

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

JAQUELINE BEATRIZ FORMENTINI

Dimensionamento de uma estação de tratamento de efluente de uma cervejaria

Lorena
2020

JAQUELINE BEATRIZ FORMENTINI

Dimensionamento de uma estação de tratamento de efluente de uma cervejaria

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (USP) como requisito parcial para conclusão da Graduação do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. MSc. Marcos Villela Barcza

Versão Original

Lorena

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Formentini, Jaqueline Beatriz

Dimensionamento de uma estação de tratamento de
efluente de uma cervejaria / Jaqueline Beatriz
Formentini; orientador Marcos Villela Barcza. -
Lorena, 2020.
64 p.

Monografia apresentada como requisito parcial
para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia
Química - Escola de Engenharia de Lorena da
Universidade de São Paulo. 2020

1. Cerveja. 2. Dimensionamento. 3. Efluente. 4.
Estação de tratamento. I. Título. II. Barcza, Marcos
Villela, orient.

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo carinho, afeto, dedicação e cuidado que me deram durante toda a minha vida. Esta monografia é a prova de que todo seu investimento e dedicação valeram a pena.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado força e saúde para superar todas dificuldades.

Aos meus pais Alexandre Formentini e Cleide Formentini, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória.

Ao meu gestor de estágio, Wagner Malandrim, por todo o suporte na escolha do tema desta monografia, incentivos e conhecimentos durante meu período de estágio.

A Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP), pela oportunidade de realizar o curso de Engenharia Química.

Ao meu orientador Prof. MSc. Marcos Villela Barcza, pela orientação e apoio na elaboração desta monografia.

A todos os professores por me proporcionarem o conhecimento e dedicação, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada!

“Não espere atingir suas metas para sentir orgulho de você. Comemore e sinta orgulho em cada pequeno passo que você dá na direção delas.”

(Vinícius Aguiar)

RESUMO

FORMENTINI, J. B. **Dimensionamento de uma estação de tratamento de efluente de uma cervejaria**. 2020. 64 p. Monografia (Trabalho de Graduação) – Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

A cerveja é um produto muito consumido no mercado mundial. Em sua fabricação é necessário grande quantidade de água, o que, conseqüentemente, gera grande quantidade de efluente. Este efluente necessita de um tratamento prévio antes de seu descarte em um corpo receptor, evitando prejuízos ao meio ambiente. Parâmetros como pH, DBO, DQO, sólidos totais, nitrogênio, temperatura, entre outros fatores, são importantes serem analisados antes do descarte do efluente em um meio receptor. Este trabalho teve como objetivo escolher os processos e dimensionar uma estação de tratamento de efluente de uma cervejaria, minimizando os impactos causados pelo efluente ao meio receptor. Para o desenvolvimento da monografia, utilizou-se de uma pesquisa bibliográfica exploratória, a fim de ter um amplo entendimento em relação ao assunto da fabricação da cerveja, a composição de um efluente de cervejaria, estação de tratamento de efluente e suas operações unitárias. Com base nas possibilidades estudadas de processos, foram selecionados os equipamentos e realizado o dimensionamento para atender a necessidade de tratamento de efluentes de uma cervejaria de porte médio que produz, aproximadamente, 100 mil litros de cerveja por mês, com a geração de 32,9 m³/d de efluentes. Através da discussão das vantagens e desvantagens de cada processo, foi escolhido um sistema de tratamento composto por gradeamento (seção de escoamento de 0,41 m² e largura 1,35 m), caixa de areia (área de 0,83 m², largura 2,73 m, comprimento de 11,17 m), caixa de gordura (volume de 0,206 m³, área de 0,15 m², comprimento de 0,474 m, largura de 0,316 m e altura de 1,37 m), tanque de equalização (volume de 33 m³, altura de 3 m, área de 11 m², diâmetro de 3,74 m), reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) (volume de 8,225 m³, altura de 4,00 m, área de 2,06 m², largura e comprimento de 1,43 m), filtro aeróbio submerso (volume de 6,8 m³, altura de 3,0 m, área da base de 2,26 m², diâmetro de 1,70 m) e decantador (volume de 5,27 m³, altura de 2,5 m, área da base de 2,11 m², diâmetro de 1,63 m). Portanto, foi possível realizar as escolhas e dimensões dos equipamentos da estação de tratamento de efluentes capaz de atender as necessidades da empresa quanto às exigências da legislação.

Palavras-chave: Cerveja. Dimensionamento. Efluente. Estação de Tratamento.

ABSTRACT

FORMENTINI, J. B. **Design of a brewery effluent treatment plant.** 2020. 64 p. Monography (Graduation Paper) – Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo, Lorena, 2020.

Beer is a highly consumed product in world market. Its production requires a huge amount of water, which, consequently, generates a large volume of effluent. This effluent needs a previous treatment before its discard in a receiving body, avoiding harming the ecosystem. Parameters such as pH, BOD, COD, full solids, nitrogen, temperature, among others, are essentials to be analyzed before the effluent is disposed of in a receiving environment. This paper objective was to decide on the process and design for an effluent treatment plant in a brewery, diminishing the impacts caused by the effluent in the receiving mean. For the monography development, it was made the use of an exploratory bibliographic research, to have a wide understanding in beer production, brewery effluent composition, effluent treatment plants and its unitary operations. Based in the studied process possibilities, it was chosen assets and developed a sizing to attend the demand of effluent treatment in a medium-sized brewery that produces an average of 100 thousand liters of beer monthly, generating 32,9 m³/d of effluent. Through advantage and disadvantage debate over each process, it was elected a treatment system composed of railing system (flow section of 0,041 m² and width of 1,35 m), sandbox (area of 0,83 m², width of 2,73 m, length of 11,17 m), fat box (volume of 0,206 m³, area of 0,15 m², length of 0,474 m, width of 0,316 m and height of 1,37 m), equalization tank (volume of 33 m³, height of 3 m, area of 11 m², diameter of 3,74 m), anaerobic reactor of upward flow and sludge blanket (UASB) (volume of 8,225 m³, height of 4 m, area of 2,06 m², width and length of 1,43 m), aerobic filter (volume of 6,80 m³, height of 3,00 m, base area of 2,26 m², diameter of 1,70 m) and decanter (volume of 5,27 m³, height of 2,5 m, base area of 2,11 m², diameter of 1,63 m). Therefore, it was possible to make choices and sizes for the equipment to the effluent treatment plant enabling it to fulfill the company needs from the legal requirements.

Keywords: Beer. Design. Effluent. Treatment plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de fabricação da cerveja.....	16
Figura 2 - Etapas do tratamento de efluentes industriais.....	20
Figura 3 – Calha de Parshall.....	24
Figura 4 - Desenho esquemático de uma calha de Parshall e suas dimensões.....	25
Figura 5 – Gradeamento.....	26
Figura 6 – Caixa de areia vertical.....	28
Figura 7 – Caixa de gordura de concreto.....	29
Figura 8 – Tanque de equalização.....	30
Figura 9 – Decantador.....	32
Figura 10 – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e manta de lodo (UASB).....	34
Figura 11 – Biodisco.....	36
Figura 12 – Lodo ativado.....	38
Figura 13 – Filtros biológicos.....	39
Figura 14 - Biofiltro aeróbio submerso.....	41
Figura 15 - Filtro aeróbio submerso.....	42
Figura 16 - Layout da estação de tratamento.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do efluente de cervejarias.....	19
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens dos equipamentos anaeróbios.....	46

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEL	Escola de Engenharia de Lorena
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FAS	Filtro Aeróbio Submerso
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

%	por cento
mg	miligramas(s)
L	litro(s)
Nº	número(s)
°C	grau(s) Celsius
s	segundo(s)
m ³	metro(s) cúbico(s)
m	metro(s)
m ²	metro(s) quadrado(s)
mm	milímetro(s)
h	hora(s)
min	minute(s)
cm	centímetro(s)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE SIGLAS	9
LISTA DE SÍMBOLOS.....	10
SUMÁRIO	11
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1 CERVEJA	16
2.2 PROCEDIMENTO DE FABRICAÇÃO DA CERVEJA	17
2.3 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE GERADO POR UMA CERVEJARIA	19
2.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	20
2.4.1 Etapa de Recebimento do Efluente	22
2.4.2 Etapa de Tratamento Preliminar	22
2.4.3 Etapa de Tratamento Primário	22
2.4.4 Etapa de Tratamento Secundário	23
2.4.5 Etapa de Tratamento Terciário	24
2.5 OPERAÇÕES UNITÁRIAS NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO.....	24
2.5.1 Processos físicos	24
2.5.1.1 Calha de Parshall	25
2.5.1.2 Gradeamento ou peneiramento	27
2.5.1.3 Caixa de areia	28
2.5.1.4 Caixa de gordura.....	30
2.5.1.5 Tanque de equalização	31
2.5.1.6 Decantadores	32
2.5.2 Tratamentos químicos.....	33
2.5.2.1 Coagulação e floculação	34
2.5.2.2 Neutralização do pH	34
2.5.2.3 Cloração.....	34
2.5.3 Processos biológicos	34
2.5.3.1 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e manta de lodo (UASB)	35
2.5.3.2 Biodiscos	37
2.5.3.3 Lodos ativados.....	38
2.5.3.4 Filtro biológico percolador	40
2.5.3.5 Biofiltro aeróbio submerso	41
2.5.3.6 Filtro aeróbio submerso (FAS).....	42
3 METODOLOGIA.....	44

3.1	MÉTODO DE PESQUISA	44
3.2	MÉTODO TÉCNICO	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1	CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES.....	46
4.2	SELEÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO	46
4.3	DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO	49
4.3.1	Gradeamento e Caixa de areia	49
4.3.1.1	Escolha da Calha de Parshall	49
4.3.1.2	Cálculo do rebaixo Z à entrada da Calha Parshall	49
4.3.1.3	Cálculo da grade	49
4.3.1.4	Cálculo da Caixa de areia	50
4.3.2	Caixa de gordura	51
4.3.3	Tanque de equalização.....	52
4.3.4	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e manta de lodo.....	52
4.3.5	Filtro aeróbio submerso	53
4.3.6	Decantador	54
4.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	55
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58
	ANEXOS.....	63
	ANEXO A – Capacidade e largura nominal da Calha Parshall	63
	ANEXO B – Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.....	64
	ANEXO C – Tempo de detenção hidráulica.....	64

1 INTRODUÇÃO

Um assunto muito abordado atualmente é a poluição das águas. A água é um recurso finito e essencial para a vida de todos os seres vivos na Terra, sendo assim, é essencial a sua preservação.

Cada atividade produz poluentes característicos que podem comprometer a qualidade do corpo receptor. Um dos motivos que contribuem para esta contaminação são os despejos de lixo e esgotos domésticos. No Brasil, as cidades mais povoadas produzem uma grande quantidade de esgoto e os despejam sem um prévio tratamento nos corpos receptores. Como consequência disso, o país possui uma elevada taxa de poluição hídrica, o que dificulta e encarece a captação para o abastecimento.

Outro motivo muito importante para a poluição hídrica são os despejos industriais, que causam uma maior contaminação devido a quantidade de efluente gerado.

Um dos ramos industriais que apresenta uma alta taxa de descarte de efluentes são as industriais de bebidas, que incluem as cervejarias. Nestas indústrias, há um elevado consumo de água durante o processamento da bebida e limpezas de equipamentos, gerando altas quantidades de efluentes industriais.

Como exemplo, uma cervejaria de médio porte produz 100 mil litros de cerveja por mês e é capaz de gerar uma quantidade de efluente, em média, dez vezes mais que sua produção. Desta forma, esta cervejaria descarta 1 milhão de litros de efluentes por mês.

No Brasil, para se descartar efluentes em qualquer recurso hídrico, existe uma legislação a ser empregada. Na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N° 430/2011 são determinados os parâmetros máximos e mínimos na qual o efluente possa ser descartado. Existem vários parâmetros, entre eles a quantidade de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), permitida para descarte nos valores entre 600 e 3671 mg/L.

A partir deste ponto encontra-se o problema: quais as dimensões adequadas de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) para uma cervejaria, com a finalidade de adequar o efluente aos valores necessários para o descarte a corpos receptores.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Selecionar os processos e dimensionar os equipamentos de uma estação de tratamento de efluentes para uma cervejaria de médio porte.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Estudar o processo de tratamento de efluentes e suas operações unitárias;
- b) Determinar a composição do efluente da cervejaria, de acordo com o embasamento teórico;
- c) Escolher o sistema de tratamento mais adequado;
- d) Determinar as dimensões das operações unitárias dentro do sistema escolhido.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CERVEJA

Genericamente, define-se cerveja como uma bebida alcoólica carbonatada, produzida a partir da fermentação do malte de cevada, lúpulo, levedura e água de boa qualidade, podendo, também, ser utilizada diversas outras matérias primas como arroz, milho e trigo (SILVA, 2005).

A princípio, a cerveja é a mesma em qualquer lugar do mundo, embora hoje já pode-se contar com uma diversidade muito grande de tipos de cerveja, que se diferenciam através de adaptações nos métodos de produção, receitas, ingredientes, cores, aromas e sabores (FORMENTINI *et al.*, 2012).

As principais matérias-primas para a fabricação da cerveja são:

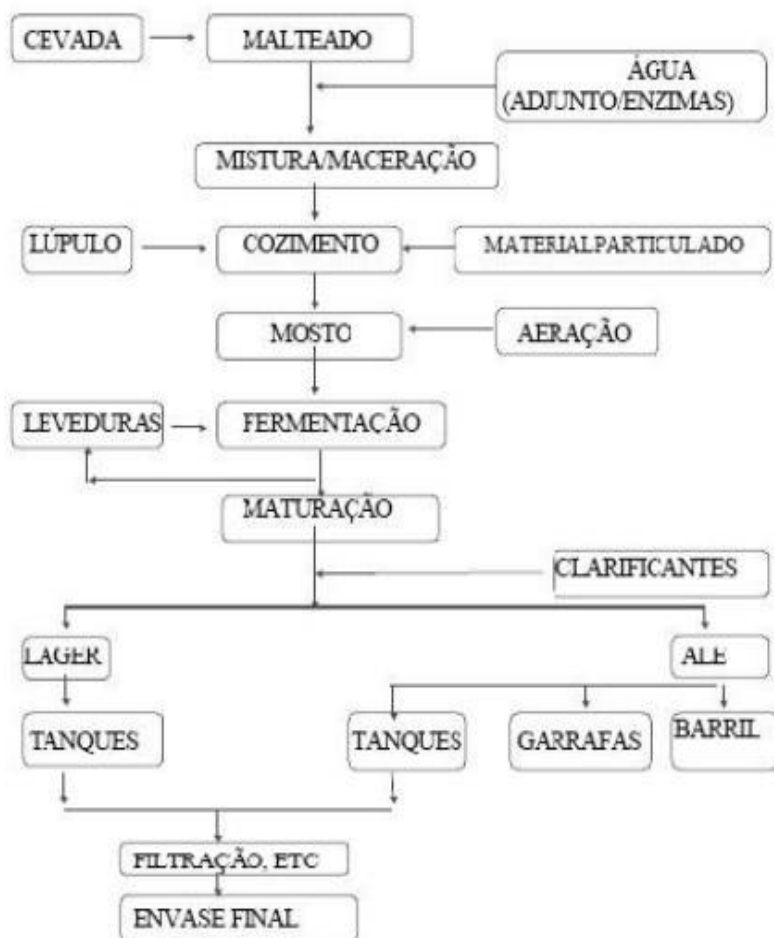
- a) água: a cerveja é constituída de 90 a 95% de água, sendo que ela influencia completamente na sua qualidade. O fator mais importante é o seu pH, o ideal é a faixa entre 6,5 a 7,0, mas difere a cada tipo de cerveja a ser produzido;
- b) malte: é o responsável pela cor e influência no sabor e aroma. Qualquer cereal pode ser malteado, como a aveia, o milho, o trigo e a cevada, esta por sua vez é a mais utilizada por dispor de um alto teor de proteínas necessários à levedura;
- c) lúpulo: é uma planta, sendo suas flores utilizadas para contribuir principalmente com o amargor, aroma e sabor. No entanto, ele também ajuda na retenção da espuma, conservação, remoção de proteínas indesejadas, contribuindo para uma cerveja mais clara;
- d) levedura: são microrganismos que transformam os açúcares presentes no mosto em álcool e gás carbônico, podendo também produzir ésteres que dão acabamento na cerveja. Existem dois tipos: alta fermentação (“Ale”) e baixa fermentação (“Lagers”).

2.2 PROCEDIMENTO DE FABRICAÇÃO DA CERVEJA

O procedimento de produção da cerveja desenvolvidas por grandes cervejarias é dividido nas seguintes operações unitárias: moagem do malte, mosturação do malte, filtração do mosto, fervura do mosto, clarificação, fermentação, maturação e carbonatação, envase e pasteurização da cerveja, entre outros processos auxiliares. (VENTURINI, 2010).

A figura 1 ilustra o fluxograma geral do processo de fabricação da cerveja.

Figura 1 - Fluxograma de fabricação da cerveja



Fonte: (Engineering Foods, 2011)

Primeiramente, o malte passa pelo processo de moagem que tem como objetivo romper a casca do malte, expondo seu amido interno à ação enzimática durante a mosturação. Essa etapa proporciona a rapidez das transformações físico-químicas, melhor rendimento, clarificação e qualidade final da cerveja (DRAGONE; SILVA, 2010). Dentre os equipamentos que podem ser executadas estão moinhos de rolos, discos ou martelos. (VENTURINI, 2010).

A mosturação, também denominada de brasagem, é transformação dos insumos em mosto por meio de aquecimento e agitação. Nesta etapa, controla-se rigorosamente duração e temperaturas de processo, com o objetivo de favorecer as reações bioquímicas que extraem os açúcares fermentáveis e demais componentes do malte. (BUSCH, 2015).

Após, o mosto é filtrado para separar o bagaço de malte, que é lavado com o uso de água quente para extrair ao máximo os açúcares restantes; e a parte líquida de real interesse para o processo de manufatura (BLEIER, et al, 2013).

A próxima etapa é a fervura onde o mosto é cozido ocorrendo a desnaturação proteica, concentração do mosto, desenvolvimento de cor, aroma e sabor da cerveja. Nessa etapa ocorre a adição do lúpulo ao iniciar a fervura, para conferir o amargor, e ao final da fervura, para conferir o aroma característico de cerveja (PAPAZIAN, 2014). Passado esse tempo, o mosto é separado do lúpulo e resfriado.

Com a adição da levedura, é iniciado o processo de fermentação. Nessa etapa do processo, ocorre a liberação de CO₂ e calor (SANTOS, 2008). Passados 7 a 10 dias, a cerveja fermentada passa pela etapa de maturação. A cerveja é resfriada a 0°C e armazenada em uma adega de 3 a 6 semanas. É neste período que acontece a clarificação, separação e precipitação de resinas do lúpulo e a melhoria do sabor.

No final do processo, a indústria realiza a filtração do líquido antes de enviar para a linha de envase. E, logo após, a cerveja é carbonatada, engarrafada e pasteurizada a 60°C (SHREVE, BRINK, 1997).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE GERADO POR UMA CERVEJARIA

A utilização da água na indústria de cerveja pode possuir várias funções, entre elas se destacam a utilização como matéria prima e o seu uso durante a limpeza de equipamentos e da planta. É a partir deste momento que ela se transforma em um inconveniente.

Uma ETE é classificada em: pequeno porte se sua vazão for menor do que 60 L/s, médio porte se a vazão for entre 60 e 200 L/s e de grande porte se for acima de 200 L/s. A produção de cerveja gera aproximadamente de 5 a 10 vezes de efluentes a cada quantidade de cerveja produzida (ESSENCIAL, 2016).

Desta forma uma cervejaria de médio porte, produzindo 100.000 L/mês ($100 \text{ m}^3/\text{mês} = 3.29 \text{ m}^3/\text{dia}$) gera em torno de 1.000.000 litros/mês ($1.000 \text{ m}^3/\text{mês} = 31,9 \text{ m}^3/\text{dia}$), de efluente, considerando uma produção de efluentes 10 vezes maior que a quantidade de cerveja produzida (ESSENCIAL, 2016).

Os efluentes gerados na cervejaria possui restos de cerveja, levedura, resíduos do mosto, resíduos de limpeza da planta, água residual suja e quente, resíduos das garrafas, materiais solúveis (adesivo e sais) e materiais insolúveis (papel, vidro, lodo) (KUNZE, 2014).

Todos estes resíduos no efluente da cervejaria contribuem para a modificação dos parâmetros de controle do efluente, sendo que na indústria de bebida são analisados os seguintes parâmetros: pH, sólidos totais, fósforo, nitrogênio, óleos e graxas, temperatura, cor, DBO e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (GIORDANO, 2014).

Todos os efluentes precisam ser tratados previamente antes de seu descarte, seguindo os parâmetros estabelecidos pela legislação. No Brasil, os valores são determinados pelo CONAMA, na Resolução N° 357/2005, que posteriormente sofreu mudanças e complementações pelas resoluções 410/2009 e 430/2011.

Os valores de concentração do efluente em cervejarias podem ter uma grande variação de empresa para empresa, pois dependem dos processos e equipamentos que determinadas fábricas utilizam. Na tabela 1 é possível observar os valores médios da composição do efluente.

Tabela 1 – Composição do efluente de cervejarias

Parâmetro	Unidade	Média	Mínimo	Máximo
KMnO ₄	mgO ₂ /L	2231	869	4840
DQO	mg/L	2628	933	5515
DBO	mgO ₂ /L	1718	600	3671
Material decantável	mg/L	15,8	2,5	61,6
Resíduo de ignição	mg/L	208,6	45,3	1236,5
Nitrogênio	mg/L	12,5	4,2	29,6
Nitrogênio Kjeldahl	mg/L	58,2	26,6	126,8
Número de Basicidade Total	mg/L	70,2	37,1	137,2
NH ₄ -N	mg/L	2,8	0,3	21,1
NO ₂ -N	mg/L	1,3	0,1	20,7
NO ₃ -N	mg/L	12,3	0,9	26,2
Ortho-P	mg/L	10,6	0,8	41
Total P	mg/L	11,8	1,0	33,6

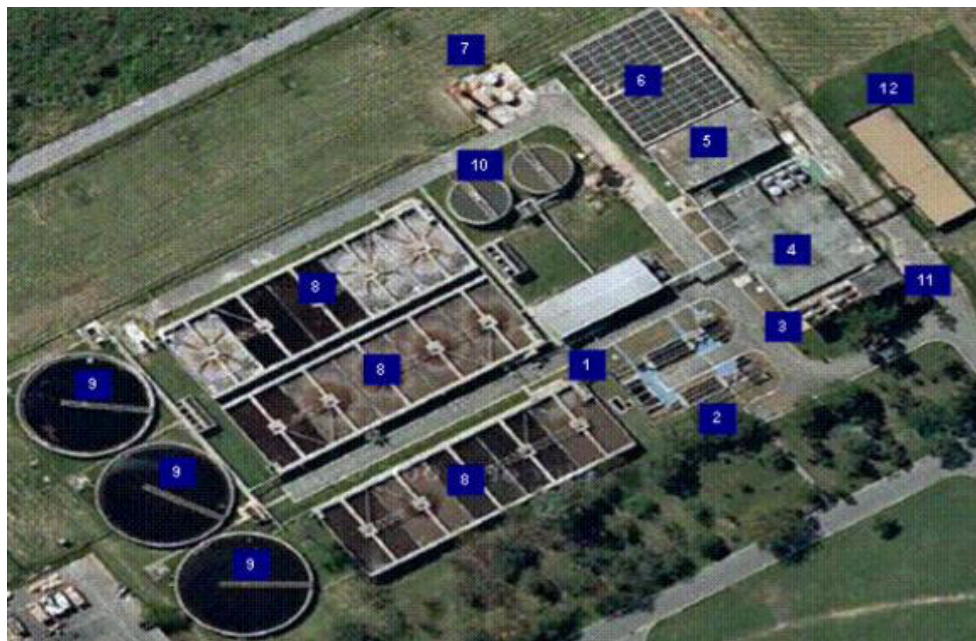
Fonte: (EBLINGER, 2009)

2.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A instalação de uma estação de tratamento de efluentes tem o objetivo de remover poluentes presentes no efluente para que possa atender aos valores exigidos pela legislação, retornando-o ao corpo d'água sem comprometer a sua qualidade. (BARBOSA, 2012).

Para se conseguir uma boa eficiência, as técnicas de tratamento são divididas em níveis: recebimento do efluente, tratamento preliminar, primário, secundário e terciário, representadas na figura 2.

Figura 2 - Etapas do tratamento de efluentes industriais



Fonte: Barbosa, 2012

- Recebimento o efluente: (1) caixas de recebimento do efluente bruto e diluído.
- Tratamento Preliminar: (2) gradeamento e caixas de areia. (3) peneiras estáticas. (4) tanques de equalização.
- Tratamento primário: (5) tanque de acidificação, sedimentação, decantação, coagulação/floculação e flotação.
- Tratamento secundário: (6) reatores anaeróbios. (7) flare atmosférico. (8) reatores aeróbios.
- Tratamento terciário: (9) decantadores. (10) adensadores. (11) centrífugas. (12) Tanque de emergência utilizado se o efluente bruto estiver fora de especificação.

2.4.1 Etapa de Recebimento do Efluente

A primeira etapa de uma estação de tratamento de efluentes é o recebimento do efluente a ser tratado. Nesta etapa é muito importante avaliar as características do efluente bruto, para que não comprometa o restante do tratamento.

Algumas análises são feitas nessa etapa como a de DQO, sólidos sedimentáveis totais, fósforo total, nitrogênio total, pH e óleos e graxas, a fim de se determinar as concentrações contidas nesse efluente.

2.4.2 Etapa de Tratamento Preliminar

Após a etapa prévia de recepção, o efluente bruto passará para a etapa de tratamento preliminar, que objetiva apenas a remoção de sólidos grosseiros do sistema e é constituído apenas por processos físicos. Nesta etapa não há remoção de DBO, já que se constitui apenas da preparação do efluente. Nessa etapa, podem ser empregadas o gradeamento, o peneiramento e a neutralização. (CAMMAROTA, 2011).

E em seguida, o efluente passa por caixas de areia e a etapa de desarenação, na qual ocorre a remoção da areia por sedimentação, ao mesmo tempo que a matéria orgânica, de sedimentação lenta permanece em suspensão e é tratada posteriormente nas próximas etapas (SANEPAR, 2005).

Em seguida o efluente passa para o tanque de equalização, que tem por objetivo homogeneizar o efluente e equalizar as vazões.

2.4.3 Etapa de Tratamento Primário

Concluída a etapa de pré-tratamento, o efluente passa pelo tratamento primário, que tem por objetivo remover sólidos sedimentáveis e material flotantes, e, também preparar o efluente para o posterior tratamento. A eficiência de remoção de sólidos grosseiros é cerca de 40 a 70% e a de DBO em torno de 25 e 35%. Esta etapa é composta por mecanismos físicos de remoção

podendo compreender técnicas de sedimentação, decantação, coagulação/floculação, flotação e precipitação química (CAMMAROTA, 2011).

Os sólidos sedimentáveis são separados por meio de tanques sedimentadores ou decantadores. O efluente flui através dos decantadores, fazendo com que sólidos de maior densidade sedimentem ao fundo, obtendo-se o lodo primário bruto. Já os sólidos com menor densidade como graxas e óleos, são tidos como materiais flutuantes e removidos na superfície. (VON SPERLING, 2005)

2.4.4 Etapa de Tratamento Secundário

O tratamento secundário engloba processos biológicos (aeróbicos e anaeróbios). Destina-se à remoção sólidos, matéria orgânica dissolvida e em suspensão do efluente e nutrientes como nitrogênio e fósforo. Esta etapa é constituída apenas por mecanismo biológico, através de reações bioquímicas dos microrganismos (BAIRD, 2012).

Há uma grande variedade de microrganismos que fazem parte do processo, sendo eles: bactérias, protozoários, fungos, dentre outros. Este processo biológico ocorre através do contato entre os microrganismos e a matéria orgânica do efluente, que servirá de alimento aos microrganismos. (VON SPERLING, 2005).

No tratamento anaeróbico não utiliza oxigênio, portanto a principal fonte de produção de energia para os microorganismos passa a ser o nitrato. Os sulfatos serão convertidos em sulfetos e, então, o dióxido de carbono convertido em metano, resultando na degradação da matéria orgânica (SANEPAR, 2005).

Já no tratamento aeróbico é realizado em reatores aeróbios. Os microrganismos aeróbios metabolizam a matéria orgânica presente no efluente, convertendo-a em gás carbônico, água e duas novas células (crescimento e reprodução dos microrganismos) (BARBOSA, 2012).

Nos tanques de decantação ocorrem a sedimentação dos sólidos em suspensão presentes nos reatores aeróbios, clarificando o efluente. Parte do lodo volta aos reatores aeróbios e a outra parte será tratada.

2.4.5 Etapa de Tratamento Terciário

O tratamento terciário visa melhorar a qualidade dos efluentes originários dos tratamentos anteriores, sendo geralmente empregados na redução de sólidos suspensos, micropoluentes, carga orgânica biodegradável e não biodegradável, sais minerais, cor e nutrientes, por meio de processos como, filtração, lagoas de maturação, ultrafiltração, adsorção com carvão ativado, entre outros (CAMMAROTA, 2011).

2.5 OPERAÇÕES UNITÁRIAS NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO

Para efetuar o tratamento é necessária uma sequência de processos e operações unitárias. A escolha do processo de tratamento depende das características de cada efluente e a capacidade de ser descartado no meio receptor sem alterar a qualidade, seguindo a legislação.

Estes processos podem ser classificados em:

- a) processos físicos;
- b) tratamentos químicos;
- c) processos biológicos.

2.5.1 Processos físicos

Estes processos têm o objetivo de remover sólidos grosseiros, sedimentáveis (como a areia) e flutuantes, para proteger as outras unidades de tratamento, equipamentos de transporte (bombas e tubulações) e os corpos que receberam este efluente.

A maioria das vezes os processos físicos são denominados como tratamento preliminar, são realizados por grades, peneiras, caixas de areia, decantadores, crivos, caixas de gordura, desintegradores e centrifugadores.

2.5.1.1 Calha de Parshall

Uma das formas mais clássicas de medir vazão de líquidos em canais abertos baseia-se em colocar uma calha com certas dimensões, que provoque uma aceleração do fluxo no local, e desta maneira, efetua-se a medição de nível da água, indicando a vazão. (DELMÉE, 2013).

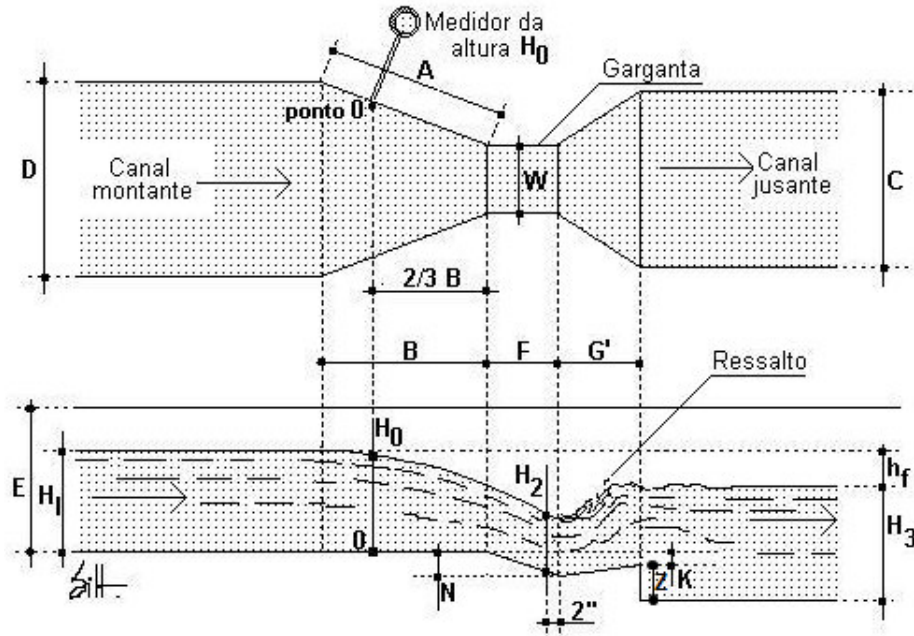
A calha Parshall (Figura 3) possui uma seção de entrada convergente, uma garganta e uma seção de descarga divergente. As seções dispõem de paredes laterais verticais e na seção de estrangulamento o fundo é inclinado no sentido da descarga. Elas são indicadas como medidores de vazão, no qual se associa a cada nível de água a uma certa vazão (NETO e FERNÁNDEZ, 2015).

Figura 3 – Calha de Parshall



Fonte: OPPENCHANNELFLOW, 2017.

Figura 4 – Desenho esquemático de uma calha de Parshall e suas dimensões



Fonte: VIANA, 2018.

As dimensões das calhas são definidas por tabela, na qual a vazão é calculada na equação

1.

$$Q_v = a \times H^n \quad (1)$$

Sendo que:

Q_v – vazão volumétrica (m^3/s);

H – altura da carga da calha (m);

a – dado de tabela (adimensional);

N – dado de tabela (adimensional).

Os valores de a e N são dados na tabela do anexo A.

Para o cálculo do rebaixo é utilizado a equação 2.

$$\left(\frac{Q_{min}}{Q_{max}}\right) = \left(\frac{H_{min}-Z}{H_{max}-Z}\right) \quad (2)$$

Sendo que:

Q_{min} – vazão volumétrica mínima (m^3/s);

Q_{max} – vazão volumétrica máxima (m^3/s);

H_{min} – altura da carga da calha mínima (m);

H_{max} – altura da carga da calha máxima (m);

Z – rebaixo (m).

2.5.1.2 Gradeamento ou peneiramento

É a etapa na qual ocorre a remoção de grandes sólidos, através de suas dimensões serem maiores do que o espaçamento entre as barras. De acordo com a NBR 12209 (2011), a classificação das grades de barras é de acordo com o espaçamento: grade grossa (40 a 100 mm), grade média (20 a 40 mm) e grade fina (10 a 20 mm). A figura 5 representa um sistema de gradeamento.

Já as peneiras podem ser classificadas do tipo tambor rotativo ou inclinada, e podem ter o espaçamento reduzido. (CAVALCANTI, 2009).

Figura 5 – Gradeamento



Fonte: BORGES, 2014.

Ao se calcular o dimensionamento das grades é calculada primeiro a área útil através da equação 3.

$$A_u = \frac{Q_{max}}{V} \quad (3)$$

Sendo que:

A_u – área útil da secção transversal (m^2);

V – velocidade (m/s).

Após é calculada a eficiência da grade (E) através da equação 4.

$$E = \frac{a}{(a+t)} \quad (4)$$

Sendo que:

E – eficiência da grade (%);

a – espaço entre barras (mm);

t – espessura das barras (mm).

E depois a seção de escoamento através da equação 5.

$$A = \frac{A_u}{E} \quad (5)$$

Sendo que:

A – área da secção transversal do canal até o nível d'água (m^2).

E por fim, a largura do canal da grade pela equação 6.

$$b = \frac{A}{H_{max}-Z} \quad (6)$$

b – largura do canal da grade (m).

2.5.1.3 Caixa de areia

É a etapa do tratamento em que acontece a remoção da areia através da sedimentação. Os grãos de areia se depositam no fundo do tanque, por conta de suas maiores dimensões e densidade, à medida que a matéria orgânica permanece em suspensão, seguindo para as etapas seguintes (OLIVEIRA; CARVALHO, 2008).

Sua finalidade é impedir que a areia seja carregada para os decantadores, o que causaria desgastes por abrasão nos equipamentos e tubulações; diminuir a obstrução nos equipamentos, e auxiliar no transporte do líquido.

A figura 6 representa uma caixa de areia vertical.

Figura 6 – Caixa de areia vertical



Fonte: SILVA, DANTAS e OLIVEIRA, 2019.

O dimensionamento pode ser realizado a partir da equação 7 da área de seção transversal (A).

$$A = \frac{Q_{max}}{v} \quad (7)$$

Após determinar a área, calcula-se a largura (B), através da equação 8.

$$B = \frac{A}{(H_{max} - Z)} \quad (8)$$

Finalmente, realiza-se o cálculo do comprimento (L), através da equação 9.

$$L = 22,5 \times (H_{máx} - Z) \quad (9)$$

2.5.1.4 Caixa de gordura

Possui o objetivo de separar gorduras e óleos, através da diferença de densidade, formando camadas que devem ser removidas periodicamente (GAUTO; ROSA, 2011).

A caixa de gordura (representada na figura 7) pode ser construída a partir de concreto, tijolo, ferro, fibrocimento e PVC. Seu funcionamento se baseia na flotação natural, a partir do fato de que as gorduras possuem uma massa específica menor do que a água.

Figura 7 – Caixa de gordura de concreto



Fonte: CONCRETO E TELAS, 2018.

Para dimensionar uma caixa de gordura, calcula-se primeiramente a área pela equação 10 (MENDES, 2018).

$$\text{Área (m)} = \frac{\text{Vazão } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{\text{Velocidade mínima de ascensão } \left(\frac{\text{m}}{\text{h}}\right)} \quad (10)$$

Após, calcula-se a largura e comprimento da caixa de gordura de acordo com a equação 11.

$$V = B \times L \times H \quad (11)$$

Sendo que:

B é a base;

L é o comprimento;

H é a altura.

2.5.1.5 Tanque de equalização

A equalização serve para regular a vazão e homogeneizar o efluente para as próximas seções, por conta do efluente sofrer variações das cargas e vazões ao longo de seu trajeto.

O tanque de equalização (figura 8) são responsáveis por: neutralizar despejos ácidos e alcalinos através da mistura deles, minimizar variações de vazão, minimizar variações de concentração, diluir compostos tóxicos e fornecer alimentação contínua aos processos de tratamento posteriores (FAVARETTO, 2010).

Figura 8 – Tanque de equalização



Fonte: BETINELI, 2011.

A seguir estão as equações utilizadas para o dimensionamento de um tanque de equalização. A equação 12 apresenta o cálculo do volume de equalização.

$$V_{eq} = (Q_e - Q_s) \times t \quad (12)$$

Sendo que:

V_{eq} é o volume de equalização;

Q_e é vazão de entrada do efluente bruto (m^3/h);

Q_s é vazão de saída do efluente bruto (m^3/h);

T é tempo.

Posteriormente, determinar a área, largura e comprimento do tanque de equalização, calculado pela equação 13.

$$V = A \times H \quad (13)$$

A – área da base (m^2);

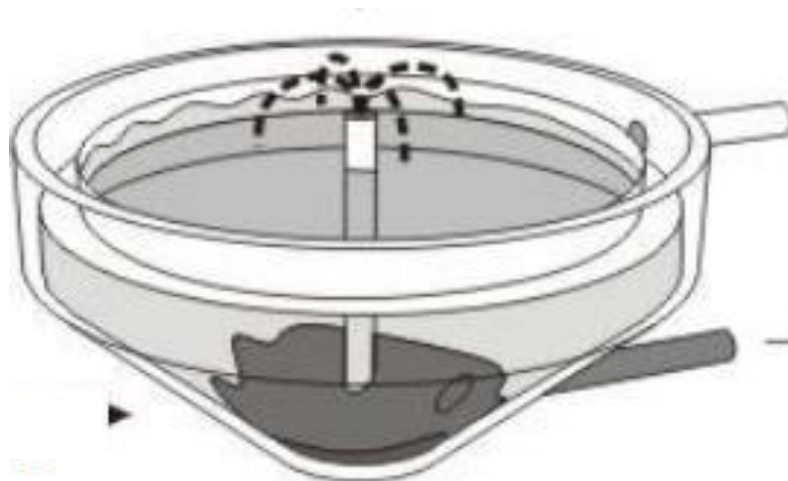
H – altura (m).

2.5.1.6 Decantadores

Os decantadores (figura 9) são equipamentos nos quais acontece a decantação dos elementos com maior densidade por ação da gravidade (CAVALCANTI, 2009).

Na escolha do decantador para ser usado em uma estação de tratamento de esgotos, a sedimentação é mais eficiente para tanques com capacidades maiores, permitindo que os sólidos sedimentem ao fundo, evitando-se, assim, o arraste de partículas indesejáveis para o líquido que prosseguirá para as próximas etapas.

Figura 9 – Decantador



Fonte: Adaptado de Jordão e Volschan Jr., 2011.

Para realizar o dimensionamento de decantadores, primeiro calcula-se o volume da câmara de sedimentação pela equação 14.

$$V_{us} = 150 + 0,20NC \quad (14)$$

Sendo que:

V_{us} – volume útil da câmara de sedimentação (L);

N – número de contribuintes na unidade;

C – volume de esgoto por pessoa por dia, anexo B.

2.5.2 Tratamentos químicos

Os tratamentos químicos são etapas nas quais ocorrem utilização de produtos químicos. Este processo é utilizado quando os outros processos (físico e biológico) não são suficientes para reduzir a característica requerida. Pode-se citar como exemplos: coagulação e floculação, neutralização do pH, cloração, precipitação química e oxidação química.

2.5.2.1 Coagulação e floculação

São processos seguidos, utilizados na remoção por precipitação química de material coloidal pelo uso de coagulantes e floculantes, que ajudam formando flocos que decantam ou flutuam, formando lodo que necessita de um descarte adequado (CAVALCANTI, 2009).

2.5.2.2 Neutralização do pH

A neutralização do pH é feita para ajustar a um valor ideal para a remoção de metais pesados, remoção de amônia e fósforo, oxidação de cianeto e ajuste do pH do efluente aos valores requeridos para lançamento em recursos hídricos. A correção é feita com o uso de ácidos e bases. (CARVALHO, 2012)

2.5.2.3 Cloração

A cloração é um método de desinfecção que age penetrando nas células dos microorganismos e reagindo com suas enzimas, destruindo-as.

A cloração também possui outras finalidades como, controle de odores, redução de carga orgânica, aumentar eficiência da decantação, controlar organismos patogênicos, auxiliar em processos de filtração, entre outros.

2.5.3 Processos biológicos

O tratamento biológico é eficiente na remoção da matéria orgânica. Ele tem como finalidade, reproduzir dentro dos reatores, os fenômenos biológicos que ocorrem na natureza, transformando componentes complexos em compostos simples (GEREMIAS, 2017).

As bactérias no efluente decompõe a matéria orgânica. Quando há oxigênio dissolvido, são as bactérias aeróbias que atuam na decomposição. Já quando não há o oxigênio, a decomposição acontece pelas bactérias anaeróbias. A diferença entre elas está no tempo de

processamento e nos produtos resultantes. A decomposição aeróbia precisa de menos tempo do que as anaeróbias e dela obtém gás carbônico, água, nitratos e sulfatos. Já em relação a decomposição anaeróbia é produzido a partir de gases sulfídrico, nitrogênio, metano, amoníaco e outros, que são malcheirosos. (GANGHIS, 2007).

Dos processos biológicos tem-se: Oxidação biológica (lodos ativados, filtros biológicos aeróbios, valos de oxidação, lagos de estabilização, reatores anaeróbios de fluxo ascendente ou de manta de lodo, lagoas anaeróbias e tanques sépticos) e digestão de lodo (aeróbia e anaeróbia, fossas sépticas) (JORDÃO; PESSOA, 2011).

2.5.3.1 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e manta de lodo (UASB)

O UASB é um reator fechado utilizado no tratamento de efluentes através do lodo formado por colônias de microorganismos anaeróbios, responsável por estabilizar a matéria orgânica.

Neste sistema, o líquido flui do fundo do reator para cima, fazendo com que a biomassa seja em parte adsorvida pelo leito de lodo e na sua parte superior há coleta de gás. O reator não possui necessidade de decantação prévia. Na figura 10 é representado este reator.

Figura 10 – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e manta de lodo (UASB)



Fonte: FIBRAV, 2018.

Os reatores UASB possuem como vantagem:

- sistema compacto;
- baixa produção de lodo;
- tolerância a elevadas cargas orgânicas;
- produção de gás combustível (metano);
- aplicabilidade em pequena e grande escala;
- baixo custo de implementação e operação;
- preservação da biomassa, sem alimentação do reator;
- baixas demandas de áreas e energia para o seu funcionamento;
- boa eficiência.

Suas desvantagens são:

- maior tempo de detenção hidráulica;
- eficiência em torno de 70% de remoção de DBO;
- baixa velocidade do crescimento de arqueas metanogênicas;
- baixa capacidade de remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos;
- necessidade de pós-tratamento para o efluente;
- a partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semeadura adaptado.

Para o dimensionamento empregam-se as equações 15 e 16.

$$V = Q \times \theta_h \quad (15)$$

$$A = V / H \quad (16)$$

Sendo que:

V – volume do reator (em m³);

Q – vazão média (em m³/h);

θ_h – tempo de detenção hidráulica (em h);

A é a área superficial do reator (em m²);

H é a altura do reator (em m).

A partir da área é possível calcular o comprimento, largura e altura do reator.

2.5.3.2 Biodiscos

São discos espaçados, que giram lentamente e mantêm metade do disco imerso no esgoto e a outra parte exposta ao ar. A biomassa cresce aderida aos discos, formando um biofilme. Ao contrário dos demais processos, nos quais o esgoto passa pelos microrganismos, neste são os microrganismos que passa pelo esgoto. (SPERLING, 2005).

O objetivo do biodisco (figura 11) é servir de superfície para o crescimento microbiano, possibilitando o contato da biomassa com o esgoto, mantendo-a nos discos e promover a aeração do esgoto.

Figura 11 – Biodisco



Fonte: OLIVA, 2011.

As vantagens do biodisco são:

- sistema compacto;
- baixa produção de lodo;
- baixas demandas de áreas e energia para o seu funcionamento;
- manutenção e operação simples;

- equipamentos mecânicos simples;
- reduzidas possibilidades de maus odores;
- não gera ruídos;
- elevada eficiência na remoção de DBO;
- nitrificação frequente;
- mais simples conceitualmente do que lodos ativados;
- possibilidade de reuso do efluente tratado para irrigação, descarga em bacias sanitárias, lavagens de pisos externos e estacionamento;
- efluente atende normalmente a legislação ambiental cada vez mais rígida;
- pouco sensível a mudanças bruscas de cargas (vazão e DBO);
- ótima qualidade do lodo.

As desvantagens são:

- necessidade de pós-tratamento para o lodo;
- elevados custos de implantação;
- aplicabilidade em pequena para não necessitar de número excessivo de discos;
- os discos devem ser cobertos contra a ação da chuva e de vandalismos;
- relativa dependência da temperatura do ar quando for abaixo de 13°C.

No dimensionamento são necessários os seguintes dados: vazão diária disponível, DBO e DQO (MAY, 2009).

O dimensionamento mais relevante é a área de superfície de contato.

Área de superfície de contato = vazão x carga orgânica / (remoção de DBO em mg/m² por dia)

2.5.3.3 Lodos ativados

Lodo ativado (figura 12) é um processo usado para remover poluentes orgânicos biodegradáveis. A remoção ocorre através de bactérias aeróbias e facultativas em reatores

biológicos, seguida de decantação. O lodo decantado volta ao reator no lugar em que será misturado ao efluente bruto rico em poluentes orgânicos, para aumentar a eficiência do processo. (GEREMIAS, 2017).

Figura 12 – Lodo ativado



Fonte: PRATA e UCHOA, 2014.

As vantagens do lodo ativado são:

- baixas demandas de áreas para o seu funcionamento;
- boa eficiência;
- reduzidas possibilidades de maus odores;
- elevada eficiência na remoção de DBO;
- possibilidade de remoção biológica de Nitrogênio;
- maior flexibilidade de operação;
- processo confiável.

As desvantagens são:

- baixa capacidade de remoção de patógenos;

- custo elevado de implementação e operação;
- controle laboratorial diário;
- operação sofisticada;
- alto consumo de energia;
- alto índice de mecanização;
- descargas tóxicas;
- geração de ruídos.

2.5.3.4 Filtro biológico percolador

Os filtros biológicos percolador (figura 13) constitui-se de um leito drenante de pedras ou de meio plástico que possibilitam a degradação da matéria orgânica por bactérias que crescem aderidas ao substrato sólido. O efluente é aplicado na superfície por distribuidores rotativos, percola pelo tanque e sai pela base. (OLIVEIRA, 2014)

Figura 13 – Filtros biológicos



Fonte: GEHLING, 2012.

Este sistema possui como vantagens:

- baixa demanda de energia;
- não requisita de espaço muito grandes;
- biofilme resistente a cargas de choque;
- operação simples;

As desvantagens desse processo consistem em:

- possibilidade de mau odor e presença de insetos;
- obstruções;
- baixa flexibilidade e controle limitado;
- sensível a descargas tóxicas.

Para se calcular o volume útil do leito filtrante utiliza a equação 17 (ABNT, 1997).

$$Vu = 1,6NCT \quad (17)$$

Sendo que:

N é o número de contribuintes;

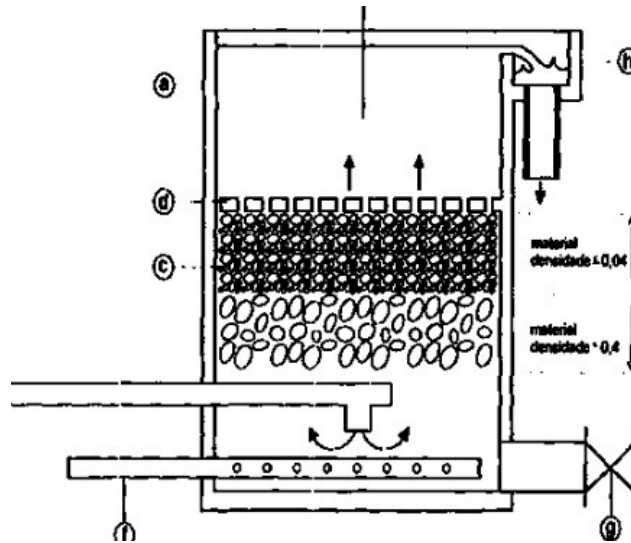
C é a contribuição de despejos.

T é o tempo de detenção hidráulica.

2.5.3.5 Biofiltro aeróbio submerso

É uma unidade de tratamento que contém um reator biológico de culturas bacterianas, colocadas em camada suporte instalada na parte média. O efluente entra pela base do reator, assim como a aeração, fornecendo aos organismos o oxigênio necessário para a estabilização do substrato. O líquido é filtrado pelo material no suporte e passa para o nível superior do reator já tratado.

Figura 14 - Biofiltro aeróbio submerso



Fonte: LINHARES, 2015.

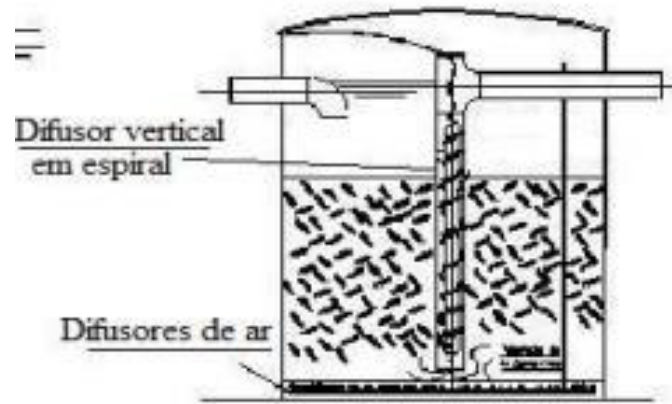
Dentre as principais vantagens do biofiltro aeróbio submerso é de ele ser um sistema compacto, eficaz e de fácil operação; altamente resistente a baixas temperaturas; apresenta menor emissão de odores; oferece separação de sólidos no mesmo reator; boa eficiência para a remoção de DBO e requer uma baixa demanda de energia.

Entretanto, este processo possui como desvantagem a retenção física de material particulado, o que conseqüentemente gera a obstrução do filtro com o passar do tempo, necessitando da lavagem do material e demandando uma manutenção mais complexa.

2.5.3.6 Filtro aeróbio submerso (FAS)

Neste processo não acontece a retenção física da biomassa pela ação da filtração, e, desta forma, não se utiliza de contra lavagem, e o filtro é seguido de uma decantação. O filtro aerado submerso pode atuar em ambos os sentidos dos fluxos, e precisam de aeração, podendo ser usado difusores de bolhas. (GEREMIAS, 2017).

Figura 15 - Filtro aeróbio submerso



Fonte: SALOMÃO, 2011.

Os filtros aeróbios submersos possuem taxa de remoção de DBO entre 60 e 95%, uma eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis de 90% e de 30 a 80% de nitrogênio amoniacal. Este processo necessita de um decantador pós tratamento, desta forma não há necessidade de uma contra lavagem.

Este é um processo bem simples e não requisita de espaço muito grandes. Ele traz uma significativa redução na produção do lodo gerado e um grande benefício econômico e operacional.

O dimensionamento do volume das câmaras de reação e de sedimentação neste processo é dado pelas equações 18 e 19 (ABNT, 1997).

$$Q_{ar} = \left(\frac{30NC}{1400} \right) \quad (18)$$

$$\text{Câmara de reação: } V_{ur} = 400 + 0,25 \, NC \quad (19)$$

Sendo que:

Q_{ar} – vazão de ar (L/min);

N – número de contribuintes;

C – contribuição de despejos;

V_{ur} – volume da câmara de reação (L).

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODO DE PESQUISA

Em toda pesquisa é necessário um levantamento de dados, independentemente de quais sejam as fontes ou métodos empregados para sua realização. O material estudado teve como essência o embasamento da pesquisa. (MARCONI; LAKATOS, 2003).

Para alcançar os objetivos propostos, a pesquisa foi classificada em três categorias: em relação ao objetivo, aos métodos e à abordagem.

Para a avaliação dos parâmetros do efluente da cervejaria foi realizada uma pesquisa bibliográfica exploratória com abordagem quantitativa.

Em relação aos objetivos desta pesquisa, foi classificada como exploratória pois identifica-se por levantar informações referentes as características do efluente, o funcionamento e as operações unitárias de uma estação de tratamento de efluentes.

A pesquisa exploratória teve como finalidade proporcionar mais informações sobre o tema no qual foi investigado, possuindo como característica o levantamento bibliográfico e análise de exemplos que incitem a compreensão. Assumindo, na maioria das vezes, as formas de pesquisas bibliográficas e estudo de caso.

Quanto ao método desta pesquisa, tratou-se de uma pesquisa bibliográfica, pois se realizou a partir de material científico já publicado, utilizados, principalmente, dissertações, livros e monografia de graduação.

Por último, quanto a abordagem, foi tratada como quantitativa, pois a pesquisa se apresenta com base em modelos matemáticos para o entendimento e o cálculo do dimensionamento de uma estação de tratamento de efluentes para a cervejaria.

3.2 MÉTODO TÉCNICO

O ambiente estudado foi uma empresa de cervejaria de médio porte, instalada próximo a áreas residenciais. Esta empresa possui uma capacidade produtiva de 100 mil litros de cerveja por mês, o que equivale a uma média de $32,9 \text{ m}^3/\text{dia}$.

O efluente a ser tratado nesta estação de tratamento são os efluentes gerados da limpeza do ambiente e de todos os equipamentos, transportando consigo uma grande carga de orgânica.

Para que a empresa siga o processo de instalação foi necessário haver o dimensionamento de seus equipamentos da ETE, adequando-os aos parâmetros exigidos.

Os valores de lançamento destes efluentes devem estar de acordo com a legislação ambiental, que são ditados pela Resolução do CONAMA Nº 430/2011, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e complementa a Resolução do CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005.

Para isto, foi necessário um levantamento de dados com o objetivo de se adquirir fundamentação teórica suficiente para a escolha do sistema mais adequado a esta estação de tratamento e realizado o seu dimensionamento, levando em consideração a sua capacidade produtiva e os parâmetros adquiridos do efluente com base nas referências teóricas.

Os dados obtidos para realizar o estudo do dimensionamento da estação de tratamento foram adquiridos através da pesquisa bibliográfica. Por meio dela, foi possível adquirir valores estimados quantitativamente das principais composição do efluente industrial de uma cervejaria.

A partir da seleção das operações unitárias incluídas no sistema de tratamento de efluentes, foi possível calcular o dimensionamento de cada equipamento, a partir das equações e teorias estudadas nas referências bibliográficas.

No início da escolha dos equipamentos foi necessário identificar a capacidade produtiva da planta e a vazão de efluentes que para a produção desejada. Outro fato importante foi identificar a disponibilidade de espaço e sua localidade.

Durante a seleção, foi fundamental observar as vantagens, desvantagens e as determinações previstas pela legislação, a fim de se obter um sistema de tratamento que se adeque aos padrões impostos pela legislação e satisfaça a necessidade da cervejaria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

Neste projeto de dimensionamento, foi considerado uma produção de cerveja de 100 mil litros por mês, a proporção de lançamento de 10 unidades de efluente por unidade produzida, desta forma, obtém-se uma vazão de efluente diária de 32,9 metros cúbicos. Já na consideração de DBO foi utilizado um valor médio de 1718 mg/L verificada na tabela 1.

4.2 SELEÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

A seleção dos equipamentos e processos a serem utilizados ocorreu por eliminação verificando as melhores possibilidades para a adequação do local e as características do efluente. Foram observados as vantagens, desvantagens e os parâmetros da legislação a fim de se satisfazer os padrões mínimos e máximos de lançamento de efluente.

De acordo com o projeto, o efluente captado passará por um sistema de gradeamento e caixa de areia com velocidade constante controlada pela Calha Parshall. A grade necessita ter as dimensões suficientes para a remoção dos materiais mais grosseiros. Já a caixa de areia é importante para evitar a sobrecarga e acúmulo de material nos reatores seguintes.

O sistema irá captar e realizar o tratamento de efluentes provenientes da cervejaria, como limpeza do local, dos equipamentos, dos barris e de garrafas, logo é necessário a instalação de uma caixa de gordura.

O efluente é captado em vários pontos da cervejaria, desta forma, devido a diferentes cargas orgânicas dos variados processos, pode causar uma variação nos parâmetros de DBO e pH. Assim, é necessário um tanque de equalização, para ajustar estes parâmetros quando necessário.

Por conta do efluente possuir grande carga orgânica, são necessários tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios para remoção da carga contaminante (KUNZE, 2014). A partir

dessa etapa foi necessária a comparação das vantagens e desvantagens de cada sistema de tratamento.

Para o tratamento anaeróbio, tem-se como possibilidade de uso o reator anaeróbio de fluxo ascendente, biodisco ou lodo ativado. Para melhor visualizar as vantagens e desvantagens de cada um, os principais dados foram tabelados e são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens dos equipamentos anaeróbios

Parâmetro	UASB	Biodisco	Lodo ativado
Baixa demanda de área para o seu funcionamento	Sim	Sim	Sim
Baixa demanda de energia para o seu funcionamento	Sim	Sim	Não
Baixo custo operacional e de implementação	Sim	Não	Não
Sistema compacto	Sim	Sim	Não
Geração de ruídos	Não	Não	Sim
Remoção de nitrogênio	Não	Sim	Sim
Remoção de nitrogênio	Não	Sim	Sim

Fonte: Própria autora

A escolha do melhor equipamento anaeróbio para esta empresa foi o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, por ele apresentar boa eficiência, possuir um sistema compacto, necessitar de baixas demandas de área e energia, custo de implementação e operacional baixos, boa eficiência de remoção de DBO, baixa produção de lodo e não ter grande geração de ruído, o que é bom para a localidade da empresa.

Apesar deste sistema possuir uma eficiência na remoção de DBO em torno de 70% e baixa capacidade e remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos, com a adição de um tratamento posterior aeróbio foi elevada a remoção destes fatores garantindo a adequação à legislação.

Já o sistema de biodisco foi descartado principalmente por necessitar de um elevado custo de implementação e operação, não sendo desejada para a empresa.

E o sistema por lodo ativado também foi descartado por demandar uma área de instalação média e uma complexidade moderada, além do alto custo operacional, energia e geração de ruídos, tornando sua instalação inviável (ABNT, 1997).

Já no tratamento aeróbio, tinha-se como escolha o filtro biológico percolador, Biofiltro aeróbio submerso e o filtro aeróbio submerso (FAS).

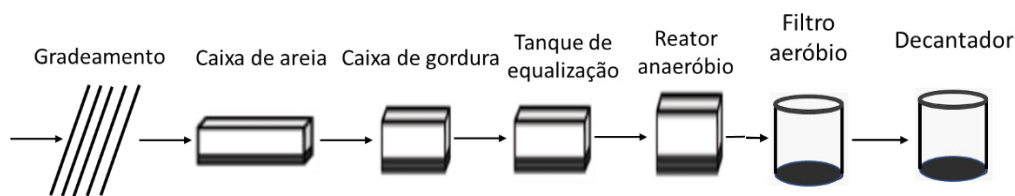
A escolha do equipamento foi o filtro aeróbio submerso devido ele possuir mais características positivas quanto a sua utilização, como: operação simples, não requisita de espaço muito grandes, baixa demanda de energia, taxa de remoção de DBO entre 60 e 95%, eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis de 90%, eficiência de remoção de 30 a 80% de nitrogênio amoniacal, redução na produção do lodo gerado e grande benefício operacional. Apesar de todas essas vantagens ainda houve a necessidade de um decantador pós tratamento, desta forma não haverá necessidade de uma contra lavagem.

Apesar dos outros equipamentos também possuírem baixa demanda de energia e não requisitar de espaços muito grandes, o filtro biológico percolador foi descartado principalmente pela possibilidade de mau odor e a presença de insetos, o que não é viável para a empresa que se situa próximo a áreas residenciais.

Já o Biofiltro aeróbio submerso foi descartado por possuir como desvantagem a retenção física de material particulado, o que consequentemente gera a obstrução do filtro com o passar do tempo, necessitando da lavagem do material (SPERLING, 2005), e demandando uma manutenção mais complexa.

Após verificar as vantagens e desvantagens em relação a cada sistema, levando em consideração a área e os custos de instalação e operação, os requisitos da implementação da ETE próximos a áreas residenciais (como a geração de odores) e, também, a contribuição de cada processo no tratamento do efluente, foi selecionado e representado na figura 16 os seguintes equipamentos considerados mais benéficos para este projeto.

Figura 16 – Layout da estação de tratamento



Fonte: Própria autora.

4.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

4.3.1 Gradeamento e Caixa de areia

4.3.1.1 Escolha da Calha de Parshall

De acordo com o anexo A foi possível extrair algumas informações para o cálculo deste dimensionamento. Para atender a vazão de efluente de 0,38 L/s é necessária uma largura nominal de 2 polegadas (5,08 cm). Através da equação 1 e com largura de 2 polegadas, obteve-se a equação abaixo.

$$Q = 0,561 \times H^{1,513}$$

Para um intervalo de:

- $Q_{\text{mín.}} = 0,003 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow H_{\text{mín.}} = 0,03 \text{ m}$
- $Q_{\text{máx.}} = 0,25 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow H_{\text{máx.}} = 0,6 \text{ m}$

4.3.1.2 Cálculo do rebaixo Z à entrada da Calha Parshall

Utilizando a equação 2, realizou-se o cálculo do rebaixo.

$$\begin{aligned} \left(\frac{Q_{\text{min}}}{Q_{\text{max}}}\right) &= \left(\frac{H_{\text{min}}-Z}{H_{\text{max}}-Z}\right) \\ \left(\frac{0,003}{0,25}\right) &= \left(\frac{0,3-Z}{0,6-Z}\right) \\ Z &= 0,2963 \text{ m} \end{aligned}$$

4.3.1.3 Cálculo da grade

Para o cálculo do sistema de gradeamento de uma cervejaria que produz 32,9 m³/dia de efluente foi escolhido uma grade com espaçamento entre barras de $a = 20 \text{ mm}$ (grade fina), com espessura das barras de $t = \frac{1}{4}''$ (6,35mm) e velocidade de escoamento entre as barras de $v = 0,80 \text{ m/s}$.

Realizando o cálculo da área útil da grade (A_u) de acordo com a equação 3.

$$A_u = Q_{\text{máx}} / V$$

$$A_u = 0,250 / 0,8$$

$$A_u = 0,3125 \text{ m}^2$$

A eficiência da grade (E) de acordo com a equação 4.

$$E = a / (a + t)$$

$$E = 20 / (20 + 6,35)$$

$$E = 0,76 = 76\%$$

A seção de escoamento (A) de acordo com a equação 5.

$$A = A_u / E$$

$$A = 0,3125 / 0,76 = 0,41 \text{ m}^2$$

A largura do canal da grade (b) de acordo com a equação 6.

$$b = (A) / (H_{\text{max}} - Z)$$

$$b = 0,41 / (0,6 - 0,2963)$$

$$b = 1,35 \text{ m}$$

4.3.1.4 Cálculo da Caixa de areia

Adotando-se a velocidade sobre a caixa, $v = 0,3 \text{ m/s}$, obteve-se uma área de acordo com a equação 7.

$$A = Q_{\text{max}} / v$$

$$A = 0,25 / 0,3$$

$$A = 0,83 \text{ m}^2$$

Cálculo da largura (B) de acordo com a equação 8.

$$B = A / (H_{\text{max}} - Z)$$

$$B = 0,83 / (0,6 - 0,2963)$$

$$B = 2,73 \text{ m}$$

Cálculo do comprimento (L) de acordo com a equação 9.

$$L = 22,5 * (H_{\text{máx}} - Z)$$

$$L = 22,5 * (0,6 - 0,1033)$$

$$L = 11,17 \text{ m}$$

4.3.2 Caixa de gordura

A área da caixa de gordura foi calculada considerando a vazão de efluente de 1,37 m³/h, velocidade de ascensão das menores partículas de 4 mm/s, o coeficiente 1,5 de reajuste da vazão média para vazão máxima, 60% das águas residuárias passarão na caixa, adotando tempo de detenção (t) de 10 min (0,167 h) e a taxa de aplicação (l) foi de 14,4 m³/m².h.

$$\text{Volume} = 1,5 * 1,37 * 0,167 * 0,60$$

$$\text{Volume} = 0,206 \text{ m}^3$$

Utilizando a equação 10.

$$\text{Área (m}^2\text{)} = \frac{1,5 * \text{Vazão} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{\text{Velocidade mínima de ascensão} \left(\frac{\text{m}}{\text{h}} \right)}$$

$$\text{Área (m}^2\text{)} = \frac{1,5 * 1,37 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{14,4 \left(\frac{\text{m}}{\text{h}} \right)}$$

$$\text{Área} = 0,15 \text{ m}^2$$

Calculou-se o comprimento (L) e largura (B), adotando L=1,5B.

$$A = L * B$$

$$A = 1,5 B * B$$

$$0,15 \text{ m}^2 = 1,5 B^2$$

$$B = 0,316 \text{ m}$$

$$L = 1,5 * 0,316 \text{ m}$$

$$L = 0,474 \text{ m}$$

Calculou-se a altura da caixa (H) de acordo com a equação 11.

$$V = L \times B \times H$$

$$0,206 \text{ m}^3 = 0,474 \text{ m} \times 0,316 \text{ m} \times H$$

$$H = 1,37 \text{ m}$$

4.3.3 Tanque de equalização

O tanque de equalização foi dimensionado com volume constante, com o objetivo apenas de homogeneizar os efluentes e ajustar possíveis desvios de pH, desta forma, na equação (12) a vazão de entrada e saída é constante, e o tanque necessitou apenas de um volume mínimo, sendo este aproximadamente de $V = 33 \text{ m}^3$.

Considerando uma altura do tanque de 3,0 m, calculou-se a sua área da base de acordo com a equação 13.

$$V = A * H$$

$$A = 33 / 3$$

$$A = 11 \text{ m}^2$$

Considerando um tanque de equalização com área circular.

$$Ab = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$11 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = 3,74 \text{ m}$$

4.3.4 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e manta de lodo

Para dimensionar um reator de manta de lodo para o tratamento do efluente, calculou-se o volume do reator, levando em consideração a temperatura média do efluente em 30°C. De acordo com o anexo C, foi possível determinar o valor de tempo de detenção hidráulica (θ_h) a partir da temperatura do efluente na equação 15.

$$V (\text{m}^3) = Q (\text{m}^3/\text{d}) * \theta_h$$

$$V = 32,9 (\text{m}^3/\text{d}) * 6/24$$

$$V = 8,225 \text{ m}^3$$

Adotando a altura $H = 4,00 \text{ m}$, calcula-se a seção do reator, conforme a equação 16.

$$A = V/H$$

$$A = 8,225 / 4$$

$$A = 2,06 \text{ m}^2$$

Adotando-se uma seção quadrada para o reator.

$$L = (\sqrt{A})$$

$$L = \sqrt{2,06}$$

$$L = 1,43 \text{ m}$$

Nestas condições, a velocidade superficial pode ser determinada.

$$v = Q/A$$

$$v = (32,9/24) / 2,06$$

$$v = 0,66 \text{ m/h}$$

que está dentro da faixa recomendada de $0,5 \text{ m/h} - 0,7 \text{ m/h}$.

4.3.5 Filtro aeróbio submerso

Filtro aeróbio submerso, calculado de acordo com a NBR 13969 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Primeiramente, calculou-se a vazão de ar. Foi utilizado a taxa de contribuição (C) de 160 L por habitante, que é o maior valor per capita encontrado no anexo B. Quando não conhecido o valor corresponde ao número de pessoas (N) a serem atendidas pelo filtro usando-se o número de unidades de contribuição. De acordo com a equação 18, obteve-se a vazão de ar.

$$Q_{ar} = \left(\frac{30NC}{1400} \right)$$

$$Q_{ar} = \frac{30 \cdot 160 \cdot 160}{1400}$$

$$Q_{ar} = 548,57 \text{ L/min}$$

Em seguida, foi calculado o volume da câmara de reação do filtro aeróbio submerso conforme a equação 19.

$$V_{ur} = 400 + 0,25NC$$

$$V_{ur} = 400 + 0,25 * 25600$$

$$V_{ur} = 6800 L$$

Considerando uma altura do tanque de 3,0 m, calculou-se a área da base do tanque conforme equação 13.

$$V = A * H$$

$$A = (6800 * 0,001) / 2,5$$

$$A = 2,72 m^2$$

Considerando um tanque filtro aeróbio com área circular.

$$A_b = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$2,73 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = 1,87 m$$

4.3.6 Decantador

O volume da câmara de decantação foi calculado conforme equação 14.

$$V_{us} = 150 + 0,20NC$$

$$V_{us} = 150 + 0,20 * 25600$$

$$V_{us} = 5270 L$$

Considerando uma altura do tanque de 2,5 m, calculou-se a área da base do tanque de acordo com a equação 13.

$$V = A * H$$

$$A = (5270 * 0,001) / 2,5 = 2,11 m^2$$

Considerando um tanque decantador com área circular.

$$A_b = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$2,11 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = 1,63 m$$

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram selecionados os equipamentos a serem utilizados e seus respectivos dimensionamentos, levando em consideração todas as condições iniciais propostas a fim de se obter um descarte de efluente dentro das condições mínimas exigidas pela legislação e pelo ambiente situado na instalação da estação de tratamento.

Analizando-se a eficiência dos processos selecionados obteve-se a remoção dos poluentes do efluente. O sistema de gradeamento irá reter os sólidos grosseiros apenas, aqueles superiores ao espaçamento das barras de 20 mm, obtendo uma eficiência de 76%.

Já a caixa de areia foi utilizada para a remoção de sólidos menores dos que não foram retidos no sistema de gradeamento para evitar a sobrecarga e acúmulo de material nos reatores seguintes.

A caixa de gordura que coletará e armazenará os resíduos gordurosos irá reduzir a quantidade de sólidos totais, em torno de 1,3% dos sólidos totais e 16% de sólidos secos.

O tanque de equalização é responsável por homogeneizar o efluente e realizar a correção pH sempre que necessário.

No reator anaeróbio ocorrerá a decomposição anaeróbia da matéria orgânica. A escolha do reator anaeróbio foi a utilização do reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, já que ele possuía mais vantagens que os demais sistemas, como já discutido anteriormente durante a seleção.

Com a utilização do UASB, a eficiência de remoção de matéria orgânica ficou baixa e os órgãos de controle ambiental solicitam uma eficiência de remoção maior que 60%, desta forma foi necessário que haja uma complementação com processo aeróbio.

Na etapa de tratamento aeróbio, foi escolhido o uso do filtro aeróbio submerso devido as suas grandes vantagens em relação aos demais equipamentos como discutido anteriormente durante a seleção dos equipamentos.

O uso dos reatores UASB reduzem a carga orgânica (DBO) normalmente em 70% e, se seguido de um filtro aeróbio FAS, o tratamento alcançará até 95% de redução de DBO, acima do desejado pela legislação que é 60% (NBR 13969/97). Além disso, este processo garante uma

eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis de 90% e de 30 a 80% de nitrogênio amoniacal. Desta forma, a escolha dos equipamentos da ETE atendeu as exigências da legislação quanto ao descarte de efluentes no meio hídrico.

O decantador finalizou o processo de tratamento de fluentes, com o objetivo de sedimentar os microrganismos presentes do efluente de saída dos processos anaeróbio e aeróbio. Desta forma, o efluente tratado apresentará um nível reduzido de poluições por matérias orgânicas, podendo ser admitido no meio ambiente receptor.

5 CONCLUSÃO

Existem inúmeros processos de tratamento de efluentes e para a escolha do processo ideal para esta empresa, observou-se além eficiência na remoção da DBO, o espaço considerável para sua implantação, a localização da ETE, seu custo de operacional, de implementação e manutenção, entre outros fatores característicos de cada equipamento.

Os equipamentos para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da cervejaria de médio porte foram escolhidos e dimensionados a fim de se atender as necessidades da empresa quanto às exigências da legislação, entregando um efluente com uma remoção de DBO entre 60 a 95%, acima dos 60% exigido pela legislação.

As principais características do efluente de uma cervejaria geralmente se relaciona com a elevada carga de material orgânico e do volume de efluente gerado para cada litro de produção, sendo que a carga orgânica considerada foi em média de 1718 mgO₂/L de DBO e o volume de 32,9 m³/d de efluente.

Para se conseguir uma boa eficiência, o sistema de tratamento de efluente escolhido foi composto pelos equipamentos de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. Dentre dos equipamentos selecionados para o sistema de tratamento situa-se o sistema de gradeamento, caixa de areia, caixa de gordura, tanque de equalização, reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo, filtro aeróbio e decantador.

Portanto, o sistema de tratamento escolhido fornece as dimensões necessárias para projetar uma estação de tratamento de efluentes de uma cervejaria que produz 100 mil litros de cerveja por mês, possuindo a eficiência de redução dos parâmetros exigidos pela legislação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969**: tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12209**: elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BARBOSA, R. A. **Fundamentos dos Parâmetros do PTP de ETEI**. Workshop de Meio Ambiente, Ambev. Jacareí, 2012.

BETINELI, E. **Avaliação da estação de tratamento de efluentes (ete) de uma empresa de processamento de subprodutos da indústria de carnes**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

BLEIER, B. et al. **Craft Beer Production**. 565p. University of Pennsylvania. Filadélfia: editor, 2013.

BORGES, N. B. **Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2014.

BRASIL. **Resolução CONAMA N° 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. DOU, Brasília, 2011.

BUSCH, J. **More Beer**. 2015. Disponível em:
<<https://www.morebeer.com/articles/advancedmasching>>. Acesso em: 27 Maio de 2020.

CAMMAROTA, M. C. **Tratamento de efluentes líquidos**. Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

CARVALHO, N. V. **Tratamento de água e efluentes**. Faculdade Área 1. Salvador, Bahia, 2012.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 1ª ed. 453 p. São Paulo, 2009.

CONCRETO E TELAS. **Caixa de gordura**. 2018. Disponível em: <<https://concretoetelas.com.br/produto/caixa-de-gordura/>>. Acesso em: 27 Maio de 2020.

DELMÉE, G. J. **Manual de Medição de Vazão**. São Paulo, Editora Edgard Blücher. 2013.

DRAGONE, G.; SILVA, J. B. A. **Cerveja**. 15 - 50p. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

EBLINGER, H. M. **Handbook of brewing: process, technology, markets**. 1ª ed. 778p. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.

ENGINEERING FOODS. **Fluxogramas de produção de cerveja**. 2011. Disponível em: <<http://engefoods.blogspot.com/2011/05/fluxogramas-de-producao-de-cerveja.html>>. Acesso em: 30 Abril de 2019.

ESSENCIAL. **Efluentes da produção de cerveja artesanal**. 2016. Disponível em: <<https://www.essencial.eco.br/efluentes-cervejaria>>. Acesso em: 27 Junho de 2019.

FAVARETTO, D. P. C. **Avaliação da eficiência do processo de tratamento de efluentes na empresa de laticínios LBR**. Tese (Doutorado). Passo Fundo: Universidade Passo Fundo, 2011.

FIBRAV. **Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente tipo “UASB”**. 2018. Disponível em: <<https://www.fibrav.com.br/produtos/saneamento-estacoes-de-tratamento/reator-anaerobio-de-fluxo-ascendente-tipo-uasb/>>. Acesso em: 27 Maio de 2020.

FORMENTINI, J. B.; et al. **Fermentação do mosto do malte na produção da cerveja**. 57 f. TCC (Técnico). Curso Técnico em Química, Colégio Politécnico Bento Quirino, Campinas, 2012.

GANGHIS, M. P. e D. **Tratamento de efluentes**. 69 f. Dissertação – Curso de Processos Industriais, Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET/BA, Salvador, 2007.

GAUTO, M. A.; ROSA, G. R. **Processos e operações unitárias da indústria química**. 1ª ed. 417 p. Editora Ciência Moderna. Rio de Janeiro, 2011.

GEHLING, G. **Tratamento de Água e Esgoto**. Capítulo 13. Pelotas, Rio Grande do Sul, 2012

GEREMIAS, C. **Dimensionamento de uma microestação de tratamento de efluentes de uma microcervejaria**. 52 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Química, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais**. Ed. Da UFRJ. Rio de Janeiro, 2014.

INCONTROL: INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MEDIDORES DE VAZÃO E NÍVEL LTDA. **Manual de operação e Instalação de calha de Parshall**. 13p. São Paulo, 2016.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6ª ed. 969p. Rio de Janeiro, 2011.

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 3ª ed. 950p. Berlin, 2014

LINHARES, C. J. S. **Biofiltro aerado submerso para tratamento de efluentes orgânicos**. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2015

MACCARI, G.; SATURNO, J.; MACHADO, S. **Projeto de tratamento de efluentes: uma empresa de refrigerante localizada no município de Imbituba-SC**. 40 f. Dissertação (Graduação) – Curso de Engenharia Química, na Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul, Tubarão, 2017.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª ed. 311 p. Atlas, São Paulo, 2003.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 200 p. EPUSP. São Paulo, 2009.

MENDES, P. R. A.; **Tratamento preliminar de esgoto**. Lorena, 2018. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4121887/mod_resource/content/0/Aula%207%20-%20Tratamento%20preliminar%20de%20esgotos.pdf>. Acesso em: 30 Abril de 2019.

NETO, J. M. D. A.; FERNÁNDEZ, M. F. Y. **Manual de Hidráulica**. 9ª. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

OLIVA, C. **Biodiscos y tratamiento terciário**. 2011. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/carmenoliva/biodiscos-y-tratamiento-terciario-7576787/5>>. Acesso em: 27 Maio de 2020.

OLIVEIRA, C. M. R. **Aplicabilidade de sistemas simplificados para estações de tratamento de esgoto de cidades de pequeno porte**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2014.

OLIVEIRA, D.; CARVALHO, A. R. P. **Tratamento de efluentes**. Arthur Nogueira, São Paulo, 2008.

OPPENCHANNELFLOW. **Parshall Flume - User's manual**. Atlanta. 2017.

PAPAZIAN, C. **The Homebrewer's Companion**. 2 ed. New York: Harper Collins Publishers Inc, 2014.

PEREIRA, R. S. **Poluição hídrica: causas e consequências**. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos, v. 1, n. 1, pp. 20-36, 2004.

PRATA, E. F.; UCHOA, V. B. **Lodos ativados**. 2014. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/emelayneprata/slides-lodos-ativados>>. Acesso em: 27 Maio de 2020.

SALOMÃO, A. L. **Eficiência na remoção de carga orgânica e nutrientes de um ecossistema engenheirado para tratamento descentralizado de efluentes domésticos**. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Ilha grande, Rio de Janeiro, 2011.

SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná). **Operação de Estação de Tratamento de Esgoto, Tratamento biológico anaeróbio**. Manual de Treinamento. Curitiba, 2005.

SANTOS, A. M. **Estudo das influências da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação alcoólica em batelada**. 77 f. Tese (Doutorado em Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2008. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/408/1/Dissertacao_AlessandraMarquesdosSantos_2008.pdf>. Acesso em: 27 Maio de 2020.

SHREVE, R. N.; BRINK, J. A. **Indústrias de Processos Químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

SILVA, L. B. M. V.; DANTAS, G. C. B.; OLIVEIRA, A. S. **Análise dos componentes de uma estação de tratamento de esgoto destinada a população carente do semi-árido**. Congresso Nacional da diversidade do semi-árido. Mossoró, Rio Grande do Norte, 2019.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. Ed. 121p. Atual. Laboratório de Ensino a Distância da UFSC. Florianópolis, 2001.

SILVA, J. B. A. **Tecnologia de bebidas: matéria prima, processamento, BPF / APPCC, legislação e mercado**. 347-380p. Edgard Blucher. São Paulo, 2005.

SILVA, C. E. **Tratamento de Resíduos e Impactos Ambientais**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/CT/HDS), Santa Maria, 2013.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. 425 p. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

STOLL, U.; GUPTA, H. **Management Strategies for Oil and Grease Residues**. Waste Management & Research, p. 23 – 32, 1995.

VENTURINI, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. 1ª ed. São Paulo: Blücher, 2010.

VIANA, D. **Cálculos de dimensionamento de uma estação de tratamento de água**. Piauí, 2018.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. de L. **Biological wastewater treatment in warm climate regions**. v.1, 810 p. London UK: IWA Publishing e Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.

WIMMER, B.; SCANLAN, P.; DELEON, C. **Turning trash to treasure – A business analysis of fats, oils, and grease receiving programs reveals keys to success**. Water Environment and Technology, v. 22, n.10, p. 39-34, 2010.

ANEXOS

ANEXO A – Capacidade e largura nominal da Calha Parshall

Calha Parshall n°	Largura da Garganta b (m)	Equação da vazão ¹⁾ $Q = Ch_a^n$ (m³/s)	Intervalo de Altura h_a (m)		Intervalo da Vazão ²⁾ Q (x10 ⁻³ m³/s)		Limite modular σ_c (experimental)	Razão de Submersão σ (recomendado)
			min.	max.	min.	max.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,152	$0,381 h_a^{1,580}$	0,03	0,45	1,5	100	0,55	0,6
2	0,250	$0,561 h_a^{1,513}$	0,03	0,60	3,0	250	-	0,6
3	0,300	$0,679 h_a^{1,521}$	0,03	0,75	3,5	400	0,62	0,6
4	0,450	$1,038 h_a^{1,537}$	0,03	0,75	4,5	630	0,64	0,6
5	0,600	$1,403 h_a^{1,548}$	0,05	0,75	12,5	850	0,66	0,6
6	0,750	$1,772 h_a^{1,557}$	0,06	0,75	25,0	1100	0,67	0,6
7	0,900	$2,147 h_a^{1,565}$	0,06	0,75	30,0	1250	0,68	0,6
8	1,000	$2,397 h_a^{1,569}$	0,06	0,80	30,0	1500	-	0,7
9	1,200	$2,904 h_a^{1,577}$	0,06	0,80	35,0	2000	0,70	0,7
10	1,500	$3,668 h_a^{1,586}$	0,06	0,80	45,0	2500	0,72	0,7
11	1,800	$4,440 h_a^{1,593}$	0,08	0,80	80,0	3000	0,74	0,7
12	2,100	$5,222 h_a^{1,599}$	0,08	0,80	95,0	3600	0,76	0,7
13	2,400	$6,004 h_a^{1,605}$	0,08	0,80	100,0	4000	0,78	0,7

Fonte: (INCONTROL, 2016)

ANEXO B – Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante

PRÉDIO	UNIDADE	CONTRIBUIÇÃO DE ESGOTOS (C) E LODO FRESCO (LF)	
1. Ocupantes permanentes			
– Residência			
padrão alto	Pessoa	160	1
padrão médio	Pessoa	130	1
padrão baixo	Pessoa	100	1
– hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100	1
– alojamento provisório	Pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários			
– fábrica em geral	Pessoa	70	0,30
– escritório	Pessoa	50	0,20
– edifícios públicos ou comerciais	Pessoa	50	0,20
– escolas (externatos) e locais de longa permanência	Pessoa	50	0,20
– bares	Pessoa	6	0,10
– restaurantes e similares	Refeição	25	0,10
– cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2	0,02
– sanitários públicos ?A?	bacia sanitária	480	4,0

Fonte: (ABNT, 1993)

ANEXO C – Tempo de detenção hidráulica

Temperatura do esgoto (° C)	Tempo de detenção hidráulica (θ_h) (horas)	
	Média diária	Mínimo (durante 4 a 6 horas)
16 – 19	> 10 – 14	> 7 – 9
20 – 26	> 6 – 9	4 – 6
> 26	> 6	> 4

Fonte: (SILVA, 2013)