



UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR
CENTRO DE ENGENHARIAS E ARQUITETURA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

JÉSSICA SOUSA DOS SANTOS

**METODOLOGIA PARA PROJETO DE UNIDADE DE
TRATAMENTO DE EFLUENTE COM ESTUDO DE CASO**

Salvador

2019

JÉSSICA SOUSA DOS SANTOS

**METODOLOGIA PARA PROJETO DE UNIDADE DE
TRATAMENTO DE EFLUENTE COM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Bacharelado em Engenharia Química como requisito para obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: MSc. Wagner Almeida Mônaco
Conceição.

Salvador

2019

JÉSSICA SOUSA DOS SANTOS

**METODOLOGIA PARA PROJETO DE UNIDADE DE
TRATAMENTO DE EFLUENTE COM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada como requisito para obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Química, Centro de Engenharias e Arquitetura, Universidade Católica do Salvador.

Salvador, 13 de Dezembro de 2019.

Banca examinadora

Prof. MSc. Wagner Almeida Mônico Conceição

Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia.
Universidade Católica do Salvador

Prof. Dr. Sérgio Bello Neves

Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de
Campinas.

Universidade Católica do Salvador

Júlio César Hayashi

MBA em Gestão de Projetos pela Universidade Salvador.
Engenheiro Químico – Elekeiroz S.A.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, que me deu saúde e forças para superar todos os momentos difíceis a que eu me deparei ao longo da minha graduação, ao meu pai José, e minha mãe Jucilene, por serem essenciais na minha vida e a toda minha família de sangue e de coração e aos meus loucos e mais sinceros amigos por me incentivarem a ser uma pessoa melhor (vocês tentam, eu reconheço) e sempre me apoiaram nos meus sonhos.

Agradeço também a todos os amigos e colegas da faculdade, que permitiram que essa caminhada fosse mais alegre, divertida e louca.

É chegado ao fim um ciclo de muitas risadas, choro, felicidade e frustrações. Sendo assim, dedico este trabalho a todos que fizeram parte desta etapa da minha vida. Agradeço a Deus por ter iluminado o meu caminho, aos meus pais por terem propiciado a realização deste sonho, ao meu orientador e aos meus professores por todo o ensinamento e toda paciência que tiveram comigo e a todos os meus amigos que me apoiaram nos momentos mais difíceis.

Sou eternamente grata a todos vocês.

SANTOS, Jéssica Sousa. Metodologia para projeto de unidade de tratamento de efluente com estudo de caso. 2019. Orientador: MSc. Wagner Almeida Mônaco Conceição. 50 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Química) – Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2019.

RESUMO

A água está entre os recursos naturais mais utilizados pela população e pelas indústrias. Estudos e análises comparativas de consumo, disponibilidade e impacto ambiental vêm demonstrando que em várias partes do mundo, torna-se impossível o consumo de água sem que esta seja submetida a tratamentos adequados e que várias emanações são poluídas devido ao descarte negligente da água após seu uso. Cada vez mais são resguardados investimentos financeiros e tecnológicos para conseguir uma segurança sanitária adequada e preservação do meio ambiente. A indústria em geral, caracteriza-se como um dos maiores consumidores da água e conseqüentemente, acabam sendo os que mais geram efluentes líquidos em seu processo produtivo. Partindo dessa premissa torna-se necessário a elaboração e estudo de projetos e tecnologias eficientes que possam garantir a qualidade desse efluente gerado, para assegurar a qualidade do corpo d'água receptor quando esse efluente for descartado e para que cumpram as exigências de lançamento dos padrões exigidos pela Legislação Ambiental. Esse trabalho teve como objetivo analisar um efluente gerado por uma determinada empresa, fazer a caracterização desse efluente para verificar o parâmetro esta de acordo com as exigências ambientais disponíveis no estado da Bahia e partindo dessa análise, estudar o tipo de tecnologia que deverá ser empregada a esse efluente a fim de diminuir o parâmetro presente nesse efluente para que se adeque aos padrões exigentes para lança-lo ao corpo receptor sem causar prejuízos ambientais e a saúde pública.

Palavras-chave: Efluente líquido, Legislação ambiental, Saúde pública, Indústrias, Parâmetro de lançamento, Qualidade de água.

SANTOS, Jéssica Sousa. Methodology for effluent treatment unit design with case study. 2019. Supervisor: MSc. Wagner Almeida Mônaco Conceição. 50 f. Monograph (Course completion work in Chemical Engineering) - Institute of Exact and Technological Sciences, Catholic University of Salvador, Salvador, 2019.

ABSTRACT

Water is among the natural resources most used by the population and industries. Studies and comparative analyses of consumption, availability and environmental impact have shown that in many parts of the world, it is impossible to consume water without it being subjected to appropriate treatments and that various emissions are polluted due to the negligent disposal of water after its use. More and more financial and technological investments are being safeguarded in order to achieve an adequate sanitary security and preservation of the environment. The industry in general, is characterized as one of the largest consumers of water and consequently, end up being the ones that generate more liquid effluents in their production process. Based on this premise, it is necessary to elaborate and study efficient projects and technologies that can guarantee the quality of this generated effluent, to ensure the quality of the receiving water body when this effluent is discarded and so that it complies with the standards required by Environmental Legislation. The objective of this work was to analyze an effluent generated by a given company, to characterize this effluent in order to verify its parameter in accordance with the environmental requirements available in the state of Bahia and, based on this analysis, to study the type of technology that should be used for this effluent in order to reduce the parameter present in this effluent so that it complies with the demanding standards to release it to the receiving body without causing environmental damage and public health.

Keywords: Liquid effluent, Environmental legislation, Public health, Industries, Release parameter, Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma simplificado de uma unidade de tratamento de efluentes.	12
Figura 2 - Especificação da qualidade de água para uso em diferentes indústrias...	14
Figura 3 - Esquema da metodologia aplicada ao trabalho.....	18
Figura 4 - Estados do Nordeste que possuem legislações sobre padrão de tratamento de efluente.	19
Figura 5 - Fluxograma para verificação do parâmetro para tratamento do efluente analisado.	26
Figura 6 - Etapas de produção do Oxo-Álcoois.	27
Figura 7 - Diagrama de blocos para produção do Oxo-Álcoois.	28
Figura 8 - Reação geral de hidroformilação.	28
Figura 9 - Reação aldólica.	30
Figura 10 - Reação de condensação aldólica do n- butiraldeído com hidróxido de sódio.	30
Figura 11 - Hidrogenação de grupos insaturados.....	31
Figura 12 - Geração de efluente da empresa.	33
Figura 13 - Diagrama dos processos de tratamento para o efluente estudado.....	36
Figura 14 - Esquemática do separador água/óleo.	37
Figura 15 - Equipamento SAO.	38
Figura 16 - Esquema básico de um decantador.	40
Figura 17 - Decantador de seção retangular.	41
Figura 18 - Decantador de seção circular.....	42
Figura 19 - Esquema do reator anaeróbio do tipo UASB.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais propriedades físicas, químicas e biológicas do efluente e suas características.....	13
Tabela 2 - Padrões e especificações para lançamento de efluentes “contínua”.	16
Tabela 3 - Padrões de especificação de águas industriais.....	17
Tabela 4 - Condições e padrões de lançamento de efluentes.....	20
Tabela 5 - Padrões de lançamento de efluentes no sistema orgânico e no sistema de águas não contaminadas “contínua”.	21
Tabela 6 - Processos unitários utilizados para remover constituintes de importância encontrados no efluente “contínua”.	24
Tabela 7 - Informações dos compostos n-butiraldeído e isobutiraldeído.	29
Tabela 8 - Informações dos produtos.....	32
Tabela 9 - Métodos de análises de parâmetros físico-químicos contidos no Standard Methods.....	34
Tabela 10 - Resultados dos constituintes presentes no efluente gerado pelo processo produtivo.....	35
Tabela 11 - Comparação com os valores dos parâmetros obtidos com os valores contidos na legislação.....	35
Tabela 12 - Dados para os dimensionais para separador API.....	39
Tabela 13 - Dados obtidos a partir dos dados dimensionais do separador API.....	39
Tabela 14 - Concentração de óleos & graxas após o tratamento.	39
Tabela 15 - Método de escolha para o tipo de decantador segundo Metcalf e Eddy (2016).	42
Tabela 16 - Dados para o dimensionamento do decantador de seção retangular. ...	43
Tabela 17 - Dados encontrados a partir dos dados dimensionais do decantador de seção retangular.	43
Tabela 18 - Concentração de SS e MS após o tratamento.	43
Tabela 19 - Concentração de DQO após o tratamento.	44

Tabela 20 - Dados dimensionais para o reator anaeróbio do tipo UASB.	46
Tabela 21 - Dados obtidos pelo dimensionamento do reator anaeróbio do tipo UASB.	46
Tabela 22 - Concentração de DQO após o tratamento.	47
Tabela 23 - Concentração de MS e SS após o tratamento.	47
Tabela 24 - Valor final de remoção para as tecnologias empregadas para o tratamento do efluente estudado.....	47
Tabela 25 - Comparação entre os resultados antes e após o tratamento com os valores contidos pela resolução do CEPRAM.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT/NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	<i>American Petroleum Institute</i>
CEPRAM	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CETREL	Central de Tratamento de Efluentes Líquidos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRA	Centro de Recursos Ambientais
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
MS	Materiais Sedimentáveis
SAO	Separador Água/Óleo
SS	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos sedimentáveis totais
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

2EH	2-etil hexanol
CO	Monóxido de carbono
EPA	Etil propril acroleína
H ₂	Hidrogênio
IBA	Iso-butanol
IBD	Iso-butiraldeído
NaOH	Hidróxido de sódio
NBA	n-butanol
NBD	n-butiraldeído

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	EFLUENTES LÍQUIDOS	12
3.2	QUALIDADE DA ÁGUA.....	14
3.3	PADRÕES DE LANÇAMENTO	15
4	DESENVOLVIMENTO	18
4.1	METODOLOGIA	18
4.2	ESTUDO DE CASO	27
4.2.1	Descrição geral do processo produtivo realizado pela empresa.....	27
4.2.1.1	<i>Processo de hidroformilação</i>	28
4.2.1.2	<i>Condensação aldólica</i>	30
4.2.1.3	<i>Hidrogenação</i>	30
4.2.2	Caracterização do efluente gerado pela empresa	33
4.2.3	Processos e tecnologias para o tratamento do efluente estudado	36
4.2.3.1	<i>Tratamento preliminar ou pré-tratamento</i>	37
4.2.3.2	<i>Tratamento físico</i>	40
4.2.3.3	<i>Tratamento biológico</i>	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
	ANEXO A – Memorial de Cálculo do SAO	56
	ANEXO B – Memorial de cálculo do decantador	65
	ANEXO C – Memorial de cálculo do reator anaeróbio	70

1 INTRODUÇÃO

Efluente industrial é todo despejo de líquido gerado nas diversas etapas de um processo produtivo de uma unidade industrial, isto é, toda a água utilizada em uma indústria e, posteriormente, descartada.

Segundo Crespilho, 2004 os tratamentos de efluentes industriais estão diretamente ligados à preservação ambiental, sendo que estes envolvem a remoção de impurezas geradas na fabricação do produto de interesse de cada indústria.

Os efluentes gerados provenientes da atividade humana e/ou industrial precisam ser adequadamente analisados e tratados para que possam diminuir a quantidade de poluentes deste efluente antes de ser lançadas a natureza e minimizar seus efeitos ao ambiente e a população. Todos os efluentes que retornam a natureza precisam está enquadrado com os parâmetros estabelecidos pelo CONAMA que traz consigo padrões para o seu lançamento.

Os processos de tratamento de efluentes antes de serem adotados devem levar em consideração os seguintes fatores: os custos de investimento; a qualidade e a quantidade de resíduo gerado na estação de tratamento de efluente; a qualidade do efluente tratado; a geração de odor; a segurança operacional; a confiabilidade para o atendimento à legislação ambiental, e também a possibilidade de reuso dos efluentes tratados (GIORDANO, 1999).

Existem varias estações de tratamentos de efluentes (ETE) no Brasil, onde essas estações são compostas por algumas etapas de tratamento: tratamento preliminar onde o efluente passa por dois processos, o gradeamento onde são retirados os sólidos grosseiros (de maior dimensão) e a desarenação onde se tem a remoção da areia por sedimentação; tratamento primário constituído por processos físico-químicos onde nesta etapa tem-se a adição de produtos químicos, floculação onde as partículas poluentes são agrupadas para serem removidas e a decantação primaria que é a separação entre o lodo (sólido) e o líquido (efluente bruto); tratamento secundário onde se tem a remoção da matéria orgânica por processos anaeróbicos ou aeróbicos posteriormente, eles passam por tanques de aeração e os decantadores, que são responsáveis por separar os sólidos em suspensão e o tratamento terciário que é feito a remoção de substâncias específicas não removidas

nos processos anteriores como metais, nutrientes (nitrogênio e fósforo), ou para desinfecção permitindo então a saída do efluente para o corpo receptor.

Depois de tratado, o efluente precisa passar por uma análise de parâmetros, para saber se ele está dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA. Os principais parâmetros relacionados à qualidade da água são: cor, turbidez, DBO, DQO, pH e óleos & graxas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma metodologia para concepção de um projeto conceitual de uma estação de tratamento de efluentes com estudo de caso.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar os tipos de tratamento aplicados aos efluentes industriais;
- Definir os principais parâmetros e confrontar com as legislações em vigor;
- Conceber uma metodologia para desenvolver um projeto conceitual e aplicá-la a um estudo de caso;
- Fazer uma comparação da caracterização do efluente estudado com os padrões de lançamento existentes na legislação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

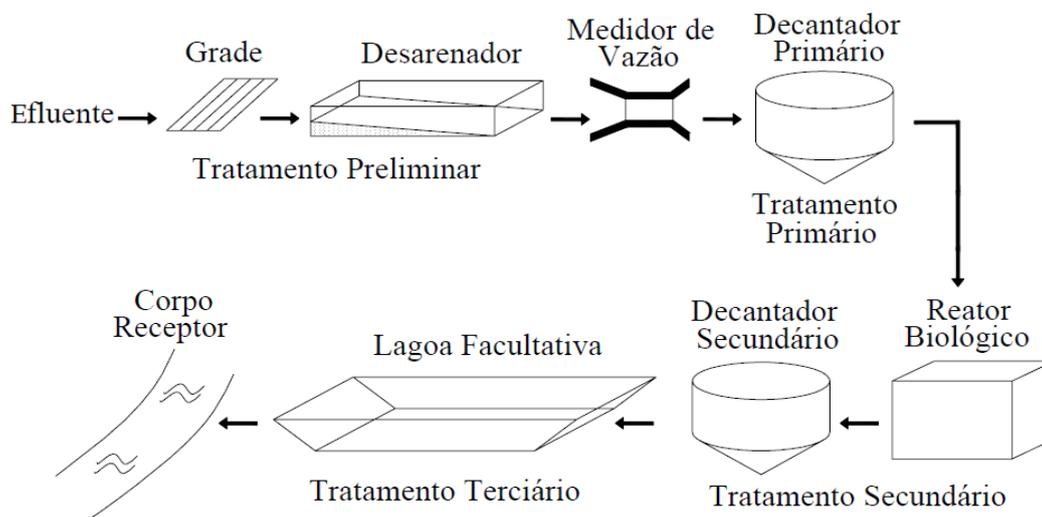
3.1 EFLUENTES LÍQUIDOS

De acordo com a ABNT/NBR – 9800/1987, efluentes líquidos industriais é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanações de processo industrial, água de refrigeração poluída, águas pluviais poluídas e esgotos domésticos.

Por um período, não existia a preocupação de se caracterizar os efluentes industriais e de avaliar seus impactos na natureza. Com a conscientização ambiental e a saúde da população, foram criadas legislações e regulamentações fazendo com que as indústrias desenvolvam atividades para quantificar a vazão e composição do seu efluente gerado.

Segundo Ferreira (2006), As ETEs têm como principal objetivo diminuir as quantidades de poluentes do efluente antes de despejá-lo na natureza e o objetivo do tratamento de efluentes em escala industrial é eliminar substâncias orgânicas e inorgânicas geradas durante o processo para a proteção da integridade dos equipamentos, qualidade dos produtos e enquadramento do efluente final aos padrões legais de lançamento nos corpos d'água. Existem várias opções de tratamento de efluentes, que devem ser analisadas segundo seus critérios de viabilidade técnica e econômica, além das adequações da topografia ambiental da região. A Figura 1 indica os estágios de uma ETE contendo a unidade de tratamento primário, secundário, terciário e o retorno ao corpo receptor.

Figura 1 - Fluxograma simplificado de uma unidade de tratamento de efluentes.



Fonte: Oliveira (2004).

Para a identificação dos constituintes dos efluentes líquidos, é necessário conhecer o processo industrial e as matérias primas, já que a água é utilizada em várias etapas do processo.

Os constituintes do efluente líquido podem ser caracterizados em termos de propriedades físicas, químicas e biológicas. Os principais constituintes do efluente e suas características estão representados abaixo na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais propriedades físicas, químicas e biológicas do efluente e suas características.

PROPRIEDADES	CARACTERÍSTICA	DESCRIÇÃO
FÍSICA	Cor	Indica presença de substâncias dissolvidas na água.
	Temperatura	Parâmetro importante, pois, influência em algumas propriedades de água.
	Turbidez	Causado por grande variedade de sólidos em suspensão.
	Alcalinidade	Causado por sais alcalinos.
QUÍMICA	Cloretos	Causado por sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio.
	Dureza	Resulta da presença, principalmente de sais alcalinos terrosos ou outros metais presentes na água.
	pH	Indicador de características ácidas ou básicas da água.
BIOLÓGICA	Coliformes	Indicadores de presença de microrganismos patogênicos na água.

Fonte: Elaboração Própria (2019).

O conhecimento das composições do efluente líquido industrial possibilita a determinação das cargas de poluição e contaminação, o que é importante para definir o tipo de tratamento e fazer sua avaliação na legislação ambiental.

Na indústria, a partir do momento que a água foi utilizada no processo possivelmente foi contaminada com substâncias agressiva ou adquiriu elementos que possivelmente tornou a água corrosiva ou incrustante então é necessário que essa água passe por algum tipo de tratamento para atender os requisitos legais e evitar danos possíveis ao corpo d'água onde será lançada.

3.2 QUALIDADE DA ÁGUA

O setor industrial exige uma grande demanda de água e conseqüentemente, é a que mais gera resíduos líquidos que caso não seja tratado corretamente, pode causar poluição ao meio ambiente e gerar problemas a saúde pública. É importante avaliar o padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos que juntamente com o padrão de qualidade dos corpos receptores visa proteger a qualidade dos corpos hídricos receptores desses efluentes.

A qualidade da água é um conjunto de características físicas, químicas e biológicas que ela deve apresentar de acordo com a sua utilização. Os padrões de classificação mais usados pretendem classificar a água de acordo com a sua potabilidade, a segurança que apresenta para o ser humano e para o bem estar do meio ambiente.

Existe uma especificação de qualidade de água para algumas empresas que possuem processos e produtos diferentes. Essas especificações podem variar de acordo com o processo e o grau de água requerido para determinado uso, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Especificação da qualidade de água para uso em diferentes indústrias.

Indústria e Processo	Parâmetros (mg/L, exceto quando especificado o valor)														
	Cor (UH)	Alcali- nidade (CaCO ₃)	Cloreto	Dureza (CaCO ₃)	Ferro	Manga- nês	Nitrato	pH (unida- des)	Sulfato	SDT	Sólidos Suspen- sos	Silica	Cálcio	Magne- sio	Bicar- bonato
Textil															
Engomagem	5			25	0,3	0,05		6,5 - 10,0		100	5,0				
Lavagem	5			25	0,1	0,01		3,0 - 10,5		100	5,0				
Branqueamento	5			25	0,1	0,01		2,0 - 10,5		100	5,0				
Tingimento	5			25	0,1	0,01		3,5 - 10,0		100	5,0				
Papel e Celulose															
Processo Mecânico	30		1000		0,3	0,1		6 - 10							
Processo Químico															
Não Branqueado	30		200	100	1,0	0,5		6 - 10			10	50	20	12	
Branqueado	10		200	100	0,1	0,05		6 - 10			10	50	20	12	
Produtos Químicos															
Cloro e Alcali	10	80		140	0,1	0,1		6,0 - 8,5			10		40	8	100
Carvão de alcatrão	5	50	30	180	0,1	0,1		6,5 - 8,3	200	400	5		50	14	60
Compostos orgânicos	5	125	25	170	0,1	0,1		6,5 - 8,7	75	250	5		50	12	128
Compostos inorgânicos	5	70	30	250	0,1	0,1		6,5 - 7,5	90	425	5		60	25	210
Plásticos e resinas	2	1,0	0	0	0,005	0,005	0	7,5 - 8,5	0	1,0	2,0	0,02	0	0	0,1
Borracha sintética	2	2	0	0	0,005	0,005	0	7,5 - 8,5	0	2,0	2,0	0,05	0	0	0,5
Produtos Farmacêuticos	2	2	0	0	0,005	0,005	0	7,5 - 8,5	0	2,0	2,0	0,02	0	0	0,5
Sabão e detergentes	5	50	40	130	0,1	0,1			150	300	10,0		30	12	60
Tintas	5	100	30	150	0,1	0,1		6,5	125	270	10		37	15	125
Madeira e resinas	200	200	500	900	0,3	0,2	5	6,5 - 8,0	100	1000	30	50	100	50	250
Fertilizantes	10	175	50	250	0,2	0,2	5	6,5 - 8,5	150	300	10	25	40	20	210
Explosivos	8	100	30	150	0,1	0,1	2	6,8	150	200	5	20	20	10	120
Petróleo			300	350	1,0			6,0 - 9,0		1000	10		75	30	
Ferro e Aço															
Laminação a quente								5 - 9							
Laminação a frio								5 - 9			10				
Diversas															
Frutas e vegetais enlatados	5	250	250	250	0,2	0,2	10	6,5 - 8,5	250	500	10	50	100		
Refrigerantes	10	85			0,3	0,05									
Curtimento de couro	5		250	150	50			6,0 - 8,0				60			
Cimento		400	250		25	0,5	0	6,5 - 8,5	250	600	500	35			

UH - Unidade Hazen (mq Pt - Co/l)

Fonte: Nemerow e Dasgupta (1991).

3.3 PADRÕES DE LANÇAMENTO

De acordo com o tipo de contaminação existente no efluente, haverá um padrão de tratamento a ser seguido que é definido conforme a legislação existente. A resolução do CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 dispõe sobre condições e padrões de lançamentos de efluentes e a classificação dos corpos e diretrizes de água de acordo com suas utilizações e respectivos padrões de qualidade, regulamentando procedimentos para o lançamento do efluente e as concentrações máximas de qualquer fonte poluidora na qual somente poderão ser lançados direta ou indiretamente nos corpos de água após o devido tratamento e desde que obedeçam as condições, padrões e exigências disposto na resolução.

Já pela resolução do CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos no corpo da referida Resolução. Neste contexto, a Resolução impõe que efluentes não poderão atribuir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo do seu enquadramento. No entanto, o órgão ambiental responsável pelo licenciamento ambiental poderá autorizar o lançamento de efluentes em desacordo com as condições e padrões estabelecidos na Resolução. Esta excepcionalidade poderá se estabelecer desde que observados os seguintes requisitos (BRASIL, 2011):

- Comprovação de relevante interesse público, devidamente motivado;
- Atendimento ao enquadramento do corpo receptor e às metas intermediárias e finais, progressivas e obrigatórias;
- Realização de estudo ambiental tecnicamente adequado, a expensas do empreendedor responsável pelo lançamento;
- Estabelecimento de tratamento e exigências para este lançamento;
- Fixação de prazo máximo para o lançamento, prorrogável a critério do órgão ambiental competente, enquanto durar a situação que justificou a excepcionalidade aos limites estabelecidos nesta norma;
- Estabelecimento de medidas que visem neutralizar os eventuais efeitos do lançamento excepcional.

As Tabelas 2 e 3 apresentam diversos padrões de especificação para lançamento de efluentes e águas industriais.

Tabela 2 - Padrões e especificações para lançamento de efluentes “*continua*”.

PADRÕES	
PARÂMETROS INORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo total	0,5 mg/L Cr
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
PARÂMETROS ORGÂNICOS	VALOR MÁXIMO
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L

Tabela 2 – Padrões e especificações para lançamento de efluentes “continuação”.

Tetracloroeto de Carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L

Fonte: CONAMA (2011).

Tabela 3 - Padrões de especificação de águas industriais.

PARÂMETROS	UNIDADES	ÁGUA	
		Industrial	Doméstico
Alumínio	mg/L	0,5	Não especificado
Cloretos	mg/L	60	0,006
Cloro livre	mg/L	0,3 a 1,0	Não especificado
Cobre	µg/L	50	5
Condutividade	µS/cm	500	0,3
Cor aparente	uH	10	Não especificado
DQO	mg/L	2	Não especificado
Dureza cálcio	mg/L CaCO ₃	80	Isento
Ferro total	µg/L	300	20
Óleos e graxas	mg/L	1	Isento
pH	-	8,0 a 10,0	6,5 a 7,5
Sílica	mg/L	30	0,02
Sólidos suspensos	mg/L	5	Não especificado
Sulfato	mg/L	60	0,006
Turbidez	uT	5	Não especificado

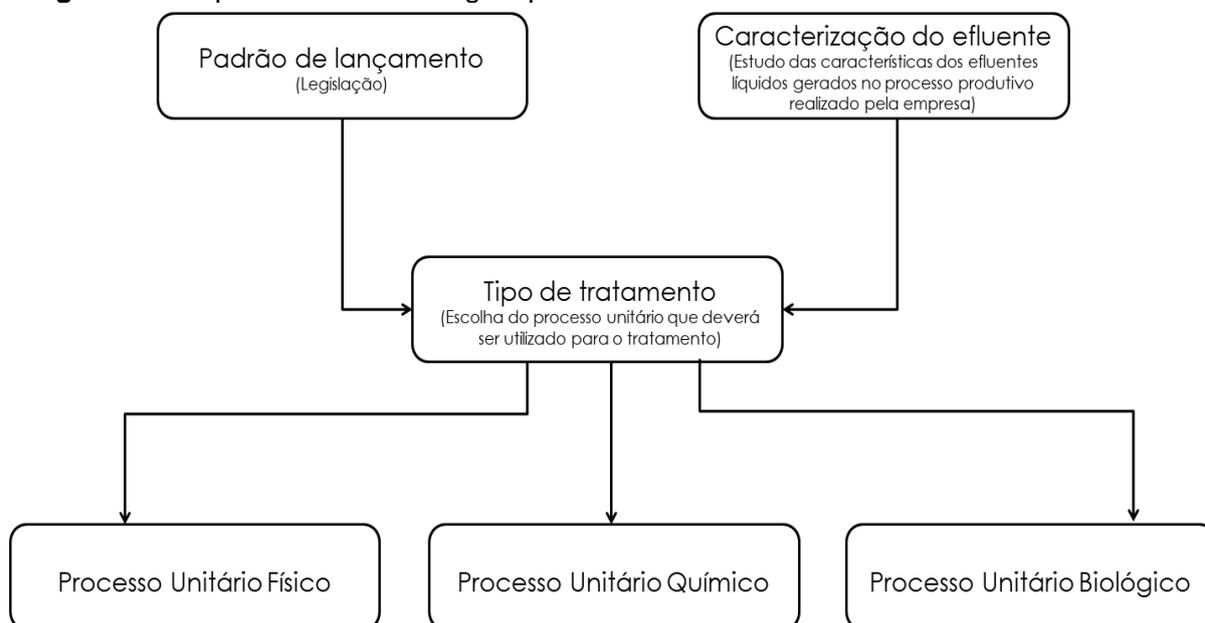
Fonte: Mustafa (1998).

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho, foi realizada uma esquematização com o que precisa ser estudado e aplicado para sua realização, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Esquema da metodologia aplicada ao trabalho.



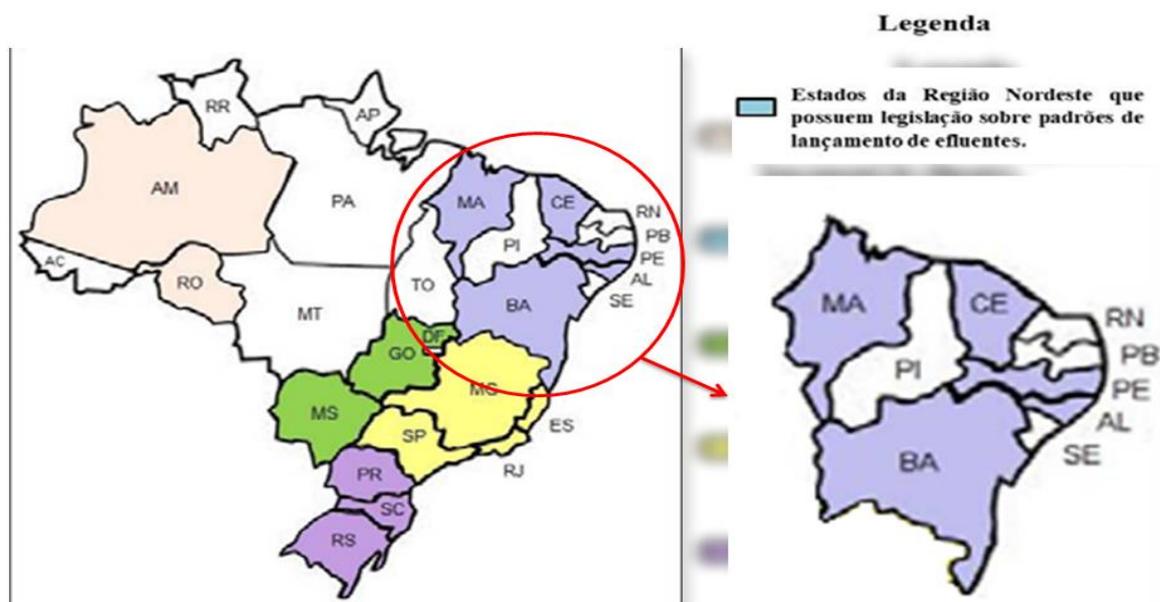
Fonte: Elaboração Própria (2019).

A primeira etapa consiste no estudo sobre os padrões de lançamentos de efluentes no estado da Bahia, pois, existem órgãos ambientais estaduais e municipais que possuem legislações próprias sobre esse assunto, tendo como base os padrões estabelecidos pela legislação federal e, eventualmente, firmando padrões mais restritivos.

Os padrões de lançamento estão relacionados ao processo de licenciamento ambiental e de fiscalização de empreendimentos, principalmente de indústrias já que são em grande parte, fontes geradoras dos efluentes líquidos. Comumente são determinados pelas características e singularidades dos estados, principalmente devido aos fatores ambientais, como a qualidade dos mananciais, a vazão e a tipologia dos rios, a disponibilidade de água e de áreas, condições climáticas, e aos fatores econômicos, os quais podem influenciar no acesso às tecnologias de tratamento de efluentes.

A Figura 4 mostra alguns estados do nordeste possuem legislações sobre padrões de lançamento de efluentes.

Figura 4 - Estados do Nordeste que possuem legislações sobre padrão de tratamento de efluente.



Fonte: Adaptado de Santos e Morais (2019).

Na Bahia, o órgão que dispõe sobre gerenciamento dos efluentes líquidos é o CEPRAM (Conselho Estadual do Meio Ambiente).

Segundo Christine (2016), cada um dos parâmetros analisados para caracterização dos efluentes possui uma importância específica, uma vez que estes podem alterar as propriedades do corpo d'água receptor, como o exemplo:

- Temperatura: exerce um papel importante no meio aquático, esta influência na viscosidade, tensão superficial, solubilidade de gases, dentre outras características da água. Desse modo, seu aumento por fontes antropogênicas pode causar danos à vida aquática.
- pH: influência o grau de solubilidade de diversas substâncias e na distribuição das formas livres e ionizadas em água. Valores de pH afastado da neutralidade, podem afetar consideravelmente as características do ambiente aquático e consequentemente a vida dos seres existentes ali.
- Turbidez: Seu aumento pode reduzir a penetração da luz solar na água, afetando a fotossíntese de algas e plantas aquáticas submersas, estimulando o processo de eutrofização. Assim como, a presença de sólidos sedimentáveis ou em suspensão, nos quais poderão sofrer sedimentação, podem acarretar

na formação de bancos de lodo que prejudicam a biodiversidade aquática em consequência de fenômenos de decomposição anaeróbica.

- DBO e DQO: indicam o grau de poluição orgânica biodegradável e total na água, de grande importância, uma vez que a presença de matéria orgânica promove o alto consumo de oxigênio, o que pode resultar na liberação de odor e inviabilizar a existência de peixes e outros seres aquáticos no corpo d'água.

Segundo a resolução do CONAMA de nº 430 de 13 de maio de 2011 alguns dos parâmetros da análise físico química de efluentes são esses: pH, temperatura, materiais sedimentáveis, óleos & graxas, materiais flutuantes, DBO, e entre outros compostos orgânicos e inorgânicos.

Tabela 4 - Condições e padrões de lançamento de efluentes.

PARÂMETRO	LIMITES
pH	5 a 9
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.
Materiais sedimentáveis	Até 1mL/L em teste de 1 hora em cone <i>Inmhoff</i> .
Óleos & graxas	Óleos minerais até 20 mg/L; Óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L.
Materiais flutuantes	Ausência.
DBO	Remoção mínima de 60%.
Vazão máxima	Até 1,5 a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2012).

A resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente do estado da Bahia – CEPRAM trata as condições e padrões de lançamento de efluentes líquidos indústrias no Polo Industrial de Camaçari que, juntamente com o CRA e a CETREL as empresas fazem um relatório de auto-monitoramento dos efluentes líquidos, orgânicos e inorgânicos. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam às condições e padrões estabelecidos como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Padrões de lançamento de efluentes no sistema orgânico e no sistema de águas não contaminadas “*continua*”.

PARÂMETRO	SISTEMA ORGÂNICO (SO) (mg/L)	SISTEMA DE ÁGUAS NÃO CONTAMINADAS (SN) (mg/L)
GRUPO I		
Temperatura (°C)	55	55
pH	6-9	6-9
DQO	-	115
DBO	-	46
Óleos & graxas	75	50
MS	300	50
SS (mg/l)	1	1
GRUPO II		
Substâncias radioativas	Não admissível	Não admissível
Substâncias aderentes	Não admissível	Não admissível
Outras substâncias tóxicas	-	Não admissível
Substâncias inflamáveis	Não admissível	Não admissível
Cloro ativo	Não admissível	Não admissível
GRUPO III		
Sais dissolvidos	20.000	40.000
Cianetos	2	2
Cloretos (Cat. “A”)	20.000	20.000
Cloretos (Cat. “B”)	10.000	20.000
Sulfatos (Cat. “A”)	5.000	5.000
Sulfatos (Cat. “B”)	500	5.000
Sulfetos	10	1
Fosfatos	15	15
Fluoretos	20	4
Nitrogênio amoniacal (Cat. “B”)	50	5

Tabela 5 – Padrões de lançamento de efluentes no sistema orgânico e no sistema de águas não contaminadas “*continuação*”.

GRUPO IV		
Cádmio	0,5	0,2
Chumbo	1	0,3
Cromo total	3	0,5
Cromo hexavalente	0,5	-
Mercúrio (Cat. “A”)	0,002	0,002
Mercúrio (Cat. “B”)	0,002	0,002
Zinco	3	4
Metais pesados (somatório)	5	5
GRUPO V		
Arsênio	1	0,5
Cobalto	1	1
Cobre	1	0,5
Estanho	4	4
Ferro	30	-
Níquel	1	0,5
Prata	0,01	0,1
Selênio	1	0,05
Vanádio	1	1
GRUPO IV		
Fenóis	10	0,5
Detergentes	10	1

*Cat. “A” (categoria A) – para efluentes de plantas que processam as substâncias limitadas (ou derivadas) com real dificuldade tecnológica para reduzir emissões.

Cat. “B” (categoria B) – empresas cujos processos não incorporam substâncias similares como matéria-prima importante.

FONTE: CEPRAM, 2001.

A segunda etapa consiste no estudo sobre os efluentes gerados pelo processo produtivo realizado pela empresa e suas características, pois, para tratar os efluentes, é necessário haver um estudo acerca das suas características, baseado na descrição dos materiais empregados nas etapas do processo produtivo que seja realizado pela empresa.

A terceira etapa consiste numa seleção dos processos de tratamento e de tecnologias que será empregada para o tratamento do efluente estudado. O principal objetivo do tratamento de efluentes geralmente é fazer com que os resíduos humanos e/ou industriais sejam eliminados, sem oferecer perigo à saúde da população ou danos ambientais. Cada vez mais, indústrias procuram novas tecnologias para o tratamento desses efluentes para purificar seus resíduos antes de descartá-los, cumprindo assim, com as exigências pelos órgãos ambientais competentes.

São diversas as tecnologias para tratamento de efluentes e a melhor opção para a escolha dessa tecnologia será aquela que melhor compatibilizar-se com os condicionantes e critérios do contexto sócio-ambiental, técnico e econômico de aplicação. Conforme recomenda a ABNT NBR 12.209/2011 (Projeto de estações de esgoto sanitário), a seleção de uma entre as diversas tecnologias disponíveis, deve ser realizada com base em uma análise multicritérios que leve em conta, em resumo, os seguintes aspectos:

- Intensidade da rotina operacional;
- Consumo energético;
- Geração de subprodutos;
- Custo operacional;
- Sensibilidade a problemas/falhas operacionais;
- Confiabilidade do processo em atender os objetivos de tratamento;
- Impacto sócio-ambiental.

De acordo com Projeto Municipio Verde (2012), um sistema de tratamento de efluentes é constituído por uma série de etapas e processos, os quais são empregados para a remoção de substâncias indesejáveis da água ou para sua transformação em outra forma que seja aceitável pela legislação ambiental, os principais processos de tratamento são reunidos em um grupo distinto conforme mostrado na Tabela 6.

Segundo Calvacanti (2009), a remoção de contaminantes presentes em efluentes industriais se dá através de métodos físicos, químicos e biológicos envolvendo processos e operações unitárias utilizadas isoladamente ou em uma multiplicidade de combinações. Assim, de acordo com Von (1995) e Metcalf e Eddy (2016), o tratamento de efluentes pode ser classificado em:

a) Processos físicos: são os processos em que há predominância dos fenômenos físicos de um sistema ou dispositivo de tratamento, caracterizando-se principalmente pela remoção de substâncias fisicamente separáveis dos efluentes, ou que não se encontram dissolvidos. Os principais processos físicos adotados são: gradeamento, peneiramento, decantadores, caixas de gordura, remoção da umidade do lodo, filtração, homogeneização;

b) Processos químicos: são os processos em que há utilização de produtos químicos. São utilizados quando os processos físicos e biológicos não atendem a demanda de poluentes que se deseja reduzir ou remover. Os principais processos químicos adotados são: floculação, coagulação, precipitação, cloração e neutralização de pH;

c) Processos biológicos: são os processos que dependem da ação de microrganismos presentes nos efluentes; os fenômenos inerentes à alimentação são predominantes na transformação dos componentes complexos em compostos simples, tais como: sais minerais, gás carbônico e outros. Os principais processos biológicos de tratamento são: oxidação biológica aeróbia, como lodos ativados, filtros biológicos, valos de oxidação e lagoas de estabilização; e anaeróbios como reatores anaeróbios de fluxo ascendente, e digestão de lodo (aeróbia, anaeróbia e fossas sépticas).

Tabela 6 - Processos unitários utilizados para remover constituintes de importância encontrados no efluente “*continua*”.

CONSTITUINTE	PROCESSO UNITÁRIO
SÓLIDOS SUSPENSOS	Gradeamento; Remoção de areia; Sedimentação clarificação e clarificação de alta taxa; Clarificação de alta taxa; Flotação; Filtração em leito profundo; Filtração superficial; Filtração por membrana.

Tabela 6 – Processos unitários utilizados para remover constituintes de importância encontrados no efluente “*continuação*”.

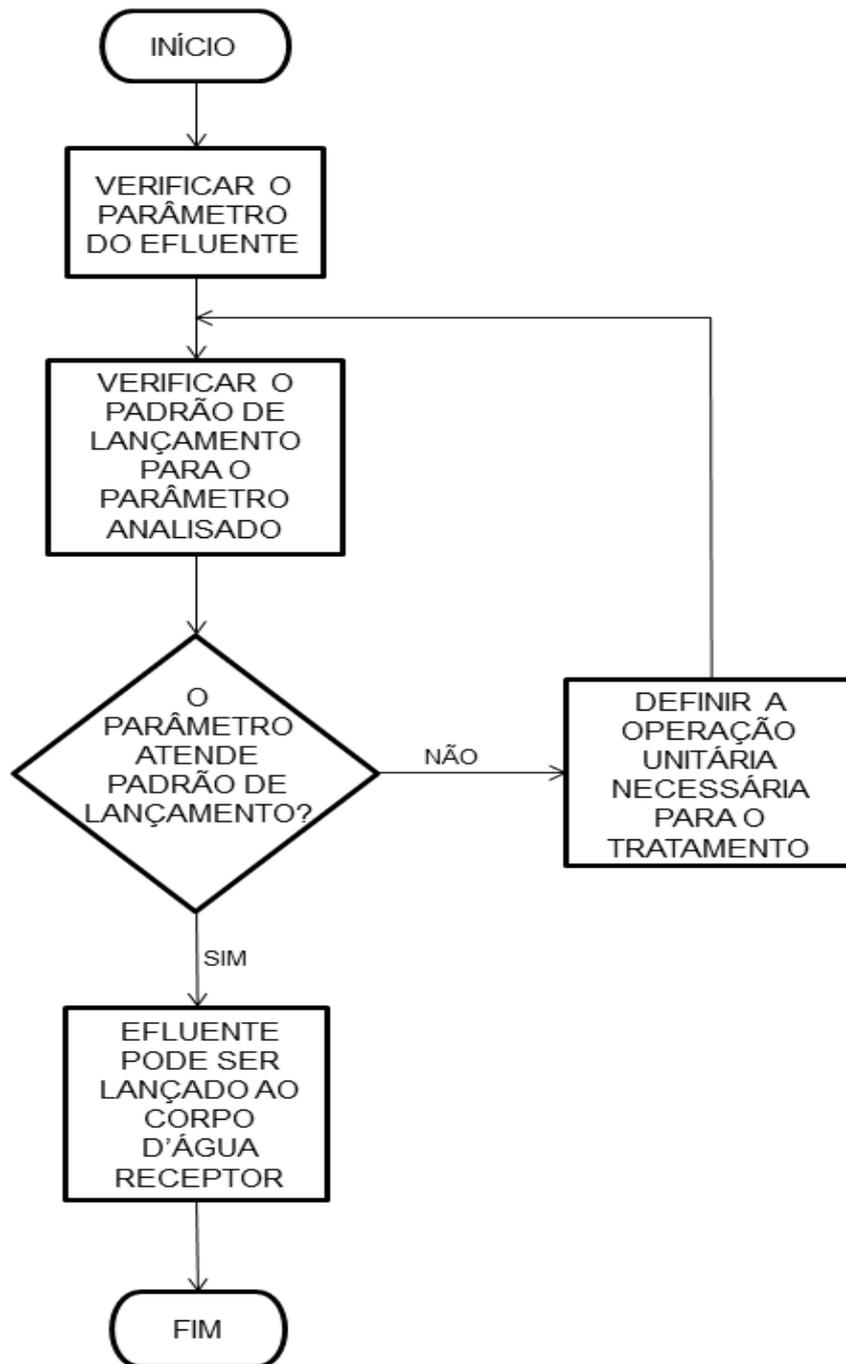
<p>ORGÂNICOS BIOGEDRADÁVEIS</p>	<p>Modalidade de crescimento aeróbico em suspensão; Modalidade de crescimento aeróbico fixo; Modalidade de crescimento anaeróbico em suspensão; Modalidade de crescimento anaeróbico aderida; Sistemas físico-químicos; Oxidação química; Oxidação avançada; Filtração por membranas.</p>
<p>NUTRIENTES</p>	<p>Oxidação química (clarificação ao ponto de quebra); Modalidades de nitrificação e desnitrificação com crescimento em suspensão; Modalidades de nitrificação e desnitrificação com filmes fixas; Extração com ar; Troca iônica.</p>
<p>NITROGÊNIO</p>	<p>Precipitação química; Remoção biológica de nutrientes.</p>
<p>FÓSFORO</p>	<p>Modalidade de remoção biológica de nutrientes. Compostos de cloros;</p>
<p>NITROGÊNIO E FÓSFORO</p>	<p>Ozônio; Radiação ultravioleta (UV); Tratamento térmico (pasteurização).</p>
<p>PATOGÊNICO</p>	<p>Membranas; Tratamento químico; Adsorção em carvão.</p>
<p>SÓLIDOS COLOIDAS E DISSOLVIDOS</p>	

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2016).

Por fim, será realizada uma avaliação, com os padrões de lançamentos contidos na legislação e os parâmetros do efluente para fazer a verificação se a necessidade de tratamento ou não antes de ser lançado ao corpo receptor, a partir

do estabelecimento das tecnologias selecionadas na terceira etapa, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma para verificação do parâmetro para tratamento do efluente analisado.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

4.2 ESTUDO DE CASO

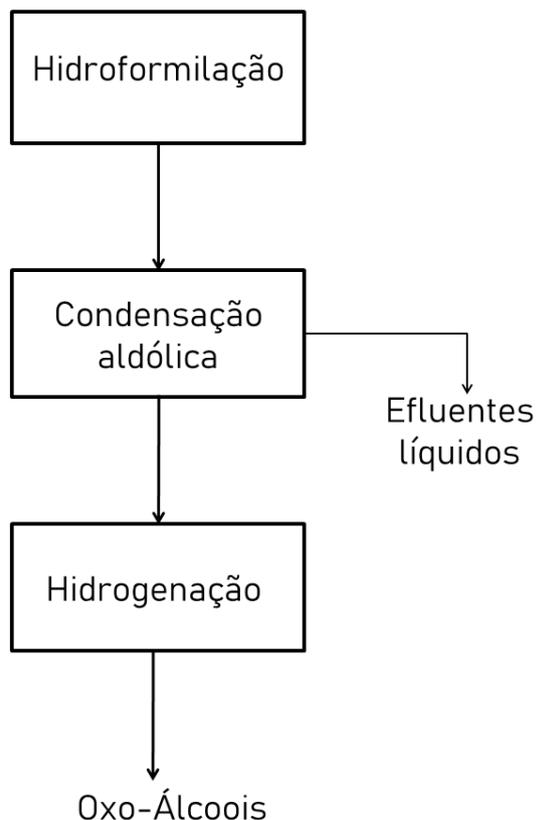
Para a realização desse trabalho, foi escolhida uma determinada empresa localizada no Polo industrial no município de Camaçari, Bahia.

A empresa realiza o processo a partir da hidroformilação de uma olefina com gás de síntese para produção de Oxo-Álcoois utilizados nos mercados de Tintas, *Coatings*, Construção Civil, Agroquímica, aditivos para Mineração, entre outros usos industriais.

4.2.1 Descrição geral do processo produtivo realizado pela empresa

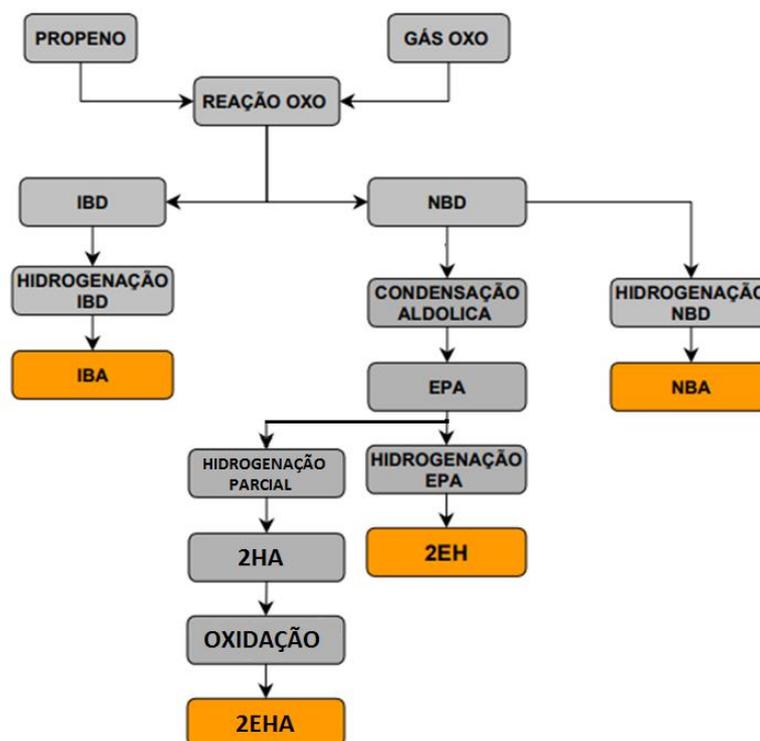
O processo de produção realizado pela empresa pode ser dividido em três etapas: a hidroformilação onde se tem a adição do H_2 e CO a olefina gerando aldeídos, condensação aldólica onde se tem a adição de $NaOH$ e a geração de efluentes líquidos; e a hidrogenação, para produção dos Oxo-Álcoois como descrito nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 - Etapas de produção do Oxo-Álcoois.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 7 - Diagrama de blocos para produção do Oxo-Álcoois.

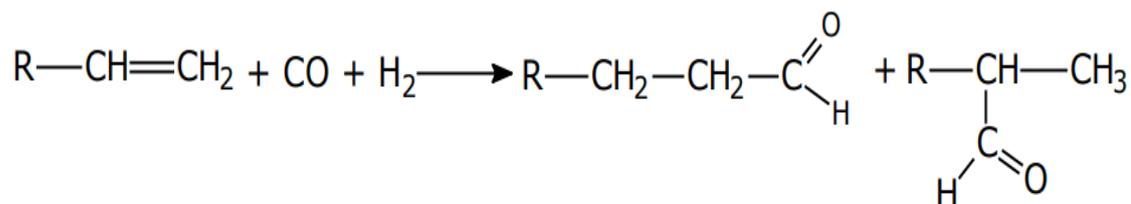


Fonte: Adaptado de Elekeiroz (2019).

4.2.1.1 Processo de hidroformilação

O processo Oxo ou processo de hidroformilação foi descoberta em 1938, por Otto Roelen onde a reação consiste na adição de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂) a olefina para formar aldeídos, na presença do catalisador. Os primeiros catalisadores eram baseados em complexos de cobalto, os quais mais tarde foram substituídos por complexos de ródio com trifenilfosfina.

Figura 8 - Reação geral de hidroformilação.



Fonte: Barcza (2016).

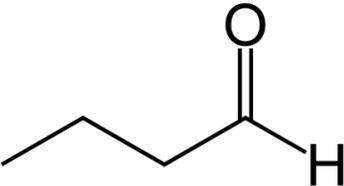
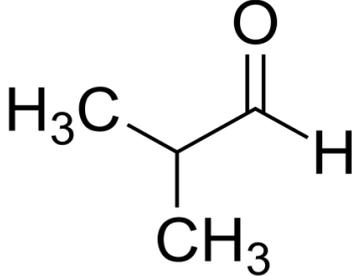
A reação de hidroformilação permite formar uma ligação carbono-carbono com incorporação de todos os átomos dos reagentes (H₂ e CO) no produto final, sendo,

por isso, um excelente exemplo de uma transformação com completa economia atômica. A reação é atualmente o maior processo de catálise homogênea com metais de transição onde se tem mais de seis milhões de toneladas de aldeídos/ano (SENAI, 2014).

O enorme interesse sintético em aumentar o tamanho da cadeia carbônica, a versatilidade dos aldeídos como grupo funcional e o baixo custo dos reagentes (CO e H₂) fazem da reação de hidroformilação uma importante ferramenta sintética.

A empresa realiza a hidroformilação do propeno, gerando aldeídos que sofrem posteriormente condensação aldólica e hidrogenação. O produto de reação é o aldeído cru que é uma mistura dos butiraldeídos. O aldeído cru é destilado para separar o isobutiraldeído do n-butiraldeído. O n-butiraldeído é enviado às seções de condensação aldólica e hidrogenação já o isobutiraldeído é enviado à seção de hidrogenação. A Tabela 7 mostra as informações dos compostos gerados pela hidroformilação do propeno.

Tabela 7 - Informações dos compostos n-butiraldeído e isobutiraldeído.

DADOS	INFORMAÇÕES DOS COMPONENTES	
	n-butiraldeído	isobutiraldeído
Composto		
Fórmula estrutural		
Fórmula molecular	C ₄ H ₈ O	C ₄ H ₈ O
Temperatura de ebulição (°C)	74,8	63
Massa molar (g/mol)	72,11	72,11
Classificação da cadeia carbônica	Cadeia normal ou linear	Cadeia ramificada

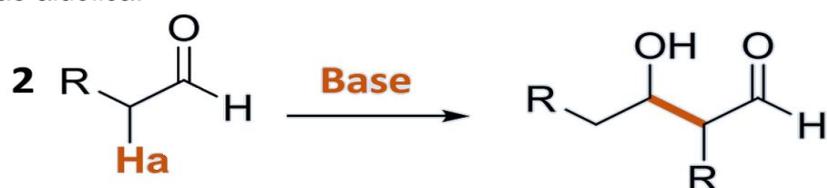
Fonte: Elaboração própria (2019).

4.2.1.2 Condensação aldólica

A condensação ou reação aldólica foi descoberta em 1964 por Aleksandr Borodin ao misturar o pentanal com sódio, para a obtenção do pentanoato de sódio. Após tratamento com água, Aleksandr Borodin obteve uma mistura complexa, onde um dos produtos parecia resultar da condensação entre duas moléculas de pentanal com eliminação de uma molécula de água.

De forma mais geral, a reação pode ser descrita como a adição nucleofílica de um enol ou de um enolato a uma carbonila para geração de compostos β -hidróxi-carbônicos. Essa metodologia permite a formação de um ou mais centros estereogênicos com possibilidade de controle sobre a estereoquímica dos mesmos.

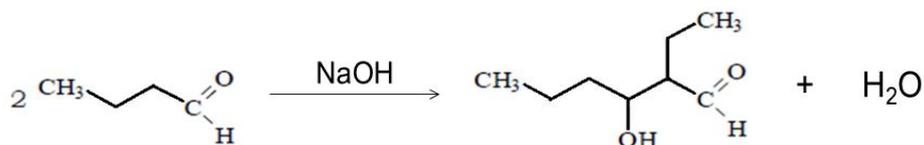
Figura 9 - Reação aldólica.



Fonte: Martins (2009).

A condensação aldólica realizada pela empresa para a produção de octanol, o n-butiraldeído passa por uma condensação aldólica em presença de soda cáustica (NaOH). Esta reação consiste na união de duas moléculas de n-butiraldeído formando o etil propil acroleína com liberação de água. O etil propil acroleína cru é separado da água e purificado por destilação.

Figura 10 - Reação de condensação aldólica do n-butiraldeído com hidróxido de sódio.



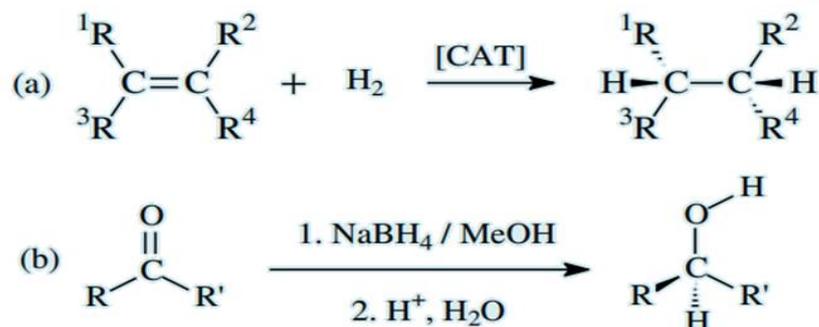
Fonte: Adaptado de Ogata (2004).

4.2.1.3 Hidrogenação

A hidrogenação é o processo químico de eliminação de grupos funcionais insaturados pela adição de átomos de hidrogênio. As principais fontes de hidrogênio utilizadas são o hidrogênio elementar (H_2) e os hidretos metálicos (por exemplo, o

borohidreto de sódio). Na Figura 11 são mostradas reações de hidrogenação de uma ligação dupla entre átomos de carbono (olefina) e de uma ligação dupla entre carbono e oxigênio (aldeído ou cetona).

Figura 11 - Hidrogenação de grupos insaturados.

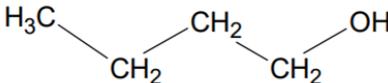
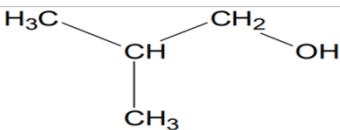
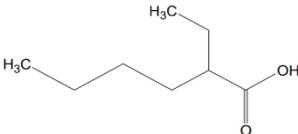


Fonte: Pinho e Suarez (2013).

O processo de hidrogenação realizada pela empresa é utilizado para a obtenção de três produtos: iso-butanol, n-butanol e 2-etil hexanóico. Suas etapas são descritas abaixo:

- Hidrogenação para a obtenção do 2-etil hexanóico: O EPA purificado e o solvente (parte do 2-EH cru reciclada da seção de purificação) são transferidos ao reator, onde ocorre a reação de hidrogenação na presença do catalisador à base de níquel/cromo, gerando o 2-EH cru. Depois, o produto cru é purificado por destilação a vácuo até o nível de especificação de mercado, constituindo-se em 2-EH.
- Hidrogenação para obtenção do n-butanol: O n-butiraldeído e o solvente (parte do NBA que é reciclada) são enviados, numa relação definida, ao reator. Lá ocorre a reação de hidrogenação na presença de catalisador de níquel/cromo, gerando o NBA cru. Depois, o produto cru é purificado por destilação até o nível de especificação de mercado, constituindo-se em NBA.
- Hidrogenação para obtenção do iso-butanol: O iso-butiraldeído e o solvente (parte do IBA que é reciclada) são enviados, numa relação definida, ao reator. Lá ocorre a reação de hidrogenação na presença de catalisador de níquel/cromo, gerando o IBA cru. Depois, o produto cru é purificado por destilação até o nível de especificação de mercado, constituindo-se em IBA.

Tabela 8 - Informações dos produtos.

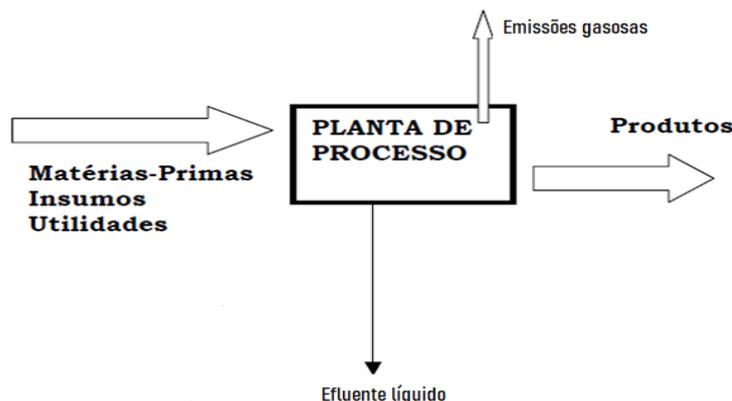
DADOS	INFORMAÇÕES DOS PRODUTOS FINAIS		
Composto	n-butanol	iso-butanol	2-etil hexanóico
Fórmula estrutural			
Fórmula molecular	C ₄ H ₁₀ O	C ₄ H ₁₀ O	C ₈ H ₁₆ O ₂
Estado físico	Líquido	Líquido	Líquido
Cor	Incolor	Incolor	Incolor
Odor	Pungente e forte de álcool	Levemente alcoolico	Fraco
Temperatura de ebulição (°C)	118	107,9	226-229
Aplicações	<p>Uma de suas principais aplicações é como solvente na Indústria de Tintas seja na forma direta ou seus derivados.</p>	<p>Uma de suas principais aplicações é como solvente na Indústria de Tintas seja na forma direta ou seus derivados. Tem participação importante como matéria-prima do di-iso-butil-ftalato (plastificante que possui excelente estabilidade ao calor), plastificante para PVC utilizado na fabricação de calçados, mangueiras e adesivos.</p>	<p>São adicionados às tintas para ajudar a acelerar o processo de secagem. Os ésteres do ácido 2-etil-hexanóico, especialmente os obtidos com diglicóis, triglicóis e polietilenoglicóis podem ser utilizados como: lubrificante sintético para uso em aparelhos de ar condicionados ou refrigeração, plastificantes para PVC, nitrocelulose, borracha clorada e polipropileno.</p>

Fonte: Adaptado de Elekeiroz (2019).

4.2.2 Caracterização do efluente gerado pela empresa

Numa planta de processo, temos como entrada a matérias prima, insumos e utilidades. Como resultado do processo produtivo, temos como saída às emissões gasosas, o produto final para a comercialização e os efluentes líquidos como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Geração de efluente da empresa.



Fonte: Adaptado de Ogata (2004).

Os efluentes líquidos que são gerados devido ao processo produtivo de condensação aldólica, possui um pH bastante elevado. Essa característica se deve pela reação do n-butiraldeído com a soda cáustica (NaOH) para a formação do etil propil acroleína com a liberação de água e devido a presença do NaOH nessa reação, acaba elevando o pH desse efluente.

Para tratar desse parâmetro, a empresa possui seu próprio tratamento para correção para pH, a qual consiste no tratamento pela dosagem de ácido sulfúrico antes de uma bacia equalizadora. A bacia equalizadora tem como objetivo regular a vazão para as unidades subsequentes e homogeneização da carga orgânica do efluente, em virtude de que o mesmo sofra variações das cargas e vazões ao longo da jornada de trabalho industrial.

Lançar esse efluente sem tratamento prévio ao meio ambiente tem restrições pela legislação, portanto, deve-se realizar o tratamento prévio desse efluente antes do seu descarte. Segundo Metcalf e Eddy (2016) as análises utilizadas para caracterizar o efluente líquido variam de precisas determinações químicas a determinações biológicas ou físicas mais qualitativas. Independentemente do método de análise utilizado, o nível de detecção deve ser especificado.

As análises são realizadas de acordo com os métodos contidos no livro do Apha (1998), como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Métodos de análises de parâmetros físico-químicos contidos no *Standard Methods*.

PARÂMETROS	MÉTODOS	NOMENCLATURA
DQO	5220 B.	Método de refluxo aberto;
	5220 C.	Método refluxo fechado, método titulométrico;
	5220 D.	Método refluxo fechado, método colorimétrico;
Óleos & Graxas	5520 B.	Método líquido/líquido, partição-gravimétrica;
	5520 C.	Método partição-infravermelho;
	5520 D.	Método de extração de Soxhlet
	5520 E.	Método de extração para amostras de lodo
	5520 F.	Hidrocarbonetos
pH	5520 G.	Método de fase sólida, partição-gravimétrica.
	4500-H ⁺ B.	Método Eletrométrico
	2550 B.	Métodos de laboratório e de campo
Sólidos	2540 B.	Sólidos totais secos a 103-105 °C;
	2540 C.	Sólidos totais dissolvidos secos a 180 °C;
	2540 D.	Sólidos totais suspensos secos a 103-105 °C;
	2540 E.	Sólidos fixos e voláteis inflamados a 550 °C;
	2540 F.	Sólidos sedimentáveis;
	2540 G.	Sólidos totais, fixos e voláteis em amostras sólidas e semi-sólidas

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Depois da realização da análise para verificação de cada parâmetro presente na amostra do efluente líquido, foram obtidos os resultados de cada parâmetro presente na amostra, como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados dos constituintes presentes no efluente gerado pelo processo produtivo.

PARÂMETROS	UNIDADE	RESULTADOS
DQO	mg/L	2200
MS	mg/L	51
Óleos & graxas	mg/L	250
pH	-	7,6
SS	mg/L	4,7

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Depois de realizado a caracterização e encontrado o valor de cada constituinte presente na amostra, foi realizada uma comparação com os valores vigentes pela Resolução do CEPRAM para determinar o tipo de tratamento que deverá ser aplicado para o parâmetro que não atender o valor contido na resolução.

Tabela 11 - Comparação com os valores dos parâmetros obtidos com os valores contidos na legislação.

PARÂMETRO	UNIDADE	RESULTADOS	RESOLUÇÃO CEPRAM	PARÂMETRO ATENDE A LEGISLAÇÃO?
DQO	mg/L	2200	115	NÃO
MS	mg/L	51	50	NÃO
Óleos & graxas	mg/L	250	50	NÃO
pH	-	7,6	6-9	SIM
SS	mg/L	4,7	1	NÃO

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Apesar de se tratar de uma amostra bruta, ou seja, sem tratamento, a comparação dos valores de caracterização do efluente com os valores de referência contidas na resolução do CEPRAM para lançamento nos corpos hídricos indica o potencial de impacto na qualidade da água e da vida aquática do local, caso houvesse o lançamento desse efluente sem o devido tratamento.

Como já houve o tratamento do pH pela própria empresa e seu tratamento foi suficiente para que seu valor atendesse as condições estabelecidas pela resolução do CEPRAM, não foi necessário um novo tratamento para diminuição desse parâmetro, pois seu valor já atende a resolução vigente.

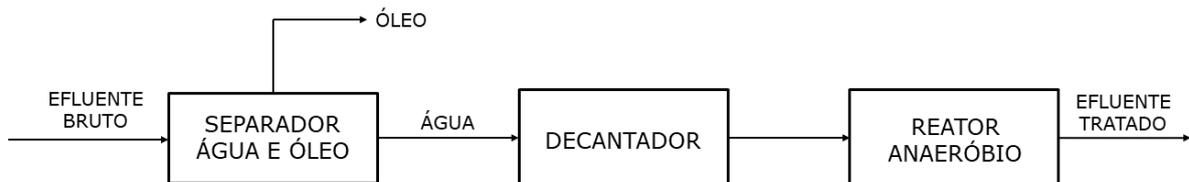
Os parâmetros como DQO, MS, SS e óleos & graxas precisam de um tratamento antes do seu lançamento. Esse efluente é enviado para a CETREL realizar o tratamento desses parâmetros. O presente trabalho mostra como seria se a própria empresa adotasse seu próprio tratamento para diminuição e/ou eliminação

de cada parâmetro presente nesse efluente que não estivesse de acordo com a resolução do CEPRAM.

4.2.3 Processos e tecnologias para o tratamento do efluente estudado

O tratamento do efluente deve ser eficiente o suficiente a fim de garantir a qualidade do efluente tratado para o seu lançamento. A Figura 13 mostra como seria aplicado o tratamento do efluente estudado a fim de garantir a qualidade do tratamento para o seu lançamento no corpo hídrico sem causar nenhuma contaminação ou degradação do meio.

Figura 13 - Diagrama dos processos de tratamento para o efluente estudado.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

O processo de tratamento pode ser dividido em três principais etapas:

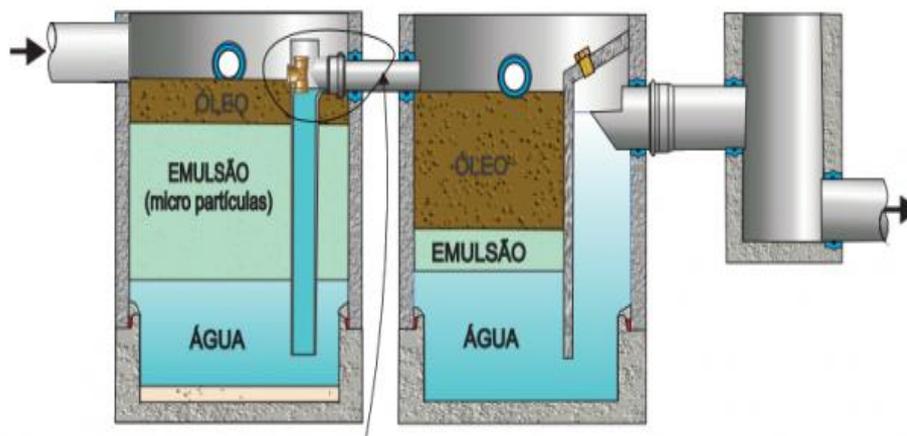
- Tratamento preliminar ou pré-tratamento: esta etapa visa à neutralização e separação da água e óleo presente no meio a fim de corrigir o parâmetro óleos & graxas para que atenda a legislação vigente. Esta etapa é composta por um separador água/óleo;
- Tratamento físico: nesta etapa, o efluente ainda contendo pequenas partículas sólidas precisa ser decantado e posteriormente separado do efluente, a fim de garantir a adequação dos parâmetros de SS e MS para a legislação vigente. Esta etapa é composta por um decantador.
- Tratamento biológico: esta etapa tem como objetivo a redução do parâmetro DQO presente no efluente. Após esta etapa, o efluente está pronto para seu lançamento ao corpo receptor. Esta etapa é composta por um reator aeróbico.

4.2.3.1 Tratamento preliminar ou pré-tratamento

1) Separador Água/Óleo

O objetivo do SAO é apenas realizar a separação do óleo presente na água e não o tratamento completo do efluente. O equipamento realiza a separação por diferença de densidade permitindo que o óleo do efluente seja removido e destinado ao local adequado e a água isenta de óleo pode seguir para as outras etapas de tratamento, como mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Esquemática do separador água/óleo.



Fonte: Adaptado de Sane System (2019).

Através da separação por gravidade, este sistema é a tecnologia mais tradicional para remoção de água/óleo devido à diferença de densidades. O SAO é um pré-tratamento necessário para a grande maioria dos tratamentos de óleo, tendo como vantagem ser extremamente simples e de fácil manutenção.

A concepção básica de um SAO é um tanque simples que reduz a velocidade do efluente oleoso, de forma a permitir que a gravidade separe o óleo da água. Como o óleo tem uma densidade menor que a da água, ele flutua naturalmente, se tiver tempo, para então se separar fisicamente (REZENDE e BOROTO, 2014).

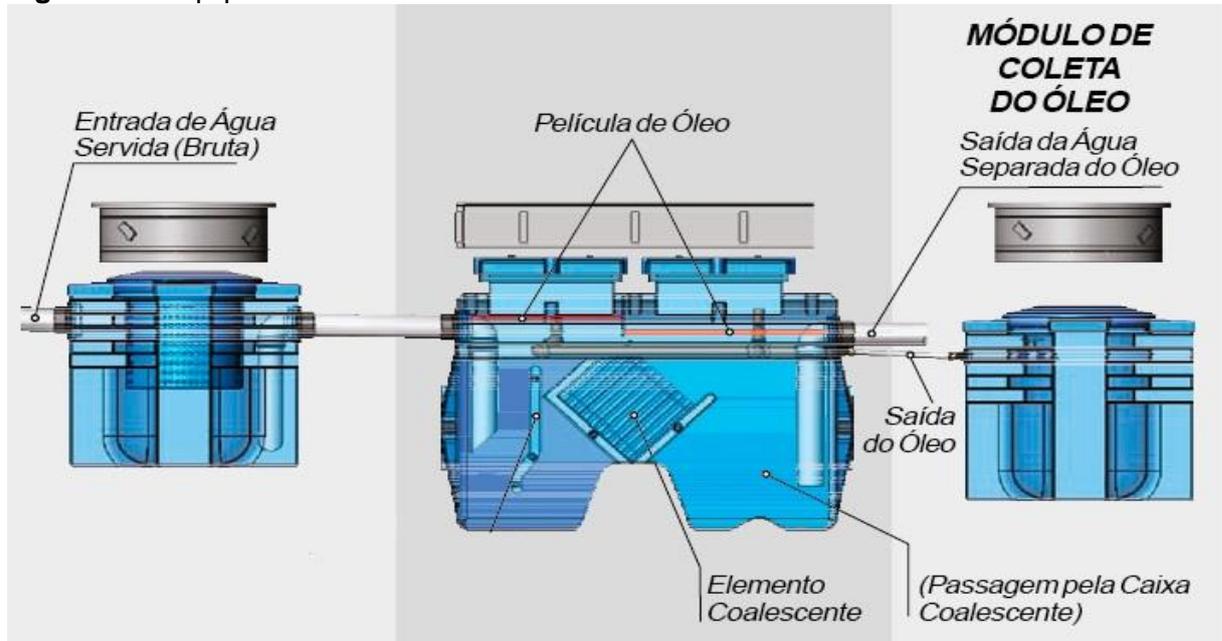
Os principais fatores que afetam a taxa de separação da água do óleo são:

- Tamanho da gota de óleo;
- Densidade do óleo;
- Temperatura do óleo.

Os outros fatores também importantes são: vazão e a turbulência.

De acordo com a Lei de Stokes uma gota com 100 μm de diâmetro demora 12 vezes menos que uma gota de 20 μm para subir a uma determinada altura em um corpo líquido. Portanto a estratégia básica é aumentar o tamanho da gota oleosa.

Figura 15 - Equipamento SAO.



Fonte: Adaptado de Sane System (2019).

Gotas de óleo aderem à superfície oleofílica e se agrupam formando uma gota de maior diâmetro saindo do meio aquoso mais facilmente. A mistura passa pelo elemento coalescente, aumentando o tempo de subida das partículas menores, permitindo que essas gotículas se juntem formando uma gota muito maior.

1.1) Projeto de um SAO

Para o dimensionamento de um separador água/óleo é necessário o conhecimento da vazão de operação e posterior o valor da concentração de resíduos oleosos que foi retirado do efluente.

Utilizando algumas referências para o dimensionamento do SAO, foi necessário definir alguns dados de projeto para a realização do cálculo de dimensionamento do equipamento, como mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Dados dimensionais para separador API.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
Vazão de processo (m ³ /h)	Q	12
Viscosidade da água a 30 °C (poises)	μ_a	0,0008
Densidade da água a 30 °C (kg/m ³)	ρ_a	996
Densidade do óleo a 30 °C (kg/m ³)	ρ_o	860
Diâmetro da menor partícula a ser removida (cm)	d	0,00015

Fonte: Elaboração Própria (2019).

A partir dos dados dimensionais para o SAO, foi possível calcular os valores como a área da caixa da seção transversal da caixa separadora, comprimento e largura da caixa como mostrado no memorial de cálculos contidos no ANEXO A – Memorial de cálculos de um SAO.

Com os dados obtidos a partir desse dimensionamento, como mostrado na Tabela 13, é possível encontrar um separador água e óleo que melhor atende as demandas do projeto para a separação.

Tabela 13 - Dados obtidos a partir dos dados dimensionais do separador API.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DIMENSÃO
Área transversal (m ²)	A_t	2,19
Largura da caixa (m)	B	2,34
Altura do vertedouro (m)	h	0,96
Altura total da caixa (m)	H_t	1,06
Comprimento da câmara de entrada (m)	L_{CE}	0,09
Comprimento da câmara de saída (m)	L_{CS}	0,09
Comprimento da câmara separadora (m)	L_{CSP}	1,12
Comprimento total da caixa (m)	L_t	1,39

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Após o dimensionamento do SAO, foi realizado o cálculo de eficiência de remoção para a concentração de óleos & graxas que se deseja diminuir do efluente. Como não se conhece o valor da eficiência de remoção para um separador API, foi utilizado o critério de concentração inicial de óleos e graxas e a concentração final de óleos e graxas para o cálculo da eficiência para o SAO. Os cálculos estão contidos no ANEXO A – Memorial de cálculos de um SAO.

Tabela 14 - Concentração de óleos & graxas após o tratamento.

Concentração inicial de óleos & graxas (mg/L)	Concentração final de óleos & graxas (mg/L)	Eficiência (%)
250	50	80

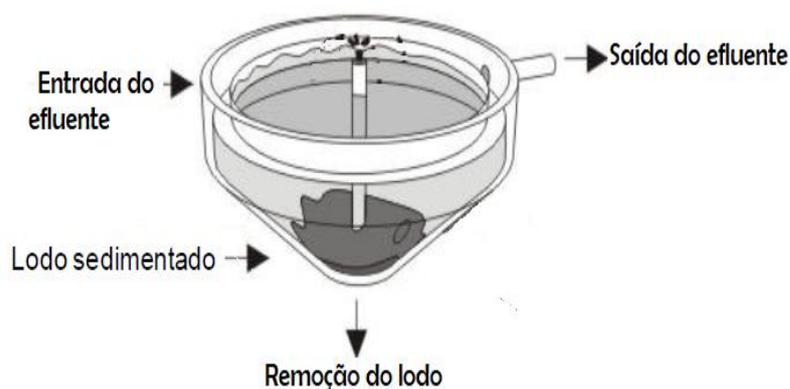
Fonte: Elaboração Própria (2019).

4.2.3.2 Tratamento físico

1) Decantador

O objetivo do decantador é separar os sólidos e materiais sedimentáveis que estão contidas no efluente por decantação, por meio da gravidade. Os sólidos sedimentam no fundo do decantador de onde acabam sendo removidos como lodo.

Figura 16 - Esquema básico de um decantador.



Fonte: Dielle (2014).

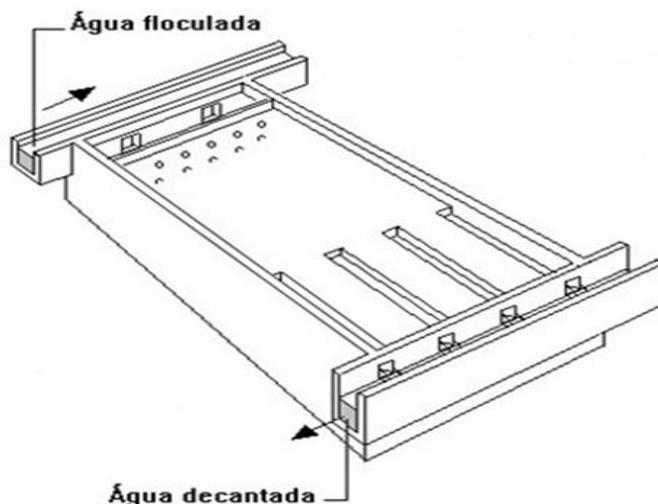
Segundo Metcalf e Eddy (2016), existem dois tipos de decantadores:

- De seção retangular: Tanques retangulares requerem áreas menores do que tanques circulares, sendo aplicados onde há pequena disponibilidade de espaço. Os tanques retangulares podem ser integrados a tanques de pré-aeração e a tanques de aeração de sistemas de lodos ativados, permitindo dessa maneira paredes comuns e, conseqüentemente, reduzindo os custos de construção. Eles são, também, utilizados quando é necessário implantar unidades cobertas.

Aspectos importantes relativos a tanques retangulares incluem:

- Remoção de lodo;
- Distribuição de vazão;
- Remoção de espuma.

Figura 17 - Decantador de seção retangular.



Fonte: Bernardo e Dantas (2019).

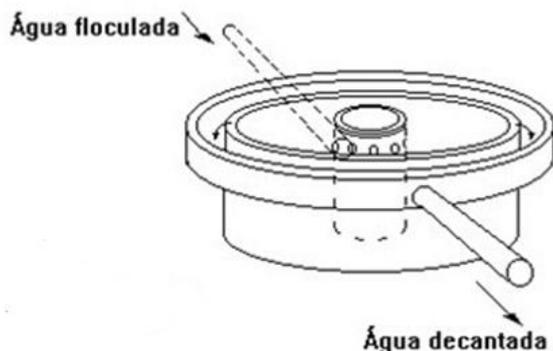
Após ser admitida no interior do decantador, a água floculada é distribuída em toda sua seção através de uma cortina distribuidora. Em seguida, ela percorre a extensão do decantador com velocidade muito baixa, até atingir a zona de saída. Neste local, a água decantada é recolhida através de calhas coletoras ou tubulações perfuradas.

- De seção circular. Tanques de sedimentação circulares são, em geral, arranjados em grupos de dois ou de quatro. A vazão é dividida entre os tanques por uma estrutura de partição de vazões, comumente localizada entre os tanques. Geralmente, os sólidos são removidos por bombas de lodo que descarregam em unidades de processamento e de disposição.

Aspectos importantes relativos a tanques circulares incluem:

- Método de introduzir a vazão;
- Dissipação de energia;
- Remoção do lodo.

Figura 18 - Decantador de seção circular.



Fonte: Bernardo e Dantas (2019).

Segundo Dielle (2014), a escolha do decantador deve ser atenta para o fato de que a sedimentação será eficiente quanto maior for à capacidade do tanque de permitir que os sólidos sedimentem em seu interior, evitando o arraste de partículas indesejáveis para o líquido que prosseguirá para as etapas subsequentes.

Para escolher a opção que se adequa ao projeto foram feitas avaliações de cada tipo de decantador segundo as comparações contidas no livro do Metcalf e Eddy (2016).

Tabela 15 - Método de escolha para o tipo de decantador segundo Metcalf e Eddy (2016).

TIPO DE DECANTADOR	MENOR ÁREA DE CONSTRUÇÃO	UTILIZAÇÃO EM ÁREAS COBERTAS	CUSTO CONSTRUÇÃO	CUSTO DE MANUTENÇÃO
Seção retangular	X	X	X	
Seção circular				X

Fonte: Elaboração Própria (2019).

1.1) Projeto de um decantador

Para o dimensionamento do decantador é necessário o conhecimento da vazão de operação e a velocidade crítica de sedimentação, e posteriormente, calcular a concentração após o tratamento.

Utilizando algumas referências para o dimensionamento do decantador de seção retangular, foi necessário definir alguns dados de projeto para realizar o cálculo do dimensionamento do equipamento, como mostrado na Tabela 16.

Tabela 16 - Dados para o dimensionamento do decantador de seção retangular.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DIMENSÃO
Vazão de operação (m ³ /h)	Q	12
Taxa de escoamento superficial (m ³ /m ² .d)	OR	40
Quantidade de decantador	D _C	1
Número de canais (m)	N _C	6
Profundidade lateral (m)	P _L	4

Fonte: Elaboração Própria (2019).

A partir dos dados dimensionais para o decantador de seção retangular, foi possível calcular os valores como área superficial, comprimento do tanque, volume do tanque como mostrado no memorial de cálculos contidos no ANEXO B – Memorial de cálculo do decantador. Com os dados obtidos a partir desse dimensionamento, como mostrado na Tabela 17, é possível encontrar um decantador de seção retangular que melhor atende as demandas do projeto para a separação.

Tabela 17 - Dados encontrados a partir dos dados dimensionais do decantador de seção retangular.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DIMENSÃO
Área superficial (m ²)	A	7,20
Comprimento do tanque (m)	L	1,20
Volume do tanque (m ³)	V	57,60
Taxa de escoamento superficial (m ³ /m ² .d)	T _{ES}	20,00
Tempo de detenção (h)	TDH	6,0

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Realizado o dimensionamento para o decantador de seção retangular, foi possível calcular a concentração de MS e SS após o tratamento, como mostrado na Tabela 18.

Tabela 18 - Concentração de SS e MS após o tratamento.

Concentração inicial de MS (mg/L)	Concentração inicial de SS (mg/L)	Eficiência de remoção (%)	Concentração final de MS (mg/L)	Concentração final de SS (mg/L)
51	4,6	70	15,2	1,3

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Como uma pequena parcela de DQO é removida pelo decantor, foi necessário realizar o cálculo de sua remoção como mostrado no ANEXO B – Memorial de cálculo do decantador. Depois de realizado os cálculos, foram encontrados os valores como mostrado na Tabela 19.

Tabela 19 - Concentração de DQO após o tratamento.

Concentração inicial de DQO (mg/L)	Eficiência de remoção (%)	Concentração final de DQO (mg/L)
2200	48,5	1132,0

Fonte: Elaboração Própria (2019).

4.2.3.3 *Tratamento biológico*

1) Reator Anaeróbio

Segundo Metcalf e Eddy (2016), os processos anaeróbios têm sido utilizados como alternativa ao tratamento aeróbio para aplicações que variam de efluentes com baixa carga orgânica até efluentes com carga extremamente elevada.

Suas vantagens quando comparados aos processos aeróbios são:

- Consumo de energia;
- Baixa produção de biomassa;
- Menor quantidade de nutrientes;
- Altas cargas volumétricas;
- Pré-tratamento eficaz.

Existem vários tipos de processos anaeróbios para tratamento de efluentes como:

- Sistemas com crescimento em suspensão;
- Com fluxo ascendente e descendente;
- Crescimento aderido em leito fluidizado;
- Fluxo ascendente em manto de lodo, lagoas;
- Crescimento em suspensão com separação por membranas
- Entre outros.

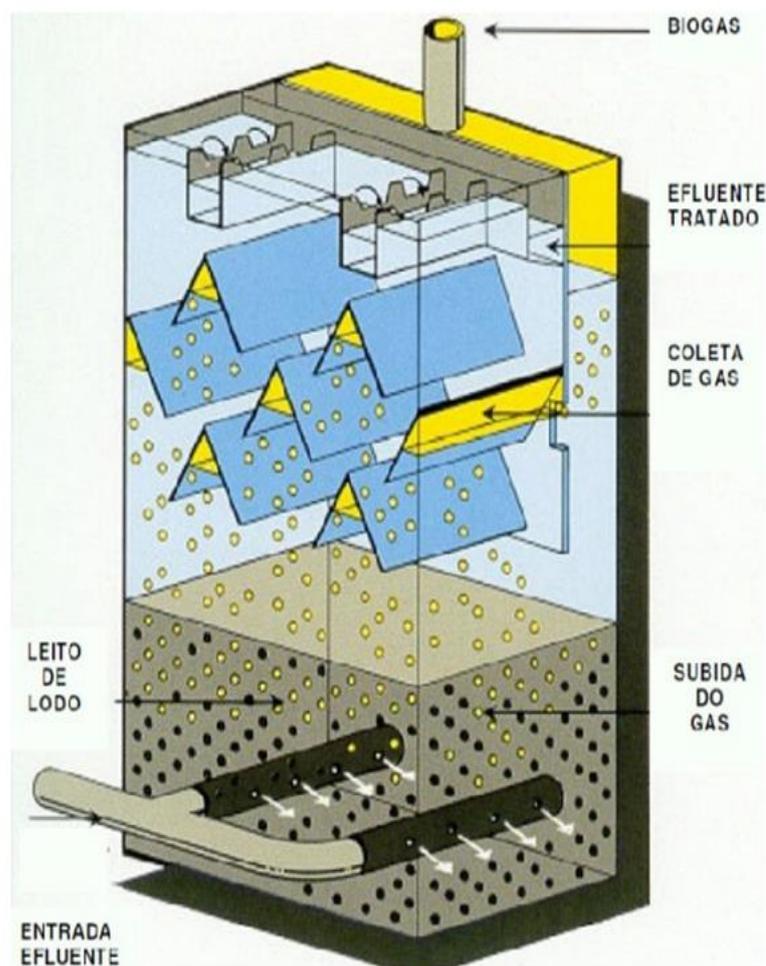
Com várias tecnologias de tratamento anaeróbio disponível, foi escolhido reator anaeróbio de fluxo ascendente com manto de lodo (UASB) desenvolvido por Lettinga na década de 1980 e representa o avanço mais relevante na tecnologia de tratamento anaeróbio.

No tratamento do efluente utilizando o reator anaeróbio de fluxo ascendente de manto de lodo (UASB), ocorre a biodigestão anaeróbia, que consiste na fermentação de resíduos com matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio, transformando-os em compostos mais simples e degradáveis pelas bactérias e em biogás.

Estes biodigestores são dotados de um separador trifásico que possibilita a separação do efluente líquido do biogás e do lodo biológico que contém os microrganismos.

O líquido, ao passar pelo separador, atinge as calhas dentadas e encaminha-se para a próxima etapa do tratamento. O lodo, por ser mais denso, encaminha-se para o fundo do reator e o biogás é coletado pelo sistema de cobertura instalado na superfície dos reatores. A esquematização desse processo é demonstrado na Figura 20.

Figura 19 - Esquema do reator anaeróbio do tipo UASB.



Fonte: Lamo e Dias (2019).

1.1) Projeto de um reator anaeróbio

Para o dimensionamento do reator anaeróbio do tipo UASB é necessário o conhecimento da vazão de operação, o valor da carga orgânica presente no efluente que será tratada e posteriormente, a concentração após o tratamento.

Utilizando algumas referências para o dimensionamento do reator anaeróbio do tipo UASB, foi necessário definir alguns dados de projeto para realizar o cálculo do dimensionamento do equipamento, como mostrado na Tabela 20.

Tabela 20 - Dados dimensionais para o reator anaeróbio do tipo UASB.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DIMENSÃO
Vazão de operação (m ³ /s)	Q	12
DQO (mg/L)	DQO	1132,04
Carga orgânica de projeto (kg DQO/m ³)	S ₀	8,00
Altura do processo (m)	-	8
Altura da região clarificada (m)	-	0,5
Altura da região de separação gás-sólido	-	2,5

Fonte: Elaboração Própria (2019).

A partir dos dados dimensionais para o reator anaeróbio do tipo UASB, foi possível calcular os valores como área de seção transversal, volume do reator, tempo de detenção hidráulica como mostrado no memorial de cálculos contidos no ANEXO C – Memorial de cálculo do reator anaeróbio. Com os dados obtidos a partir desse dimensionamento, como mostrado na Tabela 21, é possível encontrar um reator anaeróbio do tipo UASB que melhor atende as demandas do projeto para a separação.

Tabela 21 - Dados obtidos pelo dimensionamento do reator anaeróbio do tipo UASB.

DESCRIÇÃO	SÍMBOLO	DIMENSÃO
Área de seção transversal do reator (m ²)	A	12,00
Volume do reator (m ³)	V _V	48,00
Tempo de detenção hidráulica (h)	T _{DH}	3,40
Volume do reator com carga orgânica aplicada (m ³)	V _{COA}	40,75
Área do reator (m ²)	A _r	10,19
Altura do reator (m)	H _t	7

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Realizado o dimensionamento para o reator anaeróbio do tipo UASB, foi possível calcular a concentração de DQO após o tratamento, como mostrado na Tabela 22.

Tabela 22 - Concentração de DQO após o tratamento.

Concentração inicial de DQO (mg/L)	Eficiência de remoção (%)	Concentração final de DQO (mg/L)
1132,0	92,5	84,90

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Como uma pequena parcela de SST é removida pelo reator UASB, foi necessário calcular a concentração final de SS e MS após o tratamento. Como mostrado no ANEXO C – Memorial de cálculo do reator anaeróbio, foi necessário o conhecimento da eficiência de remoção mínima de SST no reator UASB e encontrado os valores como mostrado na Tabela 23.

Tabela 23 - Concentração de MS e SS após o tratamento.

Concentração inicial de MS (mg/L)	Concentração inicial de SS (mg/L)	Eficiência de remoção (%)	Concentração final de MS (mg/L)	Concentração final de SS (mg/L)
15,21	1,25	63	5,63	0,46

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Após dos valores obtidos das concentrações finais pelo dimensionamento, foi possível verificar cada equipamento separadamente com os valores de remoção para cada parâmetro presente no efluente. É possível observar pela Tabela 24 que para cada tecnologia empregada, foi possível a diminuição de mais de um constituinte presente no efluente estudado, com isso, é possível perceber que nem sempre apenas uma tecnologia é suficiente para diminuição do parâmetro ambiental para o enquadramento desse constituinte na resolução.

Tabela 24 - Valor final de remoção para as tecnologias empregadas para o tratamento do efluente estudado.

PARÂMETRO	SEPARADOR API (mg/L)	DECANTADOR (mg/L)	REATOR UASB (mg/L)	VALOR FINAL DE REMOÇÃO (mg/L)
DQO	-	1132,04	84,90	84,90
MS	-	15,21	5,63	5,63
Óleos & graxas	50,0	-	-	50,0
SS	-	1,25	0,46	0,46

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com os valores finais de remoção para cada tratamento empregado, foi realizada uma nova análise com a resolução do CEPRAM para verificação do seu enquadramento após o tratamento para o lançamento desse efluente no corpo d'água receptor.

Tabela 25 - Comparação entre os resultados antes e após o tratamento com os valores contidos pela resolução do CEPRAM.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR ANTES DO TRATAMENTO	VALOR APÓS O TRATAMENTO	RESOLUÇÃO DO CEPRAM
DQO	mg/L	2200	84,90	115
MS	mg/L	51	5,63	50
Óleos & graxas	mg/L	250	50,00	50
SS	mg/L	4,6	0,46	1

Fonte: Elaboração Própria (2019).

A Tabela 25 apresenta a comparação entre os valores obtidos após o tratamento adequado para cada parâmetro presente no efluente estudado. É possível observar que os valores de DQO, SS e MS ficaram abaixo dos valores estabelecidos pela resolução. Já o óleos & graxas ficou no limite da resolução, pois como não se sabe o valor da eficiência para um separador API, foi preciso realizar seu cálculo a partir do valor estabelecido pela resolução, sendo assim, não foi possível a obtenção da sua concentração no final do tratamento.

Realizando uma nova comparação entre os valores após o tratamento com a resolução do CEPRAM, foi possível observar que os valores obtidos atendem a resolução. Podemos perceber que o dimensionamento realizado para o tratamento do efluente estudado, foi possível a redução da carga orgânica presente no efluente fazendo com que se adequasse a resolução estudada para o seu lançamento no corpo d'água receptor. Sendo assim, o efluente após o devido tratamento pode ser lançado ao corpo hídrico sem a preocupação de contaminação ou a agregação de constituintes no meio em que será lançado ou a saúde pública.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eficiência da sequência dos tratamentos proposto neste trabalho, como tratamento preliminar, tratamento físico e tratamento biológico para a empresa estudada permitiu a obtenção de um efluente final desejável, com características adequadas para o lançamento ao corpo d'água receptor. Todos os constituintes presentes no efluente estudaram ficaram adequados ao valor máximo permitido pela resolução estudada.

Através desse trabalho, pode-se estabelecer uma avaliação de sistemas de tratamento de efluentes e também foi possível estudar e analisar diversas tecnologias empregadas para o tratamento de efluente.

A metodologia permitiu desenvolver e aplicar normas vigentes para o tratamento de efluente junto ao estudo de caso onde foi possível realizar uma caracterização e uma avaliação detalhada sobre o processo empregado pela empresa estudada e sua geração de efluente líquido.

O trabalho realizado procurou atender as condições estabelecidas pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CEPRAM, pois é o órgão estadual que dispõe sobre o gerenciamento dos efluentes líquidos no estado da Bahia.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar um estudo e uma alternativa de tratamento para as emissões gasosas geradas pelo processo e uma alternativa para o tratamento do lodo gerado pelo tratamento do efluente.
- Realizar uma comparação entre as tecnologias empregadas no trabalho com outras tecnologias existentes para a realização do tratamento do efluente;
- Realizar um estudo de viabilidade econômica, para avaliar a viabilidade das tecnologias escolhidas para a realização do tratamento do efluente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA (1998). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14605-2: **Armazenamento De Líquidos Inflamáveis E Combustíveis – Sistema De Drenagem Oleosa. Parte 2: Projeto, Metodologia De Dimensionamento De Vazão, Instalação, Operação E Manutenção Para Posto Revendedor Veicular**. Rio de Janeiro, 2010.

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-12216: **Projeto De Estação De Tratamento De Água Para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-9800: **Critérios Para Lançamento De Efluentes Líquidos Industriais No Sistema Coletor Público De Esgoto Sanitário**. Rio de Janeiro, 1987.

BARCZA, V. M. **Processo Oxo**. Disponível em: <
<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/62/Processo%20oxo.pdf> >.
Acesso em: 05 de novembro de 2019.

BARRETO, D. **Hidroformilação**. Disponível em: <
http://www.eq.ufrj.br/docentes/danielbarreto/20092/aula_po_oxo.pdf >. Acesso em:
02 de junho de 2019.

BERNARDO, D. DANTAS, A. **Sedimentação**. Disponível em: <
<https://slideplayer.com.br/slide/295553/>>. Acesso em: 22 de novembro de 2019.

BRANDÃO, M. A.; CASTILHO, N. **Estação De Tratamento De Água E Esgoto**. 2001. 4p. Universidade do Oeste Paulista.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece Diretrizes Nacionais Para O Saneamento Básico**; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. **Manual De Tratamentos De Efluentes Industriais**. Ed. Engenho Editora Técnica, São Paulo/SP, 2009.

CHRISTINE, C. **Análise Química De Efluentes Líquidos Industriais**. Monografia de Conclusão de Curso. Universidade Federal de São João del-Rei, 2016.

COLONESE, N. **O Que São Efluentes E Por Que É Essencial Tratá-los?**. Disponível em: < <https://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/quimica-alimentos/efluentes-o-que-sao-como-tratar/>>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.

CONSELHO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE. **CEPRAM: Portaria Do Conselho De Recursos Ambientais Nº 2.878 de setembro de 2001**. Licença de Operação do COPEC. Camaçari, Bahia.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O.; **Tratamento De Efluentes Da Indústria De Processamento De Coco Utilizando Eletroflotação**. Química Nova, v. 27, n. 3, 2004.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **CIRCULAR Nº 28, DE 9 DE MAIO DE 2016**. Disponível em: < <http://www.in.gov.br/web/dou/-/circular-n-28-de-9-de-maio-de-2016-22801097>>. Acesso em: 12 de novembro de 2019.

DIAS, L.; ABREU, A.; AQUINO, A.; PEREIRA, M. **Hidroformilação: um Marco Histórico na Catálise Homogênea**. Revista Processos Químicos, Junho de 2014.

DIELLE, F. E. **Estudo da Nova Norma Brasileira de Projeto de Estação de Tratamento de Esgoto – NBR 12.209/2011**. Juiz de Fora, 2014.

EATON, Andrew D. *et al.* **Standard methods: for the examination of water and wastewater**. 21th. Edition. American Public Health Association, Washington, DC, 2005.

ELEKEIROZ. **Produtos Orgânicos E Produtos Inorgânicos**. Disponível em: < <https://www.elekeiroz.com.br/>>. Acesso em: 12 de novembro de 2019.

FERREIRA, S. M. **Estudo Preliminar Da Avaliação Técnica De Metodologias De Tratamento Terciário Do Efluente Tratado Gerado Na Ete Da Cetrel Para Reúso Em Atividades Industriais**. Tese de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

FILHO, D. F. S. **Tecnologia De Tratamento De Água: Água Para Indústria**. 3ª Edição, Livraria Nobel S. A. balanço de massa preliminar. Editora, 1985.

GARRIDO, C. **Processos Unitários – Separador Água e Óleo**. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/5629248/>>. Acesso em: 23 de novembro de 2019.

GIORDANO, G. **Avaliação Ambiental De Um Balneário E Estudo De Alternativa Para Controle Da Poluição Utilizando O Processo Eletrolítico Para O Tratamento De Esgoto**. 1999. 137 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Ambiental – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1999.

LAMO, P.; DIAS, N. **Reatores Anaeróbios De Leito Expandido Para O Tratamento De Efluentes Das Indústrias De Bebidas**. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35193/000792974.pdf?sequence=1>>. Acesso em 25 de novembro de 2019.

MARTINS, D. **Reações Aldólicas**. Revista virtual de química, Julho de 2009, vol. 1.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento De Efluentes E Recuperação De Recursos**. 5ª edição, 2016.

METRO LIBRARY – **Monographs on Refinery Environmental Control – Management of Water Discharges**. Refining Department, FIRST EDITION, FEBRUARY 1990.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Manual de Publicação da American Petroleum Institute**. 1 ed. Washigtin, DC, 1990, p.1.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE, **Resoluções Do CONAMA**, Brasília, 2012. Disponível em:<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>>. Acesso em: 17 de maio de 2019.

MUSTAFA, G. S. **Reutilização De Efluentes Líquidos Em Indústria Petroquímica**. Tese de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.

NATURAL TEC. **Tratamento Preliminar | Separadores Água-Óleo**. Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/separadores-agua-oleo/>>. Acesso em: 25 de novembro de 2019.

NUNES, José Alves. **Tratamento Físico-Químico De Águas Residuárias Industriais**. 3. ed. Aracaju: Triunfo, 2001.

OGATA, T. **Aplicação Do Conceito De Produção Mais Limpa Na Otimização Do Processo De Produção De Álcool Bitílico**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

OLIVEIRA, W. S. **Modelo Para Tomada De Decisão Na Escolha De Sistema De Tratamento De Esgoto Sanitário**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2004.

PINHO, D.; SUAREZ, P. **A Hidrogenação de Óleos e Gorduras e suas Aplicações Industriais**. Revista virtual de química, Fevereiro de 2013, vol. 5.

PROJETO MUNICÍPIO VERDE. **Conceitos Fundamentais E Principais Soluções No Tratamento De Esgoto**. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/DiretivaEsgotoTratado/ApostilaTratamentoEsgotos.pdf>>. Acesso em 30 de setembro de 2019.

REZENDE, F. J.; BOROTO, O. R. **Inovação de Máquina Automatizada Para Limpeza de Peças: Reutilização de Água e de Produtos Químicos**. Artigo Científico. Faculdade de Tecnologias de Garça, 2014.

SANE SYSTEM. **SANEAMENTO AMBIENTAL**. Disponível em: <http://www.sanesystem.com.br/separador_sanoil.html>. Acesso em: 21 de novembro de 2019.

SANTOS, A.; MORAIS, N. **Análise Dos Padrões De Lançamento De Efluentes Em Corpos Hídricos E De Reúso De Águas Residuárias De Diversos Estados Do Brasil**. Ceara, 2019. Disponível em: <<https://www.doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2019.004>>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.

SANTOS, M. F. **Avaliação Das Características Dos Efluentes Da CETREL**. Relatório Técnico - Cetrel, Bahia, abril de 2006.

SANTOS, M. F.; SANTOS, R. S. **Reuso De Efluentes Em Atividades Industriais**. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/rqi/2010/729/RQI-729-pagina12-Reuso-de-Efluentes-em-Atividades-Industriais.pdf>>. Acesso em: 02 de junho de 2019.

SAUTCHUCK, C. A. **Conservação E Reúso Da Água**. Manual de Orientações para o Setor Industrial, FIESP/CIESP, vol.1 2005.

SENAI. **Revista Processos Químicos**. Disponível em: <https://www.senaigo.com.br/repositoriosites/repositorio/senai/download/Publicacoes/Revista_Cientifica_Processos_Quimicos_/2014/rpq_v15.pdf>. Acesso em: 01 de novembro de 2019.

SILVESTRE, V. **Aula 3 – Decantadores e Filtração**. Disponível em: <https://issuu.com/victorvsilvestre/docs/aula_3_issu>. Acesso em 25 de novembro de 2019.

VON, S. M. **Introdução À Qualidade Das Águas E Ao Tratamento De Esgotos**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1995.

ANEXO A – Memorial de Cálculo do SAO

Para a realização dos cálculos foram utilizados os critérios de cálculos contidos nas seguintes referências:

- API 421- *Monographs on Refinery Environmental Control*;
- ABNT NBR 14605-2000;

Dados de projeto:

Vazão de operação (Q) = 12 m³/h

Viscosidade da água a 30 °C (μ_a) = 0,0008 poises

Densidade da água a 30 °C (ρ_a) = 996 kg/m³

Densidade do óleo a 30 °C (ρ_o) = 860 kg/m³

Diâmetro da menor partícula a ser removida (d) = 0,00015 cm

Concentração de óleos & graxas = 250 mg/L

Cálculo da velocidade de ascensão:

$$V_o = \frac{g}{18 \cdot \mu_a} \cdot (\rho_a - \rho_o) \cdot d^2$$

Onde:

V_o = Velocidade de ascensão (m/s)

g = Gravidade (m/s²)

μ_a = Viscosidade da água a 30 °C (poises)

ρ_a = Densidade da água a 30 °C (kg/m³)

ρ_o = Densidade do óleo a 30 °C (kg/m³)

d = Diâmetro da menor partícula a ser removida (m)

Cálculo da velocidade horizontal:

A velocidade horizontal deverá ser

$$V_h = 15 \cdot V_o$$

Onde:

V_o = Velocidade de ascensão (m/s)

V_h = Velocidade horizontal (m/s)

Cálculo da seção transversal do tanque:

$$A_T = \frac{Q}{V_h}$$

Onde:

A_T = Área transversal (m²)

Q = Vazão de operação (m³/h)

V_h = Velocidade horizontal (m/s)

$$B = \sqrt{\frac{A_T}{0,4}}$$

Onde:

A_T = Área transversal (m²)

B = Largura do modulo de separação (m)

$$h = 0,41 \cdot B$$

Onde:

B = Largura do modulo de separação (m)

h = Altura do vertedouro (m)

Cálculo do comprimento da caixa separadora:

Nova velocidade de acordo com a largura e profundidade da caixa

$$V_{hc} = \frac{Q}{B \cdot h}$$

Onde:

B = Largura do modulo de separação (m)

h = Altura do vertedouro (m)

Q = Vazão de operação (m³/s)

V_{hc} = Velocidade de escoamento na câmara corrigido (m/s)

$$L_{CSP} = F_T \cdot \left(\frac{V_{hc}}{V_o} \right) \cdot h$$

Onde:

L_{CSP} = Comprimento da caixa separadora (m)

h = Altura do vertedouro (m)

V_{hc} = Velocidade de escoamento na câmara corrigido (m/s)

V_o = Velocidade de ascensão (m/s)

F_T = Fator de turbulência e curto circuito

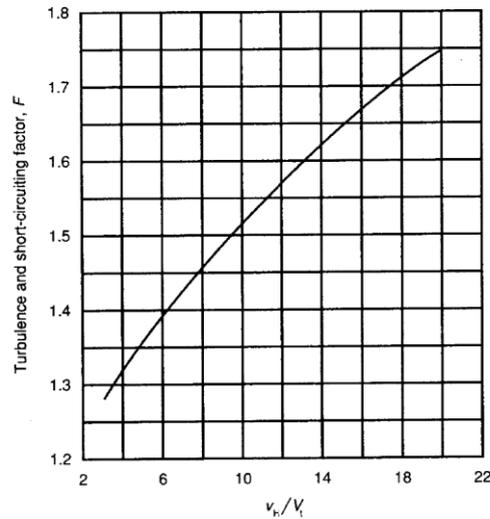
Para encontrar o valor de F_T, é preciso conhecer o valor de V_h (velocidade horizontal) e V_o (Velocidade de ascensão), então:

$$\frac{V_H}{V_o}$$

O valor entre a razão de V_h (velocidade horizontal) e V_o (Velocidade de ascensão) foi igual a 15. Caso o valor não fosse tabelado, seria necessário utilizar o gráfico com os valores recomendados para F_T, como mostrado na Figura 20.

Como já existe o valor encontrado tabelado, como mostrado na Tabela 23, foi utilizado seu valor já corrigido para ser utilizado nos cálculos.

Figura AN. A1 – Gráfico para valores recomendados de F_T para vários valores de v_H/v_o .



Fonte: Metro Library (1990).

Tabela AN. A1 - valores recomendados de F_T para vários valores de v_H/v_o .

v_H/v_o	Fator turbulência (F_T)	$F = 1,2 \cdot (F_t)$
20	1,45	1,74
15	1,37	1,64
10	1,27	1,52
6	1,14	1,37
3	1,07	1,28

Fonte: Metro Library (1990).

Cálculo do comprimento mínimo da câmara de entrada:

$$L_{CE} = t_D \cdot V_{hc}$$

Onde:

L_{CE} = Comprimento mínimo da câmara de entrada (m)

t_d = Tempo de detenção, adotado como 60 s

V_{hc} = Velocidade de escoamento na câmara corrigido (m/s)

Cálculo da seção de transferência da câmara de entrada para a câmara separadora:

$$V_{CSP} = V_{hc} \cdot 3$$

Onde:

V_{CSP} = Velocidade de escoamento na câmara de entrada (m/s)

V_{hc} = Velocidade de escoamento na câmara corrigido (m/s)

$$a = \frac{Q}{V_{CSP} \cdot B}$$

Onde:

V_{CSP} = Velocidade de escoamento na câmara de entrada (m/s)

Q = Vazão de projeto (m³/s)

B = Largura do modulo de separação (m)

a = Altura do flange de passagem para a câmara separadora (m)

Cálculo do comprimento da caixa de saída:

A caixa de saída deverá ter o mesmo comprimento da caixa de entrada, logo:

$$L_{CS} = L_{CE}$$

Cálculo da seção de transferência da câmara separadora para a câmara de saída

$$V_{SCS} = V_{hc} \cdot 3,5$$

Onde:

V_{hc} = Velocidade de escoamento na câmara corrigido (m/s)

V_{SCS} = Velocidade de escoamento na câmara de saída

$$f = \frac{Q}{V_{SCS} \cdot B}$$

Onde:

V_{SCS} = Velocidade de escoamento na câmara de saída

Q = Vazão de projeto (m³/s)

B = Largura do modulo de separação (m)

f = Altura do flange de passagem para a câmara de saída e do septo interno (m)

Cálculo da distância mínima do septo interno à câmara separadora:

$$L_{SEPT} = 20 \cdot V_{CSP}$$

Onde:

V_{CSP} = Velocidade de escoamento na câmara de entrada (m/s)

L_{SEPT} = Distância mínima do septo interno à câmara separadora (m)

Cálculo do vertedouro de saída da câmara de saída

Para vertedouro retangular de parede delgada

$$y_a = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{1,838 \cdot B}\right)^2}$$

Onde:

y_a = Altura do líquido na saída do vertedouro (m)

Q = Vazão de projeto (m³/s)

B = Largura do modulo de separação (m)

Determinação da altura do tubo de entrada:

$$C = a + \frac{(h - f + y_a)}{(\rho_o / \rho_a)}$$

Onde:

y_a = Altura do líquido na saída do vertedouro (m)

C = Altura do tubo de entrada (m)

f = Altura do flange de passagem para a câmara de saída e do septo interno (m)

h = Altura do vertedouro (m)

a = Altura do flange de passagem para a câmara separadora (m)

ρ_a = Densidade da água a 30 °C (kg/m³)

ρ_o = Densidade do óleo a 30 °C (kg/m³)

Cálculo do comprimento do canal:

$$A_H = B \cdot (L + L_{SEPT})$$

Onde:

A_H = Área total da superfície do separador (m²)

B = Largura do modulo de separação (m)

L = Comprimento do canal (m)

L_{SEPT} = Distância mínima do septo interno à câmara separadora (m)

Cálculo da altura de água na câmara de separação em regime estático:

$$h_o = \frac{V_o}{A_H}$$

e

$$h_a = h - \delta \cdot h_o$$

Onde:

A_H = Área total da superfície do separador (m²)

V_o = Velocidade de ascensão (m/s)

h = Altura do vertedouro (m)

h_o = Altura de óleo na câmara de separação (m)

h_a = Altura de água na câmara de separação (m)

δ =

Cálculo da altura total da caixa:

$$H_t = h_a + h_o + 0,10$$

Para 0,10 cm de folga

Onde:

h_o = Altura de óleo na câmara de separação (m)

ha = Altura de água na câmara de separação (m)

Comprimento total da caixa:

$$L_t = L_{CE} + L_{SEPT} + L_{CSP} + L_{CS}$$

Onde:

L_t = Comprimento total da caixa (m)

L_{CE} = Comprimento mínimo da câmara de entrada (m)

L_{SEPT} = Distância mínima do septo interno à câmara separadora (m)

L_{CS} = Comprimento da caixa (m)

L_{CSP} = Comprimento da caixa separadora (m)

Cálculo de remoção da matéria orgânica:

Como não se conhece a eficiência de remoção de um separador API, foi calculada sua eficiência a partir da sua concentração antes do tratamento e a concentração final que se deseja obter (concentração estabelecida pela resolução do CEPRAM), para calcular a eficiência de remoção, como mostrado na equação abaixo:

$$Eficiência (\%) = \frac{C_{afuente} - C_{efluente}}{C_{afuente}} \times 100$$

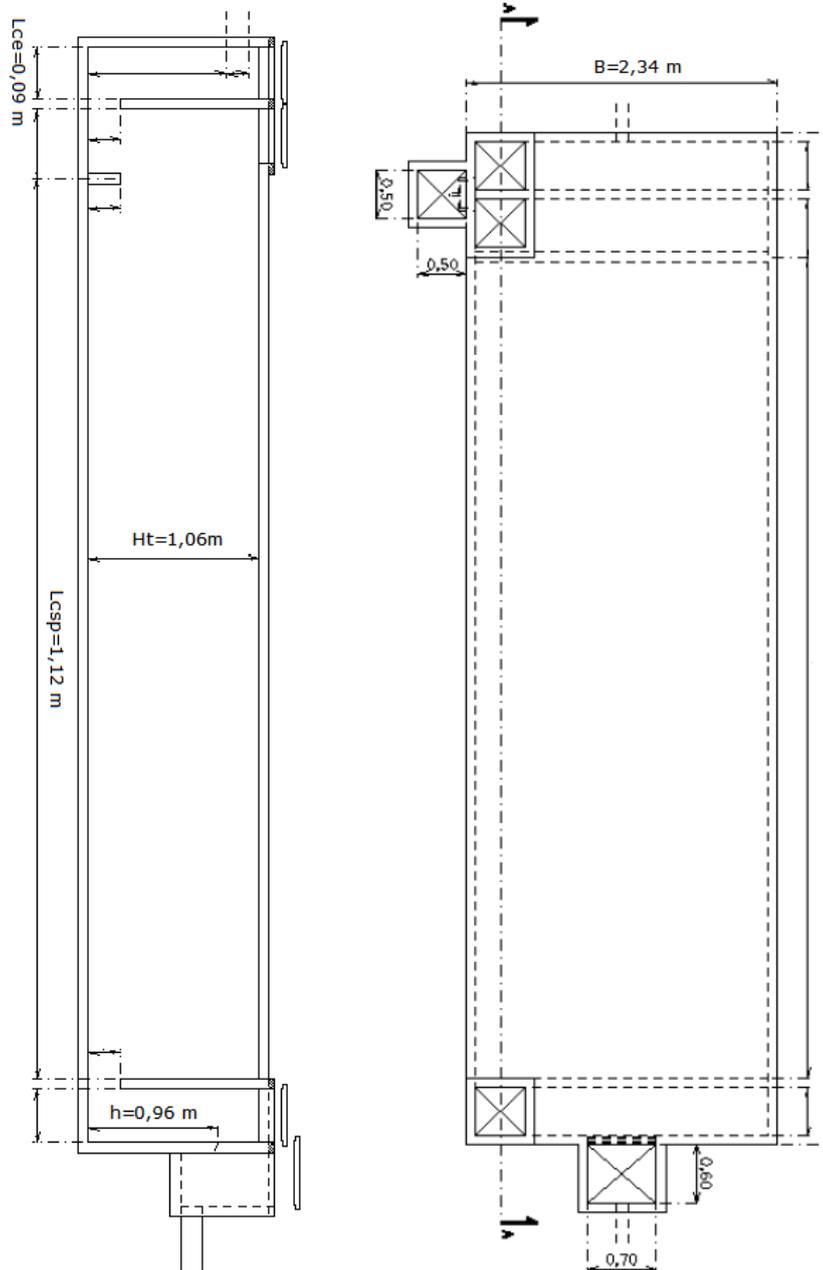
Onde:

$C_{afuente}$ = Concentração de óleos & graxas no início da estação (mg/L)

$C_{efluente}$ = Concentração de óleos & graxas no final da estação (mg/L)

Eficiência (%) = Eficiência de remoção de um separador API

Desenho dimensional - SAO



ANEXO B – Memorial de cálculo do decantador

Para a realização dos cálculos foram utilizados os critérios de cálculos contidos nas seguintes referências:

- Exemplo 5-9 do Metcalf e Eddy 2016;
- SILVESTRE, V. 2019;
- ABNT NBR 12216-1992.

Dados de projeto:

Vazão de operação (Q) = 12 m³/h

Taxa de escoamento superficial adotado (OR) = 40 m³/m².d

Quantidade de decantador (D_c) = 1

Número de canais (N_c) = 6 m

Profundidade

Cálculo da área de superficial do decantador:

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

Onde:

Q = Vazão de operação (m³/h)

OR = Taxa de escoamento superficial (m³/m².d)

A = Área superficial do decantador (m²)

Cálculo do comprimento do decantador

$$L = \frac{A}{D_c \cdot N_c}$$

Onde:

L = Comprimento do tanque (m)

A = Área superficial do decantador (m²)

D_c = Quantidade de decantador

N_c = Número de canais (m)

Cálculo do volume do tanque:

$$V = P_L \cdot D_c \cdot (L \cdot N_c)$$

Onde:

V = Volume do tanque (m^3)

D_c = Quantidade de decantador

N_c = Número de canais (m)

P_L = Profundidade lateral (m)

L = Comprimento do tanque (m)

Cálculo da taxa de escoamento superficial

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

Onde:

T_x = Taxa de escoamento superficial ($m^3/m^2.d$)

Q = Vazão de operação (m^3/h)

A = Área superficial do decantador (m^2)

Cálculo do tempo de detenção

$$TDH = \frac{V}{Q}$$

Onde:

TDH = Tempo de detenção (h)

Q = Vazão de operação (m^3/h)

V = Volume do tanque (m^3)

Cálculo da remoção de SS e MS

Pela equação (5-45) do livro Metcalf e Eddy (2016):

$$R = \frac{t}{a + b \cdot t}$$

Onde:

R = Eficiência de remoção esperada

t = Tempo de detenção nominal (h/d)

a, b = Constantes empíricas

Valores típicos das constantes empíricas da equação (5-45) são como segue:

Tabela AN. B1 - Constantes empíricas.

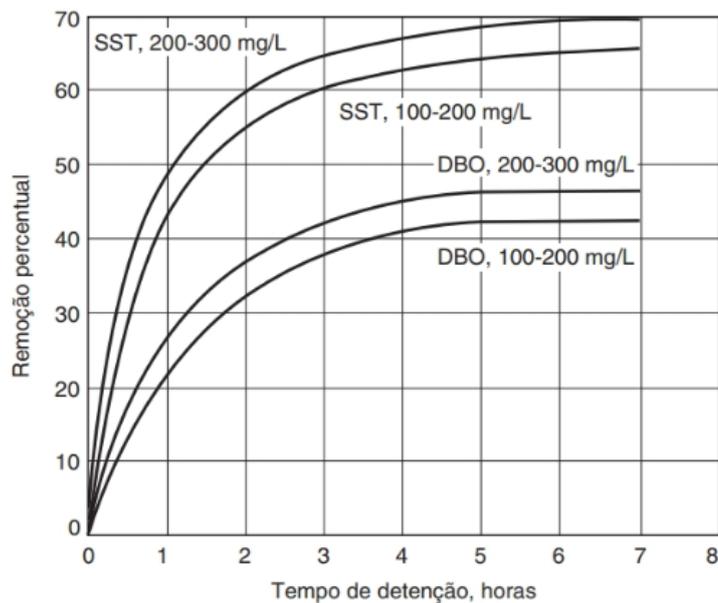
Item	b	a
DQO	0,02	0,018
SST	0,014	0,0075

Fonte: Metcalf e Eddy (2016).

No decantador, tem-se a remoção de SST e uma pequena parte de DQO, então, para o cálculo da remoção de SS e MS presentes no efluente, foram considerados os valores das constantes empíricas do item SST e para o cálculo da eficiência de remoção do DQO foram consideradas as constantes empíricas de DQO.

Calculado o valor da eficiência de remoção, foram encontrados 70% e 48,5% respectivamente. Pela Figura 21, pode-se perceber que a máxima eficiência de um decantador é de 70% em remoção.

Figura AN. B1 - Remoção de DQO e SST de um decantador.



Fonte: Metcalf e Eddy (2016).

Com o valor da eficiência encontrada pela equação acima, foi possível calcular a concentração de MS e SS presentes no efluente pela equação:

$$Eficiência (\%) = \frac{C_{afuente} - C_{efluente}}{C_{efluente}} \times 100$$

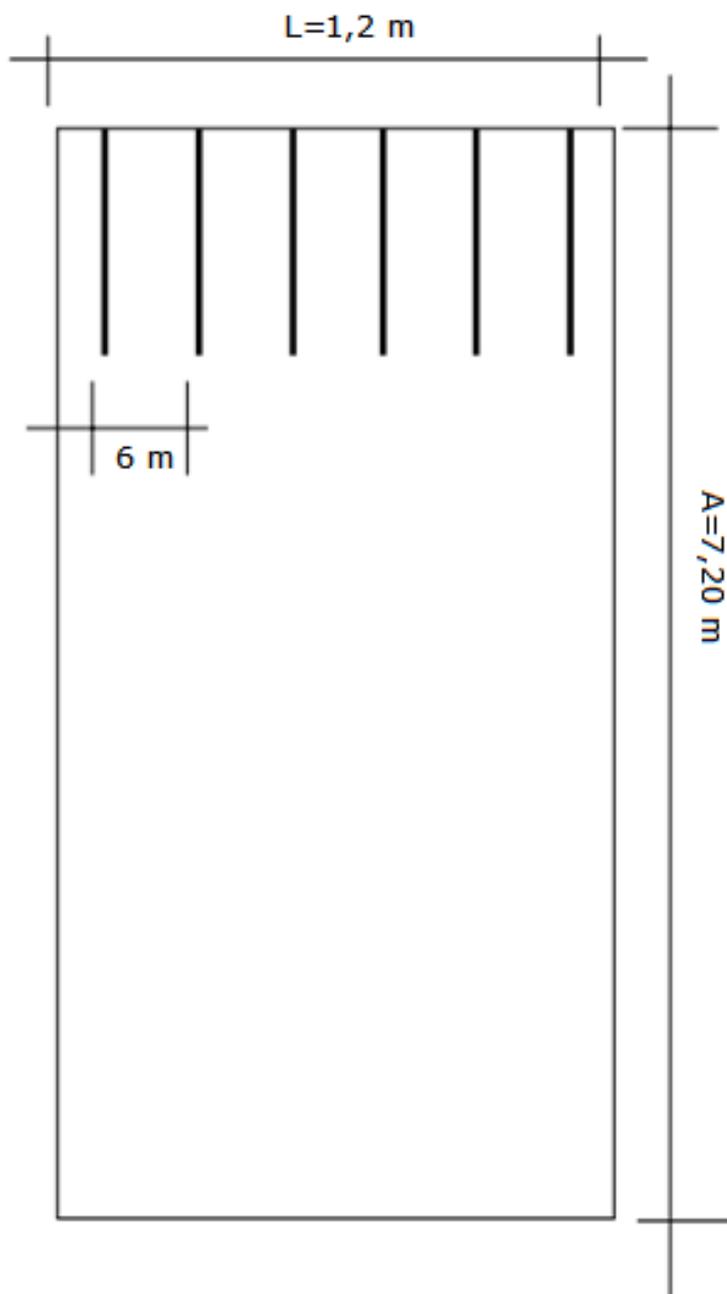
Onde:

$C_{afuente}$ = Concentração de MS e SS no início da estação (mg/L)

Eficiência (%) = Eficiência de remoção calculada pela equação (5-45) do livro Metcalf e Eddy (2016) e seu valor encontrado foi de 70% e 48,5% respectivamente.

$C_{efluente}$ = Concentração de MS e SS no final da estação (mg/L)

Desenho dimensional - decantador



ANEXO C – Memorial de cálculo do reator anaeróbio

Para a realização do cálculo foi utilizado os critérios de cálculos contidos nas seguintes referências:

- Exemplo 10-3 do Metcalf e Eddy 2016;
- LAMO, P.; DIAS, N. (2019).

Dados de projeto:

Vazão de operação (Q) = 12 m³ / h

Demanda química de oxigênio (DQO) = 2200 mg/L

Cálculo do volume de processo do reator

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

Onde:

A = Área de seção transversal do reator (m²)

Q = Vazão de operação (m³/h)

v = Velocidade ascendente máxima (m / h)

$$V_v = A \cdot H$$

Onde:

V_v = Volume do reator (m³)

H = Altura (m)

A = Área de seção transversal do reator (m²)

Cálculo do volume do reator com base na carga orgânica aplicada

$$V_{COA} = \frac{Q \cdot S_o}{COA}$$

Onde:

V_{COA} = Volume do reator com base na carga orgânica aplicada (m^3)

H = Vazão de operação (m^3)

S_O = Concentração da carga orgânica (kg/m^3)

COA = Carga orgânica de projeto adotado ($kg/m^3 \cdot d$)

Cálculo do tempo de detenção hidráulica do processo

$$t_{DH} = \frac{V_{COA}}{Q}$$

Onde:

t_{DH} = Tempo de detenção hidráulica (d)

V_{COA} = Volume do reator com base na carga orgânica aplicada (m^3)

Q = Vazão de operação (m^3 / h)

Cálculo das dimensões do reator

$$A_r = L \cdot W = 2 \cdot W \cdot (W) = 2 \cdot W^2$$

Onde:

A_r = Área do reator (m^2)

L = Comprimento (m)

W = Largura (m)

$$A_r = \frac{V_{COA}}{H}$$

Onde:

V_{COA} = Volume do reator com base na carga orgânica aplicada (m^3)

V_v = Volume do reator (m^3)

H = Altura do reator (m)

$$H_t = \text{altura do processo} + \text{altura de região clarificada} + \text{altura do separador}$$

Onde:

H_t = Altura total do reator (m)

Altura do processo (m) - valor adotado

Altura da região clarificada (m) - valor adotado

Altura do separador (m) - valor adotado

Cálculo de remoção da matéria orgânica:

A eficiência média esperada para remoção de DQO segundo Von Sperling (1995), é dada pela Tabela 28.

Tabela AN. C1 - Eficiência média de remoção por Von Sperling (2002).

Eficiência média de remoção (%)	
Parâmetro	Eficiência média de remoção (%)
DQO	90-95

Fonte: Von Sperling (2002).

Utilizando a eficiência de remoção de 92,5%, foi possível calcular a concentração final de DQO no efluente, pela equação abaixo.

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{C_{\text{afuente}} - C_{\text{efluente}}}{C_{\text{afuente}}} \times 100$$

Onde:

Eficiência (%) = Eficiência de remoção

C_{afuente} = Concentração de DQO no início da estação (mg/L)

C_{efluente} = Concentração de DQO no final da estação (mg/L)

Já para a remoção de SST, foi utilizada sua remoção média segundo a referência de Marcos V. Sperling, como mostrado na Tabela 29.

Vale lembrar que uma parte de SST e DQO foi removida no decantador. Os cálculos realizados são com os valores de concentração após o decantador.

Tabela AN. C2 - Eficiência média de remoção de SST segundo Marcos V. Sperling (2010).

Eficiência média de remoção (%)	
Parâmetro	Eficiência média de remoção (%)
SST	63

Fonte: Marcos V. Sperling (2010).

Utilizando o valor da eficiência média de remoção de 63%, foi possível calcular o valor de SS e MS presentes no efluente pela equação:

$$Eficiência (\%) = \frac{C_{afuente} - C_{efluente}}{C_{afuente}} \times 100$$

Onde:

Eficiência (%) = Eficiência de remoção

$C_{afuente}$ = Concentração de SST no início da estação (mg/L)

$C_{efluente}$ = Concentração de SST no final da estação (mg/L)

Desenho dimensional - reator anaeróbio

