



**PROJETO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO ETE – DISTRITO DE SÃO BRÁS DE MINAS**

PREFEITURA DE LAGAMAR -MG

2023





DEPARTAMENTO DE PESQUISA E ENGENHARIA

PROJETO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O DISTRITO DE SÃO BRÁS (MG)

LAGAMAR-MG

2023



LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros de Projeto (Reator Aeróbio)	15
Tabela 2- Características físico-químicas do esgoto sanitário afluente forte.	16
Tabela 3-Dimensões do gradeamento.....	38
Tabela 4- Especificação da caixa de gradeamento	40
Tabela 5- Especificação da caixa de areia	42
Tabela 6- Especificação da caixa de gordura	44
Tabela 7- Parâmetros de qualidade do efluente do esgoto e os limites definidos pela Resolução CONAMA 430/2011.....	45
Tabela 8- Tabela climática de Lagamar-MG.....	46
Tabela 9- Relação entre temperatura e tempo de detenção	47
Tabela 10- Dimensionamento do reator UASB.....	47
Tabela 11- Velocidades ascendentes (m/h) no reator UASB, conforme norma técnica	49
Tabela 12-Estimativa das concentrações de DBO, DQO nas correntes de entrada e de saída do UASB, bem como a eficiência de cada sistema	54



Tabela 13- Taxa de aplicação e tempos de detenção hidráulica no compartimento de decantação	56
Tabela 14- Velocidades nas aberturas para o decantador	57
Tabela 15- Altura dos compartimentos dentro do reator UASB	59
Tabela 16- Dimensões do selo hídrico.....	60
Tabela 17- Resumo dos parâmetros de projeto do reator UASB.....	62
Tabela 18- Resumo dos parâmetros da corrente de entrada do filtro biológico	63
Tabela 19- Critérios parâmetros de projeto de FA como unidade de pós tratamento ..	64
Tabela 20- Dimensões do FA	66
Tabela 21- Estimativa das concentrações de DBO, DQO nas correntes de entrada e de saída do FA.....	69
Tabela 22- Medidas e parâmetros da vala de infiltração	71
Tabela 23- Resumo das variáveis de projeto do leito de secagem.....	73
Tabela 24- Medidas e parâmetros do leito de secagem	74
Tabela 25- Programa de monitoramento de um reator UASB durante partida	77



LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização das estações de tratamento (ETEs).....	14
Figura 2- Fluxograma de processo da ETE	21
Figura 3- Esquema de um tratamento preliminar.	22
Figura 4- Esquema do processo de um reator UASB	26
Figura 5-Filtro Anaeróbio de fluxo ascendente	29
Figura 6 - Representação de um vertedor triangular do tipo Thompson	30
Figura 7 - disposição das camadas do leito de secagem.....	33
Figura 8- Ilustração da caixa de retenção primária.....	37
Figura 9 - Ilustração do gradeamento com as grades	41
Figura 10 -Ilustração da caixa desarenadora.....	43
Figura 11 - Ilustração da caixa de gordura	44
Figura 12- Representação da parte externa do reator UASB com escada e guarda corpo.	48
Figura 13 Representação da parte externa do reator filtro biológico anaeróbio com escada e guarda corpo.....	66



Figura 14 - Configuração da vala de infiltração de alta taxa de percolação 71



SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	12
1.1. Empreendimento.....	12
1.2. Descrição do Projeto.....	13
2. MEMORIAL DESCRITIVO	13
2.1. Introdução.....	13
2.2. Localização do Empreendimento	13
2.3. Parâmetros de Projeto	14
2.4. Características do Esgoto.....	15
3. MEMORIAL JUSTIFICATIVO	16
3.1. Histórico	16
3.2. Legislações e Normas	17
3.3. Objetivo do Tratamento.....	18
3.4. Tratamento adotado	19
3.4.1. Fluxograma de Processo da ETE.....	20
3.4.2. Tratamento Preliminar	22
3.4.3. Reator Anaeróbio	23



3.4.4.	Filtro Anaeróbio.....	28
3.4.5.	Vertedor Thompson.....	29
3.4.6.	Vala de Infiltração.....	30
3.4.7.	Leito de Secagem.....	32
3.5.	Vazão de Projeto.....	34
3.6.	Tratamento Preliminar.....	36
3.6.1.	Caixa de retenção primária.....	36
3.6.2.	Gradeamento.....	38
3.6.3.	Caixa de areia.....	41
3.6.4.	Caixa de Gordura.....	43
3.7.	REATOR ANAERÓBIO.....	44
3.7.1.	Parâmetros de qualidade do efluente.....	45
3.7.2.	Temperatura.....	45
3.7.3.	Volume.....	46
3.7.4.	Velocidade Ascensional.....	49
3.7.5.	Carga Orgânica Volumétrica.....	50
3.7.6.	Sistema de Distribuição do esgoto afluente.....	50



3.7.7. Eficiência na Remoção de DQO do Sistema.....	52
3.7.8. Eficiência na Remoção de DBO do Sistema	53
3.7.9. Estimativa das Concentrações de DQO e DBO no efluente final	53
3.7.10. Estimativa da Produção de Gás Metano (CH ₄).....	54
3.7.11. Separação dos Sólidos.....	56
3.7.12. Altura do Reator	59
3.7.13. Sistema de Gases	59
3.7.14. Sistema de Amostragem e Descarte de Lodo.....	60
3.7.15. Produção de Lodo.....	61
3.8. FILTRO ANAERÓBIO.....	63
3.8.1. Parâmetros de qualidade do efluente	63
3.8.2. Tempo de Detenção e Volume do FA	64
3.8.3. Altura e Área do Filtro Biológico Anaeróbio.....	65
3.8.4. Taxa de Aplicação Hidráulica Superficial	67
3.8.5. Carga Orgânica Volumétrica do FA	67
3.8.6. Determinação da Eficiência do Filtro Biológico	68



3.8.7. Estimativa das Concentrações de DQO e DBO no efluente final	69
3.9. VERTEDOR THOMPSON	69
3.10. VALA DE INFILTRAÇÃO	70
3.11. LEITO DE SECAGEM	72
3.11.1. Parâmetros iniciais	72
3.11.2. Área necessária	73
3.12. PARTIDA DO REATOR USANDO O PROCESSO DE INOCULAÇÃO	75
3.12.1. Inoculação do Reator.....	75
3.12.2. Alimentação do Reator com Esgoto	76
3.12.3. Monitoramento do Processo de Tratamento	77
4. DIRETRIZES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	78
4.1. ATIVIDADE DIÁRIAS	79
4.2. ATIVIDADES SEMANAIS	80
4.3. ATIVIDADES MENSAIS	80
5. PROBLEMAS OPERACIONAIS E SUAS SOLUÇÕES	80
5.1. DESPRENDIMENTO DE ODORES DESAGRADÁVEIS	81
5.2. EFLUENTE CONTENDO ELEVADO TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS	82



5.3.	QUEDA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS	82
5.4.	QUEDA NA EFICIÊNCIA DO SISTEMA.....	83
5.5.	FLUTUAÇÃO DE GRÂNULOS	84
5.6.	PROLIFERAÇÃO DE INSETOS	84
6.	REFERÊNCIAS	86



1. APRESENTAÇÃO

1.1. EMPREENDIMENTO

Este memorial descritivo apresenta os critérios e orientações adotadas para o projeto e dimensionamentos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) a serem implantados no Distrito de São Brás de Minas, município de Lagamar – Fase 1.

Os Empreendimentos ficarão localizados nas referências geográficas: 18°03'55.57''S 46°41'27.38''O e 18°03'17.10''S 46°41'06.76''O

O objetivo da construção das ETEs é tratar as águas residuárias oriundas do Distrito de São Brás de Minas, município de Lagamar – Fase 1, efluente esse, enquadrado como sanitário, conforme a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) N°02/2017. O efluente tratado será lançado como disposição final no solo por meio de valas de infiltração.

O presente memorial descritivo é composto pelas partes abaixo descritas:

- Memorial descritivo: apresentação, concepção e descrição do projeto;
- Memorial de cálculo: apresenta o dimensionamento dos elementos do sistema;
- Especificações técnicas: apresenta as prescrições de controle tecnológico na execução dos elementos construtivos do projeto;
- Peças gráficas: apresenta plantas, cortes, detalhes e demais elementos gráficos relacionados ao projeto da ETE e necessários à sua execução.



1.2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

A alternativa de tratamento descrita no presente projeto para o sistema das ETEs a serem implantadas no empreendimento, utiliza a tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Dessa forma, o Projeto básico da estação de tratamento de esgotos sanitário será elaborado com o intuito de dimensionar um tratamento adequado para os efluentes sanitários provenientes do Distrito de São Brás de Minas, município de Lagamar – Fase 1.

2. MEMORIAL DESCRITIVO

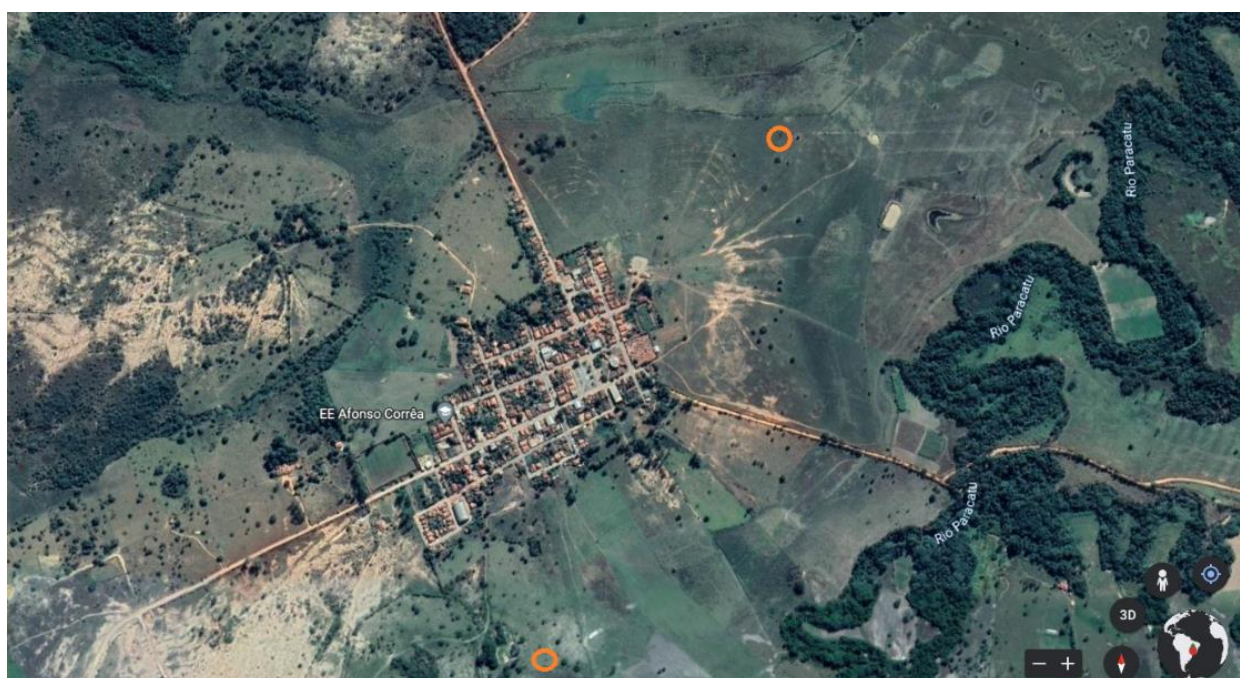
2.1. INTRODUÇÃO

Este memorial se aplica ao dimensionamento do sistema de tratamento de efluentes líquidos do Distrito de São Brás de Minas – Fase 1. O sistema de decomposição anaeróbia, objeto deste projeto, será dimensionado a fim de garantir a eficiência adequada no tratamento do efluente sanitário produzido na localidade. O sistema será composto por: tratamento preliminar, tanques UASB (reator anaeróbio), seguido de um sistema de filtros anaeróbios e disposição final do efluente no solo através de valas de infiltração). Para realizar o tratamento do lodo antes da disposição final, também serão dimensionados leitos de secagem.

2.2. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Os empreendimentos ficarão localizados no Distrito de São Brás de Minas, Município de Lagamar - MG, em dois terrenos com área de 2.500m² cada, conforme indicado na Figura 1.

Figura 1- Localização das estações de tratamento (ETEs).



Fonte: Google Earth

2.3. PARÂMETROS DE PROJETO

Tomando como base a literatura de Von Sperling (1997) sobre reatores anaeróbios e as recomendações técnicas definidas pelas normas em documentação especializada, os parâmetros a serem utilizados no dimensionamento do reator anaeróbio, constituinte do sistema de tratamento em questão, são explicitados na Tabela 1.



Tabela 1- Parâmetros de Projeto (Reator Aeróbio)

Símbolo	Parâmetro	Magnitude	Unidade
R	Constante dos gases	0,08206	atm.L/mol.K
CB	Carga Biológica	2	kgDQO/kgSVT.dia
v	Velocidade superficial	0,5-0,7	m/h
Y _{OBS}	Coefficiente de produção de sólidos	0,18	kgDQO _{lodo} /kgDQO _{aplicada}
K	Fator de correção de temperatura	64	gDQO/mol
S ₀	DBO solúvel afluente	400	mg/L
γ	Densidade do lodo	1020	kgSST/m ³
C	Concentração esperada para o lodo de descarte	4	%

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Von Sperling, 1997.

2.4. CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO

O esgoto sanitário, segundo definição da norma brasileira NBR 9.648 (ABNT, 1986), é o “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”. Sua composição é essencialmente orgânica e relativamente constante. Para a correta concepção da solução, o projeto deve levar em consideração a qualidade do esgoto bruto. As características do efluente a ser tratado no sistema em questão (Tabela 2), foram definidas com base na literatura disponível.



Tabela 2- Características físico-químicas do esgoto sanitário afluente forte.

Parâmetro	Magnitude	Unidade
DBO _{5/20}	400	mg/L
DQO afluente (g/hab.dia)	1000	mg/L
Carbono Org. Total	290	mg/L
Nitrogênio total	85	mg/L
Nitrogênio Orgânico	35	mg/L
Nitrogênio Amoniacal	50	mg/L
Fósforo Total	15	mg/L
Fósforo Orgânico	05	mg/L
Fósforo Inorgânico	10	mg/L
Cloreto	100	mg/L
Sulfato	50	mg/L
Óleos e Graxas	150	mg/L

Fonte: Metcalf & Eddy (1991)

3. MEMORIAL JUSTIFICATIVO

3.1. HISTÓRICO

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial têm efeitos adversos sobre o meio ambiente, como a poluição e a degradação dos recursos naturais. Por isso, a proteção ambiental tem sido um desafio para governos e centros de pesquisa, que investigam tecnologias apropriadas para reverter tendências de degradação, prevenir danos irreversíveis e melhorar a qualidade de vida das gerações atuais e futuras. Além disso, o esgoto bruto (não tratado) contém agentes patogênicos, microrganismos, resíduos tóxicos e nutrientes que provocam o



crescimento de outros tipos de bactérias. Por esta razão, os sistemas de coleta e tratamento de esgotos são importantes para a saúde pública, uma vez que a falta de tratamento dos esgotos e condições adequadas de saneamento contribuem para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas além da degradação do corpo da água. SANTOS e col, 2018.

Diante desse contexto, os prejuízos causados ao corpo receptor e, em consequência, à população, podem ser reduzidos com a implantação de sistemas eficientes de tratamento de água e de esgotos.

3.2. LEGISLAÇÕES E NORMAS

As unidades constituintes do sistema de tratamento por lodos ativados serão construídas conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de acordo com as normas relacionadas a seguir:

- NBR 12.209/92: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário;
- NBR 9.648/86: Estudo de concepção de esgoto sanitário;
- NBR 7.229/93: Projeto, Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais;
- NBR 13.969/97: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação;

Os materiais utilizados na construção do reator anaeróbio de fluxo ascendente e filtro devem possuir resistência mecânica adequada às solicitações e ao ataque químico das substâncias geradas na digestão do esgoto.



3.3. OBJETIVO DO TRATAMENTO

O objetivo do tratamento do esgoto é remover os poluentes da água previamente usada pela população, de forma a devolvê-la aos corpos hídricos em boas condições e de acordo com os parâmetros exigido pelos órgãos ambientais.

Por esta razão, o tratamento incluirá a redução da concentração e/ou enquadramento nas faixas adequadas de alguns parâmetros importantes do esgoto sanitário, de acordo com as condições estabelecidas na resolução CONAMA n° 430/11, são elas:

a) pH entre 5 e 9;

b) Temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) Materiais sedimentáveis: até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

e) Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e

f) Ausência de materiais flutuantes.



3.4. TRATAMENTO ADOTADO

Diversos fatores influenciam na escolha adequada do sistema destinado ao tratamento de águas residuárias de uso doméstico:

- Volume da contribuição dos despejos;
- Dimensão da área destinada pelo empreendedor para a edificação da ETE;
- Área necessária para a implantação e número de habitantes atendidos;
- Complexidade construtiva, operacional e de manutenção;
- Custo de implantação e de operação;
- Eficiência (Remoção de DBO);
- Características do terreno e nível do lençol freático;
- Destinação dos efluentes tratados;
- Exigências dos órgãos ambientais; e
- Legislação ambiental.

No Brasil, a utilização de reatores de manta de lodo para tratamento de efluentes domésticos já é uma realidade e conta com milhares de implantações bem-sucedidas em todo território nacional. Os processos anaeróbios que utilizam o reator de manta de lodo apresentam muitas vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, principalmente quando aplicados em climas quentes, como ocorre na maioria das comunidades do Brasil. Em tais situações, pode-se esperar um sistema com os seguintes recursos principais:

- Sistema compacto;
- Baixos custos de implantação e operação;
- Baixa Produção de Lodo;
- Baixo ou nenhum consumo de energia;
- Eficiência de remoção de DBO/DQO satisfatória da ordem de 65-75%;

*Prefeitura de Lagamar – MG - CNPJ: 18.192.260/0001-71 - Praça Magalhães Pinto, 68 - Centro - CEP 38785-000
Lagamar/MG Telefone: (34) 3812-1125 - gabinete@lagamar.mg.gov.br*



- Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações;
- Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;
- Tolerância a elevadas cargas orgânicas;
- Aplicabilidade em pequena e grande escala;
- Baixo consumo de nutrientes;
- Boa desidratabilidade do lodo.

Quando bem projetado, construído e operado, o sistema não deve apresentar problemas de mau cheiro e de falhas devido à presença de elementos tóxicos e/ou inibidores.

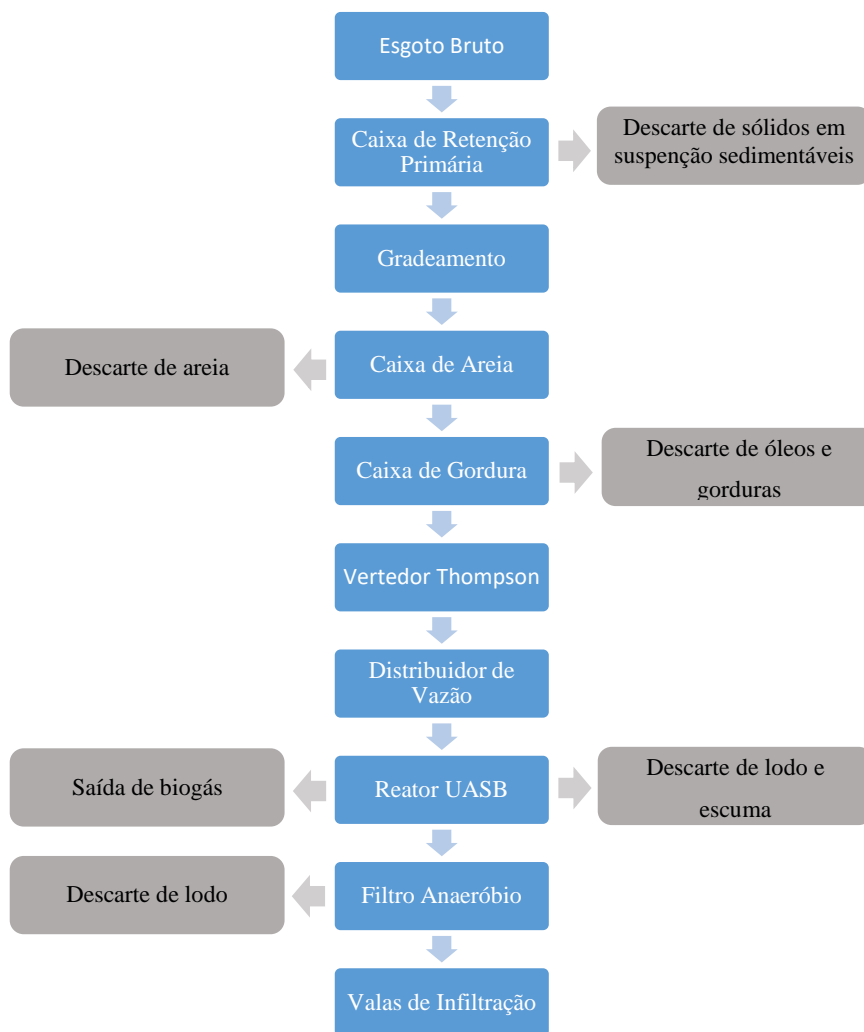
Como resultado dos fatores expostos, optou-se por utilizar o processo anaeróbio de manta de lodo seguido por um filtro anaeróbio para complementar a eficiência do tratamento. Essa tecnologia de tratamento atende a todos os parâmetros exigidos e esperados para a ETE do empreendimento. SPERLING, 1997.

3.4.1. Fluxograma de Processo da ETE

Águas residuárias com altas concentrações de matéria orgânica são muito prejudiciais à natureza, e a estações anaeróbia é um mecanismo para reduzir essa carga. O processo em uma estação de tratamento anaeróbio de águas residuais é complexo, mas graças a essa técnica, as águas residuais se tornam livres de contaminantes potencialmente prejudiciais ao meio ambiente e podem descartadas adequadamente em cursos de água. A Figura 2 representa o fluxograma de processo da ETE.



Figura 2- Fluxograma de processo da ETE



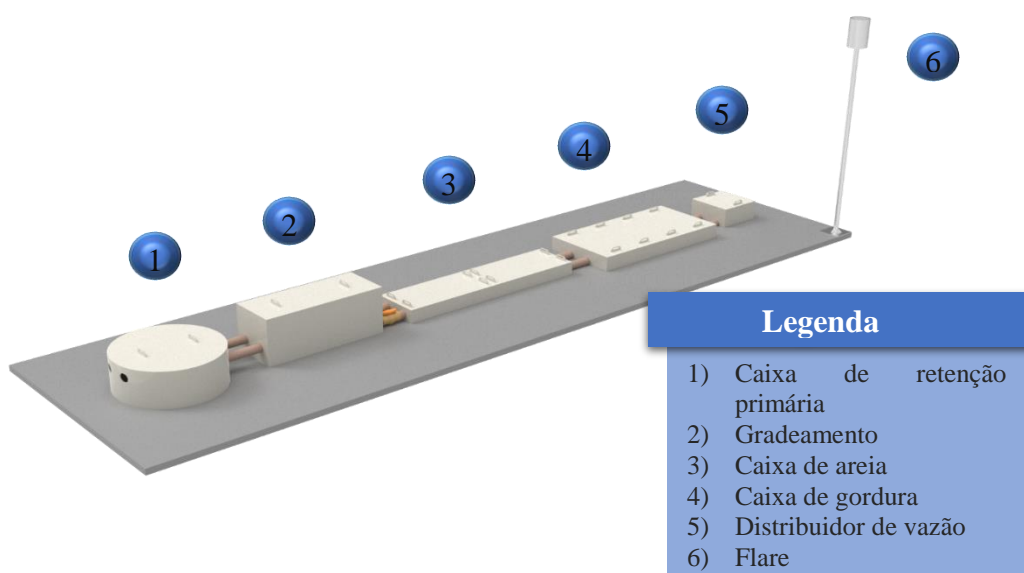
Fonte: Própria

3.4.2. Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar é a etapa inicial do tratamento, cuja finalidade é a remoção de sólidos grosseiros (panos, garrafas, fraldas) e areia, a fim de que estes não danifiquem as tubulações e os sistemas de bombeamento, protegendo, dessa forma, as etapas posteriores do processo de tratamento. Os mecanismos de remoção utilizados no pré-tratamento são de ordem física, de modo que nessa etapa o efluente passará inicialmente através de um gradeamento (para remoção sólidos grosseiros), seguido por um desarenador ou caixa de areia (para remoção de particulado fino, através do processo de sedimentação). A não inserção do pré-tratamento dará condições a entupimentos nas tubulações de distribuição e vertedouros. VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994)

Um esquema de tratamento preliminar, é mostrado na Figura 3.

Figura 3- Esquema de um tratamento preliminar.



Fonte: Própria



A caixa de gordura pode ser considerada um item do tratamento preliminar, e seu uso é indicado por vários autores devido a contribuições de regiões de comércio e restaurantes de uma cidade. Este equipamento evita o entupimento causado por restos de cozinha, razão pela qual são componentes tão importantes dos sistemas hidráulicos. O dispositivo funciona por meio de um sifão que retém a gordura dentro da caixa e impede que ela circule pela tubulação. Está dividido em duas câmaras, uma câmara de recepção e uma câmara de transbordo, separadas por uma anteparo não removível. O processo de separação é um processo físico causado por diferenças de densidade, geralmente óleos leves se acumulam na superfície e os óleos que são mais densos que a água, se depositam e são removidos por lavagem do fundo do tanque (GIORDANO, 2008).

Acrescenta-se ainda que, os óleos e gorduras removidos pelas caixas de gordura devem ter destinação apropriada, sendo encaminhados para reaproveitamento ou para aterro sanitário (BRAILE, 1993).

3.4.3. Reator Anaeróbio

3.4.3.1. Microbiologia da Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbica pode ser pensada como um ecossistema no qual vários grupos de microrganismos interagem para transformar matéria orgânica complexa em metano, dióxido de carbono, água, sulfeto de hidrogênio e amônia. Esse processo pode ser subdividido em 5 fases principais, como a seguir:

Hidrólise: Como as bactérias não podem assimilar matéria orgânica particulada, o primeiro passo no processo de degradação anaeróbia é a quebra da matéria particulada complexa (polímeros) em substâncias mais solúveis (moléculas menores). A conversão dessas partículas em material orgânico simples é realizada pela ação de exoenzimas secretadas por



bactérias hidrolíticas fermentativas. Na rota anaeróbia, a hidrólise do polímero geralmente ocorre lentamente, e vários fatores podem afetar a extensão e a taxa da hidrólise do substrato como:

- Temperatura operacional do reator;
- Tempo de residência do substrato no reator;
- Composição do substrato (ex.: teores de lignina, carboidrato, proteína e gordura);
- Tamanho das partículas;
- pH do meio;
- Concentração de $\text{NH}_4^+\text{-N}$;
- Concentração de produtos da hidrólise (ex.: ácidos graxos voláteis).

Acidogênese: Os produtos solúveis da etapa de hidrólise são metabolizados dentro das células das bactérias fermentativas e convertidos em alguns compostos mais simples, que são então excretados das células. Os compostos produzidos incluem ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, dióxido de carbono, hidrogênio, amônia, sulfeto de hidrogênio e novas células bacterianas. Os ácidos graxos voláteis são os principais produtos da fermentação de organismos, por isso são comumente referidos como bactérias fermentativas acidogênicas.

Acetogênese: As bactérias acetogênicas estão envolvidas na oxidação de produtos gerados na etapa acidogênica em substratos adequados para as bactérias metanogênicas. Os produtos controlados por bactérias acetogênicas são hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. A produção de ácido acético e ácido propiônico produz uma grande quantidade de hidrogênio e reduz o valor do pH do meio aquoso. Existem duas maneiras pelas quais o hidrogênio é consumido no meio: i) através das bactérias metanogênicas que produzem metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono; ii) através da formação de ácidos orgânicos; formados pela reação de hidrogênio e dióxido de carbono, como ácido propiônico e ácido butírico. De todos



os produtos metabolizados por bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o ácido acético estão diretamente disponíveis para as metanogênicas.

Metanogênese: As bactérias metanogênicas assumem a etapa final em todo o processo de decomposição anaeróbica de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono. As metanogênicas usam apenas um número limitado de substratos, incluindo ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilamina e monóxido de carbono. Com base na afinidade do substrato e na extensão da produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais: i) acetoclásticas (responsáveis pela produção de 60 a 70% de metano) que produzem metano a partir do ácido acético ou metanol, e um segundo grupo, ii) hidrogenotróficas, que produzem metano a partir do hidrogênio e do dióxido de carbono.

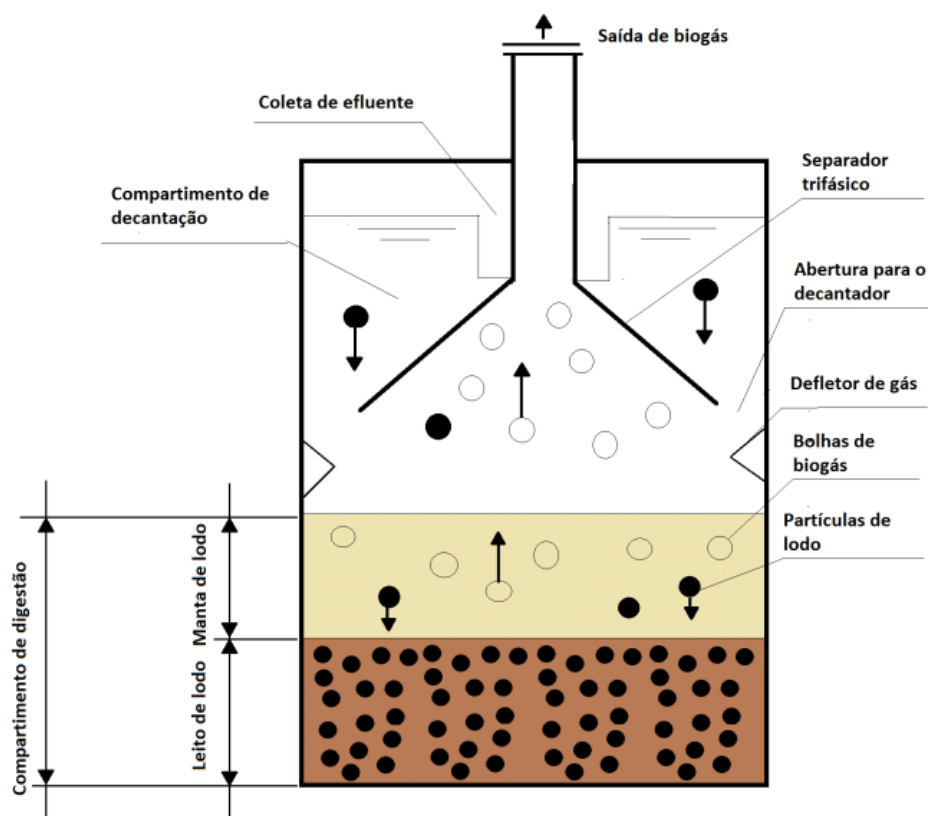
Sulfetogênese: A produção de sulfeto é o processo de usar sulfatos e outros compostos de enxofre como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante esse processo, sulfatos, sulfitos e outros compostos de enxofre são reduzidos a sulfeto pela ação de um grupo de bactérias estritamente anaeróbicas chamadas bactérias redutoras de sulfato (ou bactérias redutoras de enxofre). As bactérias redutoras de enxofre são consideradas uma comunidade microbiana altamente versátil, capaz de utilizar uma ampla variedade de substratos, incluindo ácidos graxos voláteis, vários ácidos aromáticos, hidrogênio e cadeias inteiras de metanol, etanol, glicerol, açúcar, aminoácidos e vários compostos fenólicos.

3.4.3.2. Esquema do Processo do Reator UASB

O reator UASB é a primeira unidade do sistema de tratamento secundário. O objetivo nessa etapa é retirar a matéria orgânica por meio do aceleração da biodegradação que ocorre naturalmente nos corpos receptores. Um sistema de tratamento preliminar antecede o UASB, logo após, os efluentes sanitários são encaminhados à parte inferior do reator anaeróbio de fluxo

ascendente, quando ocorre a distribuição homogênea no fundo da unidade. Com a decomposição da matéria orgânica no reator, há formação de gases, principalmente metano e gás carbônico, que apresenta uma tendência ascendente assim como o fluxo do líquido. Na parte inferior do reator há a concentração do lodo formado, sendo mantido em suspensão pela ação ascendente dos efluentes sanitários. A movimentação suave do lodo no ambiente anaeróbico permite a sua floculação, com a formação de uma camada composta de grânulos de lodo ativado anaeróbico, por onde os efluentes sanitários atravessam quando entram no reator. A dinâmica das partículas no interior do reator é mostrada esquematicamente na Figura 4.

Figura 4- Esquema do processo de um reator UASB



Fonte: Barros (2016).



Uma vez que os fluidos (líquido e gasoso) apresentam fluxo ascensional e as partículas de lodo fluxo em sentido contrário, o reator UASB é dotado de defletores. Então, com o objetivo de manter a biomassa no sistema, a parte superior do reator apresenta uma estrutura que possibilita as funções de separação e acúmulo de gás e de separação e retorno dos sólidos. Os sólidos sedimentam nessa estrutura cônica, vertendo pelas suas laterais, até voltarem ao corpo do reator.

Devido à grande quantidade de biomassa contida no reator, o volume do reator é pequeno em comparação com todos os outros sistemas de tratamento. Essa retenção de lodo permite que o reator suporte altas cargas, desde que haja um contato suficiente entre a biomassa e o efluente. Todas essas características construtivas do reator anaeróbico de manta de lodo, juntamente com as propriedades dos elementos que serão separados, faz com que os tempos de detenção de sólidos e hidráulico, as cargas volumétricas orgânicas e hidráulicas, e a velocidade ascensional, sejam os principais parâmetros de controle. (GOMES, SANTOS, SILVINOL, 2007).

Uma grande vantagem da implementação do reator UASB como forma de tratamento secundário é a ausência de uma etapa específica para estabilização do lodo, uma vez que o volume gerado é pequeno e no momento de seu descarte ele já se encontra inativo.

Após passar pelo reator UASB, o efluente é enviado continuamente a um filtro anaeróbico, responsável por complementar o processo de tratamento do esgoto levando a um resultado médio de remoção de DQO e DBO que pode variar de 70 a 95%. CHERNICHARO e MACHADO (1997).



3.4.4. Filtro Anaeróbio

O filtro anaeróbio ascendente é um reator com crescimento bacteriano aderido em leito fixo. É essencialmente uma unidade de contato na qual o efluente passa por uma massa de bactérias agregadas a um material inerte contidos em um reator. A biomassa retida no reator pode se apresentar de três formas diferentes:

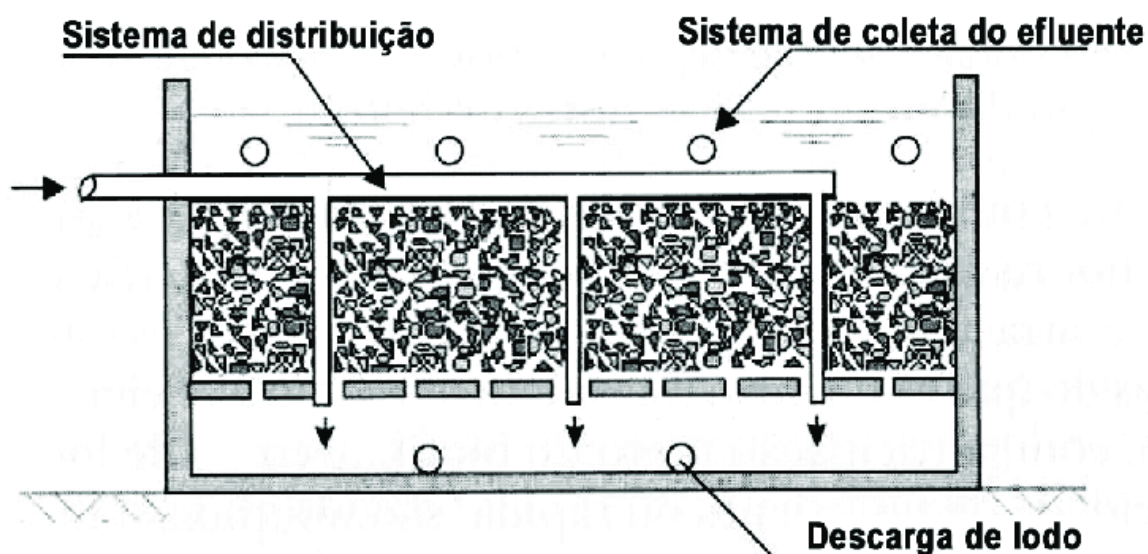
- Na forma de uma fina camada de biofilme aderida à superfície do material de suporte;
- Na forma de biomassa dispersa retida nos interstícios do material suporte
- Na forma de flocos ou grânulos retidos no fundo falso abaixo do material suporte.

Esses microrganismos são retidos e concentrados no reator de forma que o tempo de residência celular seja maior que o tempo de residência hidráulica, contribuindo dessa forma para o aumento da remoção da carga orgânica e incremento da eficiência do tratamento biológico. Naturalmente, os compostos orgânicos solúveis contidos nas águas residuais afluentes entram em contato com a biomassa, difundem-se pela superfície de biofilmes ou lodo granular e são convertidos em produtos intermediários e finais, especialmente metano e dióxido de carbono.

Além disso, os filtros anaeróbicos são reatores de simples construção e operação. Eles podem operar em dois sentidos de fluxo: ascendente e descendente. No filtro de fluxo ascendente, o líquido permeia a partir do fundo, difunde-se pela área do fundo falso, flui através do material de enchimento e é coletado no topo. Os filtros de fluxo ascendente têm a maior retenção do excesso de lodo e o maior risco de entupimento intersticial, portanto, são mais adequados para águas residuais com baixas concentrações de sólidos suspensos. O filtro de

corrente descendente inverte o caminho e pode ou não afogar o leito. COSTA (2008). A dinâmica do fluido no interior do reator é mostrada esquematicamente na Figura 4.

Figura 5-Filtro Anaeróbico de fluxo ascendente



Fonte: GONÇALVES (2006).

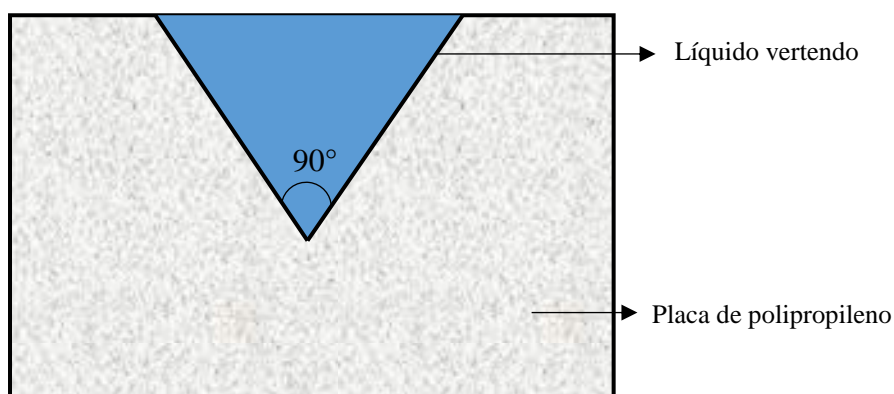
O filtro anaeróbico tem sido usado para tratar uma variedade de águas residuais com diversos tipos de recheio. Certos tipos de mídia de suporte são mais eficientes do que outros na retenção de biomassa, mas a escolha final dependerá de condições locais específicas, considerações econômicas e fatores operacionais.

3.4.5. Vertedor Thompson

O medidor de Vazão do tipo Thompson é de concepção simples, porém muito funcional. Possui excelente durabilidade e confiabilidade. Seu princípio de funcionamento baseia-se em um estreitamento de canal no formato de “V” para medir a vazão. A água, ao passar por este estreitamento, possibilita o cálculo da vazão em tempo real, proporcionado pela razão entre da

altura da água e dimensões da canaleta. A 6 representa o esquema de um vertedor triangular tipo Thompson.

Figura 6 - Representação de um vertedor triangular do tipo Thompson



Fonte: Própria.

3.4.6. Vala de Infiltração

A vala de infiltração é um método de tratamento de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto, que consiste na infiltração do efluente no solo, onde a purificação ocorre por meio de processos físicos (retenção de sólidos), químicos (adsorção) e bioquímicos (oxidação). Trata-se essencialmente de condutos não vedados (normalmente um tubo perfurado), rodeada de cascalho e estendida no interior de uma trincheira de terra do próprio local, com um ligeiro declive ao longo do seu comprimento. O conduto distribui a drenagem ao longo da vala e permite a infiltração até o nível subterrâneo.

As valas de infiltração são unidades de depuração (pós tratamento) e disposição final de efluentes tratados no subsolo. A composição química do solo tem influência fundamental na



remoção eficiente de patógenos e fósforo, e a introdução de aplicações intermitentes melhora a eficácia do tratamento de remoção de nitrogênio e aumenta a durabilidade do sistema.

3.4.6.1. Estimativa da Capacidade de percolação

A primeira etapa para o dimensionamento de uma vala de infiltração é a determinação da capacidade de percolação do solo de modo a simular a condição de solo saturado. A NBR 13969:1997 em seu anexo A descreve o procedimento para estimar a capacidade de percolação do solo, a seguir:

- a) O número de locais de ensaio deve ser no mínimo 3 pontos, distribuídos aproximadamente de modo a cobrir áreas iguais no local indicado para campo de infiltração;
- b) Com o trado de \varnothing 150 mm, escavar uma cava vertical, de modo que o fundo da cava esteja aproximadamente no mesmo nível previsto para fundos das valas; NOTA - Este nível deve ser determinado, levando em conta a distância mínima do fundo da vala em relação ao nível máximo do aquífero local (cerca de 1,50 m) e cota de saída do efluente de tanque séptico.
- c) Retirar os materiais soltos no fundo da cava e cobrir o fundo com cerca de 0,05 m de brita;
- d) Encher a cava com água até a profundidade de 0,30 m do fundo e manter esta altura durante pelo menos 4 h, completando com água na medida em que desce o nível. Este período deve ser prolongado para 12 h ou mais se o solo for argiloso; esta constitui uma etapa preliminar para saturação do solo;
- e) Se toda a água inicialmente colocada infiltrar no solo dentro de 10 min, pode-se começar o ensaio imediatamente;
- f) Exceto para solo arenoso, o ensaio de percolação não deve ser feito 30 h após o início da etapa de saturação do solo;



- g) determinar a taxa de percolação como a seguir: - colocar 0,15 m de água na cava acima da brita, cuidando-se para que durante todo o ensaio, não seja permitido que o nível da água supere 0,15 m; - imediatamente após o enchimento, determinar o abaixamento do nível d'água na cava a cada 30 min (queda do nível) e, após cada determinação, colocar mais água para retornar ao nível de 0,15 m; - o ensaio deve prosseguir até que se obtenha diferença de rebaixamento dos níveis entre as duas determinações sucessivas inferior a 0,015 m, em pelo menos três medições necessariamente; - no solo arenoso, quando a água colocada se infiltra no período inferior a 30 min, o intervalo entre as leituras deve ser reduzido para 10 min, durante 1 h; assim sendo, nesse caso, o valor da queda a ser utilizado é aquele da última leitura;
- h) Calcular a taxa de percolação para cada cava escavada, a partir dos valores apurados, dividindo-se o intervalo de tempo entre determinações pelo rebaixamento lido na última determinação.
- i) O valor médio da taxa de percolação da área é obtido calculando-se a média aritmética dos valores das cavas;
- j) Obtém-se o valor da área total necessária para área de infiltração dividindo-se o volume total diário estimado de esgoto (m³ /dia) pela taxa máxima de aplicação diária.

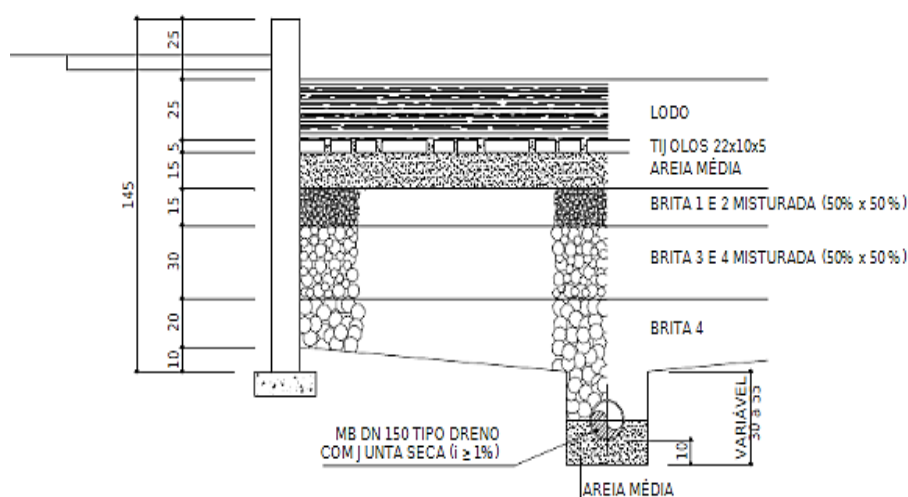
3.4.7. Leito de Secagem

O desaguamento do lodo é uma etapa de desidratação que reduz seu volume à medida que a água é perdida. Um dos métodos mais conhecidos de desidratação de lodo é o leito de secagem, devido ao seu baixo custo de investimento e de operação. Por certo, se o lodo não for tratado e destinado de forma correta ele também pode causar impactos ambientais, pois dentre os seus constituintes pode haver metais pesados, poluentes orgânicos e organismos patogênicos. Por essa razão, o excesso de lodo, decorrente do crescimento biológico, é extraído do sistema

sempre que a concentração da biomassa do tanque anaeróbio ultrapassa os valores de projeto. O lodo removido deve ser submetido a uma etapa de tratamento prévio antes da sua disposição. Dessa forma, o lodo em excesso removido do sistema será disposto em um leito de secagem para redução da umidade e volume.

O leito é basicamente um reservatório, que será construído em alvenaria, tendo como intuito manter o lodo retido em uma superfície permeável. No interior do tanque são incluídos dispositivos para permitir a drenagem da água presente no lodo: camada filtrante (areia e pedregulho) e camada de suporte (tijolos). Esses substratos permitem a percolação da água, reduzindo a umidade naturalmente e resultando em um lodo pronto para a destinação final. Assim, o lodo será submetido ao processo e, ao seu término, espera-se obter um teor de umidade em torno de 75%. Após o tratamento prévio, o lodo (torta) será encaminhado para a disposição final. A 7 mostra os aspectos técnicos da disposição das camadas (filtrante e de suporte) utilizadas na construção do leito de secagem para o armazenamento do subproduto do biossólido.

Figura 7 - disposição das camadas do leito de secagem



Fonte: SANEPAR apud PROSAB (2000).



As condições de temperatura e umidade, viscosidade do lodo e a exposição ao vento também podem alterar as taxas de drenagem, portanto, em áreas com condições climáticas adversas, deve-se instalar um leito seco com cobertura.

MEMORIAL DE CÁLCULO

Nesta seção é apresentado o roteiro de cálculo empregado para o dimensionamento da ETE. Aqui são mostrados os principais parâmetros adotados para o cálculo das dimensões de cada unidade de tratamento, bem como o cálculo das dimensões propriamente ditas. Quando cabível, considerações e simplificações serão explicitamente mostradas e justificadas. Os dimensionamentos dos elementos que constituem o sistema de tratamento são apresentados nas seções a seguir.

3.5. VAZÃO DE PROJETO

A vazão de projeto, utilizada no dimensionamento das unidades do sistema, foi estimada para uma população de 500 pessoas, correspondendo a primeira fase de implantação do processo de tratamento de esgoto na cidade de Lagamar. Outras duas fases serão executadas no intuito de atender a demanda de mais 1.000 cidadãos. Os cálculos seguem abaixo:

A vazão média é calculada segundo a necessidade do empreendimento. Foi adotado o coeficiente de retorno de 80% (como é recomendado na NBR 9649).

$$Q_{méd} (L/dia) = 500 \text{ pessoas} * \frac{150 L}{\text{pessoa}} * 0,8$$

$$Q_{méd} (L/dia) = 60.000$$



$$Q_{méd} (m^3/dia) = 60$$

$$Q_{méd}(L/s) = 0,70$$

As vazões de projeto foram dimensionadas levando em consideração os coeficientes do dia de maior consumo (K1), da hora de maior consumo (K2) e da hora de menor consumo (K3). A vazão máxima é calculada como segue:

$$Q_{máx}(m^3/dia) = K_1 * K_2 * Q_{méd}$$

$$Q_{máx}(m^3/dia) = 1,2 * 1,5 * 60$$

$$Q_{máx}(m^3/dia) = 108$$

A vazão mínima é calculada como segue:

$$Q_{min}(m^3/dia) = K_3 * Q_{méd}$$

$$Q_{min}(m^3/dia) = 0,5 * 60$$

$$Q_{min}(m^3/dia) = 30$$

No dimensionamento de tubulação de recalque foi levado em consideração os seguintes critérios da norma ABNT-NBR 12208:1992: uma velocidade mínima de 0,35 m/s e uma velocidade máxima de 3,00m/s. (ABNT, 2011). Ainda de acordo com a norma técnica brasileira, o diâmetro mínimo dessas tubulações deve ser de 100 mm e as linhas de transporte com escoamento livre devem ter declividade mínima de 3%.

Considerando a vazão máxima de operação como sendo 108 m³/dia (0,00125 m³/s) e estabelecendo uma velocidade de escoamento de 0,8 m/s no interior dos tubos, tem-se:



$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{m\acute{a}x}}{\pi * v}}$$

$$D =$$

$$D = 44,6mm$$

Porém nessa condição a tubulação estará trabalhando cheia e, portanto:

$$D = 44,6 * \frac{100}{50}$$

$$D = 89,20mm$$

Baseado na norma citada acima (ABNT 2011), recomenda-se que o **diâmetro da tubulação que interliga os tanques de tratamento seja de 100 mm**. Essa medida de segurança é válida porque esta gordura do efluente sanitário se solidifica ao chegar às tubulações. Dessa forma, esse endurecimento acaba por obstruir a passagem de água e outras substâncias.

3.6. TRATAMENTO PRELIMINAR

3.6.1. Caixa de retenção primária

O principal objetivo do tratamento primário de águas residuais é remover sólidos sedimentares em suspensão. O material em suspensão com densidade alta contido no efluente se deposita como lodo primário no fundo do decantador. Uma parte da matéria suspensa sedimentada é de natureza orgânica, resultando em uma redução de material biológico no efluente aplicado no tratamento secundário.

Portanto será adotado uma caixa de retenção primária com volume de 2m³, de modo a diminuir ligeiramente a carga orgânica do sistema e aumentar a retenção de materiais grosseiros no sistema como um todo. Na Figura 8 é apresentada a imagem, renderizada da caixa de retenção primária. O termo renderização refere-se ao processo que permite obter imagens digitais resultantes de modelos tridimensionais. Essas imagens visam simular peças e ambientes de forma realista.

Figura 8- Ilustração da caixa de retenção primária.



Fonte: Própria.



3.6.2. Gradeamento

Para o dimensionamento do gradeamento serão adotadas grades de limpeza manual, com espaçamentos médio e fino. As dimensões das barras e do gradeamento, de forma geral, são explicitadas na Tabela 3.

Tabela 3-Dimensões do gradeamento

Parâmetro	Grade média	Grade fina
Espaçamento (mm)	25	15
Espessura (mm)	10	10
Comprimento (mm)	574	574
Inclinação (°)	60	60

Fonte: Própria.

A largura da calha da grade (b) adotada será de 0,49 m. Conhecendo o espaçamento (a) e a espessura (t) das barras, juntamente com a largura da calha, é possível calcular o número de barras necessário:

$$n = \frac{b}{a + t}$$

$$n_{grad\ médio} = 15$$

$$n_{grad\ fino} = 22$$

A eficiência da grade (E), por sua vez, é obtida a partir da seguinte relação:

$$E = \frac{a}{a + t}$$



$$E_{grad\ médio} = 71,14\%$$

$$E_{grad\ fino} = 60,00\%$$

A área útil (A_u) da grade é determinada pela equação da continuidade. Conhecendo a área útil e a eficiência (E) é possível calcular a área da seção transversal do canal (S). Ambos os cálculos são explicitados a seguir:

$$A_u = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{v} = \frac{0,00125\ m^3/s}{0,6\ m/s} = 20,83\ cm^2$$

$$S_{grad\ médio} = \frac{A_u}{E} = 29,28\ cm^2$$

$$S_{grad\ fino} = \frac{A_u}{E} = 34,72\ cm^2$$

A velocidade máxima de passagem através da grade (V_g) foi adotada como sendo 0,6 m/s, enquanto que a velocidade de aproximação (V_0), à montante da grade, foi de 0,4 m/s. A perda de carga foi calculada como se segue:

$$\Delta H = 1,43 \left(\frac{V_g^2 - V_0^2}{2g} \right)$$

$$\Delta H = 0,01\ m$$

Para efeito de dimensionamento, a perda de carga considerada foi de 0,15 m, sendo este o valor mínimo a ser adotado e usualmente observado para grades de limpeza manual.

A largura interna da caixa onde serão acopladas as grades é de 0,49m e, portanto, a altura da lâmina a jusante da grade será dada por:



$$h_j = \frac{S}{b} = \frac{34,72}{49}$$

$$h_j = 0,71 \text{ cm ou}$$

$$h_j = 7,1 \text{ mm}$$

Essa altura h_j é a altura mínima da lâmina de líquido depois da grade fina. Se muita sujeira ficar retida na grade o fluxo de esgoto será restringido e a altura h_j será maior, aumentando significativamente a contribuição da perda de carga. Por essa razão, a caixa do gradeamento terá profundidade de 662mm, que é suficiente para suportar imprevistos ou grandes acúmulos de material inorgânico. Pelo mesmo motivo foi adotado o comprimento da caixa como 1112mm, essa medida é suficiente para instalação das duas grades inclinadas e para o espaçamento entre elas de 330mm, necessários para o acúmulo de detritos e também para auxílio da retirada dos mesmos. As medidas da caixa do gradeamento são explicitadas na Tabela 4.

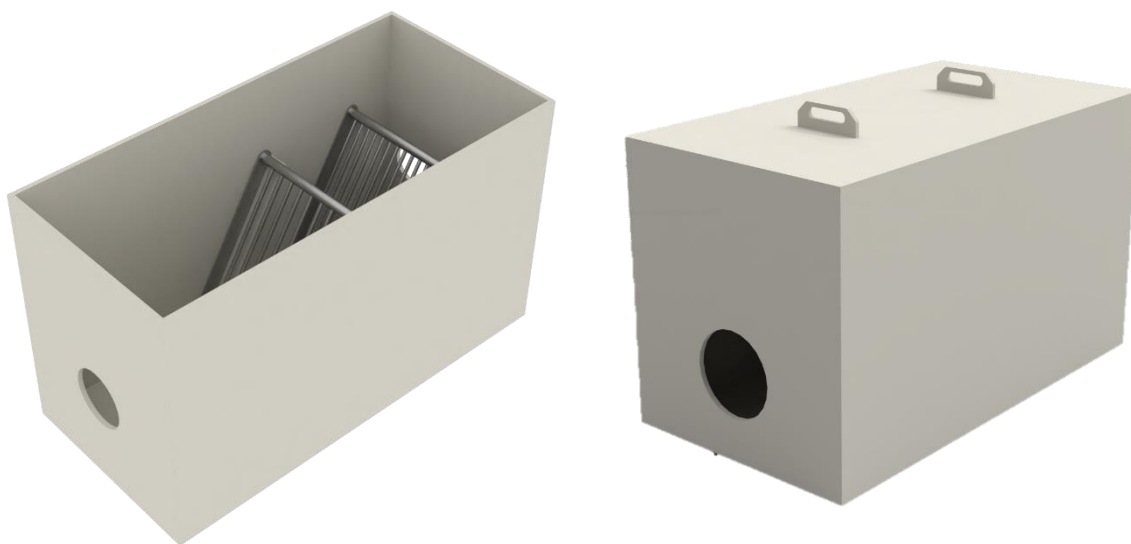
Tabela 4- Especificação da caixa de gradeamento

Medidas	Magnitude
Comprimento	1112 mm
Largura	600 mm
Profundidade	662 mm

Fonte: Própria

Na Figura 9 é apresentada a imagem, renderizada do gradeamento. O termo renderização refere-se ao processo que permite obter imagens digitais resultantes de modelos tridimensionais. Essas imagens visam simular peças e ambientes de forma realista.

Figura 9 - Ilustração do gradeamento com as grades



Fonte: Própria.

3.6.3. Caixa de areia

A areia e outros particulados de mesma natureza tem velocidades de sedimentação ou gravidade específica substancialmente superiores aos sólidos orgânicos putrescíveis do esgoto. Por essa razão ocorre a separação desses sólidos por meio da ação da força gravitacional. Para o dimensionamento, será considerada uma velocidade de sedimentação (V_s) de 2 cm/s, para diâmetro efetivo de 0,2 mm, e uma velocidade de passagem (V_h) de 0,30 m/s. Estima-se uma quantidade de areia retida entre 30 e 40 L para cada 1000 m³ de esgoto tratado.

Considerando a relação abaixo entre a velocidade de sedimentação, velocidade de passagem e um fator de segurança de 0,5, tem-se que:

$$L = \left(\frac{V_h * H}{V_s} \right) = 15 * 1,5 * H = 22,5H$$



Adotou-se a largura da caixa de areia como sendo $B = 0,3m$, porque essa extensão garante uma velocidade de sedimentação bem baixa, garantindo assim que toda a areia contida no efluente seja depositada na parte inferior do equipamento.

Como a estação opera em regime contínuo, é necessário a existência de uma caixa de areia com dois compartimentos para facilitar a manutenção e remoção de particulado fino. Logo a largura total da caixa desarenadora é de $B = 0,6m$. A altura (h) adotada para a caixa (que representa a profundidade do ressalto para retenção do particulado), por sua vez, será $h = 0,10m$. Em contrapartida, a profundidade (H) do conjunto é $H=0,7m$. Conhecendo-se a altura, tem-se que o comprimento será:

$$L = 22,5 * 0,1 = 2,50m$$

As dimensões da caixa desarenadora são explicitadas na Tabela 5.

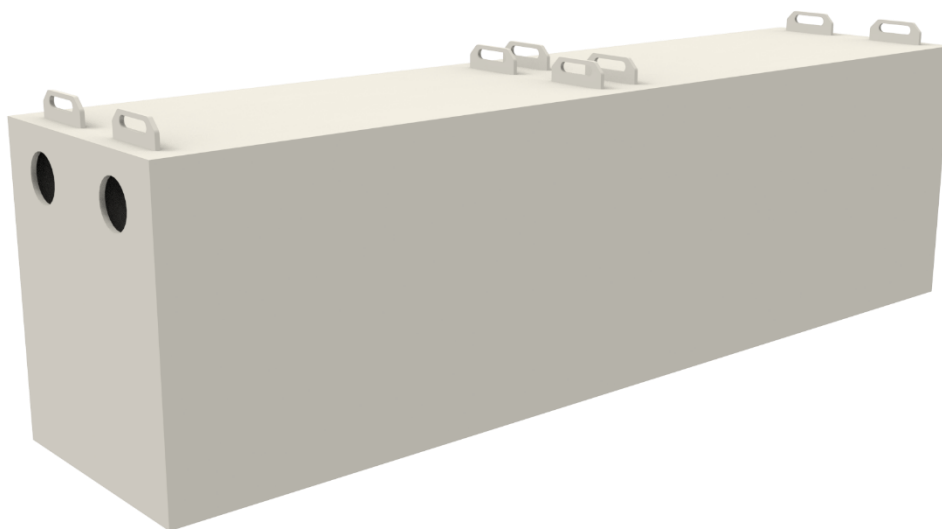
Tabela 5- Especificação da caixa de areia

Medidas	Magnitude
Comprimento	2500 mm
Largura	600 mm
Profundidade	700 mm

Fonte: Própria

Na Figura 10 é apresentada a imagem, renderizada da caixa de areia.

Figura 10 -Ilustração da caixa desarenadora



Fonte: Própria

3.6.4. Caixa de Gordura

De acordo com a NBR 8160/99, para a coleta de mais de 12 cozinhas, ou ainda, para cozinhas de restaurantes, escolas, hospitais, quartéis, etc., devem ser previstas caixas de gordura especiais. Elas são prismáticas de base retangular, com as seguintes características:

- 1) distância mínima entre o septo e a saída: 0,20 m;
- 2) volume mínimo da câmara de retenção de gordura obtido pela fórmula:

$$V = 2N + 20 = 2 * 500 + 20 = 1,02 \text{ m}^3$$

Portanto, as dimensões da caixa de gordura estão explícitas na Tabela 6.

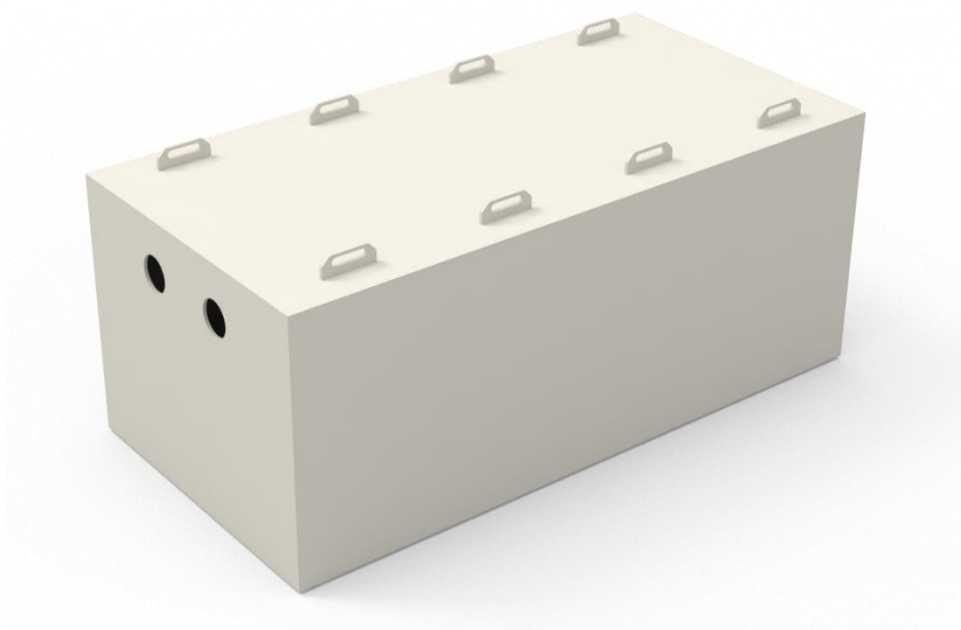
Tabela 6- Especificação da caixa de gordura

Medidas	Magnitude
Comprimento	1230 mm
Largura	1000 mm
Profundidade	812 mm

Fonte: Própria

Na Figura 11 é apresentada a imagem, renderizada da caixa de gordura.

Figura 11 - Ilustração da caixa de gordura



Fonte: Própria

3.7. REATOR ANAERÓBIO



Os parâmetros de projeto adotados para o dimensionamento do reator, juntamente com os dados de entrada, foram expostos previamente, no memorial descritivo. As informações encontram-se dispostas na Tabela 1 (parâmetros de projeto) Tabela 2 (características do esgoto afluente ao sistema). Abaixo serão discutidos outros parâmetros, igualmente importantes, que não foram mencionados anteriormente.

3.7.1. Parâmetros de qualidade do efluente

A Tabela 7, disponível no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) da cidade de Romaria-MG, traz os parâmetros de qualidade do efluente bruto e os valores limites definidos pela Resolução CONAMA 430/2011.

Tabela 7- Parâmetros de qualidade do efluente do esgoto e os limites definidos pela Resolução CONAMA 430/2011

Parâmetros	Entrada da ETE	RESOLUÇÃO N°430
pH	6,28	Entre 5 a 9
DBO ₅	390 mg/L	Máximo de 120 mg/L, ou eficiência de remoção mínima de 60% de DBO
Nitrogênio amoniacal total	49 mg/L	Máximo 20 mg/L
Materiais Sedimentáveis	8 mL/L	Até 1mL/L

Fonte: Adaptado de PMSB (2015)

3.7.2. Temperatura

De acordo com Von Sperling (2005, p.29), o aumento da temperatura leva ao acréscimo das taxas de reações físicas, químicas e biológicas, ao passo que reduz a solubilidade do gás e aumenta suas taxas de transferência. A Tabela 8, fornecida pelo site de pesquisa Clima-Data



(2022), mostra a variação da temperatura ao longo dos meses (no intervalo de 1991 a 2021) na cidade de Lagamar-MG.

Tabela 8- Tabela climática de Lagamar-MG

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez.
Temperatura média (°C)	22,3	22,4	22,0	21,4	19,5	18,6	18,7	20,4	22,6	23,3	22,0	22,1
Temperatura mín. (°C)	18,9	18,8	18,6	17,4	15,0	13,6	13,4	14,7	17,2	18,7	18,6	18,8
Temperatura máx. (°C)	26,4	26,7	25,9	24,7	24,1	24,3	26,4	28,5	28,6	26,6	26,4	26,3

Fonte: Adaptada de Clima-Data (2022)

Para o dimensionamento de uma ETE, deve-se conhecer a temperatura média no mês mais frio do ano (temperatura crítica para o dimensionamento). De acordo com a Tabela 8, a temperatura crítica será a do mês de junho em que $T_{\text{mín}} = 18,6 \text{ °C}$.

3.7.3. Volume

Antes de determinar o volume do reator é necessário definir o tempo de detenção hidráulico médio. A velocidade do metabolismo dos microrganismos anaeróbios é acelerada se estão em um ambiente com a temperatura próxima da sua temperatura ótima de desenvolvimento, que é a faixa mesofílica (30 a 35 °C). Sendo assim, fica evidente que o tempo de detenção hidráulico é diminuído se o reator está instalado em regiões de clima quente, pois nessas condições as bactérias apresentam eficiência maior. Após determinar a temperatura média anual para a cidade de Lagamar, o tempo de residência hidráulico é estimado com base na Tabela 9 elaborada experimentalmente por CAMPOS (1999).



Tabela 9- Relação entre temperatura e tempo de detenção

Temperatura (°C)	Tempo médio (H)	Tempo mínimo (H)
16 a 19	10 a 14	7 a 9
20 a 26	6 a 9	4 a 6
> 26	>6	>4

Fonte: CAMPOS (1999).

Como a temperatura crítica do município de Lagamar é próxima de 19°C, o tempo de detenção médio adotado será de 8,75 horas. Com o tempo de detenção hidráulico e a vazão média de projeto é possível realizar o cálculo do volume total de reatores através da seguinte equação:

$$V = Q * t$$

$$V = \frac{60m^3}{dia} * 8,75horas * \frac{1dia}{24horas} = 21,9 m^3$$

Uma vez que a forma geométrica do reator é cilíndrica é possível determinar a quantidade de reatores e suas dimensões. Suas especificações são descritas na Tabela 10.

Tabela 10- Dimensionamento do reator UASB

Dimensões	Configuração1	Unidade
Diâmetro	2,53	m
Altura útil	4,35	m
Altura total	4,40	m
Área da seção transversal	5,03	m ²
Volume útil de cada reator	21,9	m ³
Número de reatores	1,00	und

Fonte: Própria

Na Figura 12 é mostrado a parte externa do reator UASB.

Figura 12- Representação da parte externa do reator UASB com escada e guarda corpo.



Fonte: Própria



3.7.4. Velocidade Ascensional

A velocidade ascensional é um parâmetro que leva em consideração o melhor contato entre o substrato e a biomassa. A velocidade ascensional do fluxo é calculada a partir da relação entre a vazão afluente e a seção transversal do reator, como a seguir:

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{60 \text{ m}^3}{5,03 \text{ dia}} \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} \frac{1}{\text{m}^2}$$

$$v = 0,50 \text{ m/h}$$

Os limites máximos de velocidades ascensionais no compartimento de digestão, para cada vazão, podem ser definidos conforme as recomendações da ABNT NBR 12.209/2011 (ABNT, 2011) ou CHERNICHARO (2007). As velocidades ascensionais para as vazões média e máxima e a recomendação técnica estão indicadas na Tabela 11.

Tabela 11- Velocidades ascendentes (m/h) no reator UASB, conforme norma técnica

Vazão	Velocidade no reator (m/h)	Velocidades recomendadas (m/h)	
		ABNT	CHERNICHARO (2007)
Média	0,50	$\leq 0,7$	0,5 a 0,7
Máxima	0,89	1,2	$\leq 1,1$

Fonte: ABNT (2011) e CHERNICHARO (2007).

Como pode ser observado na Tabela 11, ambas as velocidades ascensionais estão dentro das faixas limitadas pela referência disponível.



3.7.5. Carga Orgânica Volumétrica

A carga orgânica volumétrica é definida como a quantidade de material orgânico alimentado diariamente ao reator por unidade de tempo e por unidade de seu volume. Sendo S a concentração de DQO afluente (disponível na Tabela 2- Características físico-químicas do esgoto sanitário afluente forte). Como segue:

$$COV = \frac{Q * S}{V}$$

$$COV = \frac{60 * 1}{21,9} \frac{m^3}{dia} \frac{kgDQO}{m^3} \frac{1}{m^3}$$

$$COV = 2,74 \frac{kgDQO}{m^3 * dia}$$

Dessa maneira, a carga orgânica volumétrica foi determinada como sendo 2,74 kg DQO/m³·d. De acordo com CHERNICHARO (1997) a carga orgânica volumétrica deve ser inferior a 15 kg DQO/m³. d e, portanto, o reator dimensionado está nos padrões aceitos pela literatura de referência.

3.7.6. Sistema de Distribuição do esgoto afluente

O sistema de distribuição de esgoto no reator UASB, como o próprio nome sugere, diz respeito a divisão do efluente e sua deposição uniforme no leito de lodo na parte inferior do reator, de modo a promover o contato íntimo entre a biomassa e o substrato. Os caminhos preferenciais devem ser evitados tanto quanto possível, principalmente quando o processo é



usado para tratar águas residuais domésticas e/ou com baixas temperaturas. Isso ocorre porque nessas situações a produção de biogás pode ser muito baixa para uma mistura adequada.

De acordo com a NBR 12209 (2011, p. 17), define-se que para o sistema de distribuição de esgoto nos reatores UASB, deve-se atender os seguintes critérios:

- O diâmetro interno dos tubos de distribuição deve ser maior que 75 mm, de forma a propiciar que as bolhas de ar eventualmente arrastadas possam fazer o percurso contrário ao do esgoto;
- Os pontos de descarga de esgoto no reator devem ter uma área de influência menor ou igual à de 3 m²;
- A entrada de esgoto no reator deve estar a uma altura de 0,10 a 0,20 m do fundo;

Para atender ao critério de área de influência máxima de um distribuidor, determinou-se a quantidade de distribuidores necessários dentro do UASB, conforme segue:

$$N_d = \frac{\text{Área do reator}}{\text{Área de influência}}$$

$$N_d = \frac{5,03 \text{ m}^2}{3 \text{ m}^2}$$

$$N_d = 1,67 \approx 2$$

Assim, verificou-se a necessidade de instalação de 1,67 distribuidores, ou seja, 2 distribuidores. A seguir é feita a verificação da velocidade descendente do esgoto pelos tubos de distribuição de 75mm, que deve ser inferior a 0,2m/s.

$$\text{Velocidade}_{\text{tubos}} = \frac{\text{Vazão dos tubos}}{\text{Área do tubo}}$$



$$Velocidade_{tubos} = \frac{30 \frac{m^3}{dia} \frac{1}{86400s}}{4,42 * 10^{-3} \frac{m^2}{dia}}$$

$$Velocidade_{tubos} = 0,078 \text{ m/s}$$

Como pode ser observado a velocidade de escoamento no interior dos tubos é inferior ao limite estabelecido por VON SPERLING (1997). A experiência prática mostra que um bocal com um diâmetro de cerca de 40 a 50 mm pode ser usado para aumentar a velocidade na saída do tubo. Para esses diâmetros, as velocidades de saída normalmente excedem 0,40 m/s, o que é suficiente para evitar depósitos de areia próximos às extremidades dos tubos.

OBSERVAÇÃO: A introdução de bolhas de ar no reator deve ser evitada, porque sua presença pode provocar uma aeração do lodo anaeróbio, prejudicando a metanogênese; além da possibilidade de causar uma mistura potencialmente explosiva com o biogás acumulado junto ao separador trifásico.

3.7.7. Eficiência na Remoção de DQO do Sistema

De acordo com CHERNICHARO (1997, p. 185), é possível determinar a eficiência do UASB em termos de remoção de DQO através da equação a seguir:

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 * TDH^{-0,35})$$

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 * 8,75^{-0,35})$$

$$E_{DQO} = 68,17\%$$

Desse modo, a eficiência de remoção esperada do reator é de 68,2%.



3.7.8. Eficiência na Remoção de DBO do Sistema

Para estimar a eficiência da remoção de DBO utilizou-se a equação a seguir, descrita por CHERNICHARO (1997, p. 185), através de ensaios experimentais.

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0,70 * TDH^{-0,50})$$

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0,70 * 8,75^{-0,50})$$

$$E_{DBO} = 76,33\%$$

Desse modo, a eficiência de remoção de DBO esperada do reator é de 76,33%.

3.7.9. Estimativa das Concentrações de DQO e DBO no efluente final

Em seguida, para a determinação das concentrações de DQO e DBO no efluente final, que são gerados pelo sistema de tratamento de esgoto pelo UASB, faz-se uso da equação abaixo:

$$S = S_0 - \frac{E * S_0}{100}$$

$$S = 1000 \frac{mgDQO}{L} - \frac{68,17 * 1000}{100} \frac{mgDQO}{L}$$

$$S = 318,3 \frac{mgDQO}{L}$$

Portanto, as concentrações de DQO e DBO no efluente final estão dispostas Tabela 12.



Tabela 12-Estimativa das concentrações de DBO, DQO nas correntes de entrada e de saída do UASB, bem como a eficiência de cada sistema

Parâmetro	DQO	DBO
Concentração da corrente de entrada (mg/L)	1000	400
Concentração da corrente de saída (mg/L)	318,3	94,65
Eficiência de Remoção (%)	68,17	76,33

Fonte: Própria

Nota-se que a concentração de DBO na corrente de saída do reator UASB já é menor que o limite máximo permitido (120 mg/L) pela Resolução CONAMA N°430.

3.7.10. Estimativa da Produção de Gás Metano (CH₄)

A digestão anaeróbica é um processo biológico que converte a matéria orgânica em gás metano. Porém, sua posição como gás de efeito estufa (80 vezes mais potente que o CO₂), inflamabilidade e seu grande potencial para geração de energia, pode, além de minimizar o impacto ambiental, trazer benefícios financeiros para a empresa gestora.

A avaliação da produção de biogás pode ser feita a partir da estimativa da carga de DQO afluente ao reator que é convertida em gás metano. Conforme explicitado abaixo:

$$DQO_{CH_4} = Q * (S_0 - S) - Y_{OBS} * Q * S_0$$

$$DQO_{CH_4} = 30,10 \frac{kgDQO}{dia}$$

Antes do cálculo da conversão da massa de metano é necessário a determinação de um parâmetro para correção da temperatura dentro do reator, sua expressão K(T), segue:

Prefeitura de Lagamar – MG - CNPJ: 18.192.260/0001-71 - Praça Magalhães Pinto, 68 - Centro - CEP 38785-000
Lagamar/MG Telefone: (34) 3812-1125 - gabinete@lagamar.mg.gov.br



$$K(T) = \frac{P_{atm} * K}{R * (273 + T_{m\acute{e}s\ frio})}$$

$$K(T) = 2,67 \frac{gDQO}{L}$$

A conversão da massa de metano em produção volumétrica (m^3CH_4/dia) é expressa de seguinte forma:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(T)}$$

$$Q_{CH_4teórica} = 11,26 \frac{m^3}{dia}$$

Uma vez obtida a produção teórica de metano, pode-se estimar a produção total de biogás a partir do teor esperado de metano na corrente gasosa no reator. Para o caso do tratamento de esgotos domésticos, os teores de metano no biogás são geralmente da ordem de 70 a 80%. Logo:

$$Q_{biogás} = \frac{11,26 m^3}{0,7 dia}$$

$$Q_{biogás} = 16,08 \frac{m^3}{dia}$$

A composição do biogás pode variar devido às diferenças de tipo e composição do substrato que está sendo digerido e das condições de digestão do digestor, porém é apropriado considerar que a corrente de biogás produzida no reator contém 1% de sulfeto, e, portanto, sua contribuição é:



$$Q_{H_2S} = 16,08 \frac{m^3}{dia} * 0,01$$

$$Q_{H_2S} = 0,16 \frac{m^3}{dia}$$

3.7.11. Separação dos Sólidos

Os gases gerados durante o tratamento são conduzidos para o topo do reator através dos defletores, e a corrente gasosa é separada da corrente líquida e das partículas sólidas através do separador trifásico. Porém, para que haja boa separação entre as fases, é preciso seguir algumas orientações, como:

- Os defletores devem ter um trespasse mínimo de 10 a 15 cm em relação à abertura para o decantador;
- A parede do compartimento de decantação deve ter inclinações iguais ou superiores a 50°;
- A profundidades do compartimento de decantação deve se enquadrar na faixa de 1,5 a 2,0m;
- Adoção de taxas de aplicação superficial e tempos de detenção hidráulica no compartimento de decantação de acordo com a Tabela 13.

Tabela 13- Taxa de aplicação e tempos de detenção hidráulica no compartimento de decantação

Vazão afluyente	Taxa de aplicação superficial (m/h)	Tempo de detenção hidráulica (h)
Vazão média	0,6 a 0,8	1,5 a 2,0
Vazão máxima	<1,2	>1,0
Picos temporários	<1,6	>0,6

Fonte: VON SPERLING (1997).



As aberturas que possibilitam a passagem dos esgotos para o compartimento de decantação devem ser projetadas de modo que a velocidades nas aberturas sejam inferiores às faixas recomendadas na Tabela 14.

Tabela 14- Velocidades nas aberturas para o decantador

Vazão efluente	Velocidade (m/h)
Vazão média	<2,0 a 2,3
Vazão máxima	<4,0 a 4,2
Picos temporários	<5,5 a 6,0

Fonte: VON SPERLING (1997).

As medições de concentração de sólidos voláteis (realizadas para cada um dos pontos de amostragem de lodo ao longo da altura do reator) são multiplicadas pelo volume correspondente a cada zona de amostragem para obter a massa microbiana ao longo do perfil do reator. Desse modo é possível estimar a quantidade total de biomassa em cada zona corresponde à massa total de sólidos no reator. Esse procedimento é realizado abaixo:

Zona 1:

$$M_1 = C_1 * V_1$$

$$M_1 = 133,0 \text{ KgSVT}$$

Zona 2:

$$M_2 = C_2 * V_2$$

$$M_2 = 112,6 \text{ KgSVT}$$

Zona 3:

$$M_3 = C_3 * V_3$$



$$M_3 = 66,5 \text{ KgSVT}$$

Zona 4:

$$M_4 = C_4 * V_4$$

$$M_4 = 27,8 \text{ KgSVT}$$

Zona 5:

$$M_5 = C_5 * V_5$$

$$M_5 = 18,5 \text{ KgSVT}$$

Portanto, a quantidade de biomassa no compartimento de digestão M_d é:

$$M_d = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$$

$$M_d = 358,4 \text{ KgSVT}$$

O cálculo da concentração média de biomassa no compartimento de digestão C_d é mostrado a seguir:

$$C_d = \frac{M_d}{V_d}$$

$$C_d = 27,0 \frac{\text{KgSVT}}{\text{m}^3}$$

Assumindo-se que a quantidade de biomassa no compartimento de decantação é desprezível, se comparado ao compartimento de digestão, tem-se que a concentração média de biomassa no reator (C_r) pode ser expressa por:

$$C_r = \frac{M_d}{V_r}$$



$$C_r = 17,24 \frac{KgSVT}{m^3}$$

3.7.12. Altura do Reator

A altura do reator de manta de lodo é função do tipo de lodo, da carga orgânica aplicada e da velocidade superficial imposta ao sistema. No tratamento de efluentes domésticos, principalmente reatores que produzem lodo floculado, as velocidades superficiais impostas à estação resultam em alturas efetivas de reator de 4,0 a 5,0 m, usualmente distribuídas da seguinte forma:

- Altura do compartimento de decantação: 1,5 a 2,0m;
- Altura do compartimento de digestão: 2,5 a 3,5 m.

Na Tabela 15 são apresentadas as alturas de cada compartimento do reator UASB.

Tabela 15- Altura dos compartimentos dentro do reator UASB

Compartimento	Altura(m)
Decantação	1,50
Digestão	2,50
Defletor	0,35
Total	4,35

Fonte: Própria

3.7.13. Sistema de Gases

A ausência do sistema de gases resulta em uma pequena taxa de liberação de biogás, favorecendo a formação de uma densa camada de espuma. A liberação descontrolada de biogás na atmosfera é desvantajosa não apenas pelos potenciais odores que cria no ambiente, mas



principalmente pelos riscos inerentes à combustão do gás metano. Portanto, o biogás produzido no reator deve ser coletado, medido e posteriormente utilizado ou queimado. O sistema será composto por:

- Tubulação de coleta;
- Compartimento hermético com selo hídrico
- Queimador de gás.

Suas dimensões estão dispostas na Tabela 16, a seguir.

Tabela 16- Dimensões do selo hídrico

Parâmetro	Descrição
Diâmetro	0,450 m
Altura	0,400 m
Nível máximo de água	0,212 m
Diâmetro do ladrão	25 mm
Diâmetro da tubulação de entrada de água	25 mm
Tubulação de saída de biogás	25 mm
Dreno de fundo	25 mm

Fonte: Própria

3.7.14. Sistema de Amostragem e Descarte de Lodo

O sistema de amostragem normalmente consiste em uma série de registros instalados ao longo da altura do reator para permitir o monitoramento do crescimento e qualidade da biomassa.



Portanto, para permitir a amostragem e caracterização da biomassa em diferentes níveis do digestor, é recomendável pela ABNT (2011) instalar registros, a partir da base do reator, com as seguintes características:

- Primeiro registro (Descarga): rente ao fundo;
- Segundo registro (Descarga): 1m do fundo;
- Diâmetro mínimo para tubulação de descarga: 100mm;
- Amostradores de lodo, no total de 3, localizados a 0,5m, 1,0m e 1,5m;

3.7.15. Produção de Lodo

A estimativa da produção de lodo em reatores UASB pode ser feita através da seguinte equação:

$$P_{lodo} = Y * S_0 * Q_{média}$$

$$P_{lodo} = 0,18 \frac{kgSST}{kgDQO_{apl}} * 1,0 \frac{kgDQO}{m^3} * 60 \frac{m^3}{dia}$$

$$P_{lodo} = 10,8 \frac{kgSST}{dia}$$

A avaliação da produção volumétrica de lodo pode ser feita a partir da seguinte equação:

$$V_{lodo} = \frac{P_{lodo}}{\gamma * C}$$

$$V_{lodo} = \frac{10,8}{1020 * 0,04} \frac{kgSST}{dia} \frac{m^3}{kg} = \frac{0,265m^3}{dia}$$



Um resumo dos principais critérios e parâmetros que norteiam o projeto de reatores UASB pra o tratamento de esgotos domésticos é apresentado Tabela 17.

Tabela 17- Resumo dos parâmetros de projeto do reator UASB

Símbolo	Parâmetro	Faixa de valores	Unidade
$Q_{méd}$	Vazão média	60,0	m ³ /dia
$Q_{máx}$	Vazão máxima	108,0	m ³ /dia
T	Temperatura	18,6	°C
V	Volume do reator	21,9	m ³
H	Altura do reator	4,35	m
D	Diâmetro do reator	2,53	m
v	Velocidade ascensional	0,50	m/h
COV	Carga Orgânica Volumétrica	2,74	kgDQO/m ³ dia
N_d	Nº de distribuidores	2,00	und
E_{DQO}	Eficiência de remoção DQO	68,17	%
E_{DBO}	Eficiência de remoção DBO	76,33	%
S_{DQO}	Concentração DQO no efluente do reator	727,3	mg/L
S_{DBO}	Concentração DBO no efluente do reator	94,65	mg/L
Q_{CH_4}	Produção de metano	2,08	m ³ /dia
$Q_{biogás}$	Produção de biogás	2,97	m ³ /dia
M_d	Biomassa no compartimento de digestão	358,4	kgSVT
C_d	Concentração média no compartimento de digestão	27,0	kgSVT/m ³
V_{lodo}	Produção volumétrica de lodo	0,265	m ³ /dia

Fonte: Própria



3.8. FILTRO ANAERÓBIO

Os parâmetros de projeto adotados para o dimensionamento do filtro biológico, juntamente com os dados de entrada, foram expostos previamente, no memorial descritivo. As informações encontram-se dispostas anteriormente. Abaixo serão discutidos outros parâmetros, igualmente importantes, que representam a saída do reator UASB e, portanto, a entrada do filtro biológico.

3.8.1. Parâmetros de qualidade do efluente

A Tabela 18, traz os parâmetros de qualidade da corrente de entrada efluente bruto, mas para efeitos de segurança será considerada a eficiência do reator UASB como sendo 68%.

Tabela 18- Resumo dos parâmetros da corrente de entrada do filtro biológico

Parâmetros	Entrada do filtro
$Q_{\text{méd}}$	60 m ³ /dia
S_0' (DBO ₅)	128 mg/L
Temperatura	18,6 °C
Eficiência de Reator UASB	68,0%

Fonte: Própria.

Com esta configuração do filtro anaeróbio como unidade de pós-tratamento do efluente do reator UASB, é possível obter um efluente final de excelentes características. As eficiências de remoção de DBO e DQO excederam 80% em quase todas as condições operacionais às quais os conjuntos foram expostos e, em alguns casos, essas eficiências variaram de 85 a 95%. Os níveis de sólidos suspensos no efluente final também foram sistematicamente abaixo de 25 mg/L. Isso está de acordo com os mais rigorosos padrões internacionais. Portanto, para dimensionar adequadamente o FA como unidade de polimento final, é recomendado por (VON



SPERLING,1997) a utilização de critérios e parâmetros de projeto mais conservadores, conforme explícito na Tabela 19.

Tabela 19- Critérios parâmetros de projeto de FA como unidade de pós tratamento

Critério/Parâmetro	Valor recomendado
Tempo de Detenção hidráulica mínimo (para $Q_{máx}$)	2 horas
Tempo de Detenção hidráulica mínimo (para $Q_{mín}$)	4 horas
Altura do fundo falso	0,40 a 0,60 m
Altura do meio suporte	0,80 a 3,00 m
Altura da borda livre	0,30 m

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (1997) e CHERNICHARO (2016).

O limite superior de altura do leito empacotado é mais apropriado para reatores com menor risco de obstrução do leito, que depende principalmente da direção do fluxo, do tipo de material e das concentrações afluentes.

3.8.2. Tempo de Detenção e Volume do FA

Uma vez definido o tempo de detenção hidráulico (TDH_f) como sendo 6 horas, conforme a 19, o volume do filtro é calculado como segue:

$$V = Q_{méd} * TDH$$

$$V = 60 \frac{m^3}{dia} * 6 h * \frac{1 dia}{24h}$$

$$V = 15 m^3$$



3.8.3. Altura e Área do Filtro Biológico Anaeróbio

Para a determinação da altura do filtro anaeróbio, a ABNT NBR 13969/1997 determina que a altura do leito filtrante, já incluindo o fundo falso deve ser limitada a 1,20m, e a altura do fundo falso deve ser limitada a 0,60m, já incluindo a espessura da laje. A altura total do filtro anaeróbio é obtida de acordo com a equação abaixo, em que H é a altura total interna, h é a altura total do leito filtrante, h1 é a altura do fundo falso e h2 é a altura referente a lâmina livre até a canaleta de coleta do efluente:

$$H = h + h_1 + h_2$$

$$H = 2,10m + 0,60m + 0,30m$$

$$H = 3,00m$$

Uma vez definido a altura do FA, sua área é calculada como segue:

$$A = \frac{V}{H}$$

$$A = 5,0 m^2$$

Desse modo é possível também calcular o diâmetro do filtro biológico assim:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = 2,52$$

O resumo das dimensões do filtro anaeróbio está disposto na Tabela 20.

Tabela 20- Dimensões do FA

Parâmetro	Valor	Unidade
TDH _f	6,00	h
Volume	15,0	m ³
Altura do leito filtrante	2,10	m
Altura total	3,00	m
Área	5,00	m ²
Diâmetro	2,52	m
Volume do recheio	10,5	m ³

Fonte: Própria

Na Figura 13 é mostrado a parte externa do filtro biológico percolador anaeróbio.

Figura 13 Representação da parte externa do reator filtro biológico anaeróbio com escada e guarda corpo.



Fonte: Própria



3.8.4. Taxa de Aplicação Hidráulica Superficial

Resultado de estudos desenvolvidos pelo Programa Nacional de Pesquisas do Brasil sobre Saneamento Básico, PROSAB (GONÇALVES et al., 2001), utilizando filtros anaeróbicos para polimento de efluentes de reatores UASB, mostraram que os filtros são capazes de produzir efluentes de boa qualidade quando operado sob taxas de carga hidráulica superficial variando de **6 a 15 m³/m²·d**. A taxa de aplicação hidráulica superficial é calculada abaixo:

$$T_{AHS} = \frac{Q_{méd}}{A_{FA}}$$
$$T_{AHS} = 12 \frac{m^3}{dia \cdot m^2}$$

3.8.5. Carga Orgânica Volumétrica do FA

A carga orgânica volumétrica é definida como a quantidade de material orgânico alimentado diariamente ao reator por unidade de tempo e/ou por unidade de seu volume empacotado. Estudos feitos pelo PROSAB indicaram que os filtros anaeróbios são capazes de produzir efluentes de boa qualidade quando operados com taxas de carga orgânica de **0,15 a 0,50 kgDBO/m³d** (volume total do filtro) e de **0,25 a 0,75 kgDBO/m³d** (volume de leito compactado). A COV do filtro anaeróbio é calculada a seguir:

$$COV_{total} = \frac{Q * S}{V}$$
$$COV_{total} = 0,51 \frac{kgDBO}{m^3 \cdot dia}$$



De maneira análoga é calculado o COV referente ao volume do leito empacotado, como segue:

$$COV_{leito} = \frac{60 * 0,128}{10,5} \frac{m^3}{dia} \frac{kgDBO}{m^3} \frac{1}{m^3}$$

$$COV_{leito} = 0,73 \frac{kgDBO}{m^3 dia}$$

Embora este parâmetro seja relevante para o dimensionamento de tratamentos biológicos com alta carga orgânica, o projeto de filtros anaeróbios é determinado pelo tempo de detenção no caso de tratamento de águas residuais domésticas.

3.8.6. Determinação da Eficiência do Filtro Biológico

Van Haandel & Lettinga (1994) propuseram uma equação baseada em constantes empíricas, isto é, obtidas através do ajuste de dados experimentais. A eficiência estimada do filtro biológico será calculada conforme:

$$E_{fb} = 100 * (1 - 0,87 * TDH_f^{-0,5})$$

$$E_{fb} = 100 * (1 - 0,87 * 6^{-0,5})$$

$$E_{fb} = 64,48\%$$

Desse modo, a eficiência de remoção de DBO esperada do reator é de 64,5%.



3.8.7. Estimativa das Concentrações de DQO e DBO no efluente final

A partir da eficiência esperada para o sistema, a concentração de DBO ou DQO no efluente final pode ser estimado da seguinte forma:

$$S = S_0 - \frac{E * S_0}{100}$$
$$S = 45,46 \frac{mgDQO}{L}$$

Portanto, as concentrações de DQO e DBO no efluente final estão dispostas na Tabela 21.

Tabela 21-Estimativa das concentrações de DBO, DQO nas correntes de entrada e de saída do FA

Parâmetro	DQO	DBO
Concentração da corrente de entrada do FA (mg/L)	318,3	128,0
Concentração da corrente de saída do FA (mg/L)	113,1	45,46
Eficiência de Remoção (%)	64,48	75,44

Fonte: Própria.

Nota-se que a concentração de DBO e DQO na corrente de saída do filtro anaeróbio percolador é menor que o limite máximo permitido (60 mg/L e 180 mg/L, respectivamente) pela Resolução COPAM N°08 (2022), que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes no estado de Minas Gerais.

3.9. VERTEDOR THOMPSON

Os vertedores são estruturas hidráulicas construídas para controlar o nível d'água do reservatório, permitindo a passagem das vazões escoadas com a máxima eficiência possível



sem provocar problemas à estrutura. Portanto, será adotado um vertedor com comprimento $C=0,6m$, largura $B=0,6m$ e profundidade $H=0,612m$.

3.10. VALA DE INFILTRAÇÃO

A composição química do solo exerce uma influência fundamental na percolação do efluente, esse fator aliado a ocorrência de diferentes tipos de solo e graus de compactação, fazem com que a determinação do potencial de infiltração, seja o principal parâmetro de projeto.

Para efeitos práticos, será adotado um coeficiente de infiltração do solo $C_{inf} = 930L/m^2/dia$. Esse valor servirá como parâmetro para um pré-dimensionamento das valas, mas **não substitui** o teste de percolação que deve ser efetuado antes do início das obras.

Logo, a área de infiltração necessária é dada por:

$$A_{inf} = \frac{Vazão}{C_{inf}}$$

$$A_{inf} = 64,5 m^2$$

Considerando a largura (L) da vala igual a 1,6m, seu comprimento total é:

$$C_{Total} = \frac{A_{inf}}{L}$$

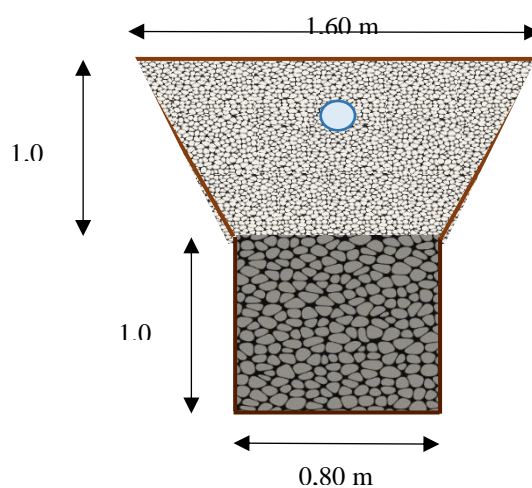
$$C_{Total} = 40m$$

Desta forma, deve-se adotar 2 valas de 20 metros de comprimento. Deve-se ainda considerar um período de descanso de aproximadamente seis meses, para a eventual

desobstrução do leito filtrante. Portanto, o número total de valas, para este sistema, deverá ser igual a 4, utilizando-se, alternadamente, duas de cada vez e espaçadas de 2m entre si.

A 14 representa as medidas da vala de infiltração para assegurar uma alta taxa de percolação.

Figura 14 - Configuração da vala de infiltração de alta taxa de percolação



Fonte: Própria

Na Tabela 22 é expresso o resumo das configurações da vala de infiltração.

Tabela 22- Medidas e parâmetros da vala de infiltração

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
A_{inf}	Área de infiltração	64,5	m^2
C_{Total}	Comprimento total das valas	40	m
Nv	Número de valas	2	und
C_v	Comprimento de uma vala	20	m
$T_{secagem}$	Tempo de secagem das valas	6	meses
N_{Total}	Número total de valas	4	und

Fonte: Própria



3.11. LEITO DE SECAGEM

O processo de tratamento do lodo visa reduzir o teor de matéria orgânica biodegradável, a concentração de organismos patogênicos e o teor de água para obter um material sólido, estável, que possa ser manuseado e transportado de forma simples, sem riscos à saúde e com baixo custo. A tecnologia mais utilizada para desidratação de lodo de reatores UASB para tratamento de efluentes domésticos tem sido o leito de secagem. Isso se deve ao pequeno volume de lodo descartado do reator e sua alta concentração, resultando em menos lodo sendo descarregado do sistema e por consequência uma diminuição da área necessária.

3.11.1. Parâmetros iniciais

A estimativa da produção de lodo em reatores UASB foi realizada no capítulo 4, item 4.3.15 Produção de Lodo (pag. 45).

$$P_{lodo} = 10,8 \frac{kgSST}{dia}$$

E a avaliação da produção volumétrica de lodo:

$$V_{lodo} = 0,265 \frac{m^3}{dia}$$

A produtividade do leito de secagem p_{leito} , expressa em termos de massa de sólidos que pode ser aplicada diariamente por unidade de área do leito é usualmente definida na faixa de 1,0 a 1,5 kgSST/m²dia. Nesse trabalho será eleito o valor médio de 1,25 kgSST/m²dia.



Um resumo dos principais critérios e parâmetros que norteiam o projeto do leito de secagem é apresentado na Tabela 23.

Tabela 23- Resumo das variáveis de projeto do leito de secagem

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
P_{lodo}	Produção de lodo	10,8	$\frac{kgSST}{dia}$
V_{lodo}	Produção volumétrica de lodo	0,265	$\frac{m^3}{dia}$
p_{lodo}	Produtividade do leito de secagem	1,25	$\frac{kgSST}{m^2 dia}$

Fonte: Própria

3.11.2. Área necessária

A área mínima necessária do leito de secagem $A_{mín}$ é calculada como segue:

$$A_{mín} = \frac{P_{lodo}}{p_{lodo}}$$

$$A_{mín} = 8,64 m^2$$

O tempo total de operação do leito de secagem (ou ciclo de operação) é obtido somando-se o tempo de secagem (T_s) e o tempo de limpeza (T_L). Tem-se:

$$T_{ciclo} = T_s + T_L$$

$$T_{ciclo} = 20 \text{ dias} + 5 \text{ dias}$$

$$T_{ciclo} = 25 \text{ dias}$$



De acordo com a NBR 12209, a descarga de lodo no leito de secagem não deve exceder a carga de sólidos em suspensão totais de 15 kg/m² de área de secagem, em cada ciclo de operação. Assim, tem-se que a área necessária para cada leito será de:

$$\text{Área total} = \frac{P_{\text{lodo}} * T_{\text{ciclo}}}{T_x}$$

$$\text{Área total} = 18 \text{ m}^2$$

Recomenda-se no mínimo 3 leitos de secagem para cumprir com a demanda mensal de descarte de lodo. Logo a área necessária total será de 18 m². Portanto, a área de cada leito será aproximadamente 6 m². Na Tabela 24 é expresso o resumo das configurações do leito de secagem.

Tabela 24- Medidas e parâmetros do leito de secagem

Símbolo	Parâmetro	Valor	Unidade
$A_{\text{mín}}$	Área mínima do leito	8,64	m ²
T_{ciclo}	Ciclo de operação do leito	25,0	dias
T_x	carga de sólidos em suspensão totais	15,0	kgSST/m ²
$\text{Área}_{\text{leito}}$	Área final dos leitos	6	m ²
N_{leitos}	Número de leitos	3	-
$\text{Área}_{\text{Total}}$	Área Total	18	m ²

Fonte: Própria

PARTIDA DO REATOR UASB

A aplicação bem-sucedida de processos anaeróbicos depende principalmente do atendimento de uma série de requisitos relacionados à concentração e atividade da biomassa presente, bem como ao regime de mistura e padrão de fluxo do reator, isto quando todos os



fatores ambientais (temperatura, pH, alcalinidade, etc.) estiverem dentro das faixas ideais. Os objetivos mais comuns a serem alcançados ao operar processos anaeróbios são controlar o tempo de residência dos sólidos independentemente do tempo de residência hidráulica e evitar o acúmulo de sólidos suspensos no reator. Esses objetivos são alcançados por meio do projeto e construção bem elaborados do reator e procedimentos adequados durante a inicialização e operação do sistema.

No início da operação da ETE, a carga microbiana para decomposição orgânica é baixa (caso não seja utilizado lodo de inóculo), exigindo um período mínimo de 3 meses para gerar a carga microbiana necessária à alta eficiência e condições normais de operação. Porém há possibilidade de acelerar esse processo caso seja adotado o procedimento de inoculação.

3.12. PARTIDA DO REATOR USANDO O PROCESSO DE INOCULAÇÃO

Os procedimentos durante a partida do reator referem-se principalmente à: i) inoculação; ii) alimentação com esgotos e iii) monitoramento do processo.

3.12.1. Inoculação do Reator

A inoculação pode ser feita no reator cheio ou vazio, mas é recomendado inocular em um reator vazio para reduzir a perda de lodo durante sua operação de transferência. O procedimento é descrito abaixo:

- Transferir o lodo de inóculo para o reator, de modo a descarrega-lo no fundo do reator, evitando turbulências e contato excessivo com o ar;



- Deixar o lodo em repouso por um período aproximado de 12 a 24 horas, possibilitando a sua adaptação gradual à temperatura ambiente.

3.12.2. Alimentação do Reator com Esgoto

- Após o tempo de repouso, deve-se iniciar a alimentação do reator com esgoto até atingir aproximadamente a metade da sua capacidade;
- Deixar o reator sem alimentação por 24 horas. No final deste período, antes de iniciar a próxima alimentação, retirar uma amostra do sobrenadante do reator e realizar a análise dos seguintes parâmetros: temperatura, pH, alcalinidade, ácidos voláteis e DQO. Se esses parâmetros estiverem dentro da tolerância, prossiga com o processo de alimentação. Valor permitido de pH 6,8 a 7, e concentração menor que 200 mg/L de ácidos voláteis (como o ácido acético);
- Continuar enchendo o reator até atingir seu volume total;
- Deixar o reator sem alimentação por mais 24 horas. Ao final deste período retirar uma nova amostra a ser analisada e proceder como antes;
- Se os parâmetros analisados estiverem dentro da faixa estabelecida, alimentar o reator continuamente de acordo com a quantidade de inóculo utilizado e no percentual de fluxo aplicável;
- Implantar e proceder monitoramento de rotina do processo de tratamento;
- Proceder aumento gradual da vazão afluyente, inicialmente a cada 15 dias, de acordo com a resposta do sistema. Este intervalo poderá ser ampliado ou reduzido, dependendo dos resultados obtidos.



OBSERVAÇÃO: O descarte do lodo excedente não deverá ser necessário durante os primeiros meses de operação do reator. Quando o descarte se fizer necessário, este deve ser feito preferencialmente da parte superior do leito de lodo (lodo floculento). Todavia, em situações onde ocorre a acumulação de sólidos inertes (ex. areia) no fundo do reator, deve-se efetuar, periodicamente, o descarte de lodo também junto ao fundo.

3.12.3. Monitoramento do Processo de Tratamento

Para o monitoramento do processo de tratamento deve ser definida a rotina de coleta de amostras e os parâmetros físico-químicos a serem analisados. Apresenta-se a seguir, na Tabela 25, um programa de monitoramento que pode ser adotado durante a partida de reatores de manta de lodo

Tabela 25- Programa de monitoramento de um reator UASB durante partida

Parâmetro	Unidade	Frequência de amostragem		
		Afluente	Reator	Efluente
Produção de biogás	m ³ /dia	-	Diária	-
Composição do biogás	%CH ₄	-	Semanal	-
Temperatura	°C	Diária	Diária	-
pH	-	Diária	Diária	-
Alcalinidade bicarbonato	mg/L	3 x semana	-	3 x semana
Ácidos voláteis	mg/L	3 x semana	-	3 x semana
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	3 x semana	-	3 x semana
Sólidos Suspensos (SS)	mg/L	2 x semana	-	3 x semana
Sólidos Totais (ST)	mg/L	-	Mensal	-



Parâmetro	Unidade	Frequência de amostragem		
		Afluente	Reator	Efluente
Sólidos Voláteis (SVT)	mg/L	-	Mensal	-
DQO Total	mg/L	3 x semana	-	3 x semana
DQO Filtrada	mg/L	1 x semana	-	1 x semana
DBO Total	mg/L	1 x semana	-	1 x semana
DBO filtrada	mg/L	1 x semana	-	1 x semana
Nitrogênio Total	mg/L	Quinzenal	-	Quinzenal
Fósforo Total	mg/L	Quinzenal	-	Quinzenal
Atividade metanogênica específica	gDQO/gSV.d	-	Quinzenal	-

Fonte: VON SPERLING (1997)

4. DIRETRIZES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Uma estação de tratamento de esgotos, de forma geral, consiste de processos físicos, químicos e biológicos, que atuam em conjunto e são responsáveis pela eficiência da ETE. Dessa forma, devem-se fornecer as condições necessárias para que esses processos funcionem adequadamente. Tais condições dizem respeito a um projeto adequado, uma execução correta, uma operação e manutenção eficientes, entre outros aspectos. Esta diretriz trata, basicamente, de recomendações e instruções acerca da operação e manutenção necessária à ETE, com o intuito de mantê-la dentro do grau de eficiência esperado.

O sistema de tratamento, como já definido anteriormente, é constituído pelas seguintes unidades construtivas:



- Tratamento preliminar;
- Tanque anaeróbio (reator UASB);
- Filtro percolador anaeróbio;
- Valas de infiltração;
- Leito de secagem;

Além disso, a estação de tratamento contará com os seguintes materiais e equipamentos:

- Tubulações, conexões e registros;
- Medidores de vazão.

4.1. ATIVIDADE DIÁRIAS

- Verificar e manter em bom estado o conjunto das tampas da ETE;
- Realizar a limpeza da área da ETE;
- Realizar limpeza do gradeamento;
- Observar a estrutura física das unidades da ETE e, caso necessário, executar o reparo imediatamente;
- Observar se está ocorrendo refluxo na entrada dos tanques, a fim de constatar se o fluxo está escoando normalmente (sem obstáculos) em todas as unidades;
- Inspeccionar a existência de vazamentos em flanges, joelhos, tubos e conexões e onde for possível, quando aparente;
- Medir vazão de entrada do sistema e de recirculação para confrontar com as de projeto e realizações de reajuste.



4.2. ATIVIDADES SEMANAIS

- Manter a calha de saída do decantador limpa. A limpeza dos vertedores e das calhas do decantador deve ser feita por intermédio de escova e rodo ou vassoura. O material retirado deve ser acondicionado em saco plástico para, em seguida, ser encaminhado ao aterro sanitário. Após a limpeza, jogar um jato d'água;

4.3. ATIVIDADES MENSAIS

- Limpeza dos leitos de secagem para realização dos rodízios destinando de forma adequada;
- Realizar limpeza no desarenador;
- Realização das análises físico-químicas e bacteriológicas.

5. PROBLEMAS OPERACIONAIS E SUAS SOLUÇÕES

Garantir um desempenho estável da ETE é um grande desafio para as operadoras. São comuns as situações em que as ETEs geram problemas operacionais, levando ao descumprimento das normas de emissão, ao aumento dos custos de tratamento ou, em casos mais extremos, ao cancelamento da ETE. A manutenção da ETE pode ser dividida em três intervenções humanas:

- **Manutenção preventiva:** consiste na manutenção dos equipamentos visando prevenir defeitos e prolongar a vida útil da ETE. Exemplo: Pintura Reator etc. conforme manual.



- **Manutenção corretiva:** Se o dispositivo estiver com defeito, é necessário a manutenção antes da manutenção preventiva. Por exemplo: Falha do sistema elétrico, vazamento no tubo, etc.
- **Operações Ambientais:** consiste essencialmente em monitorar e manter os parâmetros do projeto para alcançar um desempenho ambiental igual ou melhor do que o projeto original.

O presente capítulo apresenta uma síntese dos principais problemas operacionais passíveis de ocorrência em sistema de tratamento, incluindo as suas causas e formas de controle.

5.1. DESPRENDIMENTO DE ODORES DESAGRADÁVEIS

Possíveis Causas	Possíveis Soluções
<ul style="list-style-type: none">▪ Sobrecarga de esgoto consequente diminuição do tempo de detenção;	<ul style="list-style-type: none">▪ Diminuir a vazão afluente à unidade com problemas;
<ul style="list-style-type: none">▪ Elevadas concentrações de composto de enxofre no esgoto afluente;	<ul style="list-style-type: none">▪ Verificar a possibilidade de reduzir as concentrações de sulfetos do sistema;
<ul style="list-style-type: none">▪ Elevadas concentrações de ácidos voláteis no reator, alcalinidade reduzida e queda do pH;	<ul style="list-style-type: none">▪ Adicionar cal hidratada, a fim de elevar a alcalinidade do reator e manter o pH próximo a 7,0 (6,8 a 7,4);
<ul style="list-style-type: none">▪ Presença de substâncias tóxicas no esgoto;	<ul style="list-style-type: none">▪ Localizar e eliminar as fontes de substâncias tóxicas



- Queda brusca da temperatura do esgoto.
- Caso o reator não seja coberto, avaliar a possibilidade de cobri-lo.

Fonte: VON SPERLING (1997)

5.2. EFLUENTE CONTENDO ELEVADO TEOR DE SÓLIDOS SUSPENSOS

Possíveis Causas	Possíveis Soluções
<ul style="list-style-type: none">▪ Sobrecarga vazão de esgoto, com consequente elevação das velocidades superficiais;▪ Elevadas concentrações de sólidos suspensos no afluente;▪ Excesso de sólidos no reator.	<ul style="list-style-type: none">▪ Diminuir a vazão afluente à unidade com problemas;▪ Verificar possibilidade de remoção de sólidos a montante dos reatores;▪ Proporcionar o descarte do excesso de sólidos presentes no sistema.

Fonte: VON SPERLING (1997)

5.3. QUEDA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Possíveis Causas	Possíveis Soluções
<ul style="list-style-type: none">▪ Vazamentos nas tubulações de gás;▪ Entupimento das tubulações de gás;▪ Dejeito nos medidores de gás;	<ul style="list-style-type: none">▪ Corrigir os vazamentos;▪ Desentupir as tubulações de gás;▪ Reparar os medidores de gás;



- Elevadas concentrações de ácidos voláteis no reator, alcalinidade reduzida e queda do pH;
- Presença de substâncias tóxicas no esgoto;
- Queda brusca da temperatura do esgoto.
- Adicionar cal hidratada, a fim de elevar a alcalinidade do reator e manter o pH próximo a 7,0 (6,8 a 7,4);
- Localizar e eliminar as fontes de substâncias tóxicas;
- Caso o reator não seja coberto, avaliar a possibilidade de cobri-lo.

Fonte: VON SPERLING (1997)

5.4. QUEDA NA EFICIÊNCIA DO SISTEMA

Possíveis Causas	Possíveis Soluções
<ul style="list-style-type: none">▪ Sobrecarga de esgoto, com consequente diminuição do tempo de detenção;▪ Elevadas concentrações de ácidos voláteis no reator, alcalinidade reduzida e queda do pH;	<ul style="list-style-type: none">▪ Diminuir a vazão afluyente à unidade com problemas;▪ Adicionar cal hidratada, a fim de elevar a alcalinidade do reator e manter o pH próximo a 7,0 (6,8 a 7,4);
<ul style="list-style-type: none">▪ Perda excessiva de sólidos do sistema, com redução do leito e da manta de lodo;	<ul style="list-style-type: none">▪ Diminuir a vazão afluyente à unidade com problemas ou retirar temporariamente o reator de operação;
<ul style="list-style-type: none">▪ Presença de substâncias tóxicas no esgoto;	<ul style="list-style-type: none">▪ Localizar e eliminar as fontes de substâncias tóxicas;



- Queda brusca da temperatura do esgoto
- Eventualmente, retirar o reator de operação até que ocorra a redução dos ácidos voláteis.

Fonte: VON SPERLING (1997)

5.5. FLUTUAÇÃO DE GRÂNULOS

Possíveis Causas	Possíveis Soluções
<ul style="list-style-type: none">▪ Sobrecarga de esgoto, com consequente diminuição do tempo de detenção;▪ Reinicialização da operação do sistema, após longos períodos de paralização.	<ul style="list-style-type: none">▪ Diminuir a vazão afluyente à unidade com problemas;▪ Reinicializar o sistema com a aplicação de menores cargas volumétricas.

Fonte: VON SPERLING (1997)

5.6. PROLIFERAÇÃO DE INSETOS

Possíveis Causas	Possíveis Soluções
<ul style="list-style-type: none">▪ Presença de camada de espuma e óleo que normalmente se forma nos reatores anaeróbios.	<ul style="list-style-type: none">▪ Aplicar dosagens adequadas de algum tipo de inseticida, de modo a não prejudicar o funcionamento do reator.▪ Remover a camada de espuma e aterrar adequadamente;▪ Caso o reator não seja coberto, avaliar a possibilidade de cobri-lo.

Fonte: VON SPERLING (1997)





6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário**; Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**; Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229: Projeto, Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais**; Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, p. 01. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648: Estudo de concepção de esgoto sanitário**; Rio de Janeiro, 1986.

Barros, Regina. **Energia de Biogás da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e de Aterros Sanitários**. Revista O Futuro da Energia. 1. 1, Belo Horizonte, 2016.

BILOTTA, P.; DANIEL, L. A. **Utilização de lâmpadas germicidas na desinfecção de esgoto sanitário**. Ambiagua, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 120-129, 2012.

BRAILE, P. M. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. CETESB, São Paulo, 1993.

BRYANT, E. A.; FULTON, G.P.; BUDD, G.C. **Disinfection alternatives for safedrinkng water**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, p.518, 1992.

CHERNICHARO, C. A.L.; MACHADO, R. M. G. **Avaliação Do Desempenho De Filtros Anaeróbios Utilizados Para O Polimento De Efluentes De Um Reator Uasb**. ABES, Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, PR, 1997.

COSTA, A. M. G. **Desempenho De Filtro Anaeróbio No Tratamento De Efluente Formulado Com Diferentes Concentrações De Soro De Queijo**. UFV, Viçosa, 2008

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais: notas de aula**. UERJ, Rio de Janeiro, 2008.



GOMES, L. A.; SANTOS, A. A.; SILVINOL, A. N. O. **Estudo Da Eficiência De Um Reator Uasb No Tratamento De Efluentes De Uma Indústria Cervejeira.** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

GONÇALVES, R.F. **Tecnologias De Segregação E Tratamento De Esgotos Domésticos Na Origem, Visando A Redução Do Consumo De Água E Da Infra-Estrutura De Coleta, Especialmente Nas Periferias Urbanas.** Sermograf, Vitória-ES, 2006.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse.** McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991.

PMSB. **Plano municipal de saneamento básico.** Prefeitura Municipal de Romaria. Minas Gerais, Romaria, p.96,2015.

SANTOS, IVAN FELIPE SILVA DOS e col. **Dimensionamento de um reator UASB para tratamento de efluentes domésticos e recuperação do biogás para produção energética: um estudo de caso em Pouso Alegre (MG);** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.7, n.1, p. 77-94, 2018.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgoto: um manual para regiões de clima quente.** Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 1994.

VON SPERLING, Marcos. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias;** Volume 5. Belo Horizonte: DESA-UFMG, p. 157, 1997.

BRUNO DE SOUZA VINHAL
ENG. CIVIL – CREA-MG:215.180/D