

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ANÁLISE E SELEÇÃO DE SOLUÇÃO PARA
PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL**

Por,

Raul Figueiredo Pazetto

Brasília, 11 de julho de 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ANÁLISE E SELEÇÃO DE SOLUÇÃO PARA
PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL**

Por,
Raul Figueiredo Pazetto

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico

Banca Examinadora

Prof. Thiago Doca (Orientador) _____

Prof. Grace Ghesti (Co-Orientadora) _____

Prof. Adriano Possebon Rosa _____

Brasília 11 de julho de 2018

Resumo

No começo do ano 2018 existem 679 cervejarias legalmente instaladas, no Brasil, sendo mais de 80% desses estabelecimentos localizados nas regiões sul e sudeste; havendo, assim, grande oportunidade de crescimento para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Esse projeto analisa por meio de revisão bibliográfica, pesquisa exploratória e pesquisa descritiva o orçamento do fornecedor Serra Inox para uma fábrica com sala de brassagem de 500L para a instalação em Planaltina-DF. São indentificados os parâmetros mais pertinentes da solução, além de métodos de otimização e melhoria de performance.

É feito um estudo de viabilidade econômica e técnica. A conclusão é que a proposta carece de equipamentos essenciais para o funcionamento e manutenção da fábrica, sendo necessária a adição do Tanque de CIP e caldeira de vapor. A proposta também possui unidade de refrigeração subdimensionada que não comporta a expansão para 10.000L.

Economicamente, a cervejaria se torna viável em com capacidade de 4.000L a um preço de R\$14,20 por litro para uma taxa de retorno de 10%. O investimento inicial é de aproximadamente R\$800.000,00 para equipamentos, obras civis e abertura da empresa.

O layout desenvolvido apresenta boa utilização do espaço, fluxo de trabalho linear, com área de trabalho suficiente, de acordo com a legislação do MAPA Ministério da Agricultura (2000).

Palavras chave: **indústria alimentícia, cervejaria, pesquisa exploratória**

Abstract

In the beginning of 2018, in Brazil, there were 679 breweries legally installed, 80% of those plants are established in the south and southeast regions; thus, there is a great growth opportunity for the North, Northeast and Center-West regions.

This project employs a literature review, exploratory research and descriptive research to analyze the quotation of the supplier Serra Inox for a factory with a 500L brewhouse for installation in Planaltina-DF. The most relevant parameters of the solution are outlined, as well as methods of optimization and performance improvement.

Economic and technical feasibility studies are presented. The conclusion is that the quotation lacks essential equipment for the operation and maintenance of the factory and it is necessary the addition of a CIP Tank and a steam boiler. Also, the chiller was undersized and does not have the capacity for 10,000L.

Economically, the brewery becomes viable with a capacity of 4,000L at a price of \$ 14.20 per liter for a 10 % rate of return. The initial investment is approximately R\$ 800,000.00 for equipment, civil works and company opening.

The developed layout presents good use of space, linear workflow, with sufficient working area, according to the legislation of MAPA Ministério da Agricultura (2000)

keywords: **food industry, brewery, beer**

Sumário

	1 INTRODUÇÃO	1
1.1	MOTIVAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.3	EXTRUTURA TEXTUAL	3
	2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	4
2.1	CONTROLE DE QUALIDADE	4
2.2	PRODUÇÃO DO MOSTO	5
2.2.1	Moagem do Malte	6
2.2.2	Mostura	7
2.2.3	Clarificação	9
2.2.4	Cozimento	10
2.2.5	Resfriamento do Mosto	12
2.2.6	Tanque de Água Quente	14
2.3	PRODUÇÃO DE CERVEJA	14
2.4	LEGISLAÇÃO CORRENTE	19
2.5	SUBSISTEMAS MECÂNICOS E DETALHES DE FABRICAÇÃO	20
2.5.1	Cilindros de pressão	21
2.5.2	Camisas térmicas	22
2.6	ISOLAMENTO E SISTEMAS TÉRMICOS	22
2.6.1	Aquecimento a vapor	27
2.6.2	Sistemas de resfriamento	28
2.7	DIMENSIONAMENTO DOS AGITADORES	28
2.7.1	Controle dos motores dos agitadores	30
2.8	TUBULAÇÕES E ACESSÓRIOS	31
2.8.1	Sistema de Transferência de Mosto	31
2.8.2	Sistema de Aquecimento a Vapor	32
2.8.3	Sistema de Resfriamento a Glicol	32
2.8.4	Perdas de Carga	32
2.8.5	Análise do sistema de sanitização	34

2.8.6	Acessórios	34
2.8.7	Bombas	35
2.9	UTILIZAÇÃO DE ÁGUA	35
	3 MÉTODO E RESULTADOS	37
3.1	PESQUISA EXPLORATÓRIA	37
3.2	ESTUDO DE CASO	39
3.2.1	Moinho elétrico	39
3.2.2	Sala de fabricação tribloco 500L ECO	40
3.2.3	Tanques de fermentação e maturação	42
3.2.4	Unidade de Refrigeração	43
3.2.5	Envase em barril	43
3.2.6	Bomba CIP	44
3.2.7	Tubulações de vapor	45
3.2.8	Envase de garrafa	45
3.3	CÁLCULOS	46
3.3.1	Tubulações	46
3.3.1.1	Condições dos Fluidos nas Tubulações	46
3.3.1.2	Material das Tubulações	47
3.3.1.3	Diâmetro das Tubulações	48
3.3.2	Isolamentos térmicos	49
3.3.2.1	Isolamento das tinas e tubulação quente	49
3.3.2.2	Isolamento dos tanques e tubulação refrigerante	51
3.3.3	Sistemas de aquecimento e resfriamento	52
3.3.3.1	Aquecedores a vapor	52
3.3.3.2	Resfriadores a etileno glicol	53
3.3.4	Perdas de Carga	54
3.3.5	Sistemas mecânicos	55
3.3.5.1	Espessura das tinas	56
3.4	VIABILIDADE ECONÔMICA	57
3.4.1	Potencial local de instalação	57
3.4.2	Receita Bruta	57
3.4.3	Custos Fixos	57
3.4.4	Custos Variáveis	58
3.4.5	Investimentos	58
3.4.6	Despesas Operacionais	59
3.4.7	Impostos	59
3.4.8	Análise do volume de produção	59
3.4.9	Análise econômica	59
3.5	LAYOUT DA FÁBRICA	62
3.5.1	Almoxarifado e Sala de Moagem	63

3.5.2	Área de Produção de Mosto	63
3.5.3	Área de Alocamento e Eliminação de Resíduos	64
3.5.4	Área de Fermentação e Maturação	64
3.5.5	Área de Sanitização e Envase	64
3.5.6	Área de Alocamento de Barris e Expedição	64
3.5.7	Banheiro	65
3.5.8	Área da Câmara Fria	65
3.5.9	Tubulações	65
	4 DISCUSSÃO	68
4.1	IMPORTÂNCIA DE UMA PLANTA PILOTO	68
4.2	VIABILIDADE TÉCNICA	68
4.2.1	Moinho de Malte	68
4.2.2	Sala de Fabricação	69
4.2.3	Volume dos Tanques de Fermentação e Maturação	71
4.2.4	Sistema de Aquecimento	71
4.2.5	Linha de Envase	73
4.2.6	Sistema de Resfriamento	73
4.3	ANÁLISE DA PROPOSTA	74
4.3.1	Análise SWOT	74
4.3.1.1	Pontos Fortes	74
4.3.1.2	Pontos Fracos	75
4.3.1.3	Oportunidades	75
4.3.1.4	Ameças	75
4.4	EQUIPAMENTOS MÍNIMOS	76
	5 CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICES	80
	APÊNDICE A – NORMAS CONSOLIDADAS	81
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DAS VISITA TÉCNICAS	83
	APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DAS VISITAS TÉCNICAS	86
C.1	Dois Corvos - Lisboa - PT	86
C.2	JinBeer - Vicente Pires - DF	91
C.3	Cruls - Santa Maria - DF	96
C.4	Máfia Beer - São Sebastião - DF	100
C.5	Stadt - Luziânia - GO	107

APÊNDICE D – ORÇAMENTO	112
----------------------------------	-----

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Número de cervejarias no Brasil no período de 2002-2017. (MÜ; MARCUSSO, 2018)	1
Figura 2.1 – Esquema de aplicação de Válvulas de Limpeza (KUNZE; MANGER, 1999) a) Design incorreto e propício a pontos de contaminação; b) Design desejável e favorável a sanitização.	5
Figura 2.2 – Tempos necessário para a parte quente da produção de cerveja.	6
Figura 2.3 – Exemplo de rampas de aquecimento no processo de infusão única (KUNZE; MANGER, 1999).	7
Figura 2.4 – Dependência da atividade enzimática do tempo (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado)	8
Figura 2.5 – Esquema de Agitador da Tina de Mostura (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado)	9
Figura 2.6 – Esquema de Agitador da Tina de Clarificação (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado) em que 1 é o Eixo Rotativo; 2 é Braço Rotativo e 3 são Facas	10
Figura 2.7 – Mudanças na concentração de açúcares durante a brassagem (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado) em que 1 é o Mosto Primário; 2 é o Mosto não Fervido; 3 é o Mosto pós Fervura; 4 é a Mosto Final (após resfriamento) e 5 é o Mosto Final Desejado (pode ter de 0,1 a 0,3% de diferença)	11
Figura 2.8 – Esquema do Trocador de Calor de Placa de 1 Estágio (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado) em que 1 é Tanque de Água Fria; 2 é a Bomba e 3 é o trocador de calor de placas de 1 estágio.	13
Figura 2.9 – Esquema do Trocador de Calor de Placa de 1 Estágio (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado) em que 1 é Tanque de Água Fria; 2 é a Bomba; 3 é o segundo estágio da troca de calor e 4 é o primeiro estágio da troca de calor.	13
Figura 2.10 – Exemplos de canais semi-circulares (KUNZE; MANGER, 1999) em que 1 são perfis utilizados antigamente (com maior quantidade de Nh_3) e 2 são os novos perfis.	17

Figura 2.11–Exemplo da superfície para camisas de resfriamento com canais verticais (KUNZE; MANGER, 1999).	17
Figura 2.12–Esquema do Sistema de Resfriamento utilizando trocador externo (KUNZE; MANGER, 1999) em que 1 é tubulação de saída; 2 é a Bomba; 3 é o trocador de calor de placas; 4 é a tubulação de retorno.	18
Figura 2.13–Esquema do acionamento das camisas térmicas e correntes de convecção geradas no CCV(KUNZE; MANGER, 1999) em que a) demonstra o processo de fermentação e b) o processo de maturação.	18
Figura 2.14–Esquema de um cilindro sujeito a pressão interna e externa (BUDYNAS; NISBETT et al., 2008).	21
Figura 2.15–Fator de correção F para casco de um passe e tubos de múltiplos de 2 passes (CENGEL, 2014).	27
Figura 2.16–Dimensões da Tina e do Agitador.	29
Figura 3.1 – Dimensões do Moinho de 150kg/h. (SERRAINOX, 2018) (Adaptado) .	40
Figura 3.2 – Dimensões da Sala de Fabricação Tribloco 500L ECO. (SERRAINOX, 2018) (Adaptado)	41
Figura 3.3 – Dimensões dos Tanques de Fermentação e Maturação de 500, 1.000 e 2.000L (SERRAINOX, 2018) (Adaptado)	43
Figura 3.4 – Dimensões da Lavadora de Barris. (SERRAINOX, 2018) (Adaptado) .	44
Figura 3.5 – Dimensões da Bomba CIP. (SERRAINOX, 2018) (Adaptado)	45
Figura 3.6 – Linha de transferência de Mosto.	48
Figura 3.7 – Custo da Perda de Calor das Tinas da Sala de Brassagem por metro de isolamento.	50
Figura 3.8 – Custo da Perda de Calor das Tubulações de Vapor por metro de isolamento.	50
Figura 3.9 – Custo da Perda de Calor dos Tanques de Fermentação e Maturação por metro de isolamento.	51
Figura 3.10–Custo da Perda de Calor das Tubulações de Refrigerante por metro de isolamento.	52
Figura 3.11–Lucro por ano para cervejarias com sala de brassagem distintas.	60
Figura 3.12–Variação da TIR com o preço de venda da cerveja.	61
Figura 3.13–Variação do fluxo de caixa anual com o preço de venda da cerveja e quantidade de tanques.	61
Figura 3.14–Variação da TIR com o preço de venda da cerveja e quantidade de tanques.	62
Figura 3.15–Layout e fluxograma da cervejaria.	63
Figura 3.16–Layout da tubulação de refrigerante.	65
Figura 3.17–Layout da tubulação de retorno do refrigerante.	66
Figura 3.18–Layout da linha de vapor e condensado.	66
Figura 3.19–Layout da linha de cerveja.	67
Figura C.1–Esquema da Cervejaria Dois Corvos.	89

Figura C.2–Fluxograma da Cervejaria Dois Corvos em que as linhas representam: em azul a água; em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; e em preto o produto final devidamente envasado.	90
Figura C.3–Esquema da Cervejaria JinBeer.	95
Figura C.4–Fluxograma da Cervejaria JinBeer em que as linhas representam: em azul a água; em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; e em preto o produto final devidamente envasado.	96
Figura C.5–Esquema da Cervejaria Cruls.	99
Figura C.6–Fluxograma da Cervejaria Cruls em que as linhas representam: em azul a água (sendo quão mais claro, menor a temperatura da linha); em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; em vermelho a linha de vapor; e em preto o produto final devidamente envasado.	100
Figura C.7–Esquema da Cervejaria Máfia.	105
Figura C.8–Fluxograma da Cervejaria Máfia em que as linhas representam: em azul a água; em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; e em preto o produto final devidamente envasado.	106
Figura C.9–Esquema da Cervejaria Stadt.	110
Figura C.10–Fluxograma da Cervejaria Stadt em que as linhas representam: em azul a água; em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; em vermelho água quente; e em preto o produto final devidamente envasado.	111

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Comparação entre trocador de placas de 1 e 2 estágios	13
Tabela 2.2 – Comparação entre resfriamento por evaporação direta e indireta	16
Tabela 2.3 – Número de Nusselt para escoamentos laminares desenvolvidos em anéis circulares com uma superfície isolada e uma isotérmica (Kays and Per- kins, 1972) (CENGEL, 2014) (Adaptado).	26
Tabela 2.4 – Valores típicos de K	33
Tabela 2.5 – Volume do tanque de ácido por metro de tubulação e vazão necessária para o CIP (KUNZE; MANGER, 1999).	34
Tabela 2.6 – Quantidade de água utilizada por função para a produção de 1hL de Cerveja.	36
Tabela 3.1 – Principais pontos positivos e negativos das fábricas visitadas	38
Tabela 3.2 – Comparação das Visitas Técnicas.	38
Tabela 3.3 – Condições do fluido em cada trecho da tubulação.	47
Tabela 3.4 – Diâmetros necessários das tubulações de água, mosto e cerveja.	48
Tabela 3.5 – Espessura de Isolamento das Tinas, Tanques e Tubulações.	49
Tabela 3.6 – Necessidade do sistema de resfriamento.	52
Tabela 3.7 – Necessidade do sistema de aquecimento.	53
Tabela 3.8 – Necessidade do sistema de resfriamento.	54
Tabela 3.9 – Assessorios de cada sistema de tubulações.	54
Tabela 3.10–Informações das tubulações.	54
Tabela 3.11–Perdas de Cargas dos Sistemas.	54
Tabela 3.12–Significado de cada fator de penalização.	55
Tabela 3.13–Fatores de penalização.	55
Tabela 3.14–Espessura da base da tina.	56
Tabela 3.15–Tabela comparativa da capacidade de produção anual; investimento inicial; lucro do quarto ano (L4) e payback real em anos.	59
Tabela 4.1 – Matriz do moinho.	69
Tabela 4.2 – Matriz de decisão da configuração da sala de brassagem.	70
Tabela 4.3 – Matriz de decisão do volume dos tanques de fermentação e maturação.	71
Tabela 4.4 – Matriz de decisão da fonte térmica para aquecimento.	72

Tabela 4.5 – Matriz de decisão para os métodos de envase	73
Tabela 4.6 – Equipamentos mínimos necessários para o funcionamento da cervejaria. Os valores marcados com (*) foram retirados de outros orçamentos ou são valores aproximados.	76

1 INTRODUÇÃO

São discutidos neste capítulo o contexto e motivação desse trabalho, assim como os objetivos e a estrutura textual.

1.1 MOTIVAÇÃO

Segundo a [SEBRAE \(2018\)](#) o Brasil produz mais de 14 bilhões de litros de cerveja por ano, sendo o terceiro maior produtor em volume do mundo e com consumo médio de 68 litros por habitante, por ano. A partir de 1993 houve uma lenta expansão das cervejarias artesanais no Brasil. Anos depois, em 2016 o crescimento das cervejas artesanais no Brasil chegou a níveis tão altos que criaram toda uma cultura ao seu redor. Subsequentemente, o número de cervejarias nos últimos anos tem crescido exponencialmente como demonstrado no [Figura 1.1](#):

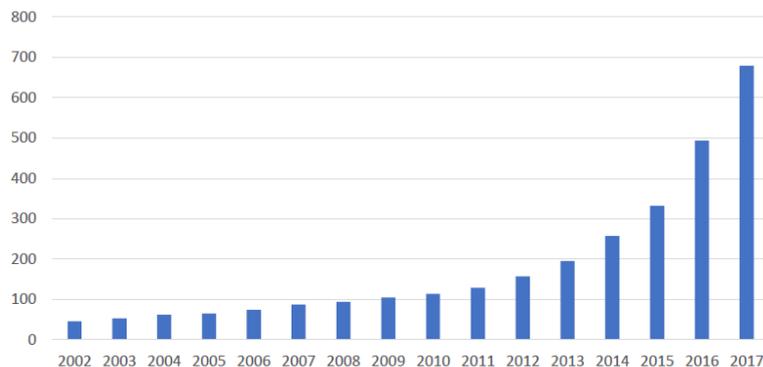


Figura 1.1: Número de cervejarias no Brasil no período de 2002-2017. ([MÜ; MARCUSO, 2018](#))

O lançamento das cervejas belgas Hoeggarden, Leffe e da alemã Franziskaner, no Brasil, pela AmBev em 2007 juntamente com a expansão da Cervejaria Colorado, de Ribeirão Preto, podem ter impulsionado esse fator, sendo que a grande explosão das cervejarias artesanais se dá a partir dos anos 2010.

"O ano de 2017 chega a seu final com a consolidação do crescimento do mercado cervejeiro nacional. Somando-se os registros concedidos neste ano o número total de cerve-

jarías legalmente instaladas no Brasil chegamos ao número de 679 estabelecimentos." (MÜ; MARCUSSO, 2018).

O mercado de cervejas artesanais no Brasil ainda representa menos do que 1% do total da produção nacional, mas tem crescido em uma taxa média de 5% ao ano, entre 2004 e 2014.

Junto com essa expansão da cultura cervejeira também houve uma ampliação dos fornecedores de cervejarias. Nesse contexto, é importante saber que o investimento inicial necessário para abrir uma cervejaria é entorno de R\$1.000.000,00 (1 milhão de reais) e por isso o projeto deve ser bem investigado. Nesse sentido, uma análise tanto da viabilidade técnica como econômica da planta tem papel essencial no sucesso do empreendedor.

Para uma sala de produção de mosto de 5hL o volume máximo de cerveja produzido por mês é de 20.000L. Uma cervejaria desse porte produzirá com seu funcionamento máximo aproximadamente 35.000 garrafas de 500 mL por mês ou 600 barris de chope de 30L. Isso acarreta em uma receita bruta de aproximadamente R\$230.000,00 por mês vendendo a cerveja a R\$12,50 o litro. Por outro lado, os custos fixos, variáveis e impostos serão de aproximadamente R\$130.000,00. Portanto, para esse porte de cervejaria é esperado um lucro máximo de R\$100.000,00 por mês caso a fábrica esteja funcionando no máximo e seus produtos sejam totalmente absorvidos pelo mercado.

A proposta escolhida para análise foi a da empresa Serra Inox, com sala de produção de 500L. Esse volume é desejado pela sua versatilidade de produção como uma planta piloto. O fornecedor selecionado é reconhecido no ramo de equipamentos para cervejaria está ativa desde 2011, sendo o responsável pelo equipamento de diversas cervejarias, inclusive da Cervejaria Cruls (Santa Maria - DF).

1.2 OBJETIVOS

O presente projeto de graduação investiga uma planta da Serra Inox com sala de produção de 500L para a instalação na Chácara Santa Maria, lote 31, Núcleo Rural Rio Preto, Planaltina-DF.

É feito um estudo de caso da viabilidade técnica dessa planta usando como base a pesquisa exploratória realizada nas Cervejarias: Dois Corvos (Lisboa - PT), JinBeer (Vicente Pires - DF), Cruls (Santa Maria - DF), Máfia (São Sebastião - DF), Stadt (Luziânia - GO), Ghesti (Lago Norte - DF) e Duque Brewpub (Lisboa - PT). Assim como análises de Engenharia Mecânica e a pesquisa do livro de [Kunze e Manger \(1999\)](#).

A viabilidade econômica é estudada utilizando o método do Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno, assim como uma análise dos custos e fluxo de caixa nos 5 primeiros anos após sua abertura.

Tem-se como objetivo secundário desenvolver o layout da fábrica, levando em con-

sideração a Instrução Normativa SDA/MAPA N°5, fluxo de trabalho e sanitização.

1.3 EXTRUTURA TEXTUAL

Esse relatório é estruturado em cinco capítulos:

No segundo capítulo é feita uma revisão da legislação vigente, uma análise teórica dos pontos de controle, principais fatores quanto ao design da cervejaria, revisão teórica sobre resistência dos materiais, termodinâmica, tubulações e uma análise das necessidades do sistema de sanitização.

No terceiro capítulo são demonstrados o método e resultados obtidos. Ele contempla a análise exploratório das visitas técnicas, o estudo de caso da planta da Serra Inox de 500L, os cálculos realizados, o levantamento de custos e análise econômica da cervejaria e por fim o layout da fábrica.

No quinto capítulo são discutidos e comparados os parâmetros mais importantes do projeto e feita a análise de viabilidade técnica da porposta.

No sexto capítulo é feita uma conclusão do trabalho desenvolvido, de pontos de reflexão e melhoria para os próximos trabalhos.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

São discutidos neste capítulo a importância do design higiênico para a indústria de alimentos, da função dos equipamentos envolvidos na produção de mosto e cerveja, além das teorias de engenharia envolvidas em seus cálculos.

2.1 CONTROLE DE QUALIDADE

A exigência dos consumidores transformou a busca de qualidade de indústrias de alimentos não só de uma necessidade de segurança, mas em um determinante competitivo no mercado. É necessário que os alimentos produzidos sejam seguros e também possuam gerenciamento de qualidade. Por vezes, em fábricas com problemas de contaminação, é necessário a alteração desde a rotina de limpeza e sanitização, até de edifícios e equipamentos (FIGUEIREDO; NETO, 2001).

A legislação normalmente prevê as boas práticas de produção que são a base para a implementação de técnicas de segurança alimentícia. A garantia de qualidade só pode ser assegurada com uma fábrica estruturada sobre esses princípios (JOUVE, 1998).

Nesse ponto, há diversos fatores críticos de sucesso que devem ser analisados para a implementação desses sistemas. Os fatores primordiais são os fornecedores de matérias-primas, embalagens e maquinários (PINOCHET, 2016).

No caso da cerveja, mesmo ela sendo um produto relativamente seguro, sua contaminação pode causar danos econômicos significativos (MANZANO et al., 2011). A alteração da qualidade dos produtos devido à contaminação deve ser de grande importância para pequenas cervejarias, especialmente aquelas tentando se estabelecer em um mercado competitivo. No estudo de Menz et al. (2010) foi notado que a contaminação de cervejas aparenta estar mais ligada à cervejaria de origem do que a parâmetros de receita.

Os resíduos remanescente em tinas, tanques, válvulas e trocadores de calor podem gerar pontos de contaminação. Essa contaminação pode implicar desde mudanças sutis até defeitos graves no aroma, sabor e fermentação (TURVEY et al., 2017).

Segundo Lelieveld, Holah e Napper (2014) a experiência mostra que a inspeção, teste e validação dos designs são de suma importância para a indústria de alimentos. Equipamentos com projetos inapropriados podem afetar a segurança e qualidade do produto,

por isso, equipamentos em indústrias alimentícias devem possuir design higiênico.

Desse modo os projetos devem ser seguros contra contaminantes externos, evitar pontos de abrigo de micro-organismos, facilidade de limpeza e compatibilidade com a função. Para isso deve-se garantir o fluxo principal para que o produto não seja retido no equipamento. O interior do equipamento deve possuir superfícies lisas, livres de fendas, cantos agudos, saliências e zonas de "sombra", como mostrado na Figura 2.1. Deve ser assegurado pelo projetista a acessibilidade de inspeção ou validação das áreas críticas e priorizar a higiene do que a performance (LELIEVELD; HOLAH; NAPPER, 2014).

A aquisição de equipamento sanitário é economicamente mais viável do que designs não higiênicos. Mesmo possuindo um custo inicial mais alto o equipamento terá maior vida útil e menor tempo de manutenção, visto que a dificuldade de sanitização acarreta em ciclos de limpeza mais frequentes, mais longos e mais agressivos. Isso ocasiona em um maior custo com sanitização, menor disponibilidade de produção, maior desgaste do equipamento e maior geração de efluentes (LELIEVELD; HOLAH; NAPPER, 2014).

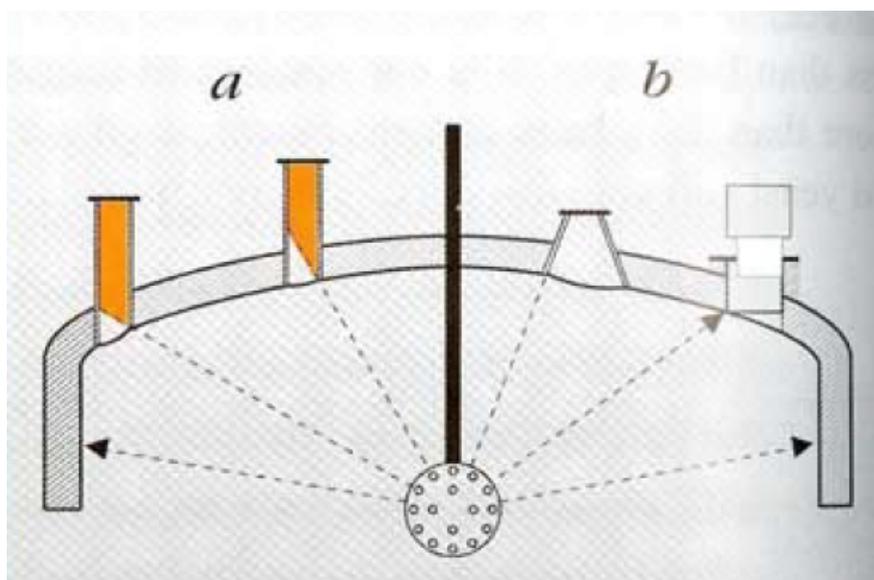


Figura 2.1: Esquema de aplicação de Válvulas de Limpeza (KUNZE; MANGER, 1999) a) Design incorreto e propício a pontos de contaminação; b) Design desejável e favorável a sanitização.

2.2 PRODUÇÃO DO MOSTO

Também segundo Kunze e Manger (1999) a produção do mosto pode ser subdividida em 6 partes:

- Moagem do Malte
- Mostura
- Clarificação

- Fervura
- Whirlpool
- Resfriamento do Mosto

Essa etapa também é referida como parte quente da produção de cerveja. Ela leva em média 6h para seu processo completo. Dependendo do equipamento utilizado na fábrica é possível se fazer processos simultâneos de forma a diminuir o tempo necessário para duas produções subsequentes. Pode-se ganhar até 4 horas por produção dependendo dos equipamentos. Essa relação entre tempo de produção e equipamentos é representado na Figura 2.2. É possível fazer até 3 produções diárias, porém dependendo da configuração da fábrica isso implicaria em questões de funcionamento por mais de 18h por dia.

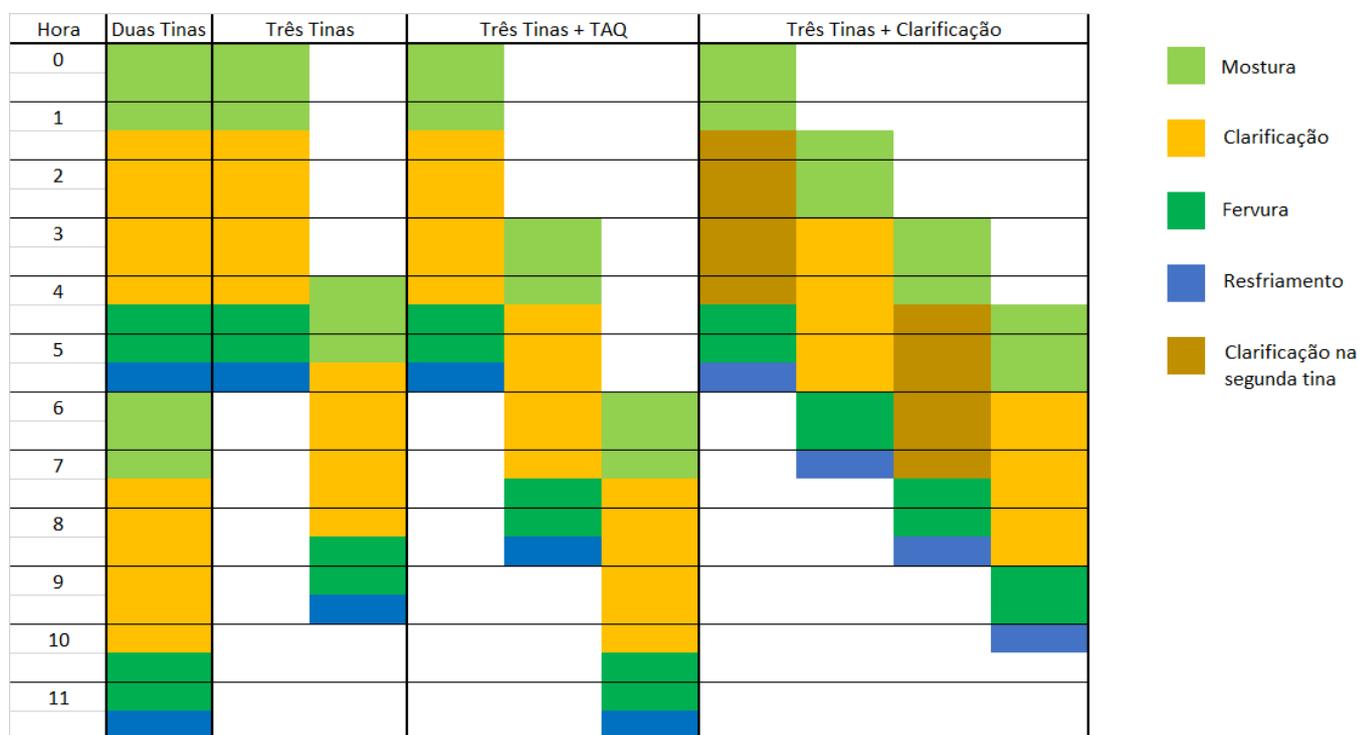


Figura 2.2: Tempos necessário para a parte quente da produção de cerveja.

2.2.1 Moagem do Malte

O malte necessita ser moído mecanicamente para que a parte interna do grão, no qual está presente o amido e enzimas necessários para convertê-lo em açúcar sejam expostos, mas sem danificar a sua casca. Isso se dá pois a produção do mosto ocorre pelo ataque enzimático aos *compostos* presentes dentro da semente, contudo a casca é utilizada como material filtrante durante o processo de clarificação. É desejado que o nível de moagem do grão seja ajustável, visto que esse pode ser um fator variante em cada receita (KUNZE; MANGER, 1999).

Os moinhos convencionais utilizados na moagem a seco são de dois, quatro, cinco ou seis rolos. O aumento na quantidade de rolos permite que a moagem seja feita em etapas diferentes o que permite menor danos as cascas, permitindo uma melhor composição da moagem e aumentando a eficiência. O moedor de dois rolos é suficiente para pequenas cervejarias pelo seu menor custo.

Para a moagem os parâmetros mais importantes são a velocidade de rotação dos rolos, a distância entre rolos, o método de acionamento dos rolos, a capacidade de moagem e custo da moagem. A velocidade de rotação deve ser entre 380 e 440 rpm. A distância entre rolos deve ser ajustado entre 0 e 2,5mm . O acionamento pode ser feito diretamente em cada rolo ou ser acionado indiretamente por engrenagens ou correias conectadas ao primeiro. A capacidade de moagem deve ser tal que o processo demore menos do que 1 hora. O custo de acionamento de um moedor moderno de alta capacidade (14t/h) é entre 2.3 e 2.5 kW (KUNZE; MANGER, 1999).

2.2.2 Mostura

O processo de Mostura consiste na adição de malte à água a um pH, temperatura e concentração de sais controlados de forma a ativar as enzimas presentes no malte e converter as substâncias não-solúveis em solúveis. Esse processo pode ser entendido como a transformação do amido em açúcares e nutrientes necessários para a levedura durante o processo de fermentação (KUNZE; MANGER, 1999).

Um processo de brassagem sem parada proteica é exemplificado na Figura 2.3. O malte é adicionado à água e mantido por volta de 30 minutos a uma temperatura de 62°C. Depois é aquecido até uma 71°C e mantido por 25 minutos. Após a conversão total dos açucares nesse processo a temperatura é elevada entre 76 e 78°C por 10 minutos para cessar as atividades enzimáticas.

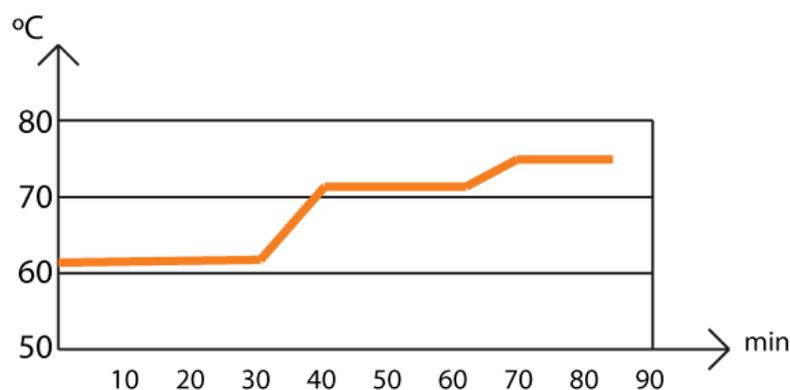


Figura 2.3: Exemplo de rampas de aquecimento no processo de infusão única (KUNZE; MANGER, 1999).

O tempo desse processo, no caso mais comum de Infusão Única (processo em que se adiciona o malte já na temperatura de atividade das α -amilase e β -amilase) dura em torno

de 40 a 80 minutos. Esse tempo e sua dependência com a temperatura são mostrados na Figura 2.4. Do ponto de vista econômico se deseja a maior quantidade e qualidade possível desses componente solúveis, pois uma baixa eficiência de conversão acarretará em uma menor quantidade final de cerveja ou na necessidade de se utilizar mais malte do que o necessário.

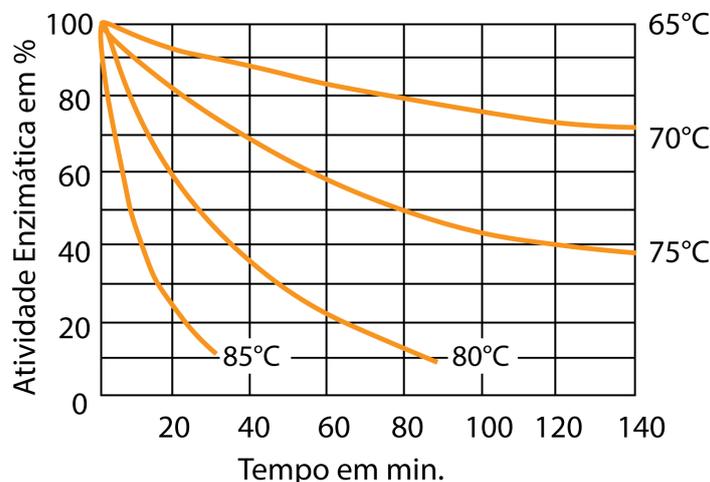


Figura 2.4: Dependência da atividade enzimática do tempo (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado)

Pelas características desse processo é necessário que o equipamento apresente monitoramento e controle de temperatura. Um aquecimento maior que o necessário pode causar uma rápida degradação das enzimas podendo inviabilizar a produção. Além disso, o sistema de aquecimento deve ter alta capacidade inicial, para se chegar à temperatura desejada rapidamente, e capacidade média durante os períodos de descanso e mudança entre rampas.

Durante a mostura é necessário evitar a oxigenação e forças cisalhantes no mosto. Isso pode ser feito bombeando-se pela parte inferior da tina, possuindo tubulação de conexões largas e evitando curvas desnecessárias na tubulação.

Além disso, é importante que haja um agitador. A agitação previne a formação de altos gradientes de temperatura e otimiza a ação da enzimas, pois evita a formação de nódulos de malte e aumenta sua mobilidade evitando pontos escassos. O design (Figura 2.5) e velocidade de operação do agitador (menor que 1m/s na zona periférica) minimizam a adição de oxigênio à cerveja e evitam forças cisalhantes que afetem as cascas do malte (KUNZE; MANGER, 1999).

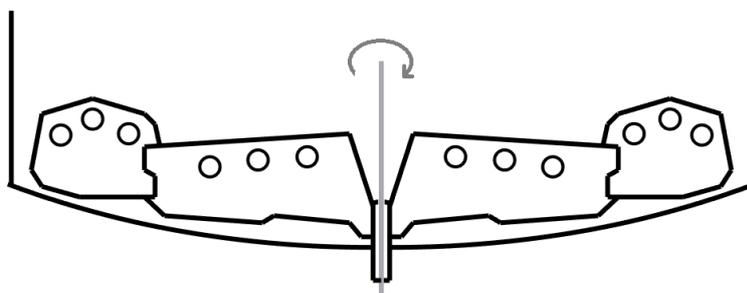


Figura 2.5: Esquema de Agitador da Tina de Mostura (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado)

2.2.3 Clarificação

O processo de clarificação é o processo subsequente à mostura. O mosto e o malte são transferidos para a tina de clarificação no qual utilizará os próprios grãos e um fundo falso como método de filtração. Esse processo consiste na separação entre a solução dissolvida e a parte não solúvel (grãos). Além disso, nessa etapa os grãos serão lavados com água a uma temperatura de 78°C para se aumentar a eficiência de extração. Esse processo também pode ser feito por meio de filtros de mosto utilizando tecido como método de filtração.

Esse processo dura em torno de 3 horas. Por isso, ele normalmente é executado em uma tina especializada, porém pode ser feita na tina de mostura caso ela estiver adaptada. A vantagem de se ter uma tina independente para esse processo é a economia de tempo de produção pela capacidade de se fazer dois processos simultaneamente.

Depois de acomodados o mosto e os grãos na tina, o líquido é re-circulado e checado para que não haja partículas em suspensão. Para isso, é necessário que exista um visor de linha. Em sequência, o líquido proveniente da mosturação (mosto primário) é totalmente drenado, depois a cama de grãos é lavada com água a 78°C para se solubilizar o maior extrato possível, mas sem extrair os taninos presentes na casca do malte. Esse processo também dilui o mosto primário a fim de se chegar na concentração desejada.

Nessa tina, possuir diâmetro maior é vantajoso. Isso porque quanto maior for o diâmetro da tina, menor será altura da cama de grãos, resultando em uma maior área de filtração e uma rápida separação e extração. (STEWART; RUSSELL; ANSTRUTHER, 2017).

Para o design da Tina de Clarificação é necessário que a entrada de mosto seja feita pela parte inferior para se evitar captação de oxigênio. O tempo base para o mosto ser transferido da Tina de Mostura para a Tina de Clarificação é de 10 minutos e sua velocidade de entrada de mosto deve ser menor do que 1m/s .

O fundo falso deve ser feito de ferro-níquel-carbono com área livre de 12% e largura de fenda de 0,7 a 0,9 mm, ou possuir entalhes de 8 a 10% de área livre com fendas de

0,7mm por 80mm. A carga desse fundo falso será 140 a 175 kg/m² para moagem a seco a uma altura de 250mm da cama de grãos ou uma carga de 200 kg/m² para uma altura de 340mm. O fundo falso deve ser fixo a uma altura de 20mm acima da base da tina assegurando o posicionamento de bico de pulverização para facilitar a limpeza debaixo do fundo falso. Deve haver uma saída para drenagem do mosto a cada 1m² (KUNZE; MANGER, 1999).

Essa tina também necessita de um agitador conhecido como afofador de malte, lauter, rake ou descompactador. Esse dispositivo consiste de facas (Figura 2.6) que giram a velocidade e altura controláveis para garantir a uniformidade dos grãos e prevenir a canalização. É desejado que a altura desse agitador é regulada automaticamente. O método de acionamento de rotação desse agitador deve possuir inicialização suave e vedação no eixo.

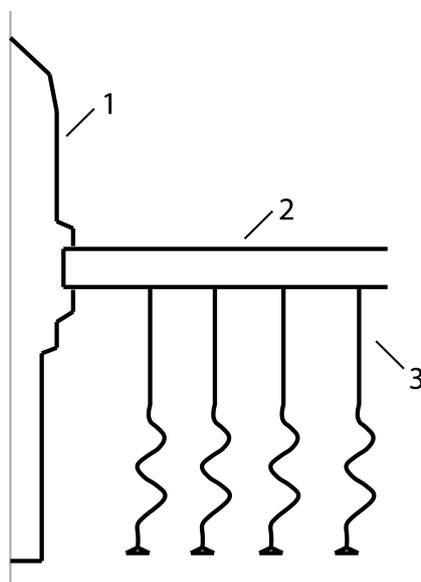


Figura 2.6: Esquema de Agitador da Tina de Clarificação (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado) em que 1 é o Eixo Rotativo; 2 é Braço Rotativo e 3 são Facas

A água para lavagem dos grãos não deve afetar a superfície da cama de grãos. Além disso, é comum um visor de linha no para se averiguar a ausência de grãos durante os períodos de recirculação desse processo.

É importante, também, que haja uma abertura localizada na altura do fundo falso a fim de se remover o bagaço dos grãos após a finalização do processo. Nas cervejarias de grande porte, pela grande massa de grãos utilizada, é necessário o uso de sistemas para facilitar sua retirada. O bagaço do malte, em geral, consiste em 22 kg/hL de cerveja final.

2.2.4 Cozimento

O processo de cozimento consiste na fervura vigorosa do mosto entre 50 e 70 minutos. Durante esse processo serão adicionados também os lúpulos que serão isomerizados,

a partir de 70°C segundo [Hieronymus \(2012\)](#), transferindo seu amargor, sabor e aroma para a cerveja. E por ter uma fervura de longa duração ela também terá o efeito de: esterilizar o mosto, diminuindo a competição da levedura com os micro-organismos presentes no mosto; coagular o excesso de proteínas e taninos; e evaporando componentes voláteis indesejáveis ([STEWART; RUSSELL; ANSTRUTHER, 2017](#)).

Esse processo consiste no equilíbrio entre intensidade e duração, contra taxa de evaporação e gasto energético. As tinas de fervura de boa eficiência são projetadas para ter uma taxa de evaporação de apenas 4%. A fervura aumenta a concentração de açúcares, pois a evaporação acontece na água e substâncias voláteis, mas não nos açúcares dissolvidos. A Figura 2.7 apresenta um exemplo da variação da concentração de açúcar durante a brassagem.

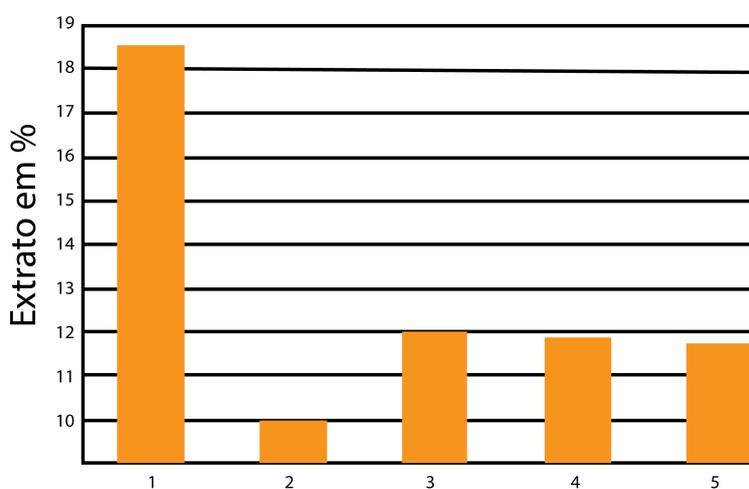


Figura 2.7: Mudanças na concentração de açúcares durante a brassagem ([KUNZE; MANGER, 1999](#)) (Adaptado) em que 1 é o Mosto Primário; 2 é o Mosto não Fervido; 3 é o Mosto pós Fervura; 4 é a Mosto Final (após resfriamento) e 5 é o Mosto Final Desejado (pode ter de 0,1 a 0,3% de diferença)

Outro fator importante durante o Cozimento é a eliminação de componentes voláteis indesejáveis. Por isso, é necessário que essas substâncias não retornem para a tina. No caso da utilização de exaustores ou chaminés, uso muito comum para o bem-estar do cervejeiro, é necessário que eles possuam locais de captação para prevenir o escorrimento caso haja a condensação deles na tubulação.

Para alcançar fervura vigorosa por longos períodos de tempo essa tina deve possuir uma potência de aquecimento (maior gasto energético do processo de brassagem) e design que leve em consideração as correntes convectivas geradas no seu interior. Em geral pode-se ter tinas de alta ou baixa pressão, sendo o aquecimento interno ou externo.

O whirlpool consiste na re-circulação do mosto gerando efeito de vórtice para a decantação de proteínas. Esse efeito é obtido por meio de injeção tangencial dentro da tina que faz com que as partículas suspensas no mosto sejam concentradas no centro da tina. Depois apenas o mosto é drenado por uma saída lateral. Esse processo dura entre 5

e 6 minutos, caso o mosto esteja bem adequado. Para a adequação do mosto é desejado que:

- Evite-se curvas agudas e desnecessárias na tubulação;
- A velocidade de entrada seja menor do que 3,5 m/s;
- O fluxo de entrada tenha uma grande massa;
- Não haja componentes internos que atrapalhem a rotação;
- A razão de aspecto da tina (diâmetro : altura do mosto) seja de 3:1;
- A entrada do mosto re-circulado seja por uma entrada tangencial, localizadas no terço inferior da tina;
- A saída seja localizada na parte mais inferior da lateral da tina.

A grande vantagem de se utilizar o Whirlpool (cuja tradução literal significa redemoinho) é poder integrá-lo facilmente a uma tina de fervura. Em cervejarias de pequeno porte, nas quais o fator limitante para a produção é o escoamento de produtos e o processo de fermentação e maturação, o ganho de tempo de se ter uma tina de Whirlpool não é substancial, já que a liberação da tina de fervura não é justificável para duas ou três produções diárias.

2.2.5 Resfriamento do Mosto

Após a decantação forçada do Whirlpool o mosto ainda precisa ser resfriado à temperatura de atuação da levedura. Isso consiste, basicamente, resfriar o mosto de 100°C a uma temperatura abaixo de 25°C rapidamente. Como o mosto foi esterilizado no processo de Cozimento é importante que ele não entre mais em contato com nenhuma superfície que possa contaminá-lo.

Esse processo normalmente consiste em utilizar um trocador de calor de placas. É necessário que as placas desse trocador sejam facilmente lavadas por meio de CIP (2.8.5) e que possuam boa condutividade térmica. Os esquemas a seguir (Figura 2.8 e 2.9) demonstram as temperaturas de entrada e saída para trocadores de 1 estágio e de 2 estágios respectivamente.

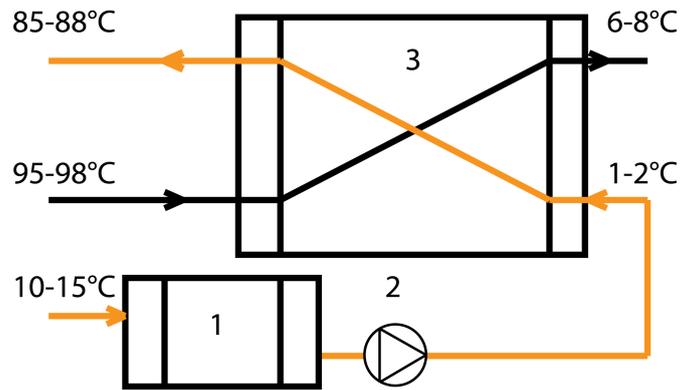


Figura 2.8: Esquema do Trocador de Calor de Placa de 1 Estágio (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado) em que 1 é Tanque de Água Fria; 2 é a Bomba e 3 é o trocador de calor de placas de 1 estágio.

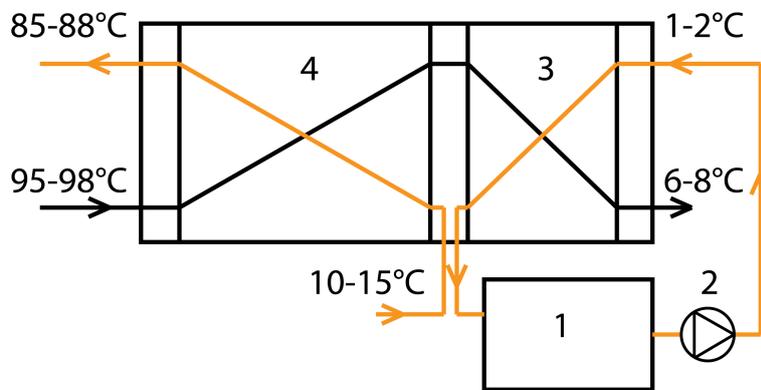


Figura 2.9: Esquema do Trocador de Calor de Placa de 1 Estágio (KUNZE; MANGER, 1999) (Adaptado) em que 1 é Tanque de Água Fria; 2 é a Bomba; 3 é o segundo estágio da troca de calor e 4 é o primeiro estágio da troca de calor.

As vantagens e desvantagens do trocador são explicados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Comparação entre trocador de placas de 1 e 2 estágios

Tipo	1 estágio	2 estágios
Gasto de Água	Toda água aquecida necessita ser reutilizada ou descartada	Parte da água necessita ser reutilizada, porém há uma parte corre em circuito fechado e quase sem perdas
Gasto Energético	Maior	Menor
Custo inicial	Menor	Maior
Construção e Operação	Simples	Complexo

As vantagens de se utilizar o sistema de resfriamento por trocadores de placa são:

- Ocupar pouco chão de fábrica;
- Possuir boa eficiência entre troca de calor e perda de pressão;

- Facilmente de limpeza por meio de CIP (Seção 2.8.5);
- O mosto fica pouco tempo em contato com o trocador;
- Não introduz riscos externos de contaminação.

Além de todas essas vantagens, os trocadores de calor comerciais para cervejarias também possuem um areador de linha que dissolve o oxigênio (proveniente de cilindros de oxigênio hospitalar) no mosto para ser utilizado pela levedura durante a parte aeróbica do processo de fermentação.

2.2.6 Tanque de Água Quente

O tanque de água quente pode ser utilizado como auxiliar na produção. Sua função é armazenar água quente vinda do resfriamento do mosto fervido. Ele deve manter a água a 80°C para a utilização tanto na mostura quanto na lavagem dos grãos. Os tanques de água quente devem possuir bom isolamento térmico e sistema de aquecimento de água.

A utilização do tanque de água quente permite que a lavagem dos grãos seja feita sem a utilização da tina de mostura para o aquecimento, dessa forma outro processo pode ser iniciado na tina de mostura e conseqüentemente, diminui-se o tempo necessário para duas brassagens.

2.3 PRODUÇÃO DE CERVEJA

Para que o mosto se torne cerveja é necessário a fermentação dos açúcares fermentáveis que resultarão, entre outros componentes, em álcool e gás carbônico. No caso de se utilizar leveduras do tipo Ale a fermentação acontece de forma mais rápida e mais exotérmica geralmente entre 18 e 22°C. Em comparação com leveduras de baixa fermentação ela necessita de mais capacidade refrigerativa para se manter a temperatura necessária. O foco de atuação das leveduras ale acontece no terço superior da altura ocupada pelo mosto. O processo de fermentação pode ser interrompido prematuramente para evitar sabores indesejados. Caso a levedura seja floculada por meio da diminuição da temperatura ela também pode ser coletada para utilização em fermentações subsequentes (STEWART; RUSSELL; ANSTRUTHER, 2017).

A levedura deve ser adicionada juntamente com o primeiro mosto. Como o segundo mosto só será adicionado 6 horas depois do primeiro e caso se adicione mais do que 3 mostos pode haver uma estratificação dentro do tanque. Isso se dá pois a levedura começará a fermentar e produzir oxigênio a partir da adição dela, adicionar mais mosto com oxigênio dissolvido pode influenciar a levedura causando uma estratificação pela falta de homogeneidade.

Por isso, o volume dos tanques de fermentação normalmente é o fator limitante para cervejas de pequeno porte. Considerando duas produções diárias e 20 dias úteis por mês com 14 dias de fermentação a produção máxima de uma sala de brassagem são de 10 tanques com o dobro do volume útil de produção por batelada.

Segundo [Kunze e Manger \(1999\)](#), os fatores dos tanques que podem alterar a cerveja final são:

- Temperatura e pressão internos do tanque;
- Movimentação ou não da Cerveja "Verde"(não maturada);
- Geometria do Tanque (altura, diâmetro, volume, tamanho, espaço, headspace, etc.);
- Material e acabamento interno;
- Posição na Fábrica.

Para esse processo são utilizados tanques de fermentação e maturação que podem ou não ser independentes. Eles são conhecidos como Tanques Cilindro-Cônicos ou CCV. Esses tanques são normalmente feitos de Aço Inox 304 ou 316 e necessitam de acabamento interno no mínimo alimentício (média de $Ra < 0,8\mu m$, porém pode ser alcançado $0,25\mu m$ apenas com lixamento). A parte cônica possui $Ra = < 0,25\mu m$ para assegurar a retirada de toda as células de levedura e partículas decantadas.

O tamanhos dos CCV devem seguir os seguintes parâmetros para evitar o estresse da levedura, segundo [Kunze e Manger \(1999\)](#):

- Altura máxima do mosto de 20m;
- Relação diâmetro: altura do mosto deve ser entre 1:1 e 1:5;
- Angulação de cone entre 60° e 75° ;
- O volume do tanque deve receber metade da produção diária;
- *Headspace* (volume superior não utilizado) deve ser entre 17% e 25% do volume total do mosto;

Os principais componentes presentes nos CCV são:

- Tubulações na parte inferior
 - Entrada mosto na parte inferior do tanque;
 - Entrada de CO_2
 - Saída de coleta de levedura;
 - Saída de cerveja;
 - Saída de líquidos CIP (2.8.5)

- Tubulações e válvulas na parte superior;
 - Uma tubulação para adição de líquidos do CIP (2.8.5);
 - Válvulas de reguladora de pressão;
 - Válvula de alívio (para tanques muito grandes);
 - Entradas e saída de CO₂;
- Instrumentos de medida:
 - Indicador de nível;
 - Indicador de temperatura;
 - Indicador de pressão
 - Torneira para amostras;

Além disso, outra principal preocupação com o Tanque de Fermentação e Maturação é o seu resfriamento. Ele deve retirar calor de forma suficiente para que a cerveja chegue a uma temperatura de no mínimo -2°C durante a fase de maturação. Para isso, deve-se levar em consideração que o processo de fermentação é exotérmico, liberando entre 4.300 e 4.600kJ/hl. Também deve-se contar as perdas e calor necessário para se alterar a temperatura de um máximo de 25° para o mínimo necessário. É estimado que a necessidade de remoção de calor total durante é entre 8600 e 9000kJ/hl (KUNZE; MANGER, 1999).

A Tabela 2.2 compara algumas possibilidades para se remover esse calor dos tanques, sendo as vantagens mostradas em negrito:

Tabela 2.2: Comparação entre resfriamento por evaporação direta e indireta

Evaporação	Direta	Indireta
Refrigerante	NH ₃	Glicol
Temperatura do Refrigerante	-4 a -6°C	-10°C
Bombas	Mais, Menores	Uma, Maior
Custo de Instalação	Menor	Maior
Controle de Temperatura	Melhor	Pior
Custo Operacional	Maior	Menor
Quantidade de Refrigerante	Maior	Menor
Capacidade de Armazenar Frio	Pouca	Muita
Pressão de Operação	Maior	Menor
Comprimento das Tubulações	Menor	Maior

Segundo Kunze e Manger (1999) os sistemas de evaporação direta são considerados mais vantajosos em geral. Quanto ao método de retirada de calor do tanque temos as seguintes opções. A Camisa térmica composta por canais semi-circulares horizontais (espirais) (Figura 2.10), nesse caso a circulação deve ser feita de baixo para cima, com a quantidade de NH₃ presente é em torno de 4,5l/m². Outra opção é utilizar uma camisa

térmica composta por canais verticais (Figura 2.11), nesse caso a circulação é feita de cima para baixo com a necessidade de até $4,4\text{m}^2$ de superfície de resfriamento por cada 100hL. O resfriamento também pode ser feito externamente por meio de um trocador de calor (Figura 2.12), esse processo consiste em bombear a cerveja a 1 ou 2 metros abaixo da superfície do líquido e resfriá-lo externamente, é pouco utilizado no Brasil, mantém a levedura em suspensão e previne a formação de gradientes de temperatura durante a fermentação, além de possuir menor custo inicial, maior custo de operação.

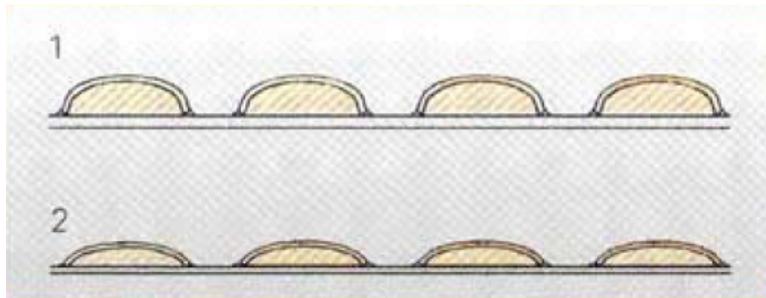


Figura 2.10: Exemplos de canais semi-circulares (KUNZE; MANGER, 1999) em que 1 são perfis utilizados antigamente (com maior quantidade de NH_3) e 2 são os novos perfis.



Figura 2.11: Exemplo da superfície para camisas de resfriamento com canais verticais (KUNZE; MANGER, 1999).

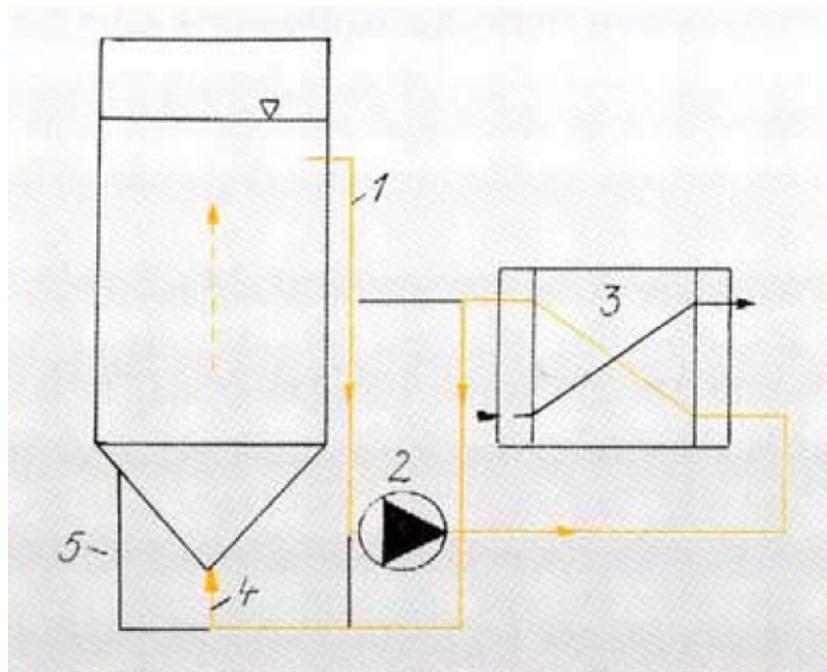


Figura 2.12: Esquema do Sistema de Resfriamento utilizando trocador externo (KUNZE; MANGER, 1999) em que 1 é tubulação de saída; 2 é a Bomba; 3 é o trocador de calor de placas; 4 é a tubulação de retorno.

As soluções de resfriamento por camisas térmicas necessitam se preocupar com o gradiente de temperatura no interior do tanque, principalmente quando se tratam de CCV de grande volume. A Figura 2.13 esquematiza a necessidade de se ter mais de uma camisa térmica independente para cada operação necessária.

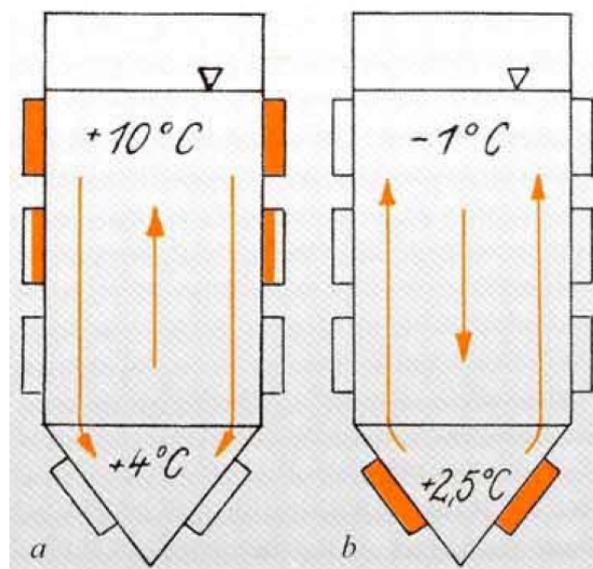


Figura 2.13: Esquema do acionamento das camisas térmicas e correntes de convecção geradas no CCV (KUNZE; MANGER, 1999) em que a) demonstra o processo de fermentação e b) o processo de maturação.

Esse resfriamento extra na parte do cone é feito para que a levedura seja expurgada

mais facilmente durante o período de maturação.

Esses tanques também devem possuir isolamento térmico que normalmente consiste em espuma de poliuretano expandido aplicados em camadas de 100 a 150 mm.

É durante o processo de maturação, também, que pode ser feita a carbonatação da cerveja. A carbonatação consiste em colocar o líquido sobre certa pressão e temperatura a fim de que ele absorva parte do CO_2 para ser liberado quando for servido ao consumidor final. São utilizados segundo [Kunze e Manger \(1999\)](#) entre 1,8 e 2,0 kg de CO_2/hL . Como no próprio tanque há a liberação de CO_2 algumas cervejarias optam por reutilizar esse CO_2 que seria expurgado. Isso, contudo, demanda uma planta de recuperação, tratamento e armazenamento de CO_2 .

2.4 LEGISLAÇÃO CORRENTE

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), as normas consolidadas para a produção de bebidas vegetais alcoólicas aplicáveis a cerveja são diversas (disponível no Apêndice A), para o caso dessa análise a Instrução Normativa SDA/MAPA N°5 que tem função de aprovar o Regulamento Técnico para a fabricação de bebidas. Comparativamente, os pontos abordados pela Instrução Normativa SDA/MAPA N°05 (IN SDA/MAPA N05) são semelhantes àquelas apontadas pelo Anexo Portaria N°368.

As instalações da cervejaria devem possuir condições sanitárias, espaço suficiente para realizar todas as operações e permitir limpeza fácil e adequada. Devem possuir controle contra praga e contaminantes. Devem possuir fluxo de produtos de modo a evitar contaminação cruzada. A envoltória das paredes, pisos, teto e porta devem possuir cor clara, serem impermeáveis e de fácil limpeza ou desinfecção. Os líquidos deverão escorrer para os ralos. A iluminação deve ser suficiente e as lâmpadas devem estar protegidas contra rompimentos. As janelas devem evitar o acúmulo de sujidades, estar protegidas contra a entrada de insetos e prover ventilação suficiente para evitar o calor excessivo, o acúmulo de pó e nunca fluir de uma zona suja para uma limpa.

Deve haver separação de área para alocação de insumos (que devem ser alojados em estrados de madeira separados das paredes) e de produção, da área de uso geral (vestiários, sanitários e banheiros) sem conexão direta. Deve haver uma pia com os materiais necessários para a higienização das mãos (não sendo permitido o uso de toalhas de pano) entre esses locais e os de manipulação da bebida. Deve haver, também instalações para a lavagem das mãos no local de produção seguindo as mesmas regras.

O abastecimento de água deve ser potável e abundante. A água não potável (utilizada para produção de vapor, refrigeração, etc.) deve possuir tubulação independente da água potável e identificada por cores. O sistema de evacuação de efluentes deve ser

suficientemente grande e construído de forma a não contaminar o produto nem a água potável.

Devem existir instalações para limpeza e desinfecção.

Os resíduos devem ser armazenados, antes de sua eliminação, em ambientes que não contaminem o produto nem as matérias primas.

Deverão ser tomadas medidas eficazes, para evitar a contaminação do material da bebida por contato direto ou indireto com material contaminado que se encontre nas fases iniciais do processamento. Todo o equipamento que entrou em contato com matérias primas ou com material contaminado deverá ser rigorosamente limpo e desinfetado antes de ser utilizado para produtos não contaminados.

Todo o material empregado na embalagem deverá ser armazenado em condições higiênicas-sanitárias. As condições de armazenamento não devem transmitir ao produto substâncias indesejáveis que ultrapassem os limites aceitáveis. O material de embalagem deverá ser seguro e conferir proteção apropriada contra a contaminação. As embalagens ou recipientes não devem ter sido anteriormente utilizados para nenhuma finalidade que possa causar a contaminação do produto.

Os equipamentos devem ser constituídos de materiais que não transmitam substâncias tóxicas, odores nem sabores, e sejam impermeabilizados, bem como resistentes à corrosão e a repetidas operações de limpeza e desinfecção. As superfícies deverão ser lisas e isentas de imperfeições (fendas, amassaduras etc.), que possam comprometer a higiene da bebida.

Todos os equipamentos e utensílios deverão apresentar formato e estrutura que assegurem a higiene, permitindo a completa limpeza e desinfecção, e quando possível, deverão estar visíveis, para facilitar a inspeção. Os equipamentos fixos deverão ser instalados de modo que permitam acesso fácil e limpeza profunda e deverão ser usados, exclusivamente, para os fins a que foram projetados.

Todos os locais refrigerados deverão estar providos de um termômetro de máxima e de mínima ou de dispositivos de registro da temperatura, para assegurar a uniformidade na conservação das matérias-primas e produtos, e durante os processos industriais.

2.5 SUBSISTEMAS MECÂNICOS E DETALHES DE FABRICAÇÃO

Os componentes mais importantes na questão de mecânica e fabricação são as tinas utilizadas na parte quente e os tanques de fermentação e maturação. Esses necessitam aguenta a pressão interna, caso exista, e precisam ter suas soldas bem dimensionadas para o seu correto funcionamento.

2.5.1 Cilindros de pressão

Utilizando o método descrito por [Budynas, Nisbett et al. \(2008\)](#), para o cálculo de tensões em cilindros pressurizados, temos que a tensão radial (σ_r) e a tensão tangencial (σ_t) poderá ser calculado usando as Equações (2.1) e (2.2):

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 - r_i^2 r_o^2 (p_o - p_i) / r^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (2.1)$$

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 + r_i^2 r_o^2 (p_o - p_i) / r^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (2.2)$$

A figura 2.14 esquematiza as variáveis dessas equações.

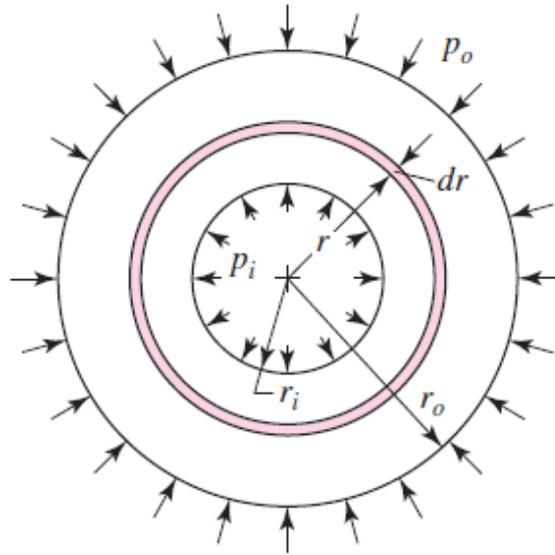


Figura 2.14: Esquema de um cilindro sujeito a pressão interna e externa ([BUDYNAS; NISBETT et al., 2008](#)).

Para casos em que não haja pressão externa, ou seja $p_o = 0$, temos as Equações (2.3) e (2.4):

$$\sigma_t = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (2.3)$$

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right) \quad (2.4)$$

A tensão longitudinal gerada, em casos de cilindros fechados, pode ser calculada pela Equação (2.5):

$$\sigma_l = \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \quad (2.5)$$

2.5.2 Camisas térmicas

As tinas e tanques possuirão sistemas de resfriamento e aquecimento externo por meio da troca de calor com o vapor, no caso do aquecimento, ou com água gelada, solução de etileno glicol ou solução de etanol, no caso do sistema de resfriamento. Por isso, o projeto dessas tinas será feito tomando-se apenas o carregamento interno pelo malte, água, mosto ou cerveja.

As tinas serão consideradas como Tinas de Paredes Finas, ou seja, cuja espessura da parede é menor do que um vigésimo, ou menor, do que o raio, por isso as tensões radiais são bem menores do que as tensões tangenciais. Como mostrado na Equação (2.6):

$$(\sigma_t)_{av} = \frac{pd_i}{2t} \quad (2.6)$$

Sendo:

- p é a pressão interna, em Pa;
- d_i é o diâmetro interno, em m;
- t é a espessura da parede, em m;
- $(\sigma_t)_{av}$ é a tensão tangencial média, em Pa.

A tensão tangencial máxima $((\sigma_t)_{max})$ pode ser obtida pela Equação (2.7).

$$(\sigma_t)_{max} = \frac{p(d_i + t)}{2t} \quad (2.7)$$

Por fim, o estresse longitudinal pode ser assumido distribuído uniformemente sobre a parede da tina é definida pela Equação (2.8).

$$\sigma_l = \frac{pd_i}{4t} \quad (2.8)$$

A tensão máxima permitida será dada pela Equação (2.9).

$$\tau_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_{t,max} - \sigma_{l,max}) \quad (2.9)$$

2.6 ISOLAMENTO E SISTEMAS TÉRMICOS

Para a determinação da espessura necessária de isolamento pode ser considerado a temperatura externa dos cilindros (tubos e tinas) como a temperatura desejada do fluido e comparada a perda de calor, o custo econômico dessas perdas e o custo de isolamento para se descobrir a espessura econômica de isolamento. O método é descrito em [Office \(1993\)](#)

O cálculo das perdas de calor é calculado a partir do método descrito em [Cengel \(2014\)](#). O problema de condução térmica através do isolamento e de convecção na superfície externa pode ser resolvido utilizando o conceito de resistência térmica calculado pelas Equações (2.10), (2.11) e (2.12):

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{conv}A_{iso}} \quad (2.10)$$

$$R_{iso} = \frac{L_{iso}}{kA_{tina}} \quad (2.11)$$

$$R_{total} = R_{conv} + R_{iso} \quad (2.12)$$

Em que:

- R_{conv} é a resistência térmica de convecção, em K/W;
- h_{conv} é o coeficiente de convecção, em W/(m²K);
- A_{iso} é a área externa do isolamento, em m²;
- R_{iso} é a resistência térmica do isolamento, em K/W;
- L_{iso} é o espessura do isolamento, em m;
- k_{iso} é a condutividade térmica do isolamento, em W/(m K);
- A_{tina} é a área externa do cilindro, em m²;
- R_{total} é a resistência térmica resultante, em K/W.

É necessário calcular o valor de h e para esse processo é calculado o número de Grashof utilizando a Equação 2.13.

$$Gr_D = \frac{g\beta(T_{tina} - T_{ext})D_{carac}^3}{\nu^2} \quad (2.13)$$

Em que:

- Gr_D é o número de Grashof;
- g é a aceleração da gravidade, em m/s²;
- β é o coeficiente de expansão volumétrica do ar, em °C⁻¹;
- $(T_{tina}$ é a temperatura da tina ou fluido, em K;
- T_{ext} é a temperatura ambiente, em K;
- D_{carac} é o diâmetro característico (externo), em m;
- ν é o número de Nusselt.

E o número de Rayleigh pode ser calculado pela Equação (2.14):

$$Ra_D = \frac{Gr_D}{Pr} \quad (2.14)$$

Em que:

- Ra_D é o número de Rayleigh;
- Pr é o número de Prandtl.

Já os valores de Nusselt possuem fórmulas tabeladas dependentes do número de Prandtl ou Rayleigh e da geometria. E podem ser calculados utilizando as Equações (2.15) e (2.16).

$$Nu_D = \frac{hD}{k_{iSO}} \quad (2.15)$$

Ou seja:

$$h = \frac{Nu_D k_{iSO}}{D} \quad (2.16)$$

Os sistemas térmicos serão dimensionados utilizando o método de diferença de temperatura média logarítmica (DTML ou *LMTD* em inglês). Utilizando o método apresentado em Cengel (2014), temos:

A Equação (2.17) é utilizada para o cálculo da transferência de calor:

$$q = \dot{m}c_p\Delta T \quad (2.17)$$

Sendo:

- q = o fluxo de calor, em W;
- \dot{m} = o fluxo de massa, em kg/s;
- c_p = o calor específico, em J/(kg K);
- ΔT = a diferença de temperatura desse fluido, em K.

Para os trocadores de calor, temos a Equação (2.18):

$$q = UA\Delta T_{ml} \quad (2.18)$$

- q é o fluxo de calor, em W;
- U é o coeficiente global de troca de calor, em W/(m²K);

- A é a área do trocador de calor, em m^2 ;
- ΔT_{ml} é a temperatura média logarítmica, em K.

Sendo a temperatura média logarítmica dada pela Equação (2.19).

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (2.19)$$

Em que:

- ΔT_1 é a diferença de temperatura do fluido mais quente, em K;
- ΔT_2 é a diferença de temperatura do fluido mais frio, em K.

Para o cálculo da resistência de convecção, é utilizada a Equação (2.20).

$$R_h = \frac{1}{hA} \quad (2.20)$$

Em que:

- R_h é a resistência térmica de convecção, em W/K;
- h é o coeficiente de convecção, em $W/(m^2K)$;
- A é a área de convecção, em m^2 ;

Para o cálculo da resistência de condução através de tubos é utilizada a Equação (2.21).

$$R_k = \frac{\ln r_2/r_1}{k2\pi L} \quad (2.21)$$

Em que:

- r_2 é o raio externo do tubo, em m;
- r_1 é o raio interno do tubo, em m;
- k é a condutividade do tubo, em $W/(m K)$;
- L é o comprimento do tubo, em m;

Podemos assim calcular o coeficiente global por meio das resistências térmicas dos componentes utilizando a Equação (2.22):

$$UA = \frac{1}{\sum_1^n R_n} \quad (2.22)$$

Podemos também calcular o coeficiente de convecção sabendo o modo de escoamento. Para o cálculo dos trocadores de calor do tipo de casco e tubos ou de tubos concêntricos, o melhor método é o sistema de contra-fluxo.

Tendo as propriedades dos fluidos: densidade (ρ) em kg/m^3 ; condutividade (k), em $\text{W}/(\text{m K})$; número de Prandtl (Pr); e viscosidade cinemática, em m^2/s ; ($\nu = \mu/\rho$) podemos calcular os coeficientes de transferência de calor por convecção (h), em $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, e determinar o coeficiente geral de transferência de calor (U), em $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. O diâmetro hidráulico (D_h), em m, será calculado pela Equação (2.23):

$$D_h = 4A_c/p \quad (2.23)$$

Em que A_c é a área da secção transversal em m^2 e p é o perímetro molhado, em m.

Em seguida é calculado a velocidade média no tubo dada pela vazão mássica e o número de Reynolds utilizando as Equações (2.24) e (2.25):

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho A_c} \quad (2.24)$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.25)$$

Sendo o $Re > 10000$ o escoamento será turbulento; se for $Re < 3000$ ele será laminar. O número de Nusselt poderá ser calculado utilizando a Equação (2.26):

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (2.26)$$

Para escoamentos turbulentos em tubos; ou utilizando tabelas como 2.3:

Tabela 2.3: Número de Nusselt para escoamentos laminares desenvolvidos em anéis circulares com uma superfície isolada e uma isotérmica (Kays and Perkins, 1972) (CENGEL, 2014) (Adaptado).

D_i/D_o	Nu_i	Nu_o
0.00	-	3.66
0.05	17.46	4.06
0.10	11.56	4.11
0.25	7.37	4.23
0.50	5.74	4.43
1.00	4.86	4.86

Portanto o coeficiente de troca de calor será dado pela Equação (2.27):

$$h = \frac{k}{D}Nu \quad (2.27)$$

No caso de trocadores com mais de um passe a temperatura T_{ml} deverá ser corrigida pelo fator F sendo $F \leq 1$. F é o fator de correção para um trocador de calor que mede o desvio do valor de ΔT_{ml} comparado com os valores do caso de contra-fluxo. Para a determinação de F deverão ser utilizados duas razões de temperatura, dadas pelas equações (2.28) e (2.29):

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (2.28)$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (2.29)$$

Os subscritos 1 e 2 indicam, respectivamente, a entrada e a saída do fluido. O T e t representam o casco e o tubo, respectivamente. Os fatores de correção podem encontrados utilizando gráficos de correção como o apresentado na Figura 2.15.

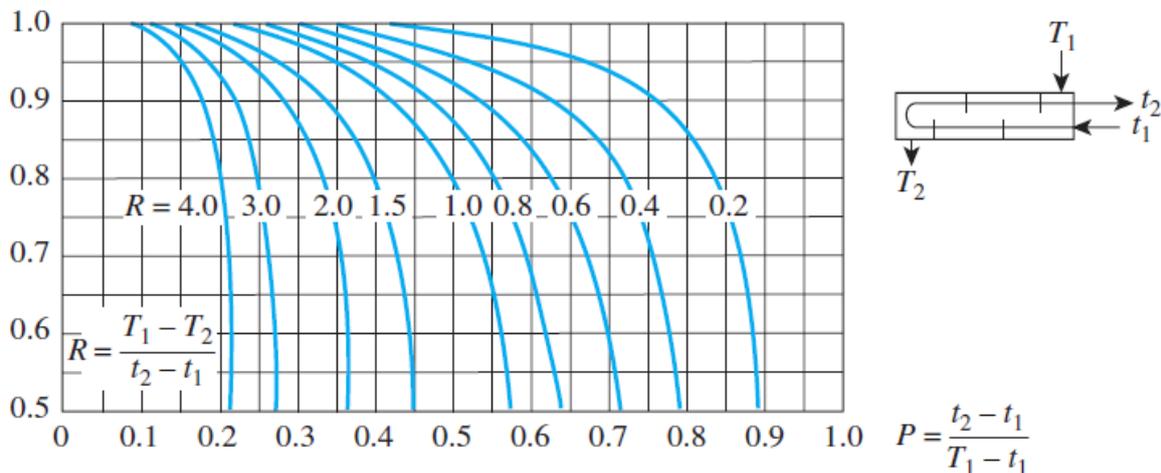


Figura 2.15: Fator de correção F para casco de um passe e tubos de múltiplos de 2 passes (CENGEL, 2014).

2.6.1 Aquecimento a vapor

Para isso deverá ser decidido as propriedades térmicas desejadas desse vapor na entrada dos trocadores de calor. Segundo Kunze e Manger (1999), temos que a temperatura desejada para o vapor de água super aquecido deve ser $300^{\circ}C$. Isso diminui a chance de condensação do vapor na tubulação de transporte e, na entrada do trocador, é utilizado um dispositivo para transforma-lo em vapor saturado.

Outra forma de aquecimento pode ser feita por meio de água quente ($160 - 170^{\circ}C$) sobre pressão, isso aumenta o potencial de aquecimento, porém também necessita de maiores diâmetros de tubulação e o gasto energético no bombeamento também será maior.

Contudo, a melhor solução de troca com menor custo é garantir a entrada de vapor saturado na entrada dos trocadores de forma a se gastar menos energia na geração desse

vapor. Dessa forma é necessário que o isolamento térmico das tubulações seja suficiente para a troca de calor no trocador seja feita majoritariamente por calor latente.

Os principais parâmetros necessários para o selecionamento de uma caldeira para o sistema de aquecimento a vapor, segundo [Kunze e Manger \(1999\)](#), são:

- Capacidade de produção de vapor por hora, em t;
- Potência dos queimadores da caldeira, em MW por hora;
- Sobrepressão de trabalho, em bar;
- Temperatura de saída do vapor na caldeira, em K;
- Temperatura de entrada da água na caldeira, em K;
- O combustível (tipo e capacidade de aquecimento, em kJ/kg ou kJ/m³);
- A capacidade de água, em L.

2.6.2 Sistemas de resfriamento

O sistema de resfriamento deve ter capacidade para o resfriamento dos Tanques de Fermentação e Maturação e para o processo de resfriamento do mosto.

Será calculado a quantidade de calor retirada necessária para que essas duas operações sejam feitas separadamente. No caso de apenas duas produções diárias, com um bom isolamento dos tanques de fermentação, não será prejudicial a transferência do refrigerante para os trocadores de calor da saída da tina de fervura por uma operação de no máximo 1 hora.

Por isso, a carga térmica calculado do resfriador deverá contar com o caso mais crítico, seja ele o resfriamento do mosto ou o resfriamento de 10 tanques de fermentação e maturação.

2.7 DIMENSIONAMENTO DOS AGITADORES

Para se dimensionar os motores a serem utilizados pelos agitadores precisamos levar em consideração alguns fatores geométricos e de utilização como Volume Úmido (V), Razão D/T (Figura [2.16](#)), Tipo do Agitador e Escala de Agitação; bem como as propriedades do fluido como sua Densidade (ρ) e Viscosidade (μ).

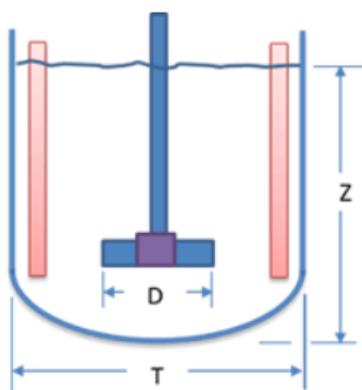


Figura 2.16: Dimensões da Tina e do Agitador.

A escala de agitação necessária, nesse caso será, de acordo com Chemineer (2015) portanto será entre os níveis 1 e 10, sendo 1 uma agitação suave e 10 uma violenta.

As escalas nível 1 e 2 são aplicações em que é necessário a menor velocidade para se conseguir o resultado. Os agitadores de escala 2 possuirão capacidade de misturar uniformemente fluidos com diferença de gravidade específica menor que 0.1, razão de viscosidade menor do que 100 e produzir pleno movimento da superfície do fluido.

As escalas níveis 3 a 6 são as aplicações normais de agitadores em indústrias químicas. Os agitadores de escala 6 possuirão capacidade de misturar uniformemente fluidos com diferença de gravidade específica menor que 0.6, razão de viscosidade menor do que 10.000 e promover uma transferência de calor adequada para casos não severos (com médio gradiente de temperatura).

As escalas níveis 7 a 10 são utilizadas para aplicações com alta velocidade de circulação do fluido, muito utilizado em reatores críticos. Os agitadores de escala 10 possuirão capacidade de misturar uniformemente fluidos com diferença de gravidade específica menor que 1, razão de viscosidade menor do que 100.000 e promover uma rápida mistura dos fluidos necessários.

Deve ser levado em consideração, também que a taxa de agitação têm impacto na velocidade do agitador (N , medida em rpm) e deve ser menor do que:

$$N = \frac{2m/s}{\pi T}$$

Para assegurar que a velocidade periférica dos agitadores não exceda 2m/s.

Utilizando as fórmulas de cálculo para agitadores quadrados, isso é: nos quais o nível de líquido é o mesmo que o diâmetro temos:

$$\text{Volume da Tina} = \pi \cdot T_{eq}^3 / 4$$

$$T_{eq} = \sqrt[3]{\frac{V \times 4}{\pi}}$$

$$\text{Diâmetro do Agitador}(D) = D/T \times T_{eq}$$

$$\text{Velocidade de Agitação}(V_c) = \text{Escala de Agitação} * 0,03048m/s$$

$$\text{Taxa de Bombeamento}(Q) = V_c \cdot (\pi \cdot T_{eq}^2) / 4$$

O escoamento será assumido como turbulento e o Número de Bombeamento é estimado pelas curvas genéricas de agitadores. A frequência de Bombeamento (N_q) é determinada utilizando a relação $N_q = Q/ND^3$, em que N é a velocidade do agitador. O número de Reynolds é calculado usando a relação, $Re = D^2 N \rho / \mu$ e o novo Número de Bombeamento é determinado usando as curvas genéricas novamente. Esse processo é repetido até a convergência do número correto para a velocidade (CHECALC, 2015).

O número de potência (N_p) é determinado utilizando as curvas genéricas do agitador e o Número de Reynolds. A potência necessária para o agitador será determinada com o Número de Reynolds das curvas genéricas de agitador.

$$\text{Potência}(P) = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5$$

Depois é assumida a carga potencial no qual se deseja trabalhar o motor (η) e a potência necessária será:

$$\text{Potência do Motor} = \eta \times P$$

2.7.1 Controle dos motores dos agitadores

De acordo com Fitzgerald et al. (2003), o tópico de controle de motores elétricos pode ser dividido em dois: controle de velocidade ou controle de torque, ambas variam para cada tipo de motor. São consideradas apenas condições de regime permanente.

Para motores de corrente contínua temos que o controle da velocidade é relativamente simples. Como a tensão gerada é proporcional ao fluxo magnético e à velocidade do motor, temos que a velocidade do motor em regime permanente é proporcional à tensão da armadura e inversamente proporcional ao fluxo do campo. Para o controle de torque, que é proporcional ao produto da corrente da armadura e ao fluxo do campo, pode se controlar diretamente a corrente na armadura assim como o fluxo magnético.

Para motores síncronos a velocidade é determinada pela frequência elétrica aplicada à armadura, por isso o controle pode ser feito com um controlador de frequência. Já o controle do torque, proporcional ao fluxo magnético e a componente da corrente na armadura.

Para motores de indução a velocidade de operação será menor do que a velocidade síncrona e diminuirá quanto maior for a carga do torque. Porém, mesmo trabalhando em velocidade inferior à síncrona o método de controle de torque e velocidade dos motores síncronos também podem ser utilizados para o motor de indução.

No ponto de vista de controle de máquinas, os motores de indução em combinação com sistemas eletrônicos de potência e controle levaram a alta aplicabilidade das máquinas de indução em uma ampla variedade de aplicações de velocidade variável.

De acordo com [Chapman \(2013\)](#), o controle de velocidade de motores de indução pode ser feito com um controle da frequência, tanto para velocidades maiores quanto para menores do que a velocidade base. Se projetado apropriadamente, esse método se mostra muito flexível desde que não se diminua a velocidade para menos do que 5% ou se aumente para mais do que o dobro da velocidade base.

Pela sua facilidade de controle os motores utilizados serão elétricos de indução. Isso significa que para aplicações menores do que 1HP pode ser utilizado um motor monofásico e um controlador TRIAC (Triode for Alternating Current). Para motores de maior potência poderá ser utilizado um motor trifásico com um Inversor de Frequência ([BRAGA, 2015](#)).

No caso da Tina de Clarificação, na qual é necessário uma partida suave, é mais indicado o uso do inversor. Isso se dá pois os Inversores de Frequência controlam eletronicamente a frequência, o que possibilita uma curva de aceleração para a partida e desaceleração para o desligamento.

2.8 TUBULAÇÕES E ACESSÓRIOS

O sistemas de tubulação desse projeto pode ser subdividido em 4 partes, elas consistem do sistema de transferência de mosto e cerveja, sistema de sanitização, sistema de aquecimento e sistema de resfriamento.

2.8.1 Sistema de Transferência de Mosto

O sistema de transferência de mosto consiste no transporte de água, malte e mosto. Esse sistema conectará a água da fonte da distribuição para a tina de mostura; malte e mosto serão circulados no trocador de calor e na tina de mostura; transferência da tina de mostura para a tina de clarificação; recirculação de mosto e malte na tina de clarificação; transferência do mosto da tina de clarificação para a tina de fervura; transferência de água da fonte de distribuição para a tina de clarificação (ou de água para o tanque de água quente e depois do tanque de água quente para a tina de clarificação); circulação de mosto da tina de fervura para o trocador de calor; recirculação na tina de fervura; circulação do mosto da tina de fervura para o trocador de calor de placas; água da fonte de distribuição será circulada pelo primeiro estágio do trocador de calor de placas; água será circulada da saída do primeiro estágio do trocador de placas até a tina de mostura ou clarificação.

Por seu contato direto com a cerveja os materiais mais indicados são o Aço INOX 304 (AISI 304) ou aço INOX 316 (AISI 316). O aço INOX 316 possui custo mais elevado e é mais utilizado em situações de grande demanda, como fábricas que funcionam 24 horas por dia, sendo o INOX 304 mais viável para a aplicação em cervejarias artesanais de pequeno porte.

Para a transferência de cerveja até os fermentadores são utilizadas mangueiras alimentícias de silicone resistente à temperatura ou mangueiras cervejeiras como são referidas pelo fabricante STBrasil - Mangueiras Industriais.

O diâmetro das tubulações é calculado pelo método da velocidade, no qual o diâmetro deve ser o necessário para que a vazão volumétrica e a velocidade econômica sejam satisfeitas.

2.8.2 Sistema de Aquecimento a Vapor

O sistema de aquecimento consiste no transporte de vapor d'água condensado e vapor d'água. Esse sistema transferirá vapor da caldeira aos trocadores de calor das tina de mostura, tina de fervura e tanque de água quente; água será transferida da saída do trocador de calor até o reservatório da caldeira; água será transferida do reservatório da caldeira até a caldeira.

Quanto ao material dessa tubulação ele será aço AISI 420 para a tubulação de vapor e aço API5L para as tubulações de vapor condensado. Essa linha necessita de válvulas de segurança, de retenção, de bloqueio e retorno de condensado.

2.8.3 Sistema de Resfriamento a Glicol

O sistema de resfriamento consiste no transporte de água gelada ou etileno glicol. Esse sistema transferirá água ou etileno glicol do reservatório de água gelada do chiller até os trocadores de calor de placas dos fermentadores ou da tina de fervura; o fluido será transferido de volta da saída dos trocadores de calor de placas até o compressor do chiller de água gelada; o fluido será transferido de volta para o reservatório do chiller.

2.8.4 Perdas de Carga

Para o cálculo das perdas de carga foi utilizada a Equação (2.30).

$$J_{cont} = f \frac{LV^2}{2gD} \quad (2.30)$$

Em que:

- J_{cont} é a perda de carga, em m;

- f é o fator de atrito;
- L é o comprimento da maior tubulação, em m;
- V é a velocidade média na tubulação, em m/s;
- g é a aceleração da gravidade, em m/s²;
- D é o diâmetro interno da tubulação, em m;

Já o fator de atrito pode ser calculado pela Equação (2.31).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{2,51}{Re\sqrt{f}} + \frac{\epsilon}{3,71D}\right) \quad (2.31)$$

Em que:

- Re é o número de Reynolds, calculado pela Equação (2.26);
- ϵ é a rugosidade do tubo, em m.

Já a perda de carga localizada pode ser calculada pela Equação (2.32).

$$J_{local} = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.32)$$

Em que:

- J_{local} é a perda de carga localizada, em m;
- K é o fator de perda de carga localizado, os valores típicos de K estão representados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Valores típicos de K

Acessório	K
Tê saída bilateral	1,8
Tê passagem direta	0,6
Tê saída de lado	1,3
Válvula de Globo	10
Cotovelo 90°	0,9
Válvula de segurança	2,5
Junção	0,4
Válvula de Borboleta	0,15

2.8.5 Análise do sistema de sanitização

A sanitização dos componentes na indústria alimentícia apresenta papel fundamental não só na consistência dos produtos, mas também pela sua segurança. Segundo [Kunze e Manger \(1999\)](#), todos os equipamentos em cervejarias devem ser projetados para o sistema de limpeza no local conhecido como CIP (*clean in place*). O sistema de tubulações de CIP possibilita a limpeza e sanitização das tinas, tanques, tubulações e acessórios sem a necessidade de trabalho manual. A operação de CIP consiste em:

1. Pre-lavagem com água (10 minutos);
2. Lavagem com solução ácida de 1 a 2% de ácido nítrico (60 minutos);
3. Lavagem intermediária com água (5 minutos);
4. Lavagem com solução desinfetante (15 minutos);
5. Lavagem final com água (10 minutos);

Durando entre 1 e 2 horas para todo o processo. Para cervejarias de pequeno porte pode-se utilizar apenas dois tanques de armazenamento, um para cada solução. A vazão em l/m desse sistema deve ser selecionado o com a menor volume por ciclo, conforme a tabela 2.5:

Tabela 2.5: Volume do tanque de ácido por metro de tubulação e vazão necessária para o CIP ([KUNZE; MANGER, 1999](#)).

Diâmetro nominal	80mm	64mm	50mm	40mm
Volume em l/m	5,0	3,3	2,0	1,3
Vazão em m ³ /h	45	30	18	12

Para sistemas de desinfecção de baixa pressão é necessária uma vazão de 20 a 75 m³/h a uma sobrepessão de no máximo 6 bar. Para isso é necessário que hajam bolas pulverizadores (*spray balls*) de modo que toda a superfície do tanque seja lavado, mesmo os periféricos. O sistema CIP sempre deve possuir duas bombas, uma para a alimentação e uma para a drenagem, sendo a segunda bomba com capacidade 25% maior do que a primeira para prevenir atraso.

Para esse sistema será utilizado o mesmo aço das tubulações de transferência de mosto, sendo então escolhido o Aço INOX AISI 304 ou 316.

2.8.6 Acessórios

As conexões entre tubulações será feita através de uniões do tipo *Clamp* (Norma ISO 2852) pela sua facilidade de instalação, preço acessível e compatibilidade com a indústria alimentícia, segundo [Kunze e Manger \(1999\)](#).

Quanto aos suportes da tubulação eles serão postos de forma que a tubulação não sobra deflexão maior do que 2%.

Para o controle da transferência de mosto e água serão utilizadas válvulas de fechamento de esfera manuais, muito utilizada em indústrias de cerveja e bebidas em geral.

Para o sistema de sanitização será utilizadas válvulas de diafragma com acionamento manual.

Para os sistemas de aquecimento e resfriamento o controle da entrada de vapor e refrigerante, respectivamente, será feito por meio de válvulas solenoides acionadas eletricamente por termostatos presentes na saída dos trocadores de calor. Serão necessários também válvulas de segurança para as linhas de vapor para proteção em caso de sobrepressão.

2.8.7 Bombas

Para a seleção das bombas é necessário distinguir sua aplicação no projeto.

As bombas para transferência de mosto e cerveja devem ser de material alimentício e preferencialmente serem bombas centrífuga de parafuso, pois seu bombeamento é feito de forma suave, funcionam sem entupir com fluidos de viscosidade até 4000mPas, possuem alta eficiência, além de terem pouco risco de cavitação.

Para bombear o restante dos outros fluidos pode ser utilizadas bombas centrífugas auto-ferrante, para evitar danos caso seja ligada a seco, com boa vazão e baixo custo. Essa bomba será aplicada no sistema de refrigeração, no retorno do vapor condensado e nos sistemas de limpeza e sanitização (CIP).

O controle e acionamento das bombas se dá por meio de seus motores. Como discutido na Seção 2.7.1 esses motores podem ser facilmente controláveis utilizando um inversor de frequência. Assimilando sistema de coleta de dados como termômetros, sensores de pressão e vazão se diminui a necessidade de mais acessórios e se aumenta a repetitividade das receitas.

2.9 UTILIZAÇÃO DE ÁGUA

Para a produção de cerveja a água tem papel fundamental não só nos processos que necessitam de água potável como na brassagem (Água de Brassagem) e nos procedimentos de sanitização de linhas, tanques e tinas (Água de Processo), como também água não necessariamente tratada para alimentação de caldeiras e chillers, higienização, lavagem do chão, paredes (Água de Serviço) e utilizações gerais (Água de Utilização geral).

Segundo [Stewart, Russell e Anstruther \(2017\)](#) para cada 1hL de cerveja produzido, serão gastos, em cada parte do processo a quantidade de água mostrada na Tabela 2.6:

Tabela 2.6: Quantidade de água utilizada por função para a produção de 1hL de Cerveja.

Produção do mosto:	1,7hL
Fermentação e maturação:	1hL
<hr/>	
Total da Brassagem:	2,7hL
Processos:	2,1hL
Serviços:	0,2hL
Uso Geral:	1,0hL
<hr/>	
Total:	6hL

3 MÉTODO E RESULTADOS

São apresentados nesse capítulo os métodos utilizados na pesquisa exploratória desenvolvida em cervejarias; no estudo de caso feito com a pesquisa descritiva-exploratória da proposta da Serra Inox para uma sala de brassagem de 500L; os cálculos de termodinâmica, mecânica dos materiais e tubulações desenvolvidos; e, por fim, são levantados a receita e os custos envolvidos no projeto.

3.1 PESQUISA EXPLORATÓRIA

A pesquisa exploratória foi feita por meio de visitas às cervejarias: Dois Corvos (Lisboa - PT), JinBeer (Vicente Pires - DF), Cruls (Santa Maria - DF), Máfia (São Sebastião - DF), Stadt (Luziânia - GO), Ghesti (Lago Norte - DF) e Duque Brewpub (Lisboa - PT). Nessas visitas foram feitas as perguntas presentes no Apêndice B.

As respostas, descrição das cervejarias, layout, fluxograma de produção e comentário dos cervejeiros estão presentes no Apêndice C. Ela permite não só ter embasamento sobre a planta, mas, por vezes, da ideia de negócio dos cervejeiros e suas observações pessoais sobre as maiores vantagens e desvantagens de suas cervejarias.

Os principais pontos positivos e negativos dessas cervejarias estão representados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Principais pontos positivos e negativos das fábricas visitadas

PONTOS POSITIVOS	PONTOS NEGATIVOS
Aquecimento à vapor	Aquecimento Elétrico
Baixa razão entre o volume de produção de mosto na sala de brassagem e o volume útil dos tanques de fermentação	Sala de brassagem muito pequena em relação aos tanques de fermentação e maturação, resultando em necessidade de 8 brassagens para se encher os tanques
Reaproveitamento do calor durante o resfriamento do mosto	Não possuir um tanque de água quente
Circuito fechado de água	Grande desperdício de água
Capacidade de envaze suficiente para a produção da fábrica	Sistema de envaze subdimensionado ou de baixa eficiência
Utilizar tanques CCV para maturação e fermentação	Utilizar CCV para fermentação e BBT para maturação
Baixo investimento inicial	Plantas com acessórios subdimensionados

Já os parâmetros das cervejarias como método de aquecimento, volume de produção da sala de brassagem, soma dos volumes dos fermentadores, custo estimado de abertura, presença de tanque de água quente, estão apresentados na tabela 3.2

Tabela 3.2: Comparação das Visitas Técnicas.

Nome	MA	VSB	VTF	R\$	TAQ	QB	TFM	TdF
2 Corvos	E	21hl	110hl	2,1 M	12hl	3	N	21d
JinBeer	E+G	2,5hl	75hl	0,7 M	N	1	S	15d
Cruls	V	10hl	80hl	1,5 M	N	3	S	21d
MáfiaBeer	V	5,5hl	100hl	0,4 M	3hl	2	N	28d
Stadt	V	50hl	600hl	3,0 M	100hl	3	S	14d

Na Tabela 3.2:

- MA corresponde ao método de aquecimento, sendo
 - E: aquecimento elétrico;
 - G: aquecimento à queima direta de gás;
 - V: aquecimento por sistema de vapor;
- VSB corresponde ao Volume útil de produção de mosto da Sala de Brassagem;
- VTF corresponde à soma do Volume Total dos Fermentadores;
- R\$ corresponde ao preço estimado da cervejaria;
- TAQ corresponde ao volume do tanque de água quente
 - N: não possui tanque de água quente;

- QB corresponde à quantidade de bombas no sistema;
- TFM corresponde à capacidade dos tanques de serem utilizados como fermentação e maturação;
 - S: não é necessária a troca de tanque;
 - N: é necessária a troca do tanque de fermentação para um de maturação;
- TdF corresponde ao tempo entre a inoculação da levedura até à cerveja final;

3.2 ESTUDO DE CASO

Com base nas visitas técnicas realizadas e nas especificações almejadas, a planta escolhida¹ para a implantação na instalação na Chácara Santa Maria, lote 31, Núcleo Rural Rio Preto, Planaltina-DF foi a proposta da Serra Inox de 500L, presente no Apêndice D.

Os equipamentos contemplados no orçamento são os seguintes:

1. Moinho Elétrico;
2. Sala de Fabricação Tribloco 500L ECO;
3. Tanque Fermentador 500, 1.000 e 2.000 litros;
4. Unidade de Refrigeração;
5. Envase de Barril;
6. Bomba CIP;
7. Sistema de vapor e condensado;
8. Envase de Garrafa.

Todas as partes elétricas necessitam de rede de 220V e 60Hz.

3.2.1 Moinho elétrico

O moinho possui capacidade de moagem de 150kg/h; com par de rolos ranhurados revestidos em cromo-duro; moega de recebimento em aço inox com capacidade para 5kg; possui regulagem de abertura dos rolos e base em chapa dobrada. A Figura 3.1 representa o modelo.

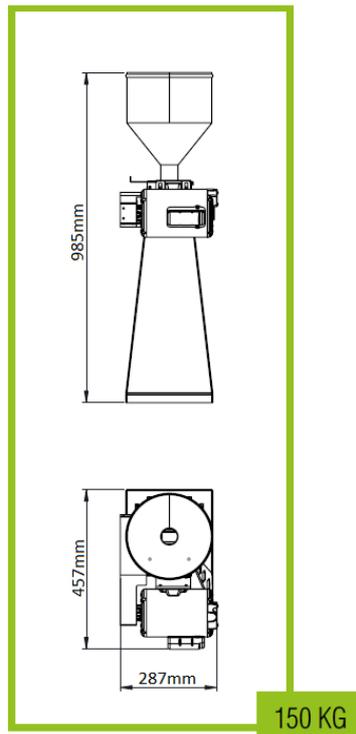


Figura 3.1: Dimensões do Moinho de 150kg/h. (SERRAINOX, 2018) (Adaptado)

3.2.2 Sala de fabricação tribloco 500L ECO

A sala de brassagem tribloco é feita totalmente em aço inox AISI 304 com funcionamento a vapor e aquecimento instantâneo de água. É uma versão mais econômica e de fácil instalação para pequenos negócios e brewpubs. Possui capacidade de 500L por fabricação com acabamento interno sanitário lixado Grana 320 com soldas passivadas e removidas. Seu layout é de formato linear com trocador de calor de dois estágios com torre de resfriamento e solução refrigerante. As três tinas possuem tampa de vidro para a visualização com diâmetro de 400mm e abertura de 160°, além de iluminação interna. A Figura 3.2 representa o modelo.

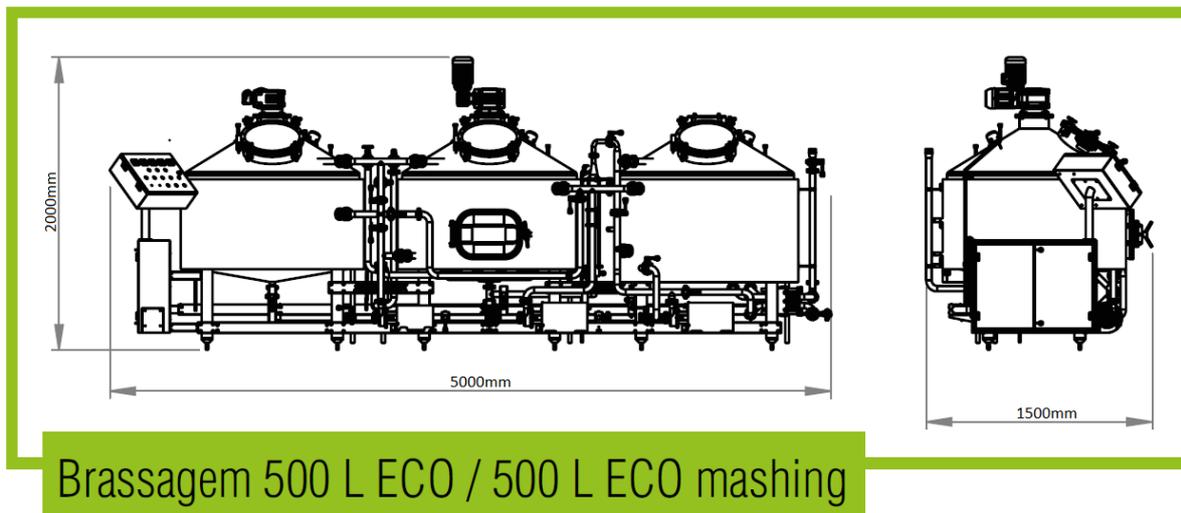


Figura 3.2: Dimensões da Sala de Fabricação Tribloco 500L ECO. (SERRAINOX, 2018)
(Adaptado)

A tina de mostura é do modelo cilindro-cônico com capacidade total de 750L. A espessura do corpo é de 2,5mm e o isolamento térmico, de 30mm em lã de rocha. O sistema de agitação é acionado por um motor de 1cv. O aquecimento deve ser feito por vapor saturado em camisas tubulares indiretas no costado do tanque.

A tina de clarificação é de modelo cilindro-plano com capacidade total de 700L. A espessura do corpo é de 2,5mm e o isolamento térmico, de 50mm em lã de rocha. O sistema de agitação é acionado por um motor de 0,5 cv com velocidade de 17,5 RPM com alteração de altura automática. O fundo filtrante é em Aço Inox AISI 304 com espessura de 3mm, possuindo uma porta na frente para a retirada do bagaço.

A tina de fervura consiste em um modelo cilindro-plano inclinado com capacidade total de 800L. A espessura do corpo é de 2mm e o isolamento térmico, de 50mm em lã de rocha. Possui uma saída lateral apra a retirada de mosto. O aquecimento deve ser feito por vapor saturado em camisas tubulares indiretas no costado do tanque.

Essa sala de brassagem possui quadro de comando e controle de temperatura que utilizam o sensor de temperatura PT 100 com haste de 200mm, controlador de temperatura N 1200 e válvula moduladora de vapor microprocessada, para a tina de mostura, e controlador de temperatura N 1030 para tina de fervura. Possuem controle de temperatura para o aquecimento instantâneo de água e controle de resfriamento do mosto, ambos com o controlador de temperatura N 1030. Os controladores utilizados apresentam sistema de controle proporcional integral derivativo. O painel de controle também possui botões para o controle dos agitadores, das luminárias, potenciômetros para as bombas de recirculação das tinas de clarificação e de fervura.

O sistema de aquecimento instantâneo de água consiste em trocadores de calor anexados a sala de brassagem, com controle de temperatura e vazão do vapor e da água.

Já o sistema de resfriamento do mosto consiste em um trocador por duplo estágio no qual o primeiro estágio é resfriado pelo circuito fechado de água da torre de resfriamento e o segundo estágio pela linha de solução refrigerante.

O aerador de mosto consiste em uma vela difusora de ar estéril ou O² em aço inox sinterizado. Possui visor de linha em vidro para a análise da aeração. A válvula de entrada é de engaste rápido e possui ajuste fino de vazão.

A linha de vapor possui controle de fluxo através de válvulas proporcionais micro processadas com filtro em Y 3/4" para o vapor e válvulas de esfera seladas, para confecção de by-pass de vapor. Possuem também manômetro, sifão e válvula pulsada de 1/2" e válvula proporcional 3/4". A linha de coleta de condensado possui válvulas de esfera de 1/2", filtro Y para vapor de 1/2" e purgador de boia de 1/2".

3.2.3 Tanques de fermentação e maturação

São construídos totalmente em aço inox AISI 304 com capacidade útil de 500, 1.000 e 2.000L. Esses tanques possuem acabamento interno polido, isolamento térmico de poliuretano expandido de alta densidade. A refrigeração é feita através de cintas expandidas distribuídas no corpo e cone do tanque. Possui válvula para entrada e controle de pressão de CO₂ de até 4 bar. Possui uma válvula saca-amostra no corpo do tanque e válvulas tipo borboleta sanitárias para entrada e saída do produto, de diâmetro 1.1/2" e conexão DIN. O senso de temperatura utilizado é do tipo PT-100, possui controlador de temperatura e válvula solenoide on-off. Esse tanque também possui uma bola de pulverização (spray-ball) para CIP. A Figura 3.3 representa o modelo.

Esses tanques apresentam modelo cilindro-cônico com ângulo de cone de 70° possuindo capacidade total de 6hL, 12hL e 24hL. Esses tanques também possuem acabamento interno sanitário lixado com soldas passivadas e removidas. O controle de temperatura é feito pelo controlador N321, que consiste em um termostato padrão com controle de temperatura máxima para acionamento e uma mínima para desligamento.

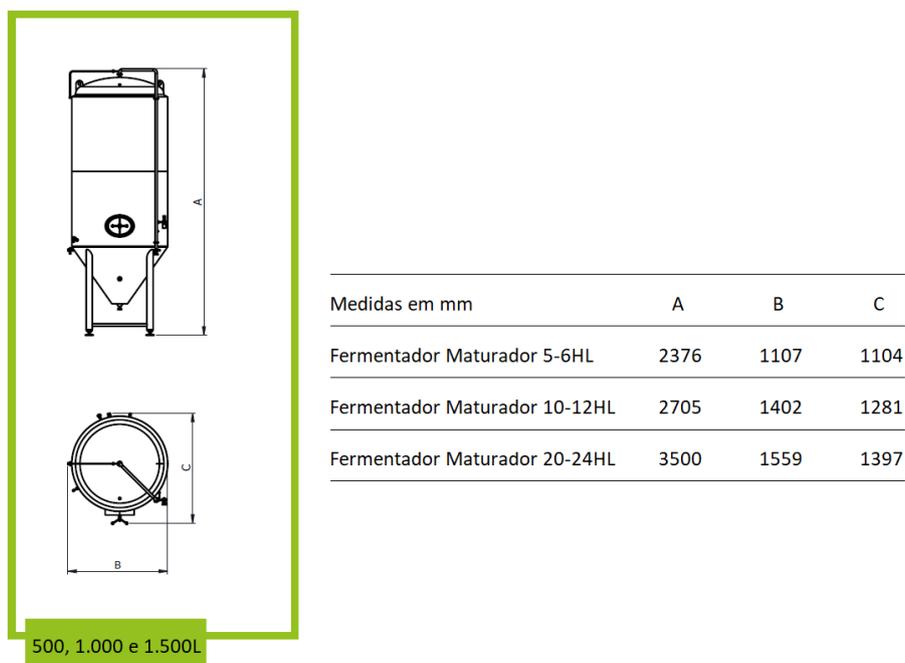


Figura 3.3: Dimensões dos Tanques de Fermentação e Maturação de 500, 1.000 e 2.000L (SERRAINOX, 2018) (Adaptado)

As tubulações de refrigeração são montadas em PVC rígido. As válvulas utilizadas são solenoides com registro de esfera. Os niples são montados com uniões galvanizadas e válvulas de retenção. Os isolamentos térmicos dos tanques são executados em calhas de isopor, revestidos com chapa de aço inox AISI 430, com espessura de 0,4mm. O comprimento máximo da tubulação é de 20m.

3.2.4 Unidade de Refrigeração

A unidade de refrigeração consistem em um resfriador de capacidade nominal de 30.000 Kcal/h. Ele possui painel de controle digital, bomba de água de 1cv, temperatura máxima de condensação de 40°C e temperatura de evaporação máxima de -10°C. Possui ventilador Ziehl-abegg de alto rendimento, compressor Danfoss scroll e filtro de linha.

Possui um tanque reservatório de glicol com volume útil de 2.000L, em polipropileno com isolamento em poliuretano expandido de alta densidade. Utiliza tubulações de interligação em PVC e possui bomba centrífuga de 1 cv.

3.2.5 Envase em barril

Para o envase em barril esse orçamento disponibiliza um manifold para envase de barril KEG com duas saídas e chave extratora de sifão.

Para a lavagem dos barris a lavadora de barris tem capacidade de lavagem de KEG de 5 a 50L. Sua estrutura é feita totalmente em AISI 304. Possui um reservatório de soda

com controle de aquecimento, bomba acoplada para o processo de lavagem com soda, possui conexões com entrada de água da rede, para entrada de CO₂, para a entrada de ar comprimido, para saída. As etapas de lavagem podem ser controladas pelo operador. A produtividade é de 20 a 30 barris/hora. A Figura 3.4 representa o modelo.

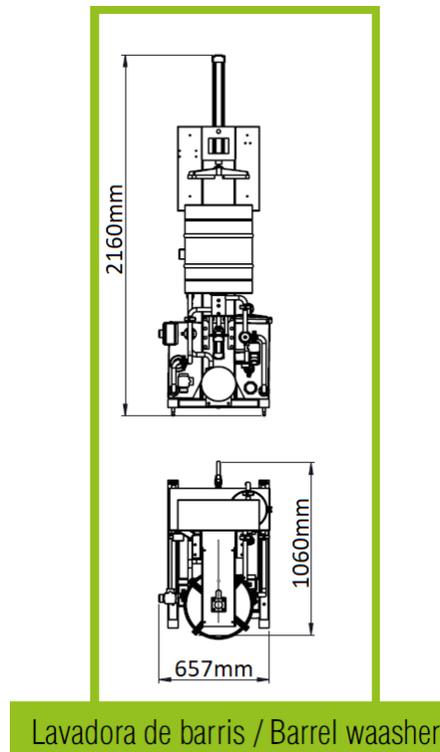


Figura 3.4: Dimensões da Lavadora de Barris. (SERRAINOX, 2018) (Adaptado)

3.2.6 Bomba CIP

A bomba CIP consiste em uma bomba centrífuga de 1,5 cv e conexões DIN de 1". Possui dispositivo de movimentação que consiste de apoios sobre rodízios. É confeccionada totalmente em aço inox AISI 304. A Figura 3.4 representa o modelo.

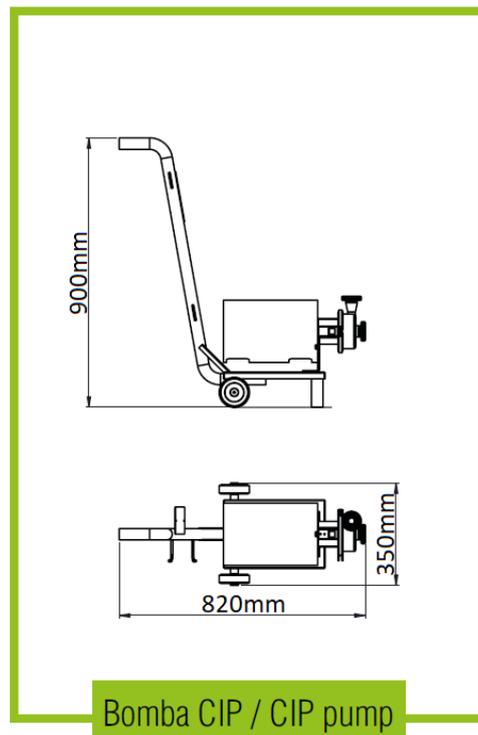


Figura 3.5: Dimensões da Bomba CIP. (SERRAINOX, 2018) (Adaptado)

3.2.7 Tubulações de vapor

As tubulações de vapor e vapor condensado são de aço carbono SHC 40, ASTM A-53, com solda por costura longitudinal. A tubulação é isolada com calhas de lã de vidro. A medida máxima dessa tubulação é de 20m linear.

O tanque de condensado é feito totalmente em aço inox AISI 304 com capacidade total de 500L. A tubulação, conexões e acessórios são de 1".

3.2.8 Envase de garrafa

A enchedora de garrafa é do modelo ELI-2, sendo uma enchedora linear isobárica de dois bicos com tampador. Possui capacidade de 200 garrafas por hora. A construção é totalmente em aço inox AISI 304. O acabamento interno do tanque é sanitário, lixado com lixa Grana 320 e com soldas passivadas e removidas. A pressão máxima de trabalho é de 4 bar para a enchedora e 6 bar para a tampadora.

Já a rotuladora possui capacidade 1020 frascos por hora.

3.3 CÁLCULOS

Essa secção contempla os principais parâmetros utilizados no cálculo dos sistemas térmicos, isolamento, cálculo mecânico das tinas e tubulações.

3.3.1 Tubulações

Para a linha de água a vazão máxima é dependente da capacidade do filtro. Os filtros de industriais de alta vazão do fabricante IND FILTROS tem capacidades de 3, 6 ou 10 m^3/h . A velocidade da água em nessa tubulação deve ser menor do que 4m/s e caso essa tubulação seja longa, menor do que 2m/s.

Para o aquecimento do malte e mosto do trocador de calor da tina de mostura, têm-se que a vazão deve ser 1,8 L/s.

O malte e mosto da tina de mostura deve ser transferido para a tina de mostura em 10 minutos. Levando em consideração uma capacidade máxima de 20kg de malte por hl e uma proporção de água:malte de 5L para 1kg o volume máximo da tina de mostura deve ter no máximo 5hL para uma produção de 5hL final de cerveja. Resultando em uma vazão mínima de 0,5 hl/min, porém velocidade menor do que 1,5m/s.

Para a recirculação na tina de clarificação, a velocidade deve ser menor do que 2,5 m/s.

Mosto e cerveja devem ser transferidos com velocidade inferior a 3m/s.

Durante a fervura, o mosto deve ser totalmente circulado entre 7 e 8 vezes pelo trocador de calor segundo [Kunze e Manger \(1999\)](#). Considerando uma taxa de evaporação desejada de 5% temos que o volume inicial da tina de fervura é de 525L (para uma produção de 500L), por isso, conforme temos que a vazão da recirculação durante a fervura é de 4.200L/h.

A velocidade de entrada no processo de whirlpool deve ser de no mínimos 3,5m/s e com alta vazão (acime de 5.500L/h).

Os diâmetros para o sistema de tubulação de água, malte, mosto e cerveja foram calculados por meio de uma rotina no MatLab `vazoes.m`.

3.3.1.1 Condições dos Fluidos nas Tubulações

As condições no qual o fluido se encontra em cada parte da tubulação, bem como as velocidades econômicas a serem utilizadas, se encontram na tabela [3.3](#).

Tabela 3.3: Condições do fluido em cada trecho da tubulação.

Linha	Fluido	Temperatura	Estado	Velocidade Econômica
Resfriamento	Solução de etileno glicol 30%	-10°C	Líquido	1,8 m/s
Retorno refrigerante	Solução de etileno glicol 30%	-3 a 20°C	Líquido	1,8 m/s
Aquecimento à vapor	Vapor de água saturado a 2 bar	120°C	Vapor	20 m/s
Retorno do vapor	Vapor de água condensado	120°C	Líquido	2 m/s
Transferência de mosto e cerveja	Mosto, malte e cerveja	32 a 100°C	Líquido	2,5 m/s
Limpeza (CIP)	Solução de 1% ácido nítrico	70°C	Líquido	1,5m/s
Sanitização (CIP)	Solução Desinfetante	20°C	Líquido	1,5 mm

3.3.1.2 Material das Tubulações

Para a seleção das tubulações foram considerados os seguintes fatores:

- Fluido Conduzido;
- Condições de Serviço;
- Nível de Tensões do material;
- Segurança;
- Facilidade de fabricação e montagem;
- Experiência Prévia;
- Custo dos Materiais.

O método de escolha foi composto de três passos descritos à seguir:

1. Conhecer os materiais disponíveis na prática e suas limitações físicas e de fabricação.
2. Selecionar o grupo mais adequado para o caso tendo em vista as condições de trabalho, corrosão, nível de tensão etc.
3. Comparar economicamente os diversos materiais selecionados, levando em conta todos os fatores de custo.

Para a linha de transferência de mosto, segundo [MAPA Ministério da Agricultura \(2000\)](#), a utilização de material que possa ser facilmente limpo. Isso tem algumas implicações, elas são:

Por isso, é utilizado Aço Inox Austenítico pela resistência à corrosão atmosférica, em várias soluções aquosas, na presença de alimentos, em ácidos oxidantes (como o nítrico), fosfóricos e acéticos, em soluções diluídas contendo cloretos e em ácidos sulfurosos. Essa resistência à corrosão é extremamente necessária, pois essas soluções são utilizadas para a limpeza e remoção de pontos de contaminação.

Para a linha de vapor d'água do sistema de aquecimento temos como recomendação a utilização Aços Inox Martensítico pela sua grande gama de aplicações em sistemas de vapor, elevadas resistência à tração, à fluência e à fadiga, combinadas com moderada resistência à corrosão e utilizações em até 650 °C.

No caso das tubulações de água, vapor condensado e etileno glicol, o material é aço carbono galvanizado (ASTM A120 ou A134), ferro maleável galvanizado, ferro fundido, ou PVC para ramais e Redes de distribuição de pequeno diâmetro.

As tubulações de etileno glicol, água gelada e vapor d'água devem ter isolamento térmico e que deve haver drenagem do condensado por meio de purgadores, em especial nos locais onde há vapor saturado.

3.3.1.3 Diâmetro das Tubulações

Os diâmetros para o sistema de tubulação de água, malte, mosto e cerveja foram calculados por meio de uma rotina no MatLab `vazoes.m` e são conforme a Tabela 3.4 e a Figura 3.6.

Tabela 3.4: Diâmetros necessários das tubulações de água, mosto e cerveja.

Linha	Velocidade	Vazão	Diâmetro Calculado	Selecionado
Água	2m/s	1,5 m ³ /h	16,28 mm	DN 20
Mosto e Cerveja	3m/s	0,5hl/min	59,47 mm	DN 65
Aquecimento Mostura	2 m/s	1 L/s	25,23 mm	DN 25
Aquecimento Fervura	2,5m/s	4.200 L/h	23,57 mm	DN 25
Whirlpool	3,5 m/s	5500 L/h	23,58 mm	DN 25

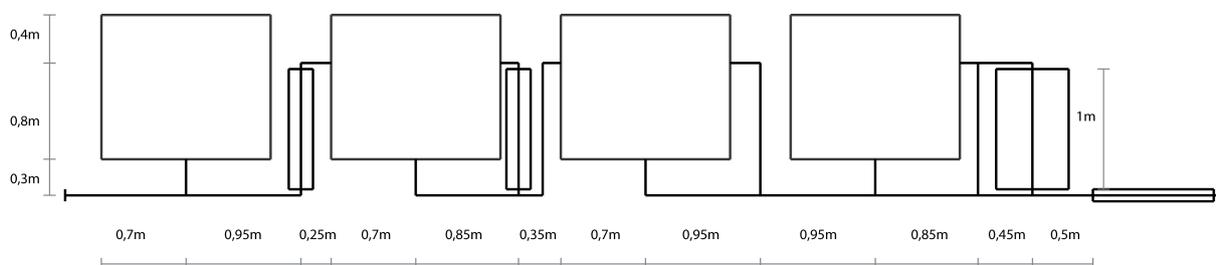


Figura 3.6: Linha de transferência de Mosto.

3.3.2 Isolamentos térmicos

Os valores econômicos para os isolamentos e os valores selecionados estão listados na Tabela 3.5:

Tabela 3.5: Espessura de Isolamento das Tinas, Tanques e Tubulações.

Espessura	Econômica	Selecionada
Sala de Brassagem	0,0 m	0,1 m
Tanques de Fermentação	0,15 m	0,15 m
Tubulação de Vapor	0,5 m	0,2 m
Tubulação de Refrigerante	0,1 m	0,1 m

3.3.2.1 Isolamento das tinas e tubulação quente

O acionamento da caldeira é feito por meio de Gás Natural. Seu poder calorífico inferior é de 34,6 MJ/m³. Considerando o preço do gás como 1,3442 R\$/m³, retirado do Fornecedor Copergás (2018), e a eficiência da caldeira à gás de sendo média alta (85%).

A quantidade de horas utilizadas das tinas por ano é calculado pela Equação 3.1, para as três tinas:

$$\text{Dias Úteis por Mês} \times \text{Horas de produção por dia} \times \text{Mêses por ano} \quad (3.1)$$

$$20 \times 16 \times 12 = 2400 \text{ horas por ano ou } 8,64 \times 10^6 \text{ segundos}$$

Serão 16 horas por dia considerando que o isolamento térmico em todas as tinas é o mesmo, que a temperatura de trabalho seja 373 K.

É utilizada lã mineral para o isolamento, ela possui condutividade térmica de 0.04 W/(m K). Segundo o fornecedor DCEOR (2018) o preço do m³ é R\$31,00 para placas de volume 0,036 m³, ou seja, R\$861,11 por m³.

Utilizando a rotina no MatLab `isolamentotina.m` a espessura econômica das tinas será 0, ou seja, não é necessário isolamento térmico nessa tina. A Figura 3.7 demonstra os valores obtidos para custo anual com perda de energia e custo do isolamento:

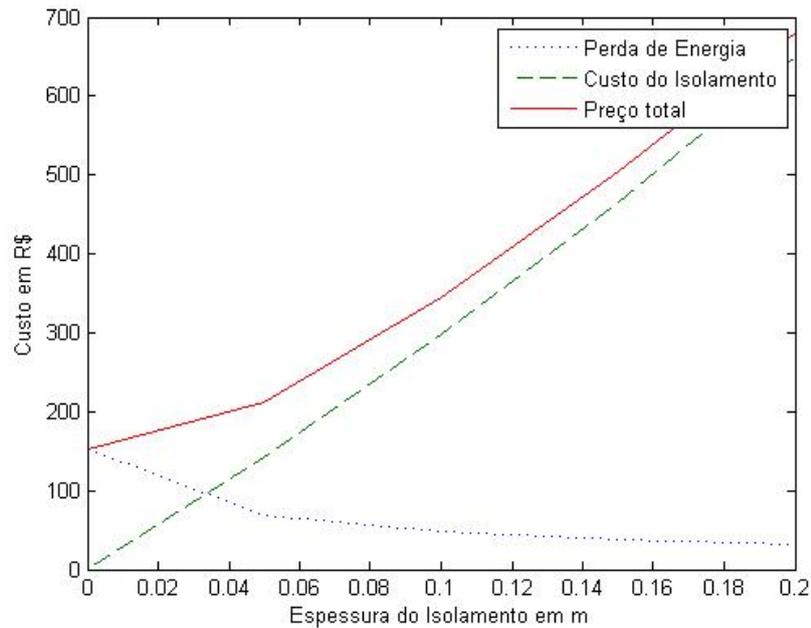


Figura 3.7: Custo da Perda de Calor das Tinas da Sala de Brassagem por metro de isolamento.

Contudo, o isolamento das tinas da sala de brassagem apresentam vantagens de processo, analisando a Figura 3.7 observa-se uma variação da perda de calor decrescente após 0,1 m de isolamento, portanto, o isolamento térmico selecionado é de 0,1 m.

O gasto energético anual por metro de tubulação quente foi calculado por meio da rotina `isolamentotubquente.m`. A Figura 3.8 demonstra os valores de custo anual por metro com perda de energia:

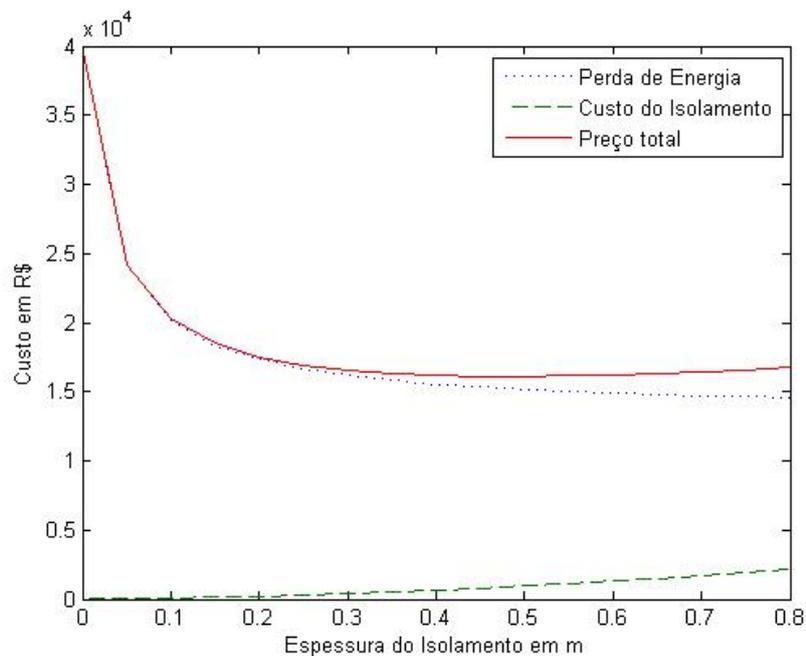


Figura 3.8: Custo da Perda de Calor das Tubulações de Vapor por metro de isolamento.

O isolamento crítico é de 0,5 metros, mas é observada diminuição da eficiência a partir de 0,2 m de isolamento.

3.3.2.2 Isolamento dos tanques e tubulação refrigerante

O preço do isolamento dos tanques e tubulação de refrigerante se dá pelo EER dos chillers centrais assim como com o preço da energia elétrica. Como estabelecido no 3.4.4 o preço do kWh é 0,6611381 R\$/kWh, com um chiller industrial de COP = 5. Para as horas de funcionamento utiliza-se a Equação 3.2:

$$\text{Dias por Mês} \times \text{Horas por dia} \times \text{Número de Fermentadores ativos} \times \text{Mêses por ano} \quad (3.2)$$

$$30 \times 24 \times 9 \times 12 = 77760 \text{ horas por ano ou } 280 \times 10^6 \text{ segundos}$$

A rotina no MatLab `isolamentotanque.m` foi utilizada para o cálculo da espessura econômica de isolamento nos tanques de fermentação e maturação, seu valor é: 0,15 metros. A Figura 3.9 demonstra os valores obtidos para custo anual com perda de energia e custo do isolamento:

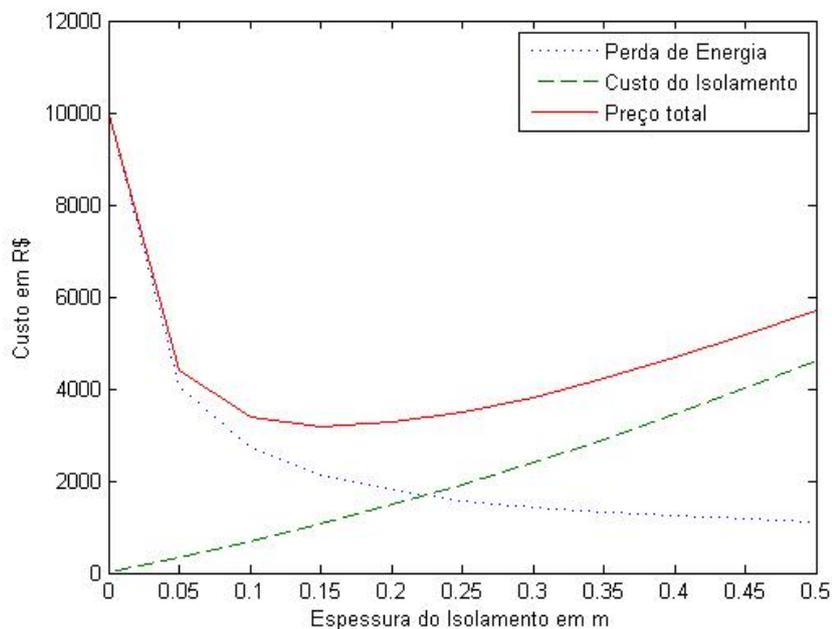


Figura 3.9: Custo da Perda de Calor dos Tanques de Fermentação e Maturação por metro de isolamento.

O gasto energético anual por metro de tubulação fria foi calculado por meio da rotina `isolamentotubfrio.m`. A Figura 3.10 demonstra os valores de custo anual por metro com perda de energia:

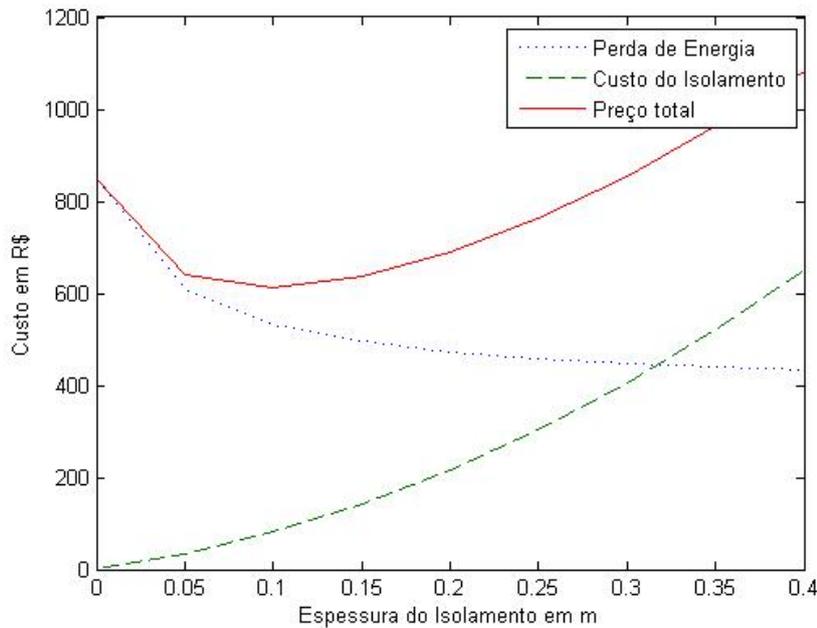


Figura 3.10: Custo da Perda de Calor das Tubulações de Refrigerante por metro de isolamento.

O isolamento crítico será 0,1 metros.

3.3.3 Sistemas de aquecimento e resfriamento

As vazões, velocidades e diâmetro das tubulações de transporte de refrigerante e vapor estão representadas na Tabela 3.6 a seguir:

Tabela 3.6: Necessidade do sistema de resfriamento.

Fluido	Processo	Velocidade	Vazão	D. Calculado	Selecionado
Refrigerante	Fermentação	1,8m/s	0,1 m^3/s	34 mm	DN 40
Refrigerante	Maturação	1,8m/s	0,08 m^3/s	29 mm	DN 40
Refrigerante	Resfriamento Mosto	1,8m/s	0,26 m^3/s	94mm	DN 100
Vapor	Aquecimento	30m/s	0,33 m^3/s	7mm	DN 10
Vapor	Fervura	30m/s	2,2 m^3/s	47mm	DN 50

3.3.3.1 Aquecedores a vapor

Para o cálculo do aquecedor a vapor foi utilizado o método descrito em 2.6.

Foi então feita a rotina de MatLab `tcfervura.m` para se obter a troca de calor em um trocador de casco e tubos. A tubulação interna, de mosto, é de 25mm de diâmetro e o fluxo, de 1 l/s. Para as propriedades do mosto foram utilizadas a da água. O diâmetro externo do casco é de 600mm. Serão necessários 25 tubos que a fervura aconteça de forma desejada. Serão necessários 1,3 kg/s de vapor para se alcançar um aquecimento de 3,27 MW.

Para o aquecimento do mosto foi feita a rotina `tcaquecimento.m`. É utilizado um trocador de casco e tubo. O diâmetro do tubo é de 25mm e do casco 200mm. A temperatura de entrada do mosto possui temperatura de $20^{\circ}C$ e de saída $70^{\circ}C$.

Foi então feita a rotina de MatLab `tcfervura.m` para se obter a troca de calor em um trocador de casco e tubos. Serão necessários 25 tubos que a fervura aconteça de forma desejada. Serão necessários 1,3 kg/s de vapor para se alcançar um aquecimento de 3,27 MW.

Para o aquecimento do mosto foi feita a rotina `tcaquecimento.m`. O calor absorvido pelo mosto será 517kW e a vazão de vapor 0,2 kg/s. A tabela 3.7 resume as necessidades do sistema de aquecimento:

Tabela 3.7: Necessidade do sistema de aquecimento.

Equipamento	Nº de Tubos	D casco	Carga Térmica	Vazão de Vapor
Tina de mostura	1	200 mm	517 kW	0,2 kg/s
Tanque de água quente	1	200 mm	517 kW	0,2 kg/s
Tina de Fervura	25	600 mm	3270 kW	1,3 kg/s
Total			4,3 MW	1,7 kg/s

3.3.3.2 Resfriadores a etileno glicol

A vazão necessária de refrigerante foi calculada por meio de rotinas no MatLab `tcrmaturacao.m`, `tcrtanque.m` e `tcrmosto.m`, utilizando o método DTML.

A quantidade de calor retirada necessária é de 46 MJ por tanque de 10 hl. É considerado que toda a energia gerada é absorvida pela cerveja esse tanque tem temperatura final de $31^{\circ}C$. Considerando a troca de calor entre o refrigerante Etileno Glicol a uma temperatura inicial de $-10^{\circ}C$ e uma temperatura final de $0^{\circ}C$ temos que a vazão necessária de refrigerante para um trocador de casco e tubo com diâmetro de tubo de 32mm e diâmetro de casco de 40mm é de 0,05kg/s.

Para o caso da diminuição da temperatura durante a maturação a vazão de refrigerante necessária para diminuir a temperatura da cerveja de $20^{\circ}C$ para $0^{\circ}C$ é necessário 0,11kg/s com a temperatura de saída do refrigerante de $-3^{\circ}C$.

No caso de resfriamento do mosto da tina de fervura temos que a vazão de refrigerante é 0,11 kg/s.

A tabela 3.8 resume as necessidades do sistema de resfriamento:

Tabela 3.8: Necessidade do sistema de resfriamento.

Processo	Nº de Tanques	Temp. Entrada	Temp. Saída	Carga Térmica	Vazão de Refrig. rante
Fermentação	10	-10°C	0°C	12kW	0,05 kg/s
Maturação	10	-10°C	-3°C	5kW	0,11 kg/s
Resfriamento Mosto		-10°C	20°C	31kW	0,28 kg/s

3.3.4 Perdas de Carga

Os acessórios e conexões presentes nas linhas de tubulações estão expressos na Tabela 3.9. As informações de comprimento, diâmetro e velocidade na maior secção estão apresentados na Tabela 3.10. O fator de atrito e as perdas de cargas local e contínua, em m, foram calculadas e estão apresentadas na Tabela 3.11.

Tabela 3.9: Acessórios de cada sistema de tubulações.

Tubulação	Água	Mosto e Cerveja	Vapor	Condensado	Refrigerante
Tê saída bilateral	0	0	0	0	2
Tê passagem direta	0	0	2	2	3
Tê saída de lado	0	0	1	1	1
Válvula de de globo	1	0	1	1	1
Cotovelo 90	2	0	1	1	2
Válvula de segurança	0	0	1	0	0
Junção	2	2	2	2	2
Válvula de Borboleta	0	1	0	0	0

Tabela 3.10: Informações das tubulações.

Tubulação	Diâmetro [mm]	Velocidade [m/s]	Comprimento [m]
Água	20	2,5	5
Mosto e Cerveja	65	3	12,5
Vapor	50	30	5,5
Vapor Condensado	30	2,5	3,6
Refrigerante	35	1,8	14,5

Tabela 3.11: Perdas de Cargas dos Sistemas.

Tubulação	f	L [m]	J_{cont} [m]	ΣK	J_{local} [m]	Total [m]
Água	0,0269	5	2,2	12,6	4,0	6,2
Mosto e Cerveja	0,0239	1,5	2,1	0,95	0,4	2,5
Linha de Vapor	0,0227	5,5	114,7	15,4	707,1	821,8
Vapor Condensado	0,0241	3,6	0,9	12,9	4,1	5,0
Linha de Refrigerante	0,0295	14,5	2,0	18	3,0	5,0

3.3.5 Sistemas mecânicos

A avaliação do fator de segurança, foi feita uma análise semiquantitativa de fatores de penalização. Essa penalização varia entre 0 a 4 para cada tópico a ser analisado. Esses fatores de penalização (NPs) têm o significado, mostrado na Tabela 3.12:

Tabela 3.12: Significado de cada fator de penalização.

NP = 1	Mudança levemente necessária de n_d
NP = 2	Mudança moderadamente necessária de n_d
NP = 3	Mudança fortemente necessária de n_d
NP = 4	Mudança extremamente necessária de n_d

Caso se necessite elevar o fator de segurança, atribui-se um sinal positivo (+) ao número de penalização e em caso de redução atribui-se um sinal negativo (-) ao número de penalização escolhido, como mostrado na Tabela 3.13. Então é calculado a soma algébrica, t , dos oito números de penalização. Assim, o fator de segurança necessário é dado pela Equação 3.3:

$$n_d = 1 + \frac{(10 + t)^2}{100}$$

para

$$t \geq -6 \quad (3.3)$$

Tabela 3.13: Fatores de penalização.

Fator de Penalização	Penalização Seleccionada
1 Conhecimento preciso do Carregamento	1
2 Cálculo preciso das tensões	1
3 Conhecimento preciso da Resistência	-1
4 Necessidade de conservação	1
5 Gravidade das consequências de falha	0
6 Qualidade de Fabricação	0
7 Condições de Operação	1
8 Qualidade da inspeção/manutenção	0

$$f = 1 + 1 - 1 + 1 + 0 + 0 + 1 + 0 = 3$$

$$n_d = 1 + \frac{(10 + 9)^2}{100} = 2,7$$

Portanto o fator de segurança adotado para esse projeto é igual a 2,7.

3.3.5.1 Espessura das tinas

O carregamento crítico da tina ocorre na base da tina na parte central. O carregamento foi considerado distribuído uniforme com magnitude de 1200kg, resultando em uma pressão de 10,4 kPa sobre a base. Como a base é circular seu ponto de maior tensão é no meio da tina. Utilizando a equação da tensão e deformação máxima de placas circulares podem ser calculadas pelas Equações 3.4, 3.5 e 3.6.

$$\sigma_{max} = \frac{3(1 + \nu_{poi})pr_o^2}{8h^2} \quad (3.4)$$

$$y_{max} = \frac{pr_o^4}{64D} \quad (3.5)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (3.6)$$

Em que:

- R_o é o raio da tina em m;
- p é a pressão uniforme do carregamento em Pa;
- ν_{poi} é o módulo de Poisson;
- E é o módulo de elasticidade em Pa;
- h é a espessura da placa em m;
- σ_{max} é a tensão máxima em Pa;
- y_{max} é a deformação máxima

Utilizando uma rotina do MatLab `dmtina.m` foram calculados os valores utilizando o método da tensão máxima, sendo $n_d = 2,7$, o limite de elasticidade do AISI 304 é de 215MPa, e da deformação máxima, sendo a deflexão máxima permitida de 1%. O valor mínimo da espessura segundo esses métodos está representado na Tabela 3.14:

Tabela 3.14: Espessura da base da tina.

Equipamento	Método	Espessura	δ_{max}	y_{max}
Tina	Deformação	33 mm	1,7MPa	1%
Tina	Tensão	5 mm	80 MPa	200%
Fundo Falso	Deformação	22 mm	0,7MPa	1%
Fundo Falso	Tensão	2 mm	80 MPa	115%

A espessura da base será no mínimo 33mm. Para as demais partes da tina, será utilizada espessura semelhante. Foi calculada também a espessura necessária para o fundo falso de carregamento 200kg/m² utilizando o mesmo método, cuja espessura mínima deverá ser 22 mm.

3.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise da viabilidade econômica é necessário estipular a receita bruta, impostos e custos para a abertura e manutenção da fábrica. Em sequência, é utilizado o método de VPL e TIR para se analisar a melhor configuração financeira.

3.4.1 Potencial local de instalação

O potencial local de instalação área construída de 13 por 8 metros localizado na Chácara Santa Maria, lote 31, Núcleo Rural Rio Preto, Planaltina-DF, Cep 73.390-200. Nesse terreno não é necessário o pagamento de aluguel.

3.4.2 Receita Bruta

A receita bruta foi calculada produzindo-se duas vezes em cada fermentador presente na fábrica por mês. Segundo [Kunze e Manger \(1999\)](#) a capacidade nominal de uma cervejaria seria duas produções diárias em 20 dias úteis por mês com o aproveitamento de 91% da capacidade do fermentador, calculado pela Equação 3.7. Para uma fábrica com a sala de brassagem de 5hL, por exemplo, temos:

$$\text{Capacidade/brassagem} \times \text{Produções diárias} \times \text{Dias Úteis} \times 91\% \times \text{Preço por L} \quad (3.7)$$

$$= 500 \times 2 \times 20 \times 91\% \times \text{Preço por L} = R\$18.200,00 \times \text{Preço por L por mês ou}$$

$$R\$218.400,00 \times \text{Preço por L por ano}$$

Contudo, não foi considerado que a cervejaria comece com a capacidade máxima e sim em um sistema de expansão anual. Dessa forma, a cervejaria é inaugurada com 4 Tanques Fermentadores e expande mais 2 a cada ano subsequente até sua capacidade máxima de 10 Tanques Fermentadores (a partir do quarto ano).

3.4.3 Custos Fixos

Para os custos fixos anuais foram considerados:

- O salários de três trabalhadores (conforme [SEBRAE \(2018\)](#)) ganhando R\$4.000,00 por mês e décimo terceiro, totalizando R\$156.000,00 por ano;
- Os encargos dos salários calculados como 80%, totalizando R\$124.400,00 por ano;
- O contador ganhando R\$700,00 por mês e décimo terceiro, totalizando R\$9.100,00 por ano.

3.4.4 Custos Variáveis

Para os custos variáveis anuais foram considerados:

- Energia elétrica de 13,6 kWh/hL para a produção total de cerveja conforme [Kunze e Manger \(1999\)](#), nos quais a tarifa é 0,6611381 R\$/kWh por mês, resultando em R\$8,99147816 por hl produzido;
- Abastecimento de água de R\$74,80 para os primeiros 100hl e R\$11,28 para cada 10hL adicional por mês considerando-se gasto de 6hL de água gasto por hL final de cerveja produzido;
- Insumos:
 - O malte foi considerado R\$150,00 por hL produzido;
 - O lúpulo foi considerado R\$ 85,00 por hL produzido;
 - A levedura foi considerada R\$ 88,00 por hL produzido.

3.4.5 Investimentos

Os investimentos iniciais são:

- Obras Civas e Instalações com o valor de R\$150.000,00;
- Sala de Brassagem com valor de R\$ 60.000,00 por hL produzido;
- Móveis e Utensílios com valor de R\$5.000,00;
- Barris de Inox para envaze, sendo necessários 3 barris por hL produzido mensalmente e 20% extra da quantidade de barris (para eventuais necessidades extras) sendo cada barril R\$500,00, resultando em R\$1.800,00 por hL produzido mensalmente;
- Tanques de Fermentação de R\$40.000,00 cada.

Também são necessários despesas pre-operacionais, elas são:

- Despesas para a abertura da empresa, R\$700,00;
- Alvarás de funcionamento, R\$200,00;
- Logomarca, R\$ 1000,00;
- Website, R\$ 1.000,00;
- Divulgação, R\$ 5.000,00.

3.4.6 Despesas Operacionais

Para as despesas operacionais foram incluídos:

- Depreciação de 4% para as instalações e de 10% para os demais investimentos;
- Manutenção de 5% para as instalações e de 1% para os demais investimentos;
- Seguro de 1% para todos os investimentos.

3.4.7 Impostos

Os impostos considerados foram:

- Imposto sobre a receita, 15%;
- Provisão Contribuição Social, 9%;
- Provisão para Imposto de Renda, 25%.

3.4.8 Análise do volume de produção

Para o volume de produção foram feita a análise de quatro capacidades de produção distintas. Elas estão contidas na Tabela 3.15.

Sala de Brassagem	250L	500L	750L	1000L
Produção Anual	120.000L	240.000L	360.000L	480.000L
Investimento Inicial	1,05 milhões	1,46 milhões	1,88 milhões	2,29 milhões
Lucro do 4º Ano	147 mil	571 mil	1 milhão	1,43 milhões
Payback Real em Anos	5,78	4,69	4,32	4,12

Tabela 3.15: Tabela comparativa da capacidade de produção anual; investimento inicial; lucro do quarto ano (L4) e payback real em anos.

O lucro anual, considerando o investimento inicial, investimentos anuais, capital de giro necessário estão mostrados na Figura 3.11.

3.4.9 Análise econômica

A análise financeira é feita utilizando o método de análise de Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL).

O VPL é calculado como a soma dos fluxos de caixa na data focal zero, ou seja, é decidido uma taxa de retorno anual para o investimento e dividido o valor do fluxo por

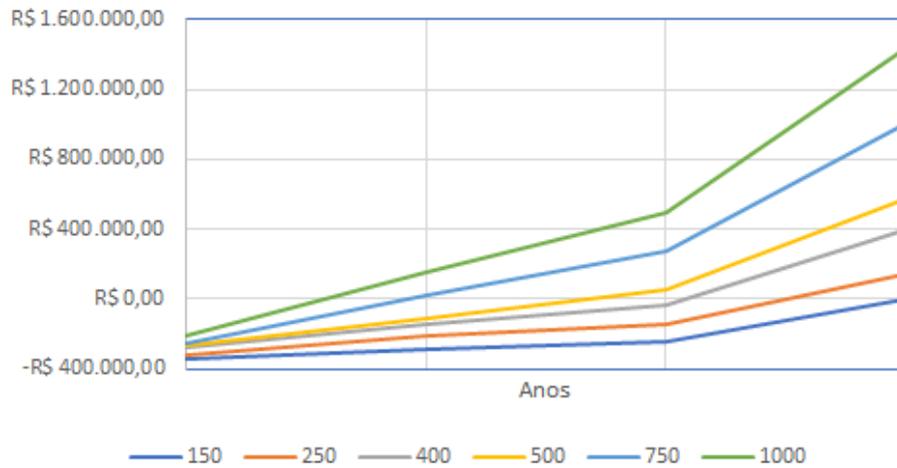


Figura 3.11: Lucro por ano para cervejarias com sala de brassagem distintas.

essa taxa elevada ao número de anos. Seu cálculo é feito pela Equação 3.8.

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (3.8)$$

Em que:

- VPL é o valor presente líquido em R\$;
- FC_j é o fluxo de caixa no determinado ano em R\$;
- i é a taxa de retorno;
- FC_0 é o investimento inicial em R\$.

Analisando o valor do VPL pode-se comparar com maior facilidade a taxa de retorno, de modo que:

- Se $VPL > 0$ investimento é atrativo;
- Se $VPL = 0$ investimento é indiferente;
- Se $VPL < 0$ investimento não é atrativo.

De forma similar, caso se iguale o VPL a zero pode-se encontrar o valor da taxa de retorno máxima, ou seja, a TIR, calculado pela Equação 3.9.

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} - FC_0 = 0 \quad (3.9)$$

O estudo de viabilidade econômica consiste na variação dos preços de venda entre R\$5,00 por litro até R\$20,00, com variação de R\$1,00.

A TIR e fluxo de caixa calculados com o sistema de expansão anual para os diferentes preços de venda por litro está representada na Figuras 3.12 e 3.13, respectivamente.

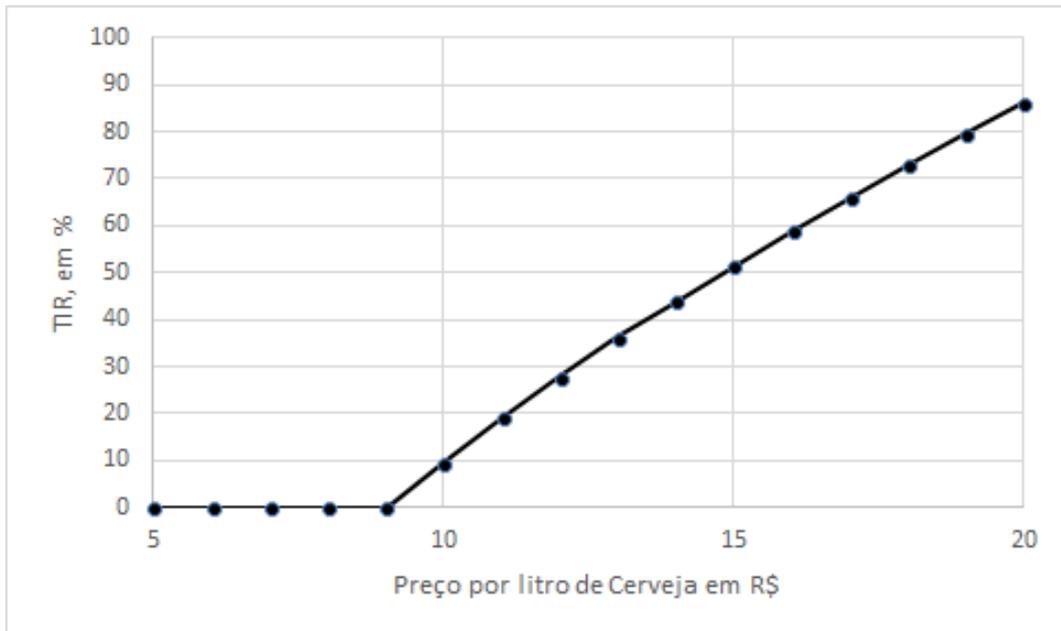


Figura 3.12: Variação da TIR com o preço de venda da cerveja.

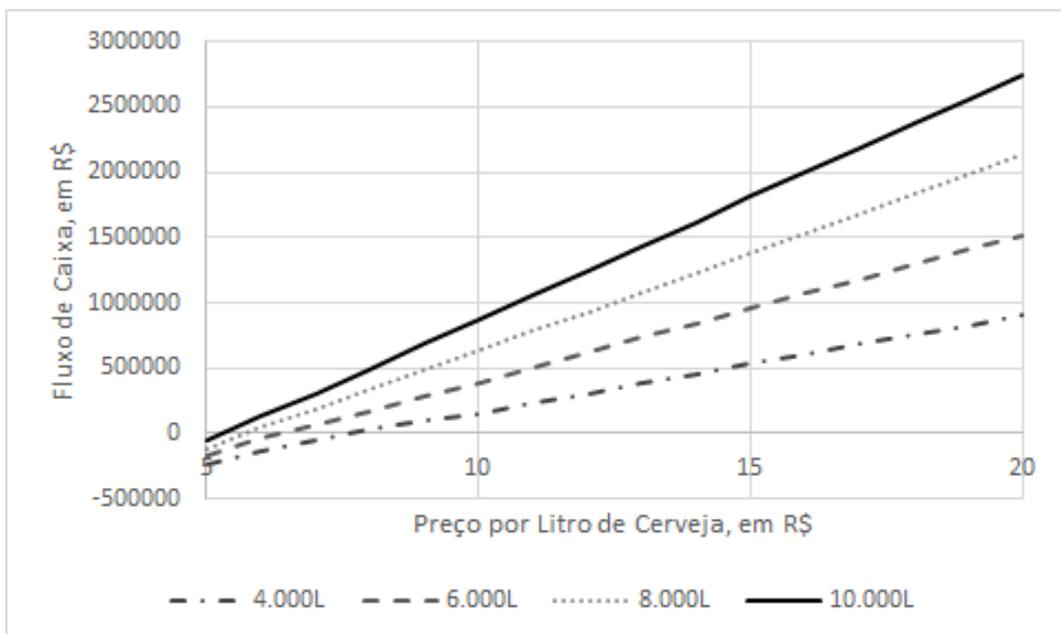


Figura 3.13: Variação do fluxo de caixa anual com o preço de venda da cerveja e quantidade de tanques.

Outra análise foi feita considerando o funcionamento da fábrica em condições diferentes da produção máxima, desse modo pode-se analisar a relação entre taxa de retorno, preço de venda da cerveja e capacidade máxima nos tanques, independente dos investimentos para expansão. A Figura 3.14 representa essa variação.

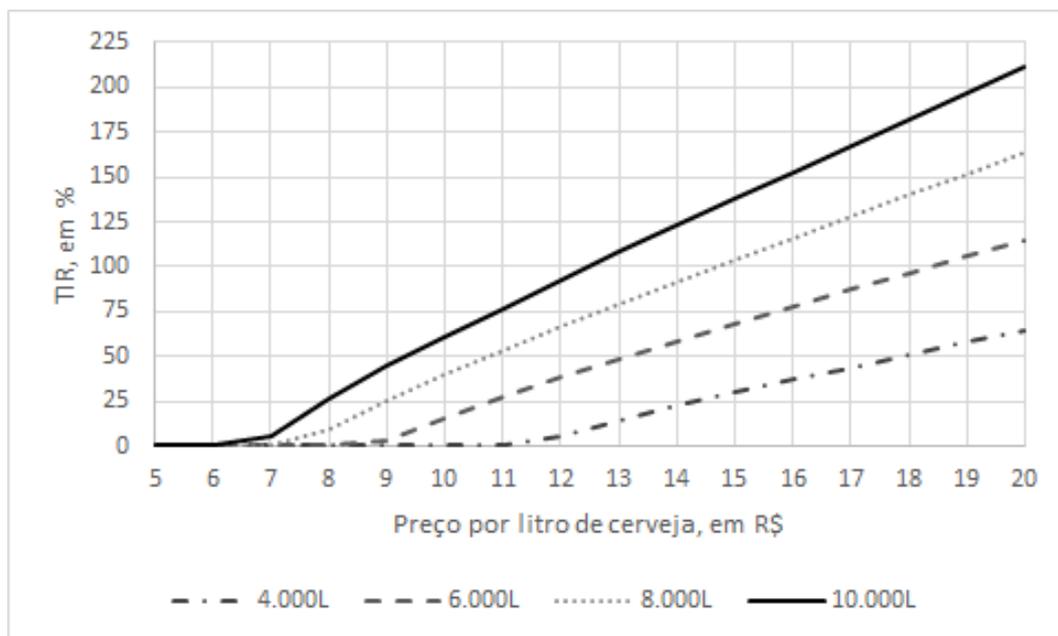


Figura 3.14: Variação da TIR com o preço de venda da cerveja e quantidade de tanques.

A figura 3.14 mostra a relação entre taxa de retorno, preço do litro e capacidade de produção. Nela, pode ser observado o preço necessário do litro da cerveja para a desejada taxa de retorno. Utilizando uma taxa de retorno de 25% ao ano, por exemplo, é possível notar que o preço de venda do litro deve ser R\$8,00 para a produção de 10.000L, R\$9,00 para 8.000L, R\$11,00 para 6.000L e R\$14,20 para 4.000L. Nesse exemplo o retorno do investimento é igual para independente do volume de produção, ou seja, o retorno do investimento inicial será o mesmo. Isso é de suma importância, pois a expansão do negócio só é benéfica caso o produto seja absorvido pelo mercado.

3.5 LAYOUT DA FÁBRICA

O layout das fábricas também tem grande impacto no resultado. Posições em que se necessitam de uma grande tubulação (que aumenta a perda de carga, ganho ou perda de calor, maior dificuldade de sanitização) são naturalmente desvantajosos e devem ser evitados. Como, segundo MAPA Ministério da Agricultura (2000) as caldeiras devem ser dispostos em ambientes diferentes do restante da cervejaria é necessário bom planejamento para que fiquem o mais perto possível.

O método para o desenvolvimento do layout da fábrica consiste na subdivisão das área de acordo com a necessidade de espaço e mantendo o fluxo em direção constante até o envase. Essa divisão foi feita em 7 áreas.

A Figura 3.15 demonstra o layout da fábrica, localização dos equipamentos e fluxo de produção.

Toda a fábrica deve cumprir os requisitos presentes na Secção 2.4.

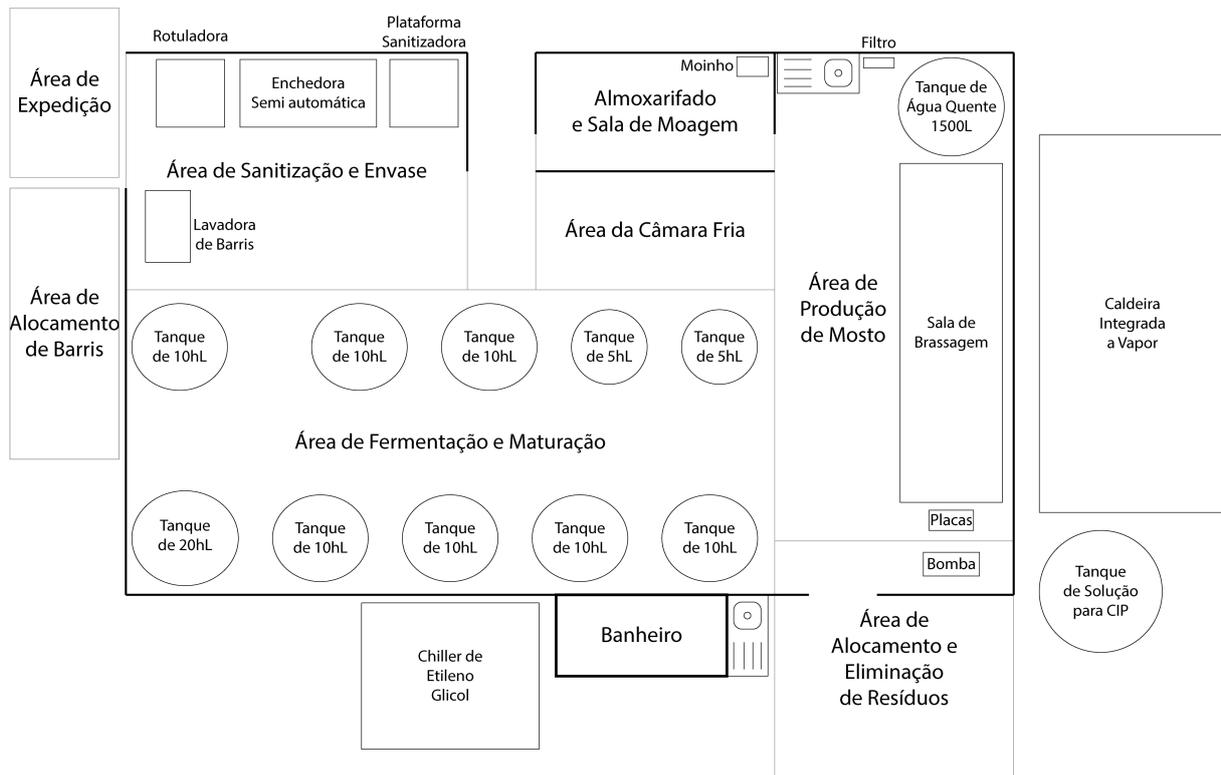


Figura 3.15: Layout e fluxograma da cervejaria.

3.5.1 Almojarifado e Sala de Moagem

Conforme o [MAPA Ministério da Agricultura \(2000\)](#), deve haver separação de área para alocação de insumos. Os insumos devem ser alojados em estrados de madeira separados das paredes. Essa sala deve possuir duas entradas com acesso por meio de portas. Dessa forma, uma das portas pode permanecer fechada durante a moagem do malte evitando possível contaminação da área de produção de mosto.

Segundo [Lelieveld, Holah e Napper \(2014\)](#) é necessário em áreas de armazenamento seco devem possuir boa impermeabilização e barreiras físicas contra a entrada de água. Essa sala também deve ter proteção contra roedores e insetos.

Essa área deve ser envolvida por paredes e possui dimensões de $3,5 \times 1,75$ m, resultando em uma área de $6,125$ m².

3.5.2 Área de Produção de Mosto

A área de produção de mosto deve ter canaletas no chão para facilitar o dreno da água. Ele possui $3,5 \times 7,2$ m resultando em $25,2$ m². Contudo, pela grande quantidade de equipamentos presentes a parte livre será de $7,2 \times 2$ m, resultando em uma área de $14,4$ m².

Essa área deve possuir, conforme o [MAPA Ministério da Agricultura \(2000\)](#) insta-

lações para a lavagem das mãos no local de produção com os materiais necessários para a higienização das mãos. Essa instalação possui dimensões de $1,2 \times 0,6$ m podendo ser utilizada também como bancada de apoio.

3.5.3 Área de Alocamento e Eliminação de Resíduos

A área de eliminação de resíduos está localizada em parte na área coberta e em parte na externa. Esse resíduo, antes de sua eliminação, será armazenado nesse ambientes. A área externa de alocamento desses resíduos é de $2,7 \times 2$ m. No retorno dessa área externa se encontra uma instalação para higienização de mãos.

3.5.4 Área de Fermentação e Maturação

A área de fermentação e maturação será a maior área da fábrica, possuindo dimensões de $9,5 \times 4,5$ m e $42,75$ m². Nela é previsto a disposição de até 10 Tanques de fermentação. O arranjo dos tanques são de duas fileiras com distância de 1,5 m, com 5 tanques cada com 0,5 m entre eles. Essa área de trabalho possui dimensão de $9,5 \times 1,5$ m.

O arranjo dos tanques permite um delineamento da área e fácil acesso a diversos tanques. Ele também foi feito para se diminuir o tamanho necessário da tubulação de refrigerante. É necessário que haja um distanciamento de 1,2 m entre dois tanques para facilitar o acesso dessa área para a área de sanitização e envase.

3.5.5 Área de Sanitização e Envase

A área de sanitização possui dimensões $5 \times 3,5$ m. Nela estão localizados as plataformas de sanitização de barris e garrafas, a enchedora de garrafas e rotuladora. A área útil é de $4 \times 2,4$ m.

Essa área deve possuir uma porta de correr a qual será utilizada para a entrada dos equipamentos durante a montagem da fábrica. Essa porta também será utilizada para o escoamento de produtos.

3.5.6 Área de Alocamento de Barris e Expedição

Essa área não é necessária para o funcionamento da fábrica, porém são necessários 30 barris para cada tanque de 10hL. Como a área interna não comporta essa quantidade, é necessário a utilização de uma área externa.

3.5.7 Banheiro

A área de banheiro deve ser localizada na área externa à fábrica, ele possui dimensões de $2,5 \times 1,2$ m. Ela possui proximidade suficiente um rápido acesso, mas distância suficiente para evitar contaminação. No retorno do banheiro à fábrica foi posicionado uma instalação para sanitização de mãos.

3.5.8 Área da Câmara Fria

A câmara fria é de importante auxílio para a cervejaria. Uma área foi designada para a possível instalação. Essa câmara fria possuirá dimensões de $3,5 \times 1,75$ m, similar ao Almojarifado. Nessa câmara fria será armazenado insumos que necessitam de refrigeração, como lúpulo e leveduras, além de produtos envasados.

3.5.9 Tubulações

As Figuras 3.16, 3.17, 3.18 e 3.19 esquematizam a posição e maiores comprimentos das tubulações da linha de refrigerante, retorno de refrigerante, linha de vapor e condensado, e linha de cerveja, respectivamente.

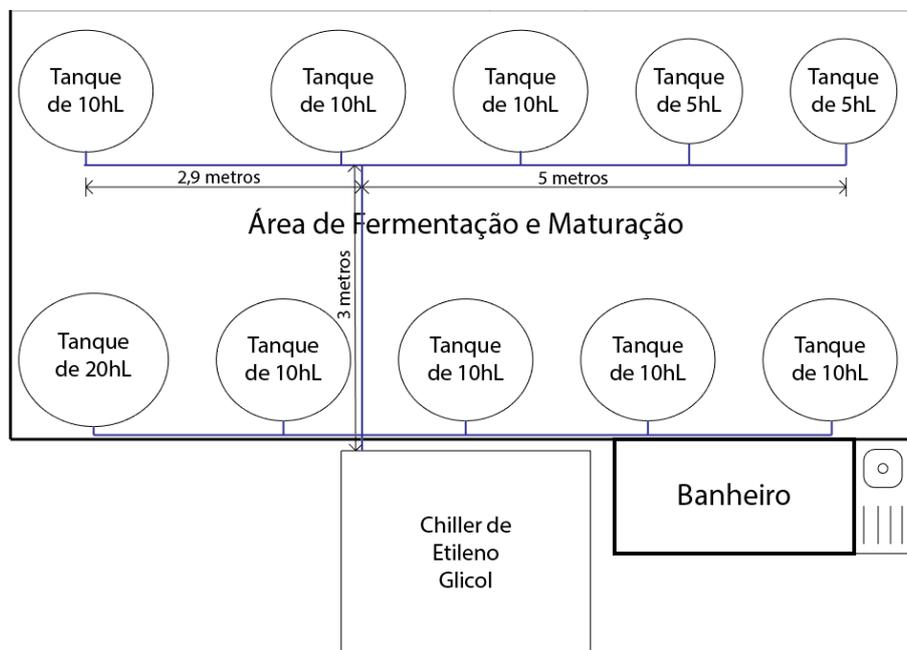


Figura 3.16: Layout da tubulação de refrigerante.

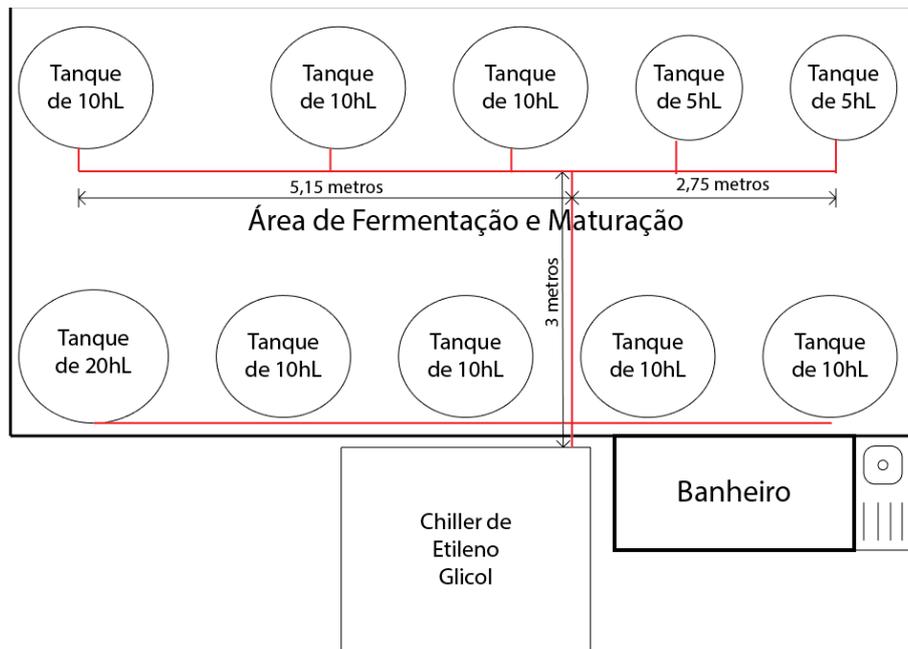


Figura 3.17: Layout da tubulação de retorno do refrigerante.

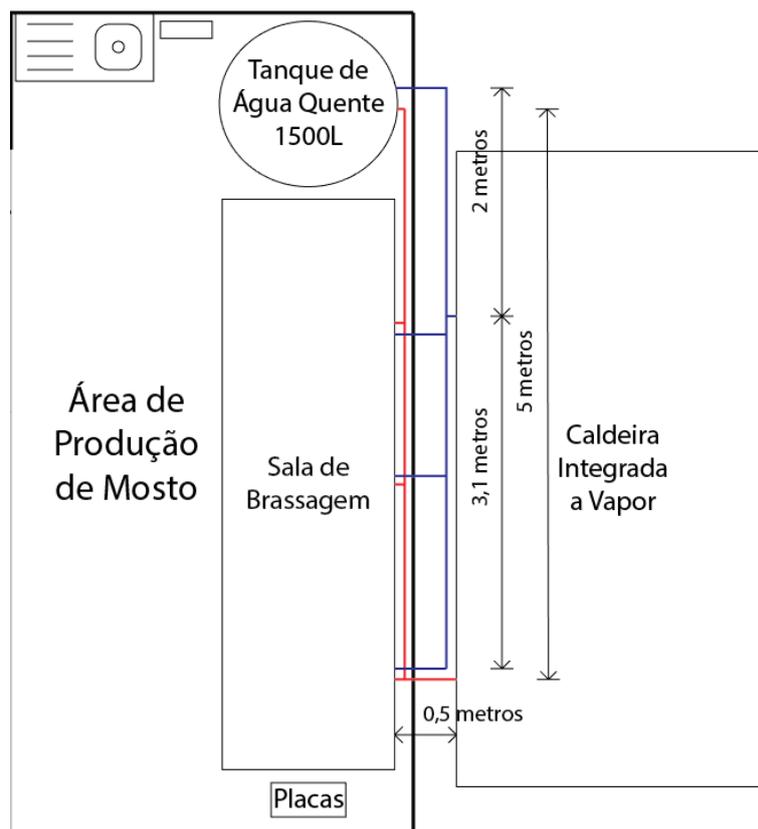


Figura 3.18: Layout da linha de vapor e condensado.

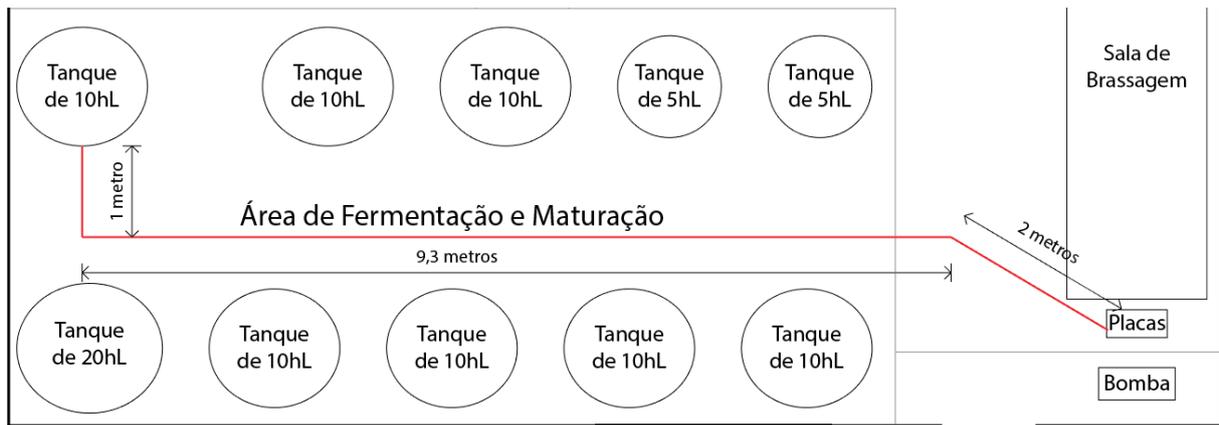


Figura 3.19: Layout da linha de cerveja.

4 DISCUSSÃO

São discutidos neste capítulo viabilidade técnica e econômica da planta da Serra Inox de 500L. Serão apresentados os principais pontos positivos e negativos, parâmetros e ausência de informações técnicas dessa proposta.

4.1 IMPORTÂNCIA DE UMA PLANTA PILOTO

O projeto de equipamentos para indústrias alimentícias, como citado por [Lelieveld, Holah e Napper \(2014\)](#) e [Kunze e Manger \(1999\)](#), necessita de foco em sanitização. Como discutido na Secção 2.1, a facilidade de sanitização é uma vantagem de mercado a longo prazo para empresas. Existem diversos critérios para a obtenção de um design higiênico, contudo todo novo projeto deve ser amplamente testando.

A escolha de empresas consolidadas no mercado cervejeiro apresenta alto valor agregado, sendo que seus projetos já foram testados por diversos consumidores. Dessa forma, a seleção dos equipamentos da Serra Inox apresenta um ganho quando comparada a empresas de menor porte, ou menos consolidadas, mesmo possuindo um custo inicial mais alto.

4.2 VIABILIDADE TÉCNICA

Seguindo as visitas técnicas a decisão dos parâmetros da cervejaria depende de uma análise de viabilidade, conhecimento sobre o produto, fornecedores, etc. Com as informações coletadas, é possível realizar uma matriz de decisão que clarifica o peso de cada opção de projeto, cada um com seu devido peso de decisão. Nesta seção, será sintetizado as possíveis opções e suas aplicabilidades.

4.2.1 Moinho de Malte

O moinho presente na proposta possui capacidade de 150kg/h, par de rolos ranhurados revestidos em cromo-duro, moega de recebimento em aço inox com regulagem de abertura de rolos. Considerando o uso de 100kg de malte para cada produção de 5hL

serão necessários aproximadamente 40 minutos para a moagem do malte. Tendo a moega capacidade de 5kg, ela deverá ser alimentada a cada 2 minutos.

Com duas produções diárias, será necessário a ocupação de um funcionário por 1 hora e 20 minutos por dia, apenas para a moagem do malte. Isso pode ser facilitado aumentando-se a produtividade do moinho ou aumentando-se a capacidade da moega.

A seleção de um moinho de capacidade maior implica em maiores gastos iniciais e operacionais, contudo permite que esse processo seja realizado gastando-se menos tempo. O aumento da produtividade também implica em mais riscos ao operador.

Por outro lado, o aumento na capacidade da moega possibilita que o operador faça duas atividades simultaneamente, podendo encher a moega com uma quantidade maior de malte, que nessa mesma produtividade acarretará em maior tempo até o esvaziamento, proporcionando mais liberdade ao operador. Isso, contudo, pode ocasionar baixa inspeção do material e possível contaminação.

A Tabela 4.1 apresenta a matriz de decisão para as soluções propostas.

Tabela 4.1: Matriz do moinho.

PARÂMETROS PESOS	Custo 0,1	Segurança 0,5	Produtividade 0,2	Capacidade 0,2	Total 1
Serra Inox	7	7	5	5	6,2
Maior Moega	5	3	5	7	4,4
Maior Produtividade	3	6	7	5	5,7

4.2.2 Sala de Fabricação

As configurações da sala de brassagem podem ser:

- Sala de 2 Tinhas:

Composta de uma tina de mostura e separação e uma tina de fervura e *whirlpool*. Utilizada pela cervejaria Duque Brewpub (PT - Lisboa). Outra produção pode ser iniciada depois da lavagem dos grãos, diminuindo em torno de 1 hora e meia de produção para a segunda leva. A tina de fervura e *whirlpool* permite o aquecimento da água para ser utilizado na lavagem dos grãos. Normalmente não apresentam agitadores, ou apenas apresentam um dos dois tipos (ou 2.5 ou 2.6), o que diminui a eficiência de extração.

- Sala de 2 Tinhas e tanque de água quente:

Composta de uma tina de separação, uma tina de mostura, fervura e *whirlpool* e um tanque de água quente. Utilizada pela cervejaria Ghesti (DF). Outra produção só pode ser iniciado depois da finalização da primeira brassagem. Possui melhor eficiência do que a sala de 2 tinhas por possuir os agitadores necessários para

cada processo. O tanque de água quente também funciona como armazenamento de energia térmica, aumentando a eficiência energética e permitindo o controle de pH e adição de sais na água de lavagem.

- Sala de 3 Tinhas:

Composta de uma tina de mostura, uma tina de separação e uma tina de fervura e *whirlpool*. Utilizada pela cervejaria JinBeer e Cruls. Outra produção pode ser iniciada depois da lavagem dos grãos diminuindo em torno de 1 hora e meia de produção para a segunda leva. É necessário utilizar a tina de mostura para aquecer a água da lavagem dos grãos. Possui os agitadores necessários.

- Sala de 3 Tinhas e tanque de água quente:

Composta de uma tina de mostura, uma tina de separação, uma tina de fervura e *whirlpool* e um tanque de água quente. Utilizada pela cervejaria Máfia e Stadt. A segunda produção pode ser iniciada na metade do processo da Tina de Clarificação, levando a uma redução de 3 horas para a segunda produção. A água da lavagem dos grãos é aquecida no tanque de água quente, no qual pode-se controlar o pH e adicionar sais. Possui os agitadores necessários.

A proposta da Serra Inox de 500L possui a configuração de 3 tinhas. Nessa matriz de decisão ele foi a segunda pior decisão. Ainda assim, é possível se obter essa tina e um tanque de água quente e conseguir a melhor configuração. Como a sala de brassagem proposta possui sistema de aquecimento instantâneo de água, por meio de trocadores de calor na entrada das tinhas a capacidade de produção será a mesma de um sistema de três tinhas com tanque de água quente e o custo operacional será intermediário entre sistemas de três tinhas e de três tinhas com tanque de água quente. Isso, contudo, não permite a adição de sais na água de lavagem. Por isso, a aquisição de um tanque de água quente, como previsto no layout, pode igualar esse sistema à melhor opção.

A Tabela 4.2 apresenta a matriz de decisão para as configurações possíveis.

Tabela 4.2: Matriz de decisão da configuração da sala de brassagem.

PARÂMETROS	Custo Inicial	Custo Operacional	Produtividade	Total
PESOS	0,2	0,4	0,4	1
Duas Tinhas	7	4	3	4,2
Duas Tinhas e TAQ	6	6	4	5,2
Três Tinhas	4	4	6	4,8
Três Tinhas e TAQ	3	6	8	6,2
Serra Inox	2	5	8	5,6
Serra Inox e TAQ	1	7	8	6,2

4.2.3 Volume dos Tanques de Fermentação e Maturação

Segundo [Kunze e Manger \(1999\)](#) o volume dos tanques de fermentação e maturação devem ser o suficientes para serem enchidos em um dia de trabalho. Considerando, então, que os tanques serão selecionados para que se necessite de duas brassagens diária temos que o volume mensal será: $0,91 \times 20 \times 2 \times \text{Volume da Sala de Brassagem}$ (com 91% de aproveitamento e 20 dias de trabalho mensais com 2 brassagens diárias para uma jornada de 12h de trabalho).

Quanto ao processo de fermentação a possibilidade de se fazer toda parte do processo sem a necessidade de se trocar de tanque possui uma grande vantagem. Isso não só diminui a chance de contaminação, como economiza tempo e previne que a cerveja seja potencialmente oxigenada (inerentes a toda manobra executada).

Analisando-se a capacidade dos tanques de fermentação e maturação, têm-se que: quão maior for o volume de produção em proporção à sala de brassagem, maior será a chance de estratificação da fermentação. Isso pode impactar na qualidade final da cerveja ou até mesmo inviabilizá-la, contudo como é possível o enchimento do tanque no período de dois dias esse risco é reduzido.

Os maiores tanques ocupam área na fábrica semelhante aos menores tanques, contudo menos são necessários para se atingir a produtividade máxima. Isso é uma vantagem, pois possibilita um melhor deslocamento na fábrica e a aquisição de mais equipamentos.

Em contrapartida, quão maior for o tanque, menos atrativo ele é para produções terceirizadas. Com isso, tanques pequenos podem ser utilizados mais facilmente para cervejarias ciganas, prevenindo tempos em desuso do volume de produção.

A Tabela 4.3 apresenta a matriz de decisão para os volumes dos tanques.

Tabela 4.3: Matriz de decisão do volume dos tanques de fermentação e maturação.

PARÂMETROS PESOS	Estratificação 0,1	Área Ocupada 0,6	Variedade 0,3	Total 1
500L	8	4	8	5,6
1000L	7	6	5	5,8
2000L	3	8	2	5,7

4.2.4 Sistema de Aquecimento

Analisando as fontes de energia térmica utilizadas em cervejaria, temos:

- Aquecimento Elétrico:

Utilizado em todo o sistema na Cervejaria Dois Corvos e na tina de mostura da cervejaria JinBeer. Possui menor preço inicial, é facilmente instalado e permite um

bom controle do fluxo de calor. Apresenta, contudo, o maior custo entre todas as opções.

- **Aquecimento à Gás:**

Utilizado na tina de Fervura da Cervejaria JinBeer. Possui custo menor do que a energia elétrica, porém maior do que o aquecimento à vapor. Também possui fácil instalação, porém necessita que o isolamento térmico da tina não esteja presente nos bicos queimadores.

- **Aquecimento à Vapor:**

É utilizado em todas as etapas da brassagem pelas cervejarias Máfia Beer, Cruls e Stadt. Ele não só possui o menor custo por energia (kJ/R\$) como também apresenta vantagens como bom controle da temperatura e rapidez no aquecimento de água, caso utilizado com um trocador de calor de placas. As desvantagens, porém, são um maior preço inicial tanto dos equipamentos para a geração de vapor, quanto para as tinas que necessitam de uma camisa de aquecimento, e os riscos associados às altas pressões. Isso acarreta na necessidade de melhores sistemas de segurança e controle. A manutenção da caldeira também necessita uma parada nesse equipamento que inviabiliza a produção na fábrica.

A Tabela 4.4 apresenta a matriz de decisão para as fontes térmicas para aquecimento.

Tabela 4.4: Matriz de decisão da fonte térmica para aquecimento.

PARÂMETROS	Inicial	Operacional	Controle	Total
PESOS	0,2	0,4	0,4	1
Elétrico	8	4	6	5,6
Gás	7	6	5	5,8
Vapor	3	8	7	6,6

A proposta da Serra Inox é totalmente adaptada para o aquecimento à vapor, todavia não apresenta reservatório de condensado, nem geradora de vapor. A carga necessária será de 4,3 MW para o funcionamento simultâneo da tina de fervura, mostura e aquecimento do tanque de água quente. A potência dessa caldeira deve ser de 6,12 toneladas de vapor por hora.

Segundo a proposta da Serra Inox, a capacidade máxima de comprimento das tubulações é de 20 metros. A tubulação de vapor possui comprimento máximo de 5,5 metros e o retorno de condensado, de 3,6 metros. A tubulação da proposta possui 3/4" de diâmetro nominal para vapor e 1/2" para condensado, elas são menor do que os 50 e 30 mm de diâmetro calculados, respectivamente. Isso implica em uma velocidade maior do fluido na tubulação e uma maior perda de carga.

A espessura do isolamento térmico não é especificado pelo fornecedor, mas deve possuir espessura mínima de 0,2 m.

4.2.5 Linha de Envase

Analisando as opções para a linha de envase, temos:

- Envase em garrafas de vidro:

É a opção que possui menor preço inicial e possibilitam a distribuição para mercados mais distantes. Contudo ela acarreta em um custo constante, tendo em vista que as garrafas não podem ser reutilizadas. As garrafas também possuem o maior tempo de envase por litro de cerveja.

- Envase em barris de chopp (ou chope):

Por serem retornáveis e possuírem vida útil de 10 anos (normalmente), os barris constam como um alto custo inicial que pode se pagar rapidamente, pois seu custo de utilização é muito baixo. Seu envase ocupa pouco espaço e permite a carbonatação forçada. Esse método, contudo, não é muito viável para mercados distantes, limitando-se a mercados locais e municipais.

- Envase em latas de alumínio:

Considerada como um método de automatizado, de alta produtividade, de baixo custo de utilização e de facilidade de distribuição em mercados distantes. Possui o custo inicial muito mais do que as outras duas opções e é pouco utilizado no Brasil.

A Tabela 4.5 apresenta a matriz de decisão para os métodos de envase.

Tabela 4.5: Matriz de decisão para os métodos de envase

PARÂMETROS	Inicial	Operacional	Produtividade	Mercado	Total
PESOS	0,2	0,3	0,3	0,2	1
Garrafas	8	3	5	7	5,4
Barris	7	7	6	5	6,3
Latas	3	5	7	7	5,6

4.2.6 Sistema de Resfriamento

Para o resfriamento do mosto a utilização de um trocador de placas de dois estágios é o ideal. Quando utilizado juntamente com um tanque de água quente é possível armazenar parte do calor para as próximas brassagens do primeiro estágio, e ainda assim economizar água variando-se o fluxo de água gelada, água e etanol ou glicol.

Outra opção é a utilização de um circuito fechado de água acoplado a uma torre de resfriamento, dessa forma a água trocada no primeiro estágio não tem sua temperatura utilizada ou armazenada em um tanque de água quente, mas o gasto de água é muito reduzido.

Quanto a unidade de refrigeração é de 34,89kW, comparando com os cálculos feitos a unidade de refrigeração teria capacidade de suprir quatro tanques de 1000L, dois na maturação e dois na fermentação. Para uma fábrica em expansão, com capacidade final de 10.000L, essa unidade não possui potência suficiente. Já a vazão de refrigerante pode ser suprida pelo tanque de glicol de 2.000L.

Segundo a proposta da Serra Inox, a capacidade máxima de comprimento das tubulações é de 20 metros. A tubulação refrigerante possui comprimento máximo de 8 metros e o retorno de refrigerante, de 8,15 metros. A tubulação da proposta possui 1" de diâmetro nominal, menor do que os 35 mm de diâmetro calculado. Isso implica em uma velocidade maior do fluido na tubulação e uma maior perda de carga.

A espessura do isolamento térmico não é especificado pelo fornecedor, mas deve possuir espessura mínima de 0,1 m.

4.3 ANÁLISE DA PROPOSTA

Nessa secção serão discutidas as principais vantagens e desvantagens da proposta.

4.3.1 Análise SWOT

Será feita uma análise SWOT dos equipamentos contemplados pela proposta da Serra Inox de 500L. A análise SWOT consiste em delimitar os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças de um sistema, projeto, planejamento ou gestão.

4.3.1.1 Pontos Fortes

A sala de brassagem da proposta da Serra Inox possui as maiores vantagens do sistema. Ela possui abertura para visualização das tinas permite a inspeção visual da tina e, junto da presença de iluminação interna permite que seja examinada a condição no interior das tinas. É um sistema único, permitindo o controle dos três processos em um único painel. É projetada para o funcionamento sinérgico de toda a sala de produção. O método de aquecimento é a vapor. O primeiro estágio da troca de calor no trocador de placas é com torre de resfriamento, reduzindo a utilização de água. Possui sistema de aquecimento instantâneo de água que permite menos gasto de tempo durante a brassagem. Já possui a instrumentação e quadro de controle de vapor inseridos na sala de produção.

Outra vantagem do sistema é a utilização de envase em barris. Os equipamentos são de simples manuseio e permitem a vazão do produto com o menor custo operacional.

Essa proposta também contempla uma bomba CIP necessária para as operações de lavagem e sanitização.

As tubulações de vapor e refrigerante possuem, além do isolamento térmico, chapas de aço inox AISI 430 que não só protegem essas tubulações como também funcionam com isolamento contra radiação térmica.

4.3.1.2 Pontos Fracos

O principal ponto fraco dessa proposta é a ausência de alguns equipamentos. A geradora de vapor, essencial para o funcionamento da fábrica, não está cotada e não apresenta indicações de capacidade necessária, condição do vapor, etc.

Outro equipamento essencial ausente é o Tanque de CIP. A manutenção do equipamento, por meio de CIP, é um dos fundamentos do controle de segurança e qualidade da cervejaria.

Outro ponto fraco é o subdimensionamento do diâmetro das tubulações de vapor e refrigerante. Isso acarreta em bombas com maiores pressões, maior perda de carga nas tubulações e maior gasto energético.

Não há a presença de nenhum sistema de filtragem ou tratamento de água proposto pelo fabricante.

4.3.1.3 Oportunidades

A principal oportunidade dessa proposta é a redução de custo e utilização da fábrica pela retirada dos equipamentos necessários para a sanitização, envase e rotulagem de garrafas.

Outra oportunidade é a troca ou adição de equipamentos não cruciais para o aumento da qualidade e eficiência. Uma das opções é trocar o moinho por outro de maior produtividade, economizando tempo durante a moagem. Outra opção, é a aquisição de um tanque de água quente que pode ser utilizado para armazenar calor recuperado durante o resfriamento do mosto e para a adição de sais para lavagem dos grãos.

4.3.1.4 Ameças

Uma ameaça dessa proposta é a falta de informações técnicas sobre a espessura dos isolamentos, vazão e pressão das bombas. Isso suscita incerteza no consumidor sobre o correto dimensionamento e funcionamento dos sistemas.

Mais adiante, há o subdimensionamento crítico da unidade de refrigeração. Isso limita a quantidade máxima de tanques presentes na fábrica e necessita ser substituído com qualquer expansão.

Comparando com os resultados obtidos no dimensionamento do corpo das tinas com o da proposta foi observado que o método utilizado foi o de tensão, ou seja, a deformação está acima de 1%.

4.4 EQUIPAMENTOS MÍNIMOS

Os equipamentos mínimos necessários para o funcionamento completo da fábrica estão representados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Equipamentos mínimos necessários para o funcionamento da cervejaria. Os valores marcados com (*) foram retirados de outros orçamentos ou são valores aproximados.

Qnt	Equipamento	Unitário	Preço [R\$]
1	Filtro de água 3 m ³ /h		4.000,00(*)
1	Moinho Elétrico 150kg/h		3.980,00
1	Cozinha Tribloco 500L à vapor Modelo ECO		170.000,00
2	Fermentador/maturador 500L	21.400,00	42.800,00
1	Fermentador/maturador 1000L	25.300,00	25.300,00
1	Fermentador/maturador 2000L	32.900,00	32.900,00
1	Unidade de Refrigeração 85kW		62.500,00(*)
1	Tanque Reservatório Glicol 2.000L		10.850,00
1	Tubulações e Isolamentos de frio		12.300,00
1	Envase de Barril		1.800,00
1	Lavadora de Barris		15.000,00
288	Barril de chope 30L	500,00(*)	144.000,00(*)
1	Tanque de CIP 3.000L		38.889,00(*)
1	Bomba CIP		4.090,00
1	Tubulações e Isolamentos de vapor		7.900,00
1	Caldeira completa 4,3MW ou 6 t/h		58.800,00(*)
1	Tanque de retorno do condensado		4.692,00
1	Montagem e Industrial Startup		13.000,00
4	Montagem e isolamento dos tanques	3.780,00	15.120,00
	Total		667.921,00

O valor necessário para os equipamentos da fábrica será de R\$667.921,00.

5 CONCLUSÃO

Os métodos utilizados para a análise consistem na união de vários tópicos de diferentes áreas o que aumentam em muito a sua complexidade. Foi possível fazer uma revisão dos diversos pontos envolvidos na aplicação em questão. De controle de motores, processos químicos, resistência dos materiais, transferência de calor e massa, agitadores químicos, termodinâmica, ao layout de fábrica.

A pesquisa exploratória se mostrou de grande importância tanto pela visualização dos processos quanto pelo contato com os cervejeiros. Eles possuem perspectivas diferentes sobre o negócio, fábrica, produção de cerveja. E esses múltiplos pontos de vista são importantes nas matrizes de decisão. Entre as pesquisas feitas, os cervejeiros possuíam reclamações de subdimensionamento de caldeiras e chillers. Como notado comparando o resultado calculado com a proposta o chiller foi dimensionado para o funcionamento de apenas 4.000L.

A planta proposta pela Serra Inox de 500L possui equipamentos viáveis e não-viáveis. A proposta apresenta equipamentos gerais de boa qualidade, no entanto, carece de maquinário básicos para o correto funcionamento da fábrica como Tanque CIP e Caldeira. Além disso, o chiller presente está subdimensionado, impossibilitando a capacidade de expansão da fábrica.

Economicamente, o preço de venda da cerveja deve ser de R\$9,00 por litro com o sistema de expansão anual de 2.000L para se obter uma taxa interna de retorno de 10% ao ano. Mantendo a capacidade de produção total em 4.000L a cervejaria pode comercializar a cerveja por R\$15,00 e obter um fluxo de caixa de aproximadamente R\$500.000,00 por ano e uma TIR de 30%. O investimento inicial mínimo em equipamentos para a abertura da cervejaria proposta é de R\$ 667.921,00.

O layout da fábrica possui um fluxo de trabalho bem mais linear do que as fábricas analisadas na pesquisa exploratória. Não apresenta contra fluxo de matéria prima, possui área suficiente de trabalho e boa separação entre etapas. É necessária a construção de área externas auxiliares e modificações internas conforme o [MAPA Ministério da Agricultura \(2000\)](#). É estimado que o custo da obra civil no local proposto seja de R\$120.000,00.

Referências

- BRAGA, I. N. C. *Controle de velocidade para motores (ART023)*. 2015. Citado na página 31.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. et al. *Shigley's mechanical engineering design*. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 2008. v. 8. Citado 2 vezes nas páginas ix e 21.
- CENGEL, Y. *Heat and mass transfer: fundamentals and applications*. [S.l.]: McGraw-Hill Higher Education, 2014. Citado 6 vezes nas páginas ix, xi, 23, 24, 26 e 27.
- CHAPMAN, S. J. *Fundamentos de máquinas elétricas*. [S.l.]: AMGH Editora, 2013. Citado na página 31.
- CHECALC. *AGITATOR POWER*. 2015. Citado na página 30.
- CHEMINEER. *BLENDING AND MOTION*. 2015. Citado na página 29.
- COPERGÁS. *TABELA DE TARIFAS*. 2018. Citado na página 49.
- DCEOR, C. *Lã de rocha – preço e dicas para isolamento térmico e acústico*. 2018. Citado na página 49.
- FIGUEIREDO, V. F. de; NETO, P. L. d. O. C. Implantação do haccp na indústria de alimentos. *Gestão & Produção*, SciELO Brasil, v. 8, n. 1, p. 100–111, 2001. Citado na página 4.
- FITZGERALD, A. E. et al. *Electric machinery*. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 2003. v. 5. Citado na página 30.
- HIERONYMUS, S. *For the love of hops: The practical guide to aroma, bitterness and the culture of hops*. [S.l.]: Brewers publications, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 92.
- JOUVE, J. Principles of food safety legislation. *Food Control*, Elsevier, v. 9, n. 2-3, p. 75–81, 1998. Citado na página 4.
- KUNZE, W.; MANGER, H.-J. *Technology brewing and malting*. [S.l.]: Vlb Berlin, 1999. v. 669. Citado 26 vezes nas páginas viii, ix, xi, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 27, 28, 34, 46, 57, 58, 68, 71 e 98.
- LELIEVELD, H. L.; HOLAH, J.; NAPPER, D. *Hygiene in food processing: principles and practice*. [S.l.]: Elsevier, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 4, 5, 63 e 68.
- MANZANO, M. et al. Craft beer microflora identification before and after a cleaning process. *Journal of the Institute of Brewing*, Wiley Online Library, v. 117, n. 3, p. 343–351, 2011. Citado na página 4.

MAPA MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. e. A. *INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 05*. [S.l.: s.n.], 2000. Citado 4 vezes nas páginas 47, 62, 63 e 77.

MENZ, G. et al. Isolation, identification, and characterisation of beer-spoilage lactic acid bacteria from microbrewed beer from victoria, australia. *Journal of the Institute of Brewing*, Wiley Online Library, v. 116, n. 1, p. 14–22, 2010. Citado na página 4.

MÜ, C. V.; MARCUSSO, E. F. Anuário da cerveja no brasil. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*, 2018. Citado 3 vezes nas páginas viii, 1 e 2.

OFFICE, E. E. *The economic thickness of insulation for hot pipes*. [S.l.: s.n.], 1993. Citado na página 22.

PINOCHET, L. H. C. Uso estratégico dos sistemas de informação no apoio aos processos de negócio: Estudo de caso na indústria de alimentos. *Revista Administração em Diálogo-RAD*, v. 18, n. 3, p. 01–25, 2016. Citado na página 4.

SEBRAE. *ideia de negócio, Como montar uma Cervejaria*. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 57.

SERRAINOX. *Catálogo de Produtos Serra Inox*. [S.l.: s.n.], 2018. Citado 6 vezes nas páginas ix, 40, 41, 43, 44 e 45.

STEWART, G. G.; RUSSELL, I.; ANSTRUTHER, A. *Handbook of brewing*. [S.l.]: CRC Press, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 9, 11, 14 e 36.

TURVEY, M. et al. The changing face of microbial quality control practices in the brewing industry: Introducing mass spectrometry proteomic fingerprinting for microbial identification. *Journal of the Institute of Brewing*, Wiley Online Library, v. 123, n. 3, p. 373–387, 2017. Citado na página 4.

Apêndices

A Normas Consolidadas

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), as normas consolidadas para a produção de bebidas vegetais alcoólicas aplicáveis a cerveja são:

- Instrução Normativa SDA/MAPA Nº5: Aprovar o Regulamento Técnico para a fabricação de bebidas e vinagres, inclusive vinhos e derivados da uva e do vinho."
- Instrução Normativa Nº32: Define os modelo de documentos, bem como suas respectivas finalidades, a serem adotados no exercício da fiscalização;
- Instrução Normativa Nº34: Regulamentação do Sistema Eletrônico Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários - SIPEAGRO;
- Instrução Normativa Nº35: Padrão de Identidade e Qualidade para Bebida Alcoólica por Mistura;
- Instrução Normativa Nº54: Padrão de Identidade e Qualidade para Cerveja;
- Resolução da Diretoria Colegiada Nº026: Dispõe sobre os requisitos para rotulagem obrigatória dos principais alimentos que causam alergias alimentares;
- Resolução da Diretoria Colegiada Nº027: Dispõe sobre as categorias de alimentos e embalagens isentos e com obrigatoriedade de registro sanitário;
- Resolução da Diretoria Colegiada Nº64: Coadjuvantes de Tecnologia para Fabricação de Cervejas;
- Resolução da Diretoria Colegiada Nº65: Aditivos alimetares para fabricação de Cervejas;
- Portaria Nº40: Manual de procedimentos no controle da produção de bebidas e vinagres - Princípios APPCC;
- Portaria Nº368: Regulamento Técnico sobre as Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Elaboradores/Industrializadores de Alimentos;
- Portaria Nº2.914: Procedimentos de controle e de vigilância da Qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade;

- Decreto-Lei Nº986: Institui normas básicas sobre registro de alimentos e rotulagem;
- Decreto Nº50.040: Dispõe sobre Normas Técnicas Especiais Reguladoras do Emprego de Aditivos Químicos a Alimentos.

B Questionário das visita técnicas

- Em que dia foi inaugurada a cervejaria?
- Qual o volume dos fermentadores? Qual a capacidade total de produção?
- Volume de produção mensal ou anual?
- Qual a quantidade de rótulos recorrentes?
- Qual é o preço estimado da fábrica?
- Em que local foi instalado? Qual a área da fábrica? Qual a área total?
- Também funciona como um bar? Esse bar tem grande impacto na renda total? Qual a área do bar?
- Para onde é vendida a maior parte da produção?
- Como é linha de envase? Qual a porcentagem de envase em barril e em garrafas?
- Qual a porcentagem de ales e de lager produzidas?
- Quantos quilos de malte, lúpulo e levedura são utilizados por brassagem?
- Qual o volume de produção útil da Sala de Brassagem?
- Quanto tempo demora uma brassagem? E duas? E três?
- Qual é o tipo da Sala de Brassagem? Quais as funções das Tinhas? Qual o fabricante?
- Esse sistema permite funcionamento contínuo? Em que etapa pode-se começar a próxima brassagem?
- Qual o sistema de aquecimento do mosto[Elétrico (contato direto ou indireto?), Vapor ou Gás?]
- A Tina de mostura possui agitador?
- O fundo da Tina de mostura é cônico?
- A Tina de Clarificação possui descompactador? Se sim, possui altura fixa ou altura variável (é automática?)?

- Utiliza qual filtro?
- Utiliza Fly Sparge ou Batch Sparge?
- Caso possua não possua tanque de água quente, onde se aquece a água para a lavagem de grãos?
- Existe tina de Whirlpool independente ou é junto com a Tina de Fervura?
- O fundo da Tina de Fervura é cônico ou reto?
- A Tina de Fervura possui exaustor? Algo se reutiliza dessa evaporação (calor ou água cinza)?
- Ocorre caramelização dos açúcares de forma expressiva?
- Na Tina de Whirlpool, existe algum sistema para facilitar o dreno sem o Trub?
- Utiliza trocador de placas? Ele é embutido na sala de brassagem ou é móvel?
- O trocador de placa é de quantos estágios? Quais líquidos são utilizados? Qual a temperatura do mosto ao final de cada estágio?
- Existe algum sistema de reaproveitamento do calor do mosto quente?
- Caso reaproveite calor do mosto, a que temperatura a água chega?
- O painel de controle é embutido? Quais funções ele disponibiliza?
- Qual a quantidade de sensores de temperatura? Qual a precisão? Em quais tinas? São mostrados apenas no painel ou são ligados a um computador?
- O sistema de transferência de mosto é feita por tubulação rígida ou por tubulação flexível?
- As válvulas do sistema de transferência de mosto são manuais ou automáticas? Elas possuem algum sensor?
- Quantas bombas o sistema de transferência de mosto possui?
- Quantas bombas são necessárias para se fazer o processo?
- Possui bomba extra? Tem a necessidade de bomba extra?
- De onde é a fonte de água? É feito algum tipo de tratamento na água?
- Quanto tempo leva da brassagem até o produto final (para Ale e para Lager)?
- Quantas brassagens são necessárias para se encher cada fermentador?
- Tanques de Fermentação também funcionam como Tanques de Maturação?

- A cerveja não maturada é transferida para outro tanque para o processo de maturação?
- Quantas camisas de resfriamento os fermentadores possuem?
- Sistema de resfriamento dos fermentadores (Individual ou global?)(Qual o fluido refrigerante?)
- Os tanques de fermentação e maturação possuem sistema de reaproveitamento do CO₂? Há impactos no sabor?
- Qual é o método de limpeza das tinas?
- Quantas entradas CIP há em cada tanque/tina? Alguma delas possuem outra função no processo?
- A tubulação de aquecimento ou resfriamento é acionada de forma manual ou por meio de termostatos e válvulas solenoides?
- Quais tanques e linhas possuem isolamento térmico?
- Possui sala de estocagem de matéria prima? O estoque é normalmente para quantas produções?
- Possui câmara fria? A câmara fria é utilizada como estoque de matéria prima e de produtos finais?

C Descrição das Visitas Técnicas

C.1 Dois Corvos - Lisboa - PT

A cervejaria Dois Corvos foi aberta no ano de 2016. Sua produção máxima é de 3 tanques de 800L, 4 tanques de 1600L e 1 tanque de 2100L, contudo inicialmente eles apenas possuíam 3 tanques de 800L e uma sala de brassagem de 500L. Eles possuem 7 produtos recorrentes e mais alguns rótulos sazonais. Atualmente a Sala de Brassagem tem volume útil de produção de 2100L de mosto. Em geral, produzem cervejas de alta fermentação (Ales) que demoram 1 mês desde a produção até o envaze. O preço da fábrica foi estimado em 500.000,00 Euros. O sistema de aquecimento da fábrica é Elétrico e os fermentadores são resfriados por meio de um Chiller Central de Água Etileno Glicol que passa nas camisas térmicas que envolvem os fermentadores.

Para se poder produzir cerveja em Lisboa - Portugal a burocracia é bem menor do que a no Brasil, por isso, sistemas mais simples e menos automatizados produzem cervejas que podem ser comercializadas. A grande restrição comparativa das necessidades para se abrir uma cervejaria no Brasil com o reconhecimento do MAPA ocorre principalmente no quesito de instalações físicas e não necessariamente da qualidade ou automação do maquinário.

A cervejaria se encontra em uma área de galpões antigos perto do porto de Lisboa. O local de produção também atua como um bar (brewpub) servindo as cervejas sazonais (de pequena produção) apenas nesse local e em formato de chope, enquanto os 7 rótulos de maior produção são comercializados por todo o país. A produção deles é nacional, mas concentrada principalmente em Lisboa.

A Sala de Brassagem consiste em três Tinas sendo uma Tina de Mostura, uma Tina de Clarificação e uma de Tina de Fervura e Whirlpool. Eles também possuem um Tanque de Água Quente de 1.200L isolado termicamente perto da sala de forma a captar a água quente gerada durante o resfriamento do mosto. As três tinas funcionam de forma independentes e o acionamento das válvulas é feito de forma manual. Cada tina possui um termostato que mostra a temperatura no painel de controle assim como o sistema de acionamento das três bombas. Essas três bombas podem ser acionadas para cada tina independentemente, porém apenas uma é necessária para o sistema funcionar totalmente.

Por serem acionados por bombas independentes, o sistema pode funcionar de forma contínua com até três brassagens simultâneas (um processo em cada tina), pois no final de cada etapa a tina não será utilizada novamente durante o processo. Tendo em vista o grande volume dessas tinas elas apresentam duas saídas de sanitização Spray Ball para a prática do CIP.

Os Tanques de Fermentação são de fundo cônico (CCV), mas não funcionam como Tanques de Maturação. Isso significa que os Tanques de Fermentação não possuem válvulas que mantenham a pressão interna de forma a se carbonatar a cerveja. Por isso, essa fábrica utiliza um outro tanque hermético no qual se colocará a pressão de CO₂ necessária (que depende da receita) para que a cerveja carbonate de forma correta, chamado de Tanque de Cerveja Clara (BBT). Essa divisão entre Tanque de Fermentação e de Maturação tem vantagens e desvantagens. A grande vantagem é a possibilidade de adicionar uma cerveja nova ao fermentador logo depois da finalização do processo de fermentação, significando que a linha de produção de cerveja liberará a máquina para ser utilizada de novo de forma mais rápida. Outro fator positivo é que se a cerveja for filtrada entre o tanque de fermentação e o tanque de maturação ela pode ser servida diretamente do tanque, não necessitando de ser envasada em barris ou em garrafas. A grande desvantagem é o custo inicial, a quantidade de espaço necessário e a adição de uma etapa extra no processo. A grande dificuldade da produção no Brasil, como já foi citado, está na padronização do espaço de produção de acordo com as normas, por isso o uso não eficiente do espaço pode acarretar em necessidade de ampliação de área de fábrica resultando em custos maiores. Além disso, há também a questão do preço das máquinas. O preço de uma máquina que funciona tanto como tanque de fermentação quanto como tanque de maturação é usualmente menor do que o preço das duas máquinas separadas. Outro ponto é a necessidade de se transferir o mosto de um tanque para o outro adicionando mais uma etapa. Os tanques são resfriados por meio de um Chiller Central de Água Etileno Glicol cuja válvula de abertura é acionada por meio de termostatos presentes nos tanques. Esse chiller também pode ser utilizado como forma de aquecimento, mais foi reportado que mesmo no inverno seu uso para aquecimento não é necessário em Lisboa. Toda a tubulação de transporte de refrigerante é isolada termicamente. Os tanques menores possuem apenas uma camisa de resfriamento enquanto o maior tanque possui duas camisas e dois termostatos independentes.

Como o volume de produção da sala de brassagem atual da cervejaria é muito superior aos tanques de fermentação há muito espaço para expansão. E como a cervejaria está localizada em galpão de “grande” área, mais fermentadores podem ser alocados ou substituídos por maiores.

A sala de estocagem de matéria prima “quente” está localizada próxima à sala de brassagem e possui um moinho de grãos de dois rolos com distanciamento regulável (grãos reguláveis). A sala de estocagem de matéria prima “fria” é uma câmara fria montada próxima à área do bar sendo utilizada tanto como estocagem de matérias primas da

produção de cerveja como também matérias primas do funcionamento do bar (como pães, batata frita congelada e barris de cervejas ligados nas torneiras).

A linha de envase é um sistema enchimento de 6 garrafas, necessitando de quatro operações para cada caixa (de 24 garrafas). São envasadas em garrafas de 330ml e possuem uma máquina automática de rotular. As garrafas são utilizadas para algumas cervejas comemorativas e sazonais, e para os rótulos comuns. Também possuem uma grande quantidade de barris que são utilizados para abastecer o mercado local de Lisboa assim como o próprio bar.

Em geral a cervejaria Dois Corvos possui uma linha de produção de grande volume e capacidade de produção. O layout da fábrica e seu fluxograma estão representados nas Figuras [C.1](#) e [C.2](#) respectivamente.

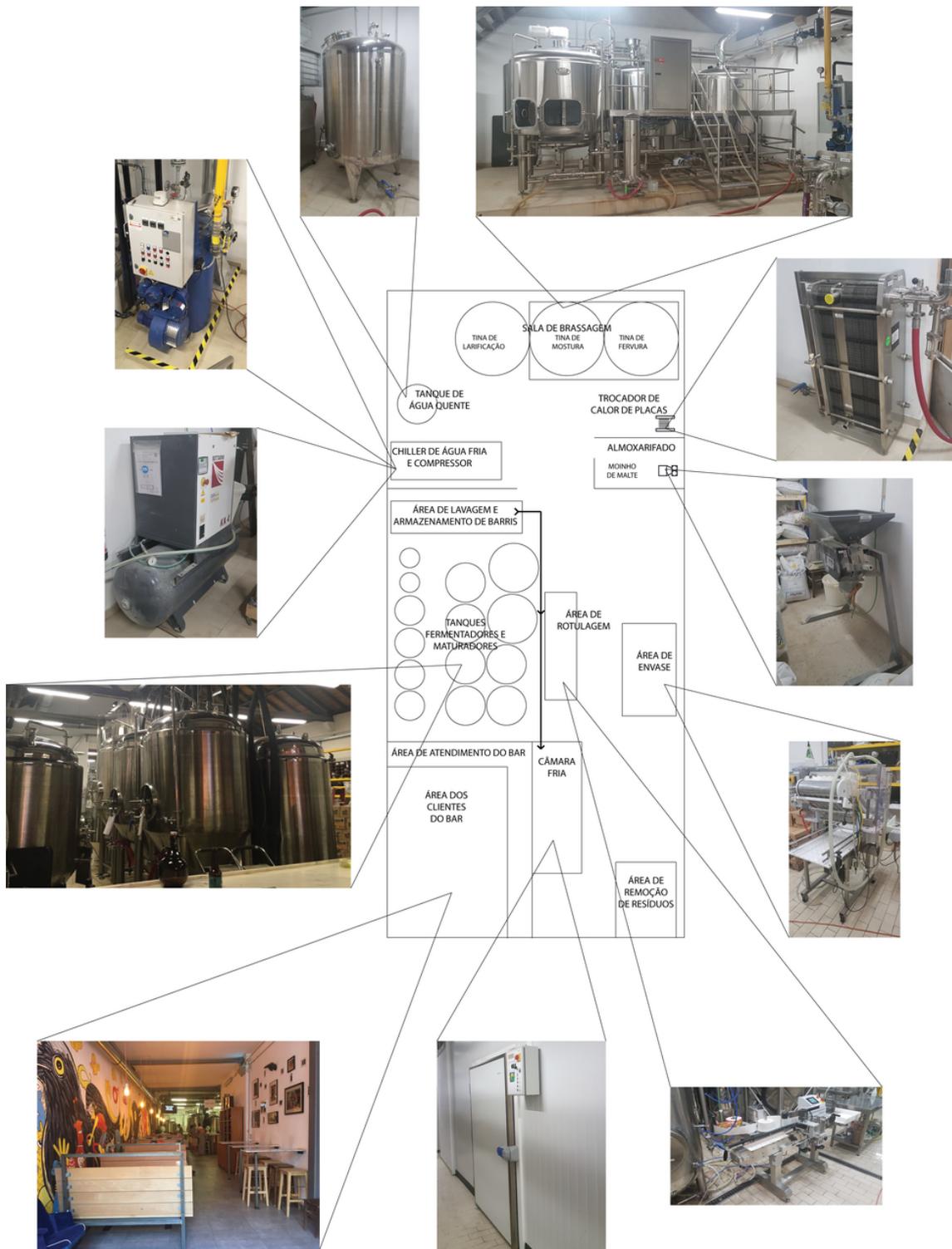


Figura C.1: Esquema da Cervejaria Dois Corvos.

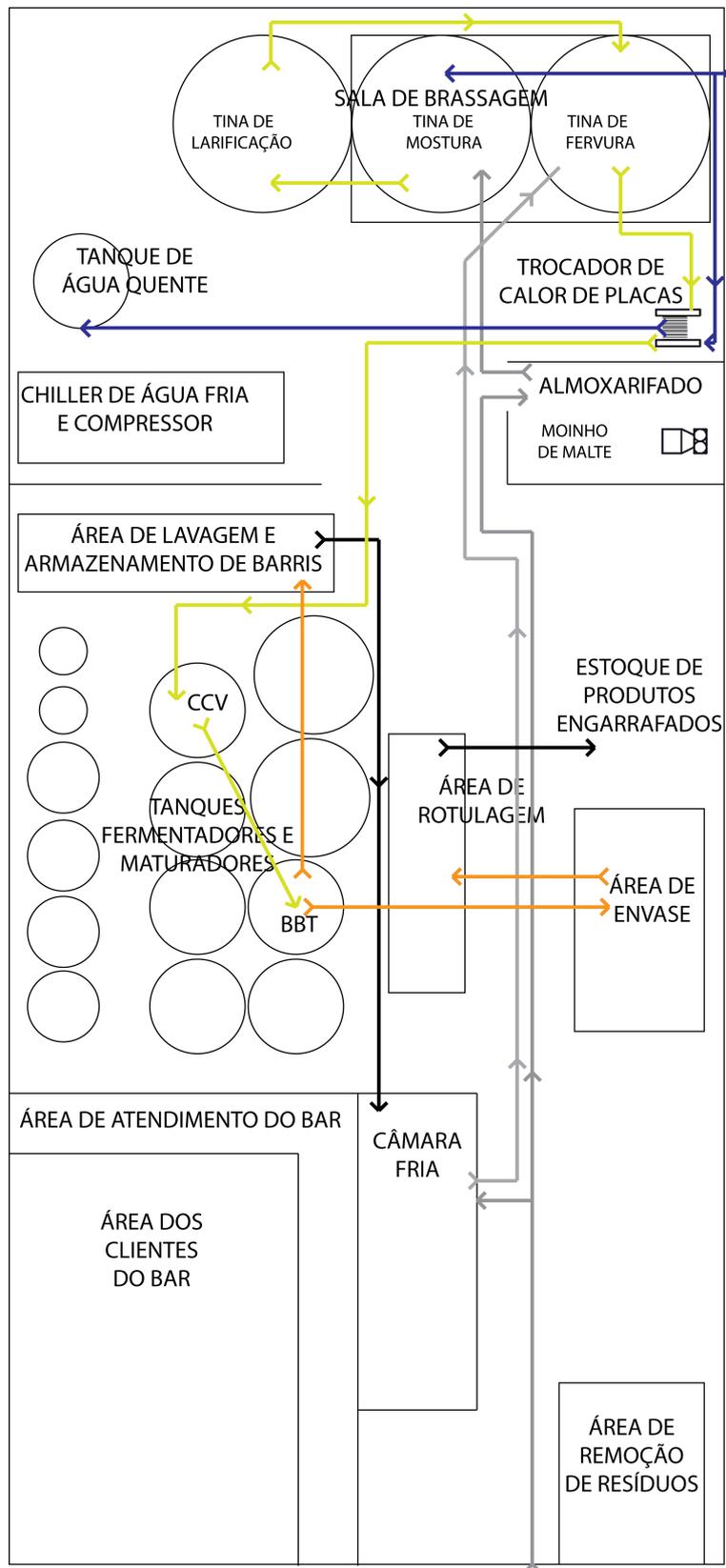


Figura C.2: Fluxograma da Cervejaria Dois Corvos em que as linhas representam: em azul a água; em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; e em preto o produto final devidamente envasado.

C.2 JinBeer - Vicente Pires - DF

A cervejaria JinBeer teve seu CNPJ registrado em janeiro de 2016 e a fábrica foi oficialmente inaugurada dia 10 de Outubro de 2016. Seu volume total de produção é 7.500L sendo dividido em 3 Tanques de Fermentação de 2.500L cada e com produção anual de 120.000L por ano, sendo focado em 3 rótulos recorrentes, mas também fazendo produções sazonais, testes de receitas e produções ciganas.

A soma do valor dos equipamentos é avaliada em torno de R\$700.000,00. A fábrica é localizada em Vicente Pires – DF, em um espaço de 200m² sendo 150m² de fábrica propriamente dito. Ele também possui um bar adjacente que conta com os 50m² restantes e tem impacto em torno de 20% da receita total. O resto da receita está dividida em vendas pelo Plano Piloto, Luziânia – GO e Belo Horizonte – MG.

A produção é feita majoritariamente de Cervejas Ale, 90%, e com pouca produção de Lager, 10%. Por brassagem são utilizados entre 60 e 80 kg de malte e em torno de 2 kg de lúpulo, dependendo da receita, para a produção de 250 a 300L de mosto. Esse processo demanda em torno de 6h de trabalho para uma brassagem, sendo 4 horas extras para cada uma subsequente. Isso totaliza 10 horas de trabalho para 2 brassagens (500 a 600L), 14 horas para 3 (750 a 900L) e 18 horas para 4 (1000 a 1250L).

A sala de brassagem é composta por três tinas sendo elas uma Tina de Mostura, uma Tina de Clarificação e uma Tina de Fervura e Whirlpool. Essa configuração de máquinas permite que uma nova brassagem seja iniciada apenas após a lavagem dos grãos pois utiliza a Tina de Mostura para esquentar a água utilizada nesse processo.

A Tina de Mostura tem aquecimento por meio de resistência posicionadas nas laterais da tina na parte inferior. Segundo o Mestre Cervejeiro, é necessário que a proporção de água por malte seja suficientemente grande ou então poderá haver caramelização do malte de forma expressiva. Além disso, ela possui um agitador acionado por um motor elétrico localizado na tampa da Tina. Ela possui fundo cônico que facilita o escoamento do malte e mosto durante o bombeamento.

A Tina de Clarificação possui um descompactador (afofador ou Lauter) de malte de altura regulável, isso permite um ajuste de seu local de ação facilitando a criação de canais e permitindo um controle da descompactação da cama de grão para cada receita, que possuem quantidade de maltes diferentes. A filtragem dessa tina é feita por meio de um fundo falso de INOX e o fundo dessa tina é reto.

Para o processo de clarificação o mosto é primeiramente retro bombeado para a mesma tina até que se perceba a ausência de partículas em um visor. Depois, para a lavagem dos grãos, é utilizado o processo de Fly Sparge (Aspersão Contínua). Nela é utilizada a água aquecida na tina de mostura que é bombeada contra um dispersor (chapéu chinês) para que o jato não deforme a cama de grãos.

A Tina de Fervura e Whirlpool é aquecida por meio da queima de gás. Isso propicia um controle médio da intensidade de fervura por meio do ajuste da válvula de liberação do gás. Caso a chama seja muito intensa poderá causar caramelização dos açúcares, processo não desejado de alteração de sabor e coloração dos açúcares. Como o processo de fervura do mosto gera muito vapor essa tina possui uma chaminé (exaustor) que redireciona o vapor gerado para fora da fábrica. Essa chaminé possui um coletor de DMS (composto volátil indesejado) que consiste em um dreno presente na tubulação de exaustão que capta o vapor condensado nas paredes e impede que ele retorne à tina. Porém, nada mais é reaproveitado desse vapor. Por exemplo, poderia ser instalada uma serpentina nas paredes de duto na qual fluísse água de forma que essa água trocasse calor com o vapor.

Essa tina realiza o processo de Whirlpool por meio de uma entrada de água tangencial ao raio. O retro bombeamento do mosto gera um redemoinho (Whirlpool) que induz a decantação de partículas em suspensão no mosto, assim como de proteínas, e as concentra no centro da tina que possui fundo cônico. Dessa forma, o dreno é feito pela lateral, evitando-se que o material decantado (Trub) seja transferido para os tanques de fermentação.

O sistema de resfriamento do mosto é feito por meio de um Trocador de Calor de Placas Móvel. Ele consiste de um trocador de 31 placas de duplo estágio com areador em linha. A temperatura de saída do mosto no primeiro estágio é de aproximadamente 40° C (segundo o fabricante) e a temperatura de saída pode ser ajustada alterando-se a vazão de mosto e de líquidos frios. No primeiro estágio de troca é utilizada água que atinge em torno de 65° C. Essa água pode então ou ser filtrada e armazenadas na Tina de Mostura ou em bombonas para a utilização para novas brassagens ou para a lavagem de grãos, reduzindo o desperdício de água e reaproveitando o calor perdido pelo mosto. No segundo estágio de troca, são utilizados Água e Etanol do sistema de Resfriamento dos Tanques de Fermentação e Maturação em uma linha fechada.

Além disso, por não resfriar todo o mosto, somente a parte que está fluindo há a possibilidade de economizar tempo de produção com esse tipo de trocador. Como o processo de isomerização dos lúpulos ocorrem em temperaturas acima de 70°C (([HIERONYMUS, 2012](#))), por isso não é necessário manter o mosto fervendo por uma hora, pois sabendo o tempo necessário para o resfriamento esse tempo pode ser retirado do processo de fervura, diminuindo assim os custos com energia e o tempo de produção.

Essa sala de brassagem possui um painel de controle embutido no qual se controla acionamento e velocidade das bombas, luz e aquecimento. Além disso, possui o visor para a temperatura em cada uma das tinas. Cada tina possui um sensor de temperatura na linha de líquido passível de ser conectado a um computador para se obter uma base de dados. Mesmo isso sendo possível, não houve ainda a tentativa de ser fazer isso nessa cervejaria. Além disso, segundo o mestre cervejeiro, não há a necessidade de tantos sensores extras durante o processo, pois a grande quantidade de dados pode gerar interpretações confusas tanto do operador quanto do algoritmo da máquina. Dessa forma, seria mais eficiente para

o cervejeiro aprender a interpretar essa pequena quantidade de dados.

Por outro lado, existem máquinas muito mais automatizadas no mercado que fazem todo o processo de forma automática, não necessitando de nenhum trabalho manual. Mesmo sendo possível o acionamento de cada processo por meio do operador, a grande vantagem desses sistemas é consistência de seus produtos. Para esses sistemas o algoritmo de controle depende de uma grande quantidade de dados, mas como o trabalho do operador é simplesmente escolher os parâmetros a serem utilizados pela máquina o processo se torna muito mais repetível e seus produtos mais simétricos.

O sistema de transferência do mosto dessa sala de brassagem é feito por meio de tubulações de inox presentes no esqueleto da sala, com exceção da transferência do mosto pós-fervura pelo trocador de calor e para os fermentadores que são feitos por meio de mangueiras alimentícias (flexíveis). Todas as válvulas são manuais e não possuem nenhum sensor nelas. Todo o sistema é acionado por uma única bomba, portanto não se pode fazer duas transferências ao mesmo tempo. Além disso, essa cervejaria não possui bomba extra; portanto, em caso de falha da bomba, todo o processo terá que ser pausado. Isso já acarretou em atraso de produções nessa cervejaria e a obtenção de um sistema de bombas extra está nas prioridades de aquisição dessa empresa.

A água é obtida da CAESB, depois é filtrada por um filtro de três estágios, um filtro de micropartículas e um filtro de carvão de dois estágios, no qual todo o cloro é removido. Depois disso, é adicionada à água os sais necessários, que dependem da receita executada.

Para cada tanque de 2500L são necessárias 8 brassagens, normalmente feita em 2 dias de trabalho de 18 horas. Depois do mosto estar resfriado, é transferido para o Tanque de Fermentação e Maturação no qual é adicionado uma bombona de 5 L de levedura por Tanque. A cerveja estará totalmente pronta para consumo em apenas 15 dias nesse tanque.

O Sistema de Resfriamento dos tanques de fermentação é feito por um Chiller Central. Normalmente é utilizado uma solução de Água Etileno Glicol; porém, por ter um preço elevado (R\$60,00 por litro de glicol), nesse sistema é utilizada uma mistura de Água e Etanol.

Por serem tanques de fundo cônico próprios para ales (maior volume de produção dessa cervejaria) os Tanques de Fermentação também podem ser utilizados como Tanques de Maturação. Dessa forma não é necessário a transferência do mosto entre tanques, apenas é feita a expurga da levedura por meio de uma válvula manual acionada no fundo cônico do Tanque.

Esses tanques possuem acabamento interno do tipo farmacêutico ao invés do acabamento alimentício padrão. Isso permite uma decantação da levedura de forma mais fácil no processo de maturação, diminuindo o tempo de maturação necessário, uma maior facilidade de limpeza e dificuldade de se ocorrer pontos de contaminação. Possuem, também, duas camisas de resfriamento que podem ser acionadas simultaneamente ou de forma inde-

pendente controlados por pelo Painel de Controle do Resfriamento. O fluxo de refrigerante é controlado por válvulas solenoides e ligadas a um termostato que monitor a temperatura de cada tanque. Esse tanque possui isolamento térmico em toda a sua lateral, porém uma parte do cone não possui. Por trocar calor com o ambiente, essa parte fica mais quente o que facilita o escoamento da levedura e material decantado no momento da expurga.

Esses tanques também possuem um sistema de reaproveitamento de CO₂. Suas válvulas de segurança permitem o ajuste da pressão de CO₂ de dentro do tanque de modo que a liberação de CO₂ para o ambiente pode ser feita de forma parcial ou total. São controladas por um sistema de contrapeso que ajustam a pressão interna de cada tanque, isso possibilita que a cerveja seja carbonatada dentro do tanque, não necessitando da utilização de CO₂ externo, nem de tempo extra em barris ou garrafas para carbonatar. Essas válvulas possuem manômetros indicadores e permitem até o redirecionamento do excedente do CO₂ de um tanque para outro que está com menor pressão. Dessa forma, essa cervejaria é autossuficiente em CO₂, quando se trata de carbonatação das cervejas. Essa cervejaria não utiliza filtros de CO₂, pois utilizam o CO₂ da parte menos intensa da fermentação e maturação, que possuem pouco éster e gases que impactam o sabor final da cerveja.

Cada um dos tanques e tinas possuem apenas uma spray ball para a utilização do CIP. Como o Tanque de Fermentação possui a possibilidade de se remover uma parte de seu cone inferior com área suficiente para a entrada de uma pessoa é possível se fazer a inspeção visual dele depois do CIP e até mesmo realizar a limpeza manual. Dessa forma a limpeza pode ser aferida e refeita, caso necessário.

A sala de estocagem consiste em um local para a acomodação do malte. A tendência nessa cervejaria é estocar matéria prima apenas para produções próximas. Assim, a maior quantidade de malte a ser estocado é de 8 levas para cada tanque, resultando assim, em um máximo de 2000 kg de malte estocados e um mínimo de 500kg. Na sala de estocagem também se encontra um moedor de malte que é utilizado para a moagem a seco.

Como também conta com um bar adjacente essa cervejaria utiliza a câmara fria localizada no bar para a estocagem de lúpulo (16 kg por Tanque de Fermentação) e levedura (5L por Tanque de Fermentação). É utilizado, também, para resfriar o chope vendido no local e condicionar cervejas já envasadas. Isso também diminui o tempo necessário para a produção; pois, anteriormente à câmara, era necessário que a cerveja se mantivesse no fermentador até a próximo à venda, principalmente se tratando de barris de chope, pois como não é filtrada, nem pasteurizada, seu tempo de vida é bem curto (em torno de 1 semana à temperatura ambiente).

Um dos grandes pontos chave de melhoria dessa cervejaria, segundo o Mestre Cervejeiro, é a aquisição de um Tanque de Água Quente, pois a sua falta implica na necessidade de uso da Tina de Mostura para aquecimento da água utilizada na lavagem. A simples presença dessa máquina poderia diminuir o tempo de produção de 4 brassagens

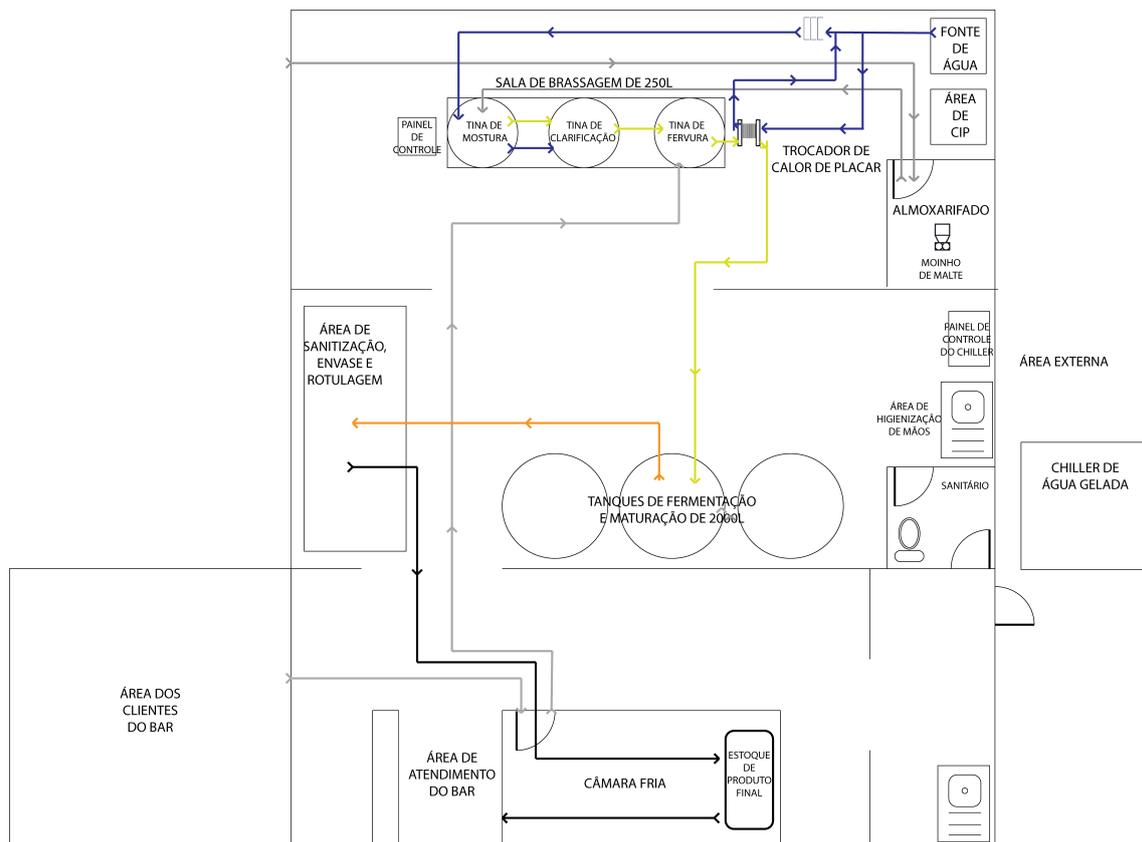


Figura C.4: Fluxograma da Cervejaria JinBeer em que as linhas representam: em azul a água; em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; e em preto o produto final devidamente envasado.

C.3 Cruls - Santa Maria - DF

A cervejaria Cruls começou a entrar em funcionamento em janeiro de 2018 e possuem equipamentos novos e de ponta.

Na parte quente, eles possuem uma Sala de Brassagem de 1000L com uma Tina de Mostura, uma Tina de Clarificação e uma Tina de Fervura, aquecidas por meio de vapor gerado por uma caldeira a gás. A Tina de Mostura possui agitador acionado por cima e fundo ligeiramente cônico. Ela possui um trocador de calor na entrada de água no qual consegue-se regular o fluxo de vapor para se conseguir a temperatura desejada em um curto período de aquecimento. A utilização de trocadores de calor como esse permite um rápido aquecimento de água em qualquer parte do processo. Para a lavagem dos grãos a água passa pelo mesmo processo. Porém, pela falta de um tanque de água quente, não se pode adicionar os sais necessários de forma consistente.

A Tina de Clarificação possui fundo falso de inox e um agitador de descompactação do mosto de altura constante. Já a Tina de Fervura e Whirlpool possui um dreno para o mosto na lateral e uma barreira para o material decantado. Portanto, durante o processo de Whirlpool a drenagem do mosto ocorre de forma mais eficiente, tendo em vista que o

material decantando dificilmente será drenado junto.

Todas as tinas da Sala de Brassagem possuem bombas independentes, mas também podem acionar todo o sistema em caso de necessidade, assim como na cervejaria Dois Corvos.

A grande dificuldade dessa cervejaria é a obtenção de água, pois está localizada longe dos centros urbanos e não possui água encanada. Está sendo estudado a construção de um poço artesiano para a sua obtenção. Porém, no momento a caixa d'água do estabelecimento é enchida por caminhões pipa conforme a necessidade. Como o material dos caminhões pipas não necessariamente é de INOX 304 traços do metal podem ser notados na água adquirida por esse processo, o que pode impactar na qualidade da cerveja final. Por essa dificuldade, poderia ser estudado algum sistema de reaproveitamento do mosto evaporado na Tina de Fervura para a utilização na produção de cerveja ou na utilização de limpeza geral da fábrica, ou um sistema de captação de água da chuva para a utilização na limpeza geral.

A utilização de aquecimento por vapor consiste em um maior investimento inicial, porém com uma grande economia a longo prazo quando comparado à sistemas elétricos. Além da diminuição no custo de produção, o vapor também diminui o tempo de produção e permite que novos processos sejam iniciados à medida que as Tinhas são drenadas e limpas (retirada do bagaço no caso da tina de clarificação). Desse modo, se obtém continuidade no processo e mesmo que uma brassagem dure 6 horas é possível fazer 2 em 8 horas.

O trocador de calor vem embutido na sala de brassagem e é de dois estágios, desse modo, é utilizado no primeiro estágio água filtrada (para a produção de cerveja) ou água não filtrada (para limpeza da fábrica) e depois líquido do tanque de Água Etileno Glicol para um resfriamento mais rápido.

As válvulas da sala de brassagem são válvulas borboletas acionadas manualmente e o painel de controle apresenta as temperaturas das tinas de mostura e fervura, entrada de água na tina de mostura e clarificação e saída de água no trocador de calor de placas. Além disso, esse painel também controla a iluminação dentro das tinas, o fluxo de vapor nelas, bombas e agitadores. Os encarregados da cervejaria estão estudando a possibilidade de se conectar os termostatos diretamente a um sistema de coleta digital para se fazer base de dados, montando gráficos de temperatura durante os processos para se visualizar possíveis problemas. Outro ponto em que o sistema poderia ser melhorado é com a adição de uma maior quantidade de sensores de temperatura nas Tinhas de Mostura e Tanques de Fermentação e Maturação, e nas válvulas borboletas, sensores de temperatura e de pressão. Essa adaptação seria de baixo custo (quando comparado com o preço da planta de produção inteira) e possibilitaria um melhor monitoramento do processo.

Os Tanques de Fermentação e Maturação dessa cervejaria consistem em tanques de 2000L, necessitando de duas brassagens para encher cada tanque. Isso possibilita a produção de $0,91 \times 20 \times 2 \times 1000$ (com 91% de aproveitamento dos Tanques ([KUNZE](#);

MANGER, 1999) e 20 dias de trabalho mensais com 2 brassagens diárias de 1000L).

Em questão de negócio, os fundadores dessa cervejaria passaram quase 2 anos desenvolvendo o plano de negócio, sendo o primeiro ano planejamento e o segundo, aplicação. Dessa forma eles tem como objetivo a venda de cerveja para Brasília (inicialmente) majoritariamente na forma de chope. Eles também comercializam cervejas em garrafas (eCommerce) e produzem para terceiros (produções ciganas). Além disso, existe uma parceria na qual o terceiro compra um Tanque de Fermentação (padronizado escolhido pelos donos) para essa fábrica e produz a um custo menor até a amortização do tanque. Isso aumenta a capacidade total de produção da cervejaria caso o proprietário do tanque não esteja utilizando.

O sistema de resfriamento dos Tanques de Fermentação e Maturação é por meio de Água Etileno Glicol, os tanques possuem acabamento interno alimentício e também possuem uma válvula de alívio regulável, de forma que não é necessário a carbonatação forçada por meio da aplicação de pressão de CO_2 .

O layout da fábrica e seu fluxograma estão representados nas Figuras C.5 e C.6 respectivamente.

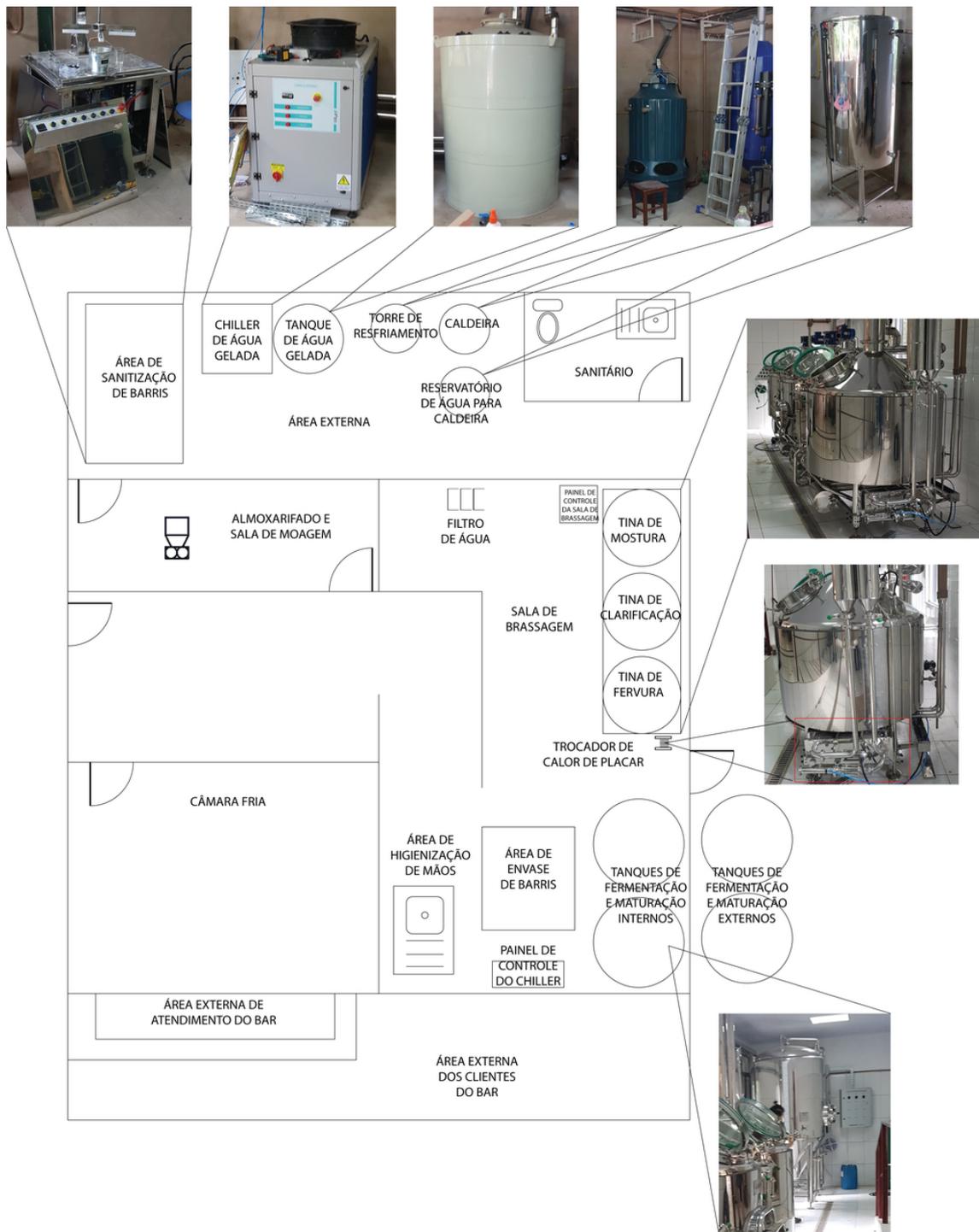


Figura C.5: Esquema da Cervejaria Cruls.

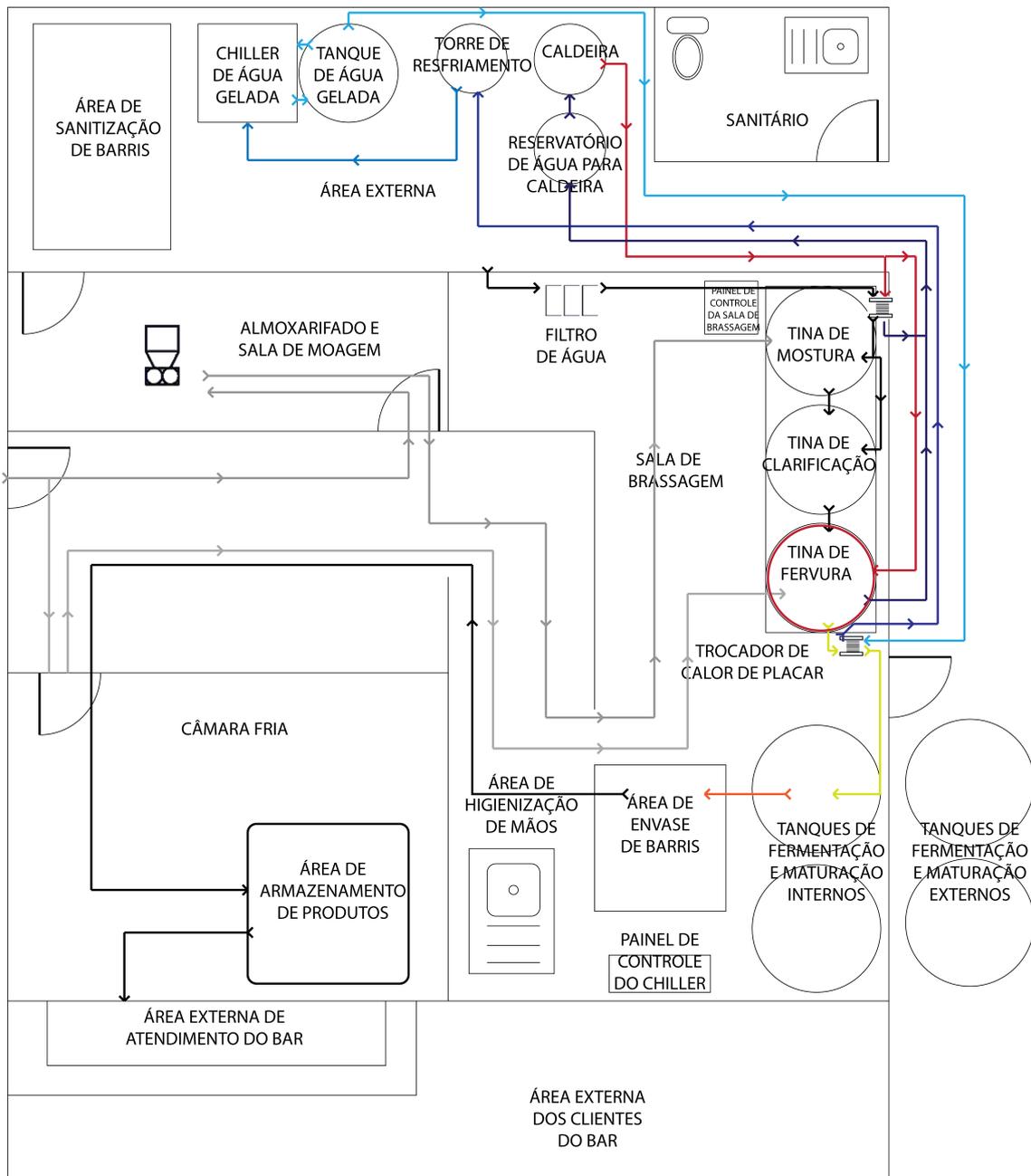


Figura C.6: Fluxograma da Cervejaria Cruls em que as linhas representam: em azul a água (sendo quão mais claro, menor a temperatura da linha); em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; em vermelho a linha de vapor; e em preto o produto final devidamente envasado.

C.4 Máfia Beer - São Sebastião - DF

A cervejaria foi inaugurada oficialmente em 23 de janeiro de 2017, porém esteve aberta durante um ano inteiro antes para ajuste de receitas e resolução dos trâmites burocráticos. O volume máximo de produção é de 10.000L. Sendo três tanques de 3.000L e um tanque de 1.000L, com produção anual de 60.000L. Possuem atualmente 5 rótulos, porém estão focando em somente 3. O preço estimado da fábrica é de R\$350.000,00, porém

o valor exato é difícil de se saber, pois houveram diversas aquisições de equipamentos em tempos diferentes. O local da fábrica é um galpão adaptado em São Sebastião com 140 m², sendo 70 m² destinados somente à produção. Essa cervejaria apenas é um local de produção e envase, eles abrem esporadicamente para o enchimento de Growler, mas não é o foco do local. A produção é escoada para o Plano Piloto na forma de Barris de chope, não envasando em garrafas, apenas em barris.

O volume útil produzido pela Sala de Brassagem é de 550L. Essa Sala de brassagem possui uma Tina de Mostura, uma Tina de Clarificação, uma Tina de Fervura e um Tanque de Água quente de 300L. A produção do mosto dura, normalmente, em torno de 6 horas para se fazer uma leva (550L) e 8 horas para se fazer duas (1100L).

Pela independência das Tinhas nos processos e pela presença do Tanque de Água Quente é possível fazer até 3 operações simultâneas nessa cervejaria. A dificuldade de se fazer esse processo, nessa cervejaria, está na quantidade e pressão do vapor gerado na Caldeira que está trabalhando com 3 kilos de pressão, um quarto do seu valor máximo. Esse valor era suficiente para o funcionamento da Tina de Fervura, mas com a adição da Tina de Mostura e Tanque de Água Quente a quantidade de calor fornecido pelo vapor não está sendo suficiente. Caso houvesse um sistema mais automatizado do controle da pressão na linha de vapor seria possível se obter dados sobre a perda de pressão e temperatura na linha e se possibilitar um melhor ajuste na produção de vapor da Caldeira Central. O funcionamento desse sistema de aquecimento é feito por válvulas solenoides ligadas a termostatos dentro da Tina de Mostura e Tanque de Água quente e a uma válvula solenoide ligada diretamente na Tina de Fervura.

A Tina de Mostura possui um agitador acionado pelo painel de controle e fundo cônico; mas, na visão do Mestre Cervejeiro, ele poderia ser mais cônico pois escoaria melhor o mosto e o malte. A água dessa tina é filtrada, tratada com os sais necessários (depende da receita) e é aquecida diretamente na tina de mostura. Pela falta da presença do exaustor nessa Tina o vapor gerado pelo processo vai para o ambiente de trabalho podendo gerar desconforto para os operadores da máquina, segundo o Mestre Cervejeiro.

Já na Tina de Clarificação há a presença 3 Spray Ball que podem ser utilizados para a lavagem dos grãos, de um “Afofador” (descompactador ou lauter) de malte com altura constante que permite a descompactação do mosto e a criação de canais nos quais os açúcares retirados na lavagem possam escoar. É utilizado um fundo falso de Inox 304 para a filtragem e clarificação dos grãos. No processo de Clarificação é utilizado o sistema de Continuous Sparge (aspersão contínua), que consiste na transferência do mosto e malte da Tina de Mostura para a Tina de Clarificação, recirculação até a clarificação, drenagem da água através de um filtro de inox (normalmente fundo falso, pois apresenta uma maior extração de açúcares) e adição da água por cima de forma contínua, afofando (descompactando) a cama de grãos a fim de lavá-lo com água à temperatura de 78°C e pH em torno de 5,4 diluindo os açúcares presentes no malte; aumentando, assim, a eficiência.

O Tanque de Água Quente funciona apenas para aquecer, possibilitar a correção do pH e a adição de sais à água utilizada para a lavagem dos grãos. A fonte dessa água pode ser água filtrada a temperatura ambiente ou que reaproveitou calor do mosto quente.

Já a Tina de Fervura possui exaustor, porém esse vapor não é reaproveitado de nenhuma forma. Mesmo se existindo a possibilidade de se aproveitar essa água, ela provavelmente não seria própria para beber e muito menos para se utilizar como ingrediente na cerveja pela quantidade de óleos (dos lúpulos) e DMC evaporados durante o processo de fervura. Essa tina também funciona como Tina de Whirlpool na qual o fundo é cônico em apenas uma parte do centro para concentrar o material decantado no Whirlpool. Dessa forma foi adaptada uma saída lateral para que o dreno dessa tina possa ocorrer sem esses materiais. Por funcionar a vapor, esse sistema apresenta caramelização do mosto de forma muito sutil e não relevante, segundo o mestre cervejeiro.

O sistema de resfriamento do mosto consiste em dois Trocadores de Calor de Placas, um fixo à Tina de Fervura e um móvel, que funcionam como um Trocador de 2 estágios. No primeiro estágio é passada água filtrada que será utilizada na lavagem dos grãos (Tina de Clarificação) diminuindo a temperatura do mosto para entorno de 60°C. Já no segundo estágio é utilizada água etileno glicol da Unidade de Resfriamento que deixa o mosto final na temperatura desejada, entorno de 22°C. O primeiro estágio do Trocador de Calor de Placas funciona como reaproveitamento do calor do mosto quente que será aproveitado no Tanque de Água Quente, esse sistema de recuperação de calor aquece a água de temperatura ambiente até entorno de 60°C. Já o líquido do segundo estágio corre em um circuito fechado e é reaproveitado pelo sistema.

O painel de controle foi adaptado conectando-se os disjuntores da luz, acionamento dos motores do funcionamento das bombas do sistema de aquecimento e refrigeração. Ele foi montado de forma a se simplificar a operação, porém não apresenta nenhum grau de automação ou de controle automático.

Os sensores utilizados são os padrões os dos termostatos TIC-27 presentes nas Tinhas de Mostura e Tanque de Água Quente que acionam as solenoides do sistema a vapor. Eles possuem precisão de 0,1°C e são apenas displays que não apresentam nenhuma forma de coleta de dados, nem de pós processamento.

Todas as válvulas são do tipo borboleta e de acionamento manual, com exceção das válvulas solenoides presentes no sistema de resfriamento dos Tanques de Fermentação e Maturação e no sistema de aquecimento das Tinhas de Mostura e no Tanque de Água Quente. O sistema de transferência de mosto é composto por mangueiras alimentícias conectadas por meio de Conexões Clamp e por bombas sanitárias acionadas por motores elétricos. Dessa forma uma mangueira alimentícia será ligada à saída desejada e conectada na bomba enquanto outra mangueira será conectada na bomba e na entrada necessária.

Esse tipo de conexão traz a vantagem de se permitir uma maior facilidade de se movimentar as tinhas e, caso necessário, fazer conexões não convencionais. Uma desvantagem

gem desse sistema, porém, é o acúmulo de ar nas mangueiras, pois a cavitação da bomba gera danos a ela e promove oxigenação do mosto, que gera alterações na cor e no sabor da cerveja. Idealmente seria aconselhável a utilização de algum método de expurga do ar antes de se fazer a transferência entre duas tinas.

Já o sistema de bombeamento possui duas bombas para se poder fazer 2 processos simultaneamente, porém não possuem bomba nem motores extras em caso de falha. Sabendo desse fato, o mestre cervejeiro faz manutenções constantes desses equipamentos a fim de se antecipar falhas e prevenir imprevistos durante as produções. De qualquer forma, um dos planos dessa cervejaria é adquirir uma bomba extra para ser ainda mais cauteloso.

A água utilizada nessa cervejaria é água encanada tratada por um filtro de três estágios para a remoção de 100% do cloro.

O tempo da brassagem até a cerveja final é de 40 dias, sendo que 28 desses dias a cerveja permanece no Tanques de Fermentação ou nos Tanques de Maturação, sendo a produção somente de cervejas do tipo ale. Essa cervejaria possui Tanques de Fermentação de 3.000L nos quais são necessárias entre 5 e 6 brassagens, normalmente dividido em 3 dias de trabalho, e Tanques menores, de 1.000L, que necessitam de duas brassagens no qual um dia de trabalho é suficientes.

Os Tanques de Fermentação também podem ser utilizados como Tanques de Maturação; porém dois dos tanques de 3.000L são projetados para cervejas de baixa fermentação, são utilizados apenas para a maturação das ales. A grande diferença entre os tanques ale e lager é que durante a fermentação das ales a atividade da levedura se concentra na primeiro terço superior do tanque, enquanto nas lager ela se concentra no primeiro terço inferior. Geometricamente falando os tanques de ale possuem muito espaço na parte superior e um fundo cônico para a expurga da levedura e os tanques de lager possuem um fundo mais arredondado para permitir uma maior “área de trabalho” das leveduras. Após o período de fermentação a cerveja não maturada é transferida para outro tanque, se separando da levedura decantada, no qual será maturada à baixa temperatura (0 a 4°C). Pelas características do tanque e escolha do Mestre Cervejeiro, isso é uma forma de se separar melhor a levedura da cerveja para que ela tenha menos influência no sabor final da cerveja.

O sistema de resfriamento consiste de uma unidade central de Água Etileno Glicol que abastece os Tanques de Fermentação e os Tanques de Maturação por meio de tubulações isoladas termicamente. Esses Tanques possuem duas camisas de resfriamento cada de modo que uma se concentra na parte superior e outro no cone inferior. Elas possuem acionamento independente, mas compartilham do mesmo sensor de temperatura; portanto, a menos que sejam desligadas ou ligadas manualmente, funcionam em sincronia.

Todo o CO₂ gerado pelos Tanques de Fermentação e Maturação são expurgados pelo mestre cervejeiro por opção. Esse CO₂ gerado na fermentação também apresenta di-

versos outros gases, especialmente éster gerado no processo. Como o objetivo do cervejeiro é não ter esses sabores na cerveja final ele faz a escolha de os eliminar. Por outro lado, isso acrescenta custo em sua produção já que ele terá de comprar CO₂ para a carbonatação da cerveja e envaze nos barris de chope. Uma saída seria a utilização de algum método de captura, filtragem, tratamento e reutilização desse CO₂ para a autossuficiência de CO₂ pela cervejaria.

O método de limpeza de todos os tanques é por meio de CIP (clean in place) que consiste de uma sequência de produtos químicos que visam eliminar pontos de contaminação e limpar os tanques e tinas de sujeiras orgânicas e inorgânicas (limpeza mecânica e sanitização), por isso, todos os Tanques e Tinas apresentam uma Spray Ball para essa finalidade. O tempo da limpeza, porém, varia de acordo com a finalidade e da quantidade de sujeiras presentes.

Todos os Tanques e Tinas possuem alguma forma de isolamento térmico externo a fim de se concentrar o calor no processo desejado. As tubulações, tanto de vapor quanto de Água Etano Glicol também possuem isolamento para se aumentar sua eficiência de aquecimento ou resfriamento.

Essa cervejaria possui uma sala criada especialmente para a alocação de malte na qual foram feitas medidas contra insetos e roedores. Nessa mesma sala há um moedor de malte de 3 rolos no qual é feita a moagem dos grãos a seco. Já para o estoque frio ela possui uma câmara fria na qual matéria prima “fria” (lúpulo e levedura) são guardados, assim como barris de chope (para aumentar seu tempo de prateleira).

O layout da fábrica e seu fluxograma estão representados nas Figuras [C.7](#) e [C.8](#) respectivamente.

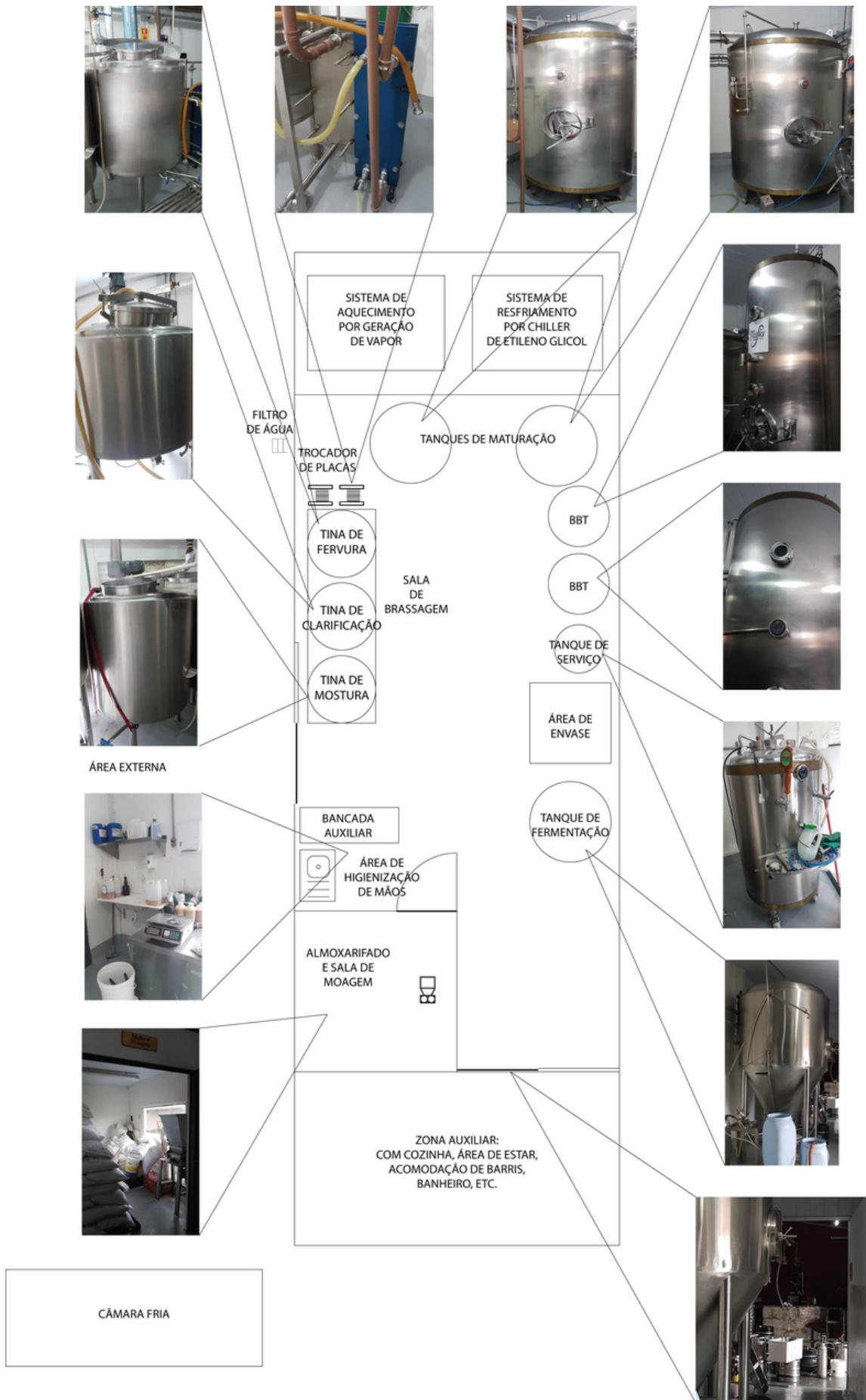


Figura C.7: Esquema da Cervejaria Máfia.

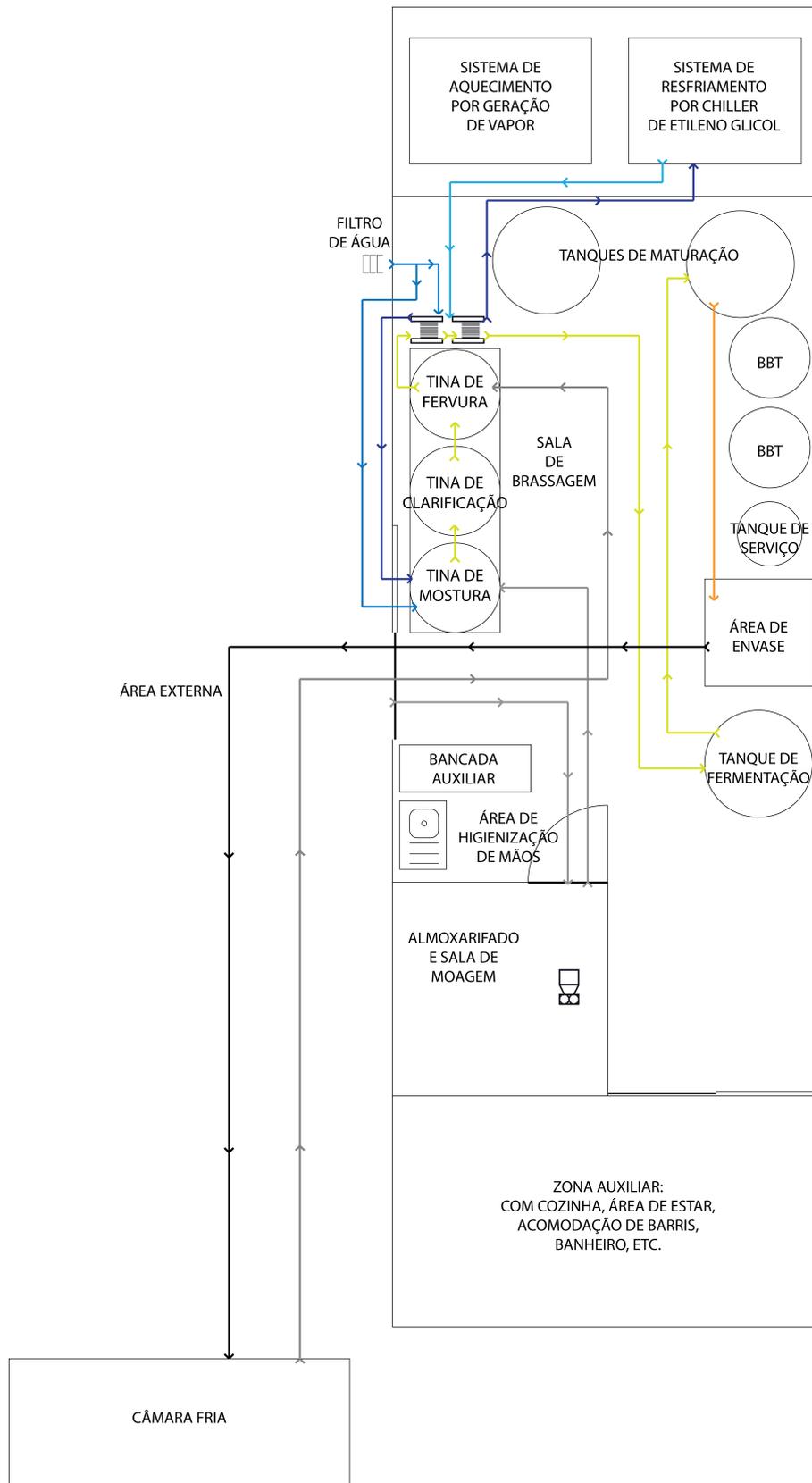


Figura C.8: Fluxograma da Cervejaria Máfia em que as linhas representam: em azul a água; em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; e em preto o produto final devidamente envasado.

C.5 Stadt - Luziânia - GO

A cervejaria Stadt é localizada em Luziânia e foi inaugurada em 1998. O volume de produção total da planta é de 100.000L, porém o volume de produção mensal é de apenas 30.000L divididos em 5 rótulos. Essa planta de produção possui preço estimado de R\$3.000.000,00. A área total da fábrica é de 1.000m², porém apenas metade é utilizada para a produção. Toda a produção é escoada para Brasília, mas segundo o mestre cervejeiro está sendo estudados outros pontos de venda. Essa fábrica não possui local para o armazenamento do produto final, porém possui um armazém refrigerado no Núcleo Bandeirante que também serve como central de distribuição.

A linha de envase da cervejaria Stadt é feita totalmente em barril. Foi adquirido recentemente uma envasadora automática com pasteurizador, porém o envase de garrafas de vidro ainda está na fase de testes. A maior parte das cervejas produzidas é de baixa fermentação (lager).

A fábrica possui uma grande área de estocagem de malte com armazenamento comum para as 4 produções seguintes. Em média são utilizados 850kg de malte, 5 kg de lúpulo e 4 kg de levedura por brassagem para se produzir 5.000L. O volume útil máximo da sala de brassagem é de 5.000L enquanto o mínimo é de 2.500L. Uma leva de brassagem demora em torno de 7h enquanto 2 levas demorariam 12h.

A sala de brassagem consiste de 3 tinas, uma Tina de Mostura, uma Tina de Clarificação e uma Tina de Fervura e Whirlpool. Por consistir em uma massa de malte muito grande é utilizado um parafuso transportador da sala de moagem até um tanque de armazenamento de malte localizado acima da tina de mostura. Começando-se a brassagem o malte é adicionado automaticamente à água quente. Por produzir em grandes quantidades as brassagens desse sistema não se preocupam tanto quanto à velocidade de cada brassagem, por isso outro processo só é iniciado após o processo de fervura.

Todo o sistema de aquecimento dessa cervejaria é a vapor. A Tinas de Mostura possui uma válvula que controla o fluxo de vapor para se obter a temperatura desejada e a Tina de Fervura possui uma válvula que é acionada e desligada pelo painel de controle, mas não permite o controle do fluxo.

A Tina de Mostura e a Tina de Clarificação possuem agitadores que possuem altura regulável; porém, como são regulados manualmente, não podem ser alterados durante o processo, apenas antes de se começar. Todas as três tinas da sala de Brassagem possuem fundo cônico.

A Tina de Clarificação utiliza filtro como um fundo falso. Durante a lavagem são adicionadas 3 levas de água, mas de forma a manter uma lavagem dos grãos contínua.

Na área externa ao galpão da fábrica estão localizados vários equipamentos auxiliares. Entre eles estão a central de água e tratamento que consiste de um sistema de

bombeamento, filtragem e tratamento de água proveniente do poço artesiano e um tanque de 20.000L para o armazenamento dessa água. Um sistema geração e armazenamento de calor com uma Caldeira de Alta Eficiência e um Tanque de Água Quente de 10.000L. Como todo CO₂ do sistema é rejeitado a cervejaria também possui um tanque de armazenamento de CO₂ de 7.000L. Por fim, na área externa também existe um sistema de resfriamento que consiste em um Chiller de Glicol (Frioblock), duas torres de resfriamento (uma para a caldeira e outra para o tanque de água gelada) e um Tanque de Água Fria de 10.000L.

A Tina de Fervura e Whirlpool possui exaustor e segundo o mestre cervejeiro a tentativa de se reutilizar o calor do vapor gerado na fervura não seria útil, tendo em vista que a caldeira já possui alta eficiência, que a quantidade de calor reaproveitada seria baixa e que a sua utilização poderia causar o retorno de DMS condensado (subproduto da mostura indesejável no produto final e evaporado durante a fervura) à Tina de Fervura.

O sistema de resfriamento do mosto consiste na troca de calor do Mosto Fervido por meio de um Trocador de Placas Fixo de 2 Estágios. No primeiro estágio é trocado calor com a água presente no Tanque de Água Fria correndo por um circuito fechado (em que não há perda de água) que é resfriado pela Torre de Resfriamento. No segundo estágio é trocado calor com o Glicol proveniente do Frioblock que também corre em circuito fechado. Dessa forma não há nenhum reaproveitamento do calor proveniente do mosto quente. Nas demais cervejarias analisadas essa água sempre é reutilizada para processos de brassagem, porém como nessa cervejaria a frequência das brassagens é bem menor, segundo o mestre cervejeiro, essa reutilização não seria útil.

O painel de controle controla todas as válvulas do sistema de vapor assim como o acionamento das bombas. Contudo, as válvulas de transferências de mosto (manobras) são todas válvulas borboleta de acionamento manual. Todas as tubulações da sala de brassagem até o Trocador de Calor de Placas é feita através de tubulações rígidas (de aço inox) e apenas a transferência do mosto para os Tanques de Fermentação é feito por meio de tubulações flexíveis (mangueiras alimentícias). Quanto às válvulas de manobra ela não possuem nenhum tipo de sensor, porém segundo o mestre cervejeiro na Tina de Clarificação seria de grande utilidade a adição de sensores de pressão na entrada e na saída. Essa informação juntamente com um sistema de regulação de velocidade do afofador (lauter, agitador) possibilitaria não só uma maior eficiência de extração de açúcares como também um ganho de tempo durante esse processo.

O sistema possui bombas independentes para cada tina. Diferentemente das demais cervejarias cada bomba funciona apenas para o acionamento de sua própria tina, não sendo possível utilizar as bombas para as outras. Dessa forma são necessárias as três bombas para o funcionamento total da brassagem. Por esse motivo é necessário que haja uma bomba reserva que possa substituir qualquer uma das três em caso de falha.

Os Tanques de Fermentação e Maturação dessa cervejaria são de diversos tama-

nhos. São 2 tanques de 20.000L, 4 de 5.000L, 6 de 2.500L e 5 de 1.000L. Tanto para cervejas de alta fermentação quanto de cervejas de baixa fermentação o processo de maturação e fermentação correm sem a mudança de tanques e entorno de 14 dias. O sistema de resfriamento de todos os tanques provém do chiller de glicol, sendo que os maiores Tanques (de 20.000L) possuem 3 camisas de resfriamento, e nos demais apenas 1. Todos os Tanques são limpos e sanitizados por meio de CIP, possuem uma Spray Ball interna e não reaproveitam o CO₂ gerado, utilizando o Tanque de CO₂ externo para a carbonatação.

O layout da fábrica e seu fluxograma estão representados nas Figuras [C.9](#) e [C.10](#) respectivamente.

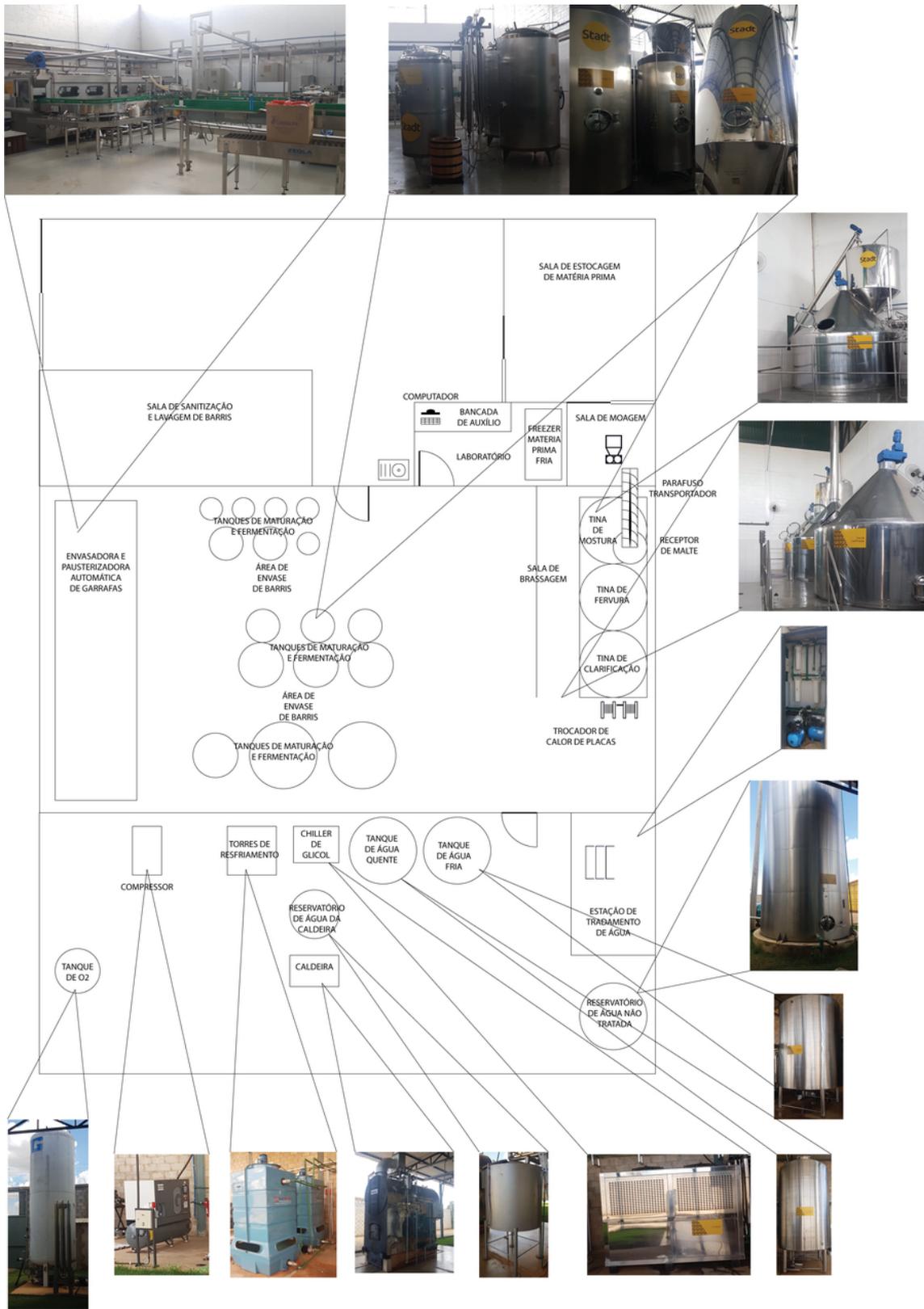


Figura C.9: Esquema da Cervejaria Stadt.

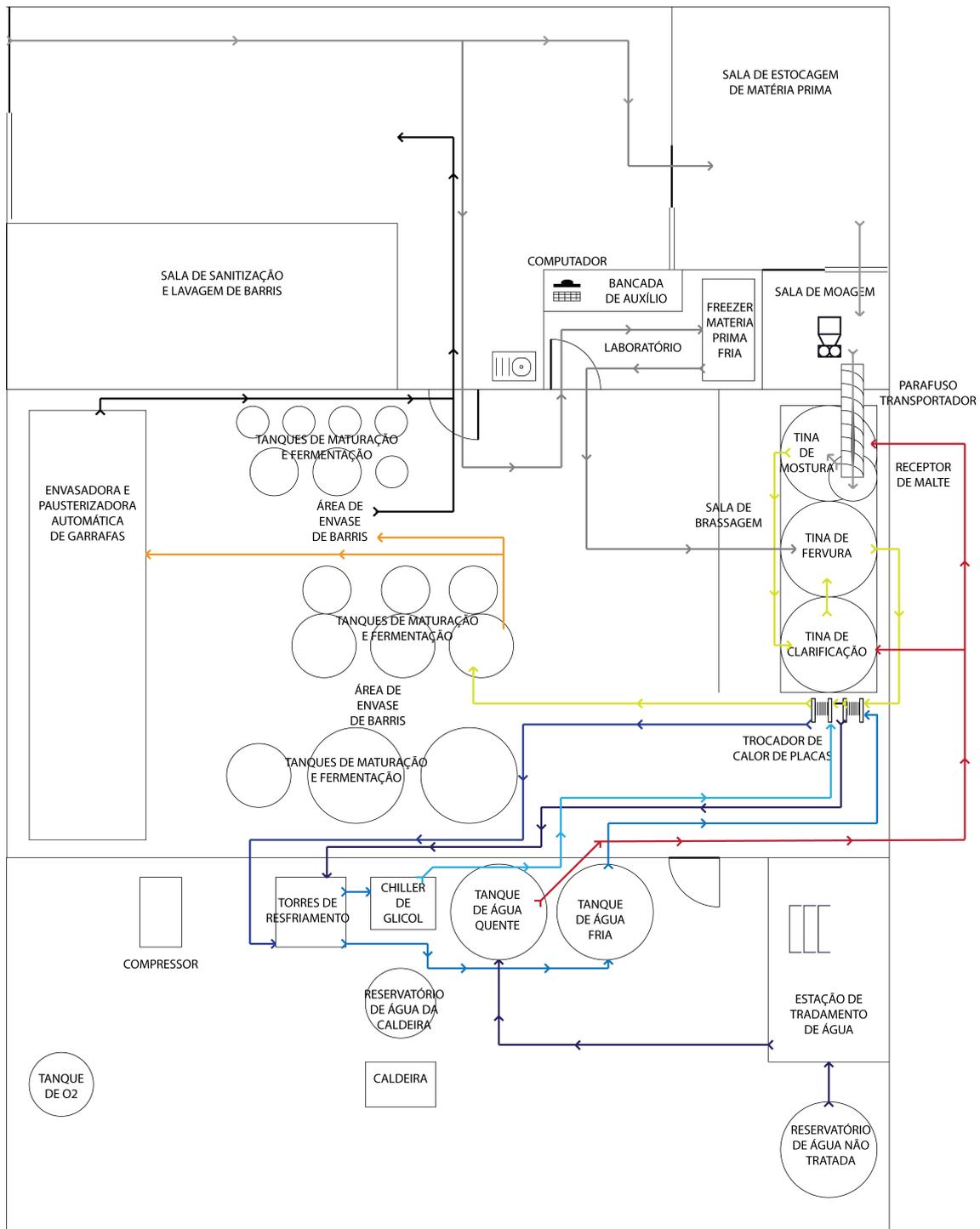


Figura C.10: Fluxograma da Cervejaria Stadt em que as linhas representam: em azul a água; em cinza as matérias primas; em amarelo o fluxo do mosto e da cerveja; em laranja a cerveja final; em vermelho água quente; e em preto o produto final devidamente envasado.

D Orçamento

Dados do Orçamento:

Cliente: Raul Figueiredo Pazetto

E-mail: raulpazetto@gmail.com

Telefone: (61) 98132-7467

Cidade: Brasília - DF

Orçamento: 11252-1

Data: 11/10/2017

Lista de Equipamentos Orçados

- 1. Moinho Elétrico**
- 2. Sala de Fabricação Tribloco 500L ECO**
- 3. Tanque Fermentador 500 litros**
- 4. Tanque Fermentador 1.000 litros**
- 5. Tanque Fermentador 2.000 litros**
- 6. Tubulações e Montagem dos tanques**
- 7. Unidade de Refrigeração**
- 8. Tanque Reservatório Glicol**
- 9. Envase de Barril**
- 10. Lavadora Automática de Barris**
- 11. Bomba CIP**
- 12. Tubulações e isolamentos de vapor e condensado**
- 13. Tanque de retorno de condensado**
- 14. Tubulações e isolamento de frio**
- 15. Plataforma Sanitizante**
- 16. Enchedora Uniti**
- 17. Rotuladora TGM**
- 18. Montagem Industrial**

1. Moinho Elétrico 150 Kg/h

- Moinho elétrico 150Kg/h;
- Par de rolos ranhurados revestidos em cromo-duro;
- Moega de recebimento em aço inox;
- 110/220v. 60hz;
- Regulagem de abertura de rolos;
- Base em Chapa dobrada com exclusivo desenho Serra Inox.

2. Cozinha Tribloco 500L à vapor Modelo ECO

Tina Mostura

- Modelo Cilíndrico-Cônico
- Configuração: Vertical
- Capacidade Útil: 500L
- Capacidade Total: 750L
- Material de construção: Aço Inox AISI 304;
- Acabamento Externo: Polimento Alto Brilho;
- Acabamento Interno : Sanitário lixado Grana 320;
- Soldas passivadas e removidas;
- Espessura do corpo 2,5mm;
- Espessura do isolamento 0,8mm em Inox AISI 430;
- Isolamento térmico em lã de rocha 30mm;
- Tampa em vidro escamoteável com diâmetro de 400mm, com abertura de 160°;
- Agitação por motoredutor com motor de 1,0cv 110/220v, 60HZ;
- Aquecimento por vapor saturado em camisas tubulares indiretas no costado do tanque.

Tina Lauter (Clarificação)

- Modelo Cilíndrico-Plano
- Configuração: Vertical
- Capacidade Útil: 500L
- Capacidade Total: 700L
- Material de construção: Aço Inox AISI 304;
- Acabamento Externo: Polimento Alto Brilho ;
- Acabamento Interno: Sanitário lixado Grana 320;
- Soldas passivadas e removidas;
- Espessura do corpo 2,5mm;
- Espessura do isolamento 0,8mm e Inox AISI 430;
- Isolamento térmico em lã de rocha 50mm;
- Tampa em vidro escamoteável com diâmetro de 400mm, com abertura de 160°;
- Agitação através de motoredutor com velocidade de 17,5RPM, com motor de 0,5cv 110/220v, 60 HZ;
- Pás com facas de corte para quebra do bolo filtrante, evitando os caminhos preferenciais;
- Fundo filtrante em Aço Inox AISI 304 com espessura de 3,0mm;
- Fundo filtrante removível, dividido em 3 partes para manuseio facilitado;
- Exclusivo sistema de Clarificação Serra Inox, Gravitational Control;
- Porta para retirada do bagaço na frente da tina;

Tina Fervura/Whirpool

- Modelo Cilíndrico-Plano Inclinado
- Configuração: Vertical
- Capacidade Útil: 500L
- Capacidade Total: 800L
- Material de construção: Aço Inox AISI 304;
- Acabamento Externo: Polimento Alto Brilho ;
- Acabamento Interno : Sanitário lixado Grana 320;
- Soldas passivadas e removidas;
- Espessura do corpo 2,0mm;
- Espessura do isolamento 0,8mm e Inox AISI 430;
- Isolamento térmico em lã de rocha 50mm;
- Tampa em vidro escamoteável com diâmetro de 400mm, com abertura de 160°;
- Tubulação na extremidade lateral do fundo para retirada de mosto;
- Aquecimento por vapor saturado em camisas tubulares indiretas no costado do tanque.

Quadro de comando e controle de temperatura

- Controle de temperatura panela Mostura;
- Sensor de temperatura PT 100 – Haste 200mm;
- Controlador de temperatura N 1200;
- Válvula Moduladora de vapor Microprocessada.

- Controle de temperatura panela Fervura;
- Sensor de temperatura PT 100 – Haste 200mm;
- Controlador de temperatura N 1030.

- Controle de temperatura para aquecimento instantâneo da água;
- Controlador de temperatura N 1030.
- Controle de temperatura de resfriamento de mosto;
- Controlador de temperatura N 1030.

- 01 botão iluminado para controle de agitação na tina de cozimento;
- 01 botão iluminado para controle da agitação da tina Lauter;
- 01 botão iluminado liga/desliga luminária;
- 01 potenciômetro para bomba Lauter;
- 01 potenciômetro para bomba Fervura;
- Adesivo Personalizado.

Sistema de Aquecimento de água

- Sistema de aquecimento de água instantâneo através de vapor;
- Trocador de calor para aquecimento de água anexado a cozinha cervejeira;
- Aquecimento com controle de temperatura e vazão.

Sistema de Resfriamento de Mosto

- Sistema de resfriamento de mosto por duplo estágio;
- Trocadores de calor para resfriamento de mosto anexados a cozinha cervejeira;
- Sistema de troca de calor no primeiro estágio através de torre de resfriamento;
- Sistema de troca de calor no segundo estágio através de linha de solução refrigerante;
- Torre de resfriamento 12m³, com condensação à ar.

Aerador de Mosto

- Sistema de Aeração de mosto;
- Vela difusora de ar estéril ou O² em aço inox sinterizado;
- Visor de linha em vidro para análise da aeração;
- Válvula de entrada com engate rápido e ajuste fino de vazão.

Instrumentação e quadro de vapor

- Linha de vapor com controle de fluxo através de válvula proporcional micro processada conforme abaixo:
- Filtro Y 3/4" para vapor;
- Válvulas 3/4" esfera seladas, para confecção de by-pass de vapor;
- Manômetro, sifão e válvula pulsada 1/2";
- Válvula proporcional 3/4";
- Linha de coleta de condensado, conforme abaixo:
- Válvulas esfera 1/2";
- Filtro Y para vapor 1/2";
- Purgador de Boia 1/2"

3. Fermentador/Maturador 500L/600

- Modelo Cilindro-Cônico
- Configuração: Vertical
- Ângulo do Cone: 70°
- Capacidade Útil: 5,0hl
- Capacidade Total: 6,0 hl
- Material de construção: Totalmente em Aço Inox AISI 304
- Acabamento Externo: Polimento Mecânico Alto Brilho
- Acabamento Interno: Sanitário lixado
- Soldas passivadas e removidas
- Tempo torrisférico conformado cfe. norma ASME 10%
- Isolamento térmico em espuma de poliuretano expandido de alta densidade
- 01 Válvula para controle de pressão (CO₂) 0-4,0 bar
- 01 Válvula de esfera 1/4", para controle de entrada de CO₂
- 01 Spray-ball para CIP, conexão DIN Ø1", com derivação para o indicador de nível + registro 3 vias
- 01 Válvula Sanitária para coleta de provas DIN Ø1/2" (Padrão AMBEV) para análise microbiológica
- 02 Válvulas tipo Borboleta Ø 1" conexão DIN (Macho/Niple + Porca + Anel)
- 01 Curva M/NP DIN Ø1"
- 01 Bocal de entrada e saída de produto, Ø 1", conexão DIN (Macho + Anel)
- 01 Poço para sensor de temperatura, conexão fêmea BSP 1/2"
- Sistema de resfriamento através de serpentina acoplada ao corpo do tanque
- 01 Porta de visita hermética c/ tampa removível no costado do tanque.
- 04 Pernas de sustentação construídas com tubos de aço inoxidável Ø3", intertravados
- 01 Placa de Identificação

Controle de Temperatura

- Controlador Novus N321.

4. Fermentador/Maturador 1.000/1.200L

- Modelo Cilindro-Cônico
- Configuração: Vertical
- Ângulo do Cone: 70°
- Capacidade Útil: 10,0hl
- Capacidade Total: 12,0 hl
- Material de construção: Totalmente em Aço Inox AISI 304
- Acabamento Externo: Polimento Mecânico Alto Brilho
- Acabamento Interno: Sanitário lixado
- Soldas passivadas e removidas
- Tampo torrisférico conformado cfe. norma ASME 10%
- Isolamento térmico em espuma de poliuretano expandido de alta densidade
- 01 Válvula para controle de pressão (CO₂) 0-4,0 bar
- 01 Válvula de esfera ¼", para controle de entrada de CO₂
- 01 Spray-ball para CIP, conexão DIN Ø1", com derivação para o indicador de nível + registro 3 vias
- 01 Válvula Sanitária para coleta de provas DIN Ø½" (Padrão AMBEV) para análise microbiológica
- 02 Válvulas tipo Borboleta Ø 1.1/2" conexão DIN (Macho/Niple + Porca + Anel)
- 01 Curva M/NP DIN Ø1"
- 01 Bocal de entrada e saída de produto, Ø 1.1/2", conexão DIN (Macho + Anel)
- 01 Poço para sensor de temperatura, conexão fêmea BSP ½"
- Sistema de resfriamento através de serpentina acoplada ao corpo do tanque
- 01 Porta de visita hermética c/ tampa removível no costado do tanque.
- 04 Pernas de sustentação construídas com tubos de aço inoxidável Ø4", intertravados
- 01 Placa de Identificação

Controle de Temperatura

- Controlador Novus N321.

5. Fermentador/Maturador 2.000/2.400L

- Modelo Cilindro-Cônico
- Configuração: Vertical
- Ângulo do Cone: 70°
- Capacidade Útil: 20,0hl
- Capacidade Total: 24,0 hl
- Material de construção: Totalmente em Aço Inox AISI 304
- Acabamento Externo: Polimento Mecânico Alto Brilho
- Acabamento Interno: Sanitário lixado
- Soldas passivadas e removidas
- Tampo torrisférico conformado cfe. norma ASME 10%
- Isolamento térmico em espuma de poliuretano expandido de alta densidade
- 01 Válvula para controle de pressão (CO₂) 0-4,0 bar
- 01 Válvula de esfera ¼", para controle de entrada de CO₂
- 01 Spray-ball para CIP, conexão DIN Ø1", com derivação para o indicador de nível + registro 3 vias
- 01 Válvula Sanitária para coleta de provas DIN Ø½" (Padrão AMBEV) para análise microbiológica
- 02 Válvulas tipo Borboleta Ø 1.1/2" conexão DIN (Macho/Niple + Porca + Anel)
- 01 Curva M/NP DIN Ø1"
- 01 Bocal de entrada e saída de produto, Ø 1.1/2", conexão DIN (Macho + Anel)
- 01 Poço para sensor de temperatura, conexão fêmea BSP ½"
- Sistema de resfriamento através de serpentina acoplada ao corpo do tanque

- 01 Porta de visita hermética c/ tampa removível no costado do tanque.
- 04 Pernas de sustentação construídas com tubos de aço inoxidável Ø4", intertravados
- 01 Placa de Identificação
- 01 Conexão Superior na calota do tanque com porca e tampão de 1.1/2 " DIN, para inserção de lúpulo ou inspeção.

Controle de Temperatura

- Controlador Novus N321.

6. Tubulações e montagem dos tanques

- Tubulações do sistema de refrigeração serão montadas em PVC rígido;
- Montagem de válvula solenoide com registro esfera para isolamento;
- Montagem nos niples com uniões galvanizadas e válvula de retenção;
- Todos os isolamentos térmicos dos tanques serão executados em calhas de isopor, revestidos com chapa de aço inox AISI 430, com espessura de 0,4mm;

7. Unidade de refrigeração para sistema de glicol

- Resfriador com capacidade nominal de 30.000Kcal/h;
- Condensação a ar;
- Pannel de controle digital;
- Compressor Danfoss scroll;
- Ventilador Ziehl-abegg de alto rendimento;
- Condensadores micro canais;
- Filtro de linha;
- Bomba da água de 1cv, 220/380v 60Hz;
- Evaporação por trocador de calor ;
- Temperatura máxima de condensação: 40°C;
- Temperatura de evaporação máxima -10°C;
- Apoio sobre vibra-stop;
- Gabinete metálico pintura epóxi.

8. Tanque Reservatório Glicol

- Tanque Reservatório em PP;
- Volume útil 2.000L;
- Isolamento em poliuretano expandido de alta densidade;
- Apoio Plano sobre piso;
- Conexões de entrada e saída de solução;
- Tubulações de interligação de solução em PVC;
- Bomba centrifuga para processo 1CV, 220/380V, 60Hz;
- Tampa superior para inspeção.

9. Envase em barril

- Manifold para envase de barril KEG com duas saídas;
- Chave extratora de sifão.

10. Lavadora de Barris KEG

- Lavagem de barris KEG 5 a 50L
- Reservatório de soda com controle de aquecimento
- Bomba acoplada para o processo de lavagem com soda
- Conexão entrada água da rede (necessário ser pressurizada)
- Conexão entrada CO²
- Conexão entrada ar comprimido
- Conexão saída/esgoto
- Tempos das etapas controlados pelo operador
- Estrutura total inox AISI 304
- Sequência de processos selecionáveis:

- 1° - Acoplamento barril;
- 2° - Esgotamento barril;
- 3° - Lavagem água rede;
- 4° - Circulação solução soda;
- 5° - Retorno solução soda;
- 6° - Lavagem água rede;
- 7° - Esgotamento barril;
- 8° - Eliminação oxigênio;
- 9° - Pressurização CO².

11. . Bomba CIP

- Bomba Centrífuga 1,5cv;
- Conexões Din 1";
- Dispositivo de movimentação;
- 220/380v.

12. . Tubulações e isolamentos do sistema de vapor e condensado

- Tubulações de vapor e condensado serão montadas em aço carbono SHC 40, ASTM A-53, com solda por costura longitudinal.
- Toda a tubulação de vapor será isolada com calhas de lã de vidro e revestidas em chapa de aço inox AISI 430 de 0,4mm.
- Toda a tubulação de condensado ficará exposta com acabamento natural;
- Medida Máxima 20m lineares.

13. Tanque de condensado

- Tanque cilíndrico vertical, totalmente em aço inox AISI 304;
- Apoio sobre pés tubulares;
- Capacidade total de 500L;
- Entrada, boia de nível e válvula de fundo de 1";

14. Tubulações e Isolamento Linha de Frio

- Tubulação e Isolamento de toda a linha de frio;
- Material utilizado canos PVC ;
- Isolamento em Calhas de isopor;

- Revestimento em aço Inox AISI 430, 0,4mm;
- Medida máxima 20m lineares.

15. Plataforma Sanitizadora

- Material Construtivo totalmente em Aço Inox 304;
- Sanitização de 24 garrafas simultaneamente, com opção de 08 ou 16 unidades;
- Solução de água e ácido perasséptico;
- Coleta para retorno de solução em reservatório;
- Bomba centrífuga para recirculação;
- 220/380v.

16. Enchedora Uniti - Linear Semiautomática

- Modelo: ELI-2 Enchedora Linear **Isobárica** dois bicos com tampador;
- Capacidade: 200 Garrafas hora (Garrafa 600 ml (caçula), com base em cerveja tipo Pilsen);
- Material de construção: Totalmente em Aço Inox AISI 304;
- Acabamento Externo: Polimento Alto Brilho;
- Acabamento Interno do tanque: Sanitário lixado Grana 320;
- Pés de sustentação: Fuso com regulagem de 100 mm;
- Soldas passivadas e removidas;
- Cabine: Construída em aço Inox AISI 304 polido e fechamentos em PETG
- Tanque: Construído em aço Inox AISI 304 polido, com controle automático de nível através de eletrodos de nível, regulador de entrada de gás carbônico, registro esfera para entrada de produto e adequado as normas de segurança NR 12;
- Válvula de Envase: Válvula Isobárica construída em aço Inox AISI 304 polímeros e vedações em Viton, acionadas através de comando eletropneumático.
- Automação: Controlado através de CLP, com acionamentos eletropneumáticos padrão ISO.
- Alimentador de tampas: Construído em aço Inox AISI 304L jateado interno e externamente epóxi cor laranja, com controle de vibração por potenciômetro.
- Tampador: Fechamento através de cabeçote recravador construído em aço Inox AISI 304 e polímeros de engenharia. Acionado através de comando pneumático.
- Calha de Descida: Equipada com sensor de presença de tampas fazendo com que o alimentador só atue quando o nível mínimo for atingido.
- Tensão: 220 ou 380 V
- Pressão Máxima de Trabalho: 4 bar (Enchedora), 6 bar (Tampador).

17. Rotuladora autoadesiva TGM

- 1020 Frascos por Hora
- Cabeçote para aplicação de rótulo e contra rótulo na mesma bobina.
- Clp tgm de controle com contador de produção.
- Construção em aço inox.
- Sensor de leitura do rótulo.
- Datador de Fita
- Possibilidade para inserção de até três linhas de caracteres (Fabricação, validade e lote).
- Pedestal ergonômico
- Pés com rodízio

18. Montagem industrial e Startup

- Montagem de toda linha de frio;
- Montagem da Linha de vapor e condensado;
- Isolamento e testes de vazão;
- Produção assistida e Startup da planta;
- Montagem Mecânica com tempo máximo estimado de 7 dias, previamente agendado.
- Montagem Elétrica com tempo máximo estimado de 2 dias, previamente agendado.

OBS: A limpeza e passivação dos equipamentos deverão ser realizadas pelo cliente, consultor cervejeiro ou empresa contratada pelo mesmo.

19. . Proposta Comercial

Item	Descritivo	Quant	Vlr. Unit.	Vlr. Total
1.0	Moinho Elétrico 150Kg/h	1		R\$ 3.980,00
2.0	Sala de Fabricação 500L ECO	1		R\$ 170.000,00
3.0	Fermentador/maturador 500L	1	21.400,00	R\$ 21.400,00
4.0	Fermentador/maturador 1.000L	1	25.300,00	R\$ 25.300,00
5.0	Fermentador/maturador 2.000L	1	32.900,00	R\$ 32.900,00
6.0	Montagem e isolamento tanques	3	3.780,00	R\$ 11.340,00
7.0	Unidade de refrigeração para sistema de glicol	1		R\$ 28.850,00
8.0	Tanque Reservatório Glicol 2.000L	1		R\$ 10.850,00
9.0	Envase de Barril	1		R\$ 1.800,00
10.0	Lavadora de Barris	1		R\$ 15.000,00
11.0	Bomba CIP	1		R\$ 4.090,00
12.0	Tubulações e Isolamentos de vapor	1		R\$ 7.900,00
13.0	Tanque de retorno do condensado	1		R\$ 4.692,00
14.0	Tubulações e Isolamentos de frio	1		R\$ 12.300,00

15.0	Plataforma Sanitizante	1	R\$ 8.300,00
16.0	Enchedora Isobárica Semi automática Uniti	1	R\$ 64.200,00
17.0	Rotuladora semi automática TGM	1	R\$ 17.080,00
15.0	Montagem Industrial e Startup	1	R\$ 13.000,00
Total Geral			R\$ 452.982,00

Condições de Venda	
Valor FOB dos Equipamentos	
Valor dos equipamentos com Impostos Inclusos e desconto	R\$ 452.982,00
Condições de Pagamento	
Entrada 40%	R\$ 181.192,80
30dd 20%	R\$ 90.596,40
60dd 20%	R\$ 90.596,40
Contra-aviso de embarque 20%	R\$ 90.596,40
Prazo de Entrega	120 a 150 dias
Validade da Proposta	10 dias

Observações Gerais:

- Empresa optante pelo Simples, não gera crédito de ICMS, todos os impostos estão inclusos.
- O cliente fica ciente do resguardo da Serra inox, reajustar valores ofertados em qualquer momento, caso ocorra variação nos preços de materiais e serviços que compunham o custo do equipamento, bem como por força de dissídio coletivo da categoria ou alterações de forma tributária.
- A classificação fiscal, nas quais se enquadram os equipamentos é a NBM 84.38.40.00
- Todos os nossos equipamentos podem ser financiados através de linhas de crédito, tais como, FINAME, Cartão BNDES e Proger.

a. Despesas com alimentação/viagens/hospedagens/passagens

- É de inteira responsabilidade do cliente o fornecimento de alimentação, deslocamentos e hospedagens de nossos técnicos durante o período de montagem e startup da fábrica, assim como seu retorno.

b. Frete/Seguro/Embalagens e movimentação

- O cliente fica ciente da responsabilidade sobre os equipamentos desde a saída de nossa fábrica até o startup dos equipamentos, ficando responsável por todas as custas de tal processo.

c. Instalações elétricas no local

- O cliente fica ciente da responsabilidade em ter as instalações elétricas condizentes aos equipamentos solicitados, a Serra Inox, compromete-se em fornecer o laudo elétrico dos equipamentos a serem adquiridos;

- Os equipamentos acima citados, tem como características o fator de máxima economia energética, no entanto as cargas de corrente elétrica demandadas são altas considerando o pico máximo de consumo, faz-se necessário entradas elétricas a partir de 90A.

Garantia

- Garantimos por um prazo de 1 ano(12 meses), após o startup da planta, todos os equipamentos fabricados pela SERRA INOX;
- Componentes importados e de terceiros, recebem amparo legal de 90 dias;
- Se constatado, mau uso, imperícia, etc..., causando danos ou possíveis reparos, o cliente fica ciente da cobrança de todas as custas da ida de nossos técnicos até o local.
- Em caso de assistência técnica, o cliente fica ciente que os serviços serão executados no local por nossos técnicos.

Sendo o que se apresenta para o momento, e no aguardo de seu pronunciamento a respeito, desde já agradecemos.



Jonathas P. Dutra
+55 54 9 9918-8355

Jonathas P. Dutra
Vendedor Técnico
SERRA INOX

Raul Figueiredo Pazetto
Responsável

06 de Novembro de 2017