A gestão incorreta de lamas fecais afeta o meio ambiente, podendo poluir e/ou desequilibrar os ecossistemas existentes. Os principais impactos no meio ambiente são a poluição do solo e dos meios aquáticos.

No solo, os principais problemas advêm da retenção de quantidades inadequadas de metais pesados, componentes orgânicos persistentes, hormonas e nutrientes. Os meios aquáticos têm particular relevância pelo facto do consumo de água, especialmente nestes países, resultar da captação direta da água de superfície ou de aquíferos locais.

A poluição do meio aquático resulta maioritariamente da matéria orgânica, microrganismos patogênicos e nutrientes presentes nas lamas fecais que, através de infiltração dos efluentes no solo, podem contaminar os aquíferos ou afetar as águas de superfície devido a descargas indevidas. A elevada concentração de componentes biodegradáveis e nutrientes resulta em consumo excessivo de oxigénio no meio recetor, podendo ocorrer fenómenos como a anoxia/anaerobiose e a eutrofização (Koné & Peter, 2008). Apresenta-se, na Figura 2.9, uma imagem de descarga indevida de lamas fecais no meio ambiente.



Figura 2.9: Exemplo de descarga indevida direta no meio ambiente em Yaoundé, Camarões. Retirada de Strande, et al. (2014).

3. Gestão de lamas fecais em ambiente urbano

3.1. Considerações gerais

As principais etapas da gestão de lamas fecais estão referidas na secção 2.4.1 da presente dissertação. Neste capítulo pretende-se apresentar as características das lamas fecais, assim como métodos, tecnologias e soluções para coleta, transporte, tratamento e destino final. Este estudo foca-se em sistemas de saneamento do tipo pseudo-local, conceito definido na secção 2.3.2., pelo facto deste tipo de saneamento ser dos mais utilizados em países em desenvolvimento. A informação presente neste capítulo baseia-se fundamentalmente na publicação “*Faecal Sludge Management*”.

Apresenta-se, na Figura 3.1, um esquema simplificado das etapas de gestão de lamas fecais.



Figura 3.1: Esquema das etapas da gestão de lamas fecais. Adaptada de Strande et. al 2014.

Considera-se que a gestão de lamas fecais se inicia com a coleta das lamas provenientes da interface do utilizador que, sofrem um tratamento inicial de digestão anaeróbia, durante o período de armazenamento. A recolha e transporte das lamas pode ser efetuada por meios mecânicos ou manuais, até ao local de tratamento complementar. Em grandes centros urbanos, o transporte das lamas pode ser facilitado através da implementação de estações de transferência que minimizam as deslocações dos veículos de recolha de maior capacidade. O destino final refere-se ao método de reintegração das lamas no meio ambiente, existindo várias alternativas, como a reutilização das lamas na agricultura ou a sua deposição em aterro sanitário, conforme a necessidade e o grau de tratamento a que foram submetidas.

3.2. Caracterização lamas fecais

3.2.1. Definição de lamas fecais

‘Lamas fecais’ é o termo genérico dado à matéria fresca, parcialmente ou totalmente digerida, semilíquida ou sólida, que resulta do armazenamento ou tratamento de mistura de excreta e água negra, com ou sem adição de água cinzenta, proveniente de órgãos de armazenamento de sistemas de saneamento locais. Na Tabela 3.1 apresentam-se os principais parâmetros característicos das lamas fecais.

Tabela 3.1: Principais parâmetros de caracterização de lamas fecais. Adaptada de Metcalf & Eddy et al. (2003).

Parâmetros	Características dos parâmetros
pH	<p>A concentração do ião hidrogénio é um parâmetro importante de qualidade das lamas fecais. A maioria da vida biológica apenas sobrevive numa gama de valores de pH entre 6 e 9.</p> <p>As lamas digeridas apresentam um pH mais elevado que as lamas frescas, tornando o pH um bom indicador do grau de digestão das lamas.</p>
Sólidos totais	<p>Os sólidos totais representam o resíduo resultante da evaporação de uma amostra de água residual a uma temperatura específica (103-105°C). O conhecimento deste parâmetro auxilia a escolha do processo de tratamento mais adequado. Os sólidos totais subdividem-se em sólidos dissolvidos e sólidos suspensos, assim como em sólidos voláteis (biodegradáveis) e sólidos fixos. Os sólidos suspensos sedimentam, resultando em lamas.</p>
Sólidos voláteis totais	<p>Sólidos que volatilizam quando são inflamados (500+/-50°C). Os resíduos resultantes da volatilização denominam-se sólidos fixos. São utilizados para estimar a quantidade de matéria orgânica existente.</p>
Condutividade elétrica	<p>A condutividade elétrica relaciona-se com a concentração dos sólidos dissolvidos totais. Através da medição da condutividade elétrica, é possível avaliar a salinidade. O teor de sal é um parâmetro importante para avaliar a possibilidade de reutilização do efluente na agricultura.</p>
Azoto <i>Kjedahl</i> Total	<p>O Azoto <i>Kjedahl</i> Total é um dos principais nutrientes para a atividade biológica, assumindo relevância para o tratamento das águas residuais por processos biológicos.</p> <p>O Azoto <i>Kjedahl</i> Total representa o conteúdo total de azoto amoníaco e orgânico. Em casos de descarga em meios aquáticos, é importante verificar o impacto de nutrientes no meio recetor.</p>
Razão C/N	<p>A razão entre carbono e azoto é importante para processos de digestão aeróbia e anaeróbia. O controlo da razão C/N é fundamental na compostagem sendo que, por vezes, é adicionada matéria orgânica para incrementar o conteúdo de carbono do composto.</p>
Razão CBO/CQO	<p>Esta razão varia conforme o grau de estabilização das lamas. Em lamas frescas esta razão situa-se entre 0,3 a 0,8, sendo que valores superiores a 0,8 indicam grande facilidade para o tratamento biológico e valores inferiores a 0,3 revelam a presença de componentes tóxicos ou ausência de microrganismos aclimatizados para a estabilização das lamas.</p>

Tabela 3.1: Principais parâmetros e respectivas características de lamas fecais. Adaptada de Metcalf & Eddy et al. (2003).
(Cont.).

Parâmetros	Características dos parâmetros
Microrganismos patogénicos	Organismos excretados pelo homem e animais infetados e/ou transportadores de uma doença infecciosa. Podem ser classificados em 4 categorias: bactérias, protozoárias, helmintos e vírus. Apresentam-se, nos Anexos 1 e 2, os principais microrganismos patogénicos e as doenças e sintomas, e os fatores ambientais que afetam o desenvolvimento destes microrganismos.
Coliformes Fecais (número mais provável)	A deteção e identificação dos microrganismos patogénicos é difícil, recorrendo-se a indicadores, com maior facilidade de deteção. Exemplos desses indicadores são os organismos E.Coli ou os Coliformes Fecais.
Ovos de Helmintos	O termo Helminto é utilizado para descrever vermes em geral. Vermes são um dos principais agentes que causam doenças, sendo um dos representativos a ' <i>Ascaris Lumbricoides</i> '. A fase de infeção por helmintos pode variar, dependendo da espécie, podendo ocorrer na vida adulta do organismo, larva, ou ovos. Os ovos de helmintos são extremamente resistentes a ambientes agressivos e costumam persistir nas lamas. Podem ser removidos através de processos como sedimentação, filtração e lagunagem.
Metais Pesados	Usualmente encontrados em águas residuais industriais, podem condicionar o tratamento biológico. Em geral, os metais pesados não são removidos durante os processos de tratamento biológico, sendo necessário prevenir a contaminação de lamas fecais, realizando o controlo na origem.

Destaca-se ainda que as lamas fecais contêm, geralmente, maior concentração de sólidos suspensos e dissolvidos do que as lamas de ETAR (Koné & Peter, 2008), e uma concentração de microrganismos patogénicos 10 a 100 vezes superior (Drechsel, et al., 2010). Outra diferença consiste em que as lamas fecais apresentam maior resistência à estabilização e desidratação (USEPA (1999) em Strande et al. (2014)). Apresentam-se, no Anexo 3, alguns valores médios comparativos que assinalam essas diferenças.

3.2.2. Aspetos que influenciam a qualidade de lamas fecais

As características e conteúdo das lamas fecais podem variar consideravelmente, existindo vários fatores que as afetam, das quais se destacam as seguintes:

- **Tipo e utilização de instalação sanitária:** os produtos descarregados, como óleos e gorduras, a quantidade de água e métodos de limpeza utilizados afetam a concentração de sólidos totais das lamas fecais.

- **Duração de armazenamento:** influencia o grau de digestão das lamas, conforme o tempo de retenção;
- **Infiltração de efluentes:** afeta a concentração e volumes das lamas fecais e depende da qualidade de construção da latrina. Consoante a existência e tipos de revestimentos utilizados, tipo de solo existente e altura do nível freático, as lamas poderão ter maior ou menor percentagem de água na sua composição.
- **Técnica de coleta utilizada:** influencia o conteúdo de água das lamas fecais. Dependendo do grau de infiltração, a densidade das lamas pode condicionar o método de coleta e levar à necessidade de adição de água. Por exemplo, nas fossas secas sem revestimento, que possuem lamas densas e consolidadas, a coleta poderá ser manual ou efetuada por bombagem, sendo que neste último caso é necessário, em regra, adicionar água, resultando lamas mais diluídas;
- **Clima:** a temperatura e humidade influenciam diretamente as taxas de degradação biológica. As temperaturas ideais situam-se entre 25 e 35°, sendo que para temperaturas inferiores as 15°C as bactérias que efetuam a degradação biológica tornam-se quase inativas (Eddy, et al., 2003). A precipitação aumenta os volumes de coleta e transporte das lamas fecais, através da entrada de água no sistema. Em latrinas permeáveis, a entrada de água é naturalmente influenciada pelo nível freático e tipo de solo.

É importante referir que em sistemas de saneamento local, em especial nos sistemas a seco, é comum existirem também resíduos sólidos urbanos (material proveniente de tarefas domésticas, como fraldas e produtos de higiene) devido à falta de sistemas funcionais de recolha e gestão de resíduos deste tipo. A presença destes resíduos causa inúmeros problemas para a gestão de lamas fecais, tais como entupimentos e aumento do volume de lamas para tratamento e armazenamento, para além de afetar a qualidade do produto final. Uma solução para prevenir este tipo de comportamentos é a realização de campanhas educativas e sensibilização da população.

3.2.3. Quantificação dos parâmetros de qualidade das lamas fecais

A quantidade de excreta produzida varia conforme os hábitos alimentares. Apresentam-se na Tabela 3.2 os valores estimados por habitante. Pode concluir-se que, em regra, um adulto produz, em média, 0,2 a 0,4 Kg de fezes e 1,5 L de urina por dia.

As lamas são constituídas por 70 a 80% de água que, quando retiradas (desidratação natural das lamas), resultam em 0,1 Kg de matéria seca e pouca água. Aproximadamente 80 a 90% das fezes são matéria orgânica (fibra, bactérias, lípidos, proteínas) que pode ser degradada (Still & Foxon, 2012). Estima-se que a acumulação anual de lamas fecais se situa entre 40 e 60 litros por pessoa, para sistemas a água e a seco, respetivamente (Wagner & Lanoix, 1958).

Tabela 3.2: Quantidade de fezes diária produzida, por pessoa. Adaptada de Strande, et al. (2014).

Localização	Peso (g/pessoa/dia)	Fonte
Países desenvolvidos	100-200	Lentner et al. (1981); Feachem et al. (1983); Jönsson et al. (2005); Viñeras et al. (2006)
Países em desenvolvimento, meio rural	350	Feachem et al. (1983);
Países em desenvolvimento, meio urbano	250	Feachem et al. (1983);
China	315	Gao et al. (2002);
Quênia	520	Pieper (1987)
Tailândia	120-400	Schouw et al. (2002)

Para melhor definir a constituição e parâmetros das lamas fecais é comum a divisão em lamas fecais de intensidade forte ou intensidade fraca. Esta denominação está correlacionada com o tipo de sistema de saneamento e o período de armazenamento. As lamas fecais de intensidade forte são pouco estabilizadas, tipicamente provenientes de casas de banho públicas que possuem reduzido período de armazenamento. As lamas fecais de intensidade fraca possuem maior grau de estabilização, devido ao maior período de armazenamento, provenientes por exemplo de latrinas ou fossas sépticas (Drechsel, et al., 2010). Apresentam-se, na Tabela 3.3, intervalos de valores dos principais parâmetros segundo Mara (1978) e Strauss, et al. (1997).

Tabela 3.3: Gamas de lamas fecais em países tropicais e comparação dos diferentes sistemas de saneamento segundo Mara (1978) e Strauss, et al. (1997) adaptada de Koné & Peter (2008).

Parâmetro	Tipo de lamas		
	Intensidade elevada	Intensidade reduzida	Esgoto
Exemplo de origem	Casa de banho pública	Fossa séptica	Rede de coletores (clima tropical)
Caracterização	Lamas fecais frescas, altamente concentradas, armazenada apenas por alguns dias e/ou semanas	Lamas fecais com maior estabilização, de baixa concentração, armazenada durante alguns anos	-
CQO (mg/L)	20,000 - 50,000	< 15,000	500 - 2,500
CQO/CBO	2 : 1 5 : 1	5 : 1 10 : 1	2 : 1
Nh4-N (mg/L)	2, - 5,000	< 1,0000	30 - 70
Sólidos totais (%)	≥ 3.5%	< 3%	< 1%
Sólidos suspensos (mg/L)	≥ 30,000	≈ 7,000	200 -700
Ovos Helminthos (nº/L)	20, - 60,000	≈ 4,000	300 - 2,000

A concentração de sólidos totais pode ser referida em percentagem ou em mg/L que se relacionam pela expressão (3.1). A densidade das lamas fecais é similar à densidade da água, variando entre 1020 a 1030 kg/m³ para lamas líquidas e 1050 a 1080 kg/m³ para lamas desidratadas. Assim, uma concentração de 20,000mg/L ou 20g/L pode ser expressa também como 2% de matéria seca.

$$\text{Concentração (\%)} = \frac{\text{Concentração (mg/L)} \times 100}{1 \times 10^6 \text{ (mg/kg)} \times \text{Densidade (kg/L)}} \cong \frac{\text{Concentração (mg/L)}}{10\,000} \quad (3.1)$$

Apresenta-se também, na Tabela 3.4, valores de parâmetros de qualidade de lamas fecais de cidades africanas.

Tabela 3.4: Parâmetros de qualidade de lamas fecais de cidades africanas. Adaptada de Drechsel, et al. (2010).

Parâmetro	Acra (Gana)	Acra (Gana)	Yaoundé (Camarões)
Exemplo de origem	Casa de banho pública	Fossa séptica	Rede de coletores
Sólidos totais (mg/L)	52,500	12,000	37,000
Sólidos voláteis totais (% de sólidos totais)	68	59	65
CQO (mg/L)	49,000	7,800	31,000
CBO ₅ (mg/L)	7,600	840	N/A
Azoto total (mg/L)	N/A	N/A	1,100
Nh ₄ -N (mg/L)	3,300	330	600
Ovos Ascaris (nºovos/gST)	N/A	(13 - 94)	2,813

A informação sobre as características de lamas provenientes de sistemas a seco, como latrinas, não é tão vasta. Na África do Sul foi efetuado um estudo em 16 latrinas ventiladas (VIP) de onde se concluiu que as características das lamas variam com a profundidade da fossa, apresentando diferentes graus de estabilização dependente do tempo de armazenamento. O conteúdo de água diminui com a profundidade (admitindo que o nível freático não afeta o sistema) até 1 m de profundidade a partir do qual o conteúdo de água é similar. O conteúdo médio de água total da latrina foi de cerca 60%, variando entre 60 e 80% com a profundidade, como se observa na Figura 3.2 (Bakare, et al., 2012).

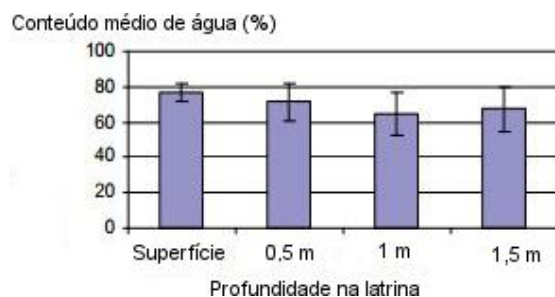


Figura 3.2: Gráfico da variação do conteúdo médio de água das lamas fecais por profundidade da latrina. Adaptada de Bakare, et al. (2012).

3.3. Coleta e tratamento inicial

3.3.1. Considerações Gerais

Apresenta-se, nesta seção, a primeira etapa da gestão de lamas fecais, que corresponde à recolha após o tratamento inicial, que tem lugar nos sistemas de saneamento pseudo-locais. A forma de coleta pode ser mecânica ou manual. A recolha manual é a utilizada na maioria das vezes, devido a custos reduzidos e falta de acesso para veículos de grandes dimensões, sendo que cada vez mais se considera a utilização de equipamentos para assistir à recolha manual, reduzindo os problemas que advêm desta. A coleta mecânica é mais eficiente, conseguindo retirar grandes volumes de lama de forma rápida com pouca exposição direta às lamas, reduzindo-se os riscos de saúde. Porém, esta tecnologia é cara e propícia a falhas mecânicas. Frequentemente, não é possível retirar a lama se esta estiver muito consolidada, como ocorre no fundo das latrinas.

As atividades de coleta e esvaziamento das fossas são muitas vezes negligenciadas e não reconhecidas como uma componente de saneamento sustentável. Nessa situação, frequentemente as lamas extravasam as fossas, tornando-se perigosas para a população e meio ambiente envolvente.

Durante a coleta devem ser tomadas precauções, como a utilização de roupa com proteção adequada, que evite o contacto direto e indireto com as lamas fecais, incluindo: botas, luvas, óculos de proteção e máscaras. Muitas vezes, estas proteções são mal utilizadas, ignoradas ou mal mantidas, o que aumenta os riscos de infeção. Para incrementar a sua utilização, deve privilegiar-se instrução e formação dos trabalhadores. Outros métodos para a prevenção de contaminação, consistem em cuidados de saúde especiais como a imunização e métodos de controlo de vermes. Apresenta-se, na Figura 3.3, um exemplo da correta utilização de proteções no caso de recolha mecânica.



Figura 3.3: Correta proteção e método de coleta mecânica de lamas fecais numa recolha mecânica. Retirada de Strande, et al. (2014).

3.3.2. Coleta manual

A coleta manual é feita através de pás e baldes, muitas vezes com o indivíduo dentro da fossa, como se observa na Figura 3.4, ou através de sistemas de cordas e baldes. Quando a coleta é realizada com o indivíduo no interior da fossa é especialmente importante serem tomadas as devidas precauções, de modo a evitar o contacto direto com as lamas.



Figura 3.4: Exemplo de recolha manual com indivíduo dentro da fossa, não segura. Retirada de WIN-SA, (2011).

A coleta manual, com pás e baldes, é apenas indicada para a remoção de lamas sólidas que envolvam baixo risco de saúde, como por exemplo resíduos de compostagem de lamas ou fossas secas (Stauffer, et al., 2014). As lamas removidas manualmente são geralmente colocadas em contentores, tipicamente de 200 litros, que posteriormente são transportadas até a um veículo para posterior descarga em local apropriado. Na coleta de lamas fecais podem existir fugas, inevitáveis, que provocam odores e desconfortos para os residentes locais (Eales, 2005).

Existem equipamentos para assistir a coleta manual, de modo a torná-la mais rápida, segura e eficiente. Alguns exemplos são o ‘*Gulper*’, o sistema de bombagem manual “*Diaphragm Pump*” e a “Tecnologia de esvaziamento manual de latrinas” também conhecida por MAPET (*Manual Pit Emptying Technology*). O “*gulper*” e os sistemas de bombagem manual baseiam-se em sistemas com um tubo principal que está em contacto com as lamas, no fundo da fossa, e que eleva as lamas através da força exercida pelo trabalhador. No caso do “*gulper*”, o movimento é vertical, como ilustra a Figura 3.5. Nos sistemas de bombagem manual “*Diaphragm Pump*”, o movimento é perpendicular ao tubo.

Estes sistemas são de baixo custo, ideais para países em desenvolvimento, mas que apresentam alguns problemas como o entupimento devido a resíduos não biodegradáveis e fuga de lamas, exigem manutenção. As bombagens manuais são adequadas para lamas fecais líquidas ou com baixo grau de viscosidade, sendo que a presença de outro tipo de resíduos pode criar entupimentos, dificultando a coleta. Estes equipamentos são indicados para locais não acessíveis por viaturas motorizados.



Figura 3.5: Exemplo de funcionamento de sistema de bombagem manual, através de movimento vertical.
Adaptada de Stauffer et al. (2014).

O MAPET, criado por 'WASTE Consultants on Appropriate Technology' em 1992, é constituído por duas componentes principais: uma bomba e um tanque de armazenamento, ambos com rodas para fácil deslocação, como se ilustra na Figura 3.6.



Figura 3.6: Exemplo de uso de MAPET no Congo, para coleta manual de lamas fecais. Retirada de Stauffer et al. (2014).

Após alguns anos de implementação estes equipamentos apresentaram alguns problemas, como rotura de *stock*, não sendo possível a reparação local. A eficácia do aparelho depende do tamanho de tanque e distância ao local de descarga, podendo aceder a locais de maior ou menos acessibilidade e percorrer maiores ou menores distâncias. Em comparação com as bombas manuais, o MAPET apresenta a vantagem de concretizar a recolha e transporte, mas o seu custo é elevado, cerca de 3000 USD face aos 300 a 1000 USD dos equipamentos de bombagem manual (Strande, et al., 2014).

Um outro aparelho deste tipo é o *'Nibbler'* que possuía também um princípio rotativo para remoção de lamas, utilizando uma corrente para o funcionamento. Mas o seu desenvolvimento foi suspenso, devido a insucesso durante os ensaios.

3.3.3. Coleta mecânica

As tecnologias para a recolha mecânica possuem um sistema motorizado, que utiliza energia que advém de combustível, eletricidade ou sistemas pneumáticos. Os equipamentos para efetuar a coleta mecânica incluem sistemas de bombagem mecânica (*'motorised diaphragm pump'*) e aparelhos de sucção que podem ser incorporadas em veículos para aumentar a mobilidade, e o transporte das lamas a maiores distâncias.

Os sistemas de bombagem mecânica são similares aos aparelhos de bombagem apresentados na secção anterior de esta dissertação, sendo que em vez de força humana o equipamento é movido por um motor. O motor pode ser hidráulico, elétrico ou funcionar com ar comprimido, mas o mais comum é funcionarem com combustível. Podem operar para profundidades da ordem dos 15 metros, apresentando também o inconveniente de riscos de entupimento, se existirem resíduos não biodegradáveis (Strande, et al., 2014).

Um outro equipamento atualmente em desenvolvimento é baseado no parafuso de Arquimedes, denominado de parafuso motorizado (*'Pit screw augers'*): dentro de um tubo encontra-se um sistema de parafuso, que recolhe as lamas para um contentor de armazenamento. Apresenta-se um exemplo deste equipamento na Figura 3.7. Este sistema apresenta a vantagem de poder recolher alguma (mas pouca) quantidade de resíduos não biodegradáveis e possuir um sistema de desentupimento através de descarga em sentido inverso. Apresenta dificuldades de limpeza, e devido ao peso e tamanho pode ser de difícil transporte para locais pouco acessíveis.



Figura 3.7: Funcionamento de um parafuso motorizado (*'Pit screw augers'*) com trabalhador com correta proteção pessoal. Retirada de Still & Foxon (2012).

Os aparelhos de sucção, ou bombas de vácuo, são os equipamentos que se têm mostrado mais eficientes para a remoção de lamas fecais de sistemas selados, que contêm maiores quantidades de água. Estão geralmente montados em camiões e atrelados, que podem até ser movidos por força humana, tendo este último a vantagem de maior acessibilidade. As bombas são alimentadas a maioria das vezes pelo próprio veículo a que estão ligadas, mas existem também bombas motorizadas autonomamente. Existem vários tipos de modelos e tamanhos de viaturas de vácuo, ou seja, camiões incorporados com bombas de vácuo. As bombas são escolhidas de acordo com a altura de elevação, volume de lamas a remover e volume de tanque.

Existiram alguns desenvolvimentos de tipos de camiões, como é o caso do BREVAC, criado em 1983 pelo 'Building Research Establishment (BRE)'. Consiste num camião especialmente criado para a coleta de lamas fecais, com dois compartimentos (um para lamas e outro para líquido), com uma bomba capaz de retirar lamas fecais com grande viscosidade. Possui inconvenientes, como riscos de entupimento. Infelizmente, devido à necessidade de peças especiais com grandes custos, o BREVAC não se manteve no mercado.

Em 1995, a partir do desenvolvimento do BREVAC e MAPET, surgiu o *Vacutug*, criado pelo UN-HABITAT. Consiste numa bomba de vácuo ligada a um tanque de armazenamento, ilustrada na Figura 3.8. É um equipamento mais pequeno, permitindo maior mobilidade, mas com reduzida velocidade (até 5km/h) (Still & Foxon, 2012). A tecnologia é económica mas possui riscos de entupimento.



Figura 3.8: *Vacutug* criado pelo UN-HABITAT. Retirada de Still & Foxon (2012).

Existiu, em 2009, um protótipo de uma versão mais robusta e desenvolvida do *Nibbler* (apresentado na secção anterior), denominado '*Gobbler*', diferenciando-se do primeiro por utilizar um motor que fazia girar as correntes. Porém, a acumulação de lamas nas correntes impediam o seu funcionamento além de envolver grande número de peças, fatores que levaram a interromper a respetiva produção.

3.4. Transporte de Lamas Fecais

3.4.1. Considerações gerais

Esta etapa da gestão de lamas fecais tem como objetivo o transporte das lamas desde a coleta até ao local de tratamento, e/ou descarga final. Os equipamentos de coleta apresentados na secção anterior não realizam geralmente o transporte, sendo mais comum recorrer-se a sistemas separados. Para o transporte utiliza-se equipamento *low-cost*, estandardizado ou adaptado, que pode ser manual ou motorizado.

Os sistemas integrados de transporte e coleta apresentam, em regra, velocidades baixas reduzindo a eficiência da operação. Um exemplo de um equipamento deste tipo são os camiões de coleta com transporte integrado, como o apresentado na Figura 3.9, um exemplo da cidade de Manila, nas Filipinas (Still & Foxon, 2012).



Figura 3.9: Camião de coleta e transporte de lamas fecais da cidade de Manila, nas Filipinas. Retirada de Strande et al. (2014).

A viatura de recolha deve ser escolhida tendo em conta o volume, restrições de largura e peso das vias, distância à estação de tratamento, custo, disponibilidade e nível de perícia do condutor. Segundo Chowdhry & Kone (2012), as capacidades dos camiões costumam variar entre 2 e 12 m³, sendo que em África a média da capacidade de camiões é por volta de 10 m³. Em África, a grande maioria dos camiões existentes são antigos, em segunda mão, com uma grande capacidade, que se traduz em grandes despesas, com uma média de 75% dos encargos em custos variáveis, como combustível e manutenção.

Existem alguns aspetos fundamentais a considerar para aumentar a eficiência e segurança do transporte das lamas fecais, tais como:

- Tipo de veículo a utilizar;
- O equipamento utilizado na coleta das lamas como mangueiras e bombas;

- Equipamento para controlo de fugas tais como pás, desinfetantes e sacos de recolha;
- Perícia do operador do veículo;
- Procedimentos a seguir, como regras de condução;
- Estações de transferência;
- Segurança e saúde do trabalhador.

3.4.2. Transporte manual

O transporte manual é o método mais básico, dependendo apenas da força do trabalhador ou movido a força animal, consistindo geralmente num equipamento para transportar contentores com lamas fecais do local de coleta, até local de descarga. Este tipo de transporte possui geralmente baixas capacidades e velocidades, não sendo adequado para longas distâncias. Existem equipamentos com rodas, ligados a bicicletas, que devem ser utilizados para distâncias inferiores a 3 km ou puxados diretamente pelo trabalhador (Figura 3.10), nesse caso, recomendado apenas para distâncias inferiores a 500 metros (WaterAid, 2013).



Figura 3.10: Exemplo de transporte manual de contentores de lamas. Retirada de Stauffer et al. (2014).

3.4.3. Transporte motorizado

Este meio de transporte refere-se, em regra, a um veículo movido por um motor, apresentando diversas vantagens: maiores capacidades de carga e maiores velocidades, que conduzem a menores tempos de percurso. Em contrapartida, o custo da operação e manutenção, e as exigências de conhecimento técnico e perícia são superiores.

Existem diversos modelos e tipos de equipamentos, desde triciclos motorizados, com a vantagem de acesso aos locais menos acessíveis, a carrinhas “pick-up” com capacidades da ordem dos 2 a 5 toneladas.

3.4.4. Estações de transferência

Vários dos equipamentos de transporte descritos anteriormente são de tamanho reduzido e apenas adequados para curtas distâncias. Além disso, o facto de, em regra, os locais de tratamento e de descarga adequados para as lamas fecais encontrarem-se na periferia das cidades, implica o transporte das lamas a grandes distâncias. Considera-se adequado o uso de estações de

transferência quando é necessário o transporte de lamas fecais a distâncias superiores a 3 quilômetros.

Em várias capitais de África, a distância média para realizar a descarga de lamas é de cerca de 20 a 30 km, o que leva cerca de 2 a 3 horas a completar em condições de tráfego usual. Estas distâncias traduzem-se em custos elevados de combustível o que reduz o rendimento das entidades responsáveis (Chowdhry & Kone, 2012).

As estações de transferência surgem como solução do tipo “descentralizado”, que se baseia em instalações mais facilmente acessíveis, entre o local de coleta das lamas e o local de tratamento, e que procuram dar resposta aos problemas anteriormente referidos. Refere-se que, por vezes, a descarga nas estações de transferência envolve também o pagamento de taxas (Tilley, et al., 2014).

Numa primeira fase, os equipamentos de recolha de menor capacidade transportam as lamas fecais desde o local de coleta até à estação de transferência mais próxima. A segunda fase consiste na recolha das lamas das estações de transferência, quando estas ficam cheias, por parte de equipamentos de transporte com maiores capacidades, como por exemplo camiões com tanques de armazenamento.

As estações de transferência podem ser fixas ou móveis. As estações fixas, como diz o nome, destinam-se a armazenamento permanente e subdividem-se em quatro categorias:

- **Tanques de armazenamento permanente:** Tanques de carácter duradouro, geralmente em betão, destinados a providenciar armazenamento às lamas fecais, mas sem o tratamento das mesmas. Apresenta-se um esquema de uma estação deste tipo na Figura 3.11.
- **Estação de transferência modular:** Contentores portáteis de armazenamento, que podem possuir várias capacidades desde pequenos, de 200 litros, até 2 000 m³;
- **Tanque de armazenamento multifuncional:** Estes tanques, além de armazenar as lamas, têm a particularidade de as tratar, ou seja, de poderem receber lamas frescas, como de casas de banho públicas, e providenciar tratamento parcial das mesmas, como desidratação em tanques de sedimentação ou digestão anaeróbia;
- **Tanque com ligação à rede de drenagem:** Tanque com ligação direta ou indireta ao sistema de redes de esgoto, para transporte das lamas e/ou efluentes com percentagem de sólidos relativamente baixa.

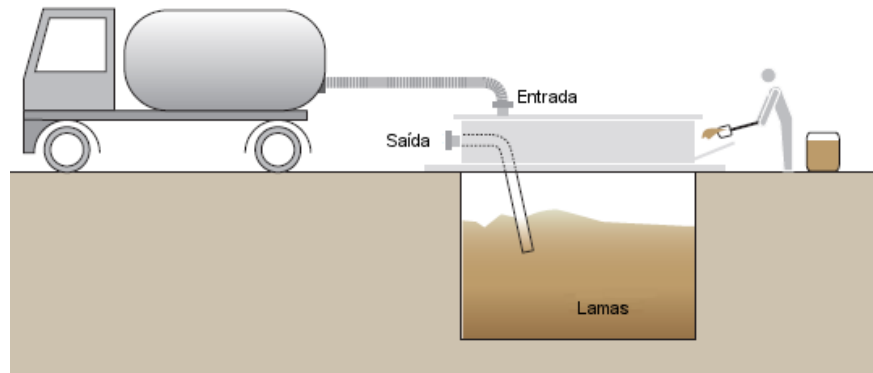


Figura 3.11: Esquema de estação de transferência fixa de armazenamento permanente enterrada. Adaptada de Tilley et al. (2014).

As estações de transferência móveis consistem em contentores portáteis, ou seja, facilmente transportáveis, de armazenamento temporário. Podem incluir veículos motorizados com capacidade de armazenamento ou atrelados com tanques que posteriormente são puxados por um caminhão ou trator. A principal vantagem do carácter provisório é ultrapassar muitos problemas de logística e procedimentos requeridos para instalar estações de transferência fixas, especialmente em áreas de elevada densidade populacional. Além disso, se necessário, estas estações podem ser utilizadas também como transporte secundário, transportando as lamas até ao local de tratamento. Estas estações podem também ser utilizadas provisoriamente, para “testar” a aceitação, por parte da população, de uma estação de transferência fixa.

A localização das estações de transferência é da maior importância para assegurar a sua utilidade e um eficiente funcionamento. Existem diversos fatores a ter em conta para a localização de estações de transferência, dos quais se destacam os seguintes:

- **Cobertura**, deve-se otimizar o raio de ação da estação, de modo a que esteja a distâncias de alcance suficientes a equipamentos de pequena capacidade assim como a equipamentos motorizados. Deve-se ter em consideração os custos de transporte, assim como a distância a outras estações de transferência;
- **Acesso ao local**, para garantir que o transporte primário e o transporte secundário das lamas são viáveis, além de garantir que as vias rodoviárias são adequadas aos transportes utilizados;
- **Disponibilidade de terreno**, para o qual é necessário a obtenção de licenças e autorizações, que podem resultar num processo demorado, envolvendo diversas entidades;
- **Aceitação social**, constitui um aspeto fundamental para garantir o bom funcionamento do sistema. As estações que produzem desconforto nas comunidades podem resultar na

rejeição das mesmas. Deve-se evitar a proximidade das habitações, e garantir uma correta manutenção, para evitar maus odores. Um método para facilitar a aceitação envolve pedir a colaboração da população do local, discutir soluções ou proporcionar vantagens acrescidas à comunidade, como providenciar casas de banho públicas (Figura 3.12).



Figura 3.12: Exemplo de estação de transferência móvel com integração de casa de banho pública em Serra Leoa. Retirada de Strande et al. (2014).

3.5. Tratamento complementar e desidratação de lamas fecais

3.5.1. Considerações gerais

O objetivo principal do tratamento das lamas fecais é garantir a saúde pública e proteção do meio ambiente, através da redução de microrganismos patogénicos e da estabilização da matéria orgânica e nutrientes. A seleção de tecnologias a escolher e respetivas combinações depende do local, características das lamas, destino final e legislação.

Deve-se ter em atenção que os países em desenvolvimento apresentam condições locais e lamas fecais com características diferentes das ETAR e das águas residuais presentes em países desenvolvidos. Assim, quando se transfere um tipo de tratamento utilizado para águas residuais para as lamas fecais, deve adaptar-se, naturalmente, os tratamentos tendo em conta as diferentes condições. Os tratamentos ideais para países em desenvolvimento são de baixo custo, e de preferência sem componentes eletromecânicas complexas.

Neste capítulo apresenta-se resumidamente os tratamentos mais utilizados para lamas fecais e alguns tratamentos atualmente em pesquisa, que possuem perspectivas de implementação. Inclui-se nesta secção a desidratação de lamas porque, em geral, nos países em desenvolvimento, esta atividade é integrada com o tratamento das lamas fecais.

Refere-se que quando existem instalações industriais ou comerciais, as lamas provenientes das mesmas poderão conter metais pesados e/ou gorduras e óleos em grandes concentrações, sendo que as lamas devem ser tratadas separadamente. Outro aspecto a ter em questão é naturalmente o custo do sistema. Por vezes existe grande dificuldade em estimar o custo total do sistema, devido à variabilidade de diversos fatores, que são também dependentes do local. Os custos associados aos diversos tratamentos não serão discutidos no âmbito da presente dissertação.

A desidratação das lamas fecais consiste em retirar a água das lamas, desempenhando um processo fundamental do processo, para reduzir o volume e peso das lamas, reduzindo o custo de transporte e tratamento final. A desidratação é por vezes necessária para tratamento posterior, como a compostagem ou uso de lamas como combustível.

A desidratação pode ser realizada através de processos naturais, por evaporação, evapotranspiração, filtração, separação por gravidade ou por meios mecânicos, realizados por processos de pressão, compactação e centrifugação. A escolha do método de desidratação deve ter em conta o tipo de lamas a espessar, disponibilidade de terreno, custos e complexidade do sistema (Sperling & Chernicharo, 2005).

Para melhor entender o processo de desidratação e funcionamento dos diferentes processos de separação é fundamental entender os quatro tipos de ligação de água existentes nas lamas. Apresenta-se, em seguida, uma descrição síntese de cada, segundo Spinosa & Vesilind (2001), e representadas esquematicamente na Figura 3.13.

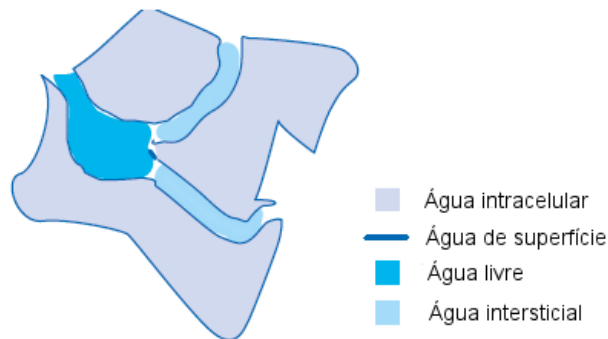


Figura 3.13: Formas de ligação de água existente em lamas fecais. Adaptada de Kopp and Dichtl (2001) em Strande, et al. (2014).

- **Água Livre:** Caracteriza-se pela água que não está ligada a partículas, movendo-se livremente e sem interação. Sob esta forma, a água é relativamente fácil de remover. Pode ser separada por tecnologias que utilizem princípios de filtração ou decantação.
- **Água intersticial:** Representa a água que existe entre os flocos e microrganismos, mantendo-se através de forças de capilaridade.

- **Água de superfície:** Corresponde à água que cobre as superfícies das partículas de lamas. Está ligada por forças adsorventes e absorventes, sem possibilidade de se mover livremente.
- **Água intracelular:** Água contida no interior das células. A extração deste tipo de água é bastante difícil, podendo ter lugar através de processos térmicos.

Apresentam-se, na Tabela 3.5, percentagens de sólidos totais e de conteúdo de água de lamas fecais, com correspondente designação de propriedades físicas.

Tabela 3.5: Valores de teor de água e sólidos totais com respetiva identificação de mecânicas Adaptada de Sperling & Chernicharo (2005).

Conteúdo em água (%)	Conteúdo em matéria seca (%)	Propriedades físicas das lamas
100 a 75	0 a 25	Lama líquida
75 a 65	25 a 35	Composto semi sólido
65 a 40	35 a 60	Sólido rijo
40 a 15	60 a 85	Lama em grânulos
15 a 0	85 a 100	Lamas desintegrada em pó

Existem diversos fatores que influenciam a capacidade e facilidade de desidratação das lamas, tais como a existência, ou não, de tratamento inicial e a idade e duração de armazenamento das lamas fecais. As lamas frescas, como as provenientes de casas de banho públicas, são mais difíceis de desidratar que as lamas mais estabilizadas, resultantes, por exemplo, de fossas sépticas. No caso de existir grande quantidade de lamas frescas para tratar, é frequentemente vantajoso misturá-las com lamas mais estabilizadas.

Para aumentar o conteúdo de sólidos e auxiliar a desidratação, podem adicionar-se produtos secos, como serradura. Refere-se que o efluente resultante da desidratação requer, em regra, tratamento posterior, devido ao elevado teor de microrganismos patogénicos, matéria orgânica, sais e amónia.

Para todos os tipos de tratamento de lamas fecais, aconselha-se o pré-tratamento, de modo a remover resíduos sólidos urbanos presentes nas lamas, assim como evitar entupimentos e avarias no sistema.

Os métodos de pré-tratamento mais simples são os sistemas de gradagem, para remoção de resíduos sólidos, através de redes, como na Figura 3.14, e barras verticais ou horizontais espaçadas. Existem outras tecnologias de pré-tratamento mais complexas, como desengordurador (*'grease trap'*), adequado para lamas com elevados conteúdos de óleos e gorduras, e câmara de desarenação (*'grit chamber'*) para remoção de areias (Tilley, et al., 2014).



Figura 3.14: Pré-tratamento por gradagem numa estação de tratamento de lamas fecais em Kampala, Uganda. Retirada de Strande et al. (2014).

3.5.2. Espessamento mecânico de lamas fecais

Teoricamente, as tecnologias de espessamento mecânico podem ser utilizadas em lamas fecais, sendo que apenas algumas já foram efetivamente testadas, como por exemplo, sistemas de centrifugação na Malásia. Apresentam-se resumidamente os quatro principais equipamentos mecânicos: filtro de banda (*'belt filter'*), centrifuga, filtro prensa (*'frame filter press'*) e prensa de parafuso (*'screw press'*), que são meios mecânicos utilizados, em regra, em ETAR. Refere-se que devida à pouca experiência com lamas fecais, devem realizar-se ensaios experimentais previamente, em instalações piloto.

Para todos estes processos se aconselha a utilização prévia de floculantes. O filtro de banda baseia-se no esmagamento das lamas entre duas cintas, requerendo maquinaria específica. Deste processo resultam odores difíceis de controlar. Na centrifugação, as lamas são introduzidas num cilindro, que ao entrar em rotação utiliza a força centrífuga que comprime as lamas contra as paredes do mesmo. As lamas e o efluente são retirados através de um parafuso de Arquimedes. Este processo requer bastante energia para o seu funcionamento.

O filtro prensa consiste num sistema de painéis verticais que criam uma câmara onde se introduzem as lamas, que devido a altas pressões de esmagamento desidratam as lamas. Finalmente o sistema de prensa de parafuso baseia-se um parafuso que roda dentro de um cilindro, introduzindo-se as lamas de um lado, que sofrem pressão pela redução da distância entre o parafuso e o cilindro. O efluente resultante sai pelos orifícios do cilindro, enquanto as lamas espessadas saem pelo outro lado do cilindro. Apresenta-se, na Figura 3.15, um esquema deste equipamento.

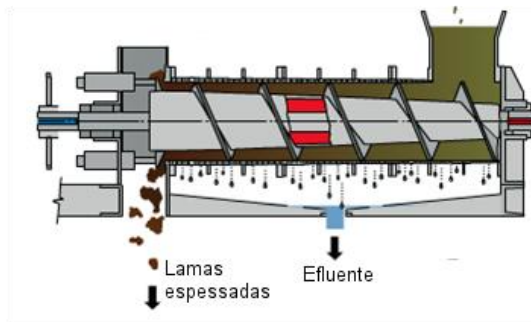


Figura 3.15: Funcionamento do sistema de filtro prensa. Adaptada de FCK Screw Press (2008).

3.5.3. Espessador gravítico

Esta tecnologia é tipicamente utilizada após o pré-tratamento (Tilley, et al., 2014). O processo que ocorre é de separação sólido-líquido. Este tratamento originalmente desenvolvida para estações de tratamento de águas residuais, pode ser aplicado também para lamas fecais com elevado teor em água. O processo que ocorre é a sedimentação dos sólidos suspensos, acumulando lamas no fundo do tanque e clarificando o efluente, enquanto as partículas mais leves como gorduras e óleos flutuam formando uma camada de espuma. Apresenta-se, na Figura 3.16, o esquema de funcionamento de um espessador gravítico.

As lamas e efluentes resultantes desta tecnologia necessitam de posterior tratamento (dependendo do seu destino) sendo que possuem grande concentração de microrganismos patogênicos. As lamas resultantes contêm muita água e podem não estar estabilizadas.

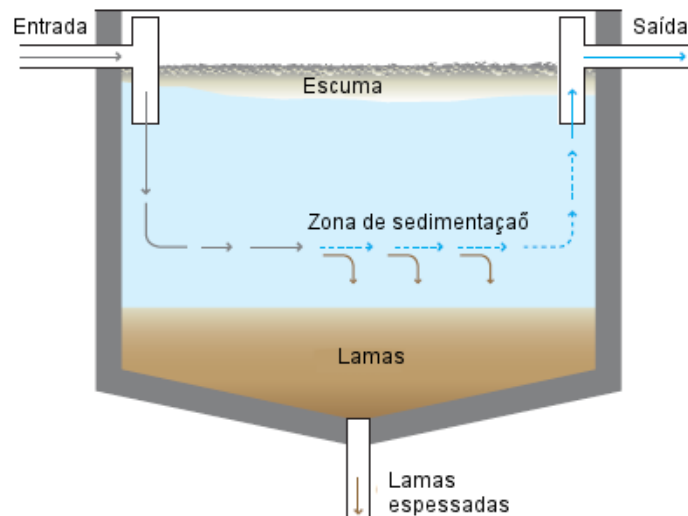


Figura 3.16: Esquema de um espessador gravítico de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al. (2014).

Para lamas fecais os tanques são, em geral, de seção retangular e é necessário o mínimo de dois tanques em paralelo. Em países em desenvolvimento, a remoção das lamas do sistema é efetuada em geral através de caminhões de vácuo.

Existe também a opção de lagoas de sedimentação, com o mesmo funcionamento do tanque de sedimentação, mas de tamanho superior, apresentando-se na Figura 3.17 um exemplo esquemático de um órgão deste tipo. Em comparação com o espessador gravítico, este sistema apresenta uma acumulação de lamas superior e maiores tempos de retenção.

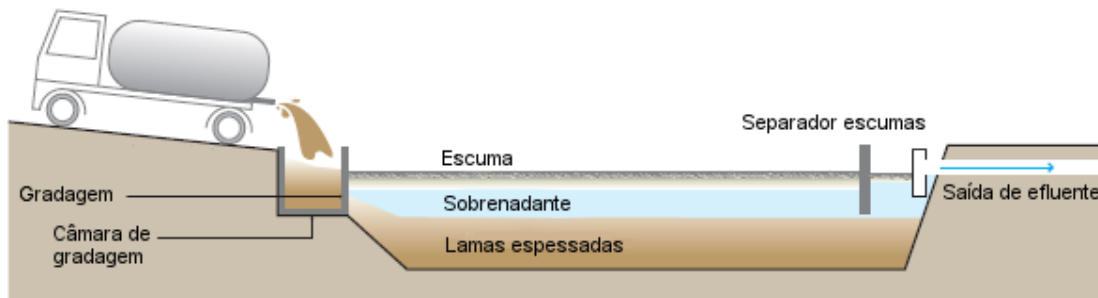


Figura 3.17: Esquema de uma lagoa de sedimentação de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al., 2014.

Este tipo de sistemas foi estudado nos anos 90, no Gana, pelo *Sandec* e pelo *Instituto Investigação  gua do Gana*, obtendo um eficiência de remo o de CBO_5 , CQO e ovos helmintos da ordem e 50%. A eficiência de sedimenta o dos sólidos suspensos situa-se entre 50 e 60%, podendo atingir 80%. A remo o de microrganismos patog nicos não   significativa (Heinss, et al., 1998).

3.5.4. Leitos de secagem

Esta tecnologia constitui um processo simples e eficaz de desidrata o das lamas. Baseia-se num meio filtrante pouco profundo, constituído por areia e cascalho, com um dreno no fundo para a coleta do efluente. As lamas são descarregadas na superfície do leito onde ocorre desidrata o por evapora o e percola o do efluente através de meio filtrante. Na Figura 3.18 apresenta-se um esquema de um leito de secagem.

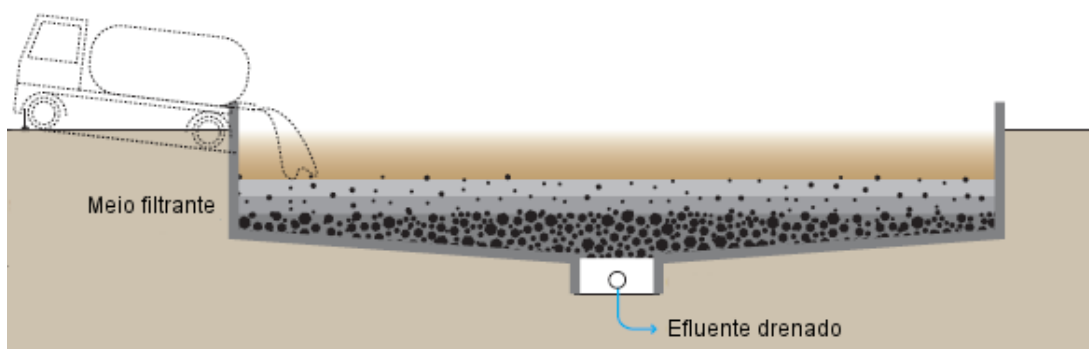


Figura 3.18: Esquema de um leito de secagem de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al. (2014).

Segundo Wang et al. (2007) os drenos não devem apresentar diâmetro inferior a 100 mm, e o fundo dos leitos de secagem deve ter uma inclina o mínima de 1,5%. As lamas devem ser aplicadas em camadas de 20 a 30 cm. Deve-se ter em aten o que quanto maior a espessura da camada de lamas, maior será a quantidade de lamas que poderão ser aplicadas, mas irá

consequentemente aumentar o tempo de secagem e reduzir o número de utilizações do leito. Para as lamas mais estabilizadas, que possuem maior facilidade de desidratação, poderão ser aplicadas espessuras e taxas de carregamento de sólidos totais superiores. A duração do ciclo de secagem pode variar, sendo em geral da ordem de 5 a 20 dias, variando conforme o clima local e a taxa de carregamento de sólidos totais (Strauss & Montangero, 2002).

Para o dimensionamento do leito, deve definir-se a taxa de carregamento das lamas fecais, que representa a massa seca de sólidos por metro quadrado por ano. Este parâmetro varia muito de acordo com as condições locais, sendo usual valores na gama entre 100 e 200 kg ST/(m².ano), em climas tropicais. O limite superior desta gama de valores, adequa-se a condições ótimas, ou seja, baixa humidade, temperatura elevada, baixa precipitação e/ou grande proporção de lamas frescas.

A percolação do efluente origina uma redução do volume das lamas de 50 a 80%. As lamas secas apresentam concentrações de sólidos totais entre 25 e 70%, conforme a taxa de carregamento e tempo de retenção. A degradação de matéria orgânica não é considerada significativa, e as lamas e efluentes resultantes contêm, naturalmente, microrganismos patogénicos.

As lamas secas provenientes de leitos de secagem, quando o dimensionamento e manutenção do sistema são adequados, podem ser utilizadas como condicionador ou fertilizante de solo. Na maioria das cidades, as lamas resultantes desta tecnologia necessitam de posterior armazenamento e secagem ao sol, para possuir qualidade higiénica para usos sem restrição (Strauss & Montangero, 2002). Aconselha-se o armazenamento de lamas por períodos até um ano, para ter lugar redução adequada dos microrganismos patogénicos, e o tratamento do efluente (drenados) em sistemas de lagunagem.

A operação com lamas secas deve ser sempre feita com proteção adequada dos trabalhadores. A retirada das lamas poderá ser feita manualmente ou mecanicamente, sendo necessária particular atenção para minimizar a retirada da camada de areia do meio filtrante. Este tratamento pode causar incómodos a comunidades locais, nomeadamente maus odores e presença de moscas, devendo-se ter em atenção estes riscos, quando da localização da instalação (Tilley, et al., 2014).

3.5.5. Leitos de secagem com macrófitas

Esta tecnologia, inicialmente desenvolvida para águas residuais, tem sido também aplicada ao tratamento de lamas fecais em alguns países, como Dinamarca e Portugal (ETAR de Barroca d'Alva em Alcochete), com resultados promissores, existindo, no entanto, poucos exemplos de implementação a grande escala. A tecnologia é similar à dos leitos de secagem, diferindo pela existência de plantas macrófitas, maiores volumes e profundidades do leito, e de não ser necessário a remoção das lamas no fim de cada ciclo de secagem. As lamas são descarregadas no leito (em camadas até 20 cm de espessura) e o efluente infiltra no meio filtrante, onde é recolhido pelo dreno de coleta (Figura 3.19).

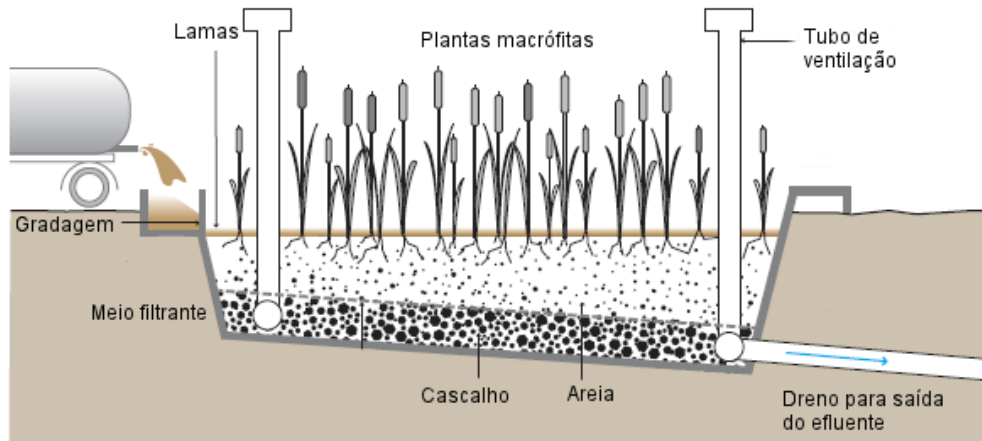


Figura 3.19: Esquema de um leito de secagem com macrófitas de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al. (2014).

Os processos de tratamento que ocorrem incluem a desidratação, mineralização e estabilização das lamas fecais. Estes dependem de diversos fatores: tipo e tamanho de meio filtrante, tipo de plantas, clima, característica das lamas, taxas de sólidos e carga e frequência de carregamentos. A eficiência da desidratação, em climas tropicais, conduz a percentagens de matéria seca superiores a 30%. Os processos estabilização e mineralização são limitados, promovendo a redução de odor e redução de microrganismos patogênicos e liberação de nutrientes inorgânicos que promovem o crescimento e fertilização das plantas. O esvaziamento do leito com transporte do composto a destino final, tipicamente a agricultura, pode ocorrer em intervalos médios de cerca de 5 a 10 anos.

As plantas macrófitas caracterizam-se pela capacidade de se desenvolverem parcialmente ou totalmente submersas em água. As características das macrófitas, que melhoram a eficiência do tratamento, baseiam-se no rápido crescimento em condições adversas, grande capacidade de transpiração, capacidade de desenvolver novas raízes quando ficam encapsuladas nas lamas e tolerância a diversos níveis de água e a valores extremos de pH. As funções das plantas macrófitas incluem a fixação do meio filtrante, maior redução de humidade (em comparação com os leitos de secagem sem macrófitas), providenciar maior área de superfície para crescimento microbial no interior da camada de lamas, transferência de oxigênio para as lamas e absorção de nutrientes e metais pesados. A liberação de oxigênio permite que ocorram processos que melhoram a eficiência de tratamento, como a nitrificação e desnitrificação, sendo que a redução de azoto é de cerca de 60 a 80%.

Dos diversos tipos de macrófitas destacam-se as *Macrófitas Emergentes*, por serem as que possuem taxa superior de multiplicação e desenvolvimento de nova biomassa, além de que as folhas crescem acima da camada de lamas, utilizando eficientemente a radiação solar para fotossíntese e transpiração. Exemplos deste tipo de macrófitas são *Phragmites sp.* e a *Typha sp.*

O clima é um fator importante, sendo esta solução indicada para locais húmidos e chuvosos, sendo difícil a sobrevivência das plantas num clima demasiado quente e seco. Uma solução para climas quentes, que permite a sobrevivência das plantas, é garantir o nível de água nos leitos através de limitar a saída do efluente, obturando totalmente ou parcialmente, o dreno de coleta.

Estas instalações, quando comparadas com as convencionais, são esteticamente interessantes, sendo bem aceite pelas comunidades, constituindo muitas vezes um habitat para diversas espécies. No geral, este tratamento apresenta diversas vantagens de boa eficiência de desidratação, especialmente em climas mais quentes e secos (com adequada manutenção), custos de investimento e operacionais relativamente baixos, pouca manutenção e não necessita de energia elétrica. O efluente (drenado) requer tratamento posterior (Tilley, et al., 2014).

3.5.6. Co-compostagem de lamas fecais

A compostagem é um processo biológico que envolve a decomposição de matéria orgânica através de microrganismos, em condições aeróbias. Deste processo resulta um “composto”, que consiste em matéria orgânica estabilizada com nutrientes que apresenta grande valor como fertilizante orgânico. Os sistemas de compostagem podem ser abertos ou fechados. Na Figura 3.20 apresenta-se um esquema da compostagem em espaço fechado, com diversas “pilhas”.

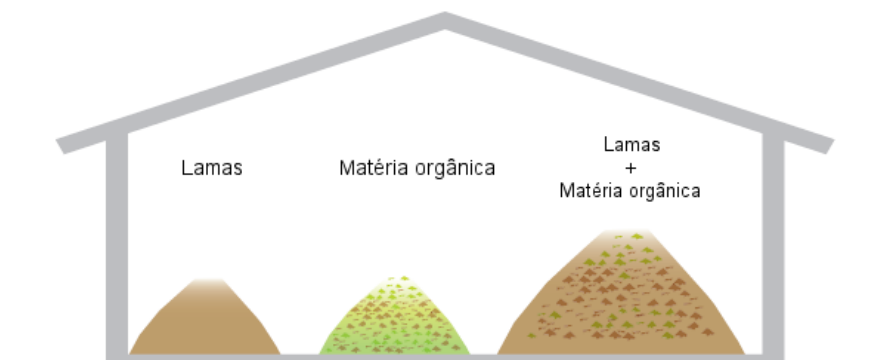


Figura 3.20: Esquema de co-compostagem de lamas fecais. Adaptada de Tilley et al. (2014).

Alguns parâmetros importantes neste processo incluem o rácio de carbono e azoto, que se deve situar entre 20 e 30; a concentração de oxigénio, para garantir as condições aeróbias; a humidade, que deve estar entre 40 e 60%, para garantir a biodegradação e prevenir a saturação das lamas que podem levar a condições anaeróbias e emissão de odores e o tamanho das partículas, sendo favoráveis partículas de tamanho reduzido, por possuírem maior área específica para a degradação microbiana. A mistura das lamas fecais com resíduos municipais orgânicos possui a vantagem de aproveitar o elevado conteúdo de azoto presente na excreta e urina das lamas, e o elevado teor orgânico e baixa humidade dos resíduos municipais. São adequadas para a co-compostagem lamas fecais que já foram submetidas a desidratação (por exemplo em leitos de

secagem ou lagoas de sedimentação), sendo também possível utilizar lamas frescas, aplicadas por pulverização, necessitando no entanto de manutenção mais complexa.

Durante este processo tem lugar a destruição dos microrganismos patogênicos devido às elevadas temperaturas atingidas no processo exotérmico (60-70°C). O processo total de compostagem demora entre 6 a 8 semanas. Este tratamento requer manutenção e gestão técnica complexa, para gerar um produto seguro, sendo necessário garantir as condições aeróbias, através de remexer manualmente ou mecanicamente as pilhas de compostagem, controlo de temperatura e humidade, além de, em regra, se necessitar de matéria orgânica adicional.

3.5.7. Co-tratamento em lagoas de estabilização

O sistema de lagunagem consiste num conjunto de lagoas de diferentes características e profundidades, frequentemente utilizadas para tratamento de águas residuais e com capacidade, em regra, de realizar co-tratamento de lamas fecais. Existem três tipos de lagoas: lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa aeróbia ou de maturação, que são utilizadas isoladamente ou em série, sendo que a maior eficiência do tratamento é obtida quando se instalam em série uma ou mais lagoas de cada tipo (Figura 3.21).

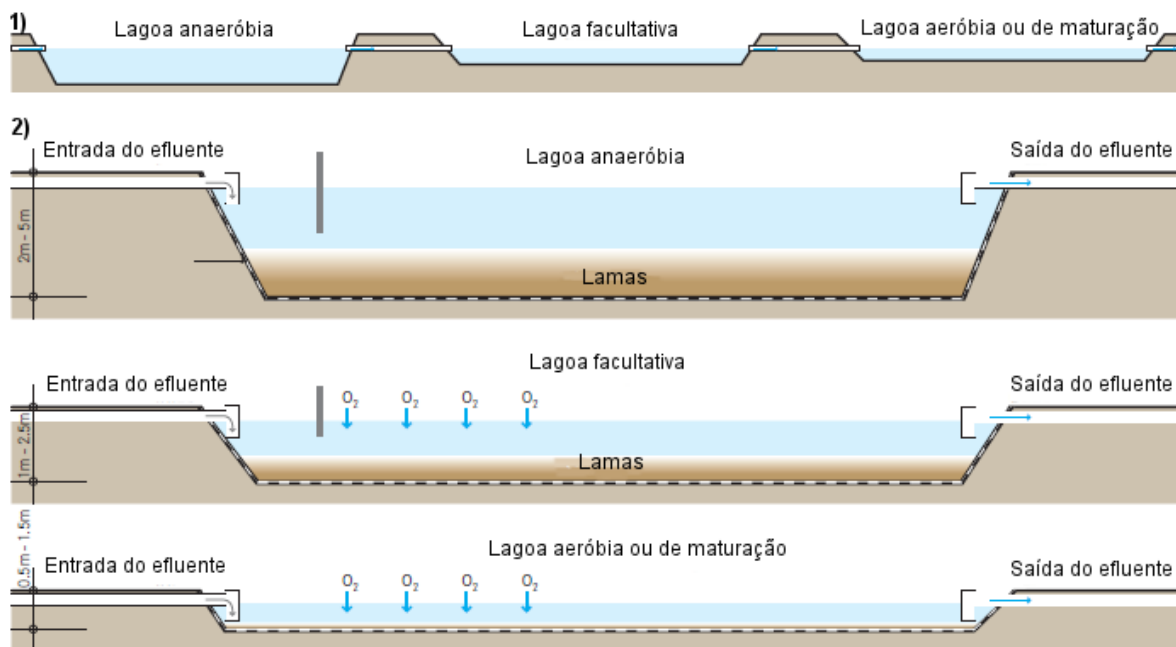


Figura 3.21: Perfil longitudinal (1) e transversal (2) de um sistema de três lagoas. Adaptada de Tilley et al. (2014).

Na lagoa anaeróbia ocorre o tratamento primário, com sedimentação de sólidos e degradação anaeróbia, com conseqüente redução da matéria orgânica, tendo lugar uma remoção de CBO_5 entre 60% e 70%. O tempo de retenção deste tipo de lagoa situa-se, em regra, entre 1 e 7 dias. As lagoas anaeróbias podem possuir profundidades entre 2 e 5 metros (Tilley, et al., 2014) e rácio

comprimento/largura entre 1 e 3 (Sperling & Chernicharo, 2005). As lamas acumuladas devem ser retiradas quando atingirem 1/3 do volume da lagoa, usualmente cada 2 a 5 anos (Tilley, et al., 2014). Para determinar o volume de lamas acumuladas estima-se a taxa anual de acumulação de lamas por habitante, e que se situa entre 0.03 e 0.1 m³/(hab.ano) segundo Mendonça (1990) e Gonçalves (2000), em Sperling & Chernicharo (2005), sendo o valor inferior usual em climas mais quentes.

Para o dimensionamento da lagoa anaeróbia, é necessário definir o caudal de descarga e a CBO₅. A CBO₅ aumenta com a “intensidade” das águas residuais, podendo variar entre 200 e 750 mg/L segundo Mara (2004) em Strande, et al. (2014).

A carga volumétrica, expressa em quilogramas de CBO₅ por m³ por dia, deve aumentar conforme a temperatura, como se observa na Figura 3.22, admitindo-se, em regra, valores entre 0,1 e 0,35 kg CBO₅/(m³.dia) (Sperling & Chernicharo, 2005).

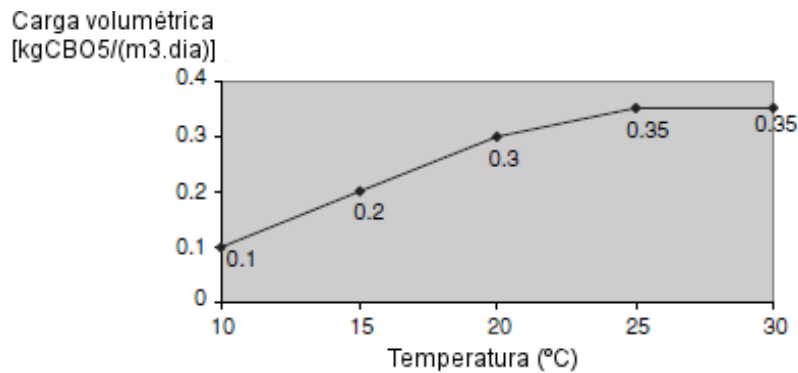


Figura 3.22: Relação entre taxa diária de carregamento volumétrica e temperatura em lagoas anaeróbias, segundo Mara, em Sperling & Chernicharo (2005).

As lagoas facultativas devem possuir rácios comprimento/largura entre 2 e 4 (segundo EPA (1983) e Abdel-Razik (1991) em Sperling & Chernicharo (2005)). Estas lagoas podem apresentar profundidades entre 1 e 2,5 metros, permitindo a decantação dos sólidos, com degradação anaeróbia no fundo da lagoa. No topo da lagoa tem lugar degradação aeróbia, promovida pelo oxigénio decorrente do arejamento (ação do vento) e da fotossíntese, quando existem algas. Possui tempos de retenção entre 5 a 30 dias. A eficiência de remoção de CBO₅, do conjunto destes dois tipos de lagoas, em série, é da ordem de 75% da CBO₅ (Tilley, et al., 2014).

Para o dimensionamento deste tipo de lagoas é necessário definir a carga de CBO₅ por unidade de área. As cargas admissíveis variam conforme o clima, apresentando-se na Tabela 3.6 os intervalos de valores correspondentes a regiões tropicais e subtropicais (Sperling & Chernicharo, 2005).

Tabela 3.6: Valores de taxas de carregamento de CBO_5 por hectare e por dia, em diferentes climas de regiões tropicais e subtropicais. Adaptada de Sperling & Chernicharo (2005).

	Carga de CBO_5 (kg CBO_5 /(ha.dia))
Região com invernos quentes e elevada luz solar	240 a 350
Região com invernos moderados e luz solar	120 a 240
Região com invernos frios e reduzida luz solar	100 a 180

Para determinar a eficiência de remoção de CBO_5 da lagoa facultativa, deve-se definir inicialmente o tipo de regime da lagoa, para estimar o coeficiente de remoção de CBO_5 . Os modelos a adotar dependem essencialmente da forma do reator e das condições de mistura.

Simplificadamente, existem dois tipos principais de regimes hidráulicos, idealizados, para definir os sistemas de lagunagem: em êmbolo (“*Plug-flow*”) e mistura completa (“*complete-mix*”). O regime em êmbolo, para reatores alongados, considera que não existe dispersão, ou seja, que o efluente entra por um lado do reator até ao final, sem ter lugar dispersão longitudinal. A mistura completa, caracterizada para reatores com rácios comprimento/largura aproximadamente iguais a um, considera que as partículas entram na lagoa e são imediatamente dispersas por todo o reator. Existem algumas variações, das quais se destacam a mistura completa em reatores em série (“*complete-mix reator in series*”) e mistura dispersa (“*dispersed flow*”). Apresenta-se, na Figura 3.23, esquemas simplificados de cada tipo de regime hidráulico referido.

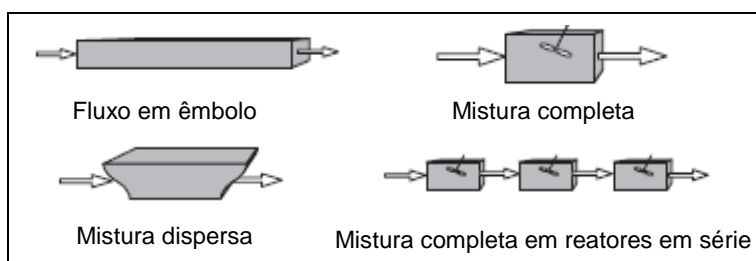


Figura 3.23: Esquema dos principais tipos de regime hidráulico em sistemas de lagunagem. Adaptada de Sperling & Chernicharo (2005).

Para rácios de comprimento/largura entre 2 e 4, o regime real é de mistura dispersa. Porém, para o dimensionamento de lagoas facultativas, considera-se frequentemente o modelo de mistura completa.

O valor do coeficiente de mineralização é superior em lagoas primárias (anaeróbias), pelo facto de conterem uma fração significativa de matéria orgânica facilmente biodegradável, sendo que o efluente destas lagoas, e que aflui à lagoa facultativa, necessita de maior tempo, para a biodegradação ocorrer. Em modelos de mistura completa, o valor do coeficiente de mineralização ou de decaimento a 20°C, para lagoas facultativas, pode variar entre 0,25 e 0,32 d^{-1} . Segundo um estudo de Von Sperling (2001), em Sperling & Chernicharo (2005), para avaliação da remoção de

CBO₅ num sistema de lagunagem do Brasil, o valor do coeficiente de remoção de 6 lagoas facultativas foi de 0,27 d⁻¹.

Para ajustar o valor do coeficiente de remoção de CBO₅ 20°C para a temperatura real, utiliza-se a expressão (3.2). Existem diferentes coeficientes de temperatura propostos. Para sugerem um coeficiente de temperatura de 1,05 para um coeficiente de remoção a 20°C de 0,3 d⁻¹ (Silva e Mara (1979), em Sperling & Chernicharo (2005)).

$$K_T = K_{20} \times \theta^{(T-20)} \quad (3.2)$$

Sendo:

K_T – Coeficiente de remoção de CBO₅ para a temperatura T (d⁻¹)

K_{20} – Coeficiente de remoção de CBO₅ para a temperatura de 20°C (d⁻¹)

T – Temperatura (°C)

θ – Coeficiente de temperatura(–)

O efluente total possui uma componente particulada, gerada pelos sólidos suspensos do efluente e uma componente solúvel, que representa o restante CBO₅. Para determinar a concentração de CBO₅ solúvel do efluente da lagoa facultativa, utiliza-se a equação (3.3), para o regime de mistura completa.

$$S = \frac{S_o}{1 + K \times t} \quad (3.3)$$

Sendo:

S – Concentração total de CBO₅ do efluente (mg/L);

S_o – Concentração solúvel de CBO₅ do afluente (mg/L)

K – Coeficiente de remoção de CBO₅ (d⁻¹)

t – tempo de retenção (d)

Para determinar a concentração de CBO₅ particulado do efluente da lagoa facultativa, deve-se definir a quantidade de CBO₅ gerada pelos sólidos suspensos existentes no efluente. De acordo com Mara (1995), em Sperling & Chernicharo (2005), 1 mgSS/L gera entre 0,3 e 0,4 mgCBO₅/L (sob a forma particulada).

Para determinar os coliformes fecais do efluente das lagoas facultativas deve-se ter de novo em consideração o regime hidráulico. Para esses efeitos, a adoção de regime em êmbolo ou de mistura completa produz resultados bastante diferentes, devendo-se considerar o regime de mistura dispersa, que é o regime mais próximo que retrata o desempenho das lagoas facultativas. Apresentam-se, nas equações (3.4) e (3.5), as fórmulas para a estimativa da concentração de bactérias em regime de mistura dispersa (Sperling & Chernicharo, 2005).

$$N = N_o \frac{4 a e^{1/2d}}{(1 + a)^2 e^{a/2d} - (1 - a)^2 e^{-a/2d}} \quad (3.4)$$

Em que,

$$a = \sqrt{1 + 4 K_b t d} \quad (3.5)$$

Sendo:

N_o – Concentração de coliformes no afluente (org/100mL);

N – Concentração de coliformes no efluente (org/100mL);

K_{bt} – Coeficiente de decaimento bacteriano para a temperatura T (d^{-1})

d – Número de dispersão (–)

t – Tempo de retenção (dias)

Existem várias expressões para determinar o número de dispersão da lagoa, apresentando-se a equação (3.6), que é uma expressão simplificada, de Von Sperling (1999) em Sperling & Chernicharo (2005), que apresenta resultados análogos aos obtidos através de outras expressões mais complexas.

$$d = \frac{1}{(L/B)} \quad (3.6)$$

Sendo:

d – Número de dispersão (–);

L – Comprimento da lagoa (m);

B – Largura da lagoa (m)

De igual modo, o coeficiente de decaimento bacteriano pode ser determinado por diversas expressões, apresentando-se a equação (3.7), resultante de um estudo efetuado em 82 lagoas de todo o mundo (Sperling & Chernicharo, 2005):

$$K_b = 0.542 H^{-1.259} \quad (3.7)$$

Sendo:

K_b – Coeficiente de decaimento bacteriano para 20°C(–);

H – Profundidade da lagoa (m)

Para ajustar o valor do coeficiente de decaimento bacteriano para temperatura diferente de 20°C, utiliza-se a equação (3.8), similar à expressão (3.2). Yanez (1993), em Sperling & Chernicharo (2005), aconselha um coeficiente de temperatura 1,07.

$$K_{bT} = K_{b20} \times \theta^{(T-20)} \quad (3.8)$$

Sendo:

K_{bt} – Coeficiente de decaimento bacteriano para a temperatura T (d^{-1})

K_{b20} – Coeficiente de decaimento bacteriano para a temperatura de 20°C (d^{-1})

θ – Coeficiente de temperatura(–)

A lagoa de maturação possui menores profundidades, que podem variar entre 0,5 e 1,5 metros, permitindo a penetração da luz solar e transferência de oxigênio, por rearejamento, em grande parte, devido à ação do vento. Estas lagoas destinam-se, essencialmente, à remoção de microrganismos patogênicos, atingindo-se grandes eficiências, tal como se apresenta na Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Eficiência de remoção de microrganismos patogênicos para várias combinações de lagoas, em sistemas de lagunagem. Adaptada de Sperling & Chernicharo (2005).

Parâmetro	Eficiência de lagoas (*)			
	Facultativa	Anaeróbia + Facultativa	Facultativa + maturação	Anaeróbia+facultativa +maturação
Coliformes fecais	1-2 log	1-2 log	3-6 log	3-6 log
Bactérias	1-2 log	1-2 log	3-6 log	3-6 log
Vírus	≤ 1 log	≈ 1 log	2-4 log	2-4 log
Cistos protozoários	≈ 100%	≈ 100%	100%	100%
Ovos Helmintos	≈ 100%	≈ 100%	100%	100%

(*)1 log = 90%; 2 log = 99%; 3 log = 99.9%; 4 log = 99.99%; 6 log = 99.99999%;

O sistema de lagunagem pode incluir uma lagoa de maturação com chicanas ou várias lagoas de maturação em série. Opta-se por descrever, nesta dissertação, alguns critérios de dimensionamento de lagoas do primeiro tipo. Inicialmente define-se o tempo de retenção, a profundidade da lagoa e o número de chicanas separadoras. A partir destes valores e com o caudal médio diário, determina-se o volume e a área total mínima, para a lagoa de maturação. Após estabelecido o rácio e dimensões da lagoa, calcula-se o rácio interno entre o comprimento e largura da lagoa através da equação (3.9), para lagoas com chicanas longitudinais.

$$L/B = \frac{L}{B} (n + 1)^2 \quad (3.9)$$

Sendo:

$\frac{L}{B}$ – Rácio interno comprimento/largura (–)

L – Comprimento da lagoa (m)

B – Largura da lagoa (m)

n – Número de divisões internas

As principais vantagens deste tratamento são a grande eficiência de remoção de sólidos, CBO_5 e microrganismos patogénicos. Além disso, o processo envolve baixos custos de operação, não produz incómodos de odores e insetos, sendo especialmente recomendado para países em desenvolvimento, com climas de quentes e grande exposição solar. Em contrapartida, é necessário dispor de grandes áreas (Tilley, et al., 2014).

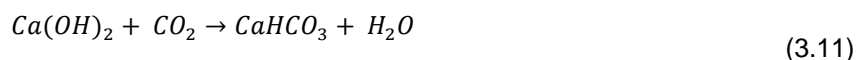
3.5.8. Adição de cal

Este tratamento, já testado em países em desenvolvimento, é um processo de estabilização de matéria orgânica, redução de microrganismos patogénicos e precipitação de metais pesados e fósforo. Consiste em misturar a cal virgem (CaO) ou hidratada ($Ca(OH)_2$) às lamas, de modo a elevar o pH a 12 ou 13. A cal hidratada resulta da reação de cal virgem com água (Equação 3.10).



No processo reduz os microrganismos patogénicos através da temperatura e ação de amónia que é produzida no processo. Como desvantagem, este processo pode afetar a presença de microrganismos importantes para tratamentos posteriores, como por exemplo, para a compostagem. Quanto maior a quantidade e tempo de contacto da cal com as lamas, maior será a eficiência do processo.

É necessário ter em atenção que a reação da cal hidratada com dióxido de carbono resulta bicarbonato de cálcio (Equação 3.11) que eleva o pH, podendo cessar ou regredir a degradação de matéria orgânica.



É necessário ter em atenção o local para o armazenamento da cal, devido ao risco da mesma em contacto com humidade e fogo. É fundamental uma boa manutenção técnica, respeitando os procedimentos de segurança e saúde, em como utilizar as proteções para o contato com a cal, por esta ser altamente corrosiva para a pele, olhos e pulmões.

3.6. Tratamentos inovadores

3.6.1. Tratamento através de organismos saprófagos

Organismos saprófagos, '*Saprophages*' na língua inglesa, são organismos que se alimentam de matéria em morta ou em decomposição, tais como minhocas, milípedes ou larvas de insetos. Em países em desenvolvimento, têm existido vários tratamentos inovadores que utilizam este tipo de organismos para degradar a matéria orgânica ('*Conversion of Organic Refuse by Saprophages (CORS)*') e posteriormente utilizar os resíduos como produto para tratamento (EAWAG, 2013). Apresenta-se, resumidamente nesta secção, dois tratamentos promissores deste tipo:

compostagem com vermes (*Vermicomposting*) e tratamento com moscas '*Black Soldier*' (*Black Soldier Flies*). A compostagem com vermes reduz a matéria orgânica através da utilização de minhocas (*earthworms*), apresentando grandes eficiências de tratamento. Estes organismos não conseguem sobreviver em lamas frescas, necessitando de algum tipo de suporte, tal como, camadas de terra e composto (*vermi-compost*). Apesar de constituir um processo de compostagem, não são atingidas temperaturas muito elevadas, não tendo como objetivo a redução de microrganismos patogénicos. Este é um tratamento ainda em desenvolvimento, apresentando alguns inconvenientes devido à sensibilidade dos vermes, como a concentrações elevadas de componentes tóxicos e o tempo de tratamento poderá ser superior ao tratamento de compostagem térmica.

O tratamento através de moscas '*Black Soldier*', que são comuns em climas temperados e quentes, utiliza o facto de que na sua fase de crescimento as larvas alimentam-se de matéria orgânica em decomposição, tal como estrume, fruta e vegetais. Esta fase tem uma duração de 2 a 4 semanas, sendo o único período onde os organismos necessitam de alimentação. O facto de que na fase adulta já não necessitam de alimentação apresenta a vantagem de reduzido risco como vetor de transmissão de doenças. Recentemente tem existido bastantes estudos sobre a degradação orgânica através destas larvas em resíduos sólidos urbanos, estrume e lamas fecais, tendo-se registado reduções de volume rápidas em resíduos orgânicos até 75%, além de remoção de nutrientes como fósforo e nitrogénio.

3.6.2. Tratamento com amónia

O tratamento com amónia, ou estabilização alcalina como é referido em tratamentos de águas residuais, tem como objetivo a redução de microrganismos patogénicos. O princípio consiste na entrada de amónia nas células que perturba o funcionamento dos organismos. Em lamas fecais têm existido desenvolvimentos na utilização da amónia presente na excreta, aproveitando a alta concentração de amónia presente na urina, através de coleta separada em sistemas de saneamento e mistura posterior as lamas. A ureia sintética pode ser utilizada como aditivo, para auxiliar o tratamento quando a excreta possui baixa concentração de amónio, com a desvantagem de aumentar os custos do processo e limitar a viabilidade económica. A principal vantagem perante o tratamento com cal é ser necessário condições menos exigentes e possuir aplicabilidade em locais com instalações sanitárias com separação de urina. Apresenta porém a desvantagem da estabilidade de nitrogénio no produto final do tratamento é possível conseguir benefício total do nutriente.

3.6.3. Secagem solar

Esta tecnologia de desidratação é aplicada em larga escala nos Estados Unidos e na Europa desde o século IXX para tratamento de águas residuais. Este tratamento baseia-se na secagem das lamas em estruturas do tipo "estufa", com bases de cimento onde são depositadas as lamas,

com coberturas transparentes, que permitem a passagem da luz solar. A cobertura impede alguma passagem de radiação UV, diminuindo ligeiramente a redução de microrganismos patogénicos, apresentando porém bons resultados de inativação deste microrganismos. O conteúdo de massa seca é cerca de 40% ao fim de 12 dias, e até 90% após 20 dias de secagem segundo (Michael Hill & Bux, 2011).

3.7. Destino Final

O destino final a dar às lamas fecais deve, idealmente, ser pensado na fase inicial do planeamento, pelo facto de que todas as etapas, especialmente as tecnologias de tratamento utilizadas, influenciam a qualidade dos produtos finais gerados e consequentemente a adequabilidade para o destino final.

A avaliação de alternativas para o destino final é um processo complexo e por vezes dispendioso que muitas vezes é ignorado como parte do dimensionamento do sistema de gestão de lamas. Deve-se procurar a sustentabilidade através da redução do volume de lamas fecais a transportar e garantir a qualidade dos produtos conforme o destino final e reutilização (Andreoli, et al., 2007).

Existem diversas alternativas para o destino final das lamas, como oceanos, aterros, reutilização na agricultura e aquacultura, descarga em terrenos baldios que foram alterados, por exemplo áreas mineiras que já não possuem potencial para fixação de vegetação devido à falta de nutrientes e matéria orgânica (Sperling & Chernicharo, 2005), deposição em trincheira e armazenamento (Tilley, et al., 2014). Existem diversos produtos valorizados por apresentarem vantagens de reutilização, nomeadamente o efluente, lama seca ou parcialmente seca, composto e biogás.

Para a descarga das lamas no meio ambiente é importante avaliar parâmetros CBO₅, CQO e NH₄, sendo que em descarga em meio aquático deve ser também considerado o grau de diluição respetivo. A descarga em meios aquáticos quando realizada sem controlo pode ter graves consequências, como poluição das margens rios e/ou lagos, contaminação fauna marítima, fenómenos de eutrofização e contaminação de fontes de consumo de água (Andreoli, et al., 2007).

No caso de lamas frescas, as alternativas de destino a considerar são a deposição em trincheira e aplicação em aterro. A aplicação direta de lamas frescas em terrenos, praticada há muito em locais como África, China e Sudeste Asiático, não é recomendada pelo elevado risco que pode apresentar para a saúde pública. Deve ser utilizada em áreas áridas ou semiáridas, com disponibilidade suficiente de área e tendo em consideração os riscos que apresenta.

A deposição em trincheira, originalmente utilizada para águas residuais nos Estados Unidos nos anos 80, tem sido implementada com sucesso com lamas fecais. Baseia-se em enterrar as lamas fecais em trincheiras e cobri-las com terra sem posterior remoção, como representado na Figura 3.24. Dois fatores importantes a ter em consideração para efetuar o a deposição em trincheira é a

disponibilidade de terreno e altura do nível freático. Assim, esta opção deve ser considerada quando o consumo de água local não tem origem subterrânea e onde existe grande disponibilidade de terreno, como em áreas rurais. É um processo simples, de baixo custo, não produz incómodos visuais ou odores, requer pouca manutenção e quando se efetua a plantação de árvores estas trazem benefícios ambientais como fixação de CO₂, proteção de erosão e possíveis benefícios económicos.



Figura 3.24: Exemplo de escavação de uma trincheira para enterramento de lamas fecais. Retirada de WIN-SA, 2011.

Na reutilização das lamas fecais é importante ter em atenção e avaliar a presença de metais pesados e de microrganismos patogénicos, através de indicadores de parasitas, como ovos helmintos, e indicadores bacterianos, como coliformes fecais por tem impacto na segurança e saúde humana e do ambiente (Heinss, et al., 1998). A aceitação e procura dos subprodutos usados são também fundamentais para garantir o eficiente funcionamento do sistema.

Historicamente a opção mais corrente de reutilização é como condicionador de solo, por ser de baixo custo e seguro, quando realizado sobre condições controladas. As lamas apresentam vantagens para a agricultura por conterem elevado conteúdo de nutrientes e matéria orgânica que melhoram a capacidade de retenção de água do solo. A reutilização de efluentes e excreta na agricultura é já utilizada em diversos países em desenvolvimento, apesar de apresentar alguns riscos. É fundamental, para o caso de reutilização, que exista uma estratégia que tenha em conta os objetivos dos utentes e prevenir impactos negativos no meio ambiente (Drechsel, et al., 2010). Os processos dos quais resultam lamas para este tipo de reutilização incluem entre outros, leitões de secagem e compostagem.

A reutilização de lamas fecais pode ser utilizada na criação de peixes ou para crescimento de flora aquática. Os nutrientes presentes nas lamas fomentam o crescimento de plantas aquáticas e

plâncton. O plâncton pode ser utilizado como alimentação para criação de peixes e as plantas aquáticas podem ser colhidas e consumidas por animais e humanos. A reutilização de excreta na aquicultura com o objetivo de incrementar a produção de peixes é um atividade antiga, originalmente realizada nos países asiáticos. Existem três tipos principais de métodos para esta atividade: lagoas que utilização efluente, lamas fecais/excreta ou produção de peixes em lagoas aeróbias, como as lagoas de maturação (Tilley, et al., 2014).

Os peixes posteriormente poderão ser utilizados como alimento para animais e também para consumo humano. No caso de consumo direto de flora ou peixes que consumiram os nutrientes é necessário tomar medidas para prevenir a transmissão de microrganismos patogênicos que podem causar riscos para a saúde. Estas precauções constam nos guias da organização mundial de saúde para a aquicultura (WHO, 2006a). Este método de destino final é adequado quando existe grande disponibilidade de terreno, água potável e clima quente, preferencialmente com grande precipitação e evaporação mínima. É necessário efetuar um controle de qualidade de água de modo a não prejudicar a fauna local (Tilley, et al., 2014).

O armazenamento de lamas constitui uma solução para as lamas desidratadas que foram sujeitos a tratamento complementar ou inicial em sistemas de saneamento pseudo-local de modo eficiente, mas que não apresentam qualidade pretendida por conterem microrganismos patogênicos. Apesar de esta opção ser sempre apresentada como solução viável para destino das lamas, a informação sobre o dimensionamento e processos que ocorrem na mesma é praticamente inexistente. Segundo WHO (2006), para ter lugar uma inativação significativa de microrganismos patogênicos, como vírus, bactérias, protozoários e ovos *Ascaris*. Aconselha-se que as lamas estejam armazenadas por um período superior a um ano, em temperaturas ambientes superiores a 20-35°C.

4. Caso de Estudo – Cidade de Tete

4.1. Considerações gerais

A Cidade de Tete foi inicialmente concebida, no tempo colonial, para uma população muito inferior à atual, resultando, agora, em problemas agravados ao nível do saneamento da cidade. O meio urbano necessita de adequadas infraestruturas e uma eficiente gestão de sistemas e serviços, de modo a dar resposta à crescente evolução populacional. Atualmente, as águas residuais transportadas pela incipiente rede de coletores são descarregadas diretamente no rio Zambeze, e não existe uma gestão adequada das lamas fecais.

Neste capítulo pretende-se analisar o sistema da Cidade de Tete e efetuar o exercício de pré-dimensionamento de uma estação de tratamento de águas residuais e de lamas (ETAR/ETL), integrada na gestão de lamas fecais, para servir o centro urbano, que representa cerca de 50% da população total da cidade.

Inicia-se o capítulo com a apresentação breve da localização, estrutura urbana e clima local, aspetos importantes para entender a organização da gestão de lamas fecais. Segue-se a caracterização da população, dados de consumos de água e infraestruturas. O presente estudo é baseado maioritariamente em estimativas, optando-se por considerar a construção faseada da ETAR/ETL, efetuando-se o pré-dimensionamento do sistema para o ano 2030. Apresentam-se, também, os valores para o ano 2045, devendo ter-se em conta que estimativas para a cidade a 30 anos apresentam elevado grau de incerteza.

Considera-se que as lamas fecais a tratar têm origem em dois principais tipos de sistemas de saneamento local: latrina e fossa séptica. Assim, considera-se que as lamas provenientes de fossas sépticas são tratadas através de leitos de secagem (secção 3.5.4.) e que as lamas provenientes de latrinas são recolhidas após o período de armazenamento, já estabilizadas (abordada na secção 2.3.2. da presente dissertação), podendo ser diretamente armazenadas ou reencaminhadas para um destino final adequado. As águas residuais provenientes da rede de coletores são transportadas para a ETAR/ETL por um interceptor final, onde são tratadas num sistema de lagunagem (secção 3.5.7. da presente dissertação). As lamas secas provenientes dos sistemas de tratamento da ETAR/ETL são armazenadas para garantir a segurança das mesmas e utilizadas posteriormente (destino final). As alternativas específicas de destino final do efluente e das lamas resultantes não são abordadas no presente trabalho.

Este estudo foi realizado com dados fornecidos pelo Município de Maputo (Eng.^o Rafael Tembo), Fundo de Investimento e Património de Abastecimento de Água de Moçambique (FIPAG, Eng.^a Fernanda Quitano), Direção Nacional de Águas de Moçambique (DNA, Eng.^o Raúl Mutevuie) e Administração Regional de Águas do Zambeze (ARA Zambeze, Eng.^o Germain Bakker).

4.2. Caracterização da Cidade de Tete

4.2.1. Caracterização da província de Tete

A República de Moçambique é um país no Sudeste de África, constituído por 11 províncias, incluindo a cidade de Maputo (Figura 4.1). Estas províncias são subdivididas em distritos, que por sua vez são subdivididos em postos administrativos.



Figura 4.1: Mapa de Moçambique, com referência geográfica mundial, respetivas províncias e países fronteiriços. Retirada de Instituto Nacional de Estatística (2011).

Atualmente, o País encontra-se em paz, a progredir em várias áreas, com redução das taxas de analfabetismo e de mortalidade infantil, e um incremento considerável de habitações com água canalizada e energia elétrica, assim como a viver um período de grande desenvolvimento industrial. A taxa de crescimento do PIB é elevada, por volta dos 7.3% em 2011 face a 6.3% em 2009, faltando, no entanto, que o desenvolvimento se reflita realmente nas condições de vida da população (Instituto Nacional de Estatística, 2011).

Na província de Tete foram descobertas grandes reservas de carvão, que têm atraído significativos investimentos estrangeiros, sendo que, em 2017, Moçambique poderá tornar-se um dos 10 maiores exportadores mundiais de carvão, maioritariamente para a China (KPMG Internacional, 2013). O rio Zambeze, um dos mais importantes recursos naturais de África, após a travessia por diversos países, entra em Moçambique pela província de Tete, onde está situada a barragem de Cahora Bassa, atravessa a Cidade de Tete e desagua posteriormente no oceano Índico.

A província de Tete possui 15 distritos incluindo a capital, Cidade de Tete. Refere-se que, em 2013, o parlamento moçambicano aprovou uma proposta de lei que criou novos distritos em diversas províncias do país, entre elas em Tete. Na Figura 4.2. apresentam-se os vários distritos da província de Tete.

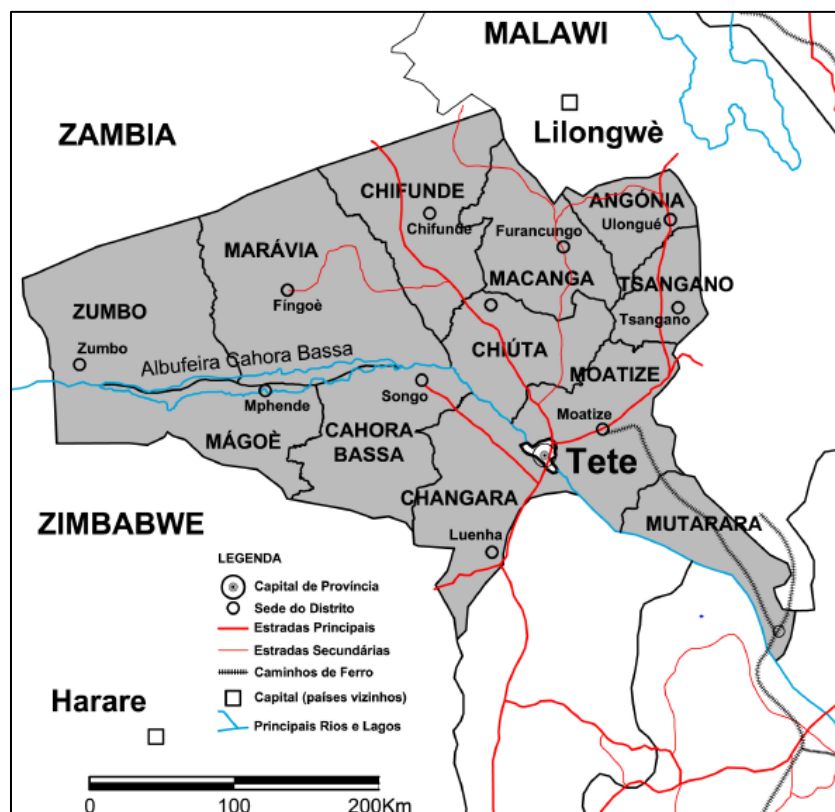


Figura 4.2: Distritos da Província de Tete com identificação de principais estradas e linhas de água, prévia à adição de novos distritos, em 2013.

A cidade de Tete não foi projetada para as necessidades atuais que, devido aos grandes investimentos e aumento de migração em busca de melhores oportunidades de emprego e de vida, tem crescido com taxas de crescimento anual da população de cerca de 4 a 5% ao ano (a maior taxa de crescimento do país), exigindo um planeamento específico da estrutura e paisagem urbanas (Population Reference Bureau (PRB), 2013). Em 2011, o concelho municipal de Tete desenvolveu o Plano de Estrutura Urbana da Cidade de Tete (PEUT). De entre diversos aspetos, destacam-se as preocupações com a proteção do meio ambiente com definição de zonas de proteção, estações de tratamento e abastecimento de água e definição e preservação de espaços para a atividade agrícola, assim como melhoramento de redes viárias e ligação às povoações vizinhas (Conselho Municipal de Tete, 2011).

4.2.2. Estrutura urbanística da Cidade de Tete

Para uma eficiente gestão de lamas fecais é conveniente conhecer a estrutura urbanística local, a distribuição e densidade populacional, número de habitantes por agregado, estado dos arruamentos e facilidade de acesso às habitações e infraestruturas de saneamento. Além disso é necessário entender os usos dos espaços da cidade, assim como a evolução futura.

A cidade de Tete estende-se aproximadamente por 30 km longitudinalmente ao rio Zambeze e, aproximadamente, 15 km transversalmente. Apresenta-se, na Figura 4.3, um mapa da Cidade de Tete, com a delimitação dos 9 bairros, de acordo com o referido PEUT.

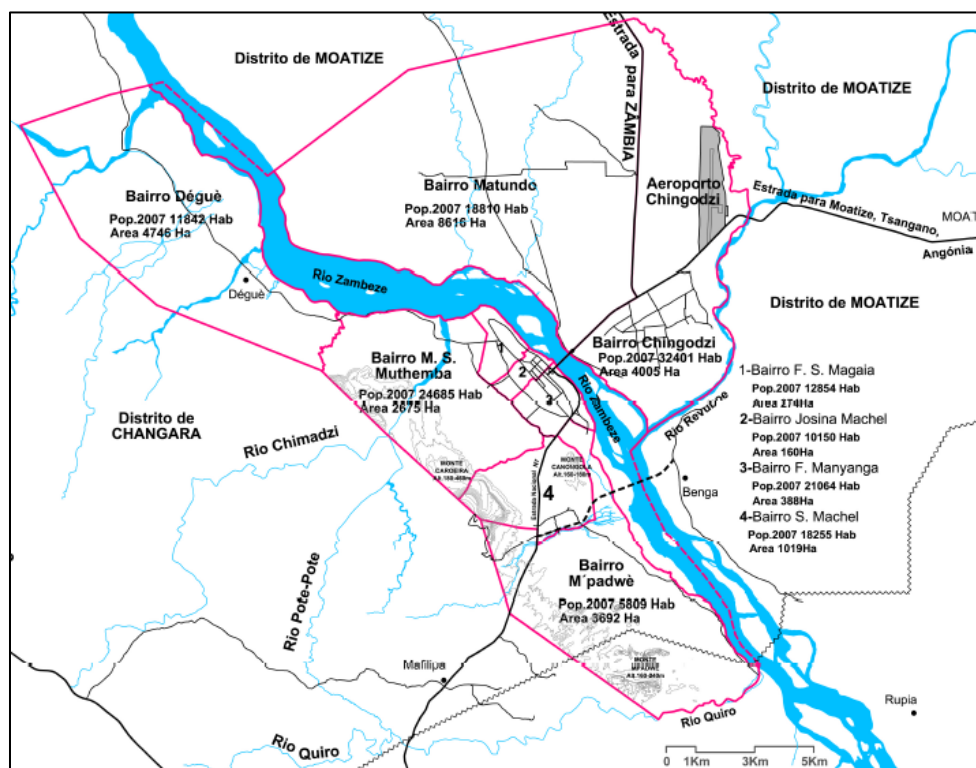


Figura 4.3: Mapa da Cidade de Tete, com especificação de bairros e população.

Existem três bairros localizados no centro multifuncional da cidade, zona denominada de “Espaço Urbano”, nomeadamente Bairro Felipe Samuel Magaia, Bairro Josina Machel e Bairro Francisco Manyanga. O Espaço Urbano, localizado na margem direita da ponte que liga as duas margens do rio Zambeze, é uma zona consolidada da cidade, caracterizada por uma malha urbana bem definida, infraestruturas enterradas, edifícios de dois ou mais andares e arruamentos pavimentados. A oeste do “Espaço Urbano” existe uma faixa de terreno sem construções, denominado Vale de Nhartanda, que constitui uma área facilmente inundável. Quanto maior a proximidade com o Vale de Nhartanda, maior a densidade habitacional e maior a desordenação da malha urbana. É nesse vale que tem lugar as captações para o abastecimento de água à cidade.

O bairro de Chingodzi, na outra margem do rio Zambeze, é o bairro que possui maior número de habitantes. Caracteriza-se por uma área de habitações unifamiliares, com loteamento regular de talhões com dimensões consideráveis. A zona a sudoeste e norte da estrada nacional destina-se a uso industrial.

Apresenta-se, na Figura 4.4, um mapa de satélite da região, onde se visualizam diferenças de densidade de ocupação do Espaço Urbano.



Figura 4.4: Mapa do Espaço Urbano da Cidade de Tete delimitado pelo vale de Nhartanda e o rio Zambeze.

Adaptada de Google Maps.

O bairro Matundo, no nordeste do distrito, é maioritariamente rural e é o bairro com maior área. É caracterizado pelo PEUT como futura área de expansão para atividades industriais. Grande parte deste bairro caracteriza-se por dispersa presença humana, dedicada à agricultura e pesca.

Finalmente, os bairros de Déguè, Mateus Sansão Muthemba, Samora Machel e M'Padue, constituem a faixa que se desenvolve ao longo do lado oeste do distrito. São bairros com densidade habitacional média a baixa, caracterizadas por construções de ocupação desordenada. Apresenta-se, na Figura 4.5, uma paisagem característica do bairro de M'Padwè.



Figura 4.5: Paisagem característica do bairro de M'Padwè. Retirada de Conselho Municipal de Tete (2011).

Em geral os bairros periféricos, como o de Muthemba e Matundo, são caracterizados por casas em terreno marginal, por vezes declivoso, com arruamentos irregulares, sem infraestruturas e serviços públicos tais como de abastecimento de água, rede de energia elétrica e de saneamento (Matine & Fonseca, 2009). Refere-se que a região a oeste do bairro de Muthemba é caracterizada por ser zona rochosa, com menor densidade habitacional. O PEUT prevê a conversão dos bairros Déguè e M'Padwè para espaços urbanizáveis, com uso dominante residencial.

Existem também várias áreas não residenciais importantes, como uma extensa área inundável pelo rio Zambeze, áreas verdes de recreio e proteção e áreas de forte inclinação e erosão, onde a edificação é condicionada ou proibida, para garantir a segurança dos cidadãos e bom funcionamento das infraestruturas e equipamentos. Apresenta-se, no Anexo 4 desta dissertação, a Planta de Ordenamento de Tete onde estão ilustradas as zonas e respetivas restrições.

Na Planta de Ornamento de Tete, a “Área Urbanizada” é constituída por espaços urbanos construídos já estabilizados ou em fase de estabilização; a “Área Urbanizável” é aquela suscetível de se transformar em espaço urbano, que pode possuir diversas densidades, sendo classificado como “misto”, para habitação, comércio e serviços; “Área multifuncional” é uma zona com edificações para habitações, serviços e vias asphaltadas, e a “Área para Expansão Urbana” é a de maior relevância para este estudo, por ser definida como área onde podem ser planeadas intervenções adequadas ao desenvolvimento da cidade. A zona industrial destina-se a atividades industriais, de armazenamento e de depósito, desde que estes sejam compatíveis com a função

residencial, nomeadamente que não resultem em odores, fumos, resíduos ou qualquer outro incómodo (Conselho Municipal de Tete, 2011).

Verifica-se que a área da cidade é muito elevada. Como o foco da presente dissertação é a gestão de lamas fecais em meio urbano, por ser a que apresenta desafios de maior complexidade, optou-se por analisar apenas a área urbana mais densa da cidade. O facto do rio Zambeze dividir a Cidade de Tete em duas partes, resulta também em distâncias a percorrer extensas para o transporte de lamas e numa logística mais complexa, pelo que se adivinha, no futuro, duas zonas, com duas ETAR/ETL independentes.

Assim opta-se por limitar o pré-dimensionamento da ETAR/ETL à área a servir no Espaço Urbano, apresentado na Figura 4.6, constituída pelos seguintes bairros: Felipe Samuel Magaia, Josina Machel e Francisco Manyanga, na margem direita do rio Zambeze, correspondentes ao núcleo consolidado da cidade e zona circundante. Para a margem esquerda, dada as características diversas de ocupação e de densidade populacional, a abordagem e solução poderiam ser diversas.

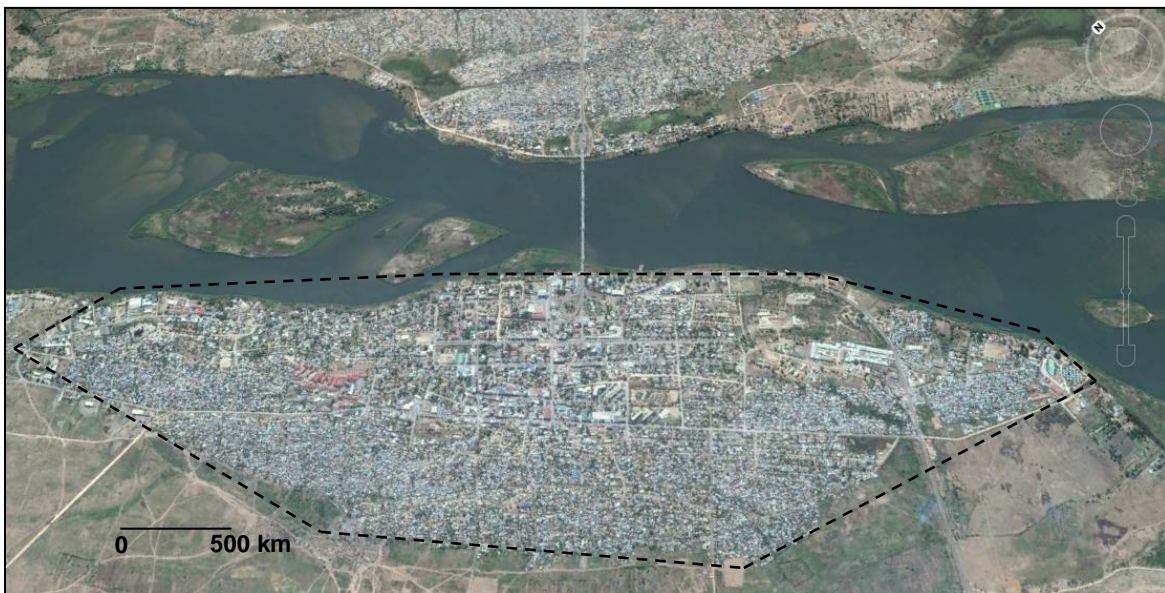


Figura 4.6: Mapa com delimitação do Espaço Urbano da Cidade de Tete. Adaptada de Google Maps.

Para desenvolver o sistema de gestão de lamas fecais, analisa-se a malha do Espaço Urbano para verificar a densidade populacional e adequabilidade dos sistemas de saneamento. Para tal, recorreu-se ao *software* 'Google Earth', delimitando-se áreas de 1 hectare (100x100m) em diferentes tipos de zona, na região sem coletores, do lado oeste do Espaço urbano que se apresenta na Figura 4.7.



Figura 4.7: Mapa Espaço Urbano com delimitação da zona com coletores (amarelo) e locais de estudo para análise de densidade de ocupação (cor de laranja). Adaptada de 'Google Earth'.

Apresenta-se, na Figura 4.8 e Figura 4.9, dois exemplos de localização onde se ilustra as diferenças de densidade habitacional, verificando que esta tende a aumentar nas zonas periféricas. Efetuou-se uma contagem das habitações em cada área considerando-se 6 pessoas por habitação. Assim, conclui-se que a norte a densidade populacional varia entre 250 e 550 hab/ha, sendo fundamental os sistemas serem do tipo pseudo-local com adequada gestão das lamas fecais, i.e. com transporte a destino final adequado.



Figura 4.8: Imagem de malha urbana mais densa, no centro do Espaço Urbano, com delimitação de 1 hectare (100x100m) para o cálculo de densidade populacional. Adaptada de 'Google Earth'.



Figura 4.9: Imagem de malha urbana desordenada menos densa, no centro do Espaço Urbano, com delimitação de 1 hectare (100x100m) para o cálculo de densidade populacional. Adaptada de 'Google Earth'.

4.2.3. Clima da Cidade de Tete

Como referido anteriormente, a humidade e temperatura são fatores que influenciam bastante as características e escolha de tecnologias de gestão de lamas fecais. A precipitação afeta o nível freático local que pode dar origem a infiltrações ou extravasamento dos sistemas de saneamento, e as taxas de degradação biológica aumentam com a temperatura (Strande, et al., 2014).

A cidade de Tete possui um clima tropical seco, caracterizada por temperaturas elevadas, sendo que a temperatura média máxima diária de 43°C, com humidade relativa de cerca de 60%, considerada média/baixa (Instituto Nacional de Estatística, 2013). A temperatura média anual é de 26,5°C e a temperatura média mais baixa diária é de aproximadamente 22°C (Climate-Data, 2014).

4.3. Caracterização da situação de referência de saneamento

4.3.1. População

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (2012), a população na Província de Tete ultrapassava 1,8 milhões de habitantes, em 2007, com menos de 10% da população, 158 000 habitantes, a viver na Cidade de Tete. A Cidade de Tete caracteriza-se por uma população maioritariamente jovem, com 40% da população com idades entre os 0 e 14 anos, com o agregado familiar constituído em média por 6 pessoas (Instituto Nacional de Estatística, 2013).

A informação mais recente da população da Cidade de Tete resulta dos censos efetuados em 2007. Estes censos foram realizados para dar resposta às necessidades do País, abordando-se diversos aspetos, como população, acessos aos serviços básicos com água e saneamento, níveis de fecundidade e mortalidade infantil, entre outros. Para estimar a população de 2015, determinou-se a taxa de crescimento, com base nos valores de população resultante dos censos realizados em 1997 e 2007, apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Número de habitantes na Cidade de Tete, obtidos nos censos de 1997 e 2007. Retirada de (Instituto Nacional de Estatística, 2012)

	População (hab.)	
	1997	2007
Cidade de Tete	101.984	158.000

A partir destes valores, calcula-se a taxa geométrica de crescimento da população nesta década, através da equação (4.1), obtendo-se o valor 4,5%.

$$P_n = P_i \times (1 + t)^n \quad (4.1)$$

Sendo:

P_n – População no ano n

P_i – População ano i

t – Taxa crescimento geométrica populacional anual

n – Ano de cálculo

Segundo o Population Reference Bureau (2013), a população, em 2013, da província de Tete, era cerca de 2,3 milhões com uma taxa de crescimento de 4,1%, a mais elevadas do país, semelhante à calculada no âmbito deste trabalho.

Apresenta-se na Tabela 4.2 a população da Cidade de Tete no ano de início de horizonte de projeto, com a respetiva taxa de crescimento populacional.

Tabela 4.2: População da Cidade de Tete e respetiva taxa de crescimento populacional no ano de entrada.

	2015
Taxa geométrica de crescimento da população	4,5%
População da Cidade de Tete (hab.)	224.260

4.3.2. Infraestruturas de saneamento

Para entender melhor os tipos de sistemas de saneamento, considera-se importante referir também os tipos de habitação da Cidade de Tete, estando o tipo das habitações em regra relacionado com as possibilidades económicas e condições de saneamento local.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (2012), verificou-se que em 2007 na Cidade de Tete, apenas 7% das habitações era do tipo “casa convencional” ou “apartamento”, ou seja, unidades habitacionais com 1 ou mais pisos, com as assoalhadas no interior. As restantes habitações dividem-se quase igualmente entre “casa mista”, construída com materiais duráveis e também de origem vegetal, e a “Palhota”, com material de origem vegetal como bambu, palha e “casa básica”, unidade habitacional sem casa de banho nem cozinha, ou com utilização partilhada dessas instalações.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (2012), em 2007 mais de metade das habitações não possuía retrete nem latrina, e cerca de 32% utilizava latrina do tipo melhorada, 7% utilizava latrina não melhorada e 8% das habitações possuía retrete com ligação a fossa séptica.

A rede de coletores é praticamente incipiente, e do tipo unitário, e cinge-se ao “núcleo” urbano antigo da cidade. A planta da rede de coletores com os respetivos descarregadores, apresenta-se no Anexo 5, fornecida pelo Município de Tete. A área do Espaço Urbano com saneamento ligado a rede de coletores encontra-se simplificadamente delimitada na Figura 4.10, sendo que, na restante área, os sistemas de saneamento são locais ou pseudo-locais.



Figura 4.10: Delimitação da área com saneamento com rede de coletores. Adaptada de Google Earth.

Atualmente existem 6 descarregadores na Cidade de Tete, que recolhem as águas residuais do “Espaço Urbano” e as descarregam no rio Zambeze, como se verifica na Figura 4.11.

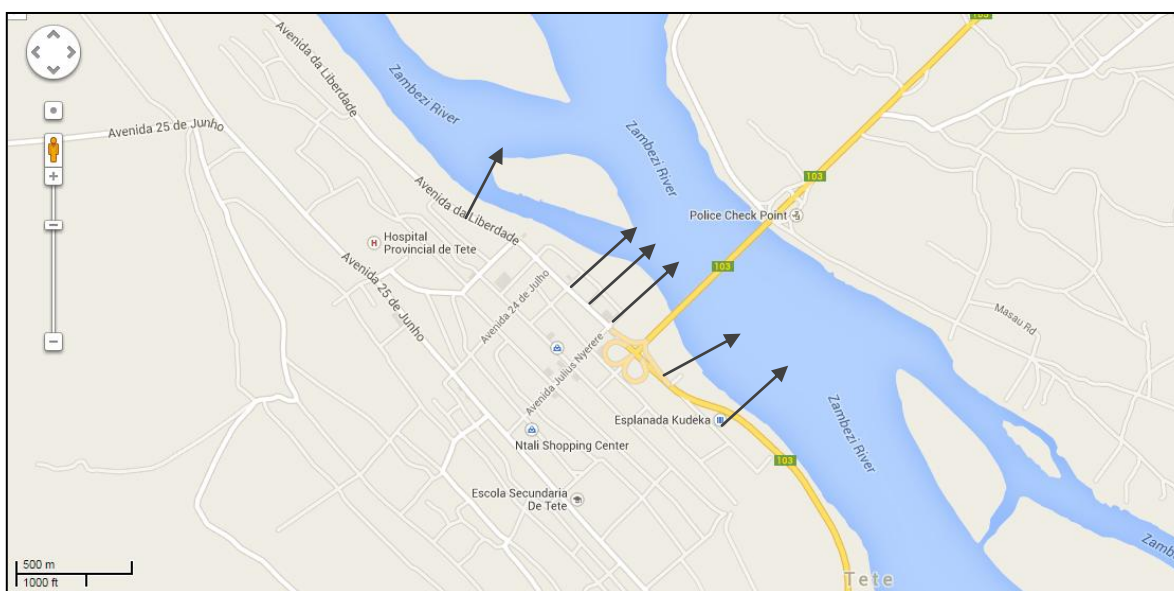


Figura 4.11: Localização de descarregadores da Cidade de Tete.

No âmbito desta dissertação, e malgrado a falta de registos, considera-se que no ano 2015, 8% da população está ligada a coletores de águas residuais, 10% a fossas sépticas e 82% utiliza algum tipo de latrina. Considera-se desprezável a população a praticar defecação a céu aberto, pelo facto deste estudo se limitar ao centro urbano da Cidade de Tete.

4.3.3. Consumos de água

Analisando os resultados obtidos dos censos de 2007, referentes ao consumo de água, verifica-se que na Cidade de Tete cerca de 30% das habitações dispõe de água canalizada, dentro ou fora de casa, i.e. no quintal. Nas habitações que não recorrem a água canalizada, 43% consome água de fontanários, cerca de 17% de poços e 8.6% de rios ou lagos (Instituto Nacional de Estatística, 2012).

Em coordenação com o Fundo de Investimento e Património de Abastecimento de Água de Moçambique (FIPAG), obtiveram-se os valores de volume anual de água fornecida e de consumo diário máximo, a partir do qual se calculou o consumo diário médio no ano 2013, valores apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Volumes anuais de água fornecidos e consumos diários máximos e médios (ano 2013).

	Unidade	Caudal
Volume anual fornecido	m ³ /ano	2.538.000
Consumo diário máximo	m ³ /dia	16.730
Consumo diário medio	m ³ /dia	6.960

Considera-se que o FIPAG fornece atualmente água à população que possui saneamento ligado a rede de coletores e ligado a fossas sépticas, representando no total 18% da população. Admite-se que entre 2013 e 2015 a capitação se manteve inalterada.

A partir do consumo médio diário fornecido, para 18% da população total, estimou-se a capitação real, admitindo-se uma perda de água de 30%, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Capitação em 2015.

	Unidade	2015
% população servida pelo FIPAG	%	18%
População servida pelo FIPAG	hab.	40.370
Consumo diário médio	m ³ /dia	6.960
Capitação aparente	l/(hab.dia)	172
Perdas de água	%	30
Capitação real	l/(hab.dia)	120

4.4. Metodologia para a escolha de solução para a Estação Tratamento de Águas Residuais e Lamas Fecais

A metodologia utilizada neste caso de estudo foi realizada com base na pesquisa e revisão bibliográfica efetuada, descrita nos capítulos 2 e 3 da presente dissertação. Para cidades em países em desenvolvimento, os principais fatores a ter em consideração para a escolha de uma solução de tratamento de lamas, são o clima, a disponibilidade de área, a complexidade do sistema, o tipo de construção, o local de implantação, a viabilidade da utilização de energia elétrica, além de aspetos e restrições legais. A variabilidade dos fatores que influenciam as soluções de tratamento para lamas fecais, resulta em diversas alternativas viáveis.

Na opção considerada para o tratamento de lamas provenientes do Espaço Urbano da Cidade de Tete, foram determinantes dois fatores principais: o clima tropical e a disponibilidade de terreno. Deve ser tido em consideração que não existiu discussão aprofundada com as entidades municipais para determinação da localização da ETAR/ETL. O sistema em questão requer baixa manutenção, construção simples, preferencialmente com materiais ou equipamentos disponíveis localmente, envolvendo soluções técnicas que se adequam ao clima da cidade. O tratamento das lamas deve ser adequado às características das mesmas, optando-se por escolher diferentes alternativas de tratamento/desidratação conforme a origem das lamas.

As águas residuais provenientes da rede de coletores são transportadas por um interceptor final até à ETAR/ETL, onde são tratadas num sistema de lagunagem, constituída por uma sequência de lagoas: anaeróbias, facultativas e de maturação. As lamas provenientes de fossas sépticas são transportadas, através de camiões, até um tanque na ETAR/ETL, com capacidade para armazenamento das lamas durante dois dias, para ser possível controlar e monitorizar a descarga de lamas nos leitos de secagem. O efluente não tratado proveniente da desidratação das lamas será reencaminhado para a obra de entrada do sistema de lagunagem, onde seguirá para destino final adequado.

Finalmente, considera-se que as lamas provenientes de latrinas são recolhidas a cada três anos, estando estabilizadas e apresentando baixo conteúdo de água (aprox. 60%). Estas lamas são transportadas desde as estações de transferência até à ETAR/ETL por camiões, onde são armazenadas até atingirem qualidade suficiente para destino final (durante cerca de 6 a 12 meses). Apresenta-se, na Figura 4.12, um esquema dos sistemas de tratamento da ETAR/ETL.

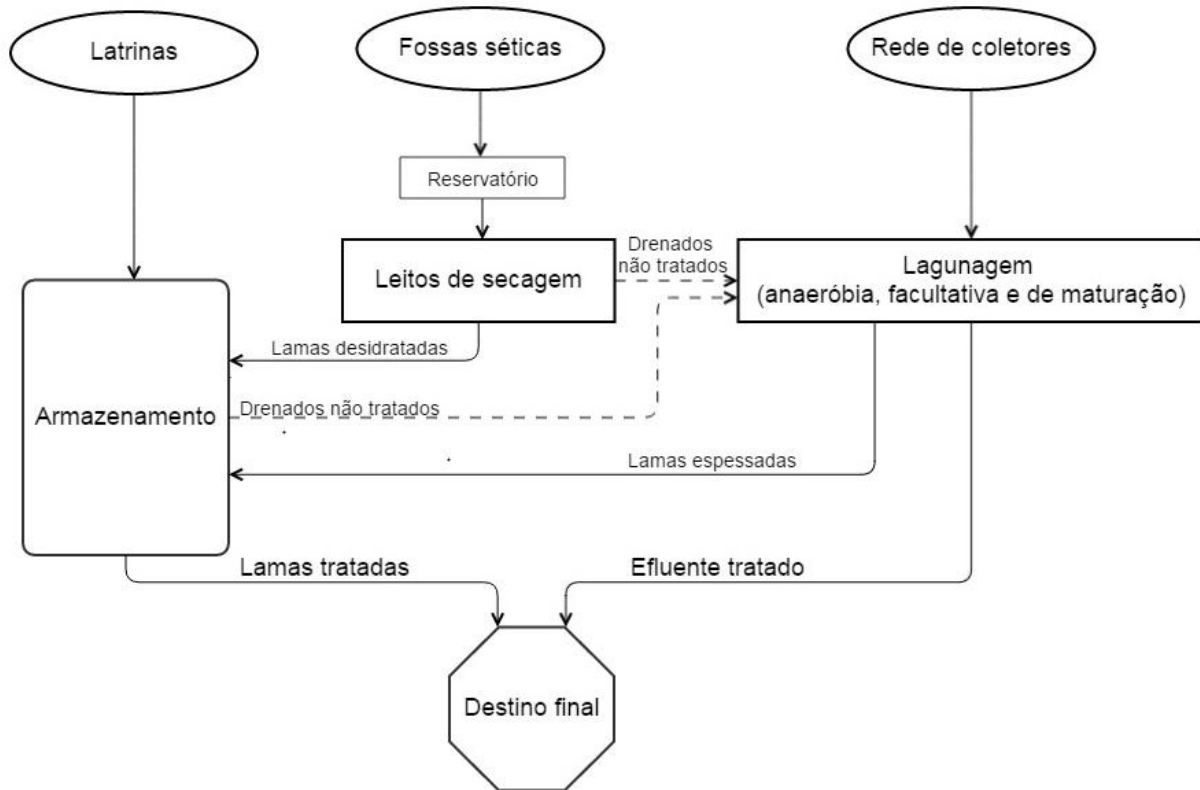


Figura 4.12: Esquema estação de tratamento de lamas para o Espaço Urbano da Cidade de Tete.

Os leitos de secagem são um sistema simples de desidratação de lamas fecais, que requer uma manutenção pouco complexa, custos relativamente reduzidos e não necessita de energia elétrica. É ideal para climas quentes. A precipitação não é considerada problemática no caso as lamas estarem secas, dado que a chuva passa diretamente pelas fissuras até aos drenos, sem afetar significativamente o conteúdo de água nas lamas. Caso a eficiência da desidratação seja afetada, deve-se estudar a cobertura, tipo alpendre (Strande, et al., 2014).

O sistema de lagunagem é um sistema eficiente de tratamento de águas residuais, reduzindo eficazmente, se for bem concebido, o conteúdo de sólidos, CBO₅ e microrganismos patogénicos, com encargos de operação reduzidos. Este sistema requer grande disponibilidade de terreno, sendo especialmente adequado para a Cidade de Tete dado o clima do local e as condicionantes de recursos económicos e humanos

As lamas desidratadas resultantes dos sistemas de tratamento (leitos de secagem e lagoa anaeróbia), são reunidas num armazém com capacidade de armazenamento das lamas por um período de pelo menos um ano, em conjunto com as lamas provenientes de latrinas.

4.5. Horizontes de projeto

Na presente dissertação considera-se o ano de 2015 como o ano de início de horizonte de projeto e o ano de 2045 como horizonte de projeto para vida útil de obras de construção civil. Realiza-se o pré-dimensionamento da ETAR/ETL para o ano de 2030, considerando que terá lugar uma construção faseada, apresentando-se os caudais de projeto e volumes de lamas obtidos para 2045 para se ter em conta a possibilidade de ampliação do sistema.

4.6. Critérios de projeto

4.6.1. População

Como referido anteriormente, opta-se por efetuar o pré-dimensionamento da ETAR/ETL apenas para o Espaço Urbano. Pretende-se determinar qual a percentagem de distribuição de população correspondente a esta zona. Para tal, recorre-se à distribuição da população por bairro em 2007, apresentada na Tabela 4.5. Analisando a Tabela 4.5, conclui-se que em 2007 cerca de 28,3% da população vivia no Espaço urbano.

Tabela 4.5: Distribuição da população das Cidade de Tete por bairro em 2007, com delimitação da população de Espaço Urbano.

	Total (hab.)	Homens (hab.)	Mulheres (hab.)
Cidade de Tete	155.870	77.809	78.061
Bairro Degue	11.842	5.672	6.170
Bairro Filipe S. Magaia	12.854	6.406	6.448
Bairro Francisco Manyanga	21.064	10.647	10.417
Bairro Josina Machel	10.150	5.234	4.916
Bairro Mateus S. Muthemba	24.685	12.255	12.430
Bairro Matundo	18.810	9.415	9.395
Bairro M'Padue	5.809	2.819	2.990
Bairro Chingodzo	32.401	16.269	16.132
Bairro Samora Machel	18.255	9.092	9.163

Pretende-se também determinar a evolução da população ao longo do horizonte de projeto, determinando-se a taxa de crescimento geométrica. A variação do crescimento da população depende de diversos fatores, como a variação de esperança média de vida e da estrutura etária. As projeções da ONU assumem uma redução progressiva da fecundidade, estimando taxas de crescimento populacional para Moçambique da ordem de 2,3 em 2010, e 2,2% em 2050 (INE, 2011). Com base nestes valores, conclui-se que o valor atual de 4,5% (na secção 4.3.1.) é elevado e difícil de se manter, assumindo-se uma redução da taxa para metade entre 2030 e 2045 (para 2,3%).

Deste modo admitiu-se que em 2015 30% da população vivia no centro urbano, cerca de 50% em 2030, considerando-se um crescimento da população nesta região devido ao grande desenvolvimento industrial e 68% para 2045. Apresenta-se os valores obtidos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: População da Cidade de Tete obtida para os horizontes de projeto, com respetiva taxa de crescimento geométrica.

	Unidade	2015	2030	2045
Taxa geométrica de crescimento da população	%	4,5	2,2	2,2
População total da Cidade de Tete	hab.	224.260	262.840	366.300
Dist. população projeto	%	30	50	68
População Espaço Urbano	hab.	67.280	129.740	250.180

4.6.2. Produção de lamas

Nesta secção apresenta-se os volumes de lamas fecais, base do pré-dimensionamento da estação de lamas. As percentagens de tipos de saneamento para o ano 0 (2015), foram estabelecidas na secção 4.3.3. Para o ano 15 e ano 30, considera-se uma percentagem constante de 15% da população com ligação a coletores. No ano 15 considera-se que 70% da população utilizam latrina e 15% da população utilizam fossa séptica. Para o ano 30, admitiu-se uma distribuição de 60% e 25% da população servida por latrina e fossa séptica, respetivamente. Apresenta-se, na Tabela 4.7, a distribuição dos diferentes tipos de sistemas, e população servida.

Tabela 4.7: População servida pelos diferentes tipos de sistema de saneamento, para os anos de horizonte de projeto.

Sistema utilizado	2015		2030		2045	
	Distribuição	Habitantes	Distribuição	Habitantes	Distribuição	Habitantes
Fossa seca	82%	55.170	70%	90.820	60%	150.100
Fossa séptica	10%	6.730	15%	19.460	25%	62.550
Rede de coletores	8%	5.380	15%	19.460	15%	37.530

Para determinar a quantidade de lamas, optou-se por estimar o volume e período de armazenamento médio, por instalação sanitária, e assumir um coeficiente que tem em consideração as variáveis locais, para estimar o volume de lamas real a recolher e tratar. Assumiu-se, conservativamente, que todas as lamas recolhidas chegavam à estação de tratamento, não considerando descarga indevida no solo, ou em linhas de água.

4.6.2.1. Latrinas

Para a estrutura do número de unidades assumiu-se, em média, que existe uma instalação sanitária por cada agregado familiar, constituído por 6 pessoas (secção 4.3.1). Para ter em

consideração a existência de latrinas do tipo local, sem esvaziamento (i.e., substituídas por outras quando cheias), assumiu-se que o número real de latrinas coletadas equivalia a 50% do número total de latrinas existentes. Apresenta-se, na Tabela 4.8, a estimativa do número de latrinas e de volume total de lamas a recolher.

Tabela 4.8: Número de latrinas a esvaziar periodicamente no Espaço Urbano da Cidade de Tete, ao longo do horizonte de projeto.

	Unidade	2015	2030	2045
Habitantes Espaço Urbano	hab.	67.280	129.740	250.180
Pop. servida por latrinas	%	82	70	60
Habitantes com latrina	hab.	55.170	90.820	150.100
Nº habitantes por latrina	hab.	6	6	6
Nº total latrinas	-	9.200	15.140	25.020
Latrinas a esvaziar	%	50	50	50
Nº latrinas a esvaziar	-	4.600	7.570	12.500

Segundo Tilley et al. (2014), o volume mínimo de uma fossa seca é de 1 m³. Assumiu-se, neste trabalho, um volume médio de 1,5 m³. Como referido na secção 2.3.2., segundo Jiménez, et al. (2014), o período para uma eficiente desidratação de um sistema de saneamento local é de 1 a 2 anos e segundo Alaerts et al. (1990), o período de esvaziamento deve situar-se entre 2 e 3 anos. Neste estudo, adotou-se um período de 3 anos entre recolha das lamas de latrinas. Considera-se que os resíduos sólidos presentes nas latrinas, que serão recolhidos em conjunto com as lamas, representam 30% do volume total. Considerou-se 5 dias por semana, totalizando 225 dias úteis por ano, para ter em consideração férias e feriados. A partir dos critérios referidos, determina-se o volume de lamas produzidas por hora, que se apresenta na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Volume de lamas a recolher (por unidade de tempo) proveniente de latrinas, do Espaço Urbano da Cidade de Tete, para os anos de horizonte de projeto.

	Unidade	2015	2030	2045
Nº latrinas real a coletar	-	4.600	7.570	12.500
Volume total a esvaziar	m ³	6.900	22.700	37.530
% resíduos sólidos	%	30	30	30
Volume de lamas a coletar	m ³	4.830	7.950	13.130
Dias úteis em 3 anos	dias	675	675	675
Volume de lamas anual a transportar	m ³ /ano	1.610	2.650	4.380
Volume de lamas diário a transportar	m ³ /dia	7	12	19
Volume de lamas horário a transportar	m ³ /h	0.9	1.5	2.4

4.6.2.2. Fossa sética

Segundo Alaerts et al. (1990), o volume de uma fossa sética, para uma habitação, varia entre 1 e 3 m³, considerando-se, para o presente estudo, uma dimensão média de 2 m³. Como referido na secção 2.3.1.2., as lamas recolhidas devem equivaler a 2/3 do volume total da fossa sética. Apresenta-se, na Tabela 4.10, os valores obtidos para efeitos de estimativa do número de fossas séticas e de volume total de lamas a coletar.

Tabela 4.10: Volume de lamas a recolher (por unidade de tempo) de fossas séticas, do Espaço Urbano da Cidade de Tete, nos anos de horizonte de projeto.

	Unidade	2015	2030	2045
Habitantes Espaço Urbano	hab.	67.280	129.740	250.180
Pop. servida por fossa sética	%	10	15	25
Habitantes com fossa sética	hab.	6.728	19.461	62.545
Nº habitantes por fossa sética	hab.	6	6	6
Nº total fossas séticas	-	1.120	3.243	10.424
% volume da fossa sética recolhido	%	66,7	66,7	66,7
Volume recolhido por fossa sética	m ³	1,33	1,33	1,33
Volume total de lamas recolhidas	m ³	1.500	4.330	13.900

Segundo Tilley, et al. (2014) o período entre coletas das lamas fecais provenientes de fossas séticas deve situar-se entre 2 e 5 anos. No presente estudo assume-se que o período entre coletas é de 3 anos. Apresenta-se, na Tabela 4.11, os valores obtidos para o cálculo de volumes a coletar por unidade de tempo.

Tabela 4.11: Volume de lamas a recolher (por unidade de tempo) de fossas séticas, do Espaço Urbano da Cidade de Tete, nos anos de horizonte de projeto.

	Unidade	2015	2030	2045
Período entre coletas	anos	3	3	3
Produção de lamas por ano	m ³ /ano	500	1.440	4.630
Dias úteis em 3 anos	dias	675	675	675
Volume lamas recolhidas por dia	m ³ /dia	2.2	6,4	20,6

4.6.3. Caudais de projeto

Os caudais de projeto correspondem aos caudais resultantes do uso doméstico da população que possui acesso a água canalizada, com saneamento ligado a rede de coletores. Para calcular os caudais de projeto é necessário estimar a capitação, fator de afluência e fator de ponta.

A capitação de água para o ano de entrada foi calculada anteriormente, apresentada na Tabela 4.4 (secção 4.3.3). Para os anos de horizonte de projeto de 2030 e 2045, assumiu-se uma capitação constante igual a 150

L/(hab.dia), usual em países em desenvolvimento. Apresenta-se, na Tabela 4.12, os valores da capitação ao longo do horizonte de projeto.

Tabela 4.12: Capitações de água ao longo do horizonte de projeto.

	Unidade	2015	2030	2045
Capitação de água	l/(hab.dia)	120	150	150

Calcula-se os caudais médios diários da população ligada à rede de coletores, através da equação (4.2), considerando um fator de afluência à rede de 0.8.

$$Q_m = Cap \times Pop \times Kr \quad (4.2)$$

Sendo:

Q_m – Caudal médio diário (l/dia)

Cap – Capitação (l/(hab.dia))

Pop – População (hab)

K_r – Coeficiente de afluência

O cálculo do caudal de ponta foi efetuado afetando os caudais médios diários pelo fator de ponta instantâneo, calculado pela expressão (4.3).

$$F_h = 1.5 + \frac{60}{\sqrt{Pop}} \quad (4.3)$$

Sendo:

Pop – População ligada à rede de coletores

$f_p \leq 5$

Apresenta-se, na Tabela 4.13, os valores obtidos para o cálculo dos caudais de projeto domésticos, ao longo do horizonte de projeto.

Tabela 4.13: Determinação dos caudais de projeto domésticos.

	Unidade	2015	2030	2045
Distribuição pop. ligada rede coletores	%	8	15	15
População ligada rede coletores	hab.	5.380	19.460	37.530
Capitação	l/(hab.dia)	120	150	150
Fator de afluência	-	0,8	0,8	0,8
Caudal médio diário	l/dia	519.120	2.335.000	4.503.250
Fator de Ponta	-	2,32	1,93	1,81
Caudal de ponta instantâneo	m ³ /dia	1.200	4.500	8.150
Caudal de ponta instantâneo	l/s	14	52	94

4.6.4. Estações de transferência

Pretende-se, nesta secção, estimar e localizar as estações de transferência dos sistemas de saneamento local do Espaço Urbano da Cidade de Tete, com o objetivo de facilitar o transporte de lamas fecais para a ETAR/ETL. Esta secção baseia-se na informação presente na secção 3.4.4. da presente dissertação.

As estações de transferência devem ter capacidade para receber as lamas fecais das latrinas. Considera-se que a cobertura de uma estação de transferência corresponde a uma área de influência com raio de 1 500 metros. Na área em estudo, os arruamentos são irregulares, que resulta em distâncias superiores para transportar as lamas fecais até à estação de transferência. Com este valor, as distâncias respeitam, com folga, os limites teóricos de um máximo de 3km para transporte manual sobre rodas. O estudo efetuado é apenas de carácter informativo, pelo facto de a escolha e implementação das estações de transferência terem de ser efetuadas em conjunto com as entidades municipais, para conhecer os locais disponíveis, licenças necessárias e viabilidade do transporte nos trajetos escolhidos.

Analisa-se a malha do Espaço Urbano, procurando locais de implantação com vias de bons acessos para camiões e de modo que as estações de transferência cubram toda a área com saneamento pseudo-local. Conclui-se adequado 2 estações de transferência, cada com uma área de cobertura correspondente a um círculo de raio de 1 500 metros, como apresentado na Figura 4.13.

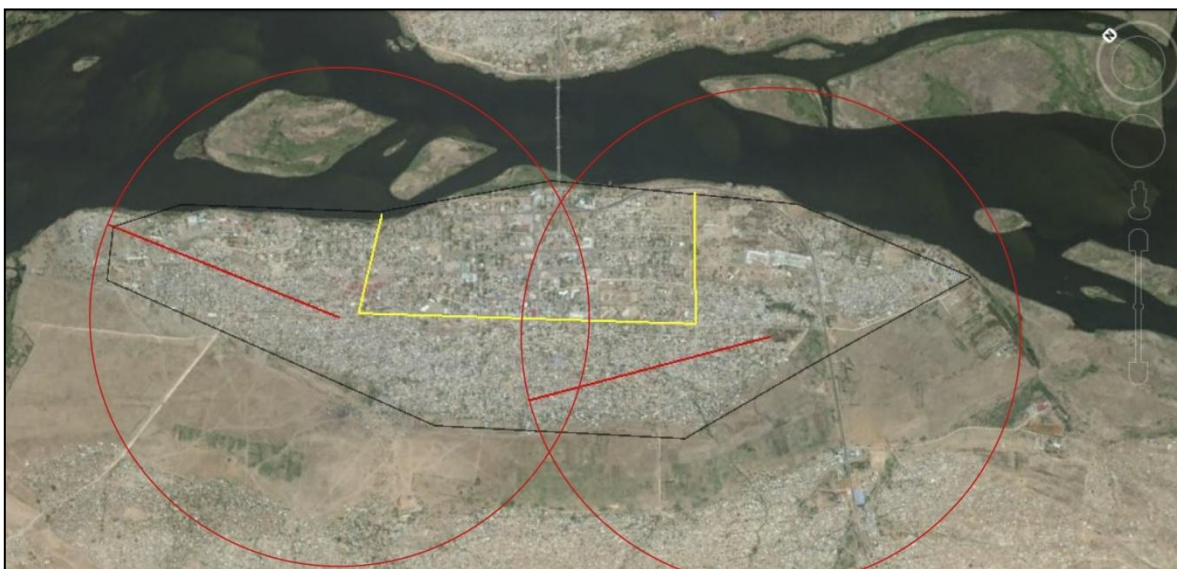


Figura 4.13: Localização e raio de cobertura das estações de transferência para a área com saneamento pseudo-local do Espaço Urbano. Adaptada de Google Earth.

Propõe-se que as estações sejam de carácter modular, do tipo contentor, apresentando a vantagem de serem de fácil deslocamento para efeitos de reparação, limpeza ou para transportar diretamente

o contentor até à ETAR/ETL. Para evitar odores desagradáveis e desconforto para a comunidade, implementa-se as estações em estruturas fechadas, em áreas com capacidade suficiente para receber a estrutura permanente fechada e com acessos apropriados para a descarga e recolha das lamas. Além disso, as estações devem dispor de pré-tratamento de gradagem, em forma de barras/rede, como descrito na secção 3.5.1.

Para determinar a área necessária para cada estação recorre-se aos volumes diários recolhidos e determina-se o número de contentores necessários para armazenar as lamas. Admite-se que se utilizam contentores *standards* de 6 m³ (4 x 1,9 m, com uma altura de 1 m). Apresenta-se, na Tabela 4.14, o número de contentores mínimos necessários para cada estação de transferência, considerando que a recolha deve ser diária mas com capacidade para dois dias.

Tabela 4.14: Determinação do número de contentores para armazenamento das lamas fecais, provenientes de latrinas, em cada estação de transferência.

	Unidade	Valor
Caudal de lamas total	m ³ /dia	12
Nº estações	-	2
Caudal de lamas por estação	m ³ /dia	6
Volume contentor	m ³	6
Nº contentores necessários por estação	-	2

A partir do caudal de lamas, determina-se o número de camiões e de descargas considerando que, um camião possui capacidade de 8 m³, sendo necessário efetuar 2 descargas de lamas por dia na ETAR/ETL, propondo 1 camião para efetuar a recolha das lamas das estações de transferência.

Conclui-se que é necessário 2 contentores em cada estação de transferência, a que corresponde uma área de 15 m². Além desta área é necessário ter em conta espaço para a estrutura, equipamentos (roupa proteção, baldes, pás, mangueiras etc.), além de espaço para efetuar a descarga e recolha das lamas. Assim, define-se uma área de pelo menos 100 m², cerca de 10x10 m, para cada estação de transferência.

Considera-se que as lamas recolhidas das latrinas, após um período de armazenamento de 3 anos, apresentem um conteúdo em água de cerca de 60% (secção 3.2.3. da presente dissertação). Assim estas apresentam as propriedades de composto sólido rijo, de acordo com a Tabela 3.5 da secção 3.5.1. Propõe-se a coleta das lamas de latrinas do modo manual realizada através de trabalhadores com formação e utilizando as proteções adequadas. A lama é transportada para as estações de transferência através de equipamentos movidos pela força do trabalhador ou veículos motorizados, conforme a distância a percorrer. A recolha das lamas da estação de transferência para a ETAR/ETL pode ser realizada transportando diretamente o contentor para a estação de tratamento e retirada manualmente para a zona de armazenamento.

4.7. Pré-dimensionamento dos órgãos da Estação de Tratamento de Lamas

4.7.1. Leitões de secagem

Pretende-se efetuar o dimensionamento de leitões de secagem (descrito na secção 3.5.4.) para as lamas fecais provenientes de fossas sépticas, para o ano 2030, de acordo com a metodologia sugerida em Strande et al. (2014). O efluente drenado será reencaminhado para a lagoa anaeróbia no sistema de lagunagem, para posterior tratamento.

As lamas provenientes de fossas sépticas são transportadas desde o espaço urbano até à ETAR/ETL, onde existe um reservatório para armazenamento e controlo da quantidade de lamas. Este reservatório não tem como objetivo o tratamento das mesmas, optando-se por dimensionar o mesmo para um período de dois dias. Apresenta-se, na Tabela 4.15, as dimensões do reservatório. À entrada do reservatório existirá um sistema de gradagem como pré-tratamento (secção 3.5.1.).

Tabela 4.15: Dimensões do reservatório de descarga das lamas fecais de fossas sépticas.

	Unidade	2030
Período de armazenamento	dias	2
Caudal médio diário	m ³ /dia	6,4
Volume lamas	m ³	12,8
Profundidade	m	1,5
Área mínima	m ²	8,5
Largura	m	2
Comprimento	m	5
Área real	m ²	10

Para o dimensionamento dos leitões de secagem tem-se em conta o volume de lamas diário transportado (Tabela 4.11) e considera-se uma espessura de lamas descarregada de 20 cm (secção 3.5.4). Apresenta-se, na Tabela 4.16, as áreas mínimas de secagem por dia.

Tabela 4.16: Determinação da área mínima de secagem necessária por dia.

	Unidade	2030
Caudal médio diário	m ³ /dia	6,4
Profundidade da descarga	m	0,2
Área diária mínima de secagem	m ² /dia	32

Em seguida determina-se a massa anual de lamas descarregadas nos leitões de secagem, expressa em quilograma de sólidos totais por ano, através da equação (4.4):

$$M = c_i \times Q_i \times t \quad (4.4)$$

Sendo:

M – Carga de lamas fecais (kg ST/ano);

c_i – Concentração média de sólidos totais nas lamas fecais (g ST/L);

Q_i – Caudal médio diário (m³/dia)

t – Número de dias de descarga de lamas por ano

Para a estimativa da concentração média de sólidos nas lamas fecais, consulta-se a informação apresentada nas Tabela 3.3 e Tabela 3.4 na secção 3.2.3.. As lamas provenientes de fossas sépticas possuem uma intensidade baixa/média, considerando-se uma concentração de 30g ST/L (aproximadamente 3% de sólidos totais). Apresenta-se, na Tabela 4.17, os valores obtidos para a determinação da carga anual de sólidos totais das lamas fecais provenientes de fossas sépticas.

Tabela 4.17: Massa anual de sólidos totais das lamas fecais, provenientes de fossas sépticas.

	Unidade	2030
Quantidade de sólidos totais	g ST/L	30
Caudal	m ³ /dia	6,4
Dias trabalho no ano	dias	225
Massa de sólidos totais num ano	kg ST/ano	43.250

Para determinar o número mínimo de leitos de secagem, estima-se uma taxa de carregamento de sólidos totais de 200 kg ST/(m².ano), adequado para a Cidade de Tete (secção 3.5.4). Conclui-se que são necessários 215 m² de área mínima para a secagem das lamas.

Definiu-se para cada leito de secagem uma área de 32 m², de modo a que fosse realizado o carregamento total de um leito por dia, para facilidade de manutenção e organização do processo, resultando um total, conservativo, de 8 leitos de secagem. Apresenta-se, na Tabela 4.18, os valores obtidos.

Tabela 4.18: Leitos de secagem.

	Unidade	2030
Massa sólidos totais	kg ST/ano	43.246
Carga de sólidos totais	kg ST/(m ² .ano)	200
Área mínima leito secagem num ano	m ²	215
Área de 1 leito de secagem	m ²	32
Número mínimo de leitos de secagem	-	6,8
Número de Leitos de Secagem	-	8

Apresenta-se, na Tabela 4.19, as dimensões propostas para cada leito de secagem.

Tabela 4.19: Dimensões de um leito de secagem.

Dimensões de um leito secagem		
Ratio (1:x)	-	2
Largura	m	4
Comprimento	m	8
Área cada leito de secagem	m ²	32

Na Tabela 4.20 apresentam-se a informação referente ao meio de enchimento e caracterização do leito segundo EAWAG & Spuhler (2014).

Tabela 4.20: Caracterização do meio filtrante dos leitos de secagem.

Ordem camada	Material	Diâmetro (mm)	Espessura (cm)	Dimensão escolhida (cm)
1	Areia fina (local)	0.1 a 0.5	25 a 30	30
2	Seixo/cascalho mais fino	5 a 15	10 a 15	15
3	Cascalho/seixo grosso	20 a 40	20 a 30	25
			Folga altura da parede	30
			Altura total do leito	100

A duração do ciclo de secagem e número de leitos estão estreitamente correlacionados, dependendo das condições locais e de funcionamento do sistema. Para a definição do período de secagem, recorre-se à informação teórica existente. Segundo Strauss & Montangero (2002), o *Ghana Water Research Institute (WRI)*, em Accra (Gana), obteve, para uma taxa de carregamento de sólidos totais de 200 kg ST/(m².ano) durante 8 dias, uma concentração de sólidos totais de 40%, verificando que para lamas com teor de sólidos totais inferior a 40%, existiam ainda concentrações de ovos helmintos significativos.

Conforme a Tabela 3.5, apresentada em 3.5.1., para um conteúdo de matéria seca entre 35% e 60%, as lamas possuem comportamento sólido rijo, ideal para a remoção das lamas fecais secas dos leitos de secagem. Adota-se, neste caso, um ciclo de secagem de 8 dias. Naturalmente que o ideal seria dispor de resultados de ensaios locais em instalações piloto.

Estima-se o volume anual de lamas desidratadas a recolher dos leitos de secagem, determinando o caudal anual que chega aos leitos de secagem, a partir do caudal médio diário (considerando um ano com 225 dias). Admite-se que as lamas afluentes possuem um conteúdo de matéria seca de 3% e as lamas desidratadas possuem um conteúdo de matéria seca de 40%, concluindo que resultam em 108 m³ de lamas desidratadas por ano, como se observa na Tabela 4.21.

Tabela 4.21: Determinação de volume anual de lamas desidratadas resultante dos leitos de secagem.

	Unidade	2030
Volume anual de lamas afluentes aos leitos de secagem	m ³ /ano	1440
% matéria seca das lamas afluentes aos leitos de secagem	%	3
% matéria seca das lamas desidratadas	%	40
Volume anual de lamas desidratadas	m ³	108

Apresenta-se, no Anexo 6 desta dissertação, um esquema em planta dos leitos de secagem propostos para a Estação de Tratamento de Lamas do Espaço Urbano da Cidade de Tete.

4.7.2. Lagunagem

Nesta secção procede-se ao pré-dimensionamento de um sistema de lagunagem (secção 3.5.4.), para as águas residuais provenientes da zona do Espaço Urbano, ligada a rede de coletores, transportadas por um intercetor até à Estação de Tratamento de Lamas.

O sistema é composto por 3 tipos de lagoas em série: lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e de maturação. O dimensionamento é realizado para o ano de 2030, com os caudais determinados na secção 4.6.3., de acordo com a metodologia sugerida em Sperling & Chernicharo (2005).

4.7.2.1. Lagoas anaeróbias

Pretende-se determinar a quantidade total diária de CBO₅ que aflui ao sistema, utilizando o caudal médio diário (Tabela 4.13), assumindo-se uma carga de 60 gCBO₅/(hab.dia). Determina-se a capitação afluyente ao sistema, equivalente à capitação de água afetada do coeficiente de afluência de 0,8, concluindo-se que a carga é 500 mgCBO₅/L. Com este valor determina-se o CBO₅ total afluyente às lagoas anaeróbias, apresentada na Tabela 4.22.

Tabela 4.22: Carga em CBO₅ afluyente ao sistema de lagunagem.

	Unidade	2030
Capitação de água	l/(hab.dia)	150
Capitação afluyente	l/(hab.dia)	120
CBO afluyente total	mg CBO ₅ /L	500
Caudal médio diário	L/dia	2.335.000
Quantidade CBO afluyente total	kg CBO ₅ /dia	1.170

Definiu-se uma carga volumétrica de 0,3 kg CBO₅/(m³.dia), devido à elevada temperatura do local. A partir dos valores da Tabela 4.22, obtêm-se o volume mínimo e o tempo de retenção hidráulico. Propõe-se uma profundidade de 5 metros e adotam-se 2 lagoas anaeróbias. Determina-se o tempo

de retenção correspondente e a área mínima de cada lagoa. Apresenta-se, Tabela 4.23, os valores obtidos.

Tabela 4.23: Critérios para o dimensionamento das lagoas anaeróbias.

	Unidade	2030
Carga volumétrica	kg CBO ₅ /(m ³ .dia)	0,30
Volume mínimo	m ³	3.900
Profundidade	m	5
Área total necessária	m ²	780
Número lagoas anaeróbias	-	2
Área mínima de cada lagoa anaeróbia	m ²	390

A lagoa anaeróbia pode apresentar um comprimento maior ou igual à largura, confirmando que a área e os tempos de retenção do sistema respeitam os valores mínimos. Assim define-se as dimensões apresentadas na Tabela 4.24, adotando um tempo de retenção teórico de 3 dias.

Tabela 4.24: Dimensões de uma lagoa anaeróbia.

	Unidade	2030
Largura	m	15
Comprimento	m	30
Área 1 lagoa	m ²	450
Profundidade	m	5
Volume duas lagoas	m ³	4.200
Tempo de retenção	dias	2

Apresenta-se, na Tabela 4.25, a eficiência de remoção de CBO₅ da lagoa anaeróbia estimada através da equação (4.5), adequada para valores de temperatura média do mês mais frio entre 10 a 25°C, indicada para a cidade de Tete.

$$E = 2T + 20 \quad (4.5)$$

Sendo:

E – Eficiência de remoção de CBO (%);

T – Temperatura média do mês mais frio (°C)

Tabela 4.25: Eficiência de remoção de CBO₅ no efluente da lagoa anaeróbia.

	Unidade	2030
Temperatura média do mês mais frio	°C	22
Eficiência remoção CBO	%	64%
CBO afluente	kg CBO ₅ /dia)	1.170
CBO efluente	kg CBO ₅ /dia)	420

Finalmente calcula-se a quantidade de lamas acumuladas da lagoa anaeróbia. Define-se inicialmente a taxa anual de acumulação de lamas por habitante, de 0.03 m³/(hab.ano) devido ao clima quente da Cidade de Tete. Com este valor determina-se a taxa anual de acumulação de lamas para a população que ligada a rede de coletores, assim como a espessura equivalente de uma camada de lamas acumulada nas duas lagoas anaeróbias, num ano. A partir da espessura anual e da profundidade das lagoas, determina-se o tempo de retenção hidráulico correspondente, definindo um ciclo de coleta de 3 anos das lamas acumuladas nas duas lagoas. As lamas acumuladas correspondem a 1/3 do volume da lagoa, concluindo-se que se deve retirar cerca de 1,150 m³ a cada 3 anos. Apresentam-se, na Tabela 4.26, os valores obtidos.

Tabela 4.26: Volumes e período de remoção das lamas acumuladas nas lagoas anaeróbias.

	Unidade	2030
Taxa anual de acumulação de lamas por habitante	m ³ /(hab.ano)	0,03
Pop. servida por rede de coletores	hab.	19.460
Taxa anual de acumulação de lamas	m ³ /ano	584
Área total lagoas anaeróbias	m ²	900
Espessura lamas acumuladas num ano	m/ano	0.65
Ciclo de coleta lamas	anos	3
Volume Lamas ao fim do ciclo de coleta (1/3)	m ³	1,300

4.7.2.2. Lagoas facultativas

Para o dimensionamento das lagoas facultativas define-se uma taxa diária de carregamento de CBO₅ de 300 kgCBO₅/(ha.dia) (Tabela 3.6 da secção 3.5.7). A CBO₅ que aflui a estas lagoas corresponde ao efluente das lagoas anaeróbias. A partir destes dois parâmetros, determina-se a área de lagoas facultativas necessária, apresentada na Tabela 4.27.

Tabela 4.27: Determinação da área mínima das lagoas facultativas.

	Unidades	Ano 2030
CBO ₅ afluente	kg CBO ₅ /dia	420
Taxas carregamento por área	kg CBO ₅ /ha.dia	300
Área total mínima	ha	1,4

Pelo facto de se ter estabelecido duas lagoas anaeróbias, adota-se também duas lagoas facultativas. Assim, a partir do volume e do caudal médio diário e para uma profundidade de 1,8 m para cada lagoa, define-se as dimensões das lagoas facultativas em 50 metros por 140 metros, valores apresentados na Tabela 4.28.

Tabela 4.28: Dimensões de cada lagoa facultativa.

	Unidades	Ano 2030
Número Lagoas	-	2
Área por Lagoa	m ²	7.000
Profundidade	m	1.8
Largura	m	50
Comprimento	m	140

Apresenta-se, na Tabela 4.29, o tempo de retenção hidráulico e a área do sistema, por habitante.

Tabela 4.29: Determinação do tempo de retenção hidráulico de cada lagoa facultativa.

	Unidades	Ano 2030
Número de lagoas facultativas	-	2
Caudal médio diário	m ³ /dia	2.335
Tempo de retenção hidráulico	dias	11
Área per capita	m ² /hab	0,7

Apresentam-se, na Tabela 4.30, os valores de acumulação de lamas estimadas, concluindo-se que, no ano de 2030, as lamas acumuladas irão representar cerca de 35% de cada lagoa facultativa. Isto significa que a profundidade útil disponível da lagoa passará de 1,8 m para 1,2 m, aconselhando-se efetuar a remoção das lamas no ano 2030.

Tabela 4.30: Volumes e períodos de remoção das lamas acumuladas nas duas lagoas facultativas.

	Unidades	Ano 2030
Taxa de acumulação de lamas anual por habitante	m ³ /hab.ano	0,03
Pop. servida por rede de colectores	hab.	19.460
Taxa de acumulação de lamas	m ³ /ano	584
Área total lagoas facultativas	m ²	15.000
Espessura camada lamas em 15 Anos	m	0,60
Ocupação lamas ao fim 15 Anos	%	35%

Para determinar a CBO₅ e eficiência de remoção, considera-se que a lagoa possui carácter de reator de mistura completa. Considera-se um coeficiente mineralização de 0,27 d⁻¹ a 20°C, correspondente ao valor de 0,37 d⁻¹ para 26,5°C. Determina-se a concentração de CBO₅ solúvel do

efluente da lagoa facultativa, através da equação (3.3) da secção 3.5.7, utilizando o tempo de retenção de 11 dias. Apresenta-se, na Tabela 4.31, os resultados obtidos.

Tabela 4.31: Carga da CBO₅ solúvel do efluente das lagoas facultativas.

	Unidades	Ano 2030
Coeficiente de mineralização (20°C)	d ⁻¹	0,27
Temperatura	°C	26,5
Coeficiente de mineralização (26,5°C)	d ⁻¹	0,37
CBO ₅ afluyente	kg CBO ₅ /dia	420
CBO ₅ solúvel efluente	kg CBO ₅ /dia	84

Para estimar a componente particulada de CBO₅ do efluente das lagoas facultativas, considera-se que 1 mg SS/L gera 0,35 mg/L de CBO₅ (secção 3.5.7.). Assumindo-se que o efluente da lagoa possui uma concentração de sólidos suspensos de 80 mg/L, concluindo-se que a componente particulada de CBO₅ corresponde a 28 mg CBO₅/L. Apresenta-se, na Tabela 4.32, os resultados obtidos.

Tabela 4.32: Carga de CBO₅ particulada do efluente das lagoas facultativas.

	Unidades	Ano 2030
Concentração sólidos suspensos do efluente	mgSS/L	80
CBO ₅ por 1mgSS/L (fração solúvel)	mg CBO ₅ /mgSSL	0,35
CBO ₅ particulado efluente	mg CBO ₅ /L	28
CBO ₅ particulado efluente por dia	kg CBO ₅ /dia	65

Obtém-se a quantidade de CBO₅ total do efluente somando as componentes particulada e solúvel e determina-se a eficiência de remoção das lagoas facultativas (Tabela 4.33).

Tabela 4.33: Concentração e eficiência de remoção de CBO₅ total das lagoas facultativas

	Unidades	Ano 2030
Concentração CBO total efluente	kg CBO ₅ /dia	149
Eficiência de remoção CBO ₅ das Lagoas Facultativas	%	64%

Nas lagoas facultativas tem lugar também remoção de coliformes fecais. Assume-se o regime de mistura completa. Determina-se inicialmente o número de dispersão, através do rácio da lagoa (expressão 3.6.) considerando o coeficiente de decaimento bacteriano para 20°C (expressão 3.7), ajustando-se o valor para a temperatura de 26,5°C, através da expressão (3.8).

Determina-se a concentração de coliformes fecais do efluente através das expressões (3.4) e (3.5), assumindo-se que o afluente possui 1×10^7 CF/100ml, e que o tempo de retenção do sistema é de 11 dias. A partir dos valores obtidos determina-se a eficiência de remoção de coliformes das lagoas facultativas que se apresentem na Tabela 4.34.

Tabela 4.34: Eficiência de remoção de coliformes fecais das lagoas facultativas.

	Unidades	Ano 2030
Concentração CBO total efluente	kg CBO ₅ /dia	149
Coefficiente de decaimento bacteriano para 20°C	d ⁻¹	0,26
Coefficiente de decaimento bacteriano para 26,5°C	d ⁻¹	0,40
Fator de cálculo concentração coliformes	-	2,60
Concentração coliformes fecais afluente	CF/100ml	$1,0 \times 10^7$
Concentração coliformes fecais efluente	CF/100ml	$7,2 \times 10^5$
Eficiência remoção coliformes fecais	%	93

4.7.2.3. Lagoas de maturação

Opta-se por uma lagoa de maturação com chicanas, com um tempo de retenção de 16 dias e uma profundidade de 1,3 metros, resultando a área mínima para a lagoa de 28.740 m² (Tabela 4.35).

Tabela 4.35: Área da lagoa de maturação.

	Unidades	Ano 2030
Número de lagoas	-	1
Tempo retenção hidráulico	dias	16
Caudal médio diário	m ³ /dia	2.335
Volume da lagoa	m ³	37.365
Profundidade	m	1,3
Área mínima da lagoa	m ²	28.740

Define-se um rácio exterior de 1, correspondente a uma largura de 170 metros. Opta-se por 3 separadores para a lagoa de maturação, criando 4 espaços internos, determinando-se então o rácio interno equivalente, através da expressão (3.9) da secção 3.5.7.

Apresenta-se, na Tabela 4.36, as dimensões exteriores da lagoa de maturação e área por habitante. Apresenta-se, também, as dimensões das divisões internas e o rácio de comprimento/largura interno. O rácio 16 significa que a lagoa de maturação em estudo é de facto equivalente, em termos de tratamento, a uma lagoa retangular de 42,5 m (170/4) por 680 m (170x4).

Tabela 4.36: Dimensões exteriores e interiores da lagoa de maturação.

	Unidade	Ano 2030
Rácio exterior (1:x)	-	1
Largura exterior	m	170
Comprimento	m	170
Área	m ²	28.900
Área por habitante	m ²	1,5
Número de chicanas	-	3
Largura interna por setor	m	42,5
Comprimento da lagoa	m	170
Rácio interior equivalente (L/B)	-	16

O rácio comprimento/largura é 16 e o afluente à lagoa de maturação corresponde ao efluente das lagoas facultativas. A concentração final de coliformes fecais é de cerca de 600 coliformes fecais por 100 ml. A lagoa de maturação possui uma eficiência de remoção de coliformes de 99,92%, sendo a eficiência conjunta das lagoas facultativas e da lagoa de maturação superior a 99,99%. Apresenta-se, na Tabela 4.37, os resultados obtidos.

Considerou-se que valores abaixo de 10³ CF/100 ml no efluente final são aceitáveis, em termos de descarga no rio ou reutilização para usos compatíveis.

Tabela 4.37: Eficiência de remoção de coliformes fecais das lagoas de maturação e do conjunto de lagoas de maturação e facultativas.

	Unidades	Ano 2030
Número de dispersão	-	0,06
Coeficiente de decaimento bacteriano para 20°C	d ⁻¹	0,39
Coeficiente de decaimento bacteriano para 26,5°C	d ⁻¹	0,60
Fator de concentração coliformes	-	1,85
Concentração de coliformes fecais do afluente	CF/100ml	7,24 x10 ⁵
Concentração de coliformes fecais do efluente	CF/100ml	7,20 x10 ²
Eficiência de remoção coliformes fecais lagoa de maturação	%	99,90
Eficiência de remoção coliformes fecais lagoas facultativas+maturação	%	99,999

4.7.3. Armazenamento de lamas

O armazenamento de lamas, referido sucintamente na secção 3.5 desta dissertação, constitui uma alternativa para o destino final ou temporário de lamas, mas a informação sobre o dimensionamento da zona de armazenamento de lamas é muito escassa, referindo apenas tempos de retenção e condições para atingir determinada qualidade de lamas fecais.

Para o caso em estudo, opta-se por armazenar as lamas desidratadas provenientes de latrinas e dos leitos de secagem, numa estrutura coberta, com pilhas de 1,5 metros de altura. Através dos volumes determinados anteriormente, calcula-se a área mínima necessária para realizar o armazenamento de lamas durante 1 ano. Apresenta-se, na Tabela 4.38, os resultados obtidos.

Tabela 4.38: Área de armazenamento de lamas fecais desidratadas da ETAR/ETL.

	Unidade	Valor
Lamas desidratadas leitos de secagem	m ³ /ano	108
Lamas desidratadas latrinas	m ³ /ano	2.650
Lamas desidratadas lagoa anaeróbia	m ³ /ano	430
Volume anual de lamas	m ³	3.190
Altura de pilha de lamas fecais	m	1,5
Área mínima (ano)	m ²	2.130

Considera-se que será necessário mais cerca de 30% da área determinada para equipamentos e zonas de passagem, adotando-se um espaço de 2,800 m² (40 x 70 m) para o armazenamento de lamas. Prevê-se que as lamas provenientes das latrinas cheguem à ETAR/ETL com 30% de matéria seca (secção 3.2.3. da presente dissertação), estimando-se que a desidratação se prolongue com o decorrer do tempo, sendo que ao final de um ano é previsível que a percentagem de matéria seca seja cerca de 40%. Apresenta-se no Anexo 6 as dimensões propostas para a Estação de tratamento de Águas Residuais e Lamas do Espaço Urbano da Cidade de Tete. A área total da estação é 6 ha (190 x 350 m), i.e., cerca de 0.5 m²/habitante.

4.8. Localização da Estação de Tratamento de Águas Residuais e Lamas

A localização da ETAR/ETL, como referido anteriormente, tem de ser efetuada consultando as autorizações, licenças e entidades locais. Após a análise do PEUT, conclui-se que a “área de expansão urbana”, ilustrada na Figura 4.14, é a indicada para intervenções para desenvolvimento da cidade.

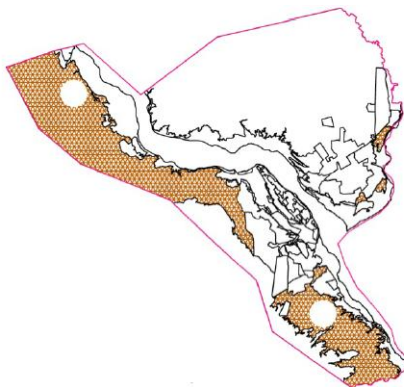


Figura 4.14: Mapa da Cidade de Tete, com delimitação da “área para expansão urbana”. Retirada de Conselho Municipal de Tete (2011).

Opta-se por implantar a ETAR/ETL numa zona a sul Espaço Urbano, por ser um terreno disponível, a jusante da cidade, junto à área para expansão urbana. Recorrendo ao *software* 'Google Earth' delimita-se uma área de 6,65 ha (190 x 350 m), ilustrada na Figura 4.15. Apresenta-se no Anexo 7 a paisagem correspondente ao local.

Figura 4.15: Delimitação da zona de localização da Estação de Tratamento de Lamas (encarnado) do Espaço Urbano (limites a preto). Adaptada de Google Earth.



4.9. Considerações sobre a exploração da Estação de Tratamento de Lamas

Existem diversos aspetos a ter em conta na exploração de uma Estação de Tratamento de Lamas, destacando-se nesta secção alguns aspetos logísticos, técnicos e sociais. Como referido anteriormente, o dimensionamento do sistema foi efetuado com base em estimativas com base em parâmetros empíricos, pelo que a monitorização do sistema é fundamental, especialmente no início de funcionamento.

Em relação a alguns aspetos técnicos, recomenda-se que os trabalhadores tenham formação para a manutenção do sistema e a devida utilização de roupa e acessórios de proteção pelo facto de as lamas frescas ou secas e o efluente drenado conterem microrganismos patogénicos.

Nos leitos de secagem, deve monitorizar-se e ajustar a espessura da camada de areia, pelo facto de parte desta ser removida ao retirar as lamas desidratadas. Segundo Badji (2008), em Strande, et al. (2014), a cada 25 ciclos de secagem (meio ano) tem lugar uma perda de cerca de 5 cm da camada de areia.

Em relação ao sistema de lagunagem, deve ter-se em atenção que não se deve remover a totalidade das lamas acumuladas nas lagoas anaeróbias, por esta ação resultar na perda de biomassa indispensável para a digestão das lamas. No caso de ser necessário aumentar a

capacidade da lagunagem, além de aumentar o número de lagoas, pode considerar-se a implementação de arejadores nas lagoas facultativas, de modo a aumentar a oxigenação e a eficiência de tratamento. Esta ação requer maiores custos e necessita-se de assegurar que os arejadores não perturbem as lamas decantadas no fundo das lagoas (Sperling & Chernicharo, 2005). No caso de a área calculada ser considerada excessiva, pode considerar-se a viabilidade de desinfetar o efluente através de cloro à saída da lagoa facultativa, dispensando-se a lagoa de maturação. Esta alternativa implica encargos custos mais elevados e maior manutenção, mas reduz a área de 10 ha para cerca de 5 ha.

Para o funcionamento eficiente da ETAR/ETL é fundamental uma adequada gestão de lamas. A recolha e transporte das lamas fecais no Espaço Urbano da cidade devem obedecer a um planeamento rigoroso, ao nível da descarga nas estações de transferência e na ETAR/ETL.

Para a exploração da ETAR/ETL deve dispor-se de um guia de operação e manutenção, que inclua especificações e desenhos, procedimentos e ferramentas necessárias a cada tarefa.

É fundamental incluir nas discussões para evolução do processo as diversas entidades que influenciam ou são afetadas pelo projeto, de modo a favorecer a aceitação social e proporcionar condições adequadas para a futura reutilização dos efluentes e das lamas, nomeadamente pelos agricultores locais (EAWAG & Spuhler, 2014).

5. Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

A gestão de lamas fecais consiste num conjunto de atividades fundamentais para garantir que a excreta é adequadamente gerida ao longo de todo o ciclo, desde a origem, em sistemas de saneamento locais/pseudo-locais, até ao destino final, de um modo seguro para o meio ambiente e sem riscos significativos para a saúde pública. Os sistemas de saneamento local são os mais utilizados em países em desenvolvimento, sendo essencial que estes possuam capacidade de resposta em termos de uma adequada gestão das lamas resultantes.

Atualmente, a maioria das soluções para a gestão de lamas fecais consiste na implementação direta dos sistemas convencionais dos países desenvolvidos, que geralmente não constituem a solução mais indicada. As características e desafios de saneamento nestes países diferem dos existentes nos países em desenvolvimento, por também apresentarem desafios de aceitação cultural, e de disponibilidade financeira. O meio urbano apresenta os maiores desafios para a gestão de lamas fecais, por serem, em regra, caracterizados por um elevado crescimento de população, derivado de migrações em busca de melhores condições de vida, resultando em grandes densidades populacionais e limitada área disponível. Além disso, as infraestruturas existentes não possuem, em geral, capacidade de resposta para as necessidades da população, e existem limitados serviços de gestão de resíduos, com fraca monitorização e manutenção. A abordagem da gestão de lamas fecais deve ser adaptada ao local, realizando-se o planeamento do sistema em conjunto com as comunidades e entidades regionais, com soluções ajustadas ao clima, hábitos e outras da características da região.

Existem diversas opções técnicas para efetuar a coleta, transporte e tratamento de lamas fecais, assim como alternativas de destino final. As atividades de recolha, transporte e tratamento são, em regra, adaptadas das existentes em países desenvolvidos, existindo avanços na introdução de abordagens novas, para as condições e clima de países em desenvolvimento.

O destino final a dar às lamas fecais faz-se muitas vezes sem controlo e sem monitorização, que podem resultar em graves problemas de saúde pública. Esta problemática agrava-se com o crescimento da população, especialmente em meio urbano, sendo essencial analisar a qualidade final dos produtos gerados, decorrentes do tratamento, e incentivar a respetiva reutilização.

Após a pesquisa bibliográfica efetuada verifica-se que a gestão de lamas fecais constitui uma atividade milenar, mas que só nos últimos anos tem sido estudada e abordada de forma mais completa, em especial para os meios urbanos, existindo diversas publicações recentes que auxiliam a escolha e enquadramento das soluções a implementar.

O caso de estudo da presente dissertação corresponde a uma parte da Cidade de Tete. Verifica-se que dada a dimensão da cidade se justifica a descentralização dos sistemas de tratamento.

Conclui-se que a concretização do plano futuro da utilização de espaços urbanos, segundo o Plano de Estrutura Urbana da Cidade de Tete (PEUT) é essencial, para dar resposta às elevadas densidades populacionais e prevenir problemas futuros, facilitando a gestão de lamas fecais e seus serviços, resultando em benefícios para a população e meio ambiente.

Este tema é de grande relevância atual, existindo diversas opções para a realização de trabalhos futuros. Após o estudo do ciclo da gestão de lamas como um todo, sugere-se o estudo mais aprofundado de certos processos e soluções de carácter mais específico, como por exemplo a conceção e dimensionamento de as estações de transferência, bem como dos melhores métodos de coleta e órgãos de armazenamento das lamas e a análise de diferentes soluções de tratamento para as lamas, tendo em conta os encargos financeiros.

Seria interessante reunir a informação de cada país, de modo a criar um “manual” com resultados práticos, facilitando posteriormente a conceção e o dimensionamento de soluções. Sugere-se também que sejam mais investigadas as características e parâmetros das lamas, como o conteúdo em água, o número de microrganismos patogénicos e nutrientes.

No caso de estudo da presente dissertação não foi abordado o destino final das lamas desidratadas nem do efluente tratado, podendo constituir, esses dois temas, um trabalho futuro interessante, em termos de impactos e viabilidade das várias alternativas de reutilização e reintegração de lamas no ambiente.

Referências Bibliográficas

- Alaerts, G., Veenstra, S., Bentvelsen, M. & van Duijl, L., 1990. *Feasibility of Anaerobic Sewage Treatment in Sanitation Strategies in Developing Countries*, Delft: International Institute for Hydraulic.
- Albuquerque, C. d., 2012. *On the right track: Good practices in realising the rights to water and sanitation*. Lisboa: UNHR.
- Andreoli, C. V., Sperling, M. v. & Fernandes, F., 2007. *Biological Wastewater Treatment Series: Volume Six - Sludge Treatment and Disposal*, London, UK: IWA Publishing.
- Bakare, B., Foxon, K., Brouckaert, C. & Buckley, C., 2012. Variation in VIP latrine sludge contents. *Water S.A*, July.
- Chowdhry, S. & Kone, D., 2012. *Business Analysis of Fecal Sludge Management: Emptying and Transportation Services in Africa and Asia*, United States: Bill & Melinda Gates Foundation.
- Climate-Data, 2014. *Clima: Tete*. [Online]
Available at: <http://pt.climate-data.org/location/4858/>
[Accessed Setembro 2014].
- Conselho de Regulação de Águas, 2014. *Relatório ao Governo do CRA - 2013*. [Online]
Available at: <http://www.cra.org.mz/>
[Accessed Setembro 2014].
- Conselho Municipal de Tete, 2011. *Relatório de Fundamentação das opções Tomadas no Plano de Estrutura Urbana da Cidade de Tete*, s.l.: s.n.
- De Feo, G., Laureano, P., Drusiani, R. & Angelakis, A. N., 2010. Water and wastewater management technologies through the centuries. *Water Science & Technology: Water Supply*, p. 337.
- Dodane, P.-H., Mbéguéré, M., Sow, O. & Strande, L., 2012. Capital and Operating Costs of Full Scale Fecal Sludge Management and Wastewater Treatment Systems in Dakar, Senegal. *Environmental Science & Technology*, pp. 3705 - 3706.
- Drechsel, P. et al., 2010. *Wastewater, Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*. London: Earthscan.
- Eales, K., 2005. *Sanitation Partnerships: Bringing pit emptying out of the darkness - A comparison of approaches in Durban, South Africa, and Kibera, Kenya*. UK: Water and Sanitation for the Urban Poor (WSUP).
- EAWAG - Sandec, 2006. *Urban Excreta Management - Situation, Challenges, and Promising Solutions*, Dakar, Senegal: IWA .

- EAWAG, 2013. *Water and Sanitation in Developing Countries*. [Online]
Available at:
http://www.eawag.ch/forschung/sandec/gruppen/MSWM/projects_mswm/cors/index_EN
[Accessed September 2014].
- EAWAG & Spuhler, D., 2014. *Unplanted Drying Beds*. [Online]
Available at: <http://www.sswm.info>
[Accessed September 2014].
- Eddy, M. &, Tchobanoglous, G., Burton, F. L. & Stensel, H. D., 2003. *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse*. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Flores, A., Buckley, C. & Fenner, R., 2008. *Selecting Wastewater Systems for Sustainability in Developing Countries*. Edinburgh, UK, IWA 11th International Conference on Urban Drainage (ICUD).
- Heinss, U., Larmie, S. A. & Strauss, M., 1998. *Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges In the Tropics*, Duebendorf, Switzerland: EAWAG/SANDEC.
- INE, 2011. *Revista de Estudos Demográficos nº 49*, Lisboa, Portugal: Instituto Nacional de Estatística Portugal.
- Instituto Nacional de Estatística, 2011. *Moçambique: Inquérito Demográfico e de Saúde*, Maputo, Moçambique: Ministério da Saúde.
- Instituto Nacional de Estatística, 2012. *III Recenseamento Geral da População e Habitação 2007: Indicadores Socio-demográficos Distritais - Província de Tete*, Maputo, Moçambique: s.n.
- Instituto Nacional de Estatística, 2013. *Estatísticas do Distrito Cidade de Tete*, Maputo, Moçambique: Instituto Nacional de Estatística.
- Jiménez, B., Navarro, I. & Maya, C., 2014. *Pathogens in dry sanitation systems and risk of using sludge produced in agriculture*, Coyocan, Mexico: Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kennedy-Walker, R., Evans, B., Amezaga, J. & Paterson, C., 2014. Challenges for the future of urban sanitation planning: critical analysis of John Kalbermatten's influence. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 4(1), pp. 1-7.
- Koné, D. & Peter, S., 2008. *Sandec Training Tool 1.0 - Module 5, Faecal Sludge Management (FSM)*. Dubendorf: Eawag/Sandec (Department of Water and Sanitation in Developing Countries).
- KPMG Internacional, 2013. *Mining Mozambique: Country Mining Guide*, s.l.: KPMG Internacional.
- Mara, D. D., 1978. *Sewage Treatment in Hot Climates*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

- Matine, L. T. & Fonseca, A. d., 2009. *Vulnerabilidade e Estratégias de Sobrevivência de Famílias na Periferia da Cidade de Tete: O caso dos bairros Matundo e Mateus Sansão Muthemba*. Tete, Instituto de Estudos Sociais e Económicos (IESE).
- Metcalf & Eddy, Tchobanoglus, G., Burton, F. L. & Stensel, H. D., 2003. *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse*. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Michael Hill, P. E. & Bux, M., 2011. *Harnessing solar energy for biosolids management: a green approach to drying*. [Online]
Available at: <http://info.ncsafewater.org/>
[Accessed September 2014].
- Morais, Á. Q. d., 1962. *Depuração dos Esgotos Domésticos dos Pequenos Aglomerados Populacionais e Habitações Isoladas*, Lisboa: s.n.
- Nações Unidas, Division for Sustainable Development, 2014.
<http://sustainabledevelopment.un.org/>. [Online].
- Pinto, M., 2013. *Sistemas Locais de Saneamento de Baixo Custo*, Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico.
- Population Reference Bureau (PRB), 2013. *Cartaz de dados sobre a população. Moçambique, 2013*. [Online]
Available at: <http://www.prb.org/Search.aspx?search=mo%C3%A7ambique>
[Accessed Outubro 2014].
- Sasse, L., 1998. *DEWATS: Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries*, Bremen, Alemanha: BORDA.
- Sperling, M. v. & Chernicharo, C. A. d. L., 2005. *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions - Volume 1*. London, UK: IWA Publishing.
- Spinosa, L. & Vesilind, P. A., 2001. *Sludge into Biosolids - Processing, Disposal and Utilization*. London: IWA Publishing.
- SSWN, 2014. *Sustainable sanitation and water management*. [Online]
Available at: <http://www.sswm.info/glossary>
[Accessed Julho 2014].
- Stauffer, B., Spuhler, D. & EAWAG, 2014. *Human-powered Emptying and Transport*, s.l.: Sustainable Sanitation and Water Management.
- Still, D. & Foxon, K., 2012. *Tackling the Challenges of Full Pit Latrines - Volume 1: Understanding sludge accumulation in VIP's and Strategies for Emptying Full Pits*, Gezina, África do Sul: Water Research Commission.

Strande, L., Ronteltap, M. & Brdjanovic, D., 2014. *Faecal Sludge Management - Systems Approach for Implementation and Operation*. London: IWA Publishing.

Strauss, M., Larmie, S. A. & Heins, U., 1997. *Treatment of sludges from on-site sanitation - low-cost options*. Accra, Ghana: IWA Publishing.

Strauss, M. & Montangero, A., 2002. *FS Management - Review of Practices, Problems and Initiatives*. s.l.:EAWAG/SANDEC.

The World Bank, 2013. *Sanitation Overview*. [Online]
Available at: <http://www.worldbank.org/en/topic/sanitation/overview>
[Accessed Setembro 2014].

The World Bank, 2014. *Sanitation and Hygiene: Why they matter*. [Online]
Available at: <http://water.worldbank.org/shw-resource-guide/sanitation-and-hygiene-why-they-matter/health-benefits>
[Accessed Setembro 2014].

Tilley, E. et al., 2014. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd ed. Dubendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).

UNICEF, 2014. *UNICEF*. [Online]
Available at: http://www.unicef.org/media/media_45481.html
[Accessed Julho 2014].

United Nations, 2014. *The Millenium Development Goals Report 2014*, New York: United Nations.

Wagner, E. G. & Lanoix, J., 1958. *Excreta Disposal for Rural Areas and Small Communities*. Geneva: World Health Organization.

Wang, L. K., Li, Y., Shammas, N. K. & Sakellaropoulos, G. P., 2007. Chapter 13: Drying Beds. In: L. K. Wang, N. K. Shammas & Y. Hung, eds. *Biosolids Treatment Processes*. Totowa, New Jersey: Humana Press, pp. 403 - 429.

WaterAid, 2013. *Urban pit waste management*. [Online]
Available at: www.wateraid.org
[Accessed October 2014].

Weber, B., Cornel, P. & Wagner, M., 2007. *Semi-centralised supply and treatment systems for (fast growing) urban areas*, Darmstadt, Alemanha: Technische Universitat Darmstadt, Institut .

WHO/UNICEF, 2014. *Progress Drinking Water and Sanitation* , Geneva, Switzerland: World Health Organization .

WHO, 2006a. *WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Aquaculture - Volume III*, Geneva, Switzerland: World Health Organization.

WHO, 2006b. *WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater Use in Agriculture - Volume II*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

WHO, 2006. *WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture - Volume IV*, Geneva, Switzerland: World Health Organization.

WHO, 2008. *An adovogacy Guide: 5 Steps for Planning and Evaluating World Water Day Activities*, s.l.: WHO/Unicef.

WIN-SA, 2011. *What Happens When The Pit is Full? Development in on-site Faecal Sludge Management (FSM)*, Gezine, South Africa: Water Information Network - South Africa (WIN-SA).

Anexos

Anexo 1 - Microrganismos patogénicos

Tabela A I: Microrganismos patogénicos em lamas fecais e respetivas doenças e sintomas. Adaptada de Schönning and Stenström (2004), em Linda Strande et. al. (2014).

Grupo	Agente patogénico	Sintomas de doença
Bactéria	Aeromonas spp	Enterite
	Campylobacter jejuni/coli	Campilobacteriose -Diarreia, câibras, dores abdominais, febre, náuseas, arterite, Síndrome de <i>Guillain-Barré</i>
	Escherichia coli (EIEC, EPEC, ETEC, EHEC)	Enterite. Para EHEC existem também hemorragias internas que podem ser fatais
	Salmonela typhi / paratyphi	Febre Tifoide e Paratifoide - Dores de cabeça, febre, enjoos, anorexia, bradicardia, esplenomegalia, tosse
	Salmonela spp.	Salmonelose - Diarreia, febre, câibras abdominais
	Shigella spp.	Shigelose - Desinteria (diarreia sanguinolenta), vômitos, câibras, febre, Síndrome de <i>Rehers</i>
	Vibrio cholera	Cólera - Diarreia líquida, fatal se intensa e não tratada
Vírus	Adenovírus	Diversos; Doenças respiratórias, neste caso agravadas devido a tipos de enterites
	Adenovírus entérico tipos 40 e 41	Enterite
	Adenovírus entérico tipos 68 e 71	Meningite; encefalite; paralisia
	Hepatite A	Hepatite - Febre, mal-estar, anorexia, náuseas, desconforto abdominal, icterícia
	Hepatite E	Hepatite
	Poliovírus	Poliomielite - Frequentemente assintomático, febre, náuseas, vômitos, dores de cabeça, paralisia
	Rotavírus	Enterite
Parasitas Protozoários	Cryptosporidium parvum	Criptosporidiose - Diarreia líquida, câibras e dores abdominais
	Cyclospora histoly	Frequentemente assintomático, diarreia, dores abdominais
	Entamoeba, histoly	Amoeblasts - Frequentemente assintomático, disenteria, desconforto abdominal, febre, arrepios
	Guardia intestinalis	Giardiase - Diarreia, câibras abdominais, mal-estar, perda de peso

Tabela A I (Cont.): Microrganismos patogénicos em lamas fecais e respetivas doenças e sintomas Adaptado de Schönning and Stenström (2004), em Linda Strande et. al. (2014).

Helmintos	<p>Ascaris lumbricoides</p> <p>Taenia solium/saginata</p> <p>Trichuris trichura</p> <p>Ancilostomíase (Parasitas)</p> <p>Esquistossoma Supp. (caudal sanguíneo)</p>	<p>Geralmente com poucos ou nenhuns sintomas; pieira; tosse; febre; enterite; eosinofilia pulmonar</p> <p>Teníase</p> <p>Tricuríase - Sintomas variam desde não aparentes a vagos problemas do aparelho digestivo até magreza com pele seca e diarreia</p> <p>Comichão; irritação da pele, tosse; anemia; deficiência de vitaminas</p> <p>Esquistossomose; bilhárzia</p>
-----------	--	--

Anexo 2 - Fatores de sobrevivência de microrganismos patogênicos.

Tabela A II: Fatores que afetam a sobrevivência dos microrganismos patogênicos.

Adaptada de Strauss (1985) e Jimenéz (2003), em WHO (2006b).

Factor	Influência sobre microrganismos patogênicos
Humidade	Ambientes húmidos favorecem a sobrevivência dos agentes patogênicos. Ambientes secos facilitam a eliminação dos agentes patogênicos.
Tipo de solo	Os solos argilosos e solos com alto teor de matéria orgânica favorecem a sobrevivência de microrganismos patogênicos.
Temperatura	É o fator mais importante na eliminação dos agentes patogênicos. As altas temperaturas provocam a rápida eliminação dos microrganismos patogênicos, e baixas temperaturas prolongam a sua sobrevivência. Temperaturas muito reduzidas podem causar a eliminação dos agentes patogênicos.
pH	Alguns vírus sobrevivem mais tempo em solos com baixo pH, enquanto os solos alcalinos estão associados com a eliminação rápida dos vírus; solos neutros ou vagamente alcalinos favorecem a sobrevivência das bactérias.
Luz solar (radiação ultravioleta)	A luz solar direta provoca a rápida inativação dos agentes patogênicos através de dissecação e exposição a radiação ultravioleta.
Folhagem/ Tipo de plantas	Algumas plantas têm superfícies pegajosas (i.e. courgette) ou conseguem absorver agentes patogênicos do ambiente (i.e. alfaces, couves), que resulta na sobrevivência prolongada de alguns agentes patogênicos; tubérculos como as cebolas são mais propensos a contaminações e facilitam a sobrevivência dos agentes patogênicos.
Competição com flora e fauna autóctones	Efeitos antagônicos das bactérias ou algas podem otimizar a eliminação; as bactérias podem servir de alimento a protozoários.

Anexo 3 – Parâmetros de caracterização de lamas fecais.

Tabela A III: Valores médios comparativos de parâmetros para lamas fecais e para lamas de ETAR. Adaptada de Strande et al. (2014).

Parâmetro	Saneamento pseudo-local		ETAR	Referência bibliográfica
	Casa de banho pública	Fossa séptica	Lamas	
pH	1,5 - 12,6 6,6 - 9,3			USEPA (1994) Kengne et. al (2011)
Sólidos totais, ST(mg/L)	52,500 30,000 ≥ 3,5%	12.000 - 35,000 22,000 34,106 < 3%	- - - < 1%	Koné and Strauss (2004) NWSC (2008) USEPA (1994) Heinss et. al (1998)
Sólidos voláteis totais (%)	68 65	50 - 73 45		Koné and Strauss (2004) NWSC (2008)
CQO (mg/L)	49,000 30,000 20,000 - 50,000	1.200 - 7,800 10,000 < 10,000	7 - 608 500 -2,500	Koné and Strauss (2004) NWSC (2008) Heinss et. al (1998)
CBO (mg/L)	7,600 -	840 - 2.600 -	- 20 - 229	Koné and Strauss (2004) NWSC (2008)
Azoto Total (mg/L)	-	190 - 300	- 32 - 250	Koné and Strauss (2004) NWSC (2008)
Azoto Kjeldhal total (mg/L)	3,400	1,000		Katukiza et al.(2012)
NH ₄ N(mg/L)	3,300 2,000 2.000 - 5,000	150 - 1.200 400 < 1.000	- 2 - 168 30 - 70	Koné and Strauss (2004) NWSC (2008)
Nitratos, NO ₃ (mgN/L)	-	0,2 - 21	-	Koottatep et al.(2005)
Fósforo total, (mgP/L)	450	150	9 - 63	NWSC (2008)
Coliformes fecais (org/100ml)	1x10 ⁵	1x10 ⁵	6.3x10 ⁴ 6.6x10 ⁵	NWSC (2008)
Ovos Helmitos (número/L)	2,500 20,000 - 60,00	4.000-5,700 4,000 600 – 6,000 16,000	- 300 -2,000	Heinss et. al (1994) Heinss et. al (1998) Ingallinella et. al(2002) Yen-Phi et. al(2010)

Anexo 4 - Planta de Ordenamento da Cidade de Tete

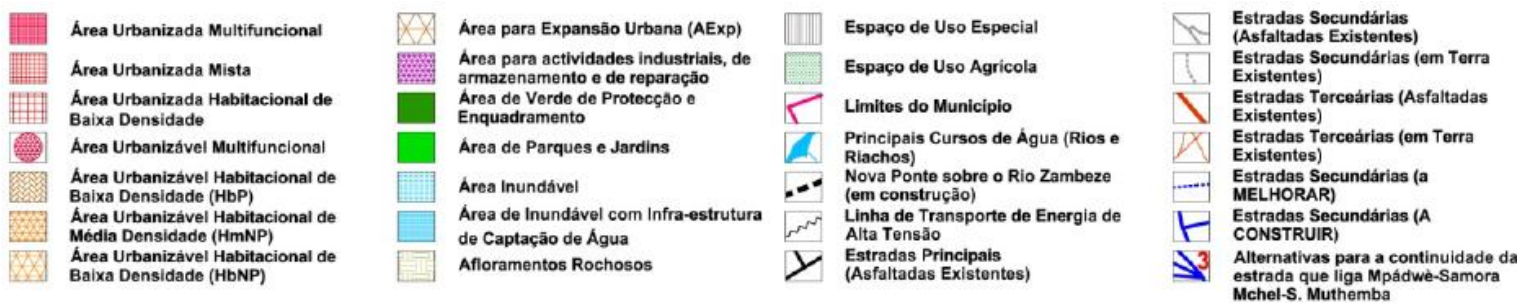
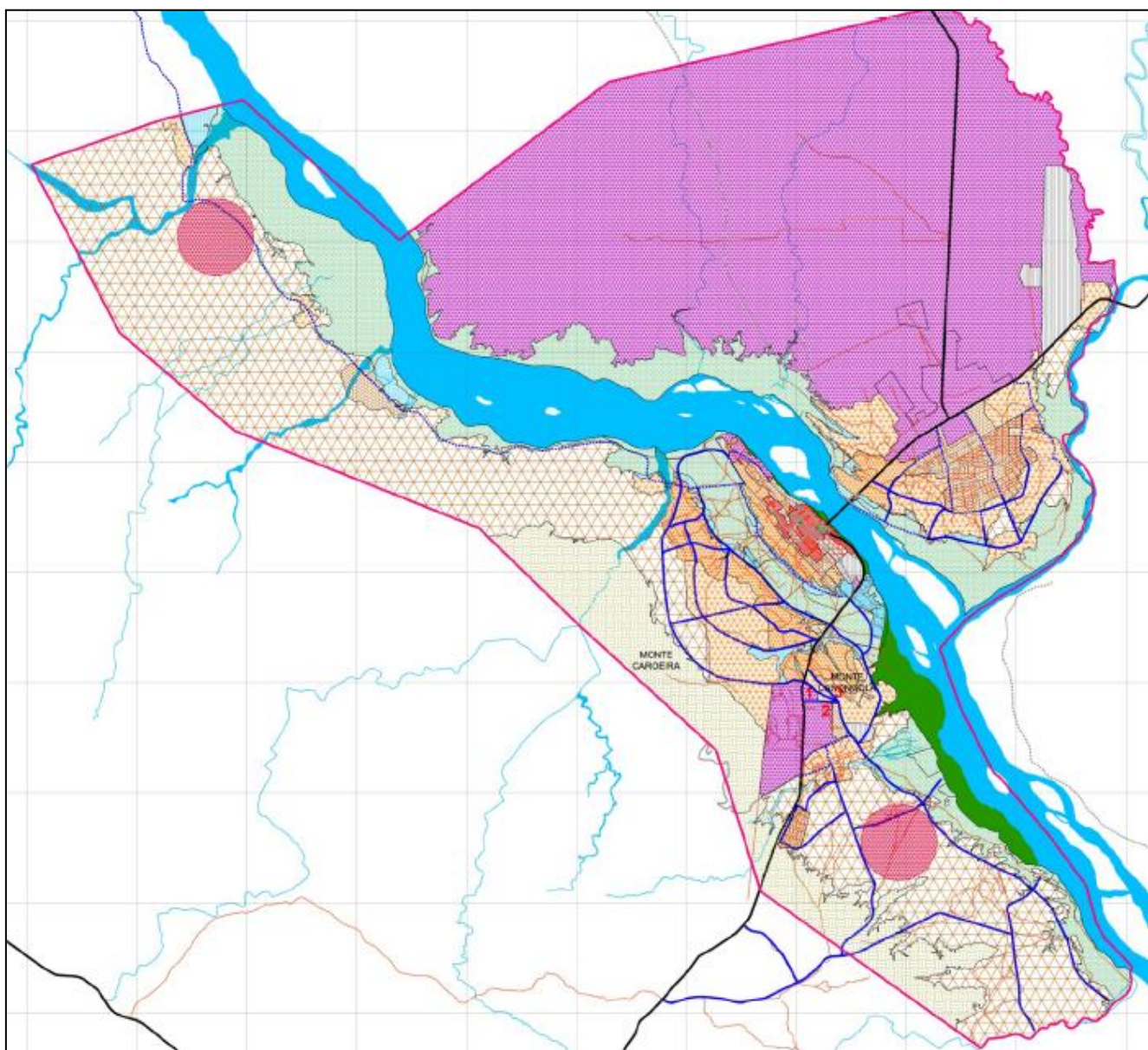


Figura A I: Planta de ordenamento com delimitação de usos previstos.

Anexo 5 - Plantas da rede de coletores e descarregadores da Cidade de Tete.



Figura A II: Planta da rede de coletores do Espaço Urbano.



Figura A III: Descarregador do Espaço Urbano da Cidade de Tete.



Figura A IV: Vista do descarregador da margem direita do rio Zambeze, junto à ponte do Espaço Urbano.

Anexo 6 - Estação de Tratamento de Águas Residuais e Lamas do Espaço Urbano da Cidade de Tete.

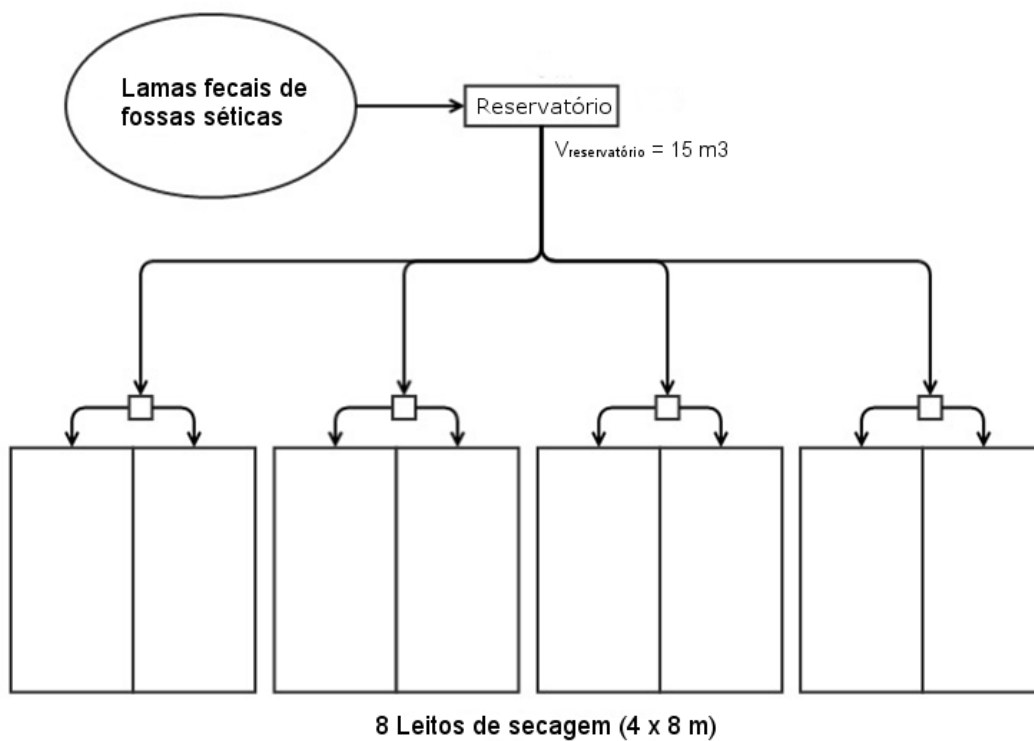


Figura A V: Representação esquemática dos 8 Leitos de Secagem da Estação de tratamento de lamas de fossas sêticas (ETAR/ETL).

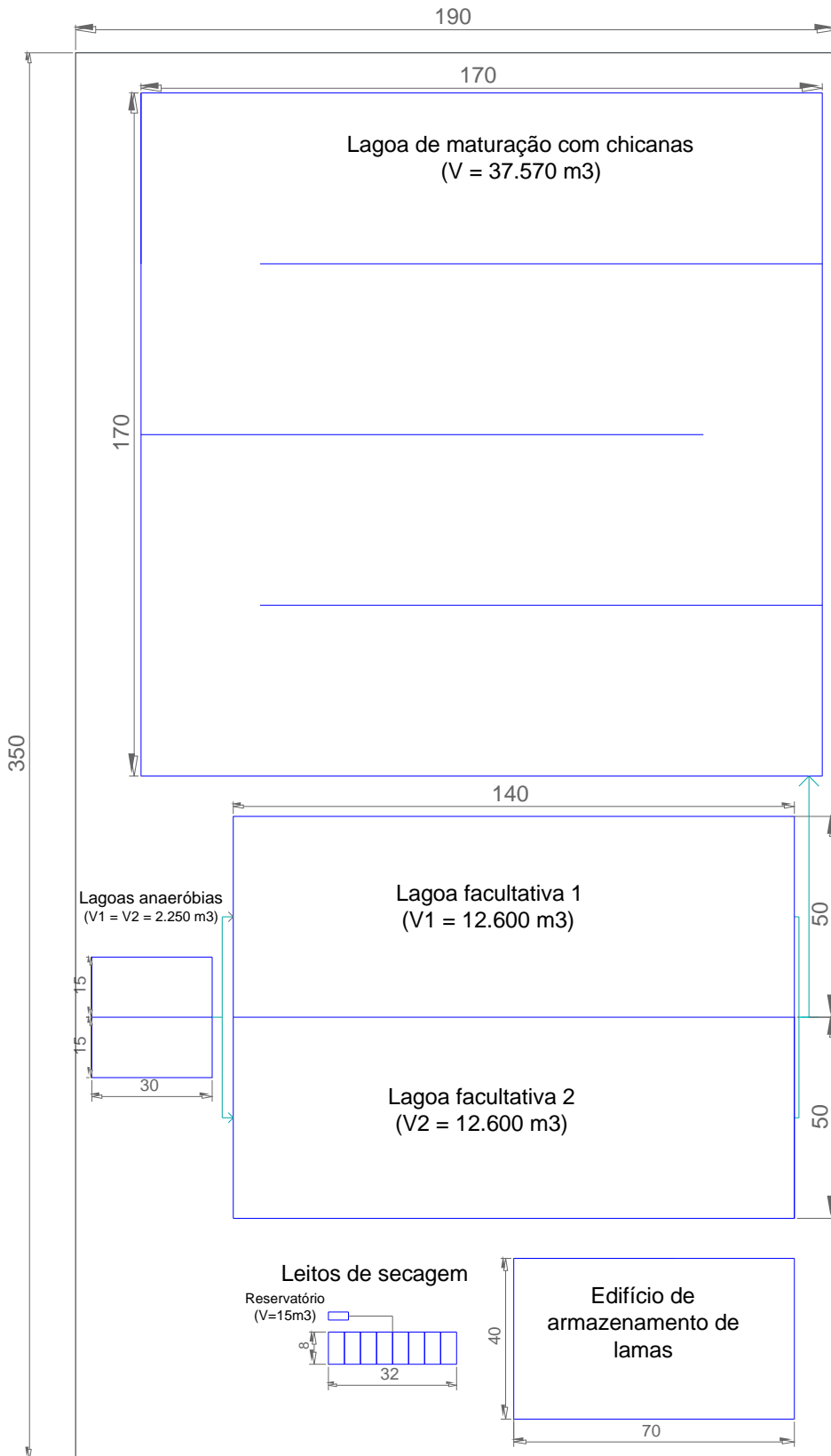


Figura A VI: Representação esquemática da planta do sistema de tratamento (metros).

Anexo 7 – Localização da Estação de Tratamento de Lamas do Espaço Urbano da Cidade de Tete.



Figura A VII: Zona em estudo para instalação da ETAR/ETL.