

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

MICHAEL DOUGLAS TORRES DE SOUZA

**PROJETO DE UM SEDIMENTADOR A SER IMPLEMENTADO EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Maceió-AL

2021

MICHAEL DOUGLAS TORRES DE SOUZA

**Projeto de um sedimentador a ser implementado em uma estação de
tratamento de efluentes**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
de Alagoas, como requisito parcial
para a obtenção do título de
Engenheiro Químico.

Orientadora: Prof^a Dr^a Livia Maria de
Oliveira Ribeiro.

Maceió-AL

2021

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

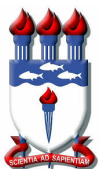
S729p Souza, Michael Douglas Torres de.
Projeto de um sedimentador a ser implementado em uma estação de
tratamento de efluentes / Michael Douglas Torres de Souza. – 2021.
45 f. il. : figs. ; tabs. color.

Orientadora: Livia Maria de Oliveira Ribeiro.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química).
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 43-45.

1. Sedimentação e depósitos - Projeto. 2. Águas residuais - Purificação.
3. I. Título.

CDU: 66.066.7



MICHAEL DOUGLAS TORRES DE SOUZA

**PROJETO DE UM SEDIMENTADOR A SER IMPLEMENTADO EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

BANCA EXAMINADORA

Livia Maria de Oliveira Ribeiro

Prof. Dr^a. Livia Maria de Oliveira Ribeiro

Soraya Lira Alencar

Prof. Dr^a. Soraya Lira Alencar

Dayana de Gusmão Coelho

Prof. Dr^a. Dayana de Gusmão Coelho

RESUMO

O saneamento básico é um direito assegurado pela constituição federal, sendo sua implementação de suma importância na evitação de inúmeras doenças de veiculação hídrica, como hepatites A e E, cólera e verminoses. Nomeia-se por tratamento de efluentes a medida de saneamento básico utilizado para purificar a água em menos tempo, antes de devolvê-la ao meio ambiente ou reutilizá-la em alguma operação, das diversas de reuso. A sedimentação, também conhecida como decantação, é um processo de separação de sólidos em suspensão em líquidos, que se utiliza da aceleração gravitacional para fazer com que os sólidos desçam e se depositem no fundo do equipamento, o sedimentador. O presente trabalho teve por finalidade elaborar o projeto de um sedimentador espessador cilíndrico de fundo cônico fabricado em policloreto de vinila (PVC), que possuísse $6,032\text{m}^3$ de volume, $10,33\text{m}^2$ de área, $3,74\text{m}$ de diâmetro e $0,753\text{m}$ de altura, sustentado por 4 colunas de concreto de 1m de altura cada, com $0,14\text{m}$ de diâmetro, que operasse durante 6 dias da semana no tratamento primário de uma estação de tratamento de efluentes hipotética. No projeto utilizou-se do método proposto por Pavlov, Ramonkov e Naskov em 1981, partindo da condição de se sedimentar 1m^3 de efluente por dia.

Palavras-chave: Projeto; sedimentação; efluentes.

ABSTRACT

Basic sanitation is a right guaranteed by the federal constitution, and its implementation is of paramount importance in preventing numerous waterborne diseases, such as hepatitis A and E, cholera and verminosis. Effluent treatment is the basic sanitation measure used to purify water in less time, before returning it to the environment or reusing it in any operation, of the various reuse operations. Sedimentation, also known as decantation, is a process of separating solids in suspension from liquids, which uses gravitational acceleration to make the solids descend and settle at the bottom of the equipment, the sedimentator. The purpose of this work was to develop the project of a cylindrical thickener sedimenter with a conical bottom made of polyvinyl chloride (PVC), which had 6.032m³ in volume, 10.33m² in area, 3.74m in diameter and 0.753m in height, supported by 4 concrete columns of 1m high each, 0.14m in diameter, which operating 6 days a week in the primary treatment of a hypothetical effluent treatment plant. In the project, the method proposed by Pavlov, Ramonkov and Naskov in 1981 was used, starting from the condition of sedimenter 1m³ of effluent per day.

Keywords: Project; sedimentation; effluents.

LISTA DE SÍMBOLOS

F	Força normal (N)
σ	Tensão normal (Pa)
A	Área da seção transversal (m ²)
K	Coefficiente de segurança
x	Variável um do coeficiente de segurança
y	Variável dois do coeficiente de segurança
z	Variável três do coeficiente de segurança
w	Variável quatro do coeficiente de segurança
σ_{adm}	Tensão admissível (Pa)
σ_r	Tensão admissível radial (Pa)
σ_l	Tensão admissível longitudinal (Pa)
p	Pressão (Pa)
R	Raio (m)
e	Espessura do tubo (m)
P_0	Pressão atmosférica (Pa)
g	Aceleração gravitacional (m/s ²)
H	Altura do sedimentador/espessador (m)
d	Diâmetro do pilar de sustentação (m)
P	Peso do sedimentador com a mistura a ser sedimentada (N)
h_1	Altura da região de líquido clarificado (m)
h_2	Altura da região de compactação (m)
h_3	Altura do fundo do espessador (m)
V_s	Volume de sólidos na zona de compressão (m ³)
Q_a	Vazão de alimentação (m ³ /h)

C_a	Concentração de sólidos na alimentação (ton/m ³);
ρ_s	Massa específica do sólido (ton/m ³)
t	Tempo que o sólido permanece na zona de compressão (h)
V_c	Volume da suspensão na zona de compressão (m ³)
ρ_m	Massa específica média da mistura (Kg/m ³)
ρ_l	Massa específica do líquido (Kg/m ³)
V_{cil}	Volume do cilindro (m ³)
V_{co}	Volume do cone (m ³)
A_{cil}	Área do cilindro (m ²)
A_c	Área do círculo (m ²)
V_1	Volume da região de altura h_1 (m ³)
V_2	Volume da região de altura h_2 (m ³)
V	Volume total do sedimentador (m ³)
A_t	Área total do sedimentador (m ²)
m_1	Massa do líquido a ser sedimentado (Kg)
m_2	Massa do sedimentador vazio (Kg)
V_{PVC}	Volume que o PVC ocupa no sedimentador (m ³)
ρ_{PVC}	Massa específica do PVC (Kg/m ³).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
2.1 Gerais	9
2.2 Específicos	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 Saneamento básico	10
3.2 Efluentes	13
3.2.1 Definição de efluentes	13
3.2.2 Tratamento de efluentes.....	15
3.3 Resistência dos materiais	20
3.4 Sustentação de um corpo	25
3.5 Sedimentação	25
3.5.1 Projeto de sedimentadores	26
4 METODOLOGIA	29
5 RESULTADO E DISCUSSÕES	31
5.1 Cálculo das variáveis do processo	31
5.2 Cálculo das variáveis de construção do sedimentador	31
5.2.1 Cálculo do volume e altura da região de depósito	31
5.2.2 Cálculo do volume e altura da região de compactação	32
5.2.3 Cálculo do volume e altura da região 1	33
5.2.4 Cálculo do volume e altura total.....	33
5.2.5 Cálculo da área.....	33
5.2.6 Cálculo da espessura	34
5.2.7 Cálculo do diâmetro dos pilares de sustentação	35
5.3 Projeto	37
5.4 Operação	41
6 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico traz consigo benefícios e malefícios. Dentre os benefícios é possível identificar o crescimento de centros urbanos, com geração de emprego e renda, contudo ele ocasiona como malefícios, impactos ambientais provenientes de ações antrópicas intensas, irresponsáveis e não planejadas (THEODORO, 2012).

A água utilizada nas residências, comércios, indústria e agricultura se transforma em esgoto após ser utilizada nos mais diversos fins. Ocorrido isso há uma perda da qualidade da água devido às diversas impurezas que se acumulam e/ou a contaminam durante o seu percurso no ciclo hidrológico, onde essas alterações normalmente são decorrentes das atividades humanas. Tais impurezas, são constituídas em sua maioria por sólidos e matéria orgânica.

Para manter a qualidade de vida, é mister conservar os recursos hídricos (sem eles não há água), evitando seu uso indiscriminado, o que está diretamente relacionado ao destino dado à água após sua utilização. Por ser descartada, geralmente após seu uso como esgoto, é importante que ele receba tratamento adequado em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), antes de ser lançado no meio ambiente (LOPES, 2015).

No Brasil, em 2019, 2,5% das residências brasileiras passaram a receber coleta de esgoto com tratamento, contudo esse número ainda é pequeno, pois representa agora 54% de todas elas, um valor pouco superior a metade, o que é pouco, tendo em vista que o saneamento básico é um direito assegurado pela constituição federal (SNIS, 2020). Esta carência de tratamento do esgoto sanitário, aumenta às chances de transmissão de doenças de veiculação hídrica, como hepatites A e E, cólera e verminoses, afeta a biota aquática e deteriora a qualidade dos recursos hídricos (TORTORA; FUNKE; CASE, 2012).

É evidente que o cenário brasileiro de tratamento de esgotos precisa evoluir até alcançar uma situação que possa ser considerada aceitável (quanto mais próximo de 100% o número de pessoas a terem acesso ao saneamento básico melhor, sendo esse o valor ideal), tendo em vista a qualidade de vida de sua população e preservação do meio ambiente.

Dentro do tratamento de efluentes um aparato que é comumente utilizado é o sedimentador, que é um instrumento que se vale da aceleração gravitacional para separar sólidos em suspensão em líquidos. No tratamento de efluentes ele pode ser implementado tanto no tratamento primário, como no secundário, separando sólidos sedimentáveis em suspensão do líquido. Nesse trabalho se projetou um sedimentador primário cilíndrico de fundo cônico, de operação contínua, que sedimentará efluente doméstico e industrial de Maceió-AL.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Projetar um sedimentador que possa realizar a sedimentação de 1 m³ de efluente por dia, que participará do tratamento primário de efluentes em uma estação de tratamento de efluentes (ETE) hipotética.

2.2 Específicos

Calcular as variáveis envolvidas na construção do sedimentador, como área, altura e diâmetro;

Calcular as variáveis envolvidas no processo, como a vazão do efluente na entrada e saída do sedimentador e o tempo de compactação do efluente;

Identificar o material a ser empregado em sua construção levando em conta as características físicas, químicas e biológicas do efluente doméstico e industrial de Maceió-AL.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Saneamento básico

De acordo com a organização mundial da saúde (OMS), denomina-se saneamento o controle dos fatores do meio ambiente que exercem ou podem vim a exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social (*apud* VON SPERLING, 2005).

No Brasil o saneamento básico é um direito assegurado pela constituição federal em seus artigos 21,23 e 200 (BRASIL,1988), sendo definido pela lei nº 11.445/2007 como a união de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, limpeza urbana, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos, drenagem urbana e drenagem de águas pluviais (BRASIL, 2007).

O saneamento básico tem por objetivo alcançar a salubridade ambiental, que é o estado de saúde normal tanto da população urbana, como da população rural (CARVALHO; GUIMARÃES; SILVA, 2007).

A oferta de saneamento associa sistemas constituídos por uma infraestrutura física que compreende os serviços de:

- Abastecimento de água potável à população em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto;
- Coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura de águas residuais (esgotos sanitários, resíduos líquidos agrícolas e industriais);
- Coleta de águas pluviais e controle de empoçamentos e inundações;
- Acondicionamento, coleta, transporte e destino final dos resíduos sólidos;
- Controle de vetores de doenças transmissíveis (insetos, roedores, moluscos e etc.);
- Saneamento dos alimentos, dos meios de transporte coletivos, das habitações, dos locais de trabalho, de educação, de recreação e de hospitais;

- Controle da poluição ambiental da água, solo e ar (CARVALHO; GUIMARÃES; SILVA, 2007).

Figura 1. Estação de tratamento de esgotos



Fonte: iStock.

O não tratamento de efluentes traz como consequências ao homem e o meio ambiente, problemas como os expostos na Tabela 1:

Tabela 1 — Consequências de poluentes encontrados em efluentes

Poluentes	Parâmetros de caracterização	Tipo de efluente	Consequências
Sólidos em suspensão	Sólidos em suspensão totais	Domésticos e industriais	Problemas estéticos, depósito de lodo, adsorção de poluentes e proteção de microrganismos patogênicos.
Sólidos flutuantes	Óleos e graxas	Domésticos e industriais	Problemas estéticos
Matéria orgânica biodegradável	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Domésticos e industriais	Consumo de oxigênio e mortandade dos peixes
Patogênicos	Coliformes	Domésticos	Doenças de veiculação hídrica

(Continua)

Nutrientes	Nitrogênio e fósforo	Domésticos e indústrias	Crescimento excessivo de algas, toxicidade de peixes e doenças em recém-nascidos.
Compostos não biodegradáveis	Pesticidas, detergentes e outros	Indústrias e agrícolas	Toxicidade e espumas, redução de transferência de oxigênio, não biodegradabilidade e maus odores
Metais pesados	Elementos específicos como arsênio, cádmio, cromo, mercúrio, zinco e outros.	Industriais	Toxicidade, inibição do tratamento biológico dos esgotos, problemas de disposição do lodo na agricultura e contaminação da água subterrânea.
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Sólidos dissolvidos totais e condutividade elétrica	Reutilizados	Salinidade excessiva, toxicidade das plantas e problemas de permeabilidade dos solos.

Fonte: Barros et al. (1995).

De acordo com o sistema de informações sobre saneamento (SNIS), em 2018, estima-se que 42,2% da população maceioense recebia coleta de esgoto, onde desses 44,6% eram tratados, de modo que apenas 18,82% do esgoto total produzido era tratado (SNIS, 2019). Pode-se ver na Figura 2 um caso de esgoto sendo lançado diretamente no mar sem passar previamente por tratamento:

Figura 2. Esgoto lançado no mar em Maceió

Fonte: Diário do poder.

3.2 Efluentes

3.2.1 Definição de efluentes

A NBR 9648 (ABNT, 1986) define esgoto sanitário como um “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”.

A seguir na tabela 2, construiu-se uma tabela que relaciona as principais propriedades físicas, químicas e biológicas de efluentes e suas fontes de origem:

Tabela 2 - Características físicas, químicas e biológicas de efluentes e suas fontes.

Característica	Fontes
Propriedades físicas:	
Cor	Esgoto doméstico ou industrial e decomposição natural de matéria orgânica
Odor	Esgoto em decomposição e esgoto industrial.
Sólidos	Abastecimento de água doméstica, esgoto industrial, erosão dos solos, vazões externas ou infiltrações.
Temperatura	Esgoto doméstico ou industrial.
Constituintes químicos orgânicos:	

(Continua)

Carboidratos	Esgoto doméstico, industrial e comercial.
Compostos orgânicos voláteis	Esgoto doméstico, industrial e comercial.
Fenóis	Esgoto industrial.
Gorduras, óleos e graxas	Esgoto doméstico, industrial e comercial.
Pesticidas	Esgoto agrícola.
Proteínas	Esgoto doméstico, industrial e comercial.
Surfactantes	Esgoto doméstico, industrial e comercial.
Constituintes químicos inorgânicos:	
Alcalinidade	Esgoto doméstico, abastecimento de água doméstico e infiltração de água subterrânea.
Cloretos	Esgoto doméstico, abastecimento de água doméstico e infiltração de água subterrânea.
Enxofre	Abastecimento de água doméstico, esgoto doméstico, comercial e industrial.
Fósforo	Esgoto doméstico, comercial e industrial, e escoamento superficial natural.
Metais pesados	Esgoto industrial.
Nitrogênio	Esgoto doméstico e agrícola.
pH	Esgoto doméstico, abastecimento de água doméstico e infiltração de água subterrânea.
Potássio	Esgoto doméstico, industrial e comercial.
Gases:	
Metano	Decomposição de esgoto doméstico.
Oxigênio	Abastecimento de água doméstico e infiltração de água superficial.
Sulfeto de hidrogênio	Decomposição de esgoto doméstico.
Constituintes biológicos:	
Animais	Cursos de água abertos e estações de tratamento.
Vermes	Esgoto doméstico.
Plantas	Cursos de água abertos e estações de tratamento.
Arqueobactérias	Esgoto doméstico, infiltração de água superficial e estações de tratamento.
Eubactérias	Esgoto doméstico, infiltração de água superficial e estações de tratamento.
Vírus	Esgoto doméstico.

3.2.2 Tratamento de efluentes

O tratamento de efluentes é uma medida de saneamento básico cujo objetivo é acelerar o processo de purificação da água, antes de devolvê-la ao meio ambiente, ou reutilizá-la. Essa água poluída é recolhida pela rede coletora de esgotos, tendo sua origem em residências, comércios, indústrias e da agricultura.

Figura 3. Tratamento de efluentes



Fonte: iSotck.

Há inúmeras tecnologias e tipos de sistemas para tratamento de efluentes. No entanto, para escolher um sistema adequado, deve-se levar em conta alguns aspectos importantes, como os objetivos do tratamento, o nível de tratamento que se espera alcançar e o impacto que o lançamento desse efluente tratado irá causar no corpo hídrico receptor.

As operações unitárias envolvidas no tratamento de efluentes podem ser classificadas quanto ao seu tipo de operação em: físicas, químicas e biológicas.

Os métodos de tratamento em que predominam forças físicas são conhecidas como operações unitárias físicas. São exemplos dela o peneiramento, mistura, sedimentação, filtração e adsorção (METCALF; EDDY, 2013).

Os métodos de tratamento em que a remoção dos constituintes é feita por meio de compostos químicos ou reações químicas são conhecidas como operações unitárias químicas. São exemplos a precipitação química, a transferência de gases e a desinfecção (METCALF; EDDY, 2013).

Os métodos de tratamento em que a remoção dos constituintes é feita por atividade biológica são conhecidas como operações unitárias biológicas. São exemplos as lagoas de estabilização e reatores anaeróbios (METCALF; EDDY, 2013).

Além dessa classificação há outra que é mais usual, onde o tratamento de efluentes é classificado quanto a redução dos sólidos em suspensão e na diminuição da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) oriunda da eficiência das unidades de tratamento. Nessa classificação o tratamento de efluentes é dividido em preliminar, primário, secundário e terciário.

O tratamento preliminar tem por finalidade remover constituintes grosseiros, como galhos, pedras e graxa, que podem causar problemas operacionais nas unidades posteriores. Nessa etapa podem ser utilizados: gradeamento (feito por grades, com 5 a 10cm de espaçamento entre elas, que servem como um primeiro filtro para o processo), peneiramento (processo semelhante ao anterior, contudo, realizado com peneiras, que possuem um espaçamento menor) e caixas de areia (também conhecido como desarenador, que serve para remover parte da areia presente no efluente) (VON SPERLING, 2005).

Figura 4. Gradeamento de esgoto



Fonte: Autossustentavel.

O tratamento primário serve para remover sólidos em suspensão e parte da matéria orgânica (a parte que é sedimentável). Nessa etapa são usados sedimentadores primários, filtros, além de flotação, floculação e coagulação, onde nessas três últimas operações, são utilizados agentes químicos como o sulfato de alumínio ($Al_2(SO)_4$) que reage com as partículas fazendo com que gases adsorvam nela, diminuindo sua massa específica, de modo que elas possam flutuar e serem removidas mecanicamente (VON SPERLING, 2005).

Figura 5. Sedimentador primário



Fonte: Autossustentavel.

O tratamento secundário é a etapa bioquímica que remove a matéria biodegradável, utilizando-se de microrganismos, esses que irão se alimentar da matéria orgânica presente no efluente. Nessa etapa são usados reatores anaeróbios e lagoas de estabilização (VON SPERLING, 2005).

Figura 6. Lagoas de estabilização



Fonte: SABESP.

O tratamento terciário serve para remover materiais suspensos ou dissolvidos que permaneceram após as etapas anteriores e precisam ser removidos quando requerido para as aplicações diversas de reuso. O tipo de operação a ser usada dependerá do componente que se queira remover, nela

podem ser usados filtros, troca iônica, osmose reversa, precipitação, coagulação e adsorção (VON SPERLING, 2005).

Tabela 3 - Operações unitárias usadas para remover constituintes encontrados em efluentes.

Constituinte	Operação unitária
Sólidos suspensos	Gradeamento; Remoção de areia; Sedimentação; Flotação; Precipitação química com sedimentação; Filtração em leito profundo; Filtração superficial; Filtração por membranas.
Orgânicos biodegradáveis	Modalidades de crescimento aeróbio em suspensão ou fixo; Modalidades de crescimento anaeróbio em suspensão ou aderido; Sistemas físico-químicos; Oxidação química; Oxidação avançada; Filtração por membranas.
Nitrogênio	Cloração; Modalidades de nitrificação e desnitrificação com crescimento em suspensão ou com filmes fixos; Extração com ar; Troca iônica.
Fósforo	Precipitação química; Remoção biológica de fósforo.
Patogênicos	Cloração; Ozônio; Radiação ultravioleta; Pasteurização.
Sólidos coloidais e dissolvidos	Membranas; Tratamento químico; Adsorção em carvão; Troca iônica.

(Continua)

Compostos orgânicos voláteis**Odores**

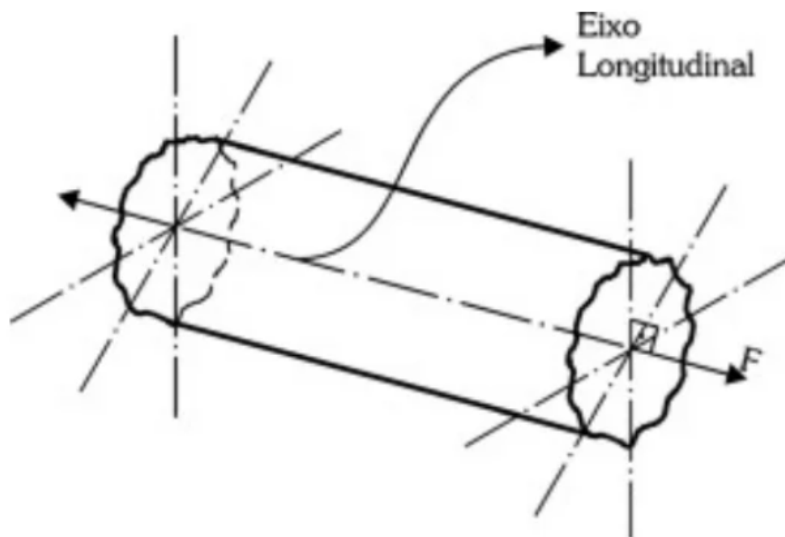
Extração por ar;
 Adsorção em carvão;
 Oxidação avançada.
 Lavadores de gás;
 Adsorção em carvão;
 Filtros biológicos;
 Filtros compostos.

Fonte: Metcalf; Eddy, 2013.

3.3 Resistência dos materiais

Define-se uma força como axial ou normal, quando ela atua perpendicularmente sobre a área da seção transversal de uma peça. Essa força pode atuar como uma tração, ou como uma compressão. Quando a força axial resultante atua no sentido exterior da peça ela é chamada de tração, contudo quando ela atua no sentido interior da peça ela é chamada de compressão (BEER, 2008). De modo, que quando a peça sofre tração ela é conhecida como peça tracionada e quando ela sofre compressão ela é conhecida como peça comprimida.

Figura 7 — Força normal atuando sobre uma barra cilíndrica.



Fonte: Melconian, S., 2012.

Segundo Melconian (2012) a força normal F , que atua sobre a peça, cria nela uma tensão normal (σ), que é determinada pela seguinte equação:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde A é a área da seção transversal.

Ao ser submetido a aplicação de uma força normal F, uma peça pode sofrer deformação elástica, deformação plástica e ruptura.

A deformação elástica ocorre quando há o aumento ou diminuição do comprimento do material, contudo essa alteração cessa ao ser interrompida a ação da força, ou seja, ao cessar a aplicação da força, o corpo volta ao seu comprimento e forma original.

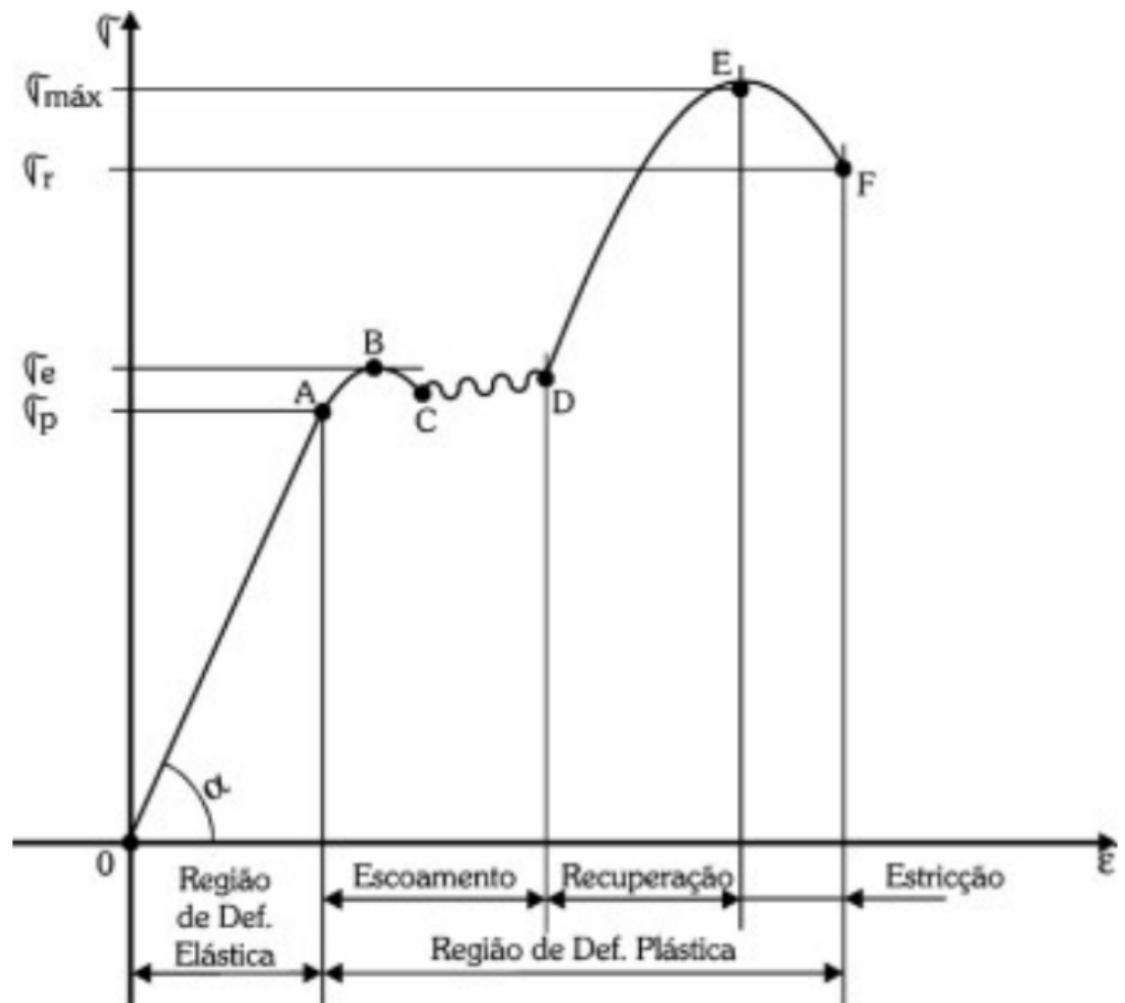
A deformação plástica ocorre quando a deformação permanece mesmo após cessada a atuação da força, ou seja, é uma deformação permanente.

A ruptura é a quebra do material.

Um material pode ser classificado em dúctil ou frágil. Um material dúctil é aquele que ao ser submetido a um ensaio de tração, mostrou sofrer deformação plástica, precedida de deformação elástica antes de sofrer a ruptura. São exemplos de materiais dúcteis: aço, cobre, alumínio, latão e bronze.

Segundo a ABNT 1020 (*apud* MELCONIAN, 2012) o diagrama da tensão deformação de um material dúctil é apresentado na figura 8:

Figura 8 — Diagrama da tensão versus deformação de um material dúctil.



Fonte: Melconian, S., 2012.

Onde:

Ponto 0 – início do ensaio, onde a força atuante é nula;

Ponto A – limite de proporcionalidade;

Ponto B – limite superior de escoamento;

Ponto C – limite inferior de escoamento;

Ponto D – final de escoamento e início da recuperação do material;

Ponto E – limite máximo de resistência;

Ponto F – limite de ruptura do material.

Um material frágil é aquele que quando submetido a um ensaio de tração não sofreu deformação plástica, ou seja, ao se atingir o limite de deformação elástica ele sofreu ruptura. São exemplos de matérias frágeis: vidro, concreto, porcelana, cerâmica, gesso, cristal e acrílico.

Ao se projetar uma peça ou equipamento, deve-se levar em conta o coeficiente de segurança K , que é utilizado visando-se assegurar o equilíbrio entre a qualidade do projeto e seu custo. Esse coeficiente pode ser obtido por meio de normas técnicas ou ser determinado a partir das circunstâncias apresentadas. Para o último caso deve-se levar em conta o tipo de carga que atuará sobre o equipamento.

A carga que atua sobre os equipamentos pode ser: estática (força constante), intermitente (quando ela é aplicada de modo crescente até atingir um valor máximo, decrescendo após isso até se tornar nula e volta a crescer, onde esse processo se repete indefinidamente) e alternada (quando a força é aplicada varia de um valor máximo positivo a um valor máximo negativo).

Para determinar o coeficiente de segurança K em função das circunstâncias apresentadas, utiliza-se da seguinte expressão:

$$K = x * y * z * w \quad (2)$$

Onde: $x = 2$ para materiais comuns e $x = 1,5$ para aços de qualidade e aços-liga;

$y = 1$ para carga constante, $y = 2$ para carga intermitente e $y = 3$ para carga alternada;

$z = 1$ para carga gradual, $z = 1,5$ para choques leves e $z = 2$ para choques bruscos;

$w = 1$ a $1,5$ para aços e $w = 2$ para fofo.

Para carga estática normalmente usa-se $2 \leq K \leq 3$ aplicado a tensão.

Conhece-se por tensão admissível σ_{adm} a tensão ideal de trabalho para o material nas circunstâncias apresentadas. É calculada por:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma}{K} \quad (3)$$

Dentro de um tubo qualquer atuam duas tensões admissíveis resultantes, a longitudinal e a radial, sendo expressas pelas seguintes expressões:

$$\sigma_r = \frac{p * r}{e} \quad (4)$$

$$\sigma_l = \frac{p * r}{2e} \quad (5)$$

Onde:

σ_r é a tensão admissível radial (Pa);

σ_l é a tensão admissível longitudinal (Pa);

p é a pressão (Pa);

r é o raio (m);

e é a espessura do tubo (m).

Como $\sigma_r > \sigma_l$ pode-se dimensionar o tubo em função de σ_r , pois se ele resistir a tensão radial, também resistirá a tensão longitudinal, de modo que a espessura de um sedimentador será dado por:

$$e = \frac{p * r}{\sigma_r} \quad (6)$$

Onde para se calcular a pressão, utiliza-se da equação proposta por Halliday, Resnick e Walker (2016):

$$P = P_0 + \rho * g * H \quad (7)$$

Onde:

P é a pressão (Pa);

P_0 é a pressão atmosférica, que equivale a 101325 Pa;

g é a aceleração gravitacional, que para os fins desse trabalho, será considerada 9,81 m/s²;

H é a altura da massa de líquido, que será igual a altura do sedimentador.

3.4 Sustentação de um corpo

Para que um corpo se mantenha em equilíbrio a resultante das forças e momentos atuantes nele devem ser nulas.

Para o sedimentador que está sendo projetado nesse trabalho se usarão pilastras de sustentação cilíndrica, onde para se calcular seu diâmetro, usa-se a equação (1):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Como a secção transversal é circular e a área do círculo é $A = \frac{\pi * d^2}{4}$, então:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi * d^2} \quad (8)$$

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi * \sigma}} \quad (9)$$

Onde nesse caso se usará a tensão admissível do material utilizado, assim a equação (9) torna-se:

$$d = \sqrt{\frac{4P}{\pi * \sigma_{adm}}} \quad (10)$$

Onde:

d é o diâmetro da pilastra de sustentação (m);

P é o peso do sedimentador com o líquido a ser sedimentado (N);

σ_{adm} é a tensão admissível do seu material (Pa).

3.5 Sedimentação

Sabe-se que toda partícula em um meio líquido em repouso sofrerá ação da aceleração gravitacional, onde isso conferirá uma aceleração à partícula, contudo a resistência viscosa e a deformação do líquido exercerão uma força contrária que diminuirá essa aceleração, até que a velocidade da partícula se torne constante (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A sedimentação, ou decantação, por acontecer naturalmente e se tratar de uma técnica simples é utilizada há muitos anos, com a existência de relatos desse processo há cerca de 4 mil anos, de modo que é uma excelente forma de separação de sólidos em suspensão em líquidos (LIBÂNIO, 2010). Os

sedimentadores podem ser: clarificadores (que envolvem suspensões diluídas, cujo objetivo é obter a fase líquida com o menor teor de sólidos) ou espessadores (envolvem suspensões concentradas, cujo objetivo é obter uma fase sólida com o mínimo de líquido) (REIS, 2010).

3.5.1 Projeto de sedimentadores

Para o cálculo da altura de um espessador em operação contínua se utilizou do método proposto por Pavlov, Ramonkov e Naskov (1981, *apud* Caldas, 2011), que será explicado abaixo:

A altura do espessador será calculada por:

$$H = h_1 + h_c + h_2 \quad (11)$$

Onde:

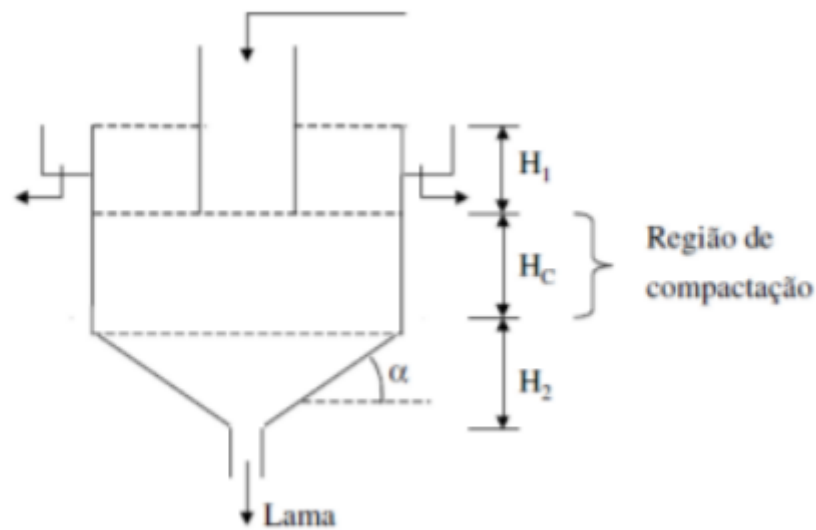
H é a altura do espessador;

h_1 é a altura da região de líquido clarificado, que pode variar entre 0,45 e 0,75m;

h_c é a altura da região de compactação, que pode ser estimado por um balanço de massa nessa região e

h_2 é a altura do fundo do espessador, que será calculado por $h_2 = 0,073D$, onde D é o diâmetro do espessador, que dependerá do seu volume, como apresentado na figura:

Figura 9 — Dimensionamento de um sedimentador.



Fonte: Caldas et al, 2011.

Nessa figura tem-se $\alpha = 8,14^\circ$, que é o ângulo proposto pelos autores e que se usará neste trabalho.

A concentração da lama espessada que se pode obter em uma dada operação não é função da área do espessador, mas do tempo de residência dos sólidos na zona de compressão, que depende do volume da zona de compressão. Primeiramente, calcula-se o volume dos sólidos na zona de compressão, que é dado por:

$$V_s = \frac{Q_a * C_a}{\rho_s} * t \quad (12)$$

Onde:

V_s é o volume de sólidos na zona de compressão (m^3);

Q_a é a vazão de alimentação (m^3/h);

C_a é a concentração de sólidos na alimentação (ton/m^3);

ρ_s é a massa específica do sólido (ton/m^3) e

t é o tempo que o sólido permanece na zona de compressão (h).

Representando por V o volume da suspensão na zona de compressão e ρ_m a sua massa específica média, faz-se um balanço de massa na zona de compressão e obtém-se o seguinte:

$$V * \rho_m = V_s * \rho_s + (V - V_s) * \rho \quad (13)$$

Onde ρ é a massa específica do líquido.

Isolando V na expressão anterior, obtém-se:

$$V = V_s * \frac{(\rho_s - \rho)}{(\rho_m - \rho)} \quad (14)$$

Que é o volume mínimo que a zona de compressão deverá ter.

4 METODOLOGIA

A metodologia empregada para o desenvolvimento e obtenção dos resultados foi composto das seguintes atividades:

1. Revisão bibliográfica sobre o tratamento de efluentes, sedimentação, dimensionamento de sedimentadores e materiais usados na sua construção, onde para tal foram feitas leituras de livros e artigos científicos a respeito;

2. Coleta de informações referentes as propriedades físicas, químicas e biológicas do efluente de Maceió-AL nos processos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), dadas nas tabelas 4 e 5:

Tabela 4 - Dados sobre o efluente.

Origem do efluente	Concentração dos sólidos sedimentáveis (mg/L)	Massa específica dos sólidos sedimentáveis (g/mL)
Condomínio A	95	2,61
Condomínio B	45	2,63
Condomínio C	222	1,80
Usina A	2,67	1,57
Média	91,17	2,15

Fonte: Autor, 2021.

Obs.: A usina A localiza-se em São Luís do Quitunde.

Tabela 5 - Propriedades químicas e físicas de efluentes.

Origem	Temperatura (°C)	Cloro (mg/L)	pH
Condomínio X	28	195,58	7,1
Condomínio Y	26	195,98	7,0
Condomínio Z	29	199,74	7,3
Média	27,7	197,1	7,13

Fonte: Autor, 2021.

3. Cálculo das variáveis do processo, baseando-se para tal nos objetivos do trabalho, tendo em vista que nenhum ensaio em laboratório foi realizado;

4. Cálculo da altura, área, volume e espessura do sedimentador, utilizando-se para isso das seguintes equações:

Para o cálculo do raio e altura de um cilindro:

$$V_{cil} = \pi r^2 * h \quad (15)$$

Para o cálculo do raio e altura de um cone:

$$V_{co} = \frac{\pi r^2 * h}{3} \quad (16)$$

Para o cálculo da área de um cilindro sem as bases:

$$A_{cil} = 2\pi r * h \quad (17)$$

Para o cálculo da área de um cone sem base será feita uma planificação do mesmo e se usará uma regra de três simples com a área de um círculo, que é dada por:

$$A_c = \pi r^2 \quad (18)$$

Para o cálculo do volume se usaram as informações dadas no objetivos e outras calculadas nos resultados e discussões, onde nele se explicará melhor esse tópico;

5. Projeto do sedimentador.

5 RESULTADO E DISCUSSÕES

5.1 Cálculo das variáveis do processo

Para o cálculo das variáveis envolvidas no processo de operação do sedimentador só se levou em conta os objetivos esperados para a sua funcionalidade, tendo em conta que nenhum experimento foi realizado. Partindo do objetivo geral desse trabalho que é de sedimentar 1m^3 de efluente por dia e levando em conta que o sedimentador tem fluxo contínuo, pode-se idealizar que a vazão de entrada e saída do mesmo serão iguais a $1\text{m}^3/\text{dia} = 0,0417\text{m}^3/\text{h}$. O tempo de sedimentação normalmente é calculado se usando de ensaios em proveta com a substância a ser decantada, como esses ensaios não foram realizados será usado nos cálculos um tempo de sedimentação 24h, que será o tempo de operação diário, pois com esse valor o objetivo de sedimentar 1m^3 em um dia será atingido.

5.2 Cálculo das variáveis de construção do sedimentador

5.2.1 Cálculo do volume e altura da região de depósito

O objetivo geral deste trabalho foi projetar um sedimentador que realizasse a sedimentação de 1m^3 de efluente por dia, de modo que se sabe que o volume na região de deposição será de 1m^3 . Como essa região tem o formato cônico, sabe-se que seu volume é dado pela equação (16), assim modificando apenas o subscrito, tem-se:

$$V_2 = \frac{\pi r^2 h_2}{3}$$

Contudo, tem-se que $h_2 = 0,073D = 0,073 * 2r = 0,146r$

Então, o volume do cone será dado por:

$$V_2 = \frac{\pi r^2 * 0,146r}{3} = 0,0487\pi r^3$$

Como $V_2 = 1\text{m}^3$, então:

$$1\text{m}^3 = 0,0487\pi r^3$$

$$r^3 = \frac{1\text{m}^3}{0,04867\pi} = 6,54\text{m}^3$$

$$r = \sqrt[3]{6,54\text{m}^3} = 1,87\text{m}$$

De modo que o raio do sedimentador será igual a $r = 1,87m$ e consequentemente seu diâmetro será $D = 3,74m$.

$$E h_2 = 0,146r = 0,146 * 1,87m = 0,273m \cong 0,3m.$$

5.2.2 Cálculo do volume e altura da região de compactação

Por meio da concentração média dos sólidos sedimentáveis e da massa específica média dos sólidos sedimentáveis obtidos da tabela 4, se calculou a altura de h_c , usando-se para tal da equação (14). Colocando as unidades em dimensões compatíveis:

$$C_a = 91,17 mg/L = 0,09117 Kg/m^3$$

$$\rho_s = 2,15 g/mL = 2150 Kg/m^3$$

Da equação (12):

$$V_s = \frac{Q_a * C_a * t}{\rho_s} = \frac{0,0417 m^3/h * 0,09117 Kg/m^3}{2150 Kg/m^3} * 24h = 0,000042m^3$$

Assim, o volume de sólidos sedimentáveis é $V_s = 0,000042m^3$.

Segundo Nuvolari (2011), o esgoto é composto por 99,87% de água e 0,13% de sólidos, de modo que se estimará a massa específica média fazendo uma média ponderada da massa específica da água e dos sólidos, assim:

$$\rho_m = 0,9987\rho + 0,0013\rho_s$$

$$\rho_m = 0,9987 * 1000 Kg/m^3 + 0,0013 * 2150 Kg/m^3 = 1001,5 Kg/m^3.$$

Aplicando esse valor com os já conhecidos na equação (14), obtém-se:

$$V_c = V_s * \frac{(\rho_s - \rho)}{(\rho_m - \rho)} = 0,000042m^3 * \left(\frac{2150 - 1000}{1001,5 - 1000} \right) = 0,03m^3.$$

O Volume na zona de compressão será $V_c = 0,03m^3$.

Como a zona de compressão tem formato cilíndrico, sua altura pode ser calculada por seu volume, assim:

$$V_c = \pi r^2 * h_c$$

Rearranjando:

$$h_c = \frac{V_c}{\pi r^2} = \frac{0,03m^3}{\pi * (1,87m)^2} = 0,003m.$$

De modo que, $h_c = 0,003m$.

5.2.3 Cálculo do volume e altura da região 1

Segundo proposto por Pavlov, Ramonkov e Naskov (1981), tem-se que $0,45m \leq h_1 \leq 0,75m$. Neste trabalho optou-se por utilizar a menor altura possível para baratear o projeto, então $h_1 = 0,45m$. Como o formato dessa região é cilíndrico, seu volume será dado por:

$$V_1 = \pi r^2 * h_1 = \pi * (1,87m)^2 * 0,45m = 4,944m^3.$$

Então, $V_1 = 4,944m^3 \cong 5m^3$.

5.2.4 Cálculo do volume e altura total

Com isso, pode-se calcular a altura total do sedimentador e seu volume total, apenas somando o valor de cada uma das partes, assim:

$$H = h_1 + h_c + h_2 = (0,45 + 0,003 + 0,3)m = 0,753m.$$

$$V = V_1 + V_c + V_2 = (5 + 0,032 + 1)m^3 = 6,032m^3.$$

Assim a altura total do sedimentador será de $H = 0,753m$ e seu volume total, $V = 6,032m^3$.

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 1992), um sedimentador primário deve ter uma altura mínima de água igual a 0,5m para o caso em que não há remoção mecanizada de lodo. De modo, que a altura projetada está dentro do padrão estabelecido pela ABNT.

5.2.5 Cálculo da área

Agora foi feito o cálculo da área do sedimentador. Primeiramente se calculará a área da parte cilíndrica e depois da parte cônica, usando-se para tal das equações de área do cilindro e cone.

A área de um cilindro sem as bases é dada pela equação (17):

$$A_{cil} = 2\pi r * h$$

Como a área cilíndrica do sedimentador é composta pelas zonas de despejo e compactação, então sua altura será $h_1 + h_c$, então:

$$A_{cil} = 2\pi r * (h_1 + h_c)$$

$$A_{cil} = 2\pi * (1,87m) * (0,45 + 0,003)m = 5,33m^2$$

A área da zona cilíndrica é $A_{cil} = 5,33m^2$.

Planificando a zona de depósito (zona cônica do sedimentador), se obtém um setor circular. De modo que seu ângulo interno X, será dado por:

$$180^\circ - 2\alpha = X$$

Pois, ele acrescido dos dois ângulos α formará um semicírculo, que possui ângulo de 180° , assim:

$$180^\circ - 2 * 8,14^\circ = 163,72^\circ = X$$

A área de um círculo é dada pela equação (18), então fazendo uma regra de três simples, é obtida a área do setor circular representado pelo cone, assim:

$$\pi r^2 - 360^\circ$$

$$A_{con} - 163,72^\circ$$

$$A_{con} = \frac{163,72^\circ * \pi * (1,87m)^2}{360^\circ} = 4,996m^2 \cong 5m^2$$

Então, a área total do sedimentador é:

$$A_t = A_{cil} + A_{con} = 5,33m^2 + 5m^2 = 10,33m^2.$$

Logo, a área total do sedimentador será $A_t = 10,33m^2$.

5.2.6 Cálculo da espessura

Se realizou o cálculo da espessura do material que será usado na construção do sedimentador, mas antes de fazê-lo é necessário realizar a escolha dele. Por meio da revisão bibliográfica, percebeu-se que as propriedades biológicas do efluente não influenciam na escolha do material, contudo as propriedades físicas e principalmente as químicas podem influenciar.

A partir dos dados da tabela 5 junto com a vazão de entrada determinada no item 5.1 percebe-se que um material polimérico seria o ideal para esse projeto, tendo em vista que ele não sofre grandes variações de temperatura,

não sofre fortes impactos e possui cloro em sua composição, o que poderia acarretar a corrosão de outro material. Por esse motivo, optou pelo uso do policloreto de vinila (PVC) em sua construção, pois é um polímero já utilizado no mercado para a confecção de sedimentadores.

Agora que já se definiu o material da construção, pode-se calcular a sua espessura, no entanto vale ressaltar que para aplicar a equação (6) no cálculo da espessura o sedimentador deve ser fabricado em peça única sem o uso de parafusos, pregos, tarraxas ou qualquer outro material semelhante, tendo em vista isso, o sedimentador será fabricado em peça única por meio do processo de extrusão, que é um processo mecânico, onde o material é forçado a adquirir determinada forma.

O cálculo da espessura é feito pela equação (6), onde para se obter a pressão interna máxima (do fundo), usa a equação (7), assim:

$$P = P_0 + \rho * g * H = 101325Pa + \frac{1001,5Kg}{m^3} * \frac{9,81m}{s^2} * 0,753m = 108723,01Pa$$

Aplicando esse valor na equação (6), junto com o raio do sedimentador e a tensão admissível do PVC, que varia de 31Mpa a 60Mpa (TITOW, 1984), onde para esse trabalho, optou-se pelo menor valor de tensão admissível, ou seja, 31Mpa, obtém-se a seguinte expressão:

$$e = \frac{p * r}{\sigma_r} = \frac{108723,01Pa * 1,87m}{31 * 10^6 Pa} = 0,0066m = 6,6mm$$

Como esse valor é muito pequeno, decidiu-se aumentar a espessura para $e = 5cm$, até para facilitar sua fabricação.

5.2.7 Cálculo do diâmetro dos pilares de sustentação

Agora se procederá com o cálculo da estrutura de sustentação do sedimentador, isso que será feito com quatro pilares cilíndricos fabricados em concreto. Para calcular o diâmetro desses pilares se usará da equação (10), contudo antes disso deve-se calcular o peso do sedimentador.

O peso do sedimentador será dado pela soma da massa do sedimentador com a massa do efluente a ser sedimentado vezes a aceleração da gravidade, assim:

$$P = (m_1 + m_2) * g \quad (19)$$

Onde:

m_1 é a massa do líquido a ser sedimentado (Kg);

m_2 é a massa do sedimentador vazio (Kg);

g é a aceleração da gravidade (m/s²).

O valor da massa pode ser obtido pelo produto do volume com a massa específica, assim:

$$m_x = V_x * \rho_x \quad (20)$$

Onde o sobescrito x se refere ao material a ser usado.

Como a massa específica do líquido a ser sedimentado é $\rho_m = 1001,5 \text{ Kg/m}^3$ e o volume que ele ocupa é $V = 6,032 \text{ m}^3$, sua massa será $m_1 = V * \rho_m = 6,032 \text{ m}^3 * 1001,5 \text{ Kg/m}^3 = 6041,05 \text{ Kg}$.

Segundo Titow (1984) massa específica do PVC varia entre 1,4 a 1,45 g/cm³, para esse trabalho se usará o valor médio, ou seja, 1,425g/cm³ = 1425Kg/m³.

Para calcular o volume que o PVC ocupa no sedimentador, se multiplicará a área do mesmo pela espessura, de modo que seu volume será $V_{PVC} = A * e = 10,33 \text{ m}^2 * 0,05 \text{ m} = 0,5165 \text{ m}^3$.

Então a massa do sedimentador vazio será $m_2 = V_{PVC} * \rho_{PVC} = 0,5165 \text{ m}^3 * \frac{1425 \text{ Kg}}{\text{m}^3} = 736,01 \text{ Kg}$.

O peso do sistema será:

$$P = (m_1 + m_2) * g = (6041,05 + 736,01) \text{ Kg} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} = 66482,96 \text{ N}$$

Segundo Beer (2008), a tensão admissível do concreto varia de 20 a 40 Mpa. Nesse trabalho optou-se por utilizar o menor valor.

Como se usarão quatro pilares de sustentação ao redor de cada extremidade do sedimentador, a força-peso deve ser dividida por quatro antes de ser usada no cálculo do dimensionamento. Aplicando esse valor novo na equação (10), encontra-se o diâmetro de cada um dos pilares:

$$d = \sqrt{\frac{4P/4}{\pi * \sigma_{adm}}} = \sqrt{\frac{P}{\pi * \sigma_{adm}}} = \sqrt{\frac{66482,96N}{\pi * 20 * 10^6 Pa}} = 0,03m = 3cm$$

Contudo, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) o diâmetro mínimo de um pilar de sustentação deve ser de no mínimo 14cm, de modo que esse valor será o usado no projeto.

Cada pilar possuirá 1m de altura, para que haja espaço para a coleta do lodo que sairá pelo fundo do sedimentador.

5.3 Projeto

Segue abaixo uma tabela com todas as informações pertinentes ao projeto final:

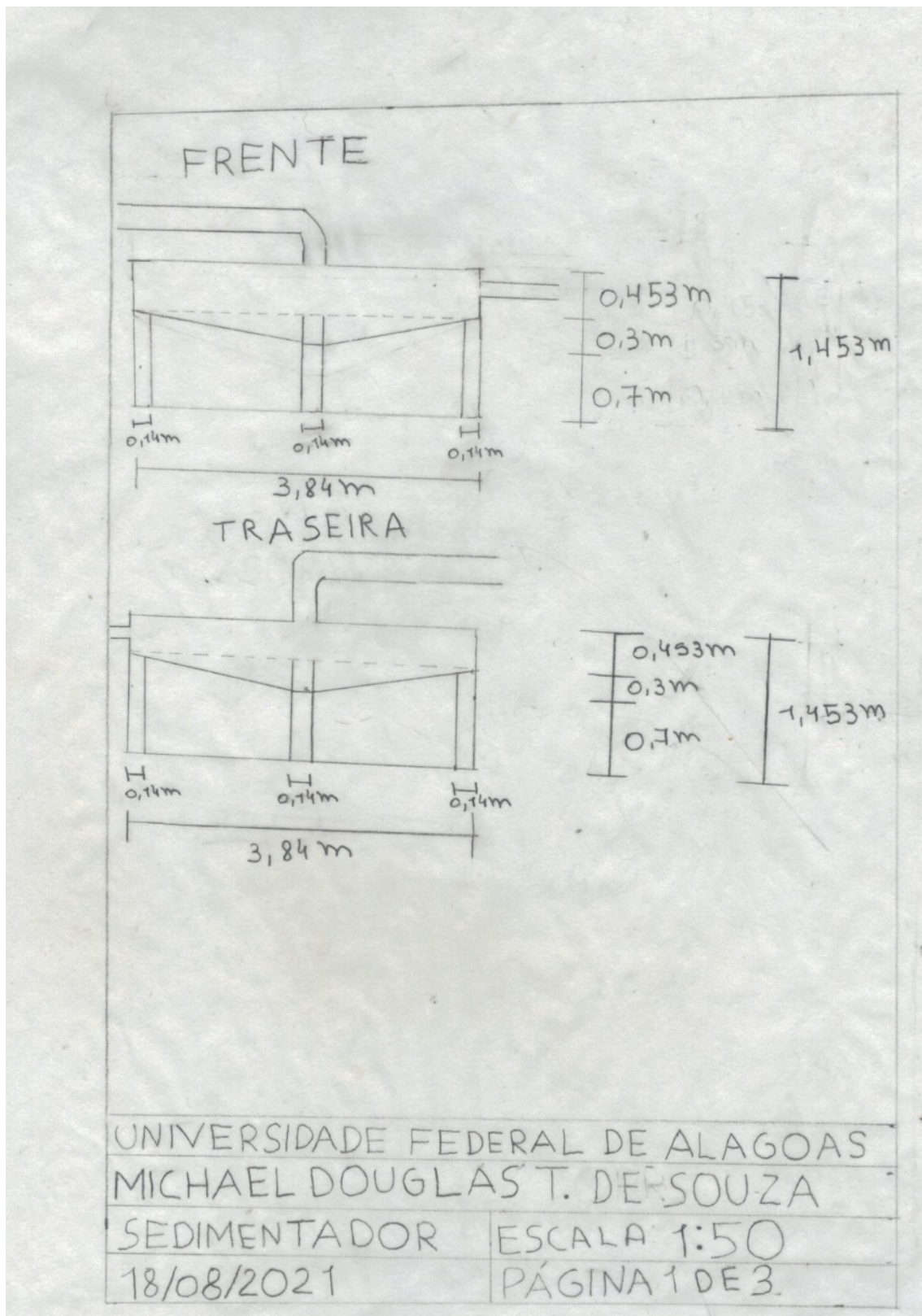
Tabela 6 - Dados de construção.

Volume da parte cilíndrica	5,032m³
Volume da parte cônica	1m ³
Volume total	6,032m ³
Área da parte cilíndrica	5,33m ²
Área da parte cônica	5m ²
Área total	10,33m ²
Altura da parte cilíndrica	0,453m
Altura da parte cônica	0,3m
Altura total	0,753m
Diâmetro	3,74m
Espessura	0,05m
Diâmetro com a espessura	3,84m
Diâmetro dos pilares de sustentação	0,14m
Altura dos pilares de sustentação	1m

Fonte: Autor, 2021.

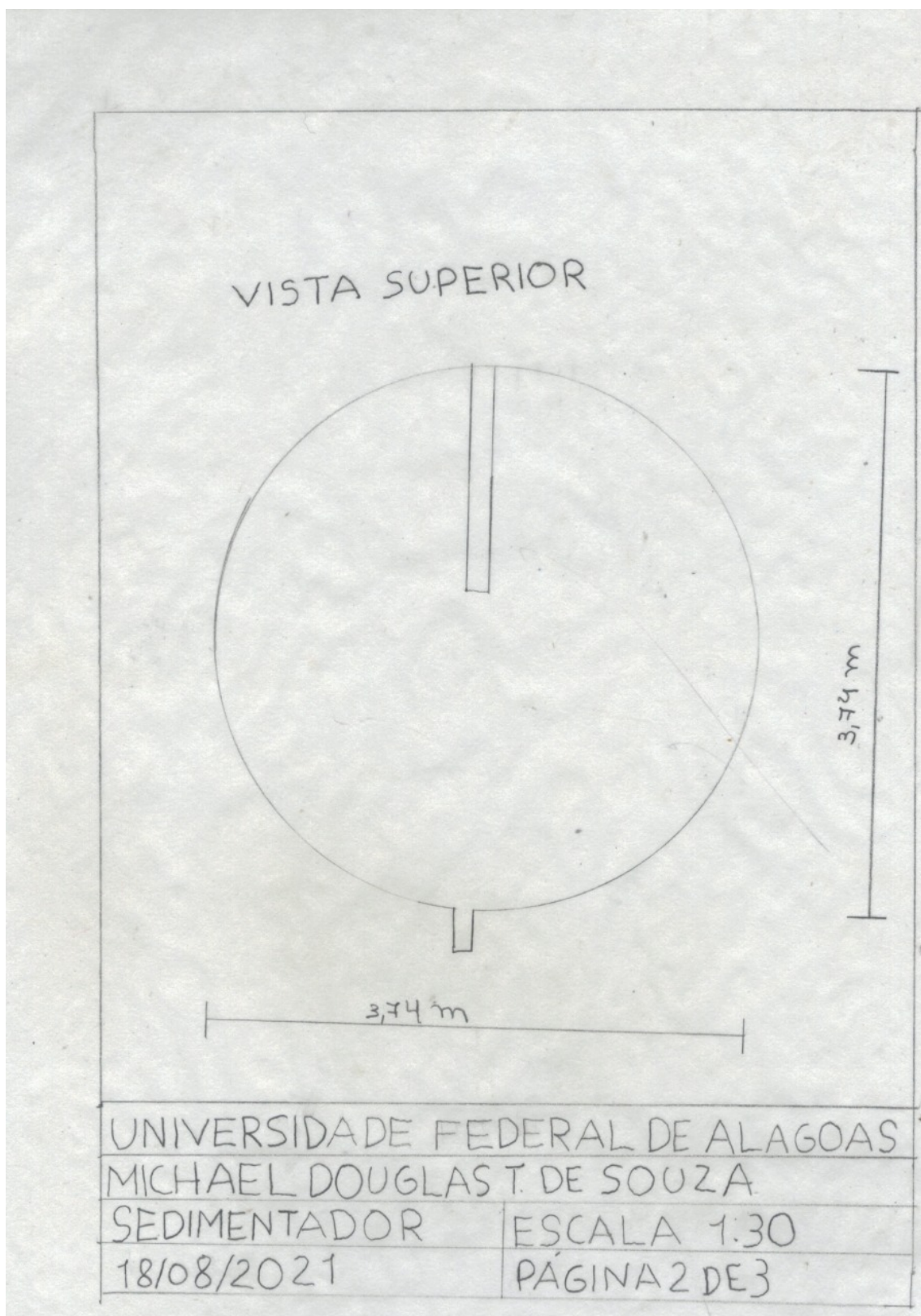
O projeto final será apresentado nas figuras 10, 11 e 12:

Figura 10 – Página 1 do projeto.



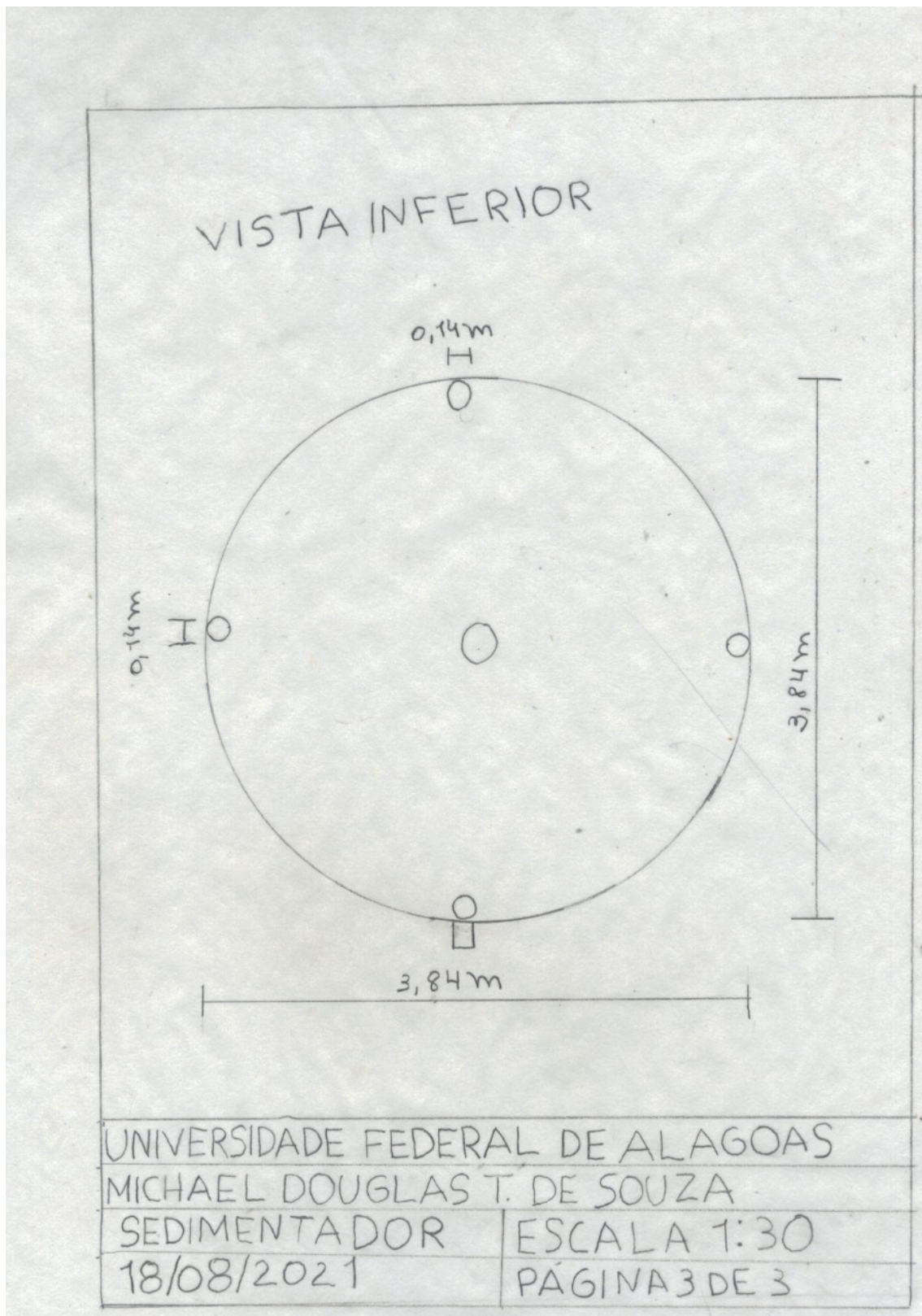
Fonte: Autor, 2021.

Figura 11 – Página 2 do projeto



Fonte: Autor, 2021

Figura 12 – Página 3 do projeto.



Fonte: Autor, 2021.

5.4 Operação

Para a operação desse sedimentador, decidiu-se que ele funcionará durante 6 dias da semana, dos domingos às sextas-feiras, onde no sábado se abrirá o fundo permitindo que o lodo que se acumulou ao longo da semana no fundo cônico seja removido. Para auxiliar na remoção desse lodo, será feita a inserção de água pela parte superior do sedimentador.

6 CONCLUSÃO

Em suma, com esse trabalho foi projetado um sedimentador primário, que pode ser utilizado no tratamento primário de uma estação de tratamento de efluentes, onde ele sedimentará 1m^3 de efluente por dia. Para o desenvolvimento desse projeto, se usou de informações da revisão bibliográfica e de informações sobre efluentes obtidas em pareceres técnicos de outorga da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), de modo que se optou por confeccioná-lo em policloreto de vinila (PVC), tendo ele $0,753\text{m}$ de altura, $10,33\text{m}^2$ de área, $6,032\text{m}^3$ de volume e $0,05\text{ m}$ de espessura, sendo sustentado por quatro colunas de concreto com 1m de altura e $0,14\text{m}$ de diâmetro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, N. Como o esgoto é tratado? Saiba como funciona uma ETE – Estação de tratamento de esgoto. **Autossustentável**, 2020. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2020/08/como-o-esgoto-e-tratado-conheca-como-funciona-uma-ete.html>. Acesso em: 21. Jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. 3. Ed. Rio de Janeiro, 29 abr. 2014.

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

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

BARROS, R. T. V. et al. **Saneamento. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. Vol 2. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221p.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. **Resistência dos materiais**. 3. Ed. São Paulo: Person Makron Books, 2008.

BRASIL. **Constituição da república federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=CON&numero=&ano=1988&ato=b79QTWE1EeFpWTb1a>. Acesso em: 16 Jul. 2021.

BRASIL. **Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 5 Jan. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 25 Ago. 2021.

CALDAS, D. ET AL. **Determinação Experimental das Constantes de Filtração e Ensaio de Sedimentação em Batelada**. Universidade Federal da Bahia. Escola politécnica. Departamento de Engenharia química, 2011.

CARVALHO D. F; GUIMARÃES A. J. A.; SILVA, L. D. B. **Notas de Aula**. 2007.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 10° ed. Rio de Janeiro: LTC, 30 jun. 2016.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LOPES, T. R. **Caracterização do esgoto sanitário e lodo proveniente de reator anaeróbico e de lagoas de estabilização para avaliação da eficiência na remoção de contaminantes**. Tese (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

MELCONIAN, S. **Mecânica técnica e resistência de materiais**. 20. ed. São Paulo. Érica, 2012.

METCALF, L.; EDDY, H.P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. Ed. Mc-Graw-Hill Companies, New York, 2013.

NUVOLARI, A et al. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 1º jan. 2011.

REIS, K, M. **Dimensionamento de Espessadores**. Dissertação (Especialização em Beneficiamento Mineral) Programa de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

THEODORO, J.D. **Estudo Dos Mecanismos de Coagulação/Floculação Para a Obtenção de Água de Abastecimento Para o Consumo Humano**. 2012. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

Tipos de tratamento. **SABESP**, [s.d.]. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=61>. Acesso em: 21 jul. 2021.

TITOW, W. P. **PVC technology**. 4. ed. London: Elsevier Applied Science Publisers, 1984.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 10 ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. 934 p.

Tratamento de esgotos. **iStock**: by Getty Images, [s.d.]. Disponível em: <https://www.istockphoto.com/pt/search/2/image?mediatype=&phrase=tratamento%20de%20esgotos>. Acesso em: 21 jul. 2021.

TRF5 mantém condenação da Casal, governo e prefeitura por esgoto no mar em Maceió. **Diário do poder**, 2020. Disponível em: <https://diariodopoder.com.br/brasil-e-regioes/alagoas/trf5-mantem-condenacao-da-casal-governo-e-prefeitura-por-esgoto-no-mar-de-maceio>. Acesso em: 21 jul. 2021.

Saneamento básico. **iStock**: by Getty Images, [s.d.]. Disponível em: https://www.istockphoto.com/pt/search/2/image?mediatype=&phrase=saneamento%20b%C3%A1sico&utm_source=pixabay&utm_medium=affiliate&utm_campaign=ADP_image_sponsored&referrer_url=http:%2F%2Fpixabay.com%2Fpt%2Fimages%2Fsearch%2Fsaneamento%2520b%25C3%25A1sico%2F&utm_term=saneamento%2520b%25C3%25A1sico. Acesso em: 21 jul. 2021.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2020.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.