



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE
ALIMENTOS

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA ARTESANAL**

Ana Luísa de Azevedo Delcor

Florianópolis

2019

ANA LUÍSA DE AZEVEDO DELCOR

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA ARTESANAL**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química e de Alimentos do Centro de tecnologia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Acácio Antonio Ferreira Zielinski

Coorientador: M.Sc. Marcel Rosseti da Silva

Florianópolis

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, que nos deu a chance de estar nesse mundo e ter pessoas maravilhosas que nos ajudaram a chegar até aqui.

Aos meus pais e família por sempre me incentivarem e darem subsídios para que eu pudesse atingir meus objetivos. Em especial ao meu pai, Célio Delcor, por todas as maravilhosas cervejas fabricadas em casa, que me deram a motivação para a presente monografia.

Aos meus amigos que sempre alegraram os meus dias e tornaram os momentos difíceis mais fáceis. Em especial ao meu querido amigo Marcel Rosseti, por ser além de um excelente professor, um grande amigo sempre ajudando quando preciso.

Aos professores por todo conhecimento transmitido durante esses anos de estudo, sem vocês eu não seria o que sou hoje. Agradeço especialmente ao Professor Acácio pela orientação e aos Professores Jaciane e Marcelo pela disposição em compor minha banca de avaliação.

A todas as pessoas que de alguma forma me auxiliaram durante a faculdade e aos que auxiliaram para o desenvolvimento desse projeto.

RESUMO

A cerveja é considerada a bebida mais antiga consumida pelo homem. As fábricas cervejeiras chegaram ao Brasil em 1808 e atualmente o país conta com um grande mercado, entre os quais, as cervejas artesanais têm conquistado seu espaço devido ao seu grande diferencial, caracterizado por um sabor mais encorpado e um aroma mais intenso. O presente trabalho teve como objetivo projetar uma planta industrial para a produção de cervejas artesanais na cidade de Bragança Paulista, localizada no estado de São Paulo, contemplando os estudos técnicos e econômicos no processo. Para isso, foi realizado um estudo de mercado e processo, formalizou-se utilizando o termo de abertura de projeto, definiu-se os equipamentos e utilidades usados em todo o processo. Após, foi elaborado um diagrama de blocos, fluxogramas conceituais e de processo. Além disso, realizaram-se balanços de massa e energia para o dimensionamento e seleção dos equipamentos da planta e definição do arranjo físico da indústria. Analisaram-se os custos de implantação e de funcionamento e, por fim, elaborou-se o fluxo de caixa e estimou-se a taxa de retorno e a atratividade. Definiu-se que a indústria cervejeira artesanal produzirá cerveja *Pilsen* com produção mensal de 20.000 L. Com isso, obteve-se uma área de 410,64 m² de arranjo físico necessário e uma estimativa de investimento inicial de R\$ 1.431.718,74, com um tempo de retorno igual a 20 meses e uma taxa interna de retorno de 9,45%, indicando a viabilidade e atratividade do projeto. O trabalho correspondeu às expectativas, pois foi possível cumprir os objetivos e metas estabelecidas no início do projeto além de agregar conhecimento teórico e prático.

Palavras-chave: Indústria Cervejeira Artesanal. Dimensionamento. Análise Financeira.

ABSTRACT

Beer is considered the oldest beverage consumed by man. The breweries arrived in Brazil in 1808 and today the country has a large market, among which, artisan beers have conquered their space due to its great differential, characterized by a fuller flavor and a more intense aroma. The present work has the objective of designing an industrial plant for the production of artisan beers in the city of Bragança Paulista, located in the state of São Paulo, contemplating the technical and economic studies in the process. For this, a market and process study was carried out, the formalization using the term of project opening, the equipment and utilities used throughout the process were defined. Afterwards, a block diagram, conceptual and process flowcharts were elaborated. In addition, mass and energy balances were carried out for the sizing and selection of plant equipments, and definition of the physical arrangement of the industry. The implementation and operating costs were analyzed and, finally, the cash flow was elaborated and the rate of return and the attractiveness were estimated. It was determined that the artisanal brewery will produce Pilsen beer with monthly production of 20,000 L. This resulted in an area of 410.64 m² of physical arrangement required and an initial investment estimate of R\$ 1,431,718.74, with a payback of 20 months and an internal rate of return of 9.45%, indicating the feasibility and attractiveness of the project. The work corresponded to expectations, since it was possible to fulfill the objectives and goals established at the beginning of the project, besides adding theoretical and practical knowledge.

Keywords: Brewery. Sizing. Financial analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número de cervejarias com fábrica própria no Brasil.....	15
Figura 2 - O setor da cerveja em 2019.	15
Figura 3 - Moinho de rolos para cereais.....	26
Figura 4 - Exemplo de binômios utilizados para mosturação	28
Figura 5 - representação da força centrífuga feita pelo whirlpool.....	33
Figura 6 - Símbolos padronizados mais reconhecidos para fluxograma.	47
Figura 7 - Diagrama de bloco da produção de cerveja Pilsen.	64
Figura 8 - Fluxograma conceitual.	65
Figura 9 - Lavador e enchedora de barris.	76
Figura 9 - Fluxograma de processo.	77
Figura 10 - Diagrama de bloco da etapa de carbonatação.....	94
Figura 11 - Diagrama de bloco para a etapa de fermentação.	96
Figura 12 - Diagrama de bloco para a etapa de aeração.....	97
Figura 13 - Diagrama de bloco para a etapa de <i>Whirlpool</i>	98
Figura 14 - Diagrama de bloco para a etapa de Fervura.	99
Figura 15 - Diagrama de caixa para mosturação e clarificação	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da água para a produção da cerveja.	22
Tabela 2 - Temperaturas ótimas de cada enzima na mosturação	28
Tabela 3 - pH ótimo das enzimas do mosto cervejeiro	29
Tabela 4 - Receita de Cerveja Pilsen.....	59
Tabela 5 - Dados de operação na mosturação.	68
Tabela 6 - Dados de operação na filtração.	68
Tabela 7 - Dados de operação na fervura.	69
Tabela 8 - Dados de operação no whirlpool.....	70
Tabela 9 - Dados operacionais no primeiro estágio do trocador de calor.	70
Tabela 10 - Dados operacionais no segundo estágio do trocador de calor.....	70
Tabela 11 - Dados operacionais do trocador de calor.	71
Tabela 12 - Dados de operação na aeração.	71
Tabela 13 - Dados de operação na fermentação e maturação.	71
Tabela 14 - Dados de operação da etapa de filtração.	72
Tabela 15 - Dados de operação da etapa de filtração.	72
Tabela 16 - Dados de operação do tanque de água quente.....	73
Tabela 17 - Dados referentes ao fluxograma de processo.....	77
Tabela 18 - Custo das máquinas e equipamentos.....	79
Tabela 19: Custo dos móveis e utensílios.	81
Tabela 20: Custos de uma batelada de 1000 litros.	82
Tabela 21: Custos com a mão de obra.....	83
Tabela 22: Custos fixos.	83
Tabela 23: Estimativa de faturamento mensal, em reais.	84
Tabela 24: Fluxo de caixa mensal.	84
Tabela 25 Payback.....	85
Tabela 26 Atratividade do investimento	85
Tabela 27: Termo de abretura do projeto.	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	HISTÓRIA DA CERVEJA	14
2.2	MERCADO CERVEJEIRO	14
2.3	DEFINIÇÃO DE CERVEJA.....	17
2.3.1	Estilos de cerveja	18
2.4	CONTROLE DE QUALIDADE.....	19
2.4.1	Boas Práticas de Fabricação (BPF) e Procedimento Operacional Padrão (POP)19	
2.4.2	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)	20
2.5	MATÉRIAS-PRIMAS	21
2.5.1	Água.....	21
2.5.2	Malte	23
2.5.3	Lúpulo.....	24
2.5.4	Levedura.....	25
2.5.5	Aditivos.....	25
2.6	O PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CERVEJA	26
2.6.1	Moagem do malte	26
2.6.2	Mosturação ou brasagem.....	27
2.6.3	Clarificação	30
2.6.4	Fervura	31
2.6.5	Resfriamento e decantação	32
2.6.6	Whirlpool	33
2.6.7	Aeração.....	34

2.6.8	Fermentação.....	34
2.6.9	Maturação	36
2.6.10	Filtração	36
2.6.11	Carbonatação.....	37
2.6.12	Envase.....	37
2.6.13	Pasteurização	38
2.6.14	Armazenamento e Expedição	38
2.7	RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO CERVEJEIRA	38
2.7.1	Resíduos sólidos	39
2.7.2	Efluentes líquidos	40
2.7.3	Emissões atmosféricas	42
2.8	SISTEMA DE LIMPEZA	42
2.9	UTILIDADES E OPERAÇÕES AUXILIARES	43
2.9.1	Produção de água quente e vapor	44
2.9.2	Refrigeração.....	44
2.9.3	Tratamento de água	45
2.9.4	Tratamento de efluentes	45
2.10	METODOLOGIA DE PROJETO	46
2.10.1	Termo de Abertura do Projetos	46
2.10.2	Fluxogramas.....	46
2.10.3	Balço de Massa e Energia	50
2.10.4	Layout.....	54
2.10.5	Viabilidade Econômica	54
3	METODOLOGIA	57
3.1	TERMO DE ABERTURA DO PROJETO	57
3.2	FLUXOGRAMAS.....	57
3.3	DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS E UTILIDADES.....	58

3.4	BALANÇO DE MASSA.....	59
3.5	BALANÇO DE ENERGIA.....	60
3.6	DIMENSIONAMENTO	60
3.7	LAYOUT.....	61
3.8	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5	CONCLUSÃO.....	86
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DO PROJETO	93
	APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO.....	94
	APÊNDICE C – LAYOUT	110
	ANEXO A – CATÁLOGO PLEVNIK	111
	ANEXO B – CATÁLOGO BERMO.....	116
	ANEXO C – CATÁLOGO CERTUSS	117
	ANEXO D – CATÁLOGO HELMO	118

1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma bebida conhecida e amplamente consumida no mundo desde os tempos remotos e só vem aumentando a sua popularidade e consumo desde então. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja, a Cerv Brasil (2015), o Brasil produziu 14 bilhões de litros de cerveja em 2014, sendo assim o terceiro país no ranking mundial de produção, atrás apenas da China e dos Estados Unidos. Além disso, a produção nacional cresceu a uma taxa média de 5% ao ano de 2005 a 2015. Com as projeções positivas de recuperação econômica, o mercado de cervejas artesanais deve ter um salto significativo ao longo de 2019.

Hoje em dia, no mundo, existem duas principais frentes de produção de cerveja: as grandes empresas, líderes de mercado, que produzem principalmente cervejas altamente populares, visam vendas em grandes volumes e atuam em todo ou quase todo o território do país; e as pequenas empresas, que procuram preencher o nicho de mercado esquecido pelas grandes com cervejas de alta qualidade, com muitas variedades de estilos e atuam em mercados mais regionais. Estas pequenas empresas, conhecidas popularmente como cervejarias artesanais ou microcervejarias, estão localizadas majoritariamente nas regiões Sul e Sudeste (80%), com destaque para os estados de São Paulo (24%), Rio Grande do Sul (17%) e Santa Catarina (13%).

É fato que as microcervejarias, foco deste trabalho, além de terem sua importância econômica, social e cultural, têm se mostrado uma excelente opção de negócio no atual cenário econômico brasileiro, e apesar de representarem uma fatia de mercado cervejeiro relativamente pequena, esse setor de cervejas especiais - *premium*, artesanais, ou qualquer outro nome que faça alusão às cervejas oriundas desse nicho de mercado - vem crescendo mais do que o setor das cervejas voltadas para as grandes massas populacionais. De acordo com dados divulgados pelo Jornal Estado de Minas (2019), no último ano o setor cresceu 23%, batendo a marca de 170 mil rótulos e 840 microcervejarias nacionais, que movimentam mais de R\$ 130 bilhões. Até junho de 2019 já são mais de mil registros no MAPA. Esse fenômeno está sendo apelidado de “Revolução das Cervejas Artesanais” na mídia, e esses indicativos demonstram um mercado atraente que pode e deve ser mais explorado com novos negócios.

Desta forma, as microcervejarias e estabelecimentos especializados se espalham pelo país, desenvolvendo novas alternativas para inovar e atrair cada vez mais consumidores e mostrando sucesso nesse nicho muito promissor. O modelo de negócio apresenta-se como uma tarefa árdua, pois o processo cervejeiro é delicado e requer muito conhecimento técnico para que tudo saia dentro dos padrões, devido ao mercado ser pequeno não significa não ter uma qualidade assegurada, mas sim ter um produto *premium* que será apreciado por consumidores exigentes, que desejam experiências sensoriais únicas.

O presente trabalho busca projetar uma indústria cervejeira, desde a definição do arranjo físico da microcervejaria, seleção e dimensionamento dos equipamentos, seleção da instrumentação do processo e estudo de sua viabilidade econômica, com o intuito de implantá-la na cidade de Bragança Paulista, interior de São Paulo. A escolha do local vem de motivos familiares e a determinação do ramo surgiu pelo grande crescimento de cervejarias no país. De acordo com o jornal G1 (2018), o setor cervejeiro artesanal vem crescendo exponencialmente desde 2015. Além disso, o recente interesse de grandes companhias como Ambev e Heineken no setor mostra o potencial de crescimento neste ramo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi realizar o dimensionamento de uma indústria cervejeira artesanal na cidade de Bragança Paulista, interior do estado de São Paulo, contemplando o estudo técnico e econômico envolvido no projeto.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral fosse alcançado, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Realizar o planejamento estratégico do projeto;
- Dimensionar e fazer a escolha dos equipamentos;
- Estipular o arranjo físico da indústria cervejeira;
- Avaliar quais são as variáveis de controle necessárias ao processo;

- Caracterizar os resíduos produzidos e seu destino correto, seja o descarte, o uso em subprodutos ou o tratamento correto;
- Estudar a viabilidade e atratividade econômica do projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRIA DA CERVEJA

A cerveja é uma bebida conhecida e amplamente consumida no mundo desde os tempos remotos. A humanidade consome cerveja desde por volta de 8000 a.C., mas somente a partir do século XIII, quando os cervejeiros alemães começaram a introduzir o lúpulo na cerveja, as características básicas da bebida hoje consumida começaram a ser instauradas. Na época de Revolução Industrial, a produção e distribuição sofreram mudanças decisivas. Estabeleceram-se, então, cada vez mais e maiores fábricas na Europa (SANTOS, 2003).

No Brasil a cerveja foi trazida por volta de 1808, quando muitos comerciantes estrangeiros se instalaram no Brasil, trazendo-a da Europa, entre muitos outros produtos. Até os anos 70 a cerveja inglesa dominava o Brasil, quando começou a ser produzida a cerveja nacional. No fim do século XX as cervejas importadas voltaram a ganhar espaço, mas desta vez de procedência alemã (SANTOS, 2003).

Segundo Hindy (2015), na década de 80 surgiu um movimento chamado A Revolução da Cerveja artesanal, que começou nos Estados Unidos com a aparição das microcervejarias, que trouxeram novamente a qualidade que foi perdida na produção da cerveja massificada. Analogamente, foi criada a “cerveja artesanal” no Brasil. Opondo-se à produção de cerveja industrial, surgem grupos sociais que buscam salvar os valores da produção de cerveja artesanal, levando em conta o consumo pelo prazer e pelo lazer. (GARBIN, 2017).

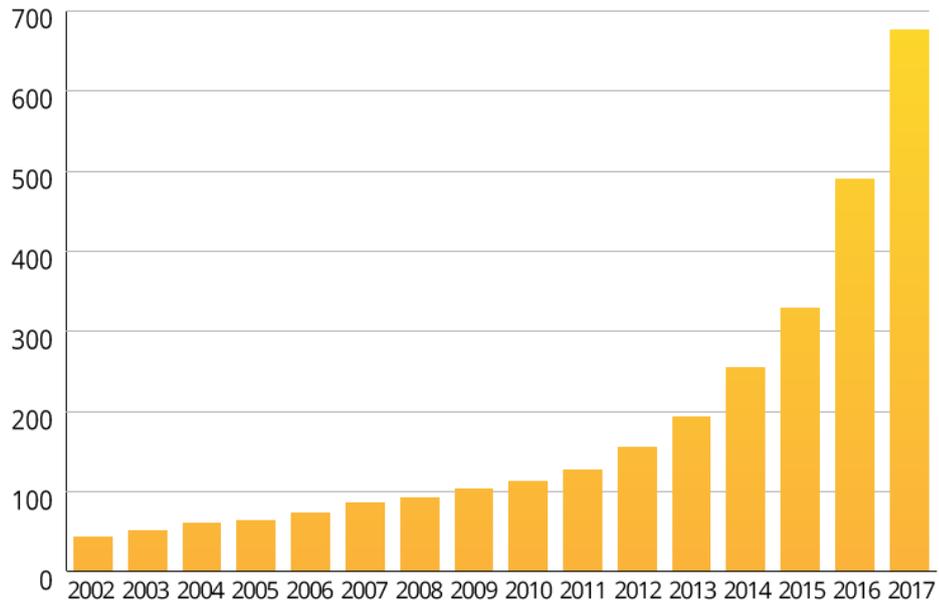
2.2 MERCADO CERVEJEIRO

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja, a Cerv Brasil (2015), o Brasil produziu 14 bilhões de litros de cerveja em 2014, sendo assim o terceiro país no ranking mundial de produção, atrás apenas da China e dos Estados Unidos. A produção nacional cresceu a uma taxa média de 5% ao ano de 2005 a 2015 e desde então vem crescendo exponencialmente.

O mercado de cerveja artesanal brasileiro tem se mostrado muito promissor, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o MAPA (2017) ao final de 2017 o Brasil possuía total de 679 cervejarias legalmente instaladas. O gráfico abaixo evidencia a

tendência de crescimento exponencial do número de cervejarias brasileiras, processo iniciado em meados de 2010 e que até o momento não reduziu seu ritmo de avanço.

Figura 1 - Número de cervejarias com fábrica própria no Brasil.



Fonte: MAPA

Segundo a Folha de São Paulo (2019), com média de registros de duas novas cervejarias a cada três dias no MAPA, o Brasil acaba de atingir a marca de mil cervejarias em território nacional. Atualmente, cerca de 2,7 milhões de empregos diretos, indiretos e induzidos estão ligados a esse mercado e o número de postos de trabalho no setor tem crescido muito acima da média da indústria brasileira (CERVBRASIL, 2019).

Figura 2 - O setor da cerveja em 2019.



Fonte: Cerv Brasil.

O perfil sensorial da cerveja consumida no Brasil tem mudado gradativamente, fazendo com que as principais cervejas produzidas se tornem cada vez mais leves e com menores teores de amargor e álcool. Hoje, o tipo de cerveja mais popular do mundo é a cerveja tipo *Lager*. A palavra tem origem alemã e significa a cerveja que foi armazenada. É uma cerveja de baixa fermentação, criada na Alemanha e é caracterizada por possuir um sabor amargo e ser refrescante, além de ser uma cerveja clarificada (TAP INTO YOUR BEER, 2016).

Apesar disso, há a variação no consumo de diferentes cervejas em diferentes regiões do país, que reflete aspectos de renda, informação e distribuição. Geralmente, cervejas *Premium* e artesanais são mais consumidas nas regiões Sul e Sudeste (ARAÚJO, SILVA e MINIM, 2003).

Não há uma definição clara do que é uma cervejaria artesanal, mas segundo a Associação Brasileira de Cervejas Artesanais, a Abracerva (2018), são consideradas cervejas artesanais aquelas produzidas por empresas que não sejam multinacionais. De acordo com o presidente da Abracerva, as marcas que se enquadram neste conceito são as que priorizam a qualidade ao invés do ganho rápido de escala com utilização de ingredientes de menor valor agregado (ABRACERVA, 2018).

Segundo o Sebrae (2015), as microcervejarias ainda possuem dificuldade de desenvolvimento e progresso. A tributação, devido ao imposto em cima de produto industrializado, considera o valor de venda ao consumidor e não os gastos na produção.

Apesar disso, uma grande conquista para os cervejeiros é a legislação, que até 2018 não considerava as microcervejarias no simples nacional, por se tratar de produção de bebida alcoólica, então essas pequenas empresas não são mais taxadas como grandes empresas do ramo. Além disso, o número de fabricantes de equipamentos vem crescendo no Brasil, o que barateia os investimentos do setor (CASTILHO, 2016).

Sendo assim, os microcervejeiros possuem um grande desafio em mãos ao investir em um mercado tão aquecido, mas ao mesmo tempo com empecilhos. É necessária uma grande estratégia de negócio.

2.3 DEFINIÇÃO DE CERVEJA

O Regulamento Técnico MERCOSUL de Produtos de Cervejaria (2001) fixa os padrões de identidade e qualidade mínimos que deverão cumprir os produtos de cervejaria. Define-se cerveja como:

“Bebida resultante da fermentação, mediante levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou do extrato de malte, submetido previamente a um processo de brassagem, adicionado de lúpulo. O extrato primitivo deve conter um mínimo de 55% em peso de cevada malteada, o restante poderá ser substituído por adjuntos cervejeiros. Ademais, uma cerveja 100% malte ou cerveja puro malte é a cerveja elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo provém exclusivamente de cevada malteada ou extrato de malte, o que acarreta maior qualidade e valor agregado à cerveja. A cerveja também poderá ser adicionada de corantes, saborizantes e aromatizantes.”

A “Lei da Pureza Alemã” determina que apenas quatro ingredientes podem fazer parte da formulação da bebida, são eles água, cevada, lúpulo e levedura, porém, é um produto que permite várias combinações de outros cereais como o milho, o arroz, o trigo, a aveia, o sorgo, entre outros (MORADO, 2009).

De acordo com Santos (2014), uma classificação muito importante é o tipo de fermentação, que pode ser:

- Cerveja de alta fermentação – Ale: no processo de fermentação, o líquido é mantido em uma temperatura que fica entre 18 °C e 24 °C, o que resulta em cervejas mais complexas, tanto no paladar quanto no aroma;
- Cerveja de baixa fermentação – Lager: o processo geralmente é mais longo e é mantido a uma temperatura entre 7 °C e 15 °C, influenciando no sabor da cerveja e gerando uma cerveja mais neutra, limpa e leve.

Nos dias de hoje, existem basicamente quatro escolas cervejeiras: a Alemã, a Belga, a Inglesa e a Americana, cada uma representada por estilos específicos. A escola alemã tem como característica principal a forte presença do malte e baixa presença do lúpulo, além de respeitarem a Lei da Pureza Alemã e serem em sua maioria de fermentação Lager, ou seja, são cervejas mais leves e menos amargas. Já a escola belga, ao contrário da alemã, usa da complexidade da fermentação e dos maltes e utiliza de diversas especiarias, criando cervejas mais frutadas, com aromas e sabores marcantes. A escola inglesa, por sua vez, apresenta uma enorme diversidade de estilos, mais amargos que o normal, outras envelhecidas em carvalho, assim como versões favorecendo o uso de maltes torrados. A última escola é a americana, que está ganhando espaço no mercado com suas versões inovadoras de outras escolas, dos cultivos de lúpulo doméstico, das novas técnicas de produção e por seus estilos extremos, abusando das quantidades de malte e lúpulo (SANTOS, 2014).

A fim de facilitar a identificação e classificação destas tão variadas cervejas, existem dois manuais que são conhecidos mundialmente, o Beer Judge Certification Program – BJCP e o Brewers Association – BA. Ambos se baseiam nas principais escolas cervejeiras e consideram características como Aparência, Aroma, Paladar, Flavor, entre outros atributos mais técnicos. A seguir os principais estilos de cerveja contidos no BJCP (2015), assim como as características principais de cada um deles serão descritos.

2.3.1 Estilos de cerveja

Estima-se que existam atualmente mais de 20 mil tipos de cervejas no mundo. Pequenas mudanças no processo de fabricação, como diferentes tempos e temperaturas de cozimento, fermentação e maturação, e o uso de outros ingredientes, além dos quatro básicos - água, lúpulo, cevada e malte - são responsáveis por uma variedade muito grande de tipos de cerveja.

Segundo Deliberalli (2015), as cervejas podem ser classificadas por cinco características básicas, sendo elas:

- Cor, que pode variar de clara a escura de acordo com a torra do malte;
- Teor alcoólico, que varia com o teor de açúcares fermentescíveis;
- Proporção de malte de cevada e trigo sua composição;
- Teor de extrato primitivo, que é a densidade original do mosto antes de ser fermentado, podendo ser leve, comum, extra e forte;
- Tipo de fermentação, que pode ser espontânea, alta ou baixa.

A maioria das cervejas são claras e de baixa fermentação, ou seja, o malte é menos torrado e quando expostas a temperaturas entre 6 °C a 15 °C, o levedo fica depositado no fundo do tanque, esse estilo é conhecido como “Lager”. O principal tipo de “Lager” é a cerveja Pilsen, consumida mundialmente (AQUARONE et al., 2001; SINDICERV, 2017).

2.4 CONTROLE DE QUALIDADE

De acordo com a ANVISA (2002), a resolução RDC nº 275 de 21 de outubro 2002 diz que empresas alimentícias devem atender certos padrões de qualidade e segurança para produção e comercialização de alimentos. Esses padrões são delimitados pelas Boas Práticas de Fabricação e Procedimentos operacionais Padrão, além do controle pela Análise de Perigos e Pontos críticos de Controle, apresentados detalhadamente a seguir.

2.4.1 Boas Práticas de Fabricação (BPF) e Procedimento Operacional Padrão (POP)

As BPF são normas empregadas em produtos, serviços, processos e instalações que visam a certificação da qualidade e a segurança dos alimentos (SINHORINI; DE OLIVEIRA; DA TRINDADE ALFARO, 2015). De acordo com ANVISA (2002), o manual de BPF é o documento que descreve as operações realizadas pelo estabelecimento, incluindo os requisitos

sanitários do estabelecimento, a higienização e manutenção das instalações, equipamentos e utensílios, o controle da água de abastecimento, o controle da higiene e saúde dos manipuladores, controle integrado de vetores e pragas urbanas e o controle e garantia de qualidade do produto final.

De acordo com a RDC nº 275, o POP é um procedimento documentado que determina as ações para a realização de operações rotineiras e específicas na produção, desde o recebimento, produção e até o transporte do produto. Sendo assim o POP é uma ferramenta completa e que abrange as condições básicas de qualidade e segurança (ANVISA, 2002).

2.4.2 Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)

De acordo com Athayde (1999), o plano APPCC é fundamentado em todas as etapas do processo e em série. Baseia-se na identificação dos perigos potenciais à segurança do alimento, bem como nas ações para o controle das condições que geram os perigos no processo.

A metodologia APPCC é atualmente a referência internacionalmente aceita para a segurança de alimentos. Esta metodologia tem base científica e uma abordagem preventiva, abrangente e sistemática. A implementação promove o cumprimento de exigências da legislação e permite recursos para o fornecimento de alimentos seguros aos consumidores (CAPIOTTO; LOURENZANI, 2010).

Para alcançar tais objetivos, é necessária identificar as etapas críticas, controlá-las e monitorá-las. Etapas críticas são aquelas com risco de segurança ou integridade do consumidor. De acordo com Profeta e Silva (2005), para fazer o APPCC deve-se identificar os perigos que podem existir no processo. Os perigos podem ser:

- a) Perigo físico;
- b) Perigo químico;
- c) Perigo microbiológico.

Sabe-se que existe uma infinidade de riscos nocivos à saúde com relação à produção de alimentos e a cerveja não é exceção a estes riscos. Contudo, alguns são menos

preocupantes. Por exemplo, a cerveja é um produto muito seguro microbiologicamente, pois passa por uma fervura, que essencialmente mata qualquer contaminante microbiológico proveniente das matérias-primas, esterilizando o produto. E também aos efeitos antibacterianos do álcool, ao baixo pH, ao dióxido de carbono e aos ácidos do lúpulo (ASAE, 1996). Isto não significa que infecções através da cerveja sejam impossíveis, apenas que é pouco provável que ocorram.

2.5 MATÉRIAS-PRIMAS

Os ingredientes influenciam rigorosamente a qualidade de cerveja, ou seja, ingredientes de qualidade são indispensáveis para a produção de uma cerveja de qualidade. Isso se torna ainda mais importante na fabricação de cervejas especiais, principalmente no âmbito das microcervejarias e cervejarias artesanais, nas quais o consumidor é mais seletivo e exigente (MATOS, 2011).

A cerveja possui algumas matérias-primas na sua composição, sendo o lúpulo, malte, fermento e água os principais. Alguns adjuntos podem ser adicionados como matérias-primas para melhorar alguma característica ou conferir cor, sabor e aroma específicos.

2.5.1 Água

A água é o principal constituinte do produto em volume, ultrapassando os 92% do total, além de que para cada litro de cerveja são utilizados em média 12 litros de água em todo o processo de fabricação. Mas além da quantidade, a composição da água desempenha um papel muito importante na qualidade da cerveja e na caracterização de seu estilo. Antigamente, as características minerais da água utilizada davam determinado sabor, nem sempre desejável à cerveja, mas hoje em dia a tecnologia possibilita o uso de água com teores de pureza e minerais ajustados à produção de cerveja, quando este se faz necessário (ANDRADE; MEGA; NEVES, 2011).

No processo presente, a água é o principal insumo para a produção de cerveja, todavia, também é um insumo utilizado na limpeza de equipamentos, filtração e até como fluido refrigerante do trocador de calor, e limpeza de áreas externas. A água utilizada nos processos secundários pode ser de qualidade mediana, sendo a água da rede de abastecimento ou até água captada da chuva (NEVES, 2011).

Já o processo primário necessita um controle minucioso de sua água. Morado (2009) diz que “calibrando” as propriedades da água conforme as necessidades e a formulação, pode-se acentuar sabores maltados e de amargor pela concentração de sais de cálcio, magnésio e sulfato.

O controle do pH da água também é fundamental, pois o ideal é que se tenha um pH ácido, que facilita a atividade enzimática dos cereais, com consequente aumento no rendimento de maltose e maior teor alcoólico. Um pH alcalino, por sua vez, pode causar a dissolução de componentes no malte e nas cascas dos cereais, indesejáveis no processamento da bebida (OLIVEIRA, 2011).

A tabela 1 mostra genericamente as principais características da água para cervejas.

Tabela 1 - Características da água para a produção da cerveja.

Parâmetro	Unidade	Especificação
Sabor	-	insípida
Odor	-	inodora
pH	-	6,5 - 8,0
Turbidez	NTU	menor que 0,4
Matéria Orgânica	mg O ₂ /L	0 - 0,8
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	50 - 150
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	18 - 79
Sulfatos	mgSO ₄ /L	1 - 30
Cloretos	mgCl/L	1 - 20
Nitratos	mgNO ₃ /L	ausente
Cálcio	mgCa ²⁺ /L	5 - 22
Magnésio	mgMg ²⁺ /L	1 - 6
CO ₂ livre	mgCO ₂ /L	0,5 - 5

Fonte: Matos, 2011

Porém, algumas cervejas especiais necessitam de quantidades diferentes de certos componentes, portanto essas características são variáveis.

2.5.2 Malte

O malte é a fonte primária de carboidratos, proteínas, lipídios e substâncias polifenólicas para cerveja e é obtido da germinação de cereais por malteação. A malteação é um processo de ativação do metabolismo do cereal, gerando enzimas e convertendo o amido do endosperma em açúcares fermentescíveis, que são necessários para a produção da bebida, pois farão o álcool da cerveja. Essa transformação enzimática é feita por meio da embebição, germinação e posterior secagem desses grãos. Em maltarias este processo é feito sobre condições ambientais controladas a fim de se produzir as enzimas específicas utilizadas na conversão das matérias primas em mosto cervejeiro (BELETI et al., 2012).

Diversos cereais podem originar malte, dentre eles a aveia, o trigo, o milho, a cevada, entre outros. Fatores como valor econômico e poder diastásico (potencial de conversão de amido) são considerados para a escolha do grão a ser malteado (CARVALHO, 2007).

Mesmo com a possibilidade da malteação de vários cereais, a cevada é o grão mais utilizado para a produção de malte para cerveja. Isto ocorre por conta de sua produção de enzimas de forma equilibrada e pelo alto teor de proteínas que ajuda no crescimento da levedura. Além disso, a cevada possui substâncias nitrogenadas, que desenvolvem um papel importante na formação da espuma e grande eficiência da casca no processo de filtração do mosto (HOSENEY, 1994).

A eficiência da maltagem e do processamento da cerveja também dependem de algumas características composicionais. De acordo com Reinold (1997), são elas:

- Umidade: 4 a 5 %;
- Extrato: no mínimo 80 %;
- Poder diastásico: no mínimo 350 WK (Windiseh-Kolbach);
- pH: entre 5,5 e 6,0;
- Cor após a fervura 6,0 a 7,5 EBC (European Brewery Convention);

- Proteína total: no máximo 11,5 %;
- Nitrogênio solúvel de 610 a 800 mg 100g⁻¹

Os maiores produtores de malte são Alemanha, Canadá, Estados Unidos, Austrália, Rússia, Espanha, Ucrânia, Reino Unido e França, responsáveis por aproximadamente 60% da produção mundial. Na América do Sul o Brasil, o Uruguai e a Argentina também produzem malte, sendo que no Brasil a principal região produtora é a Região Sul (BRASIL GLOBAL, 2005; EISENBAHN).

2.5.3 Lúpulo

O lúpulo é um pequeno broto floral da trepadeira *Humulus lupulus* L., que é o principal responsável pelo aroma acre e pelo sabor amargo da cerveja. Utilizam-se apenas as flores femininas, que apresentam grande quantidade de resinas amargas e óleos essenciais, os quais conferem à cerveja este amargor e aroma. Além disso, o lúpulo tem a característica de diminuir/evitar a formação de espuma durante a fervura e serve como agente bacteriostático, contribuindo assim para a estabilidade microbiológica e físico-química (REBELLO, 2009).

Seu cultivo é típico dos climas frios do hemisfério norte, sendo os maiores produtores os EUA, a França, a Alemanha, a República Checa e a Eslováquia. No Brasil não existem condições climáticas adequadas para produção de lúpulo, sendo assim o suprimento do país é importado da Europa e dos Estados Unidos. É importado para o Brasil na forma de pellets ou como extrato, sendo seus componentes concentrados e facilmente armazenados e manipulados.

Diferentes tipos de cerveja são produzidos com diferentes tipos de lúpulo, podendo ser utilizados mais de uma variedade em uma cerveja. Algumas variedades de lúpulo são utilizadas com o intuito de conferir aroma, e outras variedades são responsáveis por realçar o amargor, podendo ainda ser empregado com as duas finalidades. Conforme Hutkins (2006), são necessários entre 40 a 300 g para cada 100 L de cerveja e o teor de amargor contribuído pelo lúpulo é expresso em termos de Unidade Internacional de Amargor (IBU). Um IBU equivale aproximadamente 1 mg de ácidos iso- α , proveniente da resina do lúpulo, por litro de cerveja.

2.5.4 Levedura

O fermento é o ingrediente utilizado para realizar o processo de fermentação microbiológica dos açúcares no mosto cervejeiro, produzindo álcool. Os fermentos cervejeiros comumente utilizados para a produção de cervejas são as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces uvarum*. São microrganismos anaeróbios facultativos, isto é, produzem energia a partir de compostos de carbono, tanto em condições aeróbias como em condições anaeróbias. Nas condições anaeróbias, especificamente, as células da levedura consomem açúcares simples, como glicose e maltose, e produzem dióxido de carbono e álcool como principais produtos residuais. Para que a fermentação tenha sucesso, dentro de especificações técnicas, é muito importante que se misture ao mosto uma quantidade de leveduras capaz de consumir os açúcares fermentescíveis (MORADO, 2009).

Existem centenas de variedades de leveduras, mas normalmente se dividem em dois grupos: as leveduras de fermentação alta (*Saccharomyces cerevisiae*) e as leveduras de fermentação baixa (*Saccharomyces uvarum*). Essas leveduras também, além do malte, lúpulo e outros ingredientes que se podem utilizar para dar determinadas propriedades à cerveja, ajudam também a definir o seu caráter e sabor, pelos produtos secundários da fermentação, que são ésteres, álcoois superiores, cetonas, fenóis e ácidos graxos. De fato, as leveduras podem apresentar aspectos florais, frutados ou minerais, indicados para diferentes estilos de cerveja (CARVALHO, 2007).

Carvalho (2007) diz também que os fermentos cervejeiros de alta fermentação trabalham em uma faixa de temperatura de 15 °C a 22 °C, com períodos de tempo entre 3 a 5 dias. Os fermentos de baixa fermentação, por sua vez, trabalham em uma faixa de temperatura de 7 °C a 15 °C e fermentando por volta de 10 dias.

2.5.5 Aditivos

Apesar do malte de cevada ser o mais comum na produção de cerveja, muitos cervejeiros utilizam grãos adicionais, como o trigo, aveia ou centeio para dar diferentes complexidades e sabores a bebida, também podem ser adicionados 23 ingredientes não tradicionais como frutas, alcaçuz, ervas, pimentas e temperos com o mesmo intuito (NACHEL, 2013).

2.6 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DA CERVEJA

O processamento industrial de cerveja pode ser dividido em operações essenciais: moagem do malte, mosturação, filtração, fervura, clarificação, fermentação, maturação, carbonatação e envase, entre outros processos auxiliares. Nessa sequência de etapas estão envolvidas diversas reações químicas e bioquímicas, necessitando de um cuidadoso acompanhamento (MORADO, 2009).

Esses processos, nessa ordem, são exemplo de uma produção de grandes indústrias, mas dependendo o tipo de produção ou mesmo do estilo de cerveja que se quer produzir, haverá modificações em algumas etapas, assim como na ordem das mesmas. O processo produtivo é dinâmico e modificável, sendo que algumas etapas são optativas (MATOS, 2012).

2.6.1 Moagem do malte

A moagem é um processo físico que tem por objetivo quebrar o grão do cereal e expor o seu amido interno, aumentando a superfície de contato com as enzimas do malte, favorecendo a hidrólise. Essa etapa tem relação direta com a velocidade das transformações físico-químicas, rendimento, clarificação e qualidade final da cerveja (DRAGONE; ALMEIDA; SILVA, 2010).

O malte é colocado no interior de um moinho, que ao cortar/danificar a casca das sementes promove a exposição do amido do endosperma, além de aumentar a área superficial para ação das enzimas na próxima etapa. Pode ser executada em equipamentos que permitam a exposição do conteúdo interno do cereal, do tipo moinhos de rolos, discos ou martelos. Como há a necessidade de vir a utilizar as cascas do malte para filtrar o mosto, o malte é esmagado e não triturado, preferencialmente entre rolos cilíndricos (CRUZ et al, 2008).

Figura 3 - Moinho de rolos para cereais



Fonte: *Direct Industry*: o salão online da indústria.

2.6.2 Mosturação ou brasagem

Mosturação ou brasagem é o processo de embeber em água quente o malte, que ao se hidratar, ativa as enzimas e desencadeia uma série de eventos físicos e bioquímicos. As enzimas contidas no malte, por influência da temperatura, dão início à hidrólise do amido, transformando amido em maltose e outros açúcares, além de extrair outras substâncias como proteínas, vitaminas, taninos, etc. (CARVALHO, 2007). Segundo Palmer (2006), o esquema mais comum para a fabricação artesanal consiste em uma relação água/grão de 2,5 a 3 L/kg.

Diferentes faixas de temperatura favorecem o desempenho das enzimas, que agirão em diversas partes das moléculas de amido, quebrando-as em vários açúcares diferentes (PALMER, 1999). Geralmente, altas temperaturas na mistura (67 a 72 °C) produzem açúcares mais complexos, chamados "dextrinas", que não são fermentados pelas leveduras, resultando em cervejas mais doces e encorpadas. Temperaturas mais baixas na mistura (62 a 66 °C) produzem açúcares simples, como a maltose, que é fermentada completamente pelas leveduras, o resultado são cervejas sem doçura. As enzimas que trabalham nessa etapa, presentes no malte, são as amilases (α e β), glucanases e enzimas de desramificação (ERTHAL, 2006).

Já a transformação das proteínas de alta massa molar em proteínas de médio e baixa massa molar é feita pelas enzimas proteases. Estas reações são essenciais, tanto para a disponibilização do amido do grão quanto para aminoácidos ou peptídeos de cadeias curtas no mosto para que se consigam nutrientes para a levedura (CRUZ et al., 2008).

Quando o mosto contém excesso de proteína, pode ser corrigido pelo uso de complementos do malte. Este complemento (cevada, açúcar, xaropes de carboidratos, soja, fécula de mandioca ou batata) dilui a proteína do mosto proporcionando cervejas de cor mais clara, com teor mais baixo de proteínas, que saciam menos e conservam melhor. (CRUZ et al, 2008).

Mesmo após a maltagem e a moagem do grão de cevada, este tem suas reservas de amido fechadas em matrizes de proteína/carboidrato, que atrapalham o contato físico das enzimas com o amido para que ocorra a conversão. Esmagar ou mexer os grãos durante a mosturação ajuda a hidratar esses amidos, além de que algumas faixas de temperatura ajudam a quebrar as proteínas que os envolvem. Além disso, para que o trabalho das enzimas ocorra é necessário que se deixe a temperatura estática por algum tempo, para dar oportunidade à ação das mesmas, buscando transformar o máximo de amido possível em açúcar, bem como fazer a quebra de outras moléculas (CARVALHO, 2007).

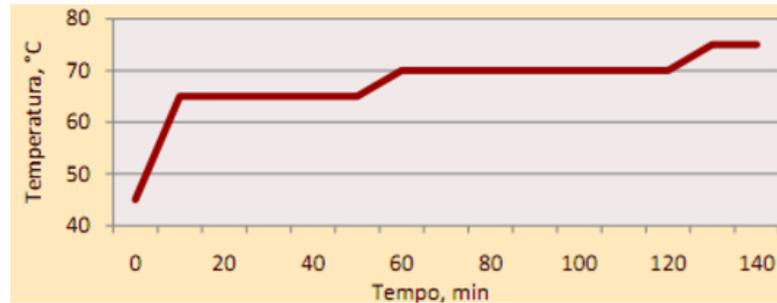
As temperaturas ótimas de atuação das enzimas estão descritas na tabela 2. Com isso, se formam binômios tempo/temperatura que devem ser aplicados na mosturação, que estão representados na figura 4 (CRUZ et al., 2008). Segundo Briggs et al. (2004), o aquecimento do mosto deve ocorrer em uma taxa de aproximadamente 1 °C/min para não prejudicar a extração.

Tabela 2 - Temperaturas ótimas de cada enzima na mosturação

Glucanases	35 – 45 °C
Proteases	45 – 55 °C
α -amilase	60 – 65 °C
β -amilase	70 – 75 °C

Fonte: Ambev

Figura 4 - Exemplo de binômios utilizados para mosturação



Fonte: Castle Malting

Semelhante à temperatura, também existe o pH ideal para atuação de cada enzima. A tabela 3, a seguir, ilustra esses valores.

Tabela 3: pH ótimo das enzimas do mosto cervejeiro

Glucanases	5,0
Proteases	5,2 - 8,2
α -amilase	5,4 - 5,6
β -amilase	5,6 - 5,8

Fonte: Ambev

O ajuste do pH pode ser feito por meio da adição de ácido fosfórico, onde terá também minimizando a extração de polifenóis da casca do malte, reação indesejada. A adição de cloreto de cálcio também é importante no controle do pH, agindo como agente tamponante do meio, reduzindo variação de pH e a dosagem de ácido fosfórico, além de proteger as amilases da desnaturação térmica.

O processo de mosturação dura cerca de 50 a 130 minutos. As características do mosto, entre amidos e proteínas ao final dessa etapa, segundo Cruz et al. (2008), são:

- Açúcares total ou parcialmente fermentescíveis, provenientes da hidrólise do amido (apenas de 3% de outros tipos). Segundo pesquisas recentes, dos carboidratos formados pela hidrólise do amido, apenas glicose, maltose e maltotriose são fermentados.

- 50% dos compostos nitrogenados do mosto serem peptídeos (de 2 a 30 aminoácidos) e proteínas de natureza complexa.

Em seguida dá-se início a etapa de filtração.

2.6.3 Clarificação

Com o objetivo a separação do bagaço de malte do mosto líquido, a clarificação é realizada como uma filtração por meio de peneiras que utilizam como elementos filtrantes as próprias cascas do malte presentes no mosto, e a parte sólida retida é denominada bagaço de malte. Vários equipamentos podem ser utilizados para a clarificação do mosto. Os principais são a tina-filtro e o filtro-prensa de placas.

Na tina-filtro a própria casca, que foi preservada na moagem antes da mosturação e está relativamente íntegra, clarifica o mosto, pois a filtragem é feita através do seguinte processo:

- O mosto é jogado na tina-filtro, tanque equipado com um fundo falso perfurado em uma granulometria tal, que deixa passar somente o líquido, retendo o bagaço;
- O líquido é vazado pelo fundo da tina, chega a uma bomba hidráulica e é bombeado novamente para a parte de cima da torta (bagaço) que ficou retida na primeira passagem.

Assim, o mosto repete esse ciclo até que fique claro e sem impurezas e depois é desviado para outro reservatório chamado caldeira de fervura. A torta é ainda lavada com mais uma quantidade de água para extração de açúcares que ficam retidos entre as partículas sólidas (CRUZ et al, 2008). Ao final da clarificação, de acordo com Fillaudeau et al. (2006), para cada 100 kg de grãos processados, são gerados 125 a 130 kg de bagaço úmido, com cerca de 80 a 85 % de umidade.

Já no filtro-prensa, o mosto com os sólidos é bombeado para quadros que possuem telas de polipropileno, que além de segurarem as cascas, têm um efeito filtrante melhor, devido à porosidade fina. O restante do procedimento é semelhante ao usado na tina-filtro:

bombeamento de mostura, clarificação por circulação, filtração do mosto e lavagem do bagaço para retirada do extrato residual (CRUZ et al., 2008).

O mosto filtrado é então enviado para a etapa de fervura. Enquanto isso, é necessário dar um destino para as cascas dos grãos ainda remanescentes na tina, que são um resíduo sólido chamado bagaço do malte. A retirada deste resíduo pode ser manual, com a ajuda de um operador com uma pá, ou também pode-se utilizar de um sistema pneumático para succionar o resíduo sólido de dentro da tina com o auxílio de uma bomba à vácuo.

2.6.4 Fervura

Esse processo dura de 60 a 90 minutos, sendo que o tempo de fervura começará a ser contado quando o mosto é aquecido até atingir o ponto de ebulição (100 °C) na tina de fervura. Segundo Cruz et. al (2008), os principais objetivos da fervura são:

- Concentração do mosto: evaporação do excesso de água usada, deixando o mosto na densidade desejada;
- Estabilização biológica: o mosto é um meio propício para o desenvolvimento de microrganismos pela alta carga de nutrientes e açúcares, por isso na fervura é visada a esterilização;
- Estabilização bioquímica: as enzimas são inativadas;
- Estabilização físico-química: as proteínas de maior cadeia são desnaturadas, floculando, precipitando e decantando, juntamente com polifenóis, taninos e outras substâncias que serão retiradas posteriormente.

De acordo com Briggs et al. (2004) em uma fervura clássica à pressão atmosférica, é efetuada uma evaporação de 8-10 % do volume do mosto por hora.

Os aditivos que fornecem as características organolépticas desejáveis na bebida, como o lúpulo, caramelo e mel são adicionados nessa etapa.

Na extração do amargor do lúpulo, a variedade da planta deve ser fervida por aproximadamente uma hora, para que o amargor proveniente dos ácidos α da trepadeira que são transformados em ácidos iso- α que conferem amargor possa ser extraído com eficiência. Já na extração dos componentes aromáticos, pelo fato dos aromas serem muito voláteis e

serem evaporados juntamente com a água, o lúpulo aromático é adicionado no final da fervura, permanecendo em ebulição por 10 a 15 minutos. Existem métodos para se calcular as quantidades do lúpulo a serem usadas e sua contribuição para o amargor da cerveja (ALMEIDA, 2005).

Segundo Hall (1997), a maneira mais adequada para definir o nível final de amargor é por meio do IBU (International Bitterness Unit). O IBU é definido em termos da quantidade em mg de iso- α -ácidos presentes por litro de cerveja. A Equação 2.1 apresenta o cálculo do IBU.

$$IBU = \frac{0,7849 \cdot W_{oz} \cdot A\% \cdot U\%}{V_{gal}} \quad (2.1)$$

Onde: W_{oz} é a massa de lúpulo (em onças); $A\%$ é o conteúdo de α -ácidos do lúpulo, em porcentagem; $U\%$ é o percentual de utilização; V_{gal} é o volume final de cerveja, em galões e 0,7849 converte de oz/gal para mg/L, assim como a conversão do percentual de A e U para frações. Caso os valores de W_{oz} e V_{gal} estejam em mg e L, respectivamente, o fator de correção é igual a 1,000 (HALL, 1997).

No final da fervura, o mosto é separado do lúpulo e resfriado, sendo preparado para a fermentação.

2.6.5 Resfriamento e decantação

Após a fervura, é necessário resfriar o mosto rapidamente, para evitar a oxidação e a contaminação por microrganismos. Então, o mosto passa por um trocador de calor a placas ou um chiller é colocado dentro da caldeira, e este é resfriado de 100 °C para 10 a 20 °C imediatamente (REITENBACH, 2010).

Depois deste resfriamento, o mosto precisa passar pela hidromassagem, para a decantação de todas as substâncias sólidas não desejáveis, conseqüentemente, clarificação e purificação da cerveja (REITENBACH, 2010).

A fim de agilizar o processo, pode-se fazer o uso de agentes coagulantes nesta etapa, sendo que estes precisam ser adicionados nos minutos finais da fervura.

2.6.6 *Whirpool*

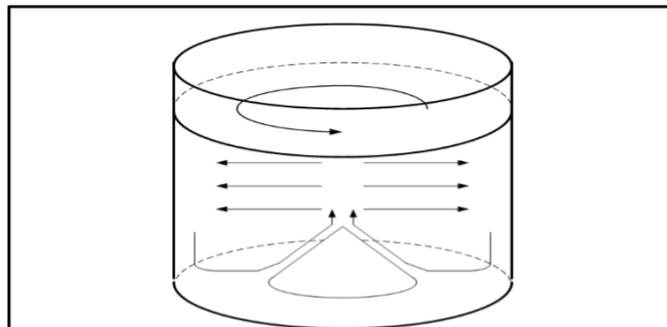
A presença de partículas no mosto, oriundas de proteínas coaguladas e resíduos remanescentes de bagaço, pode comprometer a qualidade da fermentação, dando origem a ésteres, álcoois de maior cadeia molecular ou outras substâncias indesejáveis. Desta forma, embora o teor de partículas seja particular do tipo de cerveja sendo produzida, torna-se indispensável efetuar a clarificação do mosto antes da fermentação.

A forma mais utilizada para realizar a clarificação é submeter o mosto a um processo de decantação hidrodinâmica, realizado em um equipamento denominado *whirpool*, o qual consiste de um tanque cilíndrico onde o mosto entra tangencialmente em alta velocidade, separando as proteínas e outras partículas por efeito centrífugo.

Segundo Dinslaken (2016), a quantidade de *trub* quente retirado nessa etapa é de 0,21 a 0,28 kg/hL de mosto. O tempo que o mosto deve ficar no tanque de decantação é de aproximadamente 17 minutos, sendo 2 minutos para o mosto estabilizar e 15 minutos para a formação do *trub*. Esse processo não deve durar mais do que 30 minutos, para evitar a oxidação do mosto. O oxigênio é muito prejudicial à cerveja nesta etapa, pois tem influência negativa sobre a cor, o paladar, a estabilidade física e química. Apesar disso, o mosto não pode ser isento de oxigênio, pois sem ele as leveduras não podem se multiplicar (REITENBACH, 2010).

O mosto clarificado vai então para o tanque fermentador. O resíduo sólido é retirado manualmente nesta etapa do processo e é denominado *trub* grosso.

Figura 5 - representação da força centrífuga feita pelo *whirpool*



Fonte: *Home Brewing Wiki*

2.6.7 Aeração

De acordo com Aquarone et al. (2001) e Carvalho (2007), é crucial que o contato do oxigênio com a cerveja seja evitado, pois tem influência negativa sobre as qualidades da cerveja como a cor, o sabor e a estabilidade físico-química. Porém, esta é a única etapa onde a oxigenação é favorável ao processo, pois a presença de oxigênio é essencial para o crescimento da levedura, que é realizado por meio do metabolismo oxidativo (respiração) e é utilizado também, para a realização da síntese dos ácidos graxos insaturados e esteróis, componentes das membranas intracelulares. As leveduras necessitam em torno de 8 a 10 mg de oxigênio por litro para a sua propagação. Dados de Parker (2008) confirmam que são injetados 180 litros de oxigênio puro em 1,6 hL de mosto para ter concentração adequada dissolvida.

Apesar de o oxigênio dissolvido ser extremamente necessário no mosto cervejeiro, seu controle é difícil. Concentrações baixas podem causar insuficiência de crescimento e baixa velocidade de fermentação, já o excesso causa aumento de biomassa e redução de etanol (MOONJAI et al., 2002).

As cervejarias geralmente injetam o ar estéril na linha de mosto após o resfriamento, pois quando adicionado nessa etapa o oxigênio dissolve-se fisicamente e não haverá o risco de reações de oxidação com os constituintes do mosto (taninos), que fariam com que o mosto escurecesse, como ocorre quando adicionado no mosto quente (AQUARONE et al., 2001).

2.6.8 Fermentação

Uma vez tendo sido preparado o mosto e este tendo sido clarificado e resfriado, pode-se dar início a fermentação, o processo central da indústria cervejeira. Nesta fase, o fermento transforma o açúcar do mosto em álcool e gás carbônico em uma reação exotérmica, obtendo-se assim, a energia necessária à sua sobrevivência.

A fermentação alcoólica preserva os alimentos, tanto diminuindo o pH, como pela produção de etanol, condições nas quais poucos microrganismos, além das leveduras, sobrevivem. Para isto, vários parâmetros devem ser tomados para que se tenha uma boa cerveja, como a seleção de uma boa cepa de levedura, se a cerveja será de baixa ou de alta

fermentação, assim como a concentração celular a ser utilizada e dados de crescimento e morte celular do microrganismo. Após, pode-se determinar o tempo de reação e como determinar o término da fermentação (FERREIRA, 2006),

A fermentação do mosto é dividida em duas etapas: numa primeira etapa, denominada aeróbia, as leveduras se reproduzem, aumentando de quantidade de 2 a 6 vezes; em seguida inicia-se a fase anaeróbia, onde as leveduras realizam a fermentação propriamente dita, convertendo os açúcares presentes no mosto em gás carbônico e álcool (SANTOS, 2005).

Como dito anteriormente, segundo Carvalho (2007), os fermentos cervejeiros de alta fermentação trabalham em uma faixa de temperatura de 15 a 22 °C, com períodos de tempo entre 3 a 5 dias. Os fermentos de baixa fermentação, por sua vez, trabalham em uma faixa de temperatura de 7 a 15 °C e fermentando por volta de 10 dias. O principal objetivo da fermentação é obter cervejas com as características sensoriais, químicas e físico-químicas desejadas e, durante esta, é muito importante o controle preciso da temperatura, pois esta será responsável pelo desenvolvimento do sabor adequado da cerveja. Para isso, no entanto, é necessário que a tina de fermentação seja resfriada, uma vez que a fermentação é um processo exotérmico, ou seja, que gera calor (CRUZ et. al, 2008; REITENBACH, 2010).

Na fermentação do tipo *lager* o mosto contém aproximadamente 150 g/L de açúcares fermentáveis, 1 g/L de levedura e oxigênio numa proporção de aproximadamente 25 mg/L. Durante a fermentação, a concentração de levedura aumenta em torno de cinco vezes e esse crescimento é acompanhado pela formação de aproximadamente 45 g/L de etanol e 42 g/L de dióxido de carbono (BRIGGS et al., 2004).

Ao final obtém-se, além do mosto fermentado, uma grande quantidade de CO₂, além de um excesso de levedos, já que estes se multiplicam durante o processo. Este levedo é então levado para tratamento e estocagem, sendo uma parte reutilizado em novas bateladas de fermentação e parte descartada como resíduo sólido (CARVALHO, 2007).

Então o mosto fermentado, denominado também de cerveja verde, segue para sua gaseificação e fornecimento das características organolépticas adicionais.

2.6.9 Maturação

O processo de maturação ocorre ao transferir a cerveja verde obtida para o tanque de maturação, onde será mantida a temperaturas de aproximadamente 0°C por 10 a 60 dias, dependendo do tipo de cerveja produzido. Essa fase é importante para a sedimentação de algumas partículas em suspensão e também para desencadear algumas reações de esterificação que irão produzir aromatizantes essenciais para a cerveja. Além disso, as leveduras que ainda restam em suspensão trabalharão lentamente, consumindo o pouco açúcar que resta (PALMER, 1999).

Para que todas estas reações ocorram, é necessário que o processo de maturação seja controlado, para que a mesma não seja muito rápida e nem muito lenta, pois isto impactará negativamente no sabor da cerveja. Além disso, deve haver o monitoramento constante do O₂ na bebida, para garantir que não haja oxidação indesejada. Ao término desta fase, a cerveja está estável e praticamente concluída em termos de aroma e sabor (REITENBACH, 2010).

2.6.10 Filtração

Após a maturação a cerveja é filtrada, em alguns casos, para a eliminação de partículas menores em suspensão, formando então uma cerveja cristalina, brilhante e transparente. A filtração, em tese, não altera a composição e o sabor da cerveja (REITENBACH, 2010).

Além disso, após a filtração, a cerveja deverá aumentar sua estabilidade microbiológica e físico-química, pois as leveduras em suspensão são retiradas, aumentando a segurança e vida útil da mesma. Outro benefício da filtração é o padrão da cerveja dentro da garrafa, pois em alguns casos, o líquido na parte inferior é mais denso do que na parte superior, e isso pode ser associado à falta de qualidade pelo consumidor. Por outro lado, a retirada das leveduras pela filtração da cerveja, que são ricas em vitaminas, empobrece nutricionalmente a cerveja (REITENBACH, 2010).

Para este processo pode-se contar com diversos tipos de meio filtrante, sendo os mais comuns os filtros de velas verticais ou placas horizontais, além do uso de terra diatomácea como elemento auxiliar à filtração. Pode haver ainda uma etapa final, de filtração com filtro de cartucho, para polimento (CETESB, 1992).

O resíduo sólido gerado nesta etapa é a torta de filtração denominada *trub* fino, de alto conteúdo nitrogenado e muito interessante economicamente.

2.6.11 Carbonatação

O teor de gás carbônico existente na cerveja ao final do processo não é suficiente para atender as necessidades do produto. Desta forma, realiza-se uma etapa de carbonatação da mesma, por meio da injeção do gás carbônico gerado na etapa de fermentação. Além disso, pode ser injetado gás nitrogênio, com o intuito de favorecer características de formação de espuma (CRUZ et. al, 2008).

Quando a cerveja não precisa se envasada, ela pode ser carbonatada na hora da comercialização. Um método que vem sendo muito utilizado é a carbonatação em linha, na qual a cerveja entra em contato com uma quantidade de CO₂ pré-determinada e, em seguida, já carbonatada, a cerveja segue para a torneira (CARBOTÉK, 2015).

2.6.12 Envase

Uma vez concluída a produção da cerveja, esta deve ser devidamente envasada, podendo ser acondicionada em diferentes tipos de embalagens como garrafa, barril, lata e boxes. A máquina que realiza o envase é denominada enchedora.

Nesse processo deve-se ter grande cuidado com possíveis fontes de contaminação, perda de gás e contato da cerveja com oxigênio. Tais ocorrências podem comprometer a qualidade do produto (PALMER, 1999). Nesta etapa também se geram resíduos de vidro provenientes da quebra de garrafas, latas amassadas e efluentes provenientes de eventuais derramamentos de cerveja.

O percentual da produção que é destinado a cada uma destas formas de envase depende das condições de mercado, variando entre empresas. Após ser envasada em garrafas e latas a cerveja é enviada à próxima etapa, a pasteurização.

2.6.13 Pasteurização

A pasteurização tem como objetivo eliminar os microrganismos que poderão prejudicar as características originais da cerveja e a segurança durante o envase. Esta é uma etapa optativa, sendo que a diferença do chope para a cerveja, é que a cerveja é pasteurizada, e o chope não. Quando ocorre a pasteurização, pode ser por dois processos, segundo Carvalho (2007), que acontecem em tempos diferentes:

- Antes do envase: quando o líquido passa por trocador de calor a placas, e permanece por alguns segundos por 70°C. Nesse processo a cerveja perde muito gás CO₂, que deve ser repostado.
- Depois do envase: consiste em passar as latas ou garrafas de cervejas por um túnel de vapor d'água, fazendo-o a cerveja aquecer até 70°C dentro da garrafa, depois é borrifado água fria, fazendo o produto voltar à uma temperatura segura.

Com o aumento da pressão interna da garrafa durante o aumento da temperatura da pasteurização, a quebra da mesma torna-se muito mais fácil. Por isso, não se pode colocar quantidades excessivas de CO₂ nas cervejas que irão ser pasteurizadas. O tempo de duração do chope é em torno de 15 dias, e o da cerveja, em torno de 6 meses.

2.6.14 Armazenamento e expedição

Depois de pasteurizada, a cerveja é armazenada e após, encaminhada para a fase de expedição para ser comercializada. O chope como não precisa passar pela etapa de pasteurização, é armazenado em câmaras frias ou encaminhado para a expedição logo após o envase.

2.7 RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO CERVEJEIRA

Pela natureza de suas operações, centradas na fermentação e repletas de etapas de limpeza, o processo de produção cervejeira tem grande vazão de efluentes, e com valores

moderados ou elevados de carga orgânica e sólidos em suspensão de (1.200 a 3.000 mg/L de DBO, e de 100 a 800 mg/L de sólidos suspensos.). Desta forma, pode-se dizer que os principais pontos de atenção em relação aos impactos ambientais do setor cervejeiro são oriundos destas características, Além da geração de resíduos sólidos de etapas de filtração antes e depois da fermentação, odores da ETE, geração de efluentes dos sistemas de refrigeração, etc. (Carvalho, 2007)

2.7.1 Resíduos sólidos

Os principais resíduos sólidos gerados são os oriundos dos grãos de malte, que são as cascas e polpa dos grãos, em suspensão ou dissolvidos no mosto. Estes são gerados principalmente nas etapas de filtragem, envase e tratamento de água e efluentes líquidos. Segundo Carvalho (2007), os principais resíduos gerados são:

- Bagaço de malte: resíduo retirado na etapa de filtração do mosto, constituído por restos de casca e polpa dos grãos;
- *Trub* grosso: resíduo gerado na etapa de *whirpool*, composto de proteínas e gordura vegetal;
- *Trub* fino: resíduo obtido na segunda filtração do mosto, composto majoritariamente de gordura vegetal;
- Leveduras: durante o processo de fermentação as leveduras se reproduzem, obtendo-se ao final do processo mais levedo do que se utilizará na próxima batelada. Após seu uso total, essa levedura é descartada como resíduo sólido;
- Terra Diatomácea: usada na filtração;
- Lodo: na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), geram-se quantidades consideráveis de lodo.

O bagaço de malte, o *trub* grosso e o *trub* fino possuem excelentes características nutricionais e podem ser vendidas para a produção de ração animal ou para a indústria de panificação. Sua valorização é importante, pois estes são os principais resíduos sólidos resultantes do processo da fabricação de cerveja. Como uma alternativa viável na utilização para panificação, torna-se interessante essa viabilidade de todo um processo se obtivermos um

produto seco, sendo assim é importante levar em consideração um possível processo de secagem em estufa (UNEP, 1996).

Já as leveduras, a terra diatomácea e o lodo devem ser secos e descartados em aterros como material inerte (UNEP, 1996).

2.7.2 Efluentes líquidos

A indústria cervejeira caracteriza-se como grande geradora de efluentes, pois utiliza muita água em sua produção, uma média de 12 litros por litro de cerveja produzida. Os despejos líquidos da cervejaria originam-se, basicamente, da lavagem de garrafas e da limpeza dos equipamentos de produção. Também serão gerados efluentes dos esgotos sanitários e das águas servidas no refeitório. Essas correntes, de pequeno volume diante do efluente industrial propriamente dito, podem ser descartados juntamente com os resíduos líquidos da produção (PADULA; SILVA, 2005).

Para caracterizar este efluente é importante ressaltarmos que a composição do mesmo é fortemente influenciada pelas condições operacionais do processo, como o tipo de cerveja fabricada, o tipo de levedura utilizada, a qualidade dos processos de filtração e a eficiência dos processos de limpeza de equipamentos. Por conta destes fatores, tanto a composição como a taxa de geração dos rejeitos é muito variável. Por exemplo, a lavagem de garrafas gera grandes volumes de efluente, mas com reduzida carga orgânica. No entanto, a fermentação e filtragem geram apenas 3% do volume de efluentes, mas são responsáveis por 97% da carga orgânica total (GUERREIRO, 2006).

Segundo a resolução CONAMA nº 430/2011, que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, os parâmetros de maior importância para a caracterização dos efluentes gerados no processo produtivo da cerveja são:

- **Matéria orgânica:** define o consumo de oxigênio que ocorrerá na estação de tratamento de efluentes ou no corpo receptor se for lançado direto sem tratamento. A matéria orgânica presente no efluente é conhecida através da DQO (Demanda Química de Oxigênio), que determina a matéria orgânica total da amostra, utilizando o oxigênio como agente oxidante. É expressa em mg/L e deve ser removida em 60%;

- **Sólidos Totais:** Indica a presença total de matéria presente em um efluente, seja na forma de substâncias dissolvidas, em estado coloidal ou em suspensão. O valor máximo no efluente final deve ser de 1 mg/L;
- **Temperatura:** A temperatura do efluente é de grande importância devido a seu efeito na vida aquática. A legislação determina como temperatura máxima para lançamento no curso de água 40 °C, sendo que a elevação da temperatura do corpo receptor não deverá exceder 3 °C.
- **pH:** O pH é um parâmetro importante dos efluentes industriais para a manutenção da qualidade dos cursos de água. O pH do efluente nas indústrias de cerveja é na sua grande maioria alcalino devido a descarga das lavadoras onde é utilizado soda caustica. Porém a faixa de pH aceita pela legislação é ampla, de pH de 5 a 9.
- **Nitrogênio e Fósforo:** São considerados nutrientes para os processos biológicos. Se não estiverem presentes em quantidade suficiente no efluente é necessário complementar uréia ou ácido fosfórico. A legislação traz um valor de até 20 mg/L.

Arruda et al. (2015), caracteriza genericamente o efluente cervejeiro como:

- **Sólidos em Suspensão:** 100 – 800 mg/L;
- **Nitrogênio Total:** menor que 24,3 mg/L;
- **pH:** entre 6,5 – 8,0;
- **Relação DBO:N:P:** em tratamento aeróbio deve ser de 100:5:1.

Sendo assim, os sistemas de tratamento mais utilizados para o tratamento de efluentes de cervejarias são compostos por um processo físico composto por grade e decantadores e um sistema biológico composto por lodo ativado e um reator aeróbio, anaeróbio ou integrado (KOCHENBORGER, 2012).

Pode-se tratar este efluente no local de produção, ou então terceirizar este serviço com empresas especializadas. Se o efluente for tratado na indústria, pode-se fazer o reuso dessa água. A água pode ser utilizada para vários fins como lavagem de pisos, ou no processo como parte do resfriamento e higienização de equipamentos. Porém, para o efluente ser reutilizado é necessário um tratamento avançado e bastante caro.

2.7.3 Emissões atmosféricas

Segundo a *European Commission* (2002), as emissões atmosféricas de uma cervejaria são principalmente dos seguintes tipos:

- Emissões de gases de combustão: oriundas da caldeira de produção de vapor, principal fonte de emissões atmosféricas de uma cervejaria, são compostas de gases de combustão (CO, CO₂, NO_x, SO_x, hidrocarbonetos, etc) e material particulado. A composição dos gases varia em função do combustível usado (lenha, óleo, gás natural, etc), da tecnologia empregada e do sistema de controle de emissões acoplado aos equipamentos;
- Emissão de CO₂: gerado em grande quantidade durante a fermentação. Atualmente o CO₂ é totalmente recuperado, com uso na carbonatação da bebida;
- Odor: Na fervura do mosto, parte da água é evaporada, emitindo além de vapor d'água diversos compostos orgânicos, fazendo deste processo a principal fonte de odores do processo cervejeiro.

Porém, estas emissões não são significativas para a poluição do ar atmosférico (UNEP, 1996).

2.8 SISTEMA DE LIMPEZA

Considerando que a higiene, limpeza e assepsia de todas as etapas do processamento são fundamentais para a segurança e qualidade da cerveja produzida, são necessários programas de limpeza e sanitização. Devido ao alto teor de água e nutrientes no processamento cervejeiro, é provável que haja a proliferação microbiana. Desta forma, a limpeza e sanitização devem ser feitas toda vez em que se passa quatro horas sem a utilização do processo (SCHMIDT, 1997).

O processo escolhido é denominado sistema CIP (*Clean in Place*), caracterizado por efetuar a higienização nas máquinas utilizadas sem a desmontagem dos componentes e de forma cinética. De reconhecida eficiência na remoção de tipos de resíduos, o sistema CIP evita a proliferação de microrganismos e, por sua vez, contaminar o ciclo seguinte de produção (ANDRADE; MACEDO, 1996).

De acordo com Schmidt (1997), limpeza é a remoção total de resíduos sólidos presentes nas superfícies por meio da utilização de detergentes químicos como a soda cáustica. Já a assepsia, ou sanitização, pode ser realizada de maneira térmica, através utilização de água quente ou vapor, ou química, pela ação de agentes sanitizantes químicos como hipoclorito de sódio, ácido peracético, cloretos de benzalcônio entre outros.

Higienizar adequadamente o equipamento pode também trazer benefícios econômicos ao setor industrial. De acordo com Jun e Puri (2005) custos gerados pelos resíduos incrustados, estão envolvidos nas paradas de produção para reparo dos equipamentos, na perda de produção por contaminação física e microbiológica, no excessivo uso de água e na perda de energia.

Sistemas CIP são automatizados e utilizados em diversos designs para que se ajustem ao modelo de processo que deve ser limpo. Esse sistema pode ser utilizado por qualquer equipamento que possa ser atingido por água e solução aquosa de produtos de limpeza sob pressão e temperatura altas (BREMER et al., 2006).

2.9 UTILIDADES E OPERAÇÕES AUXILIARES

A produção da cerveja depende de vários outros insumos e operações periféricas. Inclui-se então, o aquecimento de líquidos, refrigeração, ar comprimido, água, produtos químicos para limpeza de equipamentos.

A seguir, as principais atividades do setor de utilidades e operações auxiliares serão apresentadas.

2.9.1 Produção de água quente e vapor

Em diversas etapas do processo produtivo é necessário o uso de água quente e em outras etapas de vapor. O modelo de produção desses auxiliares está altamente atrelado ao volume de produção da indústria cervejeira. O aquecimento de água nas etapas de mostura, fervura e CIP pode ser realizado através da passagem de trocadores de calor alimentados à vapor ou por resistências elétricas. Em fábricas com produção diária menor do que 500 L se recomenda o uso de resistências elétricas devido ao investimento e custos de licenças necessárias para instalação de unidade de caldeira (FERREIRA, 2016).

Já a produção de vapor d'água acontece com a queima de óleo combustível, gás liquefeito do petróleo ou queima de carvão em caldeira, sendo o agente de aquecimento mais usual nas cervejarias. É utilizado seco e saturado a uma pressão relativamente baixa, cerca de 4 bar e 148 °C. Em uma superfície de troca de calor, o vapor d'água saturado se condensa, doando seu calor latente que aquece o mosto. Os sistemas aquecidos a vapor d'água saturado devem ser equipados com válvulas redutoras de pressão e outros acessórios para evitar que os tanques estourem com a queda brusca de pressão resultante da condensação do vapor na troca térmica (BRIGGS et al., 2004).

2.9.2 Refrigeração

A baixa temperatura faz-se necessária nas etapas de fermentação e maturação, além da necessidade de refrigerar o ar para câmaras frias e ambientes climatizados. Realiza-se essa função através de camisas de resfriamento nos tanques onde ocorre o processo. Os sistemas mais utilizados empregam a passagem etanol, glicol ou vaporização direta de Nitrogênio como fluido refrigerante, sejam eles de contato direto com a tina ou através de serpentina inserida na camisa (REINOLD, 1997).

Para o resfriamento do fluido refrigerante, o ciclo de compressão de vapor é o mais utilizado. Neste, o trabalho fornecido ao compressor é usado para elevar a temperatura e pressão do fluido refrigerante gasoso que chega ao compressor. O vapor então segue até o condensador onde perde o calor para o meio, condensando o fluido refrigerante. O líquido condensado segue em direção à zona de expansão, onde passa do estado líquido a alta pressão para uma mistura líquido-vapor, a baixa pressão e temperatura. O fluido refrigerante então

passa a retirar o calor do sistema a ser refrigerado, utilizando esse calor para se vaporizar e seguindo em direção ao compressor, onde completa o ciclo (DINÇER, KANOGLU, 2010).

2.9.3 Tratamento de água

Em quantidade, a água é o principal componente da cerveja e suas propriedades são o fator mais significativo na qualidade do produto final. A atual disposição tecnológica, favorece a possibilidade do uso de água com elevado teor de pureza e possibilita o controle dos sais minerais adequados à produção de cada cerveja (MEGA; NEVES²; ANDRADE, 2011).

Com o objetivo de assegurar a qualidade da água utilizada em neste processo, esta passa por um tratamento simples. Antes de se iniciar a etapa de brassagem, a água passará por um filtro de carvão ativado para remoção das impurezas e sais minerais. Após, a água é exposta à luz UV com a finalidade de esterilização da mesma. E ainda para assegurar a qualidade, essa água será fervida durante 15 minutos antes da etapa de brassagem, a fim de eliminar os compostos voláteis que trazem malefícios à qualidade do nosso produto final (SOUZA; LANG, 2014).

Além da água como matéria-prima temos a água de serviço, utilizada para lavagem de equipamentos, por exemplo. É permitido a recuperação dessa, para reuso em diversas situações, devendo-se assim, observar as necessidades sanitárias para garantia da qualidade do produto, bem como para atendimento à legislação.

2.9.4 Tratamento de efluentes

O tratamento de efluentes de uma cervejaria é indispensável, tendo-se em vista a segurança e a manutenção de um ambiente limpo, ainda mais tratando-se de processos de fabricação da bebida utilizam água, carboidratos e nutrientes como matérias-primas. A legislação brasileira demanda os parâmetros seguros nos quais o efluente deve ser dispensado (FATMA, 2016).

No entanto, os obstáculos referentes a espaço físico e qualificação para tratamento dos efluentes, tem se mostrados fatores relevantes para a escolha de terceirização dos serviços de transporte e tratamento de efluentes.

2.10 METODOLOGIA DE PROJETO

O projeto consiste em um processo formado por um grupo de etapas. A seguir estão apresentadas de forma sucinta, as etapas para a realização do vigente projeto, visando o atendimento dos objetivos propostos.

2.10.1 Termo de abertura do projeto

O termo de abertura do projeto é um documento que formaliza a execução do projeto. É o primeiro documento para se criar uma metodologia de gestão. Além de servir como base para o trabalho do gerente do projeto, fornece informações incluindo estimativas iniciais de prazo destinado, recursos necessários e orçamento disponível (PROJECT BUILDER, 2016).

2.10.2 Fluxogramas

As atividades e os processos de uma organização são as maneiras de agregar valor aos serviços e produtos prestados aos clientes. Assim, dispor de mecanismos que asseguram uma boa gestão dessas atividades e processos é necessário. Tais mecanismos devem se apoiar de forma a se obter a redução de custos, redução do tempo, melhoria da qualidade, maior flexibilidade e maior confiabilidade (SLACK et al., 1997).

São encontradas diversas definições de processo, dentre elas, Harrington (1993) diz que são atividades que tem uma entrada, uma transformação que agrega valor e gera-se uma saída para um cliente, fazendo uso dos recursos da indústria para gerar resultados concretos. É imprescindível, neste contexto, ter a visão do processo como um todo e para isso, ferramentas metodológicas são utilizadas (PINHO et al., 2007).

A utilização de fluxogramas é a mais adequada quando se deseja otimizar um determinado processo, pois deixam claros os possíveis fluxos a serem seguidos e quais são as confluências (TAVARES, 2007).

De maneira geral, um fluxograma é um desenho que traça o fluxo de informações, equipamentos, ou materiais através de um determinado trabalho lógico, seja ele manual ou mecânico. Fluxogramas são construídos com formas geométricas contendo uma breve descrição do processo e com linhas e setas que apresentam a sequência de atividades (PINHO et al., 2007).

Para desenvolver e compreender fluxogramas é preciso conhecer seus símbolos. Os fluxogramas mais entendíveis usam símbolos padronizados conhecidos (HARRINGTON, 1993), presentes na Figura 6.

Figura 6 - Símbolos padronizados mais reconhecidos para fluxograma.

Símbolo		Significado
	Triângulo	Armazenagem
	Círculo pequeno	Conexão
	Círculo grande	Inspeção
	Círculo alongado	Limites
	Losango	Ponto de decisão
	Seta	Sentido de fluxo
	Seta interrompida	Transmissão
	Seta grossa	Movimento/transporte
	Retângulo	Operação
	Retângulo aberto	Anotação
	Retângulo de lados arredondados	Espera
	Retângulo com fundo ondulado	Documento impresso

Fonte: Durante et al. (2007 apud HARRINGTON, 1993).

Na área da engenharia, os fluxogramas são desenhos esquemáticos e ainda sem escala, com o objetivo de ilustrar o funcionamento dos diversos sistemas que compõem a instalação industrial. Os fluxogramas têm a finalidade de mostrar o funcionamento de um determinado processo, desconsiderando detalhes de fabricação, construção ou montagem. Do ponto de vista do processo, representam a classe de desenhos mais importante da instalação, o projeto mais básico deve contemplá-lo, sendo o principal input do FEED (Front End Engineering Design) (MOREIRA, 2006). Segundo Bojorge (2014), entre as subdivisões dos fluxogramas de processos, pode-se citar:

- Fluxogramas de blocos (Block flow diagrams – BFD);

- Fluxograma de Processo (Process flow Diagram – PFD);
- Diagrama de Processo e Instrumento (P&ID);
- Fluxograma de Utilidade (Utility Flow Diagram – UFD);
- Fluxograma de Engenharia (Engineering Flow Diagram – EFD);
- Fluxograma Mecânico (Mechanical Flow Diagram – MFD);
- Fluxograma de Sistema (System Flow Diagram – SFD).

O desenho de projeto tornou-se uma ferramenta universal de representação de processos, e são embasados por normas internacionais, sendo um contrato legal entre fornecedor e cliente. Tais normas procuram uniformizar a apresentação técnica dos diversos projetos de engenharia e configurar critérios nos mesmos (MOREIRA, 2006).

As normas que regem as instrumentações possuem símbolos e codificação para identificação alfanumérica de instrumentos e funções programadas que deverão ser utilizados nos diagramas de controle de instrumentação com a finalidade de padronizar a leitura da documentação (ALVES, 2005).

No Brasil a ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 8190 sugere os símbolos gráficos para diversos instrumentos e sua função, porém, a simbologia mais usada mundialmente na área de instrumentação e controle de processo é a padronização S 5.1, da ISA (The Instrumentation, Systems and Automation Society) (ABNT 03.004, 1983; BEGA, 2006).

Projetos industriais devem também apresentar identificação de equipamentos, tubulações, válvulas e instrumentos. Essa codificação, também conhecida como TAG, facilita o desenvolvimento de todas as etapas do projeto, construção, montagem, controle de processo e manutenção da instalação (MOREIRA, 2006).

Para acompanhar as inovações criaram-se normas adicionais, como a ISA 5.2: Diagramas Lógicos Binários para Operações de Processo, a ISA 5.3: Símbolos gráficos para Instrumentação de Display para Controle Distribuído e Compartilhado, Sistemas Lógicos e de Computador, a ISA 5.4: Diagramas de Malha de Instrumentos, trata de símbolos e identificação de diagramas de malha e a ISA 5.5: Símbolos Gráficos para Displays de Processo (BOJORGE, 2014).

Para este projeto serão elaborados os seguintes fluxogramas:

a. Diagrama de Blocos

De acordo com Harrington (1993), o fluxograma mais simples e comum é o diagrama de blocos, o qual fornece uma visão rápida do processo e são usados geralmente para definir um futuro fluxograma que consiga melhor detalhar as atividades. Normalmente são desenvolvidos no início do processo de aperfeiçoamento visando determinar e documentar a extensão do mesmo. São usadas formas gráficas como retângulos, círculos e setas para demonstrar a ordem em que os processos produtivos ocorrem.

b. Fluxograma Conceitual

Um fluxograma conceitual organiza a informação de forma linear mostrando passo a passo um determinado procedimento visando melhorar a seu desempenho.

Geralmente inclui um ponto inicial e outro ponto final. As informações são organizadas de maneira lógica e sequencial, facilitando a leitura do processo. Entretanto, apresenta ausência de pensamento crítico (TAVARES, 2007).

Os símbolos desse tipo de fluxograma são padronizados pela ANSI, sendo que cada um tem um significado como apresentado na Figura 2 (DURANTE et al., 2007).

c. Fluxograma de Processos

De acordo com Bojorge (2014), os fluxogramas de processo (PFDs - Process Flowsheets Diagrams) apresentam balanços materiais e de energia além dos principais equipamentos da planta. Eles incluem os vasos como reatores, tanques e separadores, equipamentos de processamento especial, trocadores de calor, bombas, entre outros.

2.10.3 Balanço de Massa e Energia

O balanço de massa e energia são aspectos muito importantes a serem estudados nos processos químicos industriais, pois a partir destes cálculos, é possível verificar se as reações ou operações unitárias estão ocorrendo de uma forma correta nos equipamentos, obter o controle de energia que entram e saem do processo e determinar a necessidade energética como um todo (FELDER; ROUSSEAU, 2005).

a. Balanço de Massa

O balanço de massa geralmente é o primeiro passo na solução de um problema da engenharia química, seja ele simples ou complexo. No estudo das operações unitárias onde os equipamentos utilizados devem ser dimensionados, a primeira etapa a ser executada é o balanço material aplicado à operação em estudo (BRASIL, 2013). O balanço de massa é baseado no princípio de conservação da massa. Deve-se contabilizar todo material que entra e deixa um sistema de acordo com a fronteira delimitada, podendo ser essa fronteira um equipamento, uma corrente ou um processo. A aplicação do balanço depende do problema estudado, mas é regido pela lei de conservação de massa onde diz que matéria não pode desaparecer e nem ser criada (JUNIOR; CRUZ, 2010).

Segundo Junior e Cruz (2013), a classificação dos processos químicos ocorre de acordo com o procedimento de entrada e saída da matéria do volume de controle com a dependência ou não das variáveis de processo com o tempo. No primeiro caso, tem-se a classificação dos processos em batelada, contínuo e semi-contínuo. No segundo caso, os processos podem ocorrer em regime permanente ou transiente.

Nos processos em batelada, a alimentação é introduzida no sistema de uma só vez no início os produtos são retirados algum tempo depois. Nenhuma massa atravessa a fronteira do sistema durante o processo. Segundo Matos (2007), a fabricação de cerveja é tipicamente realizada em batelada. Nos processos contínuos a passagem de matéria é contínua, entrando e saindo do volume de controle enquanto dura o procedimento. Já nos processos semi-contínuos, a entrada de matéria é praticamente instantânea e a saída é contínua, ou vice-versa (JUNIOR; CRUZ, 2013).

Nos processos em regime permanente, as principais variáveis não têm seus valores alterados com o tempo, ao contrário do regime transiente, em que ocorrem alterações nos valores das variáveis com o tempo. A equação de balanço de massa para um sistema global em batelada é apresentada por Brasil (2004), Badino Junior e Cruz (2013) e Himmelblau e Riggs (2014) na Equação 2.4.

$$\textit{Entrada} = \textit{Saída} \quad (2.4)$$

Caso a operação unitária envolva apenas transferência de massa entre as correntes que escoam no interior do equipamento, apenas o balanço de massa será necessário. Entretanto, se envolver a transferência de calor entre as correntes ou entre as correntes e o exterior do equipamento, o balanço de energia também deverá ser aplicado (BRASIL, 2013).

b. Balanço de Energia

De acordo com Junior e Cruz (2013), em sistemas abertos ou fechados a energia pode ser transferida entre o sistema e suas vizinhanças como calor ou trabalho sendo que a direção do fluxo de calor é sempre da maior para a menor temperatura.

Os cálculos de fluxo de energia entrando e saindo nos equipamentos são fundamentados em conceitos termodinâmicos simples. O princípio da conservação da energia ou 1ª lei da termodinâmica estabelece que a energia total de um sistema é conservada, não podendo ser criada nem destruída, apenas transformada, e que a energia total transferida para um sistema pode ser expressa pela Equação 2.5.

$$\Delta E = E_{ent} - E_{sai} + E_g \quad (2.5)$$

Onde: E representa a soma das energias térmica e mecânica e ΔE indica a energia acumulada no volume de controle. A variação das energias térmica e mecânica ao longo de um tempo Δt é então ΔE . Os subscritos ent e sai se referem à energia que entra e sai do volume de controle. A geração de energia térmica recebe o símbolo E_g (INCROPERA et al., 2008). No caso de um sistema fechado, Skogestad (2008) traz o balanço de energia apresentado na Equação 2.6.

$$\Delta U = Q + W \quad (2.6)$$

Onde: U é a energia interna do sistema, Q representa o calor fornecido pela vizinhança e W o trabalho mecânico fornecido.

No caso de processos dinâmicos, em que as variáveis variam com o tempo e de acordo com a Equação 2.7.

$$U = H - pV \quad (2.7)$$

Onde: H é a entalpia do sistema (desconsiderando as mudanças de pressão e volume), p é a pressão e V o volume.

Já o termo H é definido pela Equação 2.8.

$$H = m \cdot h \quad (2.8)$$

Onde: m sendo a massa do sistema e h a sua entalpia específica. Dessa forma, tem-se para um sistema fechado a Equação 2.9.

$$dH/dt = Q + W \quad (2.9)$$

Onde: dH/dt é a variação da entalpia ao longo do tempo.

A transmissão de calor é definida pela literatura como sendo a transferência de energia de um local para outro como consequência de uma diferença de temperatura entre eles. Reconhece como formas de transmissão de calor a condução, a radiação e convecção, podendo ocorrer um mecanismo combinado entre dois ou mais processos (ARFELLI, 2009).

De acordo com KERN (1980), em operações batelada, com o produto massa m (kg) e calor específico C_p (KJ/kg.K) inicialmente a temperatura T_1 (°C) depois de θ horas, a temperatura T_2 (°C) e aquecido ou resfriado por um fluido a temperatura T (°C) as Equações 2.10 e 2.11 são usadas para o aquecimento e o resfriamento, respectivamente.

$$\ln\left(\frac{T-T_1}{T-T_2}\right) = \frac{U \cdot A}{m \cdot c_p} \theta \quad (2.10)$$

$$\ln\left(\frac{T_1-T}{T_2-T}\right) = \frac{U \cdot A}{m \cdot c_p} \theta \quad (2.11)$$

Onde: U representa o coeficiente global de troca térmica ($W/m^2.K$) e A é a área de troca térmica (m^2).

Segundo Incropera (2008), se os fluidos não passam por mudança de fase e forem admitidos calores específicos constantes, sem transferência de calor entre o trocador e a vizinhança, as expressões das taxas totais de transferência de calor entre os fluidos quente e frio em um trocador de calor, para processos contínuos em regime estacionário apresentam-se nas Equações 2.12 e 2.13.

$$Q_q = \dot{m}_q \cdot c_{p,q} \cdot (T_{q,ent} - T_{q,sai}) \quad (2.12)$$

Onde: Q_q representa a taxa de calor (kJ), \dot{m}_q a vazão mássica do fluido quente (kg/s), $c_{p,q}$ a capacidade calorífica do fluido quente ((kJ/kg.K), $T_{q,ent}$ a temperatura do fluido quente que entra no trocador (°C) e $T_{q,sai}$ a temperatura do fluido quente que sai do trocador (°C).

$$Q_f = \dot{m}_f \cdot c_{p,f} \cdot (T_{f,ent} - T_{f,sai}) \quad (2.13)$$

Onde: Q_f representa a taxa de calor (kJ), \dot{m}_f a vazão mássica do fluido frio (kg/s), $c_{p,f}$ a capacidade calorífica do fluido frio ((kJ/kg.K), $T_{f,ent}$ a temperatura do fluido frio que entra no trocador (°C) e $T_{f,sai}$ a temperatura do fluido frio que sai do trocador (°C). Em um trocador de calor com escoamento contracorrente tem-se as Equações 2.14 e 2.15.

$$\Delta T_1 = T_{q,ent} - T_{f,sai} \quad (2.14)$$

Onde: ΔT_1 é a variação de temperatura 1 (°C).

$$\Delta T_2 = T_{q,sai} - T_{f,ent} \quad (2.15)$$

Onde: ΔT_2 é a variação de temperatura 2 (°C). Pelo método média log das diferenças de temperatura (ΔT_{ml}) tem-se a Equação 2.16.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad (2.16)$$

Onde: Q é a taxa de calor (kJ/s ou kW), U representa o coeficiente global de troca térmica (W/m².K) e A é a área de troca térmica (m²) e ΔT_{ml} é a média logarítmica das diferenças de temperatura (°C). Onde o termo ΔT_{ml} é expresso pela Equação 2.17.

$$\Delta T_{ml} = (\Delta T_2 - \Delta T_1) / \ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right) \quad (2.17)$$

2.10.4 Layout

Um arranjo físico é um projeto da área de trabalho onde é realizado o planejamento físico das operações do negócio, incluindo máquinas e equipamentos, móveis e todos os recursos materiais. O arranjo físico é apresentado na forma de *layout*, sendo um gráfico de tamanho proporcional que esquematiza, ordena e dispõe o mapa da situação (CHIAVENATO, 2012).

Segundo Biagio e Batocchio (2005), a finalidade do *layout* é proporcionar maior eficiência no fluxo de trabalho, otimizando distâncias e custos. Chiavenato (2012) complementa dizendo que o *layout* determina o melhor arranjo das pessoas e equipamentos.

Os três principais tipos de *layouts* existentes são: por processo, em linha e celular. A escolha de um determinado tipo de layout varia de acordo com o tipo de produto e realizar a escolha correta do modelo é importante, pois pode ser decisivo para o sucesso do empreendimento, demonstrando conhecimento técnico a respeito do produto, do processo e do mercado (BIAGIO; BATOCCHIO, 2005).

2.10.5 Viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica visa determinar se o projeto tem rentabilidade. Essa análise avalia se o projeto tem capacidade de gerar retorno de investimento e também um retorno sobre o investimento (PORTAL DOS INCENTIVOS, 2016).

Quando se faz uma análise de implantação de uma empresa ou quando se analisa um novo projeto, é de suma importância realizar a análise de viabilidade econômico-financeira. Para isso, deve-se realizar algumas etapas como: projeção das receitas que o projeto terá, projeção de custos operacionais, despesas, investimentos e outros indicadores calculados em relação aos dados projetados (GITMAN, 2004).

Segundo Casarotto Filho e Kopittke (2010), devido à grande quantidade de fatores que podem intervir se faz necessário uma análise objetiva da viabilidade econômica do projeto, empregando técnicas gerais de engenharia econômica.

Uma das mais utilizadas técnicas para realizar a análise econômica é a taxa interna de retorno (TIR) e também o cálculo de *Payback*. Normalmente, a análise visa identificar se a

taxa de retorno é maior do que a taxa de atratividade (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010). Empregando, após, o período de retorno do investimento (payback) e índices de retorno sobre investimentos (BORNIA, 2010).

a. Fluxo de caixa

Segundo Giacomini (2008), o fluxo de caixa é a avaliação das entradas e saídas de dinheiro ao longo do tempo em um caixa simbólico, sendo a montagem de uma matriz que confronte as transações financeiras com os períodos em que foram efetuadas. O fluxo de caixa tem como intuito dar apoio às decisões empresariais e serve de base para a obtenção de indicadores financeiros.

São classificados como fluxos positivos as receitas ou economias realizadas. Já os fluxos negativos são considerados as despesas em geral, a aplicação de dinheiro ou as parcelas deixadas de receber (GIACOMINI, 2008).

b. Taxa interna de retorno

Para Casarotto Filho e Kopittke (2010) a TIR indica a taxa de desconto necessária a ser utilizada para que o VPL se iguale a zero. Hirschfeld (1989) define a TIR como a “taxa de juros que atualiza uma série de rendimentos futuros de um projeto e a iguala ao valor do investimento inicial”.

De acordo com Giacomini (2008), ela é obtida através dos dados do próprio projeto, não sendo necessário arbitrar um valor de taxa de desconto. A taxa interna de retorno obtida é comparada a uma taxa mínima de atratividade (TMA) desejada e determinada como retorno pelo investidor. O método determina que se a TIR for maior que a TMA, o projeto deve ser aceito e quando a TIR for menor que a TMA, o projeto deve ser rejeitado (GIACOMINI, 2008).

c. Payback

De acordo com Gitman (2004), payback é o período de tempo necessário para recuperar o capital investido, ou seja, cobrir os custos a uma TMA adequada.

Segundo Giacomini (2008), existem dois tipos mais utilizados de payback, o simples e o descontado. O payback simples fundamenta-se na identificação do número de períodos em que retorna o investimento, pelo somatório dos resultados obtidos nos períodos de fluxo de caixa até a liquidação de seu valor. Já o payback descontado calcula o período de tempo necessário para a recuperação do capital investido, com a aplicação de uma TMA como desconto para atualização do fluxo de caixa obtido.

Entre eles, o método mais utilizado é o payback simples que especifica o tempo necessário para recuperação do investimento (GIACOMINI, 2008).

3 METODOLOGIA

Neste item são apresentados os métodos utilizados no desenvolvimento e caracterização do projeto.

3.1 TERMO DE ABERTURA DO PROJETO

Para o termo de abertura, comumente chamado de Project Charter, foram coletadas as informações disponíveis sobre o projeto e também foi definido o nome e o objetivo. Fez-se a lista das partes interessadas e futuros funcionários, identificando as suas responsabilidades e funções. Foram fixadas também as metas como a capacidade produtiva, as premissas que são primordiais para o sucesso do projeto e as restrições que limitam o mesmo.

Além disso, os riscos e os problemas que deverão ser enfrentados foram identificados. Os cronogramas dos principais marcos foram elaborados e estipularam-se prazos e custos. Para isso, pesquisas com fornecedores e construtoras foram realizadas para se ter uma média de prazos de entrega de equipamentos e da obra da construção respectivamente. Outros dados como o custo de contratação, treinamento de funcionários, marketing e inauguração foram estimados. Definiu-se também uma restrição orçamentária.

3.2 FLUXOGRAMAS

Na elaboração de todos os fluxogramas foi utilizado o software de desenho virtual *LucidChart* seguindo as normas disponíveis para as simbologias utilizadas e para as identificações (TAG) em equipamentos, tubulações e instrumentações.

a. Diagrama de Blocos

Definido o processo produtivo, escreveram-se dentro de caixas retangulares cada etapa apontando a entrada de matéria-prima e a saída de resíduos gerados. Conectaram-se os retângulos com flechas indicando o fluxo.

b. Fluxograma Conceitual

Com base no diagrama de blocos, se elaborou o fluxograma conceitual utilizando as simbologias propostas pela norma ANSI. Demonstraram-se todos os pontos de decisão do processo, incluindo as análises qualitativas da cerveja.

c. Fluxograma de Processos

Para a elaboração do fluxograma de processos, foi levado em conta todos os equipamentos utilizados para produção de cerveja, incluindo os trocadores de calor e as bombas. Os equipamentos foram conectados de acordo com o fluxo a ser seguido utilizando linhas devidamente enumeradas. Nomearam-se os equipamentos utilizando as TAG's e demonstraram-se com flechas as entradas de insumos e matérias-primas no processo. Foi feita uma tabela identificando números de correntes, informações do tipo de fluido presente nas mesmas, massa por batelada e temperatura.

Foi elaborado outra tabela para identificar os equipamentos com informações pertinentes a respeito de seu material de construção, áreas de troca térmica, volumes ou massa. Além disso, elaborou-se um quadro com as informações de tempo e temperatura de batelada para cada etapa do processo desde a pesagem até a etapa em que o chope fica armazenado aguardando o envase no tanque de espera. Neste último quadro, cada etapa do procedimento foi descrita, desde a transferência do fluido, o tempo que ele permanece no equipamento, até o final do processo determinando um tempo total de batelada.

3.3 DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS E UTILIDADES

Diversos são os equipamentos cervejeiros disponíveis, as formas de aquecimento e resfriamento utilizados nos processos além dos acessórios e utilidades. Para poder entender e

quantificar o processo em cada etapa determinaram-se os tipos de equipamentos utilizados de acordo com os padrões encontrados nas microcervejarias atuais.

3.4 BALANÇO DE MASSA

Foi tomado como base a receita de cerveja pilsen fornecida pelo cervejeiro caseiro Delcor (2019) apresentada na Tabela 4 e nas relações fornecidas por autores descritas na fundamentação deste trabalho. Também se obtiveram dados de fichas de informações de seguranças de produtos químicos (FISPQ) e de livros. Analisaram-se cada etapa do processo de forma individual e agrupada de maneira que melhor se adequassem.

Com base no fluxograma de processos, definiu-se uma base de cálculo, que foi a quantidade desejada de cerveja final de cada batelada. Devido à base de cálculo ser na etapa final da obtenção do produto, realizaram-se as contas do balanço de trás para frente nos processos onde existe transferência de massa, ou seja, da última etapa onde havia balanço de massa, a carbonatação, até o início do processo, mosturação. Pelas relações apresentadas na literatura e presentes na fundamentação teórica, obtiveram-se as entradas e saídas de insumos, matérias-primas e resíduos. Normalizaram-se as dimensões e unidades mássicas. Em seguida, escreveram-se as equações de balanço global e desta maneira, obtiveram-se todas as entradas e saídas do sistema, incluindo as quantidades de matéria prima a serem utilizadas.

Tabela 4 - Receita de Cerveja Pilsen.

MATÉRIA PRIMA	
MALTE	
Pilsner Grão	100 %
LÚPULO	
Saaz (Fervura 60 min)	A = 3,75 %; U = 27,6 %
LEVEDURA	
Saflager Lager	100%
MOSTURA	
Repouso 65 °C	20 minutos
Repouso 72 °C	40 minutos
Repouso 78 °C	10 minutos
FILTRAÇÃO	
Densidade do mosto primário	1063 g/L
FERVURA	

Densidade antes do início da fervura	1040 g/L
Tempo de fervura	90 minutos
Densidade do mosto pós fervura	1046 g/L
DECANTAÇÃO	
Circulação (Whirlpool)	05 minutos
Repouso	20 minutos
FERMENTAÇÃO	
Temperatura	15,6 °C
Tempo	07 dias
Densidade final	1010 g/L
MATURAÇÃO	
Tempo	15 dias
Temperatura	2 °C
ASPECTOS GERAIS	
Álcool (v/v)	4,70 %
Amargor	25,4 IBU

Fonte: Delcor (2019).

3.5 BALANÇO DE ENERGIA

Definiram-se com base na literatura, os processos onde ocorrem transferência de energia e buscaram-se dados para cada processo, com isso determinaram-se a quantidade de troca de calor necessária, assim como vazão das utilidades (vapor d'água, solução aquosa de etilenoglicol e água) e quando possível, a área de troca térmica necessária.

3.6 DIMENSIONAMENTO

Neste subcapítulo estão sendo apresentadas as metodologias usadas para o dimensionamento dos equipamentos, tubulações, bombas, agitadores e equipamentos utilitários.

a. Dimensionamento dos equipamentos

A partir dos dados obtidos no balanço de massa e energia, obtiveram-se dados como vazões, volumes, áreas de troca térmica, necessidade de geração de vapor d'água e resfriamento, temperaturas e pressões de operação, assim como a escolha dos materiais de fabricação. Com esses dados, buscaram-se em catálogos equipamentos que atendessem todas as especificações desejadas.

b. Dimensionamento de equipamentos utilitários

Para o dimensionamento do gerador de vapor, fez-se a soma das vazões de vapor d'água saturado requeridas pelos equipamentos que o necessitam. Para garantir o atendimento a um possível aumento de produção, considerou-se todos os equipamentos ligados ao mesmo tempo (condição que dificilmente pode ocorrer), cada qual com as maiores vazões calculadas. Da mesma forma fez-se o dimensionamento do chiller, utilizando a quantidade de calor retirado ao invés da vazão.

3.7 LAYOUT

Para a elaboração do *layout*, foi pensado no fluxo do processo para alinhar os equipamentos de forma contínua, diminuindo o comprimento das tubulações, otimizando tempo e a eficiência de produção. Também foram levadas em conta as distribuições de setores, o estoque de recursos utilizados como matérias-primas, embalagens, armazenamento e expedição dos produtos finais. A facilidade e acessibilidade para locomoção, isolamento da área de produção e de envase também foram itens avaliados, assim como buscou-se trabalhar com os menores trajetos a serem percorrido pelos trabalhadores. Pensando em uma futura ampliação de produção, reservou-se um espaço para alocar equipamentos de fermentação/maturação, garantindo a possibilidade de um aumento produtivo.

O tamanho do galpão foi definido de acordo com a necessidade da área de produção e o espaço disponível no terreno.

Para o desenho do mesmo foi utilizado o software AutoCAD for Windows versão 2019 (AUTODESK, INC., 1982), levaram-se em conta as dimensões dos equipamentos apresentadas pelos fornecedores e definidos no item 3.7, para tornar o layout mais realístico. Obedeceu-se a norma NR 12, relativa aos espaços entre os equipamentos e áreas de passagem.

3.8 VIABILIDADE ECONÔMICA

A coleta dos dados econômicos foi realizada através de documentos técnicos e *sites* especializados, incluindo os valores de impostos, de abertura e manutenção da empresa em Bragança Paulista. A fim de obter os preços atuais de máquinas e utilidades, foi solicitado orçamento junto a fornecedores da área, os quais constituem a base de cálculo para o dimensionamento dos custos da planta industrial e dos custos operacionais.

Foi elaborada uma tabela dos investimentos fixos, faturamento, mão-de-obra, custos fixos, resultados e fluxo de caixa, para então obter os indicadores.

Nos investimentos fixos se determinaram os custos da obra, equipamentos, móveis e utensílios, computadores e por fim os custos pré-operacionais.

Para o faturamento fez-se uma estimativa dos custos dos barris de 25 litros, levando em conta os custos das matérias-primas e insumos. O preço de venda foi estimado pelos preços de outras cervejas artesanais disponíveis no mercado.

Para a mão-de-obra, foram selecionados os cargos necessários e seus salários. Utilizaram-se os encargos e o salário mínimo vigente no país. Também se determinou um valor de retirada dos sócios (pró-labore).

Nos custos fixos foram estimados os valores de despesas mensais, como internet, telefone, contador, seguro entre outros.

Na estrutura gerencial de resultados levaram-se em conta os impostos sobre a venda do produto, que é o mais significativo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados neste capítulo os resultados das atividades desenvolvidas conforme os objetivos do projeto.

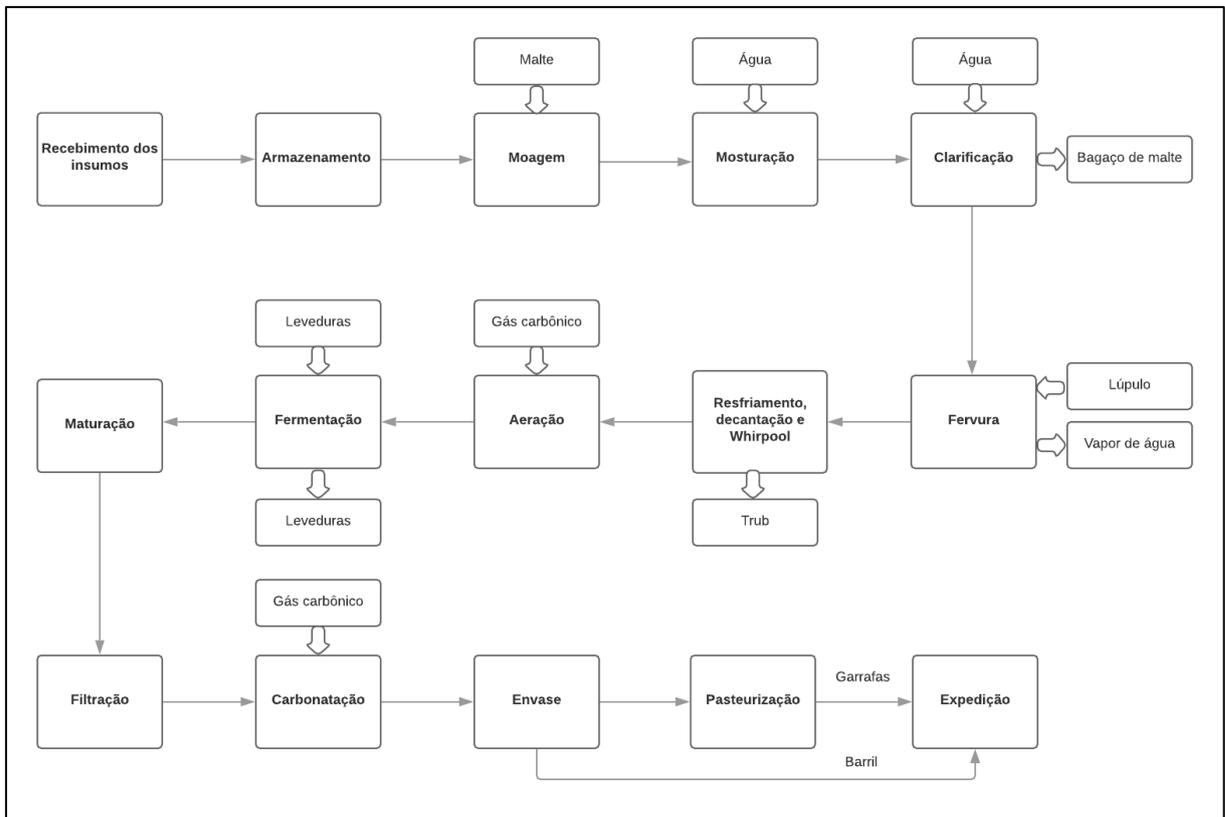
4.1 TERMO DE ABERTURA

Para formalizar a abertura do projeto, foi elaborado o termo de abertura onde foi definido o nome "Desenvolvimento do projeto de uma indústria cervejeira artesanal" e o objetivo que é projetar e construir uma cervejaria artesanal, com uma capacidade produtiva de aproximadamente 20.000 L mensais de cerveja tipo *Pilsen*. Foram estabelecidas as justificativas e as funções e autonomias do gerente de projeto. Assumindo como metas a produção dos 20.000 L de cerveja por mês e o suprimento da demanda do mercado. Como premissas, o produto deve ter uma boa aceitação, mão-de-obra capacitada e ter um preço competitivo, assim como atender à legislação, emissão da licença ambiental e os equipamentos serem de aço inox devido a higiene, são restrições. Analisaram-se os possíveis riscos que poderiam interferir no andamento do projeto como o atraso na liberação da documentação, atraso na entrega dos equipamentos, problemas de fornecedores, falta de mão de obra qualificada, entre outros. Também se fizeram estimativas de prazos e custos de cada uma delas, obtendo-se um prazo de implantação de 12 meses e um investimento máximo no valor de R\$ 2.000.000,00, onde já estão inclusas as documentações, construção da estrutura da fábrica, compra e instalação dos equipamentos, contratação e treinamento de funcionários, testes e ajustes dos equipamentos, produção inicial e o marketing para divulgação da nova marca no mercado. O termo de abertura completo está apresentado no APÊNDICE A – Termo de abertura do projeto.

4.3 DIAGRAMA DE BLOCOS

Visando a melhor visualização e entendimento do processo de cerveja Pilsen a ser desenvolvido no projeto, fez-se o diagrama de blocos apresentado na Figura 7. Nele estão contemplados todos os processos, desde o recebimento da matéria-prima até a expedição do produto.

Figura 7 - Diagrama de bloco da produção de cerveja Pilsen.

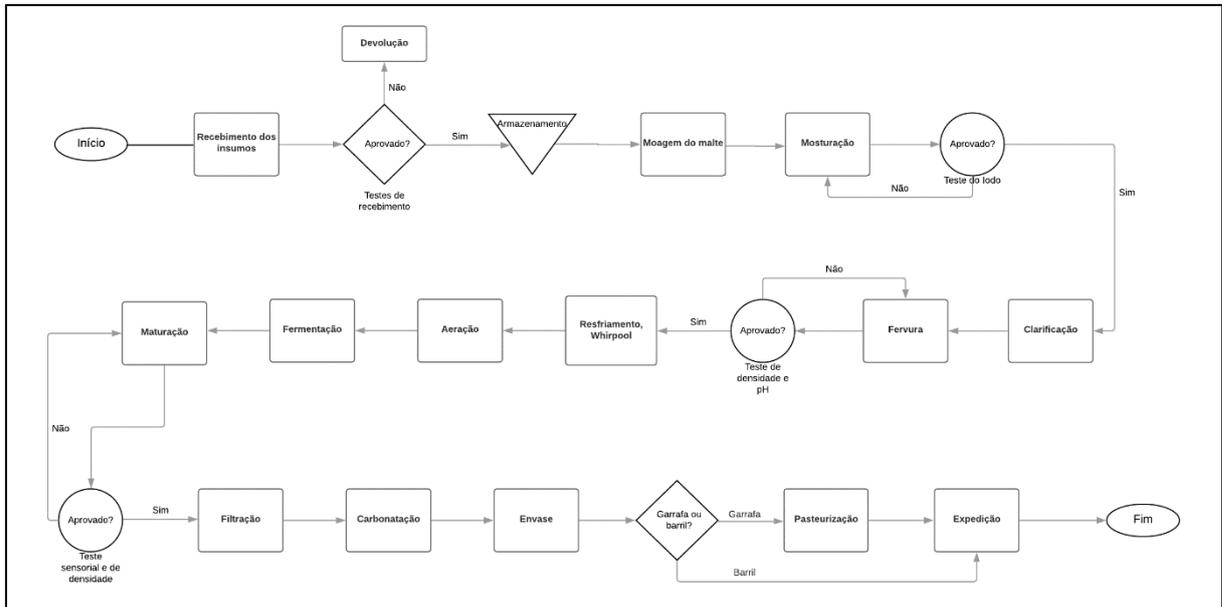


Fonte: Autora.

4.3 FLUXOGRAMA CONCEITUAL

O Fluxograma conceitual para a produção de cerveja *Pilsen* do projeto está apresentado na Figura 8, com todas as etapas do processo e pontos de decisões necessárias para o controle do mesmo, conforme simbologias padronizadas mostradas na Figura 6.

Figura 8 - Fluxograma conceitual.



Fonte: Autora.

4.4 DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS, ACESSÓRIOS E UTILIDADES

Selecionou-se uma balança industrial de plataforma para a pesagem do malte e uma balança de precisão para as demais matérias-primas. Definiu-se a utilização do moinho de rolos para a moagem do malte. Determinou-se a cozinha em modelo tri bloco, onde para a etapa de mosturação optou-se por um tanque cilíndrico encamisado, aquecido por vapor d'água saturado com agitação por pás inclinadas para agitação radial-axial. Para a clarificação, optou-se por um tanque cilíndrico com agitador de modelo afoador, chamado de “rake stirrer”, e fundo falso com uma peneira de malha 2 mm. Para a etapa de fervura optou-se por um tanque cilíndrico encamisado, aquecido por vapor d'água saturado. Na separação do trub do mosto selecionou-se um whirlpool, que possui características de um tanque cilíndrico com criação de força centrípeta.

Selecionou-se um trocador de duplo efeito para o resfriamento do mosto, que utiliza água no primeiro efeito e solução aquosa de etilenoglicol no segundo.

Na fermentação e maturação selecionaram-se tanques cilíndricos com fundo cônico encamisados resfriados com solução aquosa de etileno glicol.

Consideraram-se para todos os tanques citados, construção de aço inoxidável AISI 304 isolados termicamente por conta de ser um produto alimentício.

Para a filtração definiu-se o filtro de terra diatomácea. Selecionou-se um tanque pulmão após a filtração, de aço inoxidável isolado para realização da carbonatação e armazenamento pré-envase do produto. Para o envase do chope foi selecionado uma envasadora contrapressão de engate rápido que é ligada diretamente no tanque pulmão.

Também foi selecionado um tanque de água quente encamisado e isolado de aço inoxidável para dar suporte à brassagem, ao CIP e receber a água do trocador de calor. Optou-se por um tanque de água fria de aço inoxidável para garantir a água dos processos, CIP e pasteurização.

Para a produção de vapor d'água saturado selecionou-se um gerador de vapor a gás, a caldeira. Já para a geração do fluido refrigerante selecionou-se um chiller industrial. Selecionou-se um tanque cilíndrico encamisado e isolado de AISI 304 para água quente e um tanque isotérmico para água fria.

Para armazenar os resíduos sólidos do processo, foi selecionado um reservatório do modelo tanque IBC para serem vendidos.

Para as tubulações de produto selecionou-se o material AISI 304 para as linhas de vapor d'água saturado e solução aquosa de etileno glicol utilizaram-se o material AISI 204 com isolamento térmico.

Definiram-se válvulas borboleta para as linhas de líquido, pois essas válvulas possuem um anel do mesmo diâmetro da tubulação adjacente com um disco que gira dentro do anel em torno de um eixo, abrindo ou obstruindo a passagem do fluido, o que atende as necessidades do processo para bloquear e controlar o fluxo devido ao seu funcionamento rotativo e têm um custo relativamente baixo comparado a outros modelos. Mathias (2003) cita que as válvulas borboletas podem operar em temperaturas extremamente baixas, que é outro ponto importante, pois em algumas áreas da planta, a temperatura nas tubulações chega a ser negativa. Já para as tubulações de vapor d'água saturado selecionou-se válvulas esfera, que apresentam uma esfera com um furo para abrir ou fechar o fluxo, contribuindo com a redução de energia perdida e riscos de segurança num sistema de vapor e também por operarem a altas pressões.

Utilizou-se indicadores de níveis (LI) nos tanques em todos os tanques do processo. Essas leituras serão realizadas através de uma régua acoplada ao tubo indicador no próprio equipamento.

Utilizaram-se indicadores e controladores de temperatura (TIC) nos tanques em que há troca térmica, a fim de controlar a vazão de vapor d'água ou do fluido de refrigeração na camisa desses equipamentos e garantir a temperatura do processo. Esses controladores de temperatura atuarão em conjunto com válvulas controladoras presentes nas linhas de vapor d'água saturado e de fluido refrigerante.

No tanque de fermentação também foi utilizado um indicador de pressão (PI) e no tanque pulmão de cerveja foi adicionado um indicador de temperatura (TI). Ambos foram utilizados para o monitoramento visual das variáveis nesses equipamentos, visando o controle da qualidade do produto.

Selecionaram-se bombas centrífugas de AISI 304 para o transporte de produto, água quente e água fria. Na linha de refrigeração, a bomba necessária para transportar o fluido refrigerante já vem acoplada ao chiller industrial.

Para o ar estéril e gás carbônico selecionou-se cilindros de alta pressão construídos de AISI 304.

4.5 BALANÇO DE MASSA E ENERGIA

Definiu-se como base de cálculo 1000 L/bat de cerveja no final do processo, ou seja, no último processo onde ocorre transferência de massa, a carbonatação.

Os cálculos para a obtenção dos balanços de massa e energia são apresentados no APÊNDICE B – Memorial de Cálculo.

I. Mosturação

Os cálculos da etapa estão apresentados item VI do balanço de massa e item I do balanço de energia, disponíveis no APÊNDICE B - Memorial de Cálculo. Os valores de operação obtidos nesta etapa estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 - Dados de operação na mosturação.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Água primária	666,93	kg
Malte	242,52	kg
Densidade	1063	g/L
Volume máximo	855,55	L
Taxa de aquecimento	1	°C/min
Temperatura inicial	20	°C
Temperatura final	78	°C
Tempo de aquecimento	3480	s
Tempo total	7680	s
Temperatura do vapor	148	°C
Pressão do vapor	4	bar
Coefficiente de troca térmica	600	W/m ² .K
Calor específico do mosto	4,184	kJ/kg.K
Área de troca térmica	1,32	m ²
Vazão do vapor	0,013	kg/s
Energia requerida	28,74	kW
Energia total da batelada	220698,05	kJ

Fonte: Autora.

II. Clarificação

Os cálculos desta etapa são apresentados no item VI do balanço de massa, disponível no memorial de cálculo. Os valores de operação obtidos na etapa da filtração estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados de operação na filtração.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Água secundária	579,33	kg

Bagaço	309,21	kg
Mosto filtrado	1179,57	kg

Fonte: Autora.

III. Fervura

Os cálculos desta etapa são apresentados no item V do balanço de massa e item II do balanço de energia, disponíveis no memorial de cálculo. Para a etapa da fervura os parâmetros da operação estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados de operação na fervura.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Lúpulo	2,45	kg
Água de evaporação	130,07	kg
Densidade inicial	1040	g/L
Densidade final	1046	g/L
Volume máximo	1136,56	L
Mosto pós fervura	1051,95	kg
Taxa de aquecimento	1	°C/min
Temperatura inicial	20	°C
Temperatura final	78	°C
Tempo de aquecimento	1320	s
Tempo de fervura	5400	s
Tempo total	6720	s
Temperatura do vapor	148	°C
Pressão do vapor	4	bar
Coefficiente de troca térmica	600	W/m ² .K
Calor específico do mosto	4,184	kJ/kg.K
Calor latente da água	2119	kJ/kg
Área de troca térmica	2,36	m ²
Energia requerida no aquecimento	82,43	kW
Energia requerida na evaporação	54,36	kW
Energia total da batelada	402370,57	kJ
Vazão do vapor para o aquecimento	0,039	kg/s
Vazão do vapor para a evaporação	0,026	kg/s

Fonte: Autora.

IV. Whirpool

Os cálculos desta etapa são apresentados no item IV do balanço de massa disponível no memorial de cálculo. Os parâmetros da etapa de *Whirpool* estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados de operação no *whirpool*.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
<i>Trub</i>	2,46	kg
Mosto <i>Whirpool</i>	1049,49	kg
Densidade do mosto	1046	g/L
Volume máximo	1003,34	L

Fonte: Autora.

V. Resfriamento

Os cálculos desta etapa são apresentados no item III do balanço de energia disponível no memorial de cálculo. Para a etapa de resfriamento obtiveram-se os parâmetros apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9 - Dados operacionais no primeiro estágio do trocador de calor.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Temperatura inicial do mosto	100	°C
Temperatura final do mosto	25	°C
Temperatura inicial da água	20	°C
Temperatura final da água	77	°C
Vazão do mosto	0,96	kg/s
Vazão da água	1,26	kg/s
Calor específico do mosto	4,184	kJ/kg.K
Calor específico da água	4,181	kJ/kg.K
Energia a ser retirada	300,28	kW
Coefficiente de troca térmica	1275	W/m ² .K
Área de troca térmica	24,03	m ²

Fonte: Autora.

Tabela 10 - Dados operacionais no segundo estágio do trocador de calor.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Temperatura inicial do mosto	25	°C
Temperatura final do mosto	15,6	°C
Temperatura inicial do refrigerante	-1	°C
Temperatura final do refrigerante	8	°C
Vazão do mosto	0,96	kg/s
Vazão do refrigerante	1,08	kg/s
Calor específico do mosto	4,184	kJ/kg.K

Calor específico do refrigerante	3,87	kJ/kg.K
Energia a ser retirada	37,76	kW
Coefficiente de troca térmica	880	W/m ² .K
Área de troca térmica	3,9	m ²

Fonte: Autora.

Tabela 11 - Dados operacionais do trocador de calor.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Área total de troca térmica	27,93	m ²

Fonte: Autora.

VI. Aeração

Os cálculos desta etapa são apresentados no item III do balanço de massa disponível no memorial de cálculo. Os parâmetros da operação estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Dados de operação na aeração.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Oxigênio	1,25	kg
Mosto aerado	1050,74	kg

Fonte: Autora.

VII. Fermentação e maturação

Os cálculos desta etapa são apresentados no item II do balanço de massa e item IV e V do balanço de energia, disponíveis no memorial de cálculo. Os dados operacionais obtidos para as etapas de fermentação e maturação em bateladas de 1000 L estão apresentados na Tabela 13. Para a escolha do fermentador-maturador usou-se o dobro de cada valor.

Tabela 13 - Dados de operação na fermentação e maturação.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Levedura	0,83	kg
Gás Carbônico	37,45	kg
Densidade inicial	1046	g/L
Densidade final	1010	g/L
Cerveja final	1010	kg
Volume máximo	1004,53	L

Temperatura inicial do mosto	15,6	°C
Temperatura de fermentação	15,6	°C
Temperatura de maturação	2	°C
Temperatura de entrada do refrigerante na fermentação	-1	°C
Temperatura de entrada do refrigerante na maturação	-1	°C
Temperatura de saída do refrigerante na fermentação	8	°C
Temperatura de saída do refrigerante na maturação	1	°C
Tempo de fermentação	7	dias
Tempo de maturação	15	dias
Calor específico do mosto	4,05	kJ/kg.K
Calor específico do refrigerante	3,87	kJ/kg.K
Calor a ser retirado na fermentação	73062,22	kJ
Vazão do refrigerante na fermentação	0,028	kg/s
Calor a ser retirado para maturação	57874,76	kJ
Taxa de resfriamento	1	°C/h
Vazão do refrigerante para iniciar maturação	0,15	kg/s

Fonte: Autora.

VIII. Filtração

Os cálculos desta etapa estão apresentados no item II do balanço de massa, disponível no memorial de cálculo. Os parâmetros estão exibidos na Tabela 14.

Tabela 14 - Dados de operação da etapa de filtração.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Levedura	4,16	kg
Cerveja filtrada	1009,96	kg

Fonte: Autora.

IX. Carbonatação

Os cálculos desta etapa são apresentados no item I do balanço de massa disponível no memorial de cálculo. Os parâmetros estão exibidos na Tabela 15.

Tabela 15 - Dados de operação da etapa de filtração.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Gás carbônico	0,04	kg
Cerveja carbonatada	1010	kg

Fonte: Autora.

X. Tanque de água quente

Os cálculos desta etapa são apresentados item VI do balanço de energia disponível no memorial de cálculo. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Dados de operação do tanque de água quente.

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Volume	2000	L
Coefficiente de troca térmica	600	J/m ² .K.s
Temperatura inicial	20	°C
Temperatura final	77	°C
Temperatura do vapor	148	°C
Pressão do vapor	4	bar
Energia para o aquecimento	139,37	kW
Vazão do vapor	0,066	kg/s
Área de troca térmica	2,42	m ²

Fonte: Autora.

4.6 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

Neste subcapítulo estão apresentados os resultados referentes ao dimensionamento dos equipamentos.

I. Dimensionamento da balança

A quantidade de malte necessária no processo, pelo balanço de massa, foi de 242,52 kg. Dessa forma, selecionou-se uma balança industrial do tipo plataforma do fabricante Palenox, modelo PL 300, com capacidade máxima de 300 kg, com as especificações apresentadas abaixo:

Carga máxima de 300 kg;

Divisão de contagem de 100 g;

Sistema de tara constante;

Display separado, em LED vermelho de alto brilho;

- Consumo máximo de 6 W;
- Dimensões da plataforma de pesagem (AxLxP): 14x45x60 cm.

II. Dimensionamento do moinho

A capacidade do moinho foi definida visando moer a quantidade de malte para uma batelada (242,52 kg) em menos de uma hora. Pelo catálogo do fornecedor Browland, selecionou-se o modelo Eletric Malt Mill Type 500 com capacidade de 500 kg/h, com as especificações apresentadas abaixo:

- Motor de 2,2 kW;
- Funil de capacidade 50 kg;
- Dimensões (AxLxP): 61x90x60 cm.

III. Dimensionamento dos tanques

Os tanques de mosturação, filtração, fervura, whirlpool, fermentação/maturação, água quente, água fria e o tanque pulmão foram selecionados junto ao fornecedor Plevnik, e estão no ANEXO A – Catálogo Plevnik. O volume máximo de mosto no tanque de mostura, definido pelo balanço de massa, é de 855,55 L e na fervura de 1136,56 L, como a empresa pode vir a fabricar outros tipos de cervejas mais alcoólicas, o volume das bateladas pode alterar, assim selecionaram-se tanques utilizando uma margem de segurança de 20% obtendo-se para a mostura um volume máximo de 1026,66 L e para a fervura 1363,87 L. O modelo de tanque selecionado para os dois processos foi o BC 1500.

Para o tanque de whirlpool tem-se do balanço de massa um volume de 1003,34 L, sobre esse valor adicionou-se uma margem de segurança de 20% e obteve-se um volume máximo de 1204,15 L, garantindo que o volume de mosto do processo será suportado. Pelo catálogo da Plevnik o modelo selecionado no dimensionamento foi o WT1500.

Selecionaram-se dez tanques para a fermentação e maturação, do modelo FTP 2000, garantindo os 20.000 L de produção mensal com duas brasagens em cada fermentação e exigindo menor espaço físico.

Os tanques da linha de brasagem e adega, ou seja, tanque de mostura, clarificação, fervura, whirlpool e fermentadores/maturadores, já vem com suas bombas de transferência acopladas.

Selecionou-se o tanque de água quente do modelo HWT 2200 de aço inoxidável e encamisado. Para o tanque de água fria escolheu-se o modelo CWT 2200 em aço inoxidável e isolado. Como o tanque pulmão deve ter capacidade de receber todo o volume de um fermentador, selecionou-se o modelo HWT 2200, porém, sem camisa.

IV. Dimensionamento do trocador de calor

Pelo balanço de energia tem-se que é necessário para o resfriamento um trocador de calor de duplo efeito com aproximadamente $27,93 \text{ m}^2$. Como trocadores de duplo efeito são geralmente realizados perante encomenda, a fim de obter-se as proporções optou-se por um modelo simples que satisfaça a área total necessária. Utilizou-se o modelo BP 60 com área máxima de troca térmica 38 m^2 apresentado no ANEXO B - Catálogo Bermo.

V. Dimensionamento do gerador de vapor

A vazão de vapor d'água saturado necessária no tanque de mostura é $0,013 \text{ kg/s}$, no tanque de fervura $0,039 \text{ kg/s}$, e no tanque de água quente $0,066 \text{ kg/s}$, totalizando $424,8 \text{ kg/h}$ de vapor d'água saturado. Adicionou-se uma margem de segurança de 20% e obteve-se que a vazão necessária de vapor saturado é $509,76 \text{ kg/s}$. Selecionou-se então o gerador de vapor a gás do modelo Universal 500 – 600 TC disponível no ANEXO C – Catálogo Certuss, que possui capacidade de vapor igual 600 kg/h , satisfazendo a demanda necessária e garantindo um futuro aumento de produção.

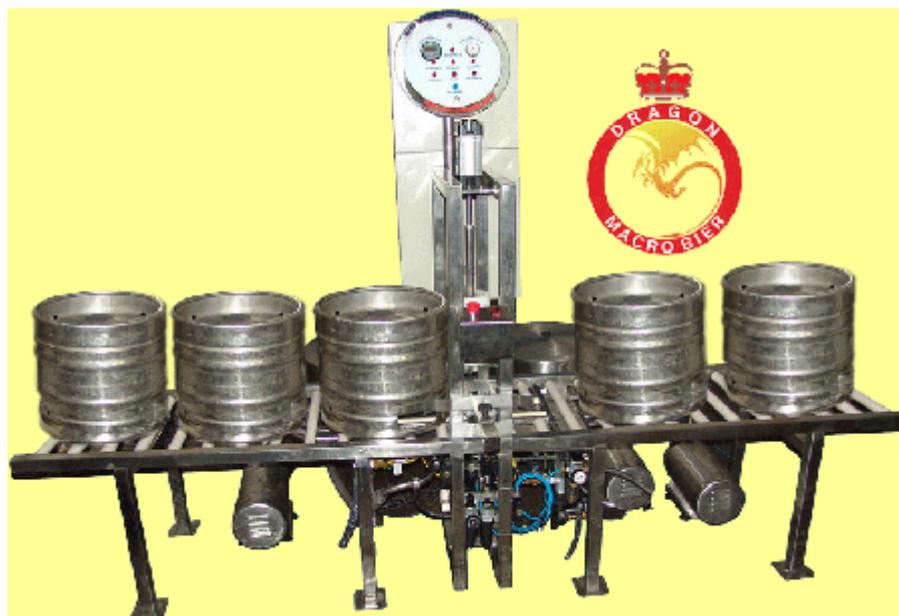
VI. Dimensionamento do *chiller*

O trocador de calor retira 37,76 kW de calor, já o fermentador de 1000 L, 1,18 kW. Os dez fermentadores de 2000 L retiram 19,8 kW de calor. A quantidade de calor retirada da planta industrial totalizou 64942,39 kcal/h. Com a margem de segurança de 20%, a demanda de retirada de calor fica 77930,87. Assim, selecionou-se o *chiller* de modelo URA – 90 apresentado no ANEXO D - Catálogo Helmo, com capacidade nominal de 90.000 kcal/h. Satisfazendo a demanda calculada e garantindo a futura ampliação da produção.

VII. Enchedora de barris

A enchedora escolhida foi a do fornecedor Dragon Bier, que é indicada para envases de até 2000 L. Ela possui limpeza e higienização automática de barris. O barril entra de cabeça para baixo e é fixado por pinças pneumáticas. Automaticamente a válvula de operação se acopla à válvula do barril, em seguida despressuriza e lava a cerveja velha descartando o produto. Terminado o primeiro enxágue, lava o interior do barril com solução de soda a 80 °C de temperatura, descarta a solução, efetua o segundo enxágue com solução de ácido peracético à temperatura ambiente, esgota o barril e devolve a solução de volta no tanque de solução de ácido peracético. Em seguida pressuriza o barril com CO₂, retira a válvula de operação e libera o barril. Cada barril leva 1,8 minutos no processo. A enchedora está representada na Figura 9.

Figura 9 - Lavador e enchedora de barris.

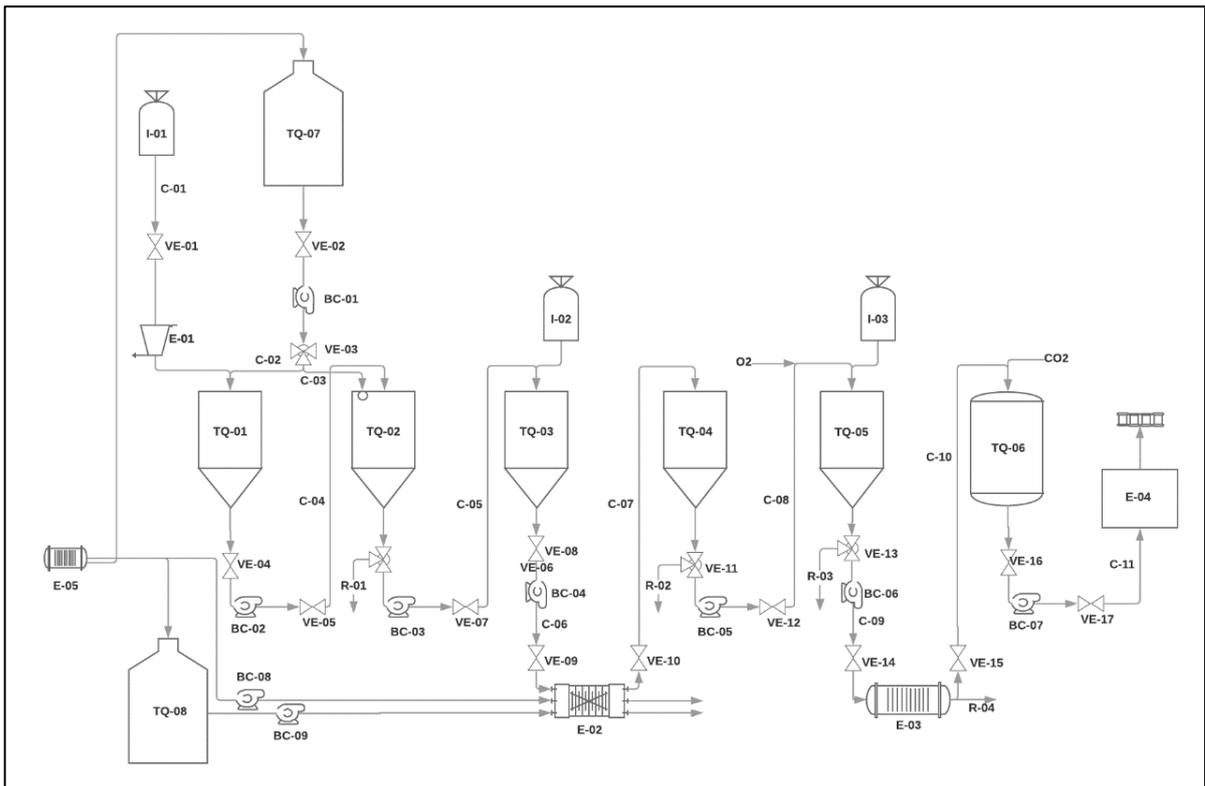


Fonte: Dragon Bier

4.8 FLUXOGRAMA DE PROCESSO

O fluxograma de processo obtido encontra-se disponível na Figura 10 e os dados referentes a ele estão na Tabela 17. O tempo total estimado para obter o produto final foi igual a 22 dias.

Figura 10 - Fluxograma de processo.



Fonte: Autora.

Tabela 17 - Dados referentes ao fluxograma de processo.

INSUMOS		
Código	Nome	Massa
I-01	Malte	242,52
I-02	Lúpulo	2,45
I-03	Levedura	0,83
O2	Oxigênio	1,25
CO2	Gás Carbônico	0,04
RESÍDUOS		
Código	Nome	Massa
R-01	Bagaço	309,21
R-02	Trub	2,46

R-03	Levedura	4,16
TANQUES		
Código	Nome	
TQ-01	Mostura	
TQ-02	Clarificação	
TQ-03	Fervura	
TQ-04	Whirlpool	
TQ-05	Fermentação	
TQ-06	Pulmão	
TQ-07	Água quente	
TQ-08	Água fria	
EQUIPAMENTOS		
Código	Nome	
E-01	Moedor	
E-02	Trocador de calor	
E-03	Filtro	
E-04	Envasadora	
E-04	Filtro de água	
CORRENTES		
Código	Nome	Massa (kg)
C-01	Malte	242,52
C-02	Água Primária	666,93
C-03	Água Secundária	579,33
C-04	Mosto	909,45
C-05	Mosto clarificado	1179,57
C-06	Mosto fervido	1051,95
C-07	Mosto resfriado	1051,95
C-08	Mosto sem Trub	1050,74
C-09	Cerveja	1014,12
C-10	Cerveja filtrada	1009,96
C-11	Cerveja para envase	1010

Fonte: Autora.

4.10 LAYOUT

O tipo de arranjo físico escolhido, por ser uma produção em batelada, foi o layout por processo, onde os equipamentos são localizados de forma conveniente para a operação, onde o produto que será transformado percorre um roteiro de acordo com a necessidade (FRANCIS; WHITE, 1987). A área de produção foi projetada no térreo do galpão, e a sala de

moagem do malte no segundo andar. A área total do galpão resultou em 410,64 m². O layout da indústria cervejeira artesanal está apresentado no APÊNDICE C - *Layout*.

4.11 VIABILIDADE ECONÔMICA

Os resultados obtidos para a viabilidade econômica estão apresentados nos itens apresentados a seguir.

I. Investimento Fixo

O primeiro passo é adquirir o terreno para implantação e posteriormente o projeto da cervejaria. O projeto está altamente atrelado à localização do terreno, pois o primeiro depende de licenças ambientais e alvarás específicos da cidade postulante a receber a fábrica. De maneira a ter-se entendimento do modelo de funcionamento toma-se como exemplo a implantação da cervejaria na cidade de Bragança Paulista, como já citado. O preço de compra do terreno foi cotado em R\$ 200.000,00 e desprezou-se qualquer outro custo de repasse de escritura ou trâmites legais.

Os valores estimados referem-se aos Custos Unitários Básicos de Construção (CUB/m²), calculados de acordo com a Lei Fed. n.º. 4.591, de 16/12/64 e com a Norma Técnica NBR 12.721:2006 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018), em que o custo da construção industrial apresenta-se igual R\$ 898,6/m². Através do layout, obteve-se uma área de construção necessária igual a 410,64 m², gerando um custo aproximado de R\$ 369.025,74.

Já os valores obtidos junto aos fornecedores referentes aos equipamentos e maquinários necessários para o projeto estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Custo das máquinas e equipamentos.

EQUIPAMENTO	FORNECEDOR	PREÇO (R\$)
--------------------	-------------------	--------------------

Balança industrial	Palenox	3.000,00
Moinho de malte	Browland	12.000,00
Mesa de Comando Brassagem	Painelmix	3.024,00
Tina de Mostura	Plevnik	70.500,00
Tina de Fervura	Plevnik	71.500,00
Tina de Clarificação	Plevnik	75.500,00
Tina de Whirlpool	Plevnik	71.500,00
10 Tanques de Fermentação/ Maturação	Plevnik	345.000,00
Painel Comando Fermentação	Painelmix	4,661,00
Trocador de calos a placas	Bermo	15.500,00
Aerador de mosto		2.850,00
Filtro	Hangzhou Darlly Filtration Co., Ltd.	9.630,00
Filtro de água	Marvitt	1.080,00
Tanque de Água fria	Plevnik	15.000,00
Tanque de Água quente	Plevnik	24.000,00
Bomba Centrífuga para mangote	Brasil Bombas	6.175,00
Instrumentação de vapor e condensado	Inaflex	18.800,00
Tubulações e Isolamento de Vapor	Inaflex	14.500,00
Tubulações, válvulas e Isolamentos	Inaflex	14.600,00
Tubulações e Isolamento de frio	Inaflex	20.000,00

Envasadora contrapressão de barril	Dragon Bier	1.850,00
Gerador de Vapor	Certuss	40.000,00
Chiller	Helmo	25.000,00
Câmara Fria	Friigo Center	22.000,00
Bin de Resíduo	Leroy Merlim	908
Cilindro de CO ₂	Carbotek	276,00
Utensílios de laboratório	Vernier	1.000,00
Acessórios	Chengdu Bulk Technology Co., Ltd.	34.800,00
Barris de 25 L 120 unidades	Import Beer	61.000,00
Tanque pulmão	Plevnik	22.000,00
TOTAL	-	852.993,00

Fonte: Autora.

Os móveis e utensílios necessários para a indústria, assim como seus respectivos custos, incluindo a área administrativa estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Custo dos móveis e utensílios.

Descrição	Valor (R\$)
Mesas de Escritório	900,00
Cadeiras de Escritório	1.200,00
Telefones e Internet	200,00
Materiais de Escritório	200,00
Materiais de limpeza	200,00
Microcomputadores	4.000,00
Servidor	3.000,00
TOTAL	9.700,00

Fonte: Autora.

Portanto, o investimento fixo total foi igual a R\$ 1.431.718,74.

II. Custo variável

O custo variável é considerado como sendo o custo da produção, que varia proporcionalmente ao volume produzido a cada mês.

O custo da água industrial é equivalente a R\$ 9,00/m³, já com tarifas (EOS, 2019). Como não se contabiliza apenas a água utilizada como matéria-prima e sim em todo o processo industrial, incluindo a limpeza em geral, segundo Somos Todos Cervejeiros (2016), em uma grande cervejaria utiliza-se, em média, de 3 a 10 litros para cada litro da bebida produzido. Em seu estudo Trommer (2014), utilizou 39.757 L de água para produzir 4.767 L de cerveja, ou seja 8,34 L de água/L cerveja. Dessa forma, estimou-se a utilização de 8 L de água/L de cerveja para fins de cálculo. Obteve-se 8000 L de água por batelada de cerveja produzida, gerando um custo de aproximadamente R\$ 72,00. Segundo Trommer (2014), uma unidade industrial gasta aproximadamente 0,9 kWh/L de cerveja. Portanto, para a produção de 1000 L de cerveja tem-se um gasto de 900 kWh. Os valores das demais matérias-primas a cada batelada estão apresentados na Tabela 20 apresentados foram encontrados disponíveis nos sites de possíveis fornecedores.

Tabela 20 - Custos de uma batelada de 1000 litros.

Descrição	Quantidade	Unidade	Preço unitário (R\$)	Preço (R\$)
Água	8	m ³	9,00	72,00
Malte	242,52	kg	4,99	1209,17
Lúpulo	2,45	kg	113	276,85
Levedura	0,83	kg	394	327,02
Eletricidade	900	kWh	0,17	153
Total				2.038,04
Por Litro				2,04

Fonte: Autora.

No caso de a venda ser em barril não foi adicionado custo para a embalagem, por ser um equipamento retornável apresentado como investimento fixo, sendo considerado apenas o custo por litro de cerveja, ou seja, R\$ 2,04 por litro. Como o barril possui 25 L, o custo total ficou estimado em R\$ 50,95.

Considerando a produção mensal total, temos um custo variável equivalente a R\$ 40.760,80.

IV. Custos fixos

Considera-se custo fixo toda despesa que não varia com a quantidade produzida a cada mês, portanto os gastos considerados foram mão-de-obra, retirada dos sócios, gastos com contador, manutenções, telefone e internet, seguro e serviços terceirizados.

Para um funcionamento eficiente do estabelecimento e produção de cerveja de qualidade deve-se contratar um mestre cervejeiro, um auxiliar de mestre cervejeiro, uma pessoa encarregada de limpezas gerais, um auxiliar administrativo para o escritório e um vendedor, além de dois administradores do negócio. Segundo o Guia Trabalhista (2019), os encargos sociais sobre a folha de pagamento totalizam 33,7 % e o salário mínimo brasileiro é R\$ 998,00. Dessa forma, estimaram-se os custos com a mão de obra, apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Custos com a mão de obra.

CARGO	SALÁRIO (R\$)	FUNCIONÁRIOS	ENCARGOS (%)	ENCARGOS (R\$)	TOTAL (R\$)
Mestre Cervejeiro	6.000,00	1	33,7%	2022	8022
Auxiliar	998	1	33,7%	336,326	1334,326
Vendedor(a)	1996	1	33,7%	672,652	2668,652
Administrador(a)	3.600,00	2	33,7%	1213,2	9626,4
Auxiliar adm	998	1	33,7%	336,326	1334,326
Faxineiro(a)	998	1	33,7%	336,326	1334,326
TOTAL					24.320,03

Fonte: Autora.

Adicionando os gastos com mão-de-obra aos gastos fixos, obteve-se o balanço apresentado na tabela 22.

Tabela 22 - Custos fixos.

DESCRIÇÃO	VALOR (R\$)
Mão-de-obra	24320,03
Retirada de sócios	5000
Contador	3000
Manutenção	500
Telefone e internet	200
Seguro	3000
Serviços de terceiros	500
TOTAL	36520,03

Fonte: Autora.

Portanto, os custos fixos totalizam R\$ 36.520,03.

V. Faturamento

A estimativa inicial das vendas foi feita utilizando 100% da produção mensal. Para o preço do barril estipulou-se uma média do mercado e obteve-se um preço de R\$ 12,00 por litro de chope, ou seja, R\$ 300,00 o barril de 25 L.

A Tabela 23 apresenta uma estimativa de faturamento mensal.

Tabela 23 - Estimativa de faturamento mensal, em reais.

Barris	Preço unit. (R\$)	Faturamento (R\$)
800	300	240000

Fonte: Autora.

Foi considerado para os cálculos futuros o processo de rampagem da fábrica, onde o primeiro mês considera-se 40% do faturamento total, e esse faturamento aumenta 20% ao mês até chegar ao valor máximo.

VI. Balanço financeiro

O fluxo de caixa mensal está apresentado na Tabela 24.

Para o cálculo dos impostos incidentes utilizou-se a maior e mais significativa taxa, a do ICMS, que é o imposto sobre circulação de mercadorias, taxado em 18% sobre o faturamento bruto (RICMS, 2019).

Já para calcular a depreciação utilizou-se a estimativa com base na vida útil (MMCONTABILIDADE, 2019).

Tabela 24 - Fluxo de caixa mensal.

DESCRIÇÃO	VALOR (R\$)
Receita Bruta de Vendas	240000
Impostos Proporcionais	-34560
Receita Líquida de Vendas	157440
Custos Fixos	-36520,03
Custos Variáveis	-40760,8
Lucro Bruto	80159,17
Depreciação mensal	-8419,19
Lucro Líquido	71739,98

Fonte: Autora.

Do fluxo de caixa obtemos que o Lucro líquido é R\$ 71.739,98.

VII. Payback

O tempo de retorno ou payback resultou em 20 meses, ou seja, em 20 meses o investimento realizado será recuperado. Os dados do cálculo estão apresentados na Tabela 25

Tabela 25 - Payback.

Investimento (R\$)	1.431.718,74
Lucro Mensal (R\$)	71.739,98
Tempo de Payback	19,9 meses

Fonte: Autora.

VIII. Atratividade

Para a comparação de atratividade de investimento considerou-se a taxa Selic, que é hoje um dos investimentos mais seguros e corresponde a um rendimento de 6,50% ao ano (COPOM, 2019).

Na tabela 26 está apresentada a comparação entre a Taxa mínima de atratividade e a Taxa Interna de Retorno.

Tabela 26 - Atratividade do investimento

Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	6,50%
Taxa Interna de retorno (TIR)	9,45%

Fonte: Autora.

Percebe-se que a TIR (taxa interna de retorno) apresentou-se positiva, indicando que o projeto é um bom investimento.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo desenvolver o projeto de uma planta industrial voltada à produção de cervejas artesanais na cidade de Bragança Paulista, com a finalidade de apresentar os conhecimentos adquiridos ao longo do Curso de Engenharia de Alimentos e satisfazer as exigências para conclusão do curso.

Durante o projeto, foram elaborados documentos como o termo de abertura do projeto e o panorama de mercado e processo. No primeiro, definiram-se prazos, estimativas de custos e funções, além da capacidade produtiva de 20.000 L de cerveja mensal, visando a formalização do empreendimento. Já o segundo, facilitou a visualização de pontos relevantes para o desenvolvimento do projeto como oportunidades, ameaças, pontos fortes e fracos.

Na seleção dos equipamentos junto aos fornecedores, percebeu-se que em alguns casos foi necessário dimensionar o equipamento desde suas proporções físicas até a escolha de material construtivo, como no caso dos tanques. Já no caso do chiller e do gerador de vapor, foi preciso apenas da capacidade de insumos necessários calculados pelos balanços de massa e energia.

Os fluxogramas elaborados contribuíram, entre outros aspectos, para o entendimento do fluxo, funcionamento e disposição dos equipamentos para a organização do layout. O arranjo físico por processo resultou em uma área de construção equivalente a 410,64 m², já se levando em conta na compra do terreno uma futura possibilidade de ampliação na capacidade produtiva.

Por fim, analisaram-se os custos de implantação, em que se obteve uma estimativa de investimento inicial de R\$ 1.431.718,74, com um tempo e taxa de retorno iguais a 20 meses e 9,45% respectivamente, indicando a viabilidade e atratividade de execução do projeto.

Através da experiência de projetar uma planta industrial, pode-se vivenciar a complexidade das atividades requeridas, a vasta gama de informações necessárias e também, a dificuldade na obtenção de dados específicos, muitas vezes disponíveis apenas em literatura estrangeira. Pode-se visualizar a aplicação de normas já estudadas e a utilização de conceitos e cálculos desenvolvidos durante as aulas ministradas no curso.

O resultado final do trabalho correspondeu às expectativas, pois foi possível cumprir com os objetivos e metas estabelecidas no início do projeto além de agregar conhecimento teórico e prático.

REFERÊNCIAS

ACCO, G. **Análise de Viabilidade Econômica - Financeira da Criação de uma cafeteria**. 2008. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Ciências Administrativas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ALMEIDA, João Batista De. **Tecnologia de Bebidas**. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 2005.

ANDRADE, N. J.; MACEDO, J. A. B. **Higienização na indústria de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 1996. 182 p.

ANVISA. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisaegis/resol/12_78_malte.htm>. Acesso em 11 de março de 2019.

ARAÚJO, F.B.; SILVA, P.H.A.; MINIM, V.P.R. **Perfil sensorial e composição físicoquímica de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.23, n.2, p.121-128, 2003.

ARRUDA, Claudia S. C. de et al. **Pós-tratamento de efluente cervejeiro com coagulantes naturais**. Interfacehs, São Paulo, v. 10, n. 1, p.1-15, jun. 2015. Mensal.

Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. Disponível em: <<http://www.cervbrasil.org.br/paginas/index.php?page=mercado-cervejeiro>>. Acessado em 7 de jun de 2018.

AQUARONE, E. et al. **Biotechnology Industrial**. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, vol.4, 2001.

BADINO JUNIOR, A. C.; CRUZ, A. J. G. **Fundamentos de Balanço de massa e energia: Um texto básico para análise de processos químicos**. 2. ed. São Carlos: Edufscar, 2013. 251 p.

BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM. **Style guidelines for beer, mead and cider**. 2008 edition. Disponível em: <www.bjcp.org>. Acesso em: 13 jun 2018

BELETI, M. A.; DUARTE, F.; KRHEMER, J. E. **A temperatura no desenvolvimento da atividade das enzimas (1-3, 1-4) – β -glucanases e degradação de β -glucanos durante a malteação**. Ciência Rural, v. 42, n. 3, p. 467-473, 2012.

BREMER, Philip J.; FILLERY, Suzanne; QUILLAN, A. James Mc. Laboratory scale Clean-In-Place (CIP) studies on the effectiveness of different caustic and acid wash steps on the removal of dairy biofilms. International Journal of Food Microbiology 106 (2006) 254 – 262.

BRIGGS, D.E., *et al.* **Metabolism of wort by yeast**. **Brewing Science and practice**. New York: CRC Press, 2004.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção (Org.). **Custo Unitário Básico: Indicador dos custos do setor da Construção Civil**. 2019. Disponível em: <<http://www.cub.org.br/cub-m2-estadual/SC/>>. Acesso em: 16 jun. 2019.

CARVALHO, L. G. **Dossiê Técnico. Produção de cerveja. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, mar. 2007.

CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, **Nota técnica sobre tecnologia de controle: Fabricação de cervejas e refrigerantes, NT-24**, CETESB, São Paulo, 1992.- 27p.

CRUZ, J. M. da. **Produção e Controle de Qualidade na Indústria Cervejeira**. 41 f. Relatório de Estágio - Curso de Bacharelado em Química de Alimentos, Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

DELIBERALLI, C. C. **Cervejas Artesanais no Brasil: Análise da comunicação Integrada de Marketing da Cervejaria Bodebrown**. 2015. 129 f. TCC (Graduação) - Curso de Comunicação Social – Publicidade e Propaganda, Setor de Artes, Comunicação e Design, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

DINSLAKEN, D. **Whirlpool: Melhor fazer quente ou frio?** 2016. Disponível em: <<https://concerveja.com.br/2016/09/01/whirlpool/>>. Acesso em: 01 out. 2018.

DRAGONE, G.; ALMEIDA E SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. cap. 2, p. 15-50

EUROPEAN COMMISSION/ DIRECTORATE GENERAL JRC- JOINT RESEARCH CENTRE/ INSTITUTE FOR PROSPECTIVE STUDIES/ EUROPEAN INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL (IPPC) BUREAU, **Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries**, IPPC, Sevilha, 2003.

FATMA – **Fundação do Meio Ambiente. Licenciamento ambiental**. Disponível em: <www.fatma.sc.gov.br>. Acesso em: 25 de novembro de 2018.

FILLAUDEAU, L.; BLANPAIN-AVET, P.; DAUFIN, G. **Water, wastewater and waste management in brewing industries**. J. C. Prod., v. 14, p. 463-471, 2006.

GARCIA-CRUZ, C. H.; FOGGETTI, U.; DA SILVA, A. N. **Alginato bacteriano: aspectos tecnológicos, características e produção**. Química Nova, São Paulo, v. 31, n. 7, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010040422008000700035&script=sci_arttext>. Acesso em: 5 de setembro de 2018.

GUERREIRO. L. **Efluente em cervejaria. Resposta técnica. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. 2006.

HALL, M. L. **What's your IBU?**. Zymurgy, Special 1997. p. 54-67. Disponível em: <<http://www.homebrewersassociation.org/attachments/0000/2501/IBUs.pdf>>. Acesso em: 13 de agosto de 2018.

HARDWICK, W.A. **Handbook of Brewing**. Marcel Dekker Inc. 1994.

HINDY, Steave. **A revolução da cerveja artesanal: como um grupo de cervejeiros está transformando a bebida mais apreciada do mundo**. São Paulo: Tapioca, 2015.

HOME BREWING WIKI. **Whirlpooling**. Disponível em: <<http://www.homebrewtalk.com/wiki/index.php/Whirlpooling>>. Acesso em: 04 jul 2018

HOSENEY, R.C. **Principles of Cereal Chemistry and Technology**. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal chemists, Inc. v. 2, 1994.

HOUGH, S. E. et al. **Malting and Brewing Science: Hopped Wort and Beer**. 2. ed. Nova York: Chapman And Hall, 1982. 2 v.

HOUGH, S. J. **The Biotechnology of Malting and Brewing**. Cambridge, Uk: Press Syndicate Of The University Of Cambridge, 1985. 168 p.

HUTKINS, R. W. **Microbiology and technology of fermented foods**. IFT Press, Blackwell Publishing, 2006. Disponível em <<http://www.infofarm.de/nahrungsmittel/bier.htm>>. Acesso em 23 jun. 2018.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 643 p. Tradução e Revisão Técnica: Eduardo Mach Queiroz, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa.

JUN, S; PURI, V. M. **Fouling models for heat exchangers in dairy processing: a review**. Journal of food process engineering, v. 28, n. 1, p.1-34, 2005.

KOCHENBORGER, Guilherme. **Tratamento Físico-Químico para efluente de cervejaria**. Dissertação - Universidade de Passo Fundo, Minas Gerais, 2012.

KUNZE, W., **Technology Brewing and Malting**. Intl. Ed., VLB Berlin, 1999

MATOS, Ricardo Augusto Grasel. **CERVEJA: PANORAMA DO MERCADO, PRODUÇÃO ARTESANAL, E AVALIAÇÃO DE ACEITAÇÃO E PREFERÊNCIA**. 2012. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MEGA, Jéssica Francieli; NEVES, Etney; ANDRADE, Cristiano José de (Ed.). **A PRODUÇÃO DA CERVEJA NO BRASIL**. Citino, Barra do Bugres, v. 1, n. 1, p.1-9, out. 2011. Trimestral.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 54: **REGULAMENTO TÉCNICO MERCOSUL DE PRODUTOS DE CERVEJARIA**. Brasília, 2001.

MOONJAI, N.; VERSTREPEN, K.; DELVAUX, F.; DERDELINCKX, G.; VERACHTERT, H.,. **The effects of linoleic acid supplementation of cropped yeast on its subsequent performance and acetate ester synthesis**, Journal of the Institute of Brewing, 2002. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00545.x/epdf>>. Acesso em: 09 de Agosto de 2018.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009. p. 357

OLIVEIRA, N. A. M. de. **Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja**. 2011. 45 f. Monografia (Pós-graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em:

PADULA, Roberto Carrilho; SILVA, Luciene Pimentel da. **Gestão e licenciamento ambiental no Brasil: modelo de gestão focado na qualidade do meio ambiente**. Ebape.fgv.br, Brasília, p.1-15, jul. 2005.

PARAZZI, C. **Fatores Físicos E Químicos Que Influenciam A Fermentação Alcoólica**. Universidade Federal de São Carlos. Araras, SP: Pdf, [20-]. 27 slides, color. Disponível em: <[http://www.cca.ufscar.br/~vico/Fatores físicos e químicos que influenciam a fermentacao.pdf](http://www.cca.ufscar.br/~vico/Fatores%20f%C3%ADsicos%20e%20qu%C3%ADmicos%20que%20influenciam%20a%20fermentacao.pdf)>. Acesso em: 06 de junho de 2018.

PARKER, N. **Are Craft Brewers Underaerating Their Wort?**. Master Brewers Association of the Americas, 2008. Disponível em: [http://www.researchgate.net/publicliterature.PublicLiterature.search.html?type=keyword&se=keyword=Are+Craft+Brewers+Underaerating+Their+Wort%3F](http://www.researchgate.net/publicliterature/PublicLiterature.search.html?type=keyword&se=keyword=Are+Craft+Brewers+Underaerating+Their+Wort%3F)>. Acesso em: 09 de Agosto de 2018.

REBELLO, F. F. P. **Produção de cerveja**. Revista Agrogeoambiental, Inconfidentes, n. 3, p.145-155, dez. 2009.

REINOLD, M. **Manual prático de cervejaria**. 1. ed. São Paulo: Aden, 1997. p.213.

REITENBACH, A. F. **Desenvolvimento De Cerveja Funcional Com Adição De Probiótico: Saccharomyces Boulardii**. Não paginado. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de PósGraduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2010.

Resolução CONAMA Nº 430/2011 - "**Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.**" - Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89.

SANTOS, Sérgio de Paula. **Os primórdios da cerveja no Brasil**. Atelie Editorial, 2003. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=A-1AAcd2nGYC&oi=fnd&pg=PA9&dq=cerveja+historia&ots=PpYxOdRifm&sig=vwInuZoEUvBdLTQhW7W4fnjj8qw#v=onepage&q=cerveja+historia&f=false>>. Acesso em: 13 maio 2018.

SANTOS, Vinicius Cassar Kfuri. **Uma análise empírica sobre as preferências do consumidor brasileiro de cervejas artesanais.** 2014. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2014.

SCHMIDT, R. H. **Basic elements of equipment cleaning and sanitizing in food processing and handling operations.** Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1997.

SOUZA, M. V. A. de; LANG, R. A. de S.; **Plano De Negócios De Uma Cervejaria Artesanal Na Cidade Do Rio De Janeiro.** 2014. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

STRONG, G.; ENGLAND, K. **Beer Judge Certification Program: 2015 style guidelines.** Disponível em: <http://www.bjcp.org/docs/2015_Guidelines_Beer.pdf>. Acesso em 09 jun. 2018.

TAP INTO YOUR BEER. Disponível em: <http://www.tapintoyourbeer.com/become_beermaster.cfm>. Acesso em 09 jun. 2018.

UNEP/IE – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME/ INDUSTRY AND ENVIRONMENT, **Environmental management in the brewing industry**, UNEP Technical Report Series nº33, UNEP, Paris, 1996.

WHITE MARTINS. **Ficha De Informações De Segurança De Produtos Químicos: Oxigênio.** 2013. Disponível em: <<http://www.ipsemg.mg.gov.br/ipsemg/ecp/files.do?evento=download...oxigenio>>. Acesso em 12 de agosto de 2018.

APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DO PROJETO

Tabela 27: Termo de abertura do projeto.

TERMO DE ABERTURA DO PROJETO DE UMA INDÚSTRIA CERVEJEIRA ARTESANAL			
Nome do projeto	Desenvolvimento do projeto de uma indústria cervejeira artesanal	Versão	01
1. Objetivo do projeto			
Implantação de uma indústria cervejeira artesanal com capacidade produtiva de aproximadamente 20.000 litros mensais de cerveja tipo Pilsen.			
2. Justificativa			
O mercado cervejeiro artesanal no Brasil possui uma demanda em crescimento exponencial. Os consumidores estão passando a valorizar a qualidade da cerveja consumida e então apreciam as cervejas do tipo artesanal. A justificativa, então, do desenvolvimento do presente projeto, é atender o mercado atual e futuro, atingindo a satisfação dos clientes e a excelência operacional na fabricação da cerveja. Será produzido inicialmente um volume de 20.000 L/mês, mas terá capacidade de expansão para até 40.000 L/mês, com base no nicho de mercado que está cada vez mais aquecido.			
3. Gerente de projeto, responsabilidades e autoridades			
O gerente será responsável pelas ações de planejamento e execução da obra com autonomia e autoridade para realizar contratações, realizar compras de materiais, administrar os custos e gerenciar os funcionários de acordo com seus próprios critérios.			
4. Metas			
<ul style="list-style-type: none"> • Produzir 20.000 litros de cerveja tipo Pilsen por mês em dez dias de produção; • Suprir a necessidade do mercado. 			
5. Premissas			
<ul style="list-style-type: none"> • Produto com boa aceitação de mercado e demanda constante; • Mão-de-obra capacitada; • Produto sem sazonalidade; • Produzir uma cerveja com preço competitivo. 			
6. Restrições			
<ul style="list-style-type: none"> • Atender o orçamento aprovado; • Atender as normas e legislação vigente para produção de alimentos e bebidas; • Emissão da Licença Ambiental pelo órgão competente. 			
7. Riscos			
<ul style="list-style-type: none"> • Atraso na liberação da licença ambiental; • Atraso na entrega de equipamentos; • Problemas com fornecedores; • Falta de mão-de obra qualificada; • Ultrapassar o valor do investimento aprovado; • Contaminação; • Acidentes de trabalho. 			
8. Prazo e investimento			
Prazo: 12 meses		Orçamento aprovado: R\$ 2.000.000,00	

APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO

BALANÇO DE MASSA

Considerações: Regime permanente, processo em batelada, equipamentos da linha de produção operam à pressão de 1 atm.

Determinou-se a base de cálculo como a quantidade desejada de cerveja no final do processo. Para atender à demanda de produção e expectativa de crescimento, determinou-se 1000 L/bat. O último processo apresentado no diagrama de blocos é a pasteurização, como nele não ocorre ganho, perda e reação, iniciaram-se os cálculos na etapa da carbonatação. Outras etapas que também não possuem variação significativa de massa são a maturação, a filtração e o resfriamento.

I. Carbonatação

De acordo com Aquarone et al. (2001), a concentração de gás carbônico presente na cerveja antes do envase deve ser entre 2,5 a 2,8 (v/v). Considerando que a cerveja entra nesta etapa sem uma quantidade significativa de gás carbônico, deve ser adicionado aproximadamente o volume de 2,65 % (v/v) no processo.

Da receita apresentada no Quadro 1, tem-se que a densidade final da cerveja deve ser igual a 1010 g/L. Portanto 1000 L de cerveja multiplicando pelo valor da densidade correspondem a 1010 kg.

É necessário que tenha 2,65 % (v/v) de gás carbônico na cerveja, portanto em uma batelada de 1000 L deverá ser adicionado 26,5 L do mesmo. Segundo a FISPQ 119 elaborada pela White Martins (2001), a densidade do gás carbônico é igual a 1,522 g/L, assim tem-se 40,33 g ou 0,040 kg.

Através do balanço de massa total apresentado na Equação 2.4, determinou-se a quantidade de mosto clarificado que entra no processo.

$$E = S$$

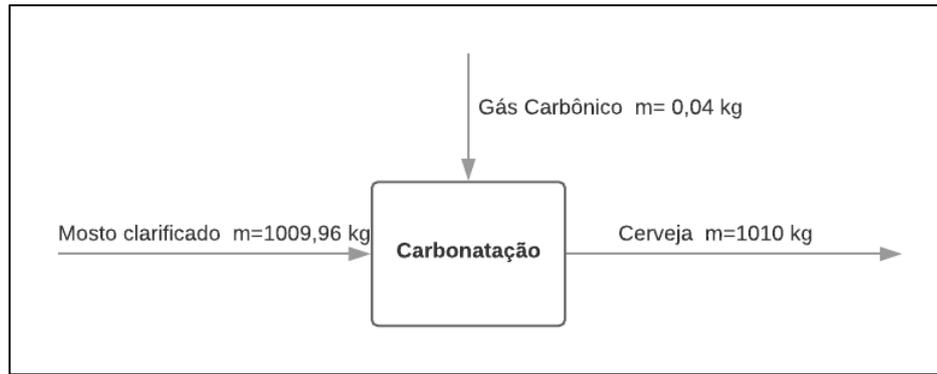
$$m_{\text{mosto filtrado}} + m_{\text{CO}_2} = m_{\text{cerveja}}$$

$$m_{\text{mosto filtrado}} + 0,04 \text{ kg} = 1010 \text{ kg}$$

$$m_{\text{mosto filtrado}} = 1009,96 \text{ kg}$$

A Figura 10 apresenta um diagrama de caixa para ilustrar o processo.

Figura 11: Diagrama de bloco da etapa de carbonatação.



Fonte: Autora.

II. Fermentação e filtração

Como a quantidade de levedura que sai na etapa de filtração depende da quantidade de levedura adicionada na etapa de fermentação e baseia-se na reação de fermentação, além de na maturação não termos variação de massa, os cálculos na clarificação e fermentação foram realizados em um mesmo momento, assumindo-se um único volume de controle, como mostrado na Figura 11.

Da receita apresentada no Quadro 1 tem-se que a quantidade de álcool (v/v) na cerveja pronta é de 4,7 %, então em 1000 L de cerveja tem-se 47 L de álcool (etanol). Segundo Whitten (2004), a densidade do álcool etílico é igual a 789 g/L, portanto tem-se 37,454 kg de etanol em 1010 kg de cerveja.

Se todo o etanol presente na cerveja é produzido na etapa da fermentação, é possível obter as quantidades proporcionais de açúcar fermentável no mosto, levedura e oxigênio necessários, além da quantidade de dióxido de carbono e levedura que têm-se ao final da reação.

De Briggs et al. (2004), tem-se:



$$150\text{g/L} : 1\text{g/L} : 0,025\text{g/L} : 45\text{gQL} : 42\text{g/L} : 5\text{g/L}$$

$$124,85\text{kg} : 0,83\text{kg} : 2,08\text{kg} : 37,45\text{kg} : 34,96\text{kg} : 4,16\text{kg}$$

Portanto, para atingir uma cerveja com 4,7 % de etanol, são necessárias 124,85 kg de açúcar fermentável e 0,83 kg de levedura, formando 37,45 kg de CO₂ e 4,16 kg de levedura residual.

Através do balanço de massa total apresentado na Equação 2.4 determinou-se a quantidade de mosto aerado que entra no processo.

$$E=S$$

$$m_{\text{mosto aerado}} + m_{\text{levedura}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{levedura residual}} + m_{\text{mosto clarificado}}$$

$$m_{\text{mosto aerado}} + 0,83 \text{ kg} = 37,45 \text{ kg} + 4,16 \text{ kg} + 1009,96 \text{ kg}$$

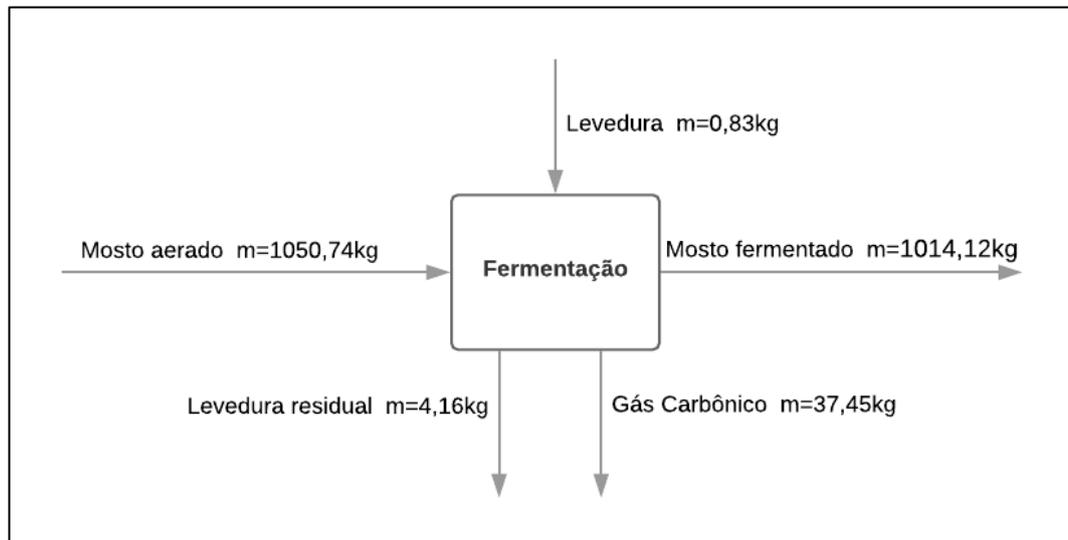
$$m_{\text{mosto aerado}} = 1050,74 \text{ kg}$$

Portanto, a quantidade de mosto que entra no processo é igual a 1050,74 kg.

Considerou-se que a quantidade máxima de material durante a fermentação é igual a soma do mosto aerado mais a levedura adicionada, gerando 1051,57 kg de mosto. O açúcar fermentável presente durante a fermentação é igual a 124,85 kg e pela reação de fermentação, é responsável pela formação de 37,45 kg de CO₂ que é retirado do processo, por consideração. Portanto ao final da fermentação tem-se de 1014,12 kg cerveja.

Para o cálculo do volume máximo utilizou-se o maior ponto de volume do processo, que foi o de mosto aerado, com 1050,74 kg e densidade 1046 g/L, o que resulta em um volume de 1004,53 L.

Figura 12: Diagrama de bloco para a etapa de fermentação.



Fonte: Autora.

III. Aeração

Dados de Parker (2008) dizem que são injetados 180 litros de ar estéril em 1,6 hectolitros de mosto para ter concentração adequada dissolvida no mosto. A Figura 12 apresenta o diagrama de caixa para o processo da aeração.

Considerando que a densidade do mosto aerado seja igual a densidade do mosto pós fervura indicado pela receita do Quadro 1, ou seja, igual a 1046 g/L, tem-se 1.004,53 L ou 10,05 hL de mosto aerado. Como são necessários 180 L ar / 1,6 hL mosto, em 10,05 hL deve-se adicionar 1.130,10 L de oxigênio. Segundo a FISPQ apresentada pela empresa White Martins (2013), a densidade do oxigênio a 1 atm e 21,2 °C é igual a 1,105 g/L. Portanto, 1,25 kg de ar devem ser adicionados ao mosto na etapa de aeração.

Realizando o balanço de massa total para essa etapa segundo a Equação 2.4, é possível obter a quantidade de mosto que sai do *whirlpool* e entra na etapa de aeração.

$$E = S$$

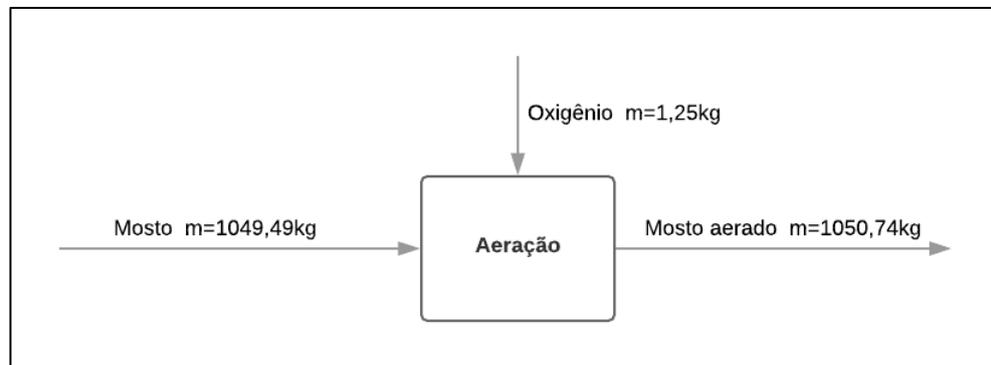
$$m_{\text{mosto whirlpool}} + m_{\text{ar}} = m_{\text{mosto aerado}}$$

$$m_{\text{mosto whirlpool}} + 1,25 \text{ kg} = 1050,74 \text{ kg}$$

$$m_{\text{mosto whirlpool}} = 1049,49 \text{ kg}$$

Deste modo, 1049,49 kg de mosto estão deixando o *whirlpool* e entrando na aeração.

Figura 13: Diagrama de bloco para a etapa de aeração.



Fonte: Autora.

IV. Whirlpool

Segundo Dinslaken (2016), a quantidade de *trub* retirada na clarificação a quente fica em torno de 0,21 – 0,28 kg/hL de mosto, assim, utilizou-se a média, 0,245 kg/hL. A Figura 13 apresenta o diagrama de caixa para o processo.

Sendo a densidade do mosto 1046 g/L e a massa do mosto 1049,49 kg, tem-se um volume máximo de 1003,34 L e conseqüentemente 2,46 kg de *trub*.

Pela Equação 2.4 do balanço de massa total, calculou-se a quantidade de mosto pós fervura que entra no *whirlpool*.

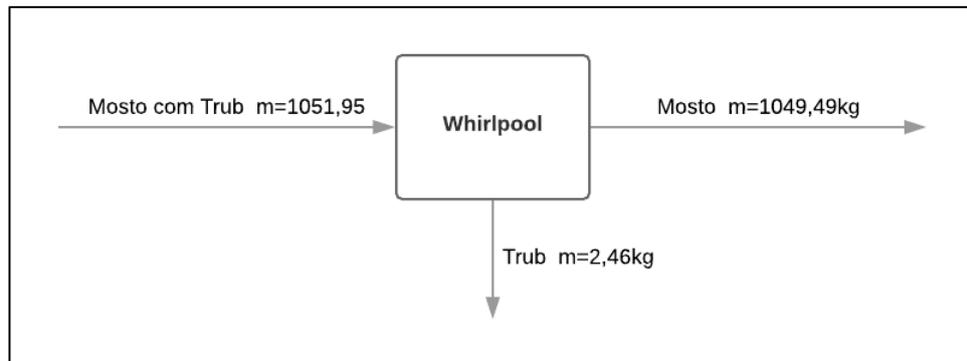
$$E = S$$

$$m_{\text{mosto pós fervura}} = m_{\text{trub}} + m_{\text{mosto whirlpool}}$$

$$m_{\text{mosto pós fervura}} = 2,46 \text{ kg} + 1049,49 \text{ kg}$$

$$m_{\text{mosto pós fervura}} = 1051,95 \text{ kg}$$

Logo, entra no *whirlpool* 1051,95 kg de mosto pós fervura.

Figura 14: Diagrama de bloco para a etapa de *Whirlpool*.

Fonte: Autora.

V. Fervura

De acordo com Briggs *et al.* (2004) em uma fervura clássica à pressão atmosférica, é efetuada uma evaporação de 8-10 % do volume do mosto por hora, então utilizou-se o valor médio de 9% do volume do mosto por hora. De acordo com receita do Quadro 1, a etapa de fervura leva 90 minutos, assim 13,5% será a quantidade de água evaporada. Como a densidade do mosto após a fervura é de 1046 g/L, tem-se 1005,69 L de mosto pós fervura, obtendo-se 135,77 L de vapor d'água. Segundo Barrow (1982), a densidade da água líquida a 1 atm e 100 °C é igual a 958 g/L. Logo tem-se 130,07 kg de água a menos na tina fervura.

A determinação da quantidade de lúpulo adicionada é calculada pela equação de IBU (Equação 2.1). Entretanto, como utilizou-se o peso em *mg* e o volume de cerveja em litros, excluiu-se o termo 0,7849 que representa as conversões de *oz/gal* em *mg/L* e as porcentagens de *A* e *U*. Obteve-se assim a equação de IBU no formato da Equação 18.

$$IBU = \frac{W \cdot A \cdot U}{V}$$

Onde: *W* é o peso do lúpulo (*mg*), *V* é o volume da cerveja (*L*), *A* é o conteúdo de α -ácidos do lúpulo, em decimais; *U* é o percentual de utilização, em decimais.

Tem-se o lúpulo Saaz, que possui 3,75 % de alfa ácidos, e o tempo de fervura igual a 60 minutos. Pelo Quadro 1, encontrou-se o valor de *U* igual a 27,6 %. Também da receita, tem-se um IBU final da cerveja igual a 25,4. Utilizando a Equação 18 determinou-se a quantidade de lúpulo a ser adicionado na receita.

$$25,4 = \frac{W \cdot 0,0375 \cdot 0,276}{1000}$$

$$W = 2,45 \text{ kg}$$

Portanto, para obter-se um IBU igual a 25,4, deve-se adicionar 2,45 kg de lúpulo. Através do balanço de massa total apresentado na Equação 2.4, encontrou-se a quantidade de mosto filtrado.

$$E=S$$

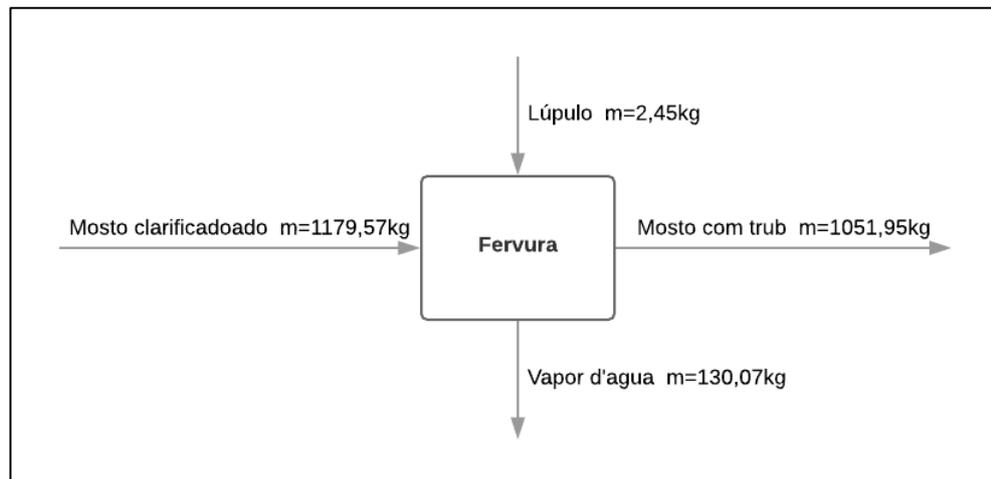
$$m_{\text{mosto filtrado}} + m_{\text{lúpulo}} = m_{\text{vapor d'água}} + m_{\text{mosto pós fervura}}$$

$$m_{\text{mosto filtrado}} + 2,45 \text{ kg} = 130,07 \text{ kg} + 1051,95 \text{ kg}$$

$$m_{\text{mosto filtrado}} = 1179,57 \text{ kg}$$

O volume presente dentro da tina de fervura foi obtido pela soma da massa do mosto filtrado mais a massa do lúpulo, 1.182,02 kg, a uma densidade de 1040 g/L (Quadro 1). Tem-se um volume máximo de 1.136,56 L.

Figura 15: Diagrama de bloco para a etapa de Fervura.



Fonte: Autora.

VI. Mosturação e clarificação

Como a quantidade de bagaço que sai na clarificação depende da quantidade de malte que entra na mosturação, considerou-se as duas etapas em único volume de controle, como apresentado na Figura 15.

Segundo a ficha técnica do malte Hallertau Perle disponibilizada pela empresa WE Assessoria e Consultoria (2017) apenas 80 % de extrato é extraído do malte. Do extrato extraído, 90 % são carboidratos, dos quais apenas de 68 - 75 % são utilizados pelas leveduras na fermentação (BRIGGS et al., 2004).

Da reação de fermentação, tem-se que são necessários 124,85 kg de açúcares fermentáveis. Este valor corresponde a 71,5 % (média de 68 - 75 %) de carboidrato, assim 100 % de carboidrato corresponde a 174,62 kg, os quais, por sua vez, correspondem a 90 % do extrato. Assim 100 % de extrato corresponde a 194,02 kg. Entretanto esses 194,02 kg de

extrato representam 80 % do malte. Portanto, são necessários 242,52 kg de malte para obter 124,85 kg de açúcares fermentáveis.

Segundo Palmer (2006), o esquema mais comum para a fabricação artesanal consiste em uma relação água/grão de 2,5 – 3 L/kg. Portanto para 242,52 kg de malte são necessários (pela média) 666,93 L de água primária. De acordo com Resnick e Halliday (1985), a densidade da água líquida é igual a 1000 g/L, logo tem-se 666,93 kg de água entrando na mosturação.

Em geral, de acordo com Fillaudeau et al. (2006), para cada 100 kg de grãos processados, são gerados 125 a 130 kg de bagaço úmido, com cerca de 80 a 85 % de umidade. Assim, para 242,52 kg e utilizando uma média de 126,5 kg de bagaço úmido, tem-se 309,21 kg de bagaço úmido saindo na filtração.

Desconsideraram-se perdas por evaporação nos processos de mostura e filtração do mosto com a finalidade de simplificar os cálculos.

Através do balanço de massa total apresentado na Equação 2.4, calcularam-se a quantidade de água secundária a ser adicionada na filtração.

$$E=S$$

$$m_{\text{água primária}} + m_{\text{malte}} + m_{\text{água secundária}} = m_{\text{bagaço}} + m_{\text{mosto clarificado}}$$

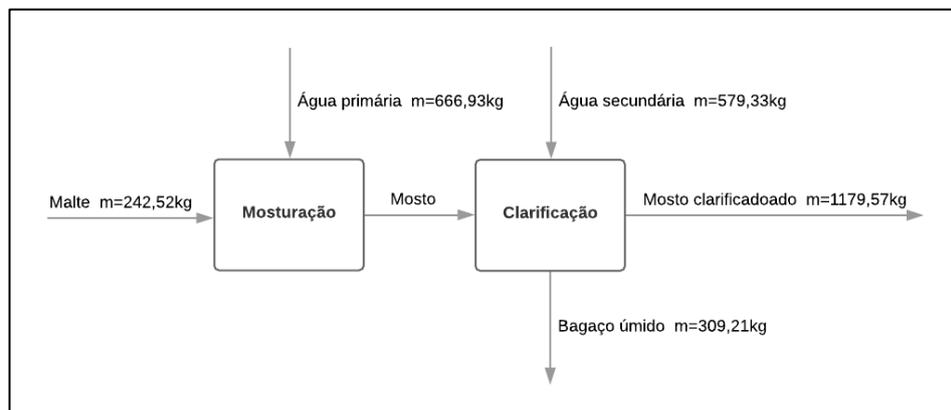
$$666,93 \text{ kg} + 242,52 \text{ kg} + m_{\text{água secundária}} = 309,21 \text{ kg} + 1179,57 \text{ kg}$$

$$m_{\text{água secundária}} = 579,33 \text{ kg}$$

Portanto, é necessário adicionar 579,33 kg de água secundária no processo.

O volume máximo presente dentro da tina de mosturação é obtido pela soma da água primária e do malte adicionados, considerando uma densidade de 1063 g/L, tem-se que 909,45 kg de mosto equivalem à 855,55 L.

Figura 16: Digrama de caixa para mosturação e clarificação



Fonte: Autora.

BALANÇO DE ENERGIA

Considerações: Processo em batelada, sem perdas por convecção e/ou radiação, sem incrustações, sem gradientes de temperatura no interior dos tanques, todo calor é imediatamente transferido para o interior do tanque, calores específicos constantes. Segundo dados do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP, 2012), a temperatura média anual fica em torno de 20°C. Este valor foi considerado como temperatura ambiente nos cálculos.

I. Mosturação

Segundo Briggs et al. (2004), o aquecimento do mosto deve ocorrer em uma taxa de aproximadamente 1 °C/min. De acordo com a receita do Quadro 1, o mesmo deve ser aquecido até 65 °C e manter-se por 20 minutos. Após, ser aquecido até 72°C e manter-se por 40 minutos. Por fim, ser aquecido até 78°C e manter-se por 10 minutos. Visando calcular a área de troca térmica necessária no tanque, considerou-se a situação mais crítica em que o tanque deve ser capaz de aquecer uma mistura de água/malte da temperatura ambiente até a temperatura final de 78 °C à uma taxa de 1 °C/min, pois atendendo a situação crítica, a área de troca térmica será suficiente para atender aos outros requisitos, como manter uma certa temperatura por um determinado tempo, onde apenas a vazão de vapor d'água saturado será regulada automaticamente via controladores. Portanto esse tempo de aquecimento é igual a 58 minutos ou 3480 segundos.

Segundo Briggs et al. (2004), o vapor d'água saturado que aquece as camisas dos tanques estão à cerca de 4 bar e 148 °C. Considerou-se o coeficiente global de troca térmica para um tanque encamisado em que o fluido quente é vapor e o fluido interno é solução aquosa diluída. De acordo com Sinnott (2014), esse valor varia de 500-700 W/m².K, então utilizou-se a média de 600 W/m².K. De acordo com Gerhardt (2017), a capacidade calorífica (C_p) do mosto à pressão atmosférica é 4.184 KJ/kg.K. Do balanço de massa tem-se 909,45 kg de mistura no tanque de mosturação.

Substituindo os dados na Equação 2.10, obteve-se:

$$\ln\left(\frac{148 - 20}{148 - 78}\right) = \frac{600 \cdot A \cdot 3480}{909,45 \cdot 4184}$$

$$A = 1,10 \text{ m}^2$$

Adicionou-se uma porcentagem de 20% de segurança a esse valor totalizando uma área de troca térmica de 1,32 m².

Como a entalpia de um tanque encamisado é função da temperatura, Skogestad (2008) traz a Equação 18.

$$dH/dt = m \cdot cp \cdot dT/dt \quad (18)$$

Onde: dH/dt é a variação da entalpia ao longo do tempo, Substituiu-se a Equação 18 na Equação 2.9, e desconsiderou-se qualquer energia proveniente de trabalho mecânico, obtendo-se assim a Equação 19 que quantifica a energia necessária para aquecer o mosto.

$$Q = m \cdot cp \cdot dT/dt \quad (19)$$

Onde: Q é a taxa de calor (kJ/s ou kW), U representa o coeficiente global de troca térmica (W/m².K), m é a massa (kg), cp a capacidade calorífica (kJ/kg.K) e dT/dt é a variação da temperatura (oC) ao longo do tempo (s).

Para o cálculo da quantidade de energia, considerou-se o tempo total de aquecimento do processo, ou seja, o tempo para aquecer o mosto de 20 °C para 78 °C à taxa de 1 °C/min (58 minutos) mais o tempo de repouso do mosto em cada temperatura especificada na receita (Quadro 1), totalizando 128 minutos, ou seja, 7680 segundos. Substituíram-se os dados na Equação 19.

$$\dot{Q}_{mosto} = 909,45 \cdot 4,184 \cdot \frac{78 - 20}{7680}$$

$$Q_{mosto} = 28,74 \text{ kW}$$

Então, a energia necessária na batelada de 220.698,05 kJ. Como a energia necessária para aquecer o mosto é igual a energia doada pelo vapor d'água saturado, tem-se a Equação 20.

$$Q_{mosto} = Q_{vapor} \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{vapor} = 28,74 \text{ kW}$$

Considerou-se que apenas o calor latente do vapor d'água saturado é doado no processo. Segundo Cengel (2012), a taxa de condensação/evaporação é dada pela Equação 21.

$$Q = \dot{m}v \cdot hfg \quad (21)$$

Onde, de acordo com Incropera et al. (2008), o calor latente de vaporização do vapor d'água saturado à 148 °C e 4 bar é igual a 2119 kJ/kg.

$$28,74 = \dot{m}_{vapor} \cdot 2119$$

$$\dot{m}_{vapor} = 0,013 \text{ kg/s}$$

Portanto, são necessários 0,013 kg/s de vapor d'água saturado para aquecer o tanque.

II. Fervura

De acordo com Githuka (2012) o calor necessário para aquecer um fluido onde ocorre evaporação pode ser calculado pela soma da Equação 24 e Equação 26. Ele confirma também a utilização dessa equação no cálculo da quantidade de calor necessária para evaporar certa quantidade pré-calculada de vapor d'água e a quantidade de calor necessária para aquecer o líquido de uma temperatura a outra. Do balanço de massa tem-se que no início da fervura há 1179,57 kg, e com a adição do lúpulo alcança 1182,02 kg de mosto, dos quais, 130,07 kg evaporam. Considerou-se a taxa de aquecimento proposta por Briggs et al. (2004) de 1 °C/min, e que a temperatura do mosto no início da etapa de fervura está a 78 °C e a temperatura de ebulição da água ocorra a 100 °C, tem-se um tempo de aquecimento de 22 minutos (1320 segundos). De acordo com a receita (Quadro 1), o tempo de fervura do mosto é igual a 90 minutos (5400 segundos) e somando ao tempo de aquecimento tem-se o total de 6720 segundos. Portanto, a quantidade de energia necessária no processo deve ser capaz de aquecer o mosto da temperatura inicial até a temperatura de ebulição, manter o mosto em ebulição pelo tempo determinado e evaporar a quantidade necessária de água. De acordo com Gerhardt (2017), a capacidade calorífica (C_p) do mosto à pressão atmosférica é 4.184 KJ/kg.K. Então, substituíram-se os valores na Equação 19 obtendo-se:

$$\dot{Q}_{\text{aquecimento}} = 1182,02 \cdot 4,184 \cdot \frac{100 - 78}{1320}$$

$$Q_{\text{aquecimento}} = 82,43 \text{ kW}$$

Multiplicou-se a taxa de aquecimento encontrada pelo tempo do aquecimento e obteve-se 108.802,58 kJ.

Substituíram-se os dados na Equação 26, e obteve-se a vazão de vapor d'água saturado necessária para o aquecimento. Segundo Incropera et al. (2008), tem-se que o calor latente de vaporização do vapor d'água saturado à 148 °C e aproximadamente 4 bar é igual a 2119 kJ/kg.

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{82,26}{2119}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 0,039 \text{ kg/s}$$

Portanto, são necessários 0,039 kg/s de vapor d'água saturado para aquecer o tanque.

De acordo com Incropera et al. (2008), tem-se que o calor de vaporização (h_{fg}) da água à 100°C é 2257 kJ/kg. Para determinar a energia necessária para evaporar a água do mosto utilizou-se a Equação 21.

$$\dot{Q}_{\text{evaporação}} = \frac{130,07}{5400} \cdot 2257$$

$$\dot{Q}_{\text{evaporação}} = 54,36 \text{ kW}$$

Multiplicando o valor obtido pelo tempo de fervura, ou seja, 5400 segundos, tem-se que são necessários 293.567,99 kJ para evaporar o mosto em cada batelada.

Para o cálculo da vazão de vapor d'água saturado necessária para fazer o mosto evaporar, substituíram-se os dados na Equação 21.

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{54,36}{2119}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 0,026 \text{ kg/s}$$

Então, são necessários 0,026 kg/s de vapor d'água saturado para evaporar a quantidade necessária de água do mosto.

Logo, a energia total necessária no processo de evaporação é de 136,62 kW ou 402.370,57 kJ.

Como a maior taxa de calor é necessária para o aquecimento do mosto até a temperatura de ebulição, assim a área de troca térmica foi calculada com base nessa situação. Considerando o coeficiente global de troca térmica para um tanque encamisado em que o fluido quente é vapor d'água saturado e o fluido interno é solução aquosa diluída, de acordo com Sinnott (2014), esse valor varia de 500-700 W/m².K, então utilizou-se a média igual 600 W/m².K. Substituíram-se os valores na Equação 2.10 e ajustaram-se as unidades. Assim obteve-se:

$$\ln\left(\frac{148 - 78}{148 - 100}\right) = \frac{600 \cdot A \cdot 1320}{1182,02 \cdot 4184}$$

$$A = 2,36 \text{ m}^2$$

Adicionou-se uma margem de segurança de 20%, obtendo uma área de troca térmica necessária de 2,83 m² para aquecer o mosto na taxa de 1 °C/min.

III. Resfriamento

Considerou-se sistema isolado e estado estacionário. De acordo com Reitenbach (2010) o mosto deve ser resfriado a uma temperatura de 10 a 20 °C, então utilizou-se a temperatura de fermentação, 15,6 °C, com o objetivo de economia de energia. Considerou-se que a água entra no trocador de calor à temperatura ambiente, assim não é necessária energia para resfriá-la e segundo Klemes, Smith e Kim (2008) a água pode ser aquecida à aproximadamente 77 °C. Carvalho (2007), diz que o mosto entra no trocador de calor a 100 °C e deixa o primeiro efeito do trocador de calor à 25 °C. (CARVALHO, 2007). De acordo com Miller (2012), em trocadores de calor de duplo efeito, vazões de água maiores a 1,26 L/s não contribuem significativamente para um resfriamento adicional. Dessa forma, estabeleceu-se esta vazão para fins de cálculo no trocador de

calor. De acordo com Resnick e Halliday (1985) a densidade da água líquida é igual a 1000 g/L, portanto tem-se 1,26 kg/s de vazão mássica de água no trocador de calor. A temperatura média da água que entra a 20 °C e sai do trocador a 77 °C é igual a 48,5 °C. Segundo Incropera (2008) a capacidade calorífica da água a essa temperatura é aproximadamente 4,181 kJ/kg.K.

Substituiu-se os valores referentes à água na Equação 19, obteve-se:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{frio} &= 1,26 \cdot 4,181 \cdot (77 - 20) \\ Q_{frio} &= 300,28 \text{ kW}\end{aligned}$$

Como o calor recebido pela água é igual ao calor cedido pelo fluido quente, tem-se que a taxa de calor do fluido frio é igual a taxa de calor do fluido quente. Como citado anteriormente, a capacidade calorífica (C_p) do mosto na etapa de resfriamento é igual a 4,184 kJ/kg.K. Do balanço de massa tem-se 1049,49 kg de mosto que deixam o whirlpool e passam pelo trocador de calor. Dessa forma substituíram-se os valores do mosto na Equação 19, e alcançou-se:

$$\begin{aligned}300,28 &= 1049,49 \cdot 4,184 \cdot \frac{100 - 25}{t_{estágio}} \\ t_{estágio} &= 1097 \text{ segundos} = 18,28 \text{ minutos}\end{aligned}$$

Portanto, para todo o mosto passar pelo trocador, a vazão do mosto é igual a 0,96 kg/s.

Segundo Incropera (2008), o coeficiente global de troca térmica, para um trocador de calor onde o fluido frio é água e o fluido quente também é água, apresenta-se em torno de 850 - 1700 W/m².K, então utilizou-se a média, 1275 W/m².K. Considerou-se esse valor para o primeiro estágio do trocador de calor.

Sendo $\Delta T_1 = 100 - 77 = 23$ °C e $\Delta T_2 = 25 - 20 = 5$ °C e substituindo-os na Equação 2.17, obteve-se:

$$\begin{aligned}\Delta T_{ml} &= \frac{(5 - 23)}{\ln\left(\frac{5}{23}\right)} \\ \Delta T_{ml} &= 11,76 \text{ °C}\end{aligned}$$

Substituíram-se os valores na Equação 2.16 para obter a área de troca térmica necessária para o primeiro efeito do trocador de calor.

$$\begin{aligned}A &= \frac{300,28}{1,275 \cdot 11,76} \\ A &= 20,03 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Adicionou-se uma margem de segurança de 20 % e alcançou-se uma área de troca térmica de 24,03 m².

Segundo Briggs et al. (2004), no segundo estágio do trocador de calor a solução aquosa de etileno glicol entra no trocador de calor a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e segundo Klemes, Smith e Kim (2008), ele sai a $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para VDI Heat Atlas (1993), uma mistura de 20% etileno glicol e 80% água em volume, garante o ponto de congelamento para uma de até $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo esta proporção suficiente para o uso requerido. A temperatura média de operação no trocador da solução de etileno glicol nesse caso é igual a $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, e de acordo com VDI Heat Atlas (1993), o C_p para 20% de etileno glicol/água à $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ é $3,87\text{ kJ/kg.K}$. Substituíram-se os valores do mosto na Equação 19, e reajustou-a para termos de vazão.

$$Q_{\text{mosto}} = 0,96 \cdot 4,184 \cdot (25 - 15,6)$$

$$Q_{\text{mosto}} = 37,76\text{ kW}$$

Pela Equação 20, substituiu-se o valor encontrado na Equação 19 para a solução aquosa de etilenoglicol e alcançou-se:

$$\dot{m}_{\text{sol. aq. etilenoglicol}} = \frac{37,76}{3,87 \cdot (8 - (-1))}$$

$$\dot{m}_{\text{sol. aq. etilenoglicol}} = 1,08\text{ kg/s}$$

Penoncello (2015) traz que o coeficiente global de troca térmica para um trocador de calor em contracorrente, entre uma mistura aquosa de 20 % etilenoglicol é $880,14\text{ W/m}^2\text{.K}$.

Sendo $\Delta T_1 = 25 - 8 = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\Delta T_2 = 9 - (-1) = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, substituíram-se esses valores na Equação 2.17 e obteve-se:

$$\Delta T_{ml} = \frac{10 - 17}{\ln\left(\frac{10}{17}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 13,19\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Substituíram-se os valores na Equação 2.16 para se obter a área de troca térmica necessária para o segundo efeito do trocador de calor.

$$A = \frac{37,76}{0,880 \cdot 13,19}$$

$$A = 3,25\text{ m}^2$$

Adicionando-se 20 % de segurança sobre esse valor, alcançou-se uma área de troca térmica de $3,90\text{ m}^2$ no segundo efeito do trocador de calor.

IV. Fermentação

Segundo Hardwick (1994) são formados na fermentação 140 kcal/kg de extrato fermentável ou $3,5\text{ kJ/L.h}$. De acordo com Briggs et al. (2004), a calor específico do mosto na etapa de fermentação é igual $4,05\text{ kJ/kg.K}$. A densidade e o calor específico variam durante

este processo. Porém, como as diferenças são muito pequenas, os valores médios podem ser considerados constantes (SCHEER, 2014).

Do balanço de massa tem-se durante a fermentação 124,85 kg de açúcar fermentescível proveniente do malte em 1050,74 kg de mosto. Assim, são produzidos (124,85 kg x 140 kcal/kg) 17479 kcal ou 73062,22 kJ, que devem ser retirados do sistema nesses 7 dias de fermentação.

Segundo a receita (Quadro 1) a densidade do mosto no início da fermentação é igual a 1046 g/L e na saída é igual a 1010 g/L. A fim de calcular o volume do mosto, considerou-se a média desses valores, 1028 g/L, obteve-se (1050,74 kg / 1,028 kg/L) 1022,12 L.

Segundo Hough (1985), a quantidade de calor disponibilizada pela fermentação varia com o tempo. Para o cálculo, considerou-se a situação crítica de 3,5 kJ/L.h sendo disponibilizados durante todo o tempo de fermentação, ou seja (3,5 kJ/L.h x 1022,12 L) 3557,42 kJ/h ou 0,99 kJ/s durante 7 dias de fermentação.

Definiu-se que nesta etapa, a mistura etileno glicol/água entra na camisa do tanque à -1 oC e o deixa 8 oC. Segundo VDI Heat Atlas (1993), o calor específico da mistura a 20 % de etileno glicol e água na média de temperatura de operação, ou seja 3,5 °C, é igual a 3,87 kJ/kg.K. Substituiu-se os valores na Equação 19 obteve-se a vazão de refrigerante na camisa do tanque durante a fermentação, em que considerou-se a liberação de calor constante e uniforme.

$$msol. aq. etileno glicol = \frac{0,99}{3,87 \cdot (8 - (-1))}$$

$$msol. aq. etileno glicol = 0,028 \text{ kg/s}$$

V. Maturação

Ao fim da fermentação o mosto deve ser resfriado até a temperatura de maturação, que de acordo com a receita (Quadro 1) é igual a 2 °C durante 15 dias.

Substituíram-se os valores na Equação 24 e desconsiderou-se a variável tempo.

$$Q = 1050,74 \cdot 4,05 \cdot (15,6 - 2)$$

$$Q = 57874,76 \text{ kJ}$$

Portanto, a quantidade de calor que devem ser retirados do mosto na batelada para atingir a temperatura de maturação é 57874,76 kJ.

Segundo Briggs et al. (2004), esse controle de temperatura é frequentemente realizado a uma taxa de 1 °C/hora. Como tem-se uma redução de 13,6 °C, leva-se 13,6 horas

para diminuir a temperatura do mosto, ou seja, a taxa de calor retirado do tanque deve ser igual a (57874,76 kJ/13,6 horas) 4255,50 kJ/h ou 1,18 kJ/s.

Definiu-se que a solução aquosa de etileno glicol entra na camisa do tanque à -1 °C e o deixa à 1 °C, temperatura ligeiramente inferior à desejada para a cerveja a ser resfriada. Segundo VDI Heat Atlas (1993), o calor específico da solução aquosa a 20% etileno glicol na temperatura média de operação, ou seja 0 °C, é igual a 3,87 kJ/kg.K. Substituíram-se os dados do fluido refrigerante na Equação 19.

$$\dot{m}_{sol. aq. etileno glicol} = \frac{1,18}{3,87 \cdot (1 - (-1))}$$

$$\dot{m}_{sol. aq. etileno glicol} = 0,15 \text{ kg/s}$$

Com os dados obtidos e as condições de operação determinadas, os equipamentos, tubulações e utilidades puderam ser selecionados.

VI. Tanque de água quente

O tanque de água quente será utilizado para alimentar parcialmente o tanque de mostura, o tanque de filtração, o processo de CIP e receber a água de recuperação do trocador de calor.

Iniciou-se a estimativa do volume do tanque pela quantidade de água recebida da recuperação do trocador de água. Como tem-se uma vazão de água igual a 1,26 L/s saindo do trocador por um tempo igual a 1097 segundos, tem-se que entra no tanque 1382,22 litros a cada processo. Portanto, o tanque deve ser capaz de receber esse volume.

Analisou-se outra situação, onde em um primeiro processamento não se tem a água de recuperação, então o tanque deve ser capaz de alimentar as águas primária e secundária adicionadas aos tanques de mostura e filtração, respectivamente. Considerou-se a situação crítica de que toda a água primária é proveniente do tanque de água quente, ou seja 666,93 L e também toda a água secundária com um volume igual a 579,33 L. Totalizando 1246,26 L.

Uma terceira situação analisada é a utilização do tanque de água quente para o CIP. Como os maiores tanques do processo são os fermentadores/maturadores de 2000 L, a água quente usada pelo CIP deve suprir esse volume.

Portanto, o tanque de água quente deve ter um volume mínimo de 2000 L, que no caso de o fluido ser água, resulta em uma massa igual a 2000 kg.

Considerou-se a situação mais crítica de aquecimento, da temperatura ambiente (20 °C) até a temperatura máxima necessária de 78 °C para a água secundária. De acordo com Incropera (2008) a capacidade calorífica da água a essa temperatura é 4,181 kJ/kg.K.

Segundo Briggs et al. (2004), o vapor d'água saturado está à 4 bar e 148 °C. De acordo com Sinnott (2014), o coeficiente global de troca térmica para um tanque encamisado onde o fluido quente é vapor e o fluido frio é uma solução aquosa diluída, é de 500-700 W/m².K, então utilizou-se a média de 600 W/m².K. Considerou-se a taxa de aquecimento de 1 °C/min, obteve-se um tempo de aquecimento igual a 3480 segundos. Pela Equação 19 obteve-se:

$$\dot{Q} = 2000 \cdot 4,181 \cdot \frac{77 - 20}{3480}$$

$$Q = 139,37 \text{ kW}$$

Incropera *et al.* (2008), diz que o calor latente de vaporização do vapor d'água saturado a 148 °C e 4 bar é 2119 kJ/kg. Então, pela Equação 21 calculou-se a vazão de vapor d'água saturado necessário para aquecer o tanque.

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{139,37}{2119}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 0,066 \text{ kg/s}$$

Substituíram-se os valores na Equação 2.10.

$$\ln\left(\frac{(148 - 20)}{148 - 78}\right) = \frac{600 \cdot A \cdot 3480}{2000 \cdot 4181}$$

$$A = 2,42 \text{ m}^2$$

Adicionando-se uma margem de segurança de 20 % sobre a área de troca térmica obteve-se 2,90 m².

APÊNDICE C – LAYOUT

ANEXO A – CATÁLOGO PLEVNIK

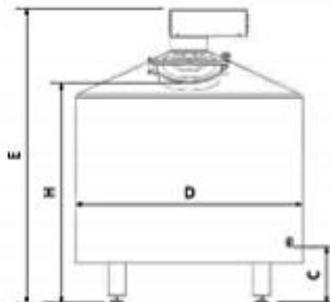
Brewing cistern type BC 500 - 4000

Description of the article:

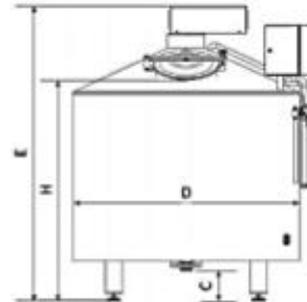
- vertical insulated cylindrical tank
- **energy saving, laser welded bottom and wall exchanger**
- material: stainless steel AISI 304/316
- inclined bottom 2.5° against the outflow (500l – 1500l) or conical bottom with central outflow (2000l – 4000l)
- cover with service manhole
- pressure in the tank: atmospheric, 0 bar
- pressure in the exchanger: max. 4 bar
- inlet connection for product
- connection for whirlpool (option)
- connection for CIP with spray ball
- outflow connection with a butterfly valve
- water circulation pump for the circulation of heating water, expansion vessel, safety valve, manometer (without heat exchanger for cooling)
- electromotor with special stirrer and stirrer speed regulation
- control panel with a color touch screen processor for the **automatic regulation** of process heating (possibility of setting 6 programs with 5 temperatures of heating and 5 duration times)



Type	Net Volume (l)	Total volume (l)	Dimensions (mm)				Total outflow	Side outflow	Inlet	CIP	Hot water connections	Weight (kg)
			Diameter D	Manhole H	Outflow C	Height E						
BC 500	500	600	1140	1100	350	1520	DN65	/	DN25	DN25	1"	
BC 650	650	780	1300	1100	350	1600	DN65	/	DN25	DN25	1"	
BC 1000	1000	1200	1560	1250	350	1800	DN65	DN50	DN25	DN25	5/4"	
BC 1500	1500	1800	1560	1860	350	2110	DN65	DN50	DN25	DN32	6/4"	
BC 2000	2000	2400	1730	1800	350	2390	DN65	DN50	DN32	DN32	6/4"	
BC 3000	3000	3600	1940	1820	350	2850	DN80	DN65	DN32	DN32	2"	
BC 4000	4000	4800	2150	1940	350	3170	DN80	DN65	DN40	DN40	2"	



BC 500 – 1500
(inclined bottom,
side outflow)



BC 2000 – 4000
(conical bottom,
central and side outflow)

Hot water tank HWT 750 - 4500

Heating up to 80°C

Description of the article:

- vertical insulated cylindrical tank
- material: stainless steel AISI 304
- cover with service manhole
- pressure in the tank: atmospheric, 0 bar
- pressure in the exchanger: max. 3 bar
- 2x inlet connection (cold water, hot water from recuperation)
- outflow connection with butterfly valve
- spray ball with connections for CIP
- level indication glass
- temperature indication
- simple temperature regulation (if electrically heated)
- power supply: option 400V 3N 50Hz for the electrically heated versions



Brewery

Type	Total volume (l)	Recommended with BC	Dimensions (mm)			Inlet	Outlet	Hot water	Code
			Outside diameter D	Inside diameter d	Total height H				
HWT 750	750	500	850	730	1850	DN32	DN40	1"	2.001.65
HWT 1000	1000	650	1150	1030	1950	DN32	DN40	1"	2.001.66
HWT 1500	1400	1000	1150	1030	2500	DN32	DN40	1"	2.001.67
HWT 2200	2250	1500	1300	1180	2550	DN40	DN50	5/4"	2.001.68
HWT 3000	3000	2000	1550	1430	2700	DN40	DN50	5/4"	2.001.69
HWT 4500	4500	3000	1990	1800	2700	DN50	DN65	6/4"	2.001.70



Cold water tank CWT 750 - 4500

Description of the article:

- vertical **uninsulated** cylindrical tank
- material: stainless steel AISI 304
- cover with service manhole
- pressure in the tank: atmospheric, 0 bar
- inlet connection
- outflow connection with butterfly valve
- spray ball with connections for CIP

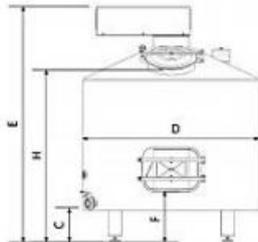


Type	Dimensions (mm)			Total volume (l)	Code	Inlet	Outlet	Insulation coat (option)
	Outside diameter D	Inside diameter d	Total height H					
CWT 750	850	730	1850	750	2.001.78	DN32	DN40	2.001.94
CWT 1000	1150	1030	1950	1000	2.001.79	DN32	DN40	2.001.95
CWT 1500	1150	1030	2500	1500	2.001.80	DN32	DN40	2.001.96
CWT 2200	1300	1180	2550	2250	2.001.81	DN40	DN50	2.001.97
CWT 3000	1300	1180	2700	3000	2.001.82	DN40	DN50	2.001.98
CWT 4500	1550	1430	2700	4500	2.001.83	DN50	DN65	2.001.99

Lauter cistern type LC 500 - 4000

Description of the article:

- **insulated** kettle, made of stainless steel W.Nr.1.4301 (AISI 304) on a stable support, with an inclined bottom 2° against the outflow
- welded cover with service opening
- spray ball
- outflow with butterfly valve
- multi-part perforated filter plate with 1,5 mm holes (LC 500, 650) or line cut filter plate (LC 1000 - 3000) on the bottom
- service opening on the side for emptying the malt (440x330 mm - LC500, 650) (555x430 mm - LC1000, 4000)
- electromotor with rake stirrer and stirrer speed regulation
- temperature display



Type	Net volume	Total volume	Dimensions (mm)					Outflow	Inlet	CIP	Code
			Diameter D	Manhole H	Outflow C	Side door F	Height E				
LC 500	500	600	1100	1100	360	460	1520	DN65	DN32	DN25	2.001.57
LC 650	650	780	1300	1100	360	460	1700	DN65	DN32	DN25	2.001.58
LC 1000	1000	1200	1550	1250	340	490	1800	DN65	DN40	DN25	2.001.59
LC 1500	1500	1800	1550	1860	340	490	2110	DN65	DN40	DN32	2.001.60
LC 2000	2000	2400	1720	1700	320	500	2290	DN65	DN50	DN32	2.001.61
LC 3000	3000	3600	2150	1520	350	560	2750	DN80	DN50	DN32	2.001.62
LC 4000	4000	4800	2150	1840	350	560	3070	DN80	DN65	DN40	2.001.63

Whirlpool tank WT 500 - 4000

Description of the article:

- vertical **insulated** cylindrical tank
- material: stainless steel AISI 304
- cover with service manhole
- conical bottom
- pressure in the tank: atmospheric, 0 bar
- tangential inlet connection with butterfly valve
- spray ball with connections for CIP
- side outflow connection with butterfly valve for clear product
- central outflow connection with butterfly valve for the hops and trub

Type	Total volume (l)	Dimensions (mm)			Code	Inlet	Outlet
		Outside diameter D	Inside diameter d	Total height H			
WT 500	600	1140	1030	1270	2.002.00	DN32	DN65
WT 650	780	1300	1190	1400	2.002.01	DN32	DN65
WT 1000	1200	1560	1430	1500	2.002.02	DN32	DN65
WT 1500	1800	1730	1600	1800	2.002.03	DN40	DN65
WT 2000	2400	1730	1600	2000	2.002.04	DN40	DN65
WT 3000	3600	2150	2000	2200	2.002.05	DN50	DN80
WT 4000	4800	2150	2000	2500	2.002.06	DN50	DN80

Fermentation tank for beer type FT and FTP 500 - 6000

Description of the article:

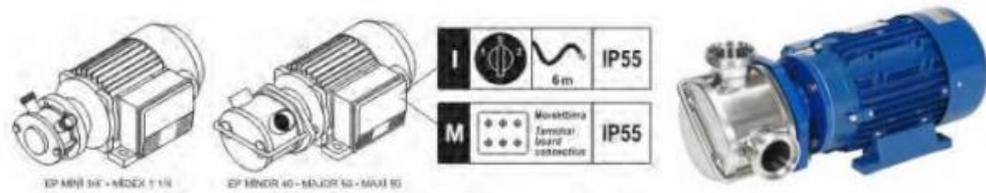
- vertical **insulated** tank, made of stainless steel W.Nr.1.4301 (AISI 304) with a **conical bottom**
- atmospheric FT (maximum pressure in the vessel 0 bar) and pressure FTP (maximum pressure in the vessel 2.5 bar) executions
- support on adjustable feet
- service manhole
- inlet connection
- outflow connection with butterfly valve on the bottom of the cone
- outflow connection with butterfly valve on the front side of the cone
- side tap for examination
- connection for CIP and spray ball
- connection for an air valve (atmospheric version)
- connections for cooling water on the side and cone
- tube for temperature probe Ø6 mm
- 1/2" temperature probe connection (without probe) - OPTION
- vacuum valve (on pressure execution FTP)



Brewery

Type	Total volume (l)	Dimensions (mm)			Inlet	CIP	Total outflow	Side outflow	Water connections	Approx. weight (kg)
		Inside diameter d	Outside diameter D	Height H						
FT(P) 500	600	Ø 900	Ø 1010	2000	DN32	DN25	DN40	DN32	2x 3/8"	220
FT(P) 1000	1200	Ø 1100	Ø 1210	2300	DN32	DN25	DN40	DN32	2x 3/8"	320
FT(P) 2000	2400	Ø 1300	Ø 1440	3150	DN40	DN25	DN40	DN40	2x 1/2"	500
FT(P) 3000	3600	Ø 1430	Ø 1570	3600	DN40	DN32	DN40	DN40	2x 3/4"	750
FT(P) 4000	4800	Ø 1600	Ø 1740	4000	DN40	DN32	DN50	DN40	2x 3/4"	850
FT(P) 5000	6000	Ø 1600	Ø 1740	4600	DN50	DN32	DN50	DN40	3x 3/4"	1000
FT(P) 6000	7200	Ø 1600	Ø 1740	5200	DN50	DN32	DN50	DN40	3x 3/4"	1150

Self priming pumps with flexible impeller type EP



Type	Fittings	Sealing	Power supply	Power [kW]	Speed [rpm]	Max. flux [l/h]	Code	Delivery
EP MINI 3/4"	DN 25	Ker.-Graf.-NBR	230V 50Hz	0,37	900	1000	I	5.002.01
EP MINI 3/4"	DN 25	Ker.-Graf.-NBR	230V 50Hz	0,56	1400	1620	I	5.002.03
EP MIDEX 1 1/4"	DN 32	Ker.-Graf.-NBR	400V 3N 50Hz	0,75	1400	5760	I	5.002.06
EP MIDEX 1 1/4"	DN 32	Ker.-Graf.-NBR	230V 50Hz	0,75	1400	5760	I	5.002.07
EP MINOR 40	DN 40	Ker.-Graf.-NBR	400V 3N 50Hz	1,5	900	6900	I	5.002.09
EP MINOR 40	DN 40	Ker.-Graf.-NBR	230V 50Hz	1,5	900	6900	I	5.002.10
EP MINOR 40	DN 40	Ker.-Graf.-NBR	400V 3N 50Hz	1,5	1400	10000	I	5.002.11

Additional equipment:

Type	Material	For pump model	Code	Delivery
"L" handle	AISI 304	EP MINI	5.002.40	
"U" handle	AISI 304	EP MIDEX, EP MINOR	5.002.41	
Trolley 280×200	Zinc steel	EP MINI, EP MIDEX, EP MINOR	5.002.42	
Trolley 330×240	AISI 304	EP MINI, EP MIDEX, EP MINOR	5.002.43	

ANEXO B – CATÁLOGO BERMO

BERMO

BP60 Trocador de Calor a Placas Gaxetado

APLICAÇÕES

Aquecimento e refrigeração geral.

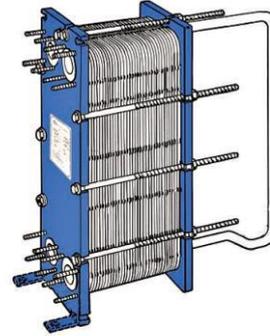
Projeto Padrão

O trocador de calor consiste em um conjunto de placas de metal corrugado, com orifícios para a passagem dos dois fluidos de transferência de calor.

O conjunto de placas é montado entre a placa de estrutura fixa e a placa de pressão móvel, sendo comprimido por parafusos de aperto. As placas são equipadas com uma gaxeta, que veda o canal e direciona os fluidos em canais alternados. O número de placas é determinado pela taxa de fluxo, propriedades físicas dos fluidos, queda de pressão e pelo gradiente de temperatura. As ondulações da placa promovem a turbulência do fluido.

A placa fixa e a placa móvel são suspensas a partir de uma barra de transporte superior e localizadas por uma barra de guia inferior, ambas fixadas a uma coluna de suporte.

As conexões estão localizadas na placa de estrutura fixa ou móvel e, em ambos os fluidos, pode-se fazer mais do que um único passe no interior da unidade.



Materiais Padrão:

Aço carbono com pintura epóxi.

Metal Revestido: Aço inox, Titânio.

Material das Placas

- Alloy 304, Alloy 316L,
- Hastelloy C276, Titânio ou SMO.

Gaxetas

- Nitrílica, NBRHT, EPDM, Viton.

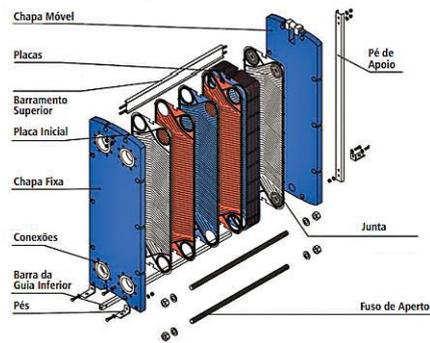
Área Máxima de Transferência:

38 m²

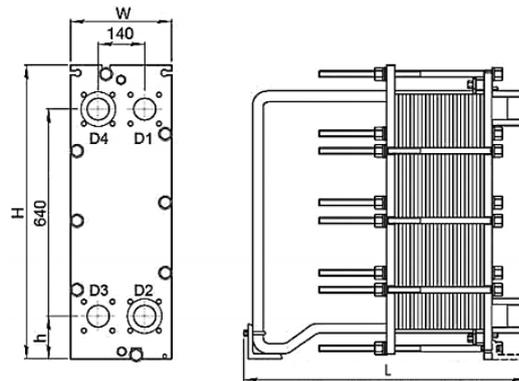
Elementos necessários para seleção:

- As taxas de fluxo ou carga térmica;
- Gradiente de temperatura;
- Propriedades físicas dos líquidos em questão;
- Pressão de trabalho desejado;
- Queda máxima de pressão permitida;
- Temperatura dos fluidos na entrada e saída.

Componentes do desenho



Dimensões



Conexão:

Rosca 2" BSP, Flange ANSI 2" #150.



Conexão com Inseto Metálico



Conexão Roscada



Conexão Flangeada



ANEXO C – CATÁLOGO CERTUSS



Tipo	Universal TC			
Combustão	Óleo, gás ou combinado			
Capacidade de vapor kg/h	500 – 600	700 – 850	1000 – 1300	1500 – 1800
Rendimento térmico kW	328 – 393	459 – 557	656 – 853	984 – 1180
Carga nominal kW	364 – 436	510 – 619	728 – 947	1093 – 1311
Altura / Largura / Profundidade mm	1980 / 930 / 1600	2290 / 1160 / 1870	2535 / 1260 / 2125	2675 / 1380 / 2310
Pressão de trabalho máxima bar	8 / 14 / 18 / 22 / 29	8 / 14 / 22 / 29		
Sobrepresão máx. admissível bar	10 / 16 / 20 / 25 / 32	10 / 16 / 25 / 32		

ANEXO D – CATÁLOGO HELMO

HELMO*Soluções Eficientes em Sistemas de Resfriamento*

INÍCIO PRODUTOS SERVIÇOS LOCALIZAÇÃO CONTATO CATÁLOGOS

Tel. (11) 5584 5779 - 5584 5599

Produtos para Climatização de Painéis**Produtos para Refrigeração Industrial****Chiller - Unidade de Água Gelada**

Os Chillers fabricados pela HELMO foram desenvolvidos com os mais avançados conceitos de refrigeração aplicados no resfriamento de água e de outros líquidos utilizados na transferência de calor.

Modernos, compactos e econômicos, são utilizados no resfriamento de máquinas e processos industriais que necessitem de temperatura estável e controlada.

Destacam-se pela confiabilidade e facilidade na operação e manutenção, devido à concepção do projeto, e à qualidade dos componentes utilizados em sua fabricação.

São produzidas atendendo às normas técnicas e ambientais e de acordo com padrões internacionais de qualidade.

Dados Técnicos

Catálogo

Unidades de Resfriamento com Condensação à Ar									
Modelo	Capacidade Nominal	Compressor	Moto-Bomba		Conexão Processo	Reservatório de Água	Condensador Vazão de Ar	Dimensões Alt. x Larg. x Prof.	Peso
	Kcal/h		CV	Vazão m3/h					
URA - 5	5.000	2,0	2,0	30	3/4	44	3.000	1.350 x 650 x 800	210
URA - 9	9.000	2,7	3,0	30	3/4	48	4.000	1.550 x 800 x 650	250
URA - 15	15.000	5,5	4,0	30	1	93	8.000	1.750 x 1.200 x 650	330
URA - 22	22.000	7,0	7,0	30	1.1/2	144	10.000	1.750 x 1.200 x 850	420
URA - 30	30.000	10,5	10,0	30	1.1/2	187	20.000	1.750 x 950 x 1.600	580
URA - 45	45.000	13,5	12,0	30	1.1/2	216	20.000	1.750 x 950 x 1.600	610
URA - 60	60.000	21,0	15,0	30	2	375	30.000	1.950 x 1.000 x 2.000	900
URA - 75	75.000	25,0	20,0	30	2	435	35.000	2.050 x 1.200 x 2.500	1.040
URA - 90	90.000	27,0	25,0	30	2	525	35.000	2.050 x 1.200 x 2.500	1.200
URA - 120	120.000	47,0	30,0	30	3	525	40.000	2.250 x 1.550 x 2.900	1.270
URA - 150	150.000	52,0	40,0	30	3	753	50.000	2.450 x 1.550 x 3.500	1.350
URA - 180	180.000	54,0	50,0	30	4	753	60.000	2.450 x 1.550 x 3.500	1.580

Temperatura ambiente inferior à 35°C