

**VINICIUS RICARDO DA SILVEIRA BASTOS**

**CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE UMA  
MICROCERVEJARIA**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**2019**

**VINICIUS RICARDO DA SILVEIRA BASTOS**

**CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE UMA MICROERVEJARIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção do  
grau de **Bacharel em Engenharia Mecânica**.

Orientador:  
Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes

**UBERLÂNDIA – MG  
2019**

À minha mãe e meu pai que com todo o carinho, apoio, dedicação e paciência fizeram com que esse importante passo tenha sido dado. Vocês sempre estiveram presentes.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus primeiramente, e à minha família pelo apoio durante a minha jornada para a conclusão do curso de Engenharia Mecânica e por me dar todas as condições para tal.

À Flávia Moreira, por me ajudar e ter paciência para seguir comigo nessa caminhada, nos momentos felizes e difíceis.

Ao Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes por me conceder o desafio deste trabalho, que aplica os conceitos que mais me interessaram durante a graduação.

Para o equilíbrio dessa caminhada, também agradeço aos colegas e amigos, por me proporcionar momentos de descontração.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática das principais etapas com equipamentos básicos do processo produtivo da cerveja .....	12
Figura 2 – Grãos para a fabricação de cerveja .....	15
Figura 3 – Lúpulo .....	16
Figura 4 - Levedura .....	16
Figura 5 – Panela industrial.....	17
Figura 6 – Poliuretano em tubulações.....	18
Figura 7 - Representação esquemática das principais etapas que utilizam panelas	18
Figura 8 – Representação esquemática das etapas anterior e posterior ao resfriamento .....	19
Figura 9 – Trocador de Calor por Placas .....	20
Figura 10 – Chiller (Central de água gelada).....	20
Figura 11 – Tanque de Fermentação .....	21
Figura 12 – Câmara Fria .....	21
Figura 13 – Caldeira.....	22
Figura 14 – Sistema automático para a limpeza de circuito fechado .....	23
Figura 15 – Panela com tubo para pulverização .....	26
Figura 16 – Demonstração de fundo falso .....	30
Figura 17 – Chapa perfurada .....	30
Figura 18 – Exemplo de misturador .....	30
Figura 19 – Gráfico da média logarítmica das diferenças das temperaturas .....	32
Figura 20 – Representação esquemática das pilhas de barris.....	36

### LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros para produção de 500 L de cerveja por tipo.....	25
Tabela 2 – Normais climatológicas de São Paulo .....	25
Tabela 3 – Dimensões da panela de fervura.....	27
Tabela 4 – Dimensões dos barris.....	35
Tabela 5 – Relação da quantidade de barris com a massa de Al .....	38
Tabela 6 – Estimativa de investimento inicial .....	42

## RESUMO

Microcervejaria é uma pequena cervejaria direcionada para a gastronomia, diferenciando-se de indústrias maiores por fabricar reduzidas quantidades para o consumo local ou regional. A finalidade deste projeto é a estruturação de uma planta, na cidade de São Paulo, para produção de 10.000 litros por mês de quatro tipos de cerveja: *Light Lager*, *India Pale Ale*, *Weissbier* e *Stout*. Realizou-se uma revisão bibliográfica, com a abordagem qualitativa, para identificação e dimensionamento dos equipamentos necessários em uma microcervejaria, destacando-se a cautela por se tratar de um processo que envolve *normas do setor alimentício*. Aprofundou-se, para isto, nas características dos seguintes equipamentos: panelas (de brassagem, clarificação, fervura e água aquecida), caldeira para aquecimento do mosto cervejeiro, trocador de calor e *chiller* para garantia da redução de temperatura necessária ao processo, tanques de fermentação, câmara fria em conjunto com o evaporador e a unidade condensadora para estocagem do produto pronto, e por fim, o sistema de limpeza e sanitização. Ainda, disponibiliza-se a planta baixa demonstrando a estrutura completa e o fluxo da linha de produção cumprindo com as normas sanitárias.

**Palavras-chave:** Dimensionamento de microcervejaria. Equipamentos para produção de cerveja. Trocador de calor. Caldeira. Câmara fria.

Comentado [VR1]: É India ou Indian? Verificar todo o documento.

Comentado [VR2]: Acho este termo estranho.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>11</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 O processo de fabricação de cerveja</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2 Tipos de cerveja</b> .....	<b>13</b>
3.2.1 Lager.....	13
3.2.2 Ale.....	13
3.2.3 Trigo.....	13
<b>3.3 Ingredientes</b> .....	<b>14</b>
3.2.1 Água .....	14
3.2.2 Malte .....	14
3.2.3 Lúpulo .....	15
3.2.4 Levedura.....	16
<b>3.4 Equipamentos</b> .....	<b>17</b>
3.4.1 Panela industrial .....	17
3.4.2 Trocador de calor de placas .....	19
3.4.3 Tanque de fermentação.....	20
3.4.4 Câmara fria .....	21
3.4.5 Caldeira .....	22
3.4.6 Limpeza e sanitização .....	22
<b>3.5 Registro da microcervejaria</b> .....	<b>23</b>
<b>4 PROJETO DA MICROCERVEJARIA</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 Painéis industriais</b> .....	<b>25</b>
4.1.1 Panela de fervura .....	26
4.1.1.1 Raio ideal da panela.....	26
4.1.1.2 Material isolante .....	27
4.1.2 Panela de clarificação.....	29
4.1.3 Panela de brassagem .....	30
4.1.4 Panela de água aquecida .....	31
<b>4.2 Trocador de calor de placas e <i>chiller</i></b> .....	<b>31</b>
<b>4.3 Tanque de fermentação</b> .....	<b>34</b>
<b>4.4 Câmara fria</b> .....	<b>35</b>
4.4.1 Dimensões .....	35

4.4.2 Isolante .....	36
4.4.3 Carga térmica .....	37
<b>4.5 Caldeira .....</b>	<b>40</b>
<b>4.6 Limpeza e sanitização.....</b>	<b>40</b>
<b>4.7 Planta baixa da microcervejaria.....</b>	<b>41</b>
<b>4.8 Investimento inicial estimado .....</b>	<b>41</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICE A – PLANTA BAIXA MICROERVEJARIA.....</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE B – PLANTA BAIXA CÂMARA FRIA .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO A – CATÁLOGO DO TROCADOR DE CALOR (BERMO) .....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO B – SIMULAÇÃO DO TROCADOR DE CALOR DE PLACAS .....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO C – CATÁLOGO DO CHILLER COM CONDENSAÇÃO A ÁGUA (REFRISYSTEM) .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO D – CATÁLOGO DO TANQUE DE FERMENTAÇÃO (ENVASARE) .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO E – CATÁLOGO DO EVAPORADOR (REFRIO).....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO F – CATÁLOGO DA UNIDADE CONDENSADORA (ELGIN) .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO G – CATÁLOGO DA CALDEIRA (ARAUTERM).....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Acredita-se que a história da cerveja tem início em 7000 a.C., na Mesopotâmia (atual Iraque), com nômades que cultivavam uma espécie de cereal que pode ter sido usada na produção de uma bebida alcoólica. Há também registros datados de 4300 a.C. de receitas deste tipo de bebida em tábuas de argila babilônicas. Considera-se estes os primeiros passos para a cerveja atual (HUGHES, 2014).

Já a fundação da primeira cervejaria ocorreu no ano de 1040, na Baviera (Alemanha), por monges. Ao longo da Idade Média, a cerveja tornou-se uma bebida popular. Isso ocorreu por ela ser uma fonte segura de hidratação em contrapartida à baixa qualidade da água na época, e um importante alimento devido ao seu teor calórico (HUGHES, 2014).

A chegada ao Brasil da cultura da cerveja foi em 1.808 com comerciantes, principalmente ingleses, que dominaram o mercado por um longo período. Nessa mesma época, Dom João VI contribuiu para a disseminação do hábito de beber cerveja no país. No final do século foram fundadas a Manufatura de Cerveja Brahma Villigier e Companhia, em 1888 na cidade do Rio de Janeiro, e a Companhia Antártica Paulista, em 1891 na cidade de São Paulo (AQUARONE, 2001; REINOLD, 2011).

Passados mais de 100 anos, essas duas cervejarias se fundiram originando a AmBev. Esta fusão tornou nosso país uma potência no setor, e a empresa mantém o domínio do mercado cervejeiro no Brasil até os dias atuais (AQUARONE, 2001).

O mercado cervejeiro está em plena expansão. Em 2011 o Brasil ocupava o terceiro lugar em quantidade anual de fabricação, com 12,4 bilhões de litros por ano, mantendo-se abaixo somente de China e Estados Unidos, com 45 e 35 bilhões de litros anuais, respectivamente. Essa classificação se manteve até em 2016, com o Brasil produzindo 14,1 bilhões de litros de cerveja e uma receita equivalente a 1,6% do Produto Interno Bruto – PIB (BRASIL, 2017; REINOLD, 2011).

Apesar de os brasileiros ainda beberem pouca cerveja em relação aos europeus e aos americanos, a bebida é considerada uma paixão entre os brasileiros. Com isto, tem surgido várias microcervejarias ao longo dos últimos anos, o que fez com que estilos de cervejas do mundo todo comesçassem a ser fabricadas no nosso país. Devido a produção em baixa escala, as cervejas artesanais utilizam formulações e processos distintos dos utilizados em escala industrial, conseguindo chegar a tipos diferentes de cada cerveja (AQUARONE, 2001).

Comentado [VR3]: conferir este nome

Comentado [VR4]: onde?

Comentado [VR5]: Não consta nas referências

## 2 OBJETIVO

Identificar e dimensionar os principais equipamentos necessários para a concepção de uma microcervejaria, considerando a capacidade produtiva mensal de dez mil litros de cerveja tipo *Light Lager*, *India Pale Ale*, *Weissbier* e *Stout*.

Sendo assim, os principais equipamentos são: panelas (de brassagem, clarificação, fervura e água aquecida), caldeira, tanques de fermentação, trocador de calor, *chiller*, câmara fria, unidade condensadora, evaporador e o sistema de limpeza e sanitização.

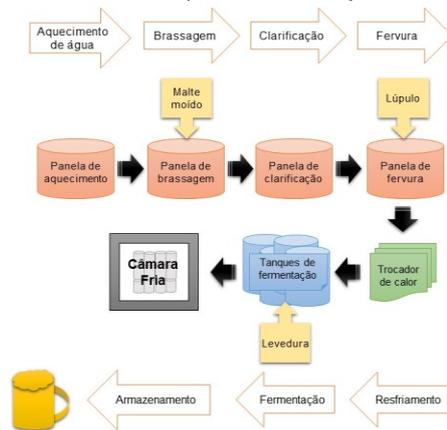
**Comentado [VR6]:** Dei uma olhada e, tecnicamente não existe o tópico objetivo, ele é parte da introdução, por isso a crítica de que o último parágrafo da introdução se repete aqui, e não deveria. Vejamos como melhorar isso.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 O processo de fabricação de cerveja

O processo de fabricação de cerveja é composto por cinco etapas principais: brassagem, fervura, resfriamento, fermentação e envase. Porém, é importante citar também o aquecimento da água, a clarificação, a maturação e o armazenamento, que são etapas secundárias ou complementares, e que se tornam imprescindíveis pela sua relação com a qualidade final do produto (PALMER, 2006). A Figura 1 apresenta um esquema com estas principais etapas, com os equipamentos básicos envolvidos em cada uma.

Figura 1 – Representação esquemática das principais etapas com equipamentos básicos do processo produtivo da cerveja



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A primeira etapa, a brassagem, consiste na adição de água preaquecida para extração dos açúcares solúveis fermentáveis do malte previamente moído, e origina o mosto. Em seguida, o mosto é transferido para a panela de clarificação, onde haverá recirculação com a formação de uma camada de casca de malte que, por sua vez, auxilia na retenção de partículas e substâncias que escurecem e alteram o sabor da cerveja (HUGHES, 2014; PALMER, 2006).

O líquido livre de particulado é transferido para a panela de fervura, onde é adicionado o lúpulo. Em sequência o mosto é resfriado passando pelo trocador de calor e transportado para o tanque de fermentação, onde as leveduras são adicionadas. Em seguida aguarda-se um período que chamamos de maturação, para refinamento dos sabores devido a estabilização e associação de substâncias

Comentado [VR7]: Linkar os itens. Não há fluidez. Tudo jogado

Comentado [VR8]: Verificar texto

presentes. Esta é a etapa mais longa, durando de poucos dias até meses, dependendo do tipo de cerveja a ser produzida. Finalizado o processo, a cerveja produzida é acondicionada em barris ou garrafas e armazenada em câmara fria (HUGHES, 2014; PALMER, 2006).

### 3.2 Tipos de cerveja

Atualmente, devido a regionalização de atuação, não há uma definição dos líderes deste mercado. Com isto, cervejarias pequenas e independentes, as microcervejarias, tem maior flexibilidade para produzir lotes menores e sem aditivo químico, utilizando ingredientes de qualidade, métodos tradicionais e riqueza de detalhes na fabricação. Esta flexibilidade resulta em uma variabilidade dos tipos de cervejas produzidas (HUGHES, 2014).

Segundo Hughes (2014), os principais tipos de cerveja são *Lager*, *Ale* e *Trigo*, com suas as peculiaridades apresentadas a seguir.

#### 3.2.1 Lager

É o tipo mais popular e mais consumido. Na produção utiliza-se baixa temperatura de fermentação, geralmente 12°C. O seu nome tem origem do termo alemão "*lagering*" que significa armazenar, devido ao tempo maior de maturação. As cervejas deste tipo têm pouco ou nenhum aroma de lúpulo e é clara, devendo ser servida preferencialmente gelada. Estão neste grupo a popular *Pilsen*, além das *Light Lager*, *Amber lager*, *Dark Lager* e *Bock*.

Comentado [VR9]: Definir maturação

#### 3.2.2 Ale

É o tipo considerado saboroso e é consumido em grandes quantidades devido ao teor alcoólico mais baixo, podendo ser de 2,8%. Na produção utiliza-se alta temperatura de fermentação, geralmente entre 16°C e 22°C, dependendo do subtipo desejado, e a quantidade de lúpulo utilizada é alta, o que acentua o sabor e o aroma amargo. Estas cervejas devem ser servidas preferencialmente frias, mas não muito geladas, para acentuação dos sabores. Pequenas diferenças no processo produtivo geram algumas variações: *Pale Ale*, *India Pale Ale*, *Sour*, *Bitter*, *Strong Ale*, *Brown Ale*, *Barley Wine*, *Porter* e *Stout*.

#### 3.2.3 Trigo

É um tipo mais turvo, em que mais de 50% dos grãos utilizados são de trigo. Apresenta facilidade para produção caseira devido ao controle propiciado pela alta

temperatura de fermentação, de até 24°C. É comum a adição de elementos aromáticos como goiaba, laranja, e outras especiarias sendo ideal beber logo após a fabricação. Suas variações mais conhecidas são: *Weissbier*, *Witbier*, cerveja com centeio e trigo escuro.

### 3.3 Ingredientes

Em 1516 foi estipulada a “Lei de Pureza da Cerveja” ou *Reinheitsgebot*, na Baviera (Alemanha), que determinava que os únicos ingredientes permitidos na cerveja da região seriam: cevada, lúpulo e água. No final do século, a lei foi adotada por outras regiões do país, e é considerada até hoje, porém modificada pela adição da levedura, não identificada em sua primeira formulação. Apesar de ser uma lei regional, ela representa a formulação básica para produção de cerveja por todo o mundo (HUGHES, 2014; PALMER, 2006).

#### 3.2.1 Água

A água apresenta variações de pH em diferentes localidades, o que contribui para o sabor único de cada cerveja. Se a água for alcalina a atividade enzimática é reduzida, causando uma maior extração de cor e substâncias amargas na etapa de brassagem. Enquanto que, se a água for ácida, ocorre o aumento da atividade enzimática. Uma água considerada ideal para produção de cerveja tem pH de 6,5 a 7,0; 100 mg/litro de carbonato de cálcio ou magnésio, e 250 a 500 mg/litro de sulfato de cálcio (AQUARONE, 1983).

Por isso, é necessário ter cautela em relação a água fornecida pelos sistemas de tratamento municipais, devendo-se verificar os produtos utilizados neste tratamento. Substâncias indesejadas para a cerveja devem ser eliminadas na fervura para evitar sabor desagradável. Quando a fervura não é suficiente, torna-se necessária a utilização de filtros ou aditivos para remover o odor e o sabor da água (PALMER, 2006).

#### 3.2.2 Malte

O malte atua como uma fonte de açúcares e é o responsável pelas características de cor, sabor e aroma da cerveja. O processo responsável pela geração do malte pode ser chamado de maltagem e os cereais mais utilizados são: cevada, trigo e centeio. Porém utiliza-se também outros grãos em complemento ou substituição a estes (Figura 2). O mais comum no continente americano é o milho, que

Comentado [VR10]: Mandaram cortar o “casca de”. Tá certo?

além de ser facilmente obtido, passou a ser mais utilizado quando as guerras dificultaram o acesso à cevada da Europa. Com isso, o principal tipo de cerveja encontrado no Brasil é a *lager pilsen* contendo milho (AQUARONE, 1983; HUGHES, 2014; PALMER, 2006).

Figura 2 – Grãos para a fabricação de cerveja



Fonte: O CLUBE DA CERVEJA, 2018.

A maltagem é caracterizada por três etapas principais: germinação, torra e moagem. Para a germinação os grãos são colocados na água, promovendo absorção da umidade, e posteriormente são secos com ar quente. Depois é realizada a torra, que interrompe a germinação. Maltes com diferentes níveis de torra são responsáveis pela variação na cor, aroma e sabor da bebida. Isso ocorre porque grãos menos torrados possuem maior atividade enzimática, gerando mais açúcar fermentável, enquanto que os mais torrados, portanto, geram menos açúcares fermentáveis. Por fim ocorre a moagem que aumenta a capacidade das enzimas presentes. Para a fabricação em baixa escala os fornecedores disponibilizam maltes pré-moídos (HUGHES, 2014; PALMER, 2006).

### 3.2.3 Lúpulo

Natural de zonas temperadas da Europa, dos Estados Unidos e da China, o lúpulo (Figura 3) além de ser um conservante natural, é essencial para reter a espuma e manter a estabilidade do sabor, fornecendo o amargor que contrabalança com os açúcares do malte. Existem diferentes espécies de lúpulo que são disponibilizadas ao mercado em diferentes formas, como folhas secas e peletes. Por fim, o momento em que é adicionado à fervura completa a lista de fatores que fazem com que também o lúpulo seja responsável pela obtenção de diferentes tipos de cerveja (HUGHES, 2014).

Figura 3 – Lúpulo



Fonte: COCINISTA, 2018.

### 3.2.4 Levedura

A levedura (Figura 4) sempre foi utilizada, porém, os cervejeiros nem sempre sabiam o que estavam consumindo. Os Vikings, por exemplo, utilizavam bastões de madeira para fazer a cerveja que eram passados de pai para filho, como herança. Sabia-se que cada família produzia uma cerveja única, e este fato era atribuído ao bastão, sem saber que isto se dava devido as leveduras impregnadas nele (PALMER, 2006).

Figura 4 - Levedura



Fonte: SEMPRE NATURAL, 2018.

A levedura foi descoberta e descrita cientificamente em 1860, causando conturbação no meio cervejeiro da época, como na ocorrência da necessidade de alteração da “Lei de Pureza da Cerveja” da Baviera (PALMER, 2006).

Reproduzindo-se por divisão celular, a levedura pode viver e crescer com ou sem oxigênio. Sua principal função na produção da cerveja é converter os açúcares do malte em álcool. Porém, é também responsável pela produção de álcoois, cetonas, fenóis, ácidos graxos e ésteres. Com isso, origina-se tanto sabores desejados de notas frutadas, por exemplo, quanto sabores indesejados, devido à oxidação de algumas dessas substâncias quando a cerveja envelhece (PALMER, 2006).

Como a levedura é adicionada com o mosto frio, a grande quantidade de açúcares presentes torna-se um excelente meio de cultura, inclusive para as

leveduras selvagens presentes no ar e nos equipamentos. Por isso, à medida que o mosto é resfriado é necessário atenção para minimizar o risco de contaminação da cerveja (CERVISIAM, 2015).

### 3.4 Equipamentos

#### 3.4.1 Panela industrial

Panelas industriais (Figura 5) tem capacidade de cozinhar grandes quantidades de material, o que é seu maior benefício, oferecendo ainda segurança operacional, acarretando melhor qualidade do produto (SINNOT, 2012).

Quanto a sua estrutura, existem materiais específicos para cada finalidade, sendo que para a produção de cerveja, torna-se mais adequado o aço inox AISI 304. Este é um aço inoxidável austenítico, que possui em sua composição o níquel atribuindo maior resistência à corrosão, além de apresentar boa usinabilidade e soldabilidade (SILVA; AVANZI, 2011; SINNOT, 2012).

Apesar de o fechamento autoclavado permitir maior controle das condições, demanda maior atenção e investimento em relação a estrutura e a manipulação. Por este balanço, torna-se menos dispendioso optar pela ausência de pressurização (HUGHES, 2014).

Figura 5 – Panela industrial



Fonte: INOX EQUIPAMENTOS, 2018.

Para que não haja perda de combustível e energia, integra-se um isolamento às panelas industriais e à tubulação. O material comumente utilizado para este fim é o poliuretano expandido, que é aplicado gerando uma camada intermediária entre as lâminas de aço, como na Figura 6 (SARAVACOS, 2002).

Comentado [VR11]: Diminuir o tamanho da figura

Comentado [VR12]: Não tem nas referências

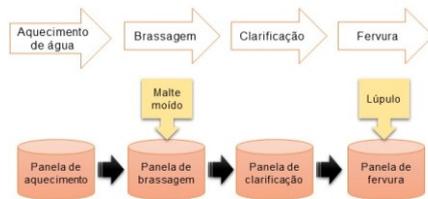
Figura 6 – Poliuretano em tubulações



Fonte: AECWEB, 2018.

Como pode ser visualizado na Figura 7 as panelas são utilizadas nas etapas de aquecimento de água, brassagem, clarificação e fervura, sendo que cada uma delas possui suas peculiaridades. Algumas etapas auxiliares também acontecem nas panelas, como a homogeneização com hélice, a recirculação com pulverização e o *whirlpool do mosto*.

Figura 7 - Representação esquemática das principais etapas que utilizam panelas



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A homogeneização auxilia a etapa de brassagem, gerando maior contato da água aquecida com o malte, proporcionando uma extração mais adequada dos açúcares. Para isto, utiliza-se um misturador com hélice (HUGHES, 2014).

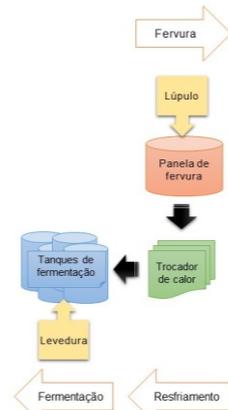
A recirculação com pulverização ocorre tanto na clarificação, para melhor filtração do mosto, quanto na fervura, para melhor homogeneidade da temperatura. Com o auxílio de uma bomba, o mosto é retirado pela lateral da panela e devolvido na parte superior por pulverização, ou seja, entra de maneira difundida, espalhando o líquido pela área superficial.

E por fim, o *whirlpool* ocorre na panela de fervura para separação de material particulado. Para isto, utiliza-se uma bomba que provoca o giro do mosto após a finalização da fervura, fazendo com que o particulado seja acumulado nas paredes da panela, devido a força centrífuga. Ao cessar o funcionamento da bomba, o particulado depositado nas paredes vai para o fundo da panela (MORADO, 2009).

### 3.4.2 Trocador de calor de placas

O trocador de calor de placas é amplamente utilizado na indústria alimentícia por realizar a troca térmica de maneira higiênica e eficiente. Na microcervejaria, como representado na Figura 8, é utilizado para o resfriamento do mosto após a fervura, permitindo a ação das leveduras na etapa seguinte de fermentação e também para causar o *Cold Break*. *Cold Break* é o nome dado ao resfriamento rápido do mosto, reduzindo o risco de contaminação e eliminando proteínas responsáveis por problemas durante o armazenamento (PALMER, 2006).

Figura 8 – Representação esquemática das etapas anterior e posterior ao resfriamento



Fonte: PRÓPRIO AUTOR

Considerado um equipamento compacto, é comum encontrar opções com área de troca de 0,02 a 4,75m<sup>2</sup> e uma vazão de 0,5 a 5000 m<sup>3</sup>/h, operando com temperaturas entre -35°C e 200°C, e pressão de até 25 bar. A estrutura do trocador de calor é formada por um conjunto de placas rígidas de metal corrugado, normalmente com espessura entre 0,6 e 0,9 mm, posicionadas uma ao lado da outra, com orifícios para a passagem dos fluidos, como mostrado na Figura 9. Este conjunto é montado entre uma placa de estrutura fixa e outra de pressão móvel. Cada placa possui uma gaxeta, responsável por vedar o canal e direcionar os fluidos em canais alternados. A variação de pressão, temperatura e vazão da operação, além das propriedades físicas dos fluidos, são os fatores que influenciam na quantidade de placas (BERMO, 2016; INCROPERA, 2008; SARAVACOS, 2002).

Comentado [VR13]: Não tem nas referências

Figura 9 – Trocador de Calor por Placas



Fonte: BERMO, 2016.

Como descrito, há a necessidade de um fluido para efetivação da troca térmica com o mosto. No caso da cerveja, o fluido utilizado é a água. Porém, este fluido deve estar na temperatura adequada para que haja o resfriamento desejado do mosto. Para isso utiliza-se um *chiller* (Figura 10), também conhecido como central de água gelada, com vasta utilização para arrefecimento de ar, equipamentos e produtos (SARAVACOS, 2002).

Figura 10 – Chiller (Central de água gelada)



Fonte: PLASTECNICA, 2018.

### 3.4.3 Tanque de fermentação

O tanque de fermentação é o local onde o mosto é transformado em cerveja por meio da atividade das leveduras. Normalmente é utilizado o formato cilíndrico vertical de fundo cônico, como na Figura 11. Devido a necessidade do rígido controle de temperaturas a fim de obter melhor eficiência e permitir a obtenção de diferentes tipos de cerveja, este equipamento possui sistema de refrigeração integrado de fábrica. Além do controle de temperatura, são fatores importantes para a fermentação a esterilidade e a oxigenação do mosto. A esterilidade é obtida na etapa anterior, a fervura, enquanto que para a oxigenação, nas microcervejarias normalmente instala-se uma estrutura entre o trocador de calor e o fermentador (PALMER, 2006; SEBRAE, 2018).

Figura 11 – Tanque de Fermentação



Fonte: CZECH, 2018.

#### 3.4.4 Câmara fria

O armazenamento da cerveja pronta pode ser realizado em garrafas ou em barris. Esta escolha depende da intenção do empreendedor. Se o público alvo for o consumidor final, para consumo individual, a garrafa se torna a melhor opção. Porém, se o objetivo do negócio for vender para estabelecimentos voltados ao entretenimento, o barril é a melhor opção. O armazenamento em altos volumes diminui o tempo gasto no envase, e apesar do custo inicial com o barril ser maior, eles são mais resistentes, e por isso é uma escolha comum nas microcervejarias (HUGHES, 2014).

O calor deteriora a cerveja ao longo do tempo, gerando a necessidade de mantê-la em temperaturas baixas, mas não congelantes. Esta temperatura depende do tipo de cerveja. A maioria mantém a qualidade ao ser armazenada com temperaturas entre 10°C e 12,8°C, porém, algumas demandam uma temperatura mais baixa, como a *Light Lager* que deve ser armazenada a 3°C (HUGHES, 2014).

Para garantir o resfriamento e armazenamento de produtos que exigem baixa temperatura de conservação, como a cerveja, utiliza-se a câmara fria (Figura 12), que é um espaço com a estrutura e equipamentos necessários para garantir o controle de suas condições internas como temperatura e umidade.

Figura 12 – Câmara Fria



Fonte: TONISH, 2018.

**Comentado [VR14]:** Falar sobre as condições de armazenamento => falar que vai ser armazenado em barris e fundamentar.

**Comentado [VR15R14]:** Dá pra por mais coisa aqui não? Sobre a estrutura, material, formato, bla bla bla, equipamentos que põe nela... =x

**Comentado [VR16]:** referencia

### 3.4.5 Caldeira

A caldeira (Figura 13) tem a função de gerar vapor que ocasiona o aquecimento necessário ao processo. Para isto, pode-se utilizar como fonte de energia combustível sólido (carvão), líquido (óleo), gasoso (GLP – Gás Liquefeito de Petróleo e GN – Gás Natural) ou até uma resistência elétrica. A fonte de energia escolhida é transformada em energia térmica, que é utilizada na forma de vapor de água em alta pressão. Com isto, facilita-se o aquecimento do mosto em uma microcervejaria. Possibilitando o controle da temperatura, obtém-se como consequência um maior controle do processo, garantindo melhor qualidade do produto final (SARAVACOS, 2002).

Comentado [VR17]: Dar exemplos

Figura 13 – Caldeira



Fonte: MFRURAL, 2018.

### 3.4.6 Limpeza e sanitização

A higiene é um fator essencial no processamento de alimentos e bebidas para evitar a presença de micro-organismos e outras substâncias que alteram a qualidade, sabor e textura do produto final. Por isso torna-se necessária a limpeza e sanitização dos equipamentos, de maneira eficiente e controlada (HUGHES, 2014).

A utilização de um sistema automatizado (Figura 14) previne riscos potenciais à segurança alimentar, já que reduz a intervenção humana e a ocorrência de contaminação devido a manipulação dos materiais. A ASME (A Sociedade Norte-Americana de Engenheiros Mecânicos) apresenta três métodos com essa finalidade: o Wash in Place (WIP), o Clean in Place (CIP) e o Sterilization in Place (SIP) (ABRALIMP, 2018).

O método comumente utilizado em microcervejarias é o *Clean in Place*, que garante a limpeza sem a desmontagem do equipamento e da linha, trabalhando em circuito fechado com circulação e recirculação, em ciclos. Primeiramente são removidas as sujidades grosserias com a água de enxague da última limpeza

realizada, que contém resquícios de produtos químicos que auxiliam nesta remoção. Depois realiza-se as lavagens com solução alcalina, seguida de solução ácida, água, solução para esterilização com detergente e sanitizante, e enxague final novamente com água (que será armazenada para reaproveitamento no próximo ciclo) (ABRALIMP, 2018).

Figura 14 – Sistema automático para a limpeza de circuito fechado



Fonte: TETRA PAK, 2018.

### 3.5 Registro da microcervejaria

Deve-se destacar que para a legalidade da microcervejaria, além de procedimentos gerais como em qualquer outro empreendimento, é necessário seguir normas e especificações técnicas peculiares da atividade. Apesar de não existir legislação específica para microcervejarias, a produção de cerveja com fins comerciais, em qualquer escala, é regulamentada e fiscalizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimentos (MAPA) na categoria de alimentos e bebidas alcoólicas em geral.

Todas as exigências são apresentadas nas Instruções Normativas que dão orientações referentes aos trâmites necessários ao funcionamento e atividade comercial, às práticas operacionais, e à estrutura utilizada, tanto em relação aos equipamentos quanto ao espaço físico e as matérias primas (MAPA, 2019).

Comentado [VR18]: Reduzir figura

Comentado [VR19]: Tecnicamente isto é só revisão bibliográfica, pq vc não fez o registro. Então vamos passar isso pra revisão? Depois refaço o texto.

#### 4 PROJETO DA MICROERVEJARIA

Destaca-se que o foco deste projeto é na elucidação do dimensionamento de equipamentos e instalações cabíveis à formação de Engenharia Mecânica, por isso, dados relacionados aos processos em si não são detalhados e são considerados conforme as justificativas apresentadas para cada um deles no decorrer do projeto.

Comentado [VR20]: O que acha?

O memorial descritivo contendo todas as etapas de produção, instalações e equipamentos devem ser apresentados para o registro. O foco deste, sendo apresentada a planta baixa com os respectivos equipamentos. Já o manual de boas práticas de produção deve ser elaborado por um profissional que está apto a fazê-lo. Além disso, outros documentos técnicos e não técnicos exigidos para o registro da microcervejaria não constam no propósito deste trabalho

Considerando-se uma demanda de 10000 litros de cerveja por mês, e uma estrutura intermediária entre a produção caseira e a industrial, instalada na cidade de São Paulo, são necessários os seguintes equipamentos:

- a) painéis de brassagem, clarificação, fervura e de água aquecida;
- b) trocador de calor por placas para o resfriamento do mosto;
- c) *chiller* que atenda o trocador de calor por placas;
- d) tanque de fermentação auto refrigerado;
- e) câmara fria para refrigerar e armazenar os barris com cerveja;
- f) caldeira para aquecimento por meio da geração de vapor;
- g) equipamento de limpeza e sanitização.

Comentado [VR21]: Diz que esta citação é desnecessária

Comentado [VR22]: Gera perda no projeto (pág 24 vini)

Ainda, para garantir o funcionamento e a legalidade do negócio, tornam-se necessários:

- a) planta baixa;
- b) registro da microcervejaria.

Comentado [VR23]: Indicar na revisão bibliográfica

Para nortear a condução deste projeto considera-se quatro tipos de cervejas com diferentes parâmetros de produção: Light Lager, India Pale Ale, Weissbier e Stout. Ainda, a operação da microcervejaria será de segunda-feira a sexta-feira, com uma média, portanto, de 20 dias por mês, concluindo-se que para atendimento da demanda estipulada (10000 L/mês) é necessário produzir 500 L por dia.

Porém, de acordo com dados apresentados por Hughes (2014), ocorre uma perda de 15% até a etapa de fervura, tornando necessário considerar um volume de 587 L de mosto para obtenção de 500 L de cerveja.

Como cada tipo de cerveja tem suas peculiaridades em relação às diferentes etapas do processo, a Tabela 1 esclarece alguns pontos críticos para o dimensionamento dos equipamentos, já considerando a demanda e a perda do processo.

Tabela 1 – Parâmetros para produção de 500 L de cerveja por tipo

Tipos de cerveja		Água para brassagem (m³)	Temperatura de brassagem (°C)	Volume total de mosto até a fervura (m³)	Temperatura de fermentação e maturação (°C)	Tempo de fermentação e maturação (dias)	Temperatura máxima de armazenamento (°C)
Lager	Light Lager	0,202	65	0,587	12	28	3
Ale	India Pale Ale	0,302	65	0,587	18	42	12
	Stout	0,261	67	0,587	18	28	12
Trigo	Weissbier	0,272	65	0,587	22	21	12

Fonte: HUGHES, 2014.

Além disso, as características físicas da localidade de instalação também são fatores críticos neste dimensionamento. Por isso, a Tabela 2 apresenta os dados para a cidade de São Paulo segundo o INMET (2018).

Tabela 2 – Normais climatológicas de São Paulo

Temperatura máx média (°C)	Temperatura min média (°C)	Pressão (kPa)	Temperatura da água saturada (°C)	Temperatura - Bulbo seco (°C)	Umidade relativa (%)
25,7	16	92,7	97	20,1	74,3

Fonte: INMET, 2018.

#### 4.1 Painéis industriais

As painéis de água aquecida, brassagem, clarificação e fervura são confeccionadas utilizando chapas de aço inox AISI 304 com espessura de 3 mm. E, em conformidade com as normas de segurança do trabalho e prevenção de acidentes a altura das painéis é 1,10 m (ENIT, 2018).

Na microcervejaria estas painéis são aquecidas por meio de uma serpentina (de aço inox AISI 304) instalada dentro de cada uma, por onde passa vapor saturado oriundo da caldeira.

Visando reduzir a perda de calor utiliza-se o isolante poliuretano expandido. Para que o dimensionamento deste isolante seja descrito sem risco de subdimensionamento, serão consideradas as dimensões das painéis de clarificação e fervura, que são as maiores, e a temperatura de fervura (temperatura de saturação da água), por ser a mais alta do processo.

Considerando que a dimensão de todas as painéis é dependente da espessura

Comentado [VR24]: Vamos tirar o tempo de brassagem e de fervura?

do isolante térmico, os cálculos iniciam-se pelo dimensionamento da panela de fervura.

#### 4.1.1 Panela de fervura

Esta é a única das panelas que possui o fundo cônico para facilitar o depósito dos particulados do *whirlpool*. Com isto, torna-se necessário também a instalação de uma abertura na lateral para higienização.

Durante a fervura, uma bomba sanitária é utilizada para recircular o mosto, que retorna à panela por um tubo de inox AISI 304 com furos, mostrado na Figura 15, causando o efeito de pulverização.



Fonte: PRIMO CERVEJEIRO, 2019.

Após a fervura, para realização do *whirlpool* utiliza-se uma bomba conectada lateralmente por 2 tubos com um ângulo de 30° em relação a parede da panela, visando a atuação da força centrípeta para a circulação do mosto.

O volume da panela é 0,763 m<sup>3</sup> referente ao volume de mosto até a fervura (Tabela 1) com acréscimo de 30% de margem de segurança operacional e devido ao *whirlpool*, evitando o transbordo de material. Com isso, é possível determinar raio ideal da panela, e posteriormente a espessura do material isolante.

##### 4.1.1.1 Raio ideal da panela

Calculando o raio ideal, em que:

r = raio;

V = volume da panela de fervura;

h = altura;

$\pi = 3,14$ .

Comentado [VR25]: Tubo com furos?

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * h}} \quad (1)$$

$$r = \sqrt{\frac{0,763[m^3]}{\pi * 1,10[m]}} \rightarrow r = 0,470[m]$$

**Comentado [VR26]:** Para atender à fervura, utilizamos o volume da India Pale Ale e o acréscimo de 30%, ficando com o volume de 1,6 m<sup>3</sup>, altura de 1,5 m, portanto teremos um raio interno de 0,58 m.

Com isso, as dimensões da panela de fervura são descritas na Tabela 3:

Tabela 3 – Dimensões da panela de fervura

Volume (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Raio (m)
0,763	1,1	0,47

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

#### 4.1.1.2 Material isolante

Os dados da Tabela 3 são utilizados para o dimensionar o material isolante, juntamente com as informações referentes ao ambiente da Tabela 2, em que a temperatura interna é a de água saturada a pressão ambiente ( $T_i = 97^\circ\text{C}$ ), e a temperatura externa é a mínima média anual em São Paulo ( $T_e = 16^\circ\text{C}$ ).

O ponto de partida é a definição da resistência equivalente de isolamentos com espessura de 0,05 m e 0,1 m para avaliação do mais adequado.

Os cálculos seguem da seguinte maneira: partindo da definição da resistência equivalente para diferentes espessuras é possível determinar a taxa de transferência térmica de cada uma e realizar uma comparação com a quantidade de calor inserido no sistema. Esta comparação permite determinar a espessura mais adequada para esta panela.

Para definição da resistência equivalente considera-se que a condutividade térmica do isolante ( $k$ ) é 0,018 W/m.K (SILVA, 2015), e o coeficiente de transferência de calor por convecção natural externo ( $h_e$ ) é 13,5 W/m<sup>2</sup>.K. A convecção interna é considerada forçada devido a condição do mosto em temperatura de saturação (quase em ebulição), causando movimentação do fluido na parede da panela. O coeficiente de transferência de calor por convecção forçada interno ( $h_i$ ) é 10000 W/m<sup>2</sup>.K (INCROPERA, 2008).

Conforme definido em 4.1, a altura da panela ( $L$ ) é 1,10 m. Sendo assim, para a espessura de 0,05 m a área externa ( $A_{e0,05}$ ) é 3,59 m e a área interna ( $A_{i0,05}$ ) é 3,25 m. E, para a espessura de 0,10 m a área externa ( $A_{e0,10}$ ) é 3,94 m e a área interna

**Comentado [VR27]:** Variável escalar sempre em itálico

( $A_{i,0,10}$ ) é 3,25 m.

Cálculo da resistência equivalente, onde:

$R_{eq}$  = Resistência equivalente;

$r_e$  e  $r_i$  = raios interno e externo do isolante.

$$R_{eq0,05} = \frac{1}{h_i A_{i,0,05}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{e,0,05}}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_e A_{e,0,05}} \quad (2)$$

$$= \frac{1}{10.000 * 3,25} + \frac{\ln\left(\frac{0,47 + 0,05}{0,47}\right)}{2 * \pi * 0,018 * 1,10} + \frac{1}{13,5 * 3,25} = 0,0000 + 0,8126 + 0,0206$$

$$R_{eq0,05} = 0,8332 \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

$$R_{eq0,10} = \frac{1}{h_i A_{i,0,10}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{e,0,10}}{r_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_e A_{e,0,10}} \quad (3)$$

$$= \frac{1}{10.000 * 3,25} + \frac{\ln\left(\frac{0,47 + 0,1}{0,47}\right)}{2 * \pi * 0,018 * 1,10} + \frac{1}{13,5 * 3,94} = 0,0000 + 1,5506 + 0,01880$$

$$R_{eq0,1} = 1,5694 \text{ [}^\circ\text{C/W]}$$

A resistência equivalente do isolante com espessura de 0,05 m é 0,8332 °C/W e com espessura de 0,10 m é 1,5694 °C/W. Com isso, define-se a taxa de transferência de calor em cada caso ( $q_{0,05}$  e  $q_{0,10}$ ), onde:

$T_e$  e  $T_i$  = Temperatura externa e interna.

$$q = \frac{T_e - T_i}{R_{eq}} \quad (4)$$

$$q_{0,05} = -97,21 \text{ [W]}$$

$$q_{0,10} = -51,61 \text{ [W]} \quad (5)$$

Para calcular a taxa de transferência de calor inserido no sistema, o volume de água na fervura é 0,587 m<sup>3</sup> (Tabela 1), enquanto que a temperatura desejada da água saturada é 97 °C (Tabela 2) e a temperatura de entrada do mosto é 60° C (Tabela 1) a uma pressão atmosférica de 92,7 kPa (Tabela 2). Considerando essas mesmas condições de temperatura da água saturada e pressão atmosférica, o volume específico do mosto é 0,001015 m<sup>3</sup>/kg, e o calor específico do mosto é 0,92 kcal/kg°C |

**Comentado [VR28]:** É um fluxo de perda, por isso do sinal negativo, fazendo com que ele perca somente - 84,57 [W]

**Comentado [VR29]:** É um fluxo de perda, por isso do sinal negativo, fazendo com que ele perca somente - 84,57 [W]

**Comentado [VR30]:** Colocar a referencia Macagnan,2015 – parte do livro esta em <http://www.professor.unisinos.br/mhmac/Refrigeracao/>

(MACAGNAN, 2015).

Cálculo da taxa de transferência de calor (q) onde:

m = massa do mosto

cp = calor específico do mosto

$\Delta T$  = diferencial de temperatura na entrada e desejada

s = segundos para o aquecimento

$$q = \frac{Ma * cp * \Delta T}{s} \quad (6)$$

$$q = \frac{\frac{0,587[m^3]}{0,001015 \left[ \frac{m^3}{kg} \right]} * 0,92 \left[ \frac{kcal}{kg \text{ } ^\circ C} \right] * 37[^\circ C]}{900[s]}$$

$$q = 21,87 \left[ \frac{kcal}{s} \right] = 78.732 \left[ \frac{kcal}{h} \right] = 91.504 [W]$$

A taxa de transferência de calor que percorre o material isolante com espessura de 0,10 m é 97,21 W enquanto que com espessura de 0,05 m é 51,61 W. Quando comparado à quantidade de calor transferido este resultado indica que o material apresenta um isolamento satisfatório. Quanto a resistência, o isolamento com espessura de 0,10 m é 53% mais resistente do que isolamento com espessura de 0,05 m. Com isso, a espessura utilizada neste projeto é de 0,10 m.

#### 4.1.2 Painela de clarificação

A painela de clarificação tem as mesmas dimensões da painela de fervura para comportar o volume de mosto do processo conforme a Tabela 1. Porém, diferencia-se por possuir 25 mm de espaçamento em um fundo falso como na Figura 16, devido à instalação de uma chapa de aço inox AISI 304 com furos de 3 mm, semelhante à Figura 17. Este fundo falso acarreta na retenção de material e formação da camada de filtração.

Para a recirculação, assim como na etapa de fervura, é utilizada uma bomba sanitária e o mosto retorna à painela por uma estrutura de pulverização, semelhante à da fervura (vide Figura 15, item 4.1.1).

Comentado [VR31]: Tubo com furos?

Figura 16 – Demonstração de fundo falso



Fonte: CONSERVEJA, 2019.

#### 4.1.3 Panela de brassagem

Esta panela possui duas peculiaridades: um fundo falso e um misturador acoplado. O fundo falso é semelhante ao da panela de clarificação (Vide Figura 16, item 4.1.2), porém a chapa de aço inox AISI 304 possui furos mais amplos, de 5 mm. Na Figura 17 é possível visualizar a aparência da chapa. Esta diferença de diâmetro dos furos é importante para que o bagaço de maior dimensão seja retido na etapa de brassagem, mas que permita a passagem de cascas que formarão a camada de filtração na clarificação.

Figura 17 – Chapa perfurada



Fonte: MULTFUROS, 2019.

A concepção do misturador se dá pela presença de um motor conectado a uma hélice, como na Figura 18.

Figura 18 – Exemplo de misturador



Fonte: BOMBETEC, 2018.

**Comentado [VR32]:** Estava motor com pás. No caso pensei que não é o motor que tem pás, ele está conectado, certo? E como na descrição falamos de hélice, e uma hélice é formada por pás, coloquei direto hélice. Precisa colocar pás?

**Comentado [VR33]:** Não seria melhor essa figura? Que mostra só o misturador e não compromete mostrando a estrutura da panela?

A panela de brassagem tem o volume de 0,393 m<sup>3</sup> referente ao volume de água necessária para brassagem do tipo *India Pale Ale*, já que este é o maior volume entre os 4 tipos definidos (Tabela 1), acrescido de 30% devido a margem de segurança operacional, evitando o transbordo de material.

Cálculo do raio ideal, onde:

r = raio interno;

V = volume;

h = altura;

$\pi = 3,14$ .

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * h}} \quad (7)$$

$$r = \sqrt{\frac{0,391[m^3]}{\pi * 1,1[m]}} \rightarrow r = 0,336[m]$$

De acordo com o cálculo acima, o raio interno é 0,336 m. Considerando duas camadas de chapas de aço inox AISI 304 com espessura de 0,003 m cada uma, e a camada de isolante com espessura de 0,10 m, o raio externo é 0,442 m.

#### 4.1.4 Panela de água aquecida

A panela de água aquecida é a primeira do processo. Nela acontece a preparação da água, visando exatidão da temperatura e do potencial hidrogeniônico (pH), já que ambos influenciam diretamente na qualidade da cerveja.

Para evitar a utilização de bomba no transporte desta água, a panela será posicionada em um patamar elevado em relação as outras, aproveitando a gravidade para a movimentação da água aquecida para as demais panelas.

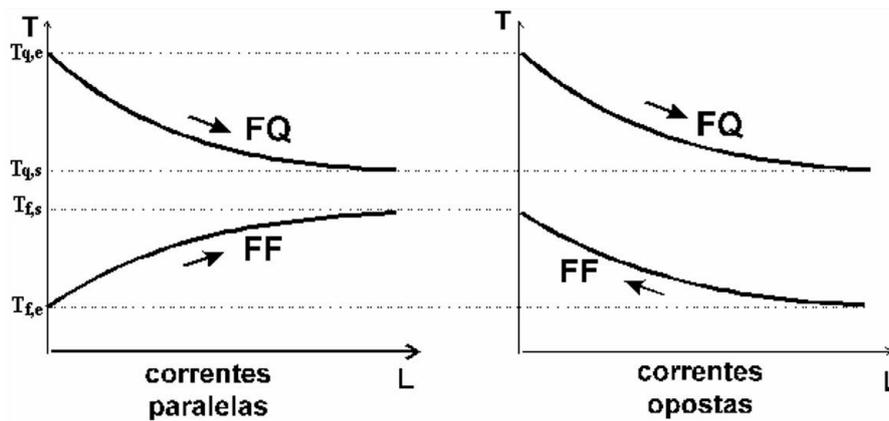
Considerando os dados produtivos já apresentados na Tabela 1 e os cálculos anteriores, a panela de água aquecida tem as mesmas dimensões da panela de brassagem.

#### 4.2 Trocador de calor de placas e *chiller*

Os gráficos de resfriamento do mosto de acordo com as correntes dentro de um trocador de calor por placas estão representados na Figura 19. O primeiro se

refere a correntes no mesmo sentido (paralelas), e o segundo se refere a correntes opostas, sendo FQ a corrente quente e FF a corrente fria. De acordo com a média logarítmica das diferenças das temperaturas, foi escolhida corrente oposta por ter uma temperatura menor de saída do mosto (INCROPERA, 2008).

Figura 19 – Gráfico da média logarítmica das diferenças das temperaturas



Fonte: INCROPERA, 2008.

Devido à perda produtiva definida anteriormente, considera-se que chega ao trocador de calor para resfriamento aproximadamente  $0,5 \text{ m}^3$  do mosto com temperatura de  $97 \text{ }^\circ\text{C}$  (Tabela 2). O líquido refrigerante utilizado é a água derivada de um *chiller*, com a temperatura de  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  e a pressão atmosférica de  $92,7 \text{ kPa}$  (Tabela 2) a água tem o volume específico  $0,001001 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

Para selecionar um trocador de calor que atenda ao projeto, resfriando o mosto a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  em 25 minutos (HUGHES, 2014) é preciso definir a vazão volumétrica e mássica do mosto e da água.

Cálculo da massa ( $m_m$ ), da vazão mássica ( $\dot{m}_m$ ) e da vazão volumétrica ( $\dot{v}_m$ ) do mosto onde:

$V$  = volume

$v$  = volume específico

$t$  = tempo necessário para o resfriamento

$$m_m = \frac{V \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]}{v \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]} \rightarrow \frac{0,5 \left[ \text{m}^3 \right]}{0,001001 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]} \rightarrow m_m = 499,5 \left[ \text{kg} \right] \quad (8)$$

Comentado [VR34]: 0,001001 (??)

Comentado [VR35R34]: Propriedade termodinâmica da água a  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  com a pressão ambiente

Comentado [VR36]: Referência?

Comentado [VR37]: Ajustar os mzinho de mosto

Comentado [VR38]: Símbolo é um V com ponto em cima. encontrar

Comentado [VR39]: 499,5

$$\dot{m}_m = \frac{m_m}{t} = \frac{499,5[kg]}{25 * 60[s]} = 0,333 \left[ \frac{kg}{s} \right] \quad (9)$$

$$\bar{v}_m = \frac{500[L]}{25[min]} = 20 \left[ \frac{L}{min} \right] = 3,33 * 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (10)$$

A vazão volumétrica do mosto que flui pelo trocador de calor é  $3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  (Equação 9) e a vazão mássica do mosto é  $0,333 \text{ kg/s}$ . Para saber a vazão mássica da água gelada necessária para resfriar o mosto que está a temperatura de  $97 \text{ }^\circ\text{C}$ , utiliza-se a equação de transferência de calor de contra fluxo (Figura 19). É desejado que a água na saída do *chiller* esteja a temperatura de  $12^\circ\text{C}$ , que é a temperatura de maturação ideal para a produção da cerveja *Light Lager*, conforme Tabela 1. Na entrada do *chiller* a água está a temperatura ambiente, considerando-se a temperatura de  $25,7 \text{ }^\circ\text{C}$  (Tabela 2). Ainda, o calor específico do mosto é  $3852 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$  (MACAGNAN, 2015).

Cálculo da taxa de transferência de calor a ser retirado do mosto ( $q_{\text{mosto}}$ ) e vazão mássica de água ( $\bar{v}_a$ ) na entrada do *chiller*, onde:

$\bar{v}_m$  = vazão mássica do mosto

$cp_m$  = calor específico do mosto

$\Delta T_{\text{mosto}}$  = diferencial de temperatura do mosto na entrada e saída do trocador de calor.

$q_{\text{água}}$  = taxa de transferência de calor a ser absorvido pela água

$cp_a$  = calor específico da água

$\Delta T_{\text{água}}$  = diferencial de temperatura da água na entrada e saída do *chiller*

$$q_{\text{mosto}} = \bar{v}_m * cp_m * (\Delta T_{\text{mosto}}) \quad (11)$$

$$q_{\text{mosto}} = 0,333 \left[ \frac{kg}{s} \right] * 3852 \left[ \frac{J}{kg * K} \right] * (97 - 20) [K] = 98769 [W]$$

$$q_{\text{mosto}} = - q_{\text{água}} \quad (12)$$

$$q_{\text{água}} = \bar{v}_a * cp_a * (T_{\text{saída,água}} - T_{\text{entrada,água}})$$

$$98.769 [W] = \bar{v}_a * 4184 \left[ \frac{J}{kg * K} \right] * (25,7 - 12) [K]$$

Comentado [VR40]: 0,333

Comentado [VR41]: Diminuir para 3 casas

Comentado [VR42]: Colocar a referencia Macagnan,2015 – parte do livro esta em <http://www.professor.unisinos.br/mhmac/Refrigeracao/>

Comentado [VR43]: Colocar ponto em cima e ajustar os símbolos dos outros parâmetros

Comentado [VR44]: O mosto pode ter seu cp aproximado como o da água? Encontrar uma referência

Comentado [VR45]: Ajustar deltaT x T-T Pq 97-20? É a água na entrada do chiller ou na entrada do trocador?

Comentado [VR46R45]: Diferente as duas fórmulas

Comentado [VR47]: Outra equação a partir daqui

Comentado [VR48R47]: Não deve escrever na descrição que considera isso?

Comentado [VR49]:  $26-12 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T$  entrada da água

$$\bar{u}_a = 1,723 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

Com a vazão mássica do mosto (0,333 kg/s) e a vazão mássica da água (1,723 kg/s), de acordo com o catálogo da Bermo (ANEXO A), o trocador de calor GP04 é adequado, já que suporta uma vazão mássica de até 4,45 kg/s, a depender da quantidade de placas. Desta forma, após a definição do modelo do equipamento, é necessário determinar a quantidade de placas que será instalada. Muitas variáveis influenciam na transferência térmica entre os fluídos, por isso, a empresa Bermo possui um *software* de simulação que facilita esta etapa. A simulação (ANEXO B) utiliza os dados de vazão mássica da água de 1,723 kg/s e do mosto 0,333 kg/s, com a determinação da necessidade de 14 placas.

Para obtenção da água resfriada, considerando que a quantidade de calor a ser retirado do mosto é 98.769 W, de acordo com o catálogo (ANEXO C) o *chiller* com condensação a água modelo RSXW 30 da Refrisystem, com capacidade de 105610 W, atende à demanda.

Ainda, o mosto possui material particulado, o que é prejudicial para o trocador de calor. A solução para este problema é instalar um filtro em Y de aço inox na entrada do trocador.

### 4.3 Tanque de fermentação

Atendendo às necessidades de controle de temperatura e prevenção de contaminações, para a capacidade produtiva de 500 L por dia, o modelo escolhido é o ENV TFM-500L-AR, de acordo com o catálogo da Envasare (ANEXO D), com capacidade total de 600 L e capacidade útil de 500L.

Para atendimento a demanda de oxigenação do mosto é instalado um compressor eletromagnético na tubulação entre o trocador de calor e o tanque de fermentação. Este tipo de equipamento é ideal para uso em aplicações que requerem a injeção de ar com qualidade superior aos compressores comuns. Isto é possível pois sua estrutura possui tecnologia que não requer qualquer lubrificação. Para maximizar a área de contato com o líquido, utiliza-se uma pedra difusora que produz bolhas. Para evitar contaminação é recomendado o uso de um filtro bacteriológico entre a pedra difusora e a bomba.

Os tanques de fermentação correspondem a grande parte do investimento,

**Comentado [VR50]:** define o pq da quantidade de tanques?  
Define o pq de não fabricar os tanques igual está fabricando as painelas.

sendo o segundo valor unitário mais alto da planta com valores entre R\$ 7.000,00 e R\$ 15.000,00 para capacidades entre 100 L e 500 L. Com isto, frequentemente se torna fator limitante e determinante da capacidade produtiva das microcervejarias, que podem até iniciar com apenas um tanque e aguardar a rentabilização para expandir a capacidade. Para atendimento à demanda produtiva de 500 L diariamente, considera-se a utilização de um tanque de fermentação por dia, totalizando 20 tanques.

#### 4.4 Câmara fria

Visando garantir o atendimento à demanda de estoque da cerveja em barris, o dimensionamento da câmara fria leva em consideração aspectos dimensionais e térmicos referentes a sua construção, incluindo o cálculo da carga térmica total e consequente adequação do isolamento (COSTA, 1982).

##### 4.4.1 Dimensões

Iniciando pela caracterização do material a ser armazenado, são utilizados barris com capacidades de 20 L e 50 L. Suas dimensões estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Dimensões dos barris

Capacidade (m <sup>3</sup> )	Diâmetro (m)	Altura (m)	Peso bruto (Kg)
0,02	0,27	0,5	5,5
0,05	0,408	0,54	15,7

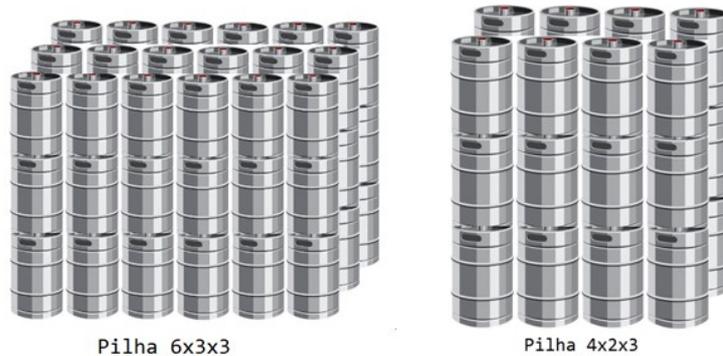
Fonte: AGAVIC, 2018.

Para armazenamento de 10000 L, são utilizados 200 barris de 20 litros, totalizando 4000 L em 4 pilhas de 6x3x3 barris, cada uma medindo 1,62 m x 0,8 m x 1,5 m (LxAxP); e 120 barris de 50 L, totalizando 6000 L, em 5 pilhas de 4x2x3 barris, cada uma medindo 1,63 m x 0,82 m x 1,62 m (LxAxP), conforme representação esquemática mostrada na Figura 21. Visando a limpeza do ambiente, são utilizados paletes de metal para acomodação dos barris, evitando focos de sujeiras e acúmulo de água.

Comentado [VR51]: Rever! Muito complexo tb.. não consegui evoluir

Comentado [VR52]: Ajustar na ref, já coloquei lá -> não sei se precisa dizer isso. =x tava na revisão bibliográfica mas a gnt não falou de dimensionamento nos outros equipamentos.. então não sei. =x=x=x=x

Figura 20 – Representação esquemática das pilhas de barris



Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Para comportar as pilhas conforme descrito e para melhor refrigeração, as dimensões da câmara fria apresentadas na planta baixa (APÊNDICE B) são 4,86 m x 6,17 m com altura de 2,70 m.

#### 4.4.2 Isolante

O dimensionamento do isolante e da carga térmica considera a microcervejaria localizada na cidade de São Paulo e com insolação no Leste. A área (A) de instalação é de 83,53 m<sup>2</sup> de painéis de alumínio nas quatro paredes da câmara fria e no teto. O material isolante é o poliuretano expandido, sendo sua espessura ( $l_{\text{isolante}}$ ) 0,1 m e a condutividade térmica ( $k_{\text{isolante}}$ ) 0,02 kcal/h.m.°C (COSTA, 1982). São consideradas as cargas térmicas do produto estocado e do teto, que é ventilado. São desprezadas as cargas térmicas de pessoas, devido à baixa frequência de circulação, e a condução do piso.

Cálculo do fluxo térmico ( $q$ ) e da taxa de transferência de calor ( $Q$ ) do isolante, onde:

$U$  = coeficiente global de transferência de calor

$\alpha_{\text{externa}}$  = coeficiente de transferência de calor por convecção externa

$\alpha_{\text{interna}}$  = coeficiente de transferência de calor por convecção interna

$l_{\text{alvenaria}}$  = espessura da alvenaria

$k_{\text{alvenaria}}$  = condutividade térmica da alvenaria

$\Delta T$  = diferencial de temperatura entre o exterior e o interior da câmara

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_{externa}} + \frac{l_{alvenaria}}{k_{alvenaria}} + \frac{l_{isolante}}{k_{isolante}} + \frac{1}{\alpha_{interno}} \quad (13)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{7} + \frac{0,10}{0,02} + \frac{1}{7} = \frac{37}{7}$$

$$U = 0,189 \left[ \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \right] = 0,220 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$q = U * \Delta T = 0,22 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] * (26[^\circ C] - 3[^\circ C]) = 5,06 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (14)$$

$$Q = q * A = 5,06 \left[ \frac{W}{m^2} \right] * 83,53[m^2] = 422,66[W] \quad (15)$$

Devido ao fluxo térmico de 5,06 W/m<sup>2</sup>, o isolamento com espessura de 0,1 m de poliuretano expandido é considerado excelente (VENTURINI, 2005).

#### 4.4.3 Carga térmica

O sistema de refrigeração da câmara fria é composto por um evaporador e uma unidade condensadora. Para a escolha destes equipamentos é necessário o cálculo da carga térmica por insolação e condução, por infiltração de ar, da cerveja, do barril e do motor do ventilador. As demais cargas são desprezadas.

A temperatura interna desejada é de 3°C, que é a menor temperatura de armazenamento dentre os tipos considerados (Tabela 1), e a temperatura média máxima, externa à câmara, é de 26 °C (Tabela 2), portanto, tem um diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ) de 23°C. A produção diária estabelecida é de 500 L (0,5 m<sup>3</sup>/dia) de cerveja, sendo o calor específico ( $cp_{cerveja}$ ) 3849 J/kg.°C (MACAGNAN, 2015) e a massa específica ( $\rho_{cerveja}$ ) 1020 kg/m<sup>3</sup>.

Cálculo da carga térmica da cerveja ( $Q_{cerveja}$ ), onde:

m = massa de cerveja

$$\rho_{cerveja} = \frac{m}{V} \rightarrow m = 1020 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 0,5 \left[ \frac{m^3}{dia} \right] = 510 \left[ \frac{kg}{dia} \right] \quad (16)$$

$$Q_{cerveja} = mc * cp_{cerveja} * \Delta T \quad (17)$$

$$Q_{cerveja} = 510 \left[ \frac{kg}{dia} \right] * 3849 \left[ \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right] * 23[^\circ C] = 522,61 [W]$$

Comentado [VR53]: Tipo o que?

Comentado [VR54]: Colocar a referencia Macagnan,2015 – parte do livro esta em <http://www.professor.unisinos.br/mhmac/Refrigeracao/>

Para o cálculo da carga térmica dos barris de alumínio, o calor específico do alumínio ( $cp_{\text{alumínio}}$ ) é de 896 J/kg°C (MACAGNAN, 2015), e o diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ) é o mesmo da cerveja, 23°C. Considera-se que para o envase de 500 L, são necessários 25 barris de 20 L ou 10 barris de 50 L, obtendo a massa de alumínio em cada caso (Tabela 5). Para os cálculos utiliza-se a massa total de alumínio maior (barril de 50 L), para considerar a maior carga térmica.

Tabela 5 – Relação da quantidade de barris com a massa de Al

Capacidade (L)	Peso bruto (kg)	Quantidade	Massa de Al (kg)
20	5,5	25	137,5
50	15,7	10	157

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Cálculo da carga térmica do barril ( $Q_{\text{barril}}$ ), onde:

$m$  = massa de alumínio

$$Q_{\text{barril}} = m * cp_{\text{alumínio}} * \Delta T \quad (18)$$

$$Q_{\text{barril}} = 157 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \right] * 896 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right] * 23 [^\circ\text{C}] = 3235 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{dia}} \right] = 37,44 [W]$$

O evaporador possui um ventilador, e a atividade deste ventilador dentro da câmara fria demanda carga térmica.

Cálculo da carga térmica do motor do ventilador ( $Q_{\text{mot}}$ ), considerando um motor de 0,5 cv de potência ( $P_{\text{mot}}$ ) com eficiência ( $\eta_{\text{mot}}$ ) de 70% (VENTURINI, 2005):

$$Q_{\text{mot}} = P_{\text{mot}} * 632 * \frac{24 [h]}{\eta_{\text{mot}}} \quad (19)$$

$$Q_{\text{mot}} = 0,5 [cv] * 632 * \frac{24 [h]}{0,70} = 10834 \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{dia}} \right] = 524 [W] \quad (20)$$

Cada vez que a porta da câmara fria é aberta, uma determinada quantidade de ar quente externo entra, precisando ser resfriado, por isso calcula-se a carga térmica devido à infiltração de ar externo. Considerando que o volume da câmara fria ( $V$ ) é 80,96 m<sup>3</sup>, o número de trocas de ar por dia definido pelo fator de troca de ar (FTA) é 10. Enquanto que, para as condições de temperatura média máxima e umidade

Comentado [VR55]: Colocar a referencia Macagnan,2015 – parte do livro esta em <http://www.professor.unisinos.br/mhmac/Refrigeracao/>

Comentado [VR56]: Numo da equação

Comentado [VR57]: Que numero é este?

relativa em São Paulo (Tabela 2) o calor cedido pelo ar externo ao entrar na câmara fria ( $\Delta H$ ) é 17,72 kcal/m<sup>3</sup> (VENTURINI, 2005).

Cálculo da carga térmica por infiltração de ar ( $Q_{inf}$ ):

$$Q_{inf} = V * FTA * \Delta H \quad (21)$$

$$Q_{inf} = 80 \text{ [m}^3] * 10 \left[ \frac{\text{Trocas}}{\text{dia}} \right] * 17,72 \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \right] = 14.176 \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{dia}} \right] = 0,686 \text{ [W]}$$

A carga térmica por condução é consequência do diferencial entre a temperatura externa e interna, além da condutividade térmica dos elementos estruturais da câmara fria, e da área das superfícies expostas ao diferencial de temperaturas. Considerando a planta baixa da microcervejaria (APÊNDICE A) existe uma parede que sofre influência da radiação solar direta, e a variação de temperatura devido a insolação a cor clara ( $\Delta T_i$ ) é de 2 °C (VENTURINI, 2005). A temperatura esperada dentro da câmara fria ( $T_{cf}$ ) é 3 °C, como já dito, e a temperatura – bulbo seco ( $T_b$ ) é 20,1 °C (Tabela 2).

Cálculo da carga térmica por insolação e condução ( $Q_{ins+con}$ ) em regime permanente, onde:

U = coeficiente global de transferência de calor

A = área das paredes

$$Q_{ins+con} = U * A * ((T_b + \Delta T_i) - T_{cf}) * 24[h] \quad (22)$$

$$Q_{ins+con} = 0,220 \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{h.m}^2} \right] * (4,86[m] * 2,25[m] * (20,1[^\circ\text{C}] + 2[^\circ\text{C}] - 3[^\circ\text{C}]) + 4,86[m] * 2,25[m] * (20,1[^\circ\text{C}] - 3[^\circ\text{C}]) + 2 * 6,17[m] * 2,25[m] * (20,1[^\circ\text{C}] - 3[^\circ\text{C}]) + 6,17[m] * 4,86[m] * (20,1[^\circ\text{C}] - 3[^\circ\text{C}])) * 24[h]$$

$$Q = 0,3630 * 1383 * 24 = 7304 \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{dia}} \right] = 354 \text{ [W]}$$

Com todas as variáveis disponíveis, conclui-se com o cálculo da carga térmica total ( $Q_{total}$ ):

$$Q_{total} = Q_{cerveja} + Q_{barrit} + Q_{mot} + Q_{ins+con} + Q_{inf} \quad (23)$$

$$Q_{total} = 522,61 \text{ [W]} + 37,44 \text{ [W]} + 354 \text{ [W]} + 524 \text{ [W]} + 0,686 \text{ [W]} = 1438,74 \text{ [W]}$$

Comentado [VR58]: O que é 24?

Comentado [VR59]: Vc usou unidades só na metade da fórmula

Comentado [VR60R59]: Num to entendendo que tanto de numero é esse.. não são 2 paredes? Completar o texto ali em cima

Como a carga térmica total da câmara fria é 1438,74 W, torna-se adequado utilizar o evaporador RTC-38H3 do catálogo da Refrio (ANEXO E), que suporta até 1600 W, em conjunto com a unidade condensadora T/SUM 0051 D do catálogo da Elgin (ANEXO F), que fica fora da câmara fria que atende a câmara fria dimensionada, podendo chegar a capacidade frigorífica de 1692 kcal/h, equivalente a 1968 W.

Comentado [VR61]: Tindi nada

#### 4.5 Caldeira

Nas microcervejarias, normalmente, o espaço disponível é um fator limitante. Por isso, para escolha do tipo de caldeira privilegia-se o uso de um combustível com menor necessidade de espaço e manutenção facilitada do ambiente de armazenamento, como o Gás Natural (GN). Outro fator considerado é o econômico, com impactos diretos e indiretos. O impacto direto se dá pois o GN tem custo mais baixo quando comparado ao GLP, por exemplo. Já os impactos econômicos indiretos são verificados pelo fato de o GN não requerer gastos com transporte (considerando regiões com rede municipal), e por não liberar borra relacionada a elementos como o enxofre, aumentando a vida útil de equipamentos.

Considerando a quantidade de calor necessária para alimentação do sistema de 117737 W e o gás natural como combustível, o modelo CVS HP 200 do catálogo da Arauterm (ANEXO G) atende à demanda, com uma capacidade térmica de 128000 kcal/h, equivalente a 148864 W.

Comentado [VR62]: Tá certo isso?

#### 4.6 Limpeza e sanitização

Na microcervejaria, a limpeza é realizada entre as bateladas de produção com a passagem das soluções em todos os equipamentos do fluxo produtivo, controlando apenas a passagem pelos tanques de fermentação por meio das válvulas de acesso a cada um.

Para a operacionalização do processo pelo método *Clean in Place* utiliza-se o sistema Tetra Pak® CIP Unidade P, ilustrado na Figura 14, com capacidade de  $1,66 \cdot 10^{-3}$  a  $6,94 \cdot 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s, suficiente para atender a demanda do projeto.

Essa é uma solução econômica graças aos recursos que permitem um uso eficaz de água e detergente, e por depender de pouco tempo, aumentando o tempo de disponibilidade da planta para produção. Além de que quando comparada às demais encontradas no mercado, como a central CIP da TFT ou os tanques para limpeza CIP da Tekmilk, este oferece desempenho superior.

Comentado [VR63]: Está na revisão bibliográfica?

#### 4.7 Planta baixa da microcervejaria

De acordo com as Instruções Normativas 5/2000 e 72/2018 é necessário a separação por divisórias do local de fabricação e a existência de um local seguro para o armazenamento da matéria-prima, evitando contaminação. Para isto, foi projetada a sala de estoque de grãos, que é arejada e isolada da sala de brassagem e de moagem. Ainda, deve haver um sentido único de circulação dos produtos na planta, evidenciando uma linha de produção com início no estoque de grãos e finalização na câmara fria, com vestiário e banheiro separados da área fabril (MAPA, 2019).

Para evitar focos de contaminação e facilitar a limpeza do local o projeto prevê abaulamento evitando cantos entre paredes perpendiculares e um sistema de captação de líquidos na área fabril. Ainda, as portas, escadas, piso e janelas são de metal, que não absorve resíduos.

Destaca-se ainda a necessidade de um ambiente arejado exclusivo para a caldeira com distância de 3 metros das paredes (ENIT, 2018), e a identificação das tubulações utilizadas. Com base na NBR 6493 (ABNT, 2018), as cores na planta são utilizadas da seguinte forma:

- a) gás (GN): amarelo;
- b) vapor saturado: branco, (apresentado em rosa na planta para melhor visualização);
- c) água de retorno da caldeira: branco e azul, (apresentado em azul na planta)
- d) mosto: marrom;
- e) água do *chiller*: verde.

A planta baixa da microcervejaria pode ser visualizada no APÊNDICE A.

#### 4.8 Investimento inicial estimado

O investimento a ser realizado em uma microcervejaria varia de acordo com o modelo de negócio idealizado pelo empreendedor, a quantidade e a variedade de cerveja a ser produzida, e o quanto de dinheiro e esforço pretende-se despende para iniciar o negócio. Como demonstrado neste projeto, além dos equipamentos, é necessária atenção ao definir o local onde pretende instalar-se, devido a fatores como a qualidade da água, necessidades estruturais, e características ambientais que influenciam no processo, além das exigências documentais e procedimentais do MAPA.

A Tabela 7 indica uma relação entre os equipamentos definidos neste projeto, a quantidade estimada para atender a demanda trabalhada, e o preço unitário verificado no mercado entre janeiro e abril de 2019.

Tabela 6 – Estimativa de investimento inicial				
Etapa	Equipamento / material	Valor unitário	Quantidade prevista	Totais
Aquecimento de água	Caldeira Arauterm CVS HP 200	R\$ 25.000,00	1	R\$ 25.000,00
	Chapa de aço inox AISI 304	R\$ 752,00	2	R\$ 1.504,00
	Soldagem	R\$ 300,80	1	R\$ 300,80
	Poliuretano líquido expansível	R\$ 1.314,80	0,353	R\$ 464,12
	Serpentina	R\$ 200,00	1	R\$ 200,00
Total / etapa				R\$ 27.468,92
Brassagem	Chapa de aço inox AISI 304	R\$ 752,00	2	R\$ 1.504,00
	Soldagem	R\$ 300,80	1	R\$ 300,80
	Poliuretano líquido expansível	R\$ 1.314,80	0,353	R\$ 464,12
	Agitador	R\$ 4.000,00	1	R\$ 4.000,00
	Chapa perfurada aço inox AISI 304	R\$ 209,00	1	R\$ 209,00
Total / etapa				R\$ 6.477,92
Clarificação	Chapa de aço inox AISI 304	R\$ 752,00	2	R\$ 1.504,00
	Soldagem	R\$ 300,80	1	R\$ 300,80
	Poliuretano líquido expansível	R\$ 1.314,80	0,353	R\$ 464,12
	Chapa perfurada aço inox AISI 304	R\$ 209,00	1	R\$ 209,00
	Bomba de recirculação	R\$ 394,00	1	R\$ 394,00
Total / etapa				R\$ 2.477,92
Fervura	Chapa de aço inox AISI 304	R\$ 752,00	2	R\$ 1.504,00
	Soldagem	R\$ 300,80	1	R\$ 300,80
	Poliuretano líquido expansível	R\$ 1.314,80	0,353	R\$ 464,12
	Bomba de recirculação	R\$ 394,00	1	R\$ 394,00
Total / etapa				R\$ 2.662,92
Fermentação	Tanque Envasare ENV TFM-500L-AR	R\$ 14.100,00	20	R\$ 282.000,00
Resfriamento	Trocador de calor por placas Bermo GP04	R\$ 4.458,00	1	R\$ 4.458,00
	Chiller Refrisystem RSXW 30	R\$ 6.780,00	1	R\$ 6.780,00
	Filtro Y tela inox	R\$ 34,00	1	R\$ 34,00
	Compressor	R\$ 385,00	1	R\$ 385,00
	Total / etapa			
Limpeza e sanitização	Tetra Pak CIP unidade P	R\$ 45.360,00	1	R\$ 45.360,00
	Placas de isolante poliuretano rígido	R\$ 14,38	83,53	R\$ 1.201,16
	Evaporador Refrio RTC-38H3	R\$ 1.130,00	1	R\$ 1.130,00
	Unidade condensadora Elgin T/SUM 0051 D	R\$ 970,00	1	R\$ 970,00
	Barril de 20 L	R\$ 550,00	200	R\$ 110.000,00
Barril de 50 L	R\$ 600,00	120	R\$ 72.000,00	
Total / etapa				R\$ 185.301,16
Total Geral				R\$ 563.405,86

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

## 5 CONCLUSÃO

Para desenvolver o projeto de uma microcervejaria, torna-se necessário aprofundar no conhecimento de como funciona todo o processo de fabricação. Um bom planejamento é essencial, para tanto faz-se necessário projetar a linha de produção detalhadamente, determinando os equipamentos a serem utilizados e estimando o capital inicial a ser gasto.

Este projeto dimensiona uma microcervejaria de caráter intermediário entre o modo artesão de fazer a cerveja e uma planta industrial, possibilitando manter os principais diferenciais da artesanal garantindo o escalonamento.

Dimensionar os equipamentos demanda conhecimento técnico em transferência de calor, que é a base deste trabalho. Não é abordada a concepção de alguns equipamentos mais complexos, assim como das estruturas acessórias, privilegiando o uso de catálogos de referência no mercado. Com isso, outros trabalhos podem surgir a partir deste, podendo gerar melhorias, expansão e automatização.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 6493 **Emprego de cores para identificação de tubulações industriais. Associação Brasileira de Normas Técnicas.** Rio de Janeiro, 2018.  
Aecweb. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/prod/cls/anuncios/pes\\_26154/polycalha-den252-1-gran.jpg](https://www.aecweb.com.br/prod/cls/anuncios/pes_26154/polycalha-den252-1-gran.jpg)>. Acesso em: 21 de janeiro de 2019.
- ABRALIMP. **Saiba como funciona a limpeza profissional de cervejarias e vinícolas.** 2018. Disponível em: <<http://www.abralimp.org.br/arquivo/111220181638201.pdf>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2019.
- Agavic. Disponível em: <<http://www.agavic.com.br/conteudo/barril-de-chopp-inox.html>>. Acesso em: 12 de abril de 2019.
- AQUARONE, E.; LIMA, U. A.; BORZANI, W. **Biotechnologia:** Alimentos e bebidas produzidos por fermentação. São Paulo: Edgard Blucher, 1983. v. 5.
- AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. **Biotechnologia Industrial:** Biotechnologia na Produção de Alimentos. São Paulo: Blucher, 2001. v. 4.
- BERMO. **Trocadores de calor a placas.** 2016. Disponível em: <<http://www.bermo.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Cat%C3%A1logo-de-Trocadores-de-Calor-a-Placas-Gaxetado-BERMO.pdf?x88542>>. Acesso em: 7 de março de 2018.
- Bombetec. Disponível em: <<http://catalogo.bombetec.com.br/item/agitadores-misturadores-bmix/agitadores-misturadores-bmix-2/10--bmix-dr>> Acesso em: 07 de março de 2018.
- BRASIL. Brasil é o terceiro no ranking mundial de produção de cerveja. **Governo do Brasil.** 23/12/2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/08/brasil-e-o-terceiro-no-ranking-de-producao-mundial-de-cerveja>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2018.
- CERVISIAM. **Guia American Blonde Ale.** Disponível em: <[https://www.acervapetropolis.com.br/download/Blond\\_Ale.pdf](https://www.acervapetropolis.com.br/download/Blond_Ale.pdf)>. Acesso em: 5 de março de 2018.
- Cocinista. Disponível em: <<https://www.cocinista.es/download/bancorecursos/ingredientes/lupulo-2.jpg>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2019.
- Concerveja. Disponível em: <<https://concerveja.com.br/recirculacao/>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2019.
- COSTA, E.C. **Refrigeração.** São Paulo: Edgard Blucher, 1982.
- Czech. Disponível em: <<http://www.ceskeminipivovary.cz/wp-content/uploads/2017/01/CCTM-B1-005-1000x500-1.jpg>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2019.
- ENIT. SST - NR – Português. 2018. Escola Nacional da Inspeção do Trabalho: Secretaria de Inspeção do Trabalho. Disponível em: <<https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normatizacao/sst-nr-portugues?view=default>>. Acesso em: 11 de abril de 2019.
- HUGHES, G. **Cerveja feita em casa.** 1 ed. São Paulo: Publifolha, 2014.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT; BERGMAN, T. L.; D. P.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- INMET. Normais climatológicas do Brasil. 2018. **Instituto Nacional de Meteorologia.**

Disponível em:  
 <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 11 de abril de 2019.

Inox Equipamentos. Disponível em: <<https://www.inoxequipamentos.com.br/sobre-1-c13e1>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2019.

MACAGNAN, M. H. **Princípios Básicos de Refrigeração**. São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2015.

MAPA. Legislação: Bebidas. 2019. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2019. Disponível em:  
 <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/bebidas>>. Acesso em: 12 de abril de 2019.

MF rural. Disponível em: <[https://imagens.mfrural.com.br/mfrural-produtos-us/271316-272922-1439552-caldeira\\_p.jpg](https://imagens.mfrural.com.br/mfrural-produtos-us/271316-272922-1439552-caldeira_p.jpg)>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2018.

MORADO, R. **Larousse de cerveja**. São Paulo: Lafonte, 2009.

O clube da cerveja. Disponível em:  
 <<http://www.oclubedacerveja.com.br/2017/07/07/do-grao-de-cereal-ao-malte/>>  
 Acesso em: 21 de janeiro de 2019.

Multifuros. Disponível em: <<https://www.multifuros.com.br/chapas-perfuradas-furos-redondos/>>. Acesso em 15 de abril de 2019.

PALMER, J. J. **How to Brew**: everything you need to know to brew beer right the first time 3 ed. Brews Publication, 2006.

Plastecnica. Disponível em:  
 <<http://www.plastecnicaltda.com.br/imagens/informacoes/unidade-agua-gelada-chiller-07.jpg>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2018.

Primo cervejeiro. Disponível em: <<https://www.primocervejeiro.com.br/chuveiro>>. Acesso em: 15 de abril de 2019.

REINOLD, M. **O mercado brasileiro cervejeiro atual. Indústria de Bebidas**. Santo André, n. 57/2011. Disponível em: <<https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/dados-estatisticos/581-o-mercado-cervejeiro-brasileiro-atual-%E2%80%93-potencial-de-crecimento.html>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2018.

SARAVACOS, G. D.; Kostaropoulos, A. E. **Handbook of Food Processing Equipment**. 1 ed. Kluwer Academic/Plenum, 2002.

SEBRAE. **Ideias de Negócio: Microcervejaria**. Disponível em:  
 <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-microcervejaria,8f387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 5 de março de 2018.

Sempre natural. Disponível em:  
 <[www.semprenatural.com.br/media/catalog/product/cache/1/small\\_image/250x/17f82f742ffe127f42dca9de82fb58b1/b/e/beneficios-da-levedura-de-cerveja-para-a-saude-1.jpeg](http://www.semprenatural.com.br/media/catalog/product/cache/1/small_image/250x/17f82f742ffe127f42dca9de82fb58b1/b/e/beneficios-da-levedura-de-cerveja-para-a-saude-1.jpeg)>. Acesso em: 21 de janeiro de 2019.

SILVA, A. C.; AVANZI, C. **Mecânica: tecnologia dos materiais e industrial**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011. v. 2.

SILVA, J. E. M. **Por que utilizar o poliuretano no isolamento térmico**. In: Painel Isolamento térmico 9 ed. 2015, São Paulo. Disponível em:  
 <[http://tecnologiademateriais.com.br/mt/2015/cobertura\\_paineis/isolamento/apresentacoes/mcassab.pdf](http://tecnologiademateriais.com.br/mt/2015/cobertura_paineis/isolamento/apresentacoes/mcassab.pdf)>. Acesso em: 11 de abril de 2019.

SINNOT. **Chemical Engineering Design**: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design. 2 ed. Elsevier, 2012.

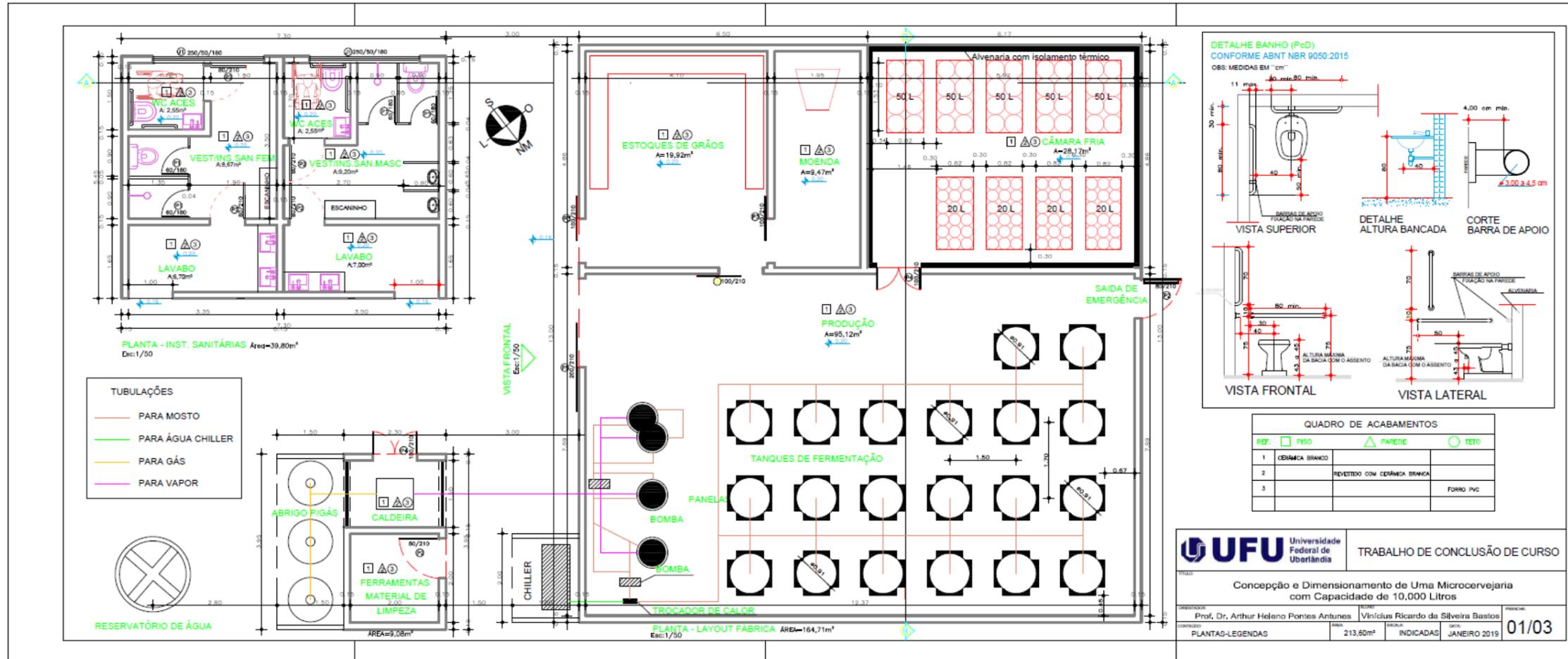
TETRA PAK. **Tetra Pak® CIP unit P**: Smart CIP safety. 2014. Disponível em:  
 <<https://assets.tetrapak.com/static/documents/processing/cip-unit-p-pd10334.pdf>>

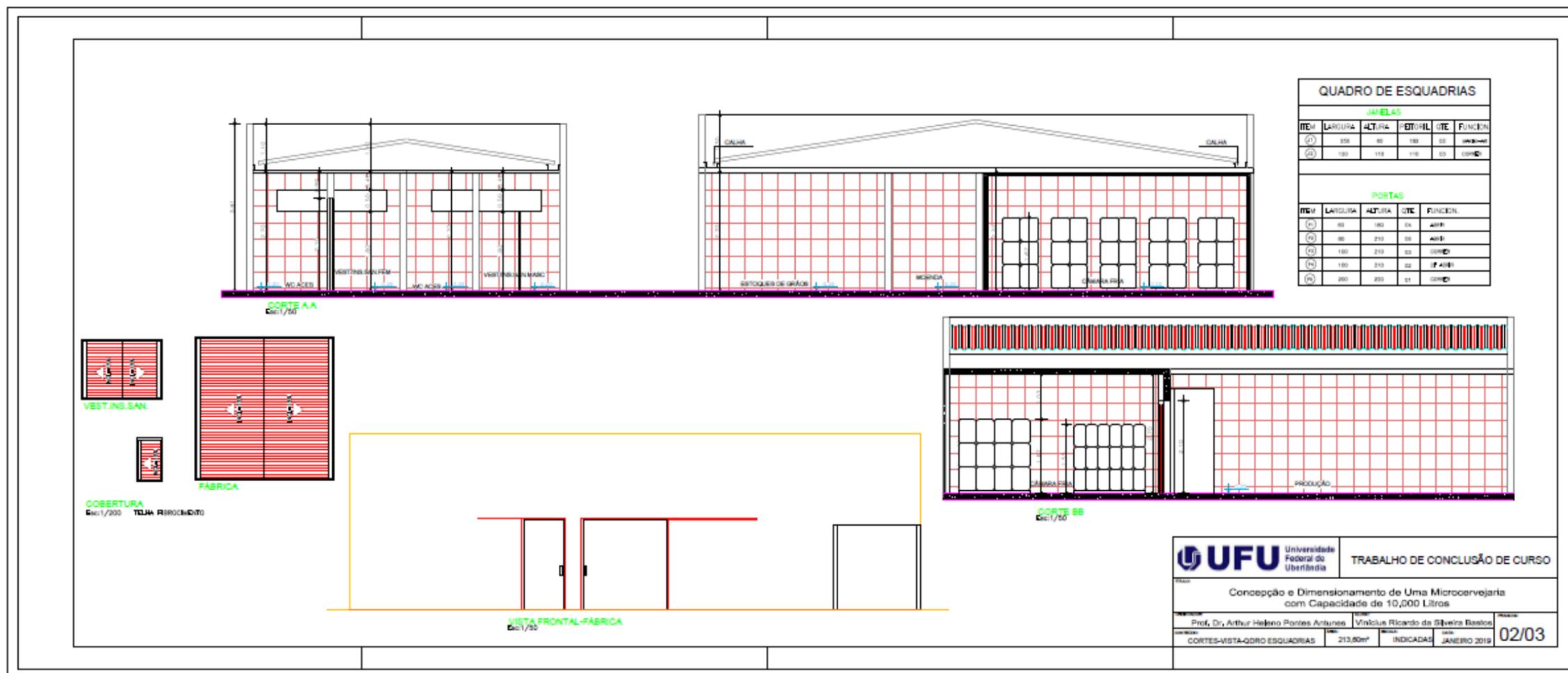
Acesso em: 24 de fevereiro de 2018.

Tonish. Disponível em: <<https://www.tonish.com.br/imagens/informacoes/camara-frigorifica-congelamento-05.jpg>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2018.

VENTURINI, O. J. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

APÊNDICE A – Planta Baixa Microcervejaria





**UFU** Universidade Federal de Uberlândia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

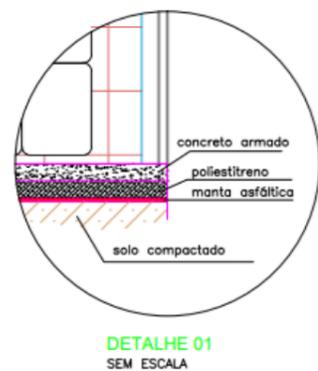
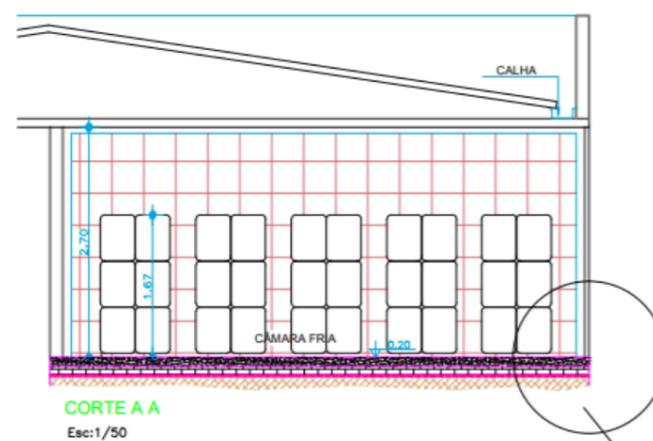
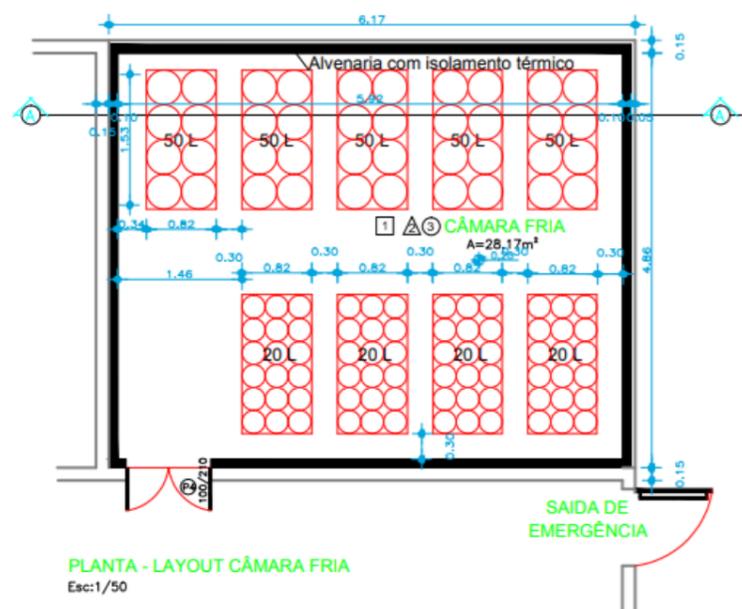
Concepção e Dimensionamento de Uma Microcervejaria com Capacidade de 10,000 Litros

Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes    Vinícius Ricardo da Silveira Bastos

CORTES-VISTA-QDR ESQUADRIAS    213,60m<sup>2</sup>    INDICADAS    02/03

02/03

APÊNDICE B – Planta baixa câmara fria

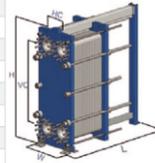


ISOLAMENTO TÉRMICO	
PISO	Para as dimensões do piso deve consultar um engenheiro calculista
ALVENARIA	Revestimento com argamassa (areia, cimento e aditivo impermeabilizante) e tinta hidrorrepelente
LAJE	Mesmo procedimento da alvenaria
Obs:	O isolamento térmico da laje e alvenaria será fixado na montagem da câmara fria

Universidade Federal de Uberlândia		TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
TÍTULO: Concepção e Dimensionamento de Uma Microcervejaria com Capacidade de 10.000 Litros			
ORIENTADOR: Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes	ALUNO: Vinícius Ricardo da Silveira Bastos	PRIMEIRA:	
CONTEÚDO: DETALHE CÂMARA FRIA	ÁREA: 213,60m <sup>2</sup>	ESCALA: INDICADAS	DATA: JANEIRO 2019
			03/03

### ANEXO A – Catálogo do Trocador de Calor (Bermo)

Modelo	GP04	GP10	GP20	GP40
Similar	VT04	VT10	VT20	VT40
Altura, H [mm]	667	920	1200	1570
Largura, W [mm]	182	285	410	520
Comprimento Mín. Padrão, L [mm]	330	600	600	600
Comprimento Máx. Padrão, L [mm]	700	1600	2000	2200
Distância porta Vertical, VC [mm]	482	682	870	1227
Distância porta Horizontal, HC [mm]	61	118	212	257
Temperature Máx. (°C)	180	180	180	180
Pressão Máx. (barg)	25	16	18	16
Conexão	DN32/DN38	DN50	DN80/DN65	DN100
Taxa de Vazão Máx. (kg/s)	4,45	11,12	27,8	53,1



## ANEXO B – Simulação do trocador de calor de placas

Bermo Plate Heat Exchanger:		GP04 CDS-S-16		Amount: 1			
Plate type:	GP04 PH K 1.4401 0.6 NBR KLEBER GEKLEBT						
Frame type	GP04 CDS-S-16 1.4541 SOLID						
Number of plates (unit / total):	14	14	Heat transfer area (unit / total):	0,55	0,55 m <sup>2</sup>		
Number frames serial.:	1		Number frames parallel:	1			
Mix-Theta-Config.:			Number section/frame:	1			
Number of Mix-Theta-Gaps (H,V):	0	0	Number of plates (H,V):	0	0		
Package length max.:	42		Package length min.:	41	mm		
max. package length frame:	55		max. package length bolts:	56	mm		
Frame extension (percent/abs.):	31,0 / 4		Bolt extension (percent/abs.):	33,3 / 4	% / -		
max. total weight:	50		Weight empty:	49	kg		
Design temperature min:	-15,00	-15,00	Design temperature max:	119,00	119,00 °C		
Design pressure min:	0,00	0,00	Design pressure max:	8,00	8,00 barg		
Test pressure:		10,40		10,40	barg		
Design code:	PED 97/23/EC AD-2000 Checkfactor 1.3						
Heat capacity (spec/real):	87,32	93,89			kW		
Surface margin (spec/real/corr):	0,0	27,7	27,7		%		
OHTC (req/clean/corr):	4483	5724	5724		W/m <sup>2</sup> K		
Fouling (spec/real/corr):	0	48	48		m <sup>2</sup> K/W E-6		
LMTD (spec/real):	35,29	29,72			K		
Epsilon:	1,00				-		
<b>Media:</b>	Mosto Cervejeiro		Agua Industrial				
Mass flow:	0,333		1,723		kg/s		
Temperature (spec):	95,00	26,00	12,00	23,43	°C		
Temperature (real):		20,80		24,29	°C		
Operation pressure:	4,00	3,94	4,00	2,87	barg		
Pressure drop (spec):	1,20		1,20		bar		
Pressure drop (real):	0,06		1,13		bar		
Pressure drop (corr):	0,06		1,13		bar		
Filling volume:	0,00072		0,00084		m <sup>3</sup>		
Number of path / section:	1		1				
Number of gaps / path:	6		7				
Density:	1020,50	1034,96	999,92	996,76	kg/m <sup>3</sup>		
Heat capacity:	3977,72	3911,00	4197,39	4176,92	J/kgK		
Heat conductivity:	0,65164	0,57685	0,58547	0,60704	W/mK		
Dynamic viscosity:	0,539	1,443	1,241	0,926	cP		
Velocity connection:	0,34	0,34	2,01	2,02	m/s		
Velocity distributor:	0,39	0,38	2,27	2,28	m/s		
Velocity gap in:	0,48		2,40		m/s		
Velocity gap (wave field):	0,21		1,06		m/s		
Pressure drop distributor:	0,00	0,00	0,04	0,04	bar		
Pressure drop gap:	0,05		1,04		bar		
HTC (alpha-value) / Reynoldszahl:	9638	1387,34	32306	4855,26	W/m <sup>2</sup> K / -		
NTU / Tau:	2,50	14	0,41	283	- / Pa		
Pos	Size	Connection type		Media	In	Out	Add. conn.
1F	DN38	SMS None AISI316L DN38 0,073		Wort	x	-	-
2F	DN38	SMS None AISI316L DN38 0,148		Agua Industrial	-	x	-
3F	DN38	SMS None AISI316L DN38 0,148		Agua Industrial	x	-	-
4F	DN38	SMS None AISI316L DN38 0,073		Wort	-	x	-
Index heat transfer (pri):	1		Index heat transfer (sec):	51			
Activated knack:	x		Activated Mix-Theta:	-			
Temperature effect:	1		Heat flow direction:	x			
Change of side:	-		Flow type	2			
			Product properties iteration:	1			

### ANEXO C – Catálogo do *chiller* com condensação a água (Refrsystem)

Chiller RefriSystem com Condensação a Água Modelo	Capacidade * (TR)	Capacidade * (kW)
RSXW 30	30	105,61
RSXW 40	40	140,81
RSXW 50	50	176,02
RSXW 60	60	211,22
RSXW 70	70	246,43
RSXW 80	80	281,63
RSXW 90	90	316,83
RSXW 100	100	352,04
RSXW 120	120	422,44
RSXW 150	150	528,064
RSXW 200	200	704,07
RSXW 250	250	880,09
Chiller RefriSystem com Condensação a Água Modelo	Capacidade * (TR)	Capacidade * (kW)

### ANEXO D – Catálogo do tanque de fermentação (Envasare)

Modelo	Cap. Útil e Total	Fixação porta	Potência	Diâmetro (pés)
ENV TFM-250L-AR	250L / 300L	Superior	1/2 HP	3"
ENV TFM-300L-AR	300L / 360L	Superior	1/2 HP	3"
ENV TFM-500L-AR	500L / 600L	Superior	1/2 HP	3"
ENV TFM-700L-AR	700L / 850L	Costado	3/4 HP	4"
ENV TFM-1000L-AR	1000L / 1200L	Costado	1.1/4 HP	4"
ENV TFM-2000L-AR	2000L / 2400L	Costado	1.1/4 HP	4"

### ANEXO E – Catálogo do evaporador (Refrío)

RTC										
Distância entre aletas Fin spacing / Passo aleta 3,5 mm	MODELO	MODEL	MODELO		26H3	38H3	53H3	75H3	80H3	113H3
	Capacidade	Capacity	Capacidad	Kcal/h	1 118	1 376	2 236	2 752	3 440	4 123
				kW	1.30	1.60	2.60	3.20	4.00	4.80
	Vazão de ar	Air flow	Flujo de aire	m³/h	750	850	1 500	1 300	2 250	1 950
	Flecha de ar	Air throw	Flecha de aire	m	8.0	7.0	9.0	8.0	11.0	10.0
	Área de troca	Exchange area	Área de intercambio	m²	7.33	11.00	14.66	22.00	21.99	33.00
Peso líquido	Net weight	Peso neto	kg	15.8	17.9	25.1	27.9	35.4	40.3	

## ANEXO F – Catálogo da unidade condensadora (Elgin)

### CAPACIDADE FRIGORÍFICA REFRIGERATING CAPACITY CAPACIDAD FRIGORÍFICA

Aplicação: Média temperatura de evaporação (-15°C a 0°C)  
Application: Medium evaporating temperature (-15°C to 0°C)  
Aplicación: Media temperatura de evaporación (-15°C a 0°C)

60 Hz

MBP	Modelo Model Modelo	Tensão Voltage Voltaje [V]	Ref. Com. Comm. Ref. Ref. Com. [HP]	Capacidade Frigorífica [Kcal/h] / Temperatura de Evaporação [°C] Refrigerating Capacity [Kcal/h] / Evaporating Temperature [°C] Capacidad Frigorífica [Kcal/h] / Temperatura de Evaporación [°C]					Desloc. Displac. Desplaz [cc/rev]	Corrente Current Corriente [A]	Consumo Input Consumo [W] Tev=-6.7°C
				-15°C	-10°C	-6.7°C	-5°C	0°C			

R-134a

POLIOL ESTER ISO-32	UCM 0013 D	127	1/6	196	242	302	332	425	6,82	3,8	306
	UCM 0013 E	220								1,9	
	UCM 0015 D	127	1/5	242	339	367	409	520	7,32	4,0	376
	UCM 0015 E	220								2,0	
	UCM 0020 D	127	1/3	335	407	472	503	636	8,43	4,5	386
	UCM 0020 E	220								2,4	
	UCM 0030 D	127	1/2	426	572	648	717	891	11,65	6,3	490
	UCM 0030 E	220								3,2	
	UCM 0035 D	127	1/2+	642	820	914	1.002	1.198	15,72	8,0	640
	UCM 0035 E	220								4,0	
	T/SUM 0040 E	220	7/8	662	855	1.001	1.039	1.276	17,52	4,5	720
	T/SUM 0051 D	127	1	912	1.119	1.301	1.406	1.692	20,66	9,2	880
	T/SUM 0051 E	220								4,6	
T/SUM 0061 E	220	1.1/4	976	1.208	1.332	1.427	1.821	23,2	4,8	930	

## ANEXO G – Catálogo da caldeira (Arauterm)

Modelo CVS HP	Cap. Térmica kcal/h x 1000	Prod. Vapor		Consumo Máximo				Dimensões				Peso Vazia kg
		Prod. Vapor Água a 20° (kg/h)	Prod. Vapor Água a 80° (kg/h)	Óleo BPF kg/h	Óleo Diesel kg/h	Gás GLP kg/h	Gás Natural m³/h	Comp. Total mm	Largura Total mm	Altura Total mm	Ø Chaminé mm	
100	64	100	110	7,5	7,1	6,3	8,4	1.450	1.400	1.250	190	600
150	96	150	165	11,3	10,7	9,5	12,7	1.600	1.500	1.300	190	700
200	128	200	220	15,0	14,2	12,6	16,8	1.760	1.550	1.350	190	900
300	192	300	330	22,6	21,4	19,0	25,4	2.100	1.600	1.400	190	1.100
400	256	400	440	30,0	28,4	25,2	33,6	2.360	1.750	1.500	240	1.300
500	320	500	550	37,8	35,6	31,9	42,3	2.550	1.850	1.600	240	1.500