



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

## **AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE UMA FABRICAÇÃO ARTESANAL DE CERVEJA**

Eduardo Braga da Costa Júnior

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

DEZEMBRO DE 2019

Costa Júnior, Eduardo Braga da

Aumento da eficiência de uma fabricação artesanal de  
cerveja / Eduardo Braga da Costa Junior. – Rio de Janeiro:  
UFRJ / Escola Politécnica, 2019.

XIII, 116 p.: il. 29,7 cm

Orientador: Fernando Augusto de Noronha Castro  
Pinto

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica /  
Curso de Engenharia Mecânica, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 110-113

1. Implementação da fabricação. 2. Cerveja artesanal.
3. Otimização de processo. 4. Eficiência operacional.
- I. Pinto, Fernando Augusto de Noronha Castro II.  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica,  
Curso de Engenharia Mecânica. III. Aumento da eficiência de  
uma fabricação artesanal de cerveja.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer aos meus pais e irmãs, que sempre me incentivaram a estudar desde sempre e não mediram esforços para disponibilizar a educação da melhor qualidade possível.

Aos amigos, incluindo os da UFRJ, que sempre me proporcionam divertidos momentos que facilitam muito a caminhada.

E por fim, um agradecimento especial a minha namorada Cris, que muito me ajudou e foi paciente durante todo esse processo de conclusão da graduação.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

## AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE UMA FABRICAÇÃO

### ARTESANAL DE CERVEJA

Eduardo Braga da Costa Júnior

Dezembro/2019

Orientador: Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto

Curso: Engenharia Mecânica

O presente trabalho consistiu na implementação da fabricação de cerveja artesanal, onde foram realizados dois processos com diferentes graus de automação. A substituição ou adição de alguns equipamentos e dispositivos mecânicos, como inclusão do motor elétrico para facilitar a moagem dos grãos e do controlador PID para medição da temperatura de brassagem, além da incorporação da bomba magnética para recirculação e lavagem contínua, e seus possíveis ganhos de eficiência e redução de custo operacional foram mensurados. Outros aspectos como uma melhor ergonomia e menor esforço do operador também foram considerados e avaliados no presente trabalho. O estudo realizado também indicou algumas possibilidades futuras para aprimoramento do processo com contínuos ganhos de eficiência operacional.

*Palavras-chave:* Cerveja artesanal, Automação de processo, Eficiência produtiva, Otimização.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a parcial fulfillment of the requirement for the degree of Mechanical Engineer.

## EFFICIENCY INCREASE OF A CRAFT BEER MANUFACTURING

Eduardo Braga da Costa Júnior

December/2019

Advisor: Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto

Course: Mechanical Engineering

The present work consisted of craft beer manufacturing implementation, in which two processes were carried out with different level of automation. The replacement or addition of some equipment and mechanical devices, such as the inclusion of the electric motor to facilitate grain milling and the PID controller for brewing temperature measurement, as well as incorporating the magnetic pump for continuous recirculation and lautering, and their possible efficiency gains and reduction in operating costs were measured. Other aspects as better ergonomics and lesser operator effort were also considered and evaluated. The study also indicated some future possibilities for process improvement with continuous operational efficiency gains.

*Keywords:* Craft beer, Process automation, Productive efficiency, Optimization.

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Mercado de cervejas artesanais .....	1
1.2	Motivação e objetivos .....	5
1.3	Descrição do trabalho .....	6
2	Processo de Fabricação de Cerveja Artesanal .....	7
2.1	Matérias Primas.....	7
2.1.1	Água .....	7
2.1.2	Malte.....	9
2.1.3	Lúpulo.....	11
2.1.4	Levedura.....	17
2.1.5	Adjuntos.....	19
2.2	Processo produtivo .....	20
2.2.1	Fluxograma de processo.....	20
2.2.2	Moagem.....	21
2.2.3	Mostura.....	22
2.2.4	Filtragem e Lavagem .....	27
2.2.5	Fervura .....	28
2.2.6	<i>Whirlpool</i> .....	29
2.2.7	Resfriamento .....	29
2.2.8	Fermentação.....	31
2.2.9	Maturação.....	35
2.2.10	Carbonatação .....	35
2.2.11	Envase.....	36
3	Processo artesanal .....	38
3.1	Métricas de avaliação .....	38
3.1.1	Receita Controle .....	38
3.1.2	Densidade do mosto .....	40
3.1.3	Volumes.....	42
3.1.4	Tempo despendido .....	44
3.1.5	Temperatura .....	44
3.1.6	Consumo de utilidades .....	45
3.1.7	Eficiência de brassagem.....	48
3.1.8	Custo total por litro no fermentador .....	49
3.2	Descrição do processo produtivo .....	49
3.2.1	Moagem.....	49
3.2.2	Mostura.....	51
3.2.3	Filtragem e Lavagem .....	53
3.2.4	Fervura .....	55
3.2.5	<i>Whirlpool</i> .....	56
3.2.6	Resfriamento .....	56
3.2.7	Trasfega final e volume no fermentador.....	57

3.3	Custos .....	58
3.3.1	Custos dos equipamentos.....	58
3.3.2	Custos variáveis da receita.....	59
4	Automação dos processos.....	62
4.1	Revisão bibliográfica.....	62
4.1.1	Resistência elétrica.....	62
4.1.2	Trocador de calor duplo tubo .....	63
4.1.3	Bomba de acionamento magnético.....	64
4.1.4	Controlador PID e PWM.....	66
4.1.5	Motor elétrico .....	69
4.2	Equipamentos e dispositivos.....	70
4.2.1	Resistências elétricas .....	70
4.2.2	<i>Chiller</i> de contra fluxo .....	72
4.2.3	Sistema de recirculação e lavagem contínua.....	73
4.2.4	Controlador de temperatura e brassagem.....	75
4.2.5	Moinho de grãos automático motorizado .....	76
4.2.6	<i>Brewstand</i> .....	78
4.2.7	<i>Whirlpool</i> com furadeira e pá em T .....	79
4.2.8	Filtro de água.....	80
4.3	Oportunidades .....	81
5	Processo artesanal automatizado .....	84
5.1	Métricas de avaliação .....	84
5.1.1	Temperatura .....	84
5.1.2	Consumo de utilidades .....	85
5.1.3	Custo total por litro no fermentador .....	86
5.2	Descrição do processo produtivo .....	87
5.2.1	Moagem.....	87
5.2.2	Mostura e filtragem .....	87
5.2.3	Lavagem.....	88
5.2.4	Fervura .....	89
5.2.5	<i>Whirlpool</i> .....	90
5.2.6	Resfriamento e trasfega final .....	91
5.3	Custos de implementação.....	93
5.3.1	Custos dos equipamentos.....	93
5.3.2	Custos variáveis da receita.....	94
6	Comparação entre processos .....	96
6.1	Resultados de eficiência energética.....	96
6.1.1	Consumo de GLP e energia elétrica .....	96
6.1.2	Consumo de água e gelo .....	97
6.1.3	Impacto no custo total por litro no fermentador .....	97
6.2	Resultados de eficiência de produção.....	98

6.2.1	Tamanho do lote, densidade e eficiência de brassagem.....	98
6.2.2	Tempo e outros resultados qualitativos.....	100
6.3	Custos e amortização .....	102
6.3.1	Premissas de cálculo .....	102
6.3.2	Comparação do VPL.....	103
7	Aspectos da implementação .....	105
8	Conclusão.....	109
9	Referências Bibliográficas.....	111
Anexo I - Tarifas de água utilizadas.....		115
Anexo II - Tarifas de luz utilizadas .....		116
Anexo III - Cálculo detalhado do consumo de gás e energia elétrica .....		117

## **GLOSSÁRIO**

Lista de siglas e abreviações

IPA – *India Pale Ale*

ABV – *Alcohol by volume*

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento

EBC – *European Brewery Convention*

EUA – Estados Unidos da América

FG – *Final Gravity*

GC – *Gas Chromatography*

g – Grama

°C – graus Celsius

IBU – *International Bitterness Units*

Kg – Quilograma

OG – *Original Gravity*

pH – Potencial Hidrogeniônico

PM – Peso Molecular

ppm – parte por milhão

SRM – *Standard Reference Method*

T - Temperatura

V - Volume

WACC - Weighted Average Capital Cost

VPL - Valor presente líquido

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção de cerveja no Brasil por tipo de embalagem (%).....	1
Figura 2. Números macros do setor de cerveja no Brasil em 2014. ....	2
Figura 3. Histórico do número de cervejarias no Brasil. ....	3
Figura 4. Cervejarias por unidade federativa. ....	4
Figura 5. Lúpulo e glândulas de lupulina na base da flor. ....	12
Figura 6. Isomerização de alfa ácidos em iso-alfa-ácidos e seus derivados. ....	13
Figura 7. Fluxograma básico do processo produção de cerveja .....	21
Figura 8. Moinho de rolos utilizado para moagem dos grãos de cevada. ....	22
Figura 9. Moinho de discos. ....	22
Figura 10. Arranjo de painéis para produção de cerveja artesanal. ....	26
Figura 11. Sistema de filtração via fundo falso (esquerda) e bazooka (direita).....	27
Figura 12. Esquema de lavagem contínua .....	28
Figura 13. Whirlpool.....	29
Figura 14. Distribuição de fluxo em um trocador de calor a placas. ....	30
Figura 15. Trocador de calor em contra corrente. ....	30
Figura 16. Chiller de cobre.....	31
Figura 17. Vias metabólicas da fermentação cervejeira. ....	32
Figura 18. Balde em plástico para fermentação. ....	34
Figura 19. Fermentador cônico .....	34
Figura 20. Airlock tipo S.....	35
Figura 21. Arrolhador de garrafas. ....	37
Figura 22. Beersmith 2 - Ingredientes e parâmetros estimados. ....	39
Figura 23. Beersmith 2 – Volumes de Água .....	39
Figura 24. Beersmith 2 – Detalhes da Mostura .....	39
Figura 25. Densímetro. ....	40
Figura 26. Régua Trident Flex-50 .....	43
Figura 27. Jarra graduada 3 litros. ....	43
Figura 28. Cronômetro.....	44
Figura 29. Termômetro analógico – tipo espeto .....	45
Figura 30. Botijão GLP P13 .....	46
Figura 31. Galão de água mineral 20 litros .....	47
Figura 32. Moinho de cereais Guzzo .....	50
Figura 33. Moagem de malte .....	51
Figura 34. Malte moído manualmente.....	51
Figura 35. Fogareiro de alta pressão 12 caulins .....	52
Figura 36. Mostura.....	53

Figura 37. Jarra plástica graduada e escumadeira. ....	53
Figura 38. Lavagem e trasfega do mosto.....	54
Figura 39. Fervura .....	55
Figura 40. Whirlpool e trub.....	56
Figura 41. Chiller de imersão .....	57
Figura 42. Medição de trub na jarra graduada. ....	58
Figura 43. Resistência elétrica.....	62
Figura 44. Trocadores de calor de tubos concêntricos.....	64
Figura 45. Diversos tipos de bombas hidráulicas. ....	65
Figura 46. Diagrama de blocos de um sistema com controlador PID .....	68
Figura 47. Motor elétrico de corrente alternada.....	70
Figura 48. Resistências elétricas EZBrew 3000W/4300W.....	71
Figura 49. Chiller de contra fluxo. ....	73
Figura 50. Bomba magnética MP 15R .....	74
Figura 51. Chuveiro de lavagem e fundo falso 40cm .....	75
Figura 52. Controlador CARP20 EZBrew.....	76
Figura 53. Moedor de rolos motorizado .....	77
Figura 54. Detalhes do motor do moedor.....	78
Figura 55. Brewstand 3 níveis.....	79
Figura 56. Furadeira Einhell RT-ID 65 e Pá de whirlpool em inox .....	80
Figura 57. Filtro 3M AP230 .....	81
Figura 58. Airlock digital com controle de fermentação remoto .....	82
Figura 59. Recravadeira de latas .....	82
Figura 60. Lavadora automática de barril.....	83
Figura 61. Sensor de temperatura NTC-10K.....	84
Figura 62. Gelo tipo escama .....	86
Figura 63. Malte moído com moedor automático .....	87
Figura 64. Processo de mostura com recirculação contínua .....	88
Figura 65. Lavagem dos grãos utilizando o método fly sparge.....	89
Figura 66. Fervura .....	90
Figura 67. Whirlpool utilizando furadeira elétrica.....	90
Figura 68. Trub obtido com whirlpool com furadeira .....	91
Figura 69. Arranjo do “pré-chiller” e trasfega para o fermentador.....	92
Figura 70. Eficiência de brassagem do processo 1 e 2.....	98
Figura 71. Comparativo dos aspectos visuais do processo 1 e 2.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação da dureza da água em função da concentração dos íons de íons de bicarbonato, cálcio e magnésio.....	8
Tabela 2. Principais íons que alteram a qualidade da água e seus efeitos. ....	9
Tabela 3. Tipos de maltes e propriedades. ....	10
Tabela 4. Principais variedades de lúpulo e suas características.....	13
Tabela 5. Principais Leveduras para produção de cerveja. ....	17
Tabela 6. Enzimas atuantes na mosturação, temperatura ideal, pH de atividade e função.....	23
Tabela 7. Tipo de proteína, vantagens e desvantagens.....	24
Tabela 8. Principais ésteres na cerveja.....	33
Tabela 9. Volume de CO2 típico de cada estilo de cerveja. ....	36
Tabela 10. Correção da densidade para densímetros calibrados a 20 °C.....	41
Tabela 11. Equipamentos de brassagem para processo artesanal e seus custos. ....	59
Tabela 12. Custos dos insumos da receita. ....	60
Tabela 13. Custos das utilidades do processo artesanal .....	60
Tabela 14. Equipamentos de brassagem para processo automatizado e seus custos	94
Tabela 15. Custos das utilidades do processo automatizado.....	95
Tabela 16. Resumo dos equipamentos em cada processo .....	96
Tabela 17. Comparação dos custos de GLP/energia elétrica.....	97
Tabela 18. Comparação dos custos de água e gelo .....	97
Tabela 19. Impacto da eficiência energética no custo por litro .....	98
Tabela 20. Comparativo da eficiência de brassagem.....	99
Tabela 21. Impacto da eficiência de produção no custo por litro.....	100
Tabela 22. Tempo de cada etapa em minutos no processo 1 .....	100
Tabela 23. Tempo de cada etapa em minutos no processo 2.....	101
Tabela 24. Custos fixos por mês dos processos 1 e 2 .....	103
Tabela 25. Resultado líquido dos processos 1 e 2.....	103
Tabela 26. VPL dos processos 1 e 2 .....	104
Tabela 27. VPL e payback da automação.....	104
Tabela 28. Resultado líquido dos processos em regime de 16 lotes/mês .....	107
Tabela 29. VPL e payback no regime de 16 lotes/mês .....	108

# 1 Introdução

## 1.1 Mercado de cervejas artesanais

O Brasil ocupa atualmente o 3º lugar no ranking mundial de produção de cerveja, estando a China em 1º lugar e os EUA em 2º. (FREITAS, 2015).

A produção de cerveja no Brasil cresce em média 5% ao ano. Em 2014, foram produzidos 14 bilhões de litros de cerveja no país, sendo mais da metade em embalagens de vidro retornável, conforme mostrado na figura 1 (CERVBRASIL, 2015).

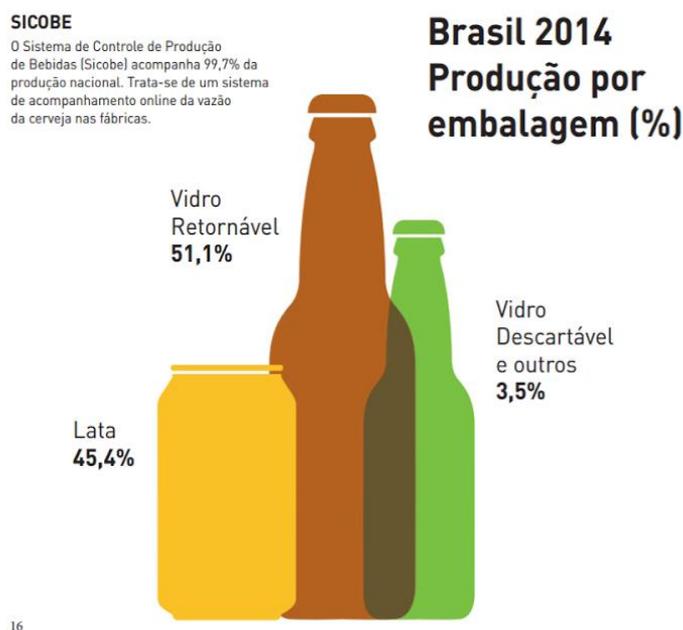


Figura 1. Produção de cerveja no Brasil por tipo de embalagem (%)

Fonte: CERVBRASIL

No Brasil, o setor de cerveja é o 12º maior gerador de empregos, de acordo com o BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento). Em 2014, o faturamento do setor foi de R\$ 70 bilhões e a participação no PIB total (Produto Interno Bruto total) foi de 1,6%. Foram gerados também R\$ 21 bilhões em tributos. Esses dados podem ser vistos na figura 2. (FREITAS, 2015).



Figura 2. Números macros do setor de cerveja no Brasil em 2014.

Fonte: CERVBASIL

Em termos de consumo, o Brasil ocupa a 27ª posição mundial, com 66,9 litros por pessoa, em 2014. Nesse mesmo ano, a República Tcheca, líder do ranking, apresentou consumo de 147,1 litros por pessoa (CERVBASIL, 2015).

A indústria cervejeira é caracterizada por duas tendências: uma representada por grandes empresas e fusões, com produção majoritariamente voltada para o consumo em massa e outra composta pelas microcervejarias, que tem foco em qualidade e características diferenciadas (ALVES, 2014).

Nos últimos anos, houve um reposicionamento de grandes empresas no mercado e diversas fusões. Em 2011, 40 empresas respondiam por 81,7% da produção global. Em 2015, a produção estava concentrada entre 11 empresas internacionais. A AB Inbev, líder no mercado cervejeiro mundial com 18,6% da produção, é uma companhia de bebidas de capital belgo brasileiro, constituída em 2004, a partir da fusão da empresa brasileira AmBev e da companhia belga Interbrew (FREITAS, 2015).

Há pouco mais de 10 anos, a cerveja era considerada uma bebida comum, sem muitas variações. No entanto, hoje se verifica uma heterogeneidade ascendente no mercado, com a oferta de produtos comerciais, gourmet, premium e artesanais (FREITAS, 2015).

Existem dois perfis predominantes de produtores de cerveja artesanal: os nano cervejeiros e os microcervejeiros. Os nano cervejeiros atuam em ambiente doméstico e apresentam pequena produção, sendo essa geralmente mais por hobby do que por

obtenção de lucro para subsistência. Ao mesmo tempo, os nano cervejeiros tem contato muito próximo com seus clientes e contribuem ativamente para a disseminação da cultura cervejeira. Em contrapartida, os microcervejeiros possuem local especializado e produzem quantidades maiores que os nano cervejeiros, e assim, fazem dessa atividade uma fonte de sustento ou de complementação significativa da renda (NAKABASHI, 2014).

De acordo com a *Brewers Association*, a classificação de uma cervejaria artesanal depende de três fatores: independência, tradição e volume produzido. O primeiro fator estabelece que a participação de grupos empresariais de bebidas não pode exceder 25% do capital da empresa. O segundo requer a existência de produtos puro malte no portfólio e o terceiro determina que a produção anual não pode ser superior a 2,4 milhões de hectolitros (FREITAS, 2015).

No Brasil, desde então, o número de microcervejarias vem crescendo em ritmo acelerado. Só no ano de 2018, foram criadas 210 novas cervejarias, número que representa mais que o total de estabelecimentos desse tipo em 2013 e um crescimento de 30% em relação ao ano anterior de 2017. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) contabilizou um total de 889 cervejarias registradas (ABRACERVA, 2018). Esse evolutivo pode ser encontrado na figura 3.



Figura 3. Histórico do número de cervejarias no Brasil.

Fonte: MAPA

A produção de cerveja artesanal é estimada em cerca de 2,5% da produção total do país, atingindo aproximadamente 380 milhões de litros por ano. Essa produção é

encontrada em 26 estados do país, onde o Rio Grande do Sul possui o maior número de estabelecimentos, seguido de São Paulo e Minas Gerais (ABRACERVA, 2018).

A tradição cervejeira da colonização alemã mantém a região Sul como a principal no número de cervejarias com um total de 369 estabelecimentos. O Sudeste vem em seguida com 328, o que reafirma a concentração dessa atividade no eixo Sul-Sudeste, que abriga mais de 78% de todas as cervejarias do país (MAPA, 2018). Essa distribuição pode ser observada na figura 4.

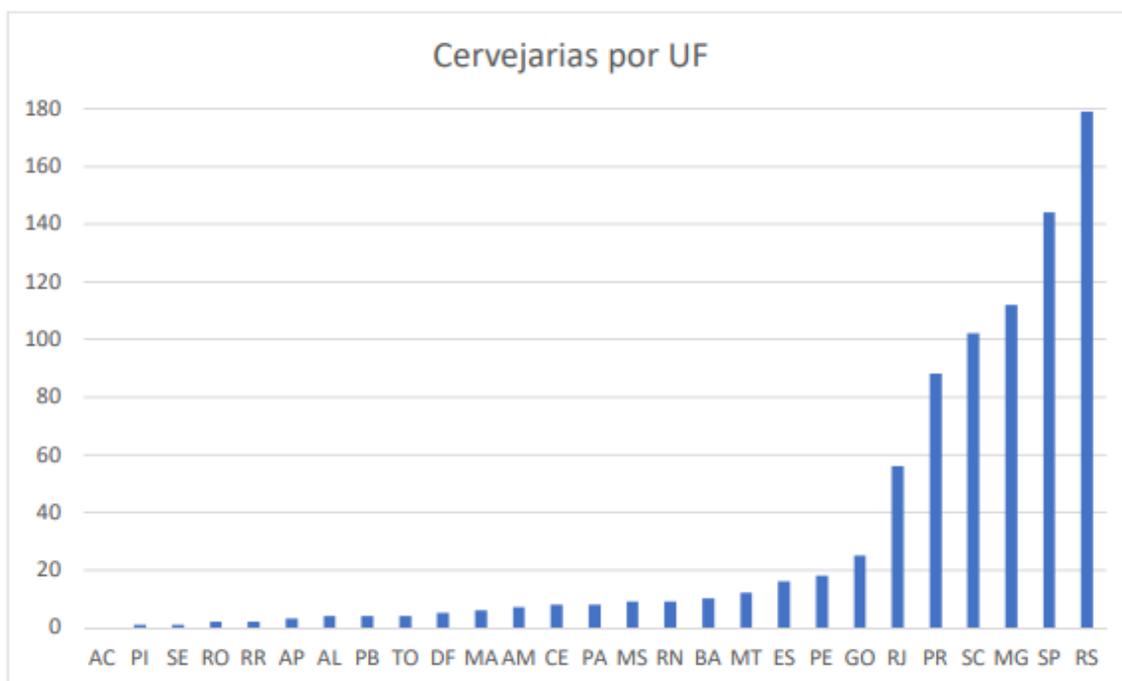


Figura 4. Cervejarias por unidade federativa.

Fonte: MAPA

Um ponto que merece destaque é o modelo de negócios que vem sendo amplamente adotado no país. Devido às dificuldades e burocracias para obter uma estrutura produtiva própria, muitas empresas nascem como “cervejarias ciganas”, que realizam suas produções em outras cervejarias devidamente registradas, como uma forma de terceirização. Essas cervejarias ciganas não são contabilizadas no anuário do MAPA, logo é possível inferir que o número de marcas de cervejas é muito superior aos 889 contabilizados pelo Ministério.

Este modelo em questão traz algumas facilidades para o produtor. Com um baixo capital inicial é possível iniciar sua marca, testar o mercado e experimentar receitas. Por outro lado, o custo da terceirização pesa no preço do produto final e pode tirar a competitividade da mercadoria.

Pelo lado do consumidor, também é possível notar uma escalada na quantidade de eventos voltados para esse tipo de bebida. Por exemplo, o festival internacional Mundial de La Bière, originário do Canadá, chegou no Brasil em 2013 sediado no Rio de Janeiro e desde 2018 realiza também o evento em São Paulo.

## 1.2 Motivação e objetivos

O trabalho surgiu da necessidade de mostrar os benefícios da mecanização e automatização do processo da produção de cerveja artesanal em escala caseira. Como exemplos de equipamentos, podemos destacar o uso de moinho motorizado, termostatos e controladores PID, resistências elétricas, bomba de recirculação e filtragem, *chiller* de contra fluxo, envasadora de contrapressão, arrolhador automático, lavadora automática de garrafas, agitador magnético. A utilização de tais equipamentos ocasiona a melhoria na qualidade do produto final e na eficiência da produção que resulta em otimização de custos, além de facilitar todo o trabalho do mestre cervejeiro e garantir a repetibilidade do produto.

O presente estudo tem como objetivo analisar o processo produtivo desse tipo de cerveja com enfoque na escala caseira. O escopo passa por destacar as oportunidades da expansão e aprimoramento da produção a partir da utilização de dispositivos e equipamentos mecânicos, assim como seus resultados práticos na eficiência energética e produtiva.

De forma mais específica, é possível destacar:

- Análise da moagem, confrontando os resultados da eficácia e tempo entre o procedimento manual e a mecanizado.
- Análise da mostura, apontando métodos mais eficazes em relação a variação de temperatura do mosto e velocidade de aquecimento.
- Análise da filtragem, ressaltando a economicidade de tempo e qualidade do processo de filtragem dos grãos da mostura utilizando-se a bomba.
- Análise da fervura, verificando índices de volume e densidade inicial e consequente eficiência da brassagem.
- Análise de custos, estimando economias e dispêndios com matérias primas e utilidades como GLP e energia elétrica.

O seguinte projeto também possui como intuito mostrar a viabilidade econômica dessa automação. Fatores como qual escala de produção que é aplicável, incremento no valor presente líquido (VPL), *payback* e amortização dos investimentos também foram avaliados.

### **1.3 Descrição do trabalho**

Inicialmente, foi feita uma revisão bibliográfica a fim de se compreender os principais fatores e conceitos associados à produção da cerveja no processo artesanal. Nesse item, encontram-se descritos: matérias-primas, equipamentos e etapas do processo de produção.

No capítulo 3, foi desenvolvido o estudo referente ao processo artesanal de fabricação de cerveja. As técnicas de análise foram explanadas, assim como cada etapa do processo produtivo, com seus resultados e custos envolvidos.

Em seguida, tem-se de forma detalhada toda a proposta de automação do processo, com uma revisão bibliográfica dos equipamentos e dispositivos mecânicos e também dos conceitos que sustentam o ganho em eficiência. Além disso, tem-se o apontamento das oportunidades enxergadas no processo artesanal caseiro e as razões que viabilizam a implementação nessa escala de produção.

No capítulo 5, é apresentada a descrição do novo processo artesanal automatizado. As diferenças entre as métricas de avaliação entre os procedimentos e os custos de implementação foram detalhadas.

Na sequência, encontram-se apresentados e discutidos todos os resultados obtidos nas análises, tanto da cerveja final quanto das etapas do processo. A comparação dos processos artesanal e automatizado sob a ótica de eficiência energética e produtivo é exposta, além da visão de custos e amortização do investimento.

Por fim, apresenta-se uma conclusão contendo uma visão geral do estudo desenvolvido, além de sugestões para trabalhos futuros a serem realizados no tema, referências bibliográficas utilizadas e um apêndice com informações adicionais sobre o presente estudo.

## 2 Processo de Fabricação de Cerveja Artesanal

### 2.1 Matérias Primas

#### 2.1.1 Água

Dependendo da região onde é extraída, a água pode ter diferentes composições que irão influenciar na qualidade e nas características finais da cerveja. A água “mole”, devido ao baixo teor de íons Cálcio e Magnésio, encontrada na república Tcheca, por exemplo, é adequada para a produção da cerveja *Pilsen*. Já a água “dura”, com elevada concentração destes íons, proveniente de Wicklow em Dublin, favorece a fabricação de *stouts*, cervejas escuras, como a *Guinness*. Outro exemplo é a água provinda de Burton, na Inglaterra, que contém gipsita, sulfato de cálcio hidratado, que é ideal para a produção de cervejas do tipo *Pale Ale*. Cada tipo de água, portanto, contribui para a obtenção de um sabor único na cerveja (PALMER, 1999).

Embora algumas regiões sejam vantajosas para a produção de determinado tipo de cerveja, atualmente com o domínio da bioquímica, é possível adequar a água a ser utilizada com as características desejadas para o perfil da cerveja. Dessa forma, cervejas com as mesmas qualidades e propriedades podem ser produzidas em diferentes lugares do mundo.

Para produção da cerveja, a água empregada inclui-se em dois grupos:

- Água cervejeira: usada no preparo do malte para a moagem e na transferência de produtos em elaboração. Essa água está presente no produto final, ou seja, nas garrafas, latas e barris de cerveja e deve ser tratada, própria para o consumo;
- Água de serviço: utilizadas em procedimentos locais e equipamentos, porém não entram em contato com o produto.

Deve-se ter um cuidado maior com a água cervejeira, visto que ela compõe o produto final. Dessa forma, algumas análises químicas são fundamentais antes de empregá-la no processo, tais como: cor, turbidez, dureza, pH e análises biológicas. Estes parâmetros são importantes visto que irão definir o perfil da água e irão determinar se há a necessidade de ajuste de íons e de sais minerais para o refinamento de uma dada receita.

O índice de dureza da água é calculado a partir da soma das concentrações dos íons de bicarbonato, cálcio e magnésio, expresso em partes por milhão (ppm), ou na

medida equivalente de miligramas por litro (mg/L). As especificações associadas à denominação de água “mole”, “média” e “dura” estão representadas na tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Classificação da dureza da água em função da concentração dos íons de íons de bicarbonato, cálcio e magnésio.

<b>Classificação da água</b>	<b>Concentração dos íons (ppm)</b>
Água mole	0-50
Água média	51-110
Água dura	111-200
Água super dura	>200

Fonte: Palmer

A turbidez é produzida por pequenas partículas em suspensão, que podem ser de natureza orgânica ou inorgânica, como, por exemplo, terra, argila, areia e outros minerais. Podem servir como fonte de alimentação de micro-organismos e interferir no processo de desinfecção e dessa forma, o ideal é que a água esteja livre de turbidez. Uma forma de remoção dessas partículas é por meio do processo de filtração.

O pH no processo cervejeiro também deve ser monitorado e estar controlado na faixa de 6,5 a 7,5. Ele atua diretamente nos processos de regulação da atividade enzimática, de solubilização de componentes adstringentes, na variação da cor e na coagulação dos componentes proteicos do mosto.

Em relação aos padrões microbiológicos, deve-se ressaltar a importância de um plano de higienização e controle criterioso na unidade industrial. Dessa forma, pode-se garantir que a água apresentará todas as características desejadas: límpida, inodora, sem sabor e livre de micro-organismos.

Mesmo que todas estas características estejam dentro do padrão indicado, ainda assim pode ser necessário o ajuste de sais minerais. Os minerais presentes na água podem afetar a conversão de amido no mosto, acarretando na necessidade de alterações no processo de produção. No entanto, este efeito dos minerais torna-se menos evidente nas etapas posteriores, nas quais os açúcares já estão quebrados em moléculas menores.

Em caso de odor desagradável, duas providências podem ser adotadas: ferver a água e utilização de filtros de carvão ativado, que podem ser acoplados na torneira ou no próprio encanamento. Por meio destas medidas, é possível remover a maior parte dos maus odores e sabores causados pela dissolução de gases e substâncias orgânicas, além de compostos que contém cloro e cloramina.

Por fim, pode-se ainda regular na água a concentração de alguns íons específicos que alteram diretamente o processo produtivo e a qualidade do produto final. O efeito dos principais íons está descrito na tabela 2 abaixo.

Tabela 2. Principais íons que alteram a qualidade da água e seus efeitos.

Íons	Efeito
Cálcio	Favorece a coagulação proteica durante a fervura do mosto; evita a turvação da bebida e estimula o metabolismo e a floculação da levedura.
Magnésio	Efeito similar ao cálcio, porém em menor intensidade. É essencial ao funcionamento de certas enzimas da levedura.
Zinco	Ativa a síntese de proteínas, estimulando o crescimento de leveduras, e assim ativando a fermentação.
Cloretos	Cloretos de cálcio e magnésio em baixas concentrações não são prejudiciais à cerveja. Conferem a ela um paladar encorpado e redondo. Contudo, teores acima de 100 mg/L favorecem a corrosão dos equipamentos

Fonte: Palmer e Kaminski

### 2.1.2 Malte

O principal malte para fabricação de cerveja é oriundo da cevada, a cevada germinada, embora também possa ser preparado a partir de outros cereais como trigo, milho e arroz. Basicamente, no processo de fabricação do malte, ou maltagem, os grãos dos cereais são imersos em meio aquoso e ao atingirem cerca de 45% de umidade sob condições controladas de temperatura e umidade, germinam.

A próxima etapa consiste na secagem deste material até aproximadamente 10% de umidade, e assim o malte é colocado em um forno onde é aquecido gradualmente até temperaturas mais elevadas, próximas de 70°C. O objetivo do processo é transformar internamente estes grãos ao aumentar a sua carga enzimática. Ao completar a secagem, o malte será moído ou triturado a fim de separar os grãos e expor o cotilédone, que contém a maior parte dos carboidratos e açúcares que serão extraídos durante a brassagem. (PALMER, 1999)

O malte apresenta alta atividade enzimática (poder diastásico) e suas principais enzimas são:  $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase, maltase e proteases. Em relação à  $\alpha$ -amilase, por exemplo, seu poder diastásico chega a 250% no malte, contrastando com os 50% da cevada não maltada. É importante reforçar que estas enzimas transformam o amido, presente no próprio malte e originalmente na cevada, em açúcares menores para a ação das leveduras e produção de álcool, gás carbônico e outros subprodutos da

fermentação. Por fim, a composição de maltes utilizados na formulação da cerveja vai proporcionar aromas e sabores característicos, além de influenciar na cor da bebida.

Abaixo tem-se os principais tipos de malte para determinados estilos de cerveja, sua faixa de cor bem como a classificação da sua atividade enzimática.

Tabela 3. Tipos de maltes e propriedades.

<b>TIPOS DE MALTE</b>	<b>UTILIZAÇÃO</b>	<b>COR (ECB)</b>	<b>ATIVIDADE ENZIMÁTICA</b>	<b>MAX %</b>
<b>Maltes Base</b>				
<i>Pilsen (2 fileitas)</i>	Malte base para todas as cervejas	1,8 – 4,4	Muito boa a excelente	100
<i>Pilsen (6 fileiras)</i>	Malte base com maior poder diastático que o anterior, indicado para cervejas com muitos adjuntos	3 – 5	Excelente	100
<i>Vienna</i>	Malte indicado para o estilo Viena, mas pode ser usado para cervejas âmbar em geral, para dar cor e sabor	6 – 8	Boa	100
<i>Pale Ale</i>	Indicado para os estilos Pale Ale, Indian Pale Ale e Barley Wine	4 – 8	Muito boa	100
<i>Mild Ale</i>	Altamente recomendado para todas as Ales inglesas	7 – 11	Suficiente	100
<b>Maltes de Cor</b>				
<i>Munich</i>	Indicado para cervejas de estilo alemão, como Dunkel, Marzen e Altbier	12 – 25	Suficiente	100
<i>Âmbar</i>	Malte característico para Brown Ales	40 – 60	Ruim	30
<i>Melanoidina</i>	Utilizado para realçar a complexidade de maltes de vários tipos de cerveja	30 – 66	Mínima	30
<i>Marrom</i>	Utilizado em todos os tipos de cerveja escura	100 – 130	Nenhuma	80
<b>Maltes torrados</b>				
<i>Cjocolate</i>	Confere cor e aroma em cervejas escuras, como Porter e Stout	200 – 400	Nenhuma	20
<i>Preto</i>	Confere cor e aroma em cervejas escuras, como Porter e Stout	690 – 1250	Nenhuma	10
<b>Maltes Caramelo/ Cristal</b>				
<i>Carapils</i>	Adiciona corpo e sabor à cerveja sem adicionar cor	3,5 - 5	Nenhuma	15

<i>Cara Hell / Cara Blond</i>	Adiciona corpo e sabor em cervejas do estilo Pale Ale e IPA	8 – 12	Nenhuma	15
<i>Coramunich / Crystal</i>	Acentua corpo e sabor e aroma em Lages e ales com cor entre dourado e marrom	30 – 60	Nenhuma	15
<i>Carared / Cara Ruby</i>	Adiciona corpo e intensifica o sabor de malte em diversos estilos de cerveja	16 – 23	Nenhuma	15
<i>Caraaroma / Special B</i>	Confere cor e sabor intensos de caramelo	115 – 150	Nenhuma	15
<b>Outros Maltes Especiais</b>				
Acidificado	Utilizado para baixar o pH da mostura ou para preparar estilos ácidos	3 – 5	Muito boa	20
Defumado	Confere aroma e sabor defumado à cerveja	2 – 4	Muito boa	100
<b>Trigo e outros cereais não maltados</b>				
Malte de Centeio	Utilizado para acrescentar sabor de centeio e notas picantes à cerveja	10	Muito boa	50
Malte de Trigo	Utilizado no preparo de cervejas de trigo alemãs e americanas (American Wheat)	3 – 4	Suficiente	100
Trigo não maltado	Indicado para ajudar na retenção de espuma e dar sabor às Ales	4	Nenhuma	40
Cevada torrada	Confere sabor torado e amendoado e cor vermelho-castanho intenso, característicos das Red Ales	1000	Nenhuma	10
Aveia em Flocos	Utilize para aumentar o corpo e a complexidade do sabor numa OatmealStout	2	Nenhuma	10

Fonte: Dinslaken

A cor do malte, assim como a cor da cerveja, é determinada através de escalas de cores padronizadas. Os dois sistemas atualmente usados são o *European Brewing Convention (EBC)* e o *Standard Reference Method (SRM)*, sendo o primeiro também apresentado na tabela 3 acima (DINSLAKEN, 2016).

### 2.1.3 Lúpulo

Lúpulo é uma flor cônica de plantas trepadeiras nativas das regiões temperadas da América do Norte, Europa e Ásia. Embora a espécie tenha plantas macho e fêmea

separados, somente as plantas fêmeas produzem o cone. Inicialmente, o objetivo de utilizar o lúpulo na cerveja seria para conservação da bebida, uma vez que o vegetal era considerado um conservante natural. No entanto, notou-se que este ingrediente também conferia um amargor à cerveja, que agradava ao paladar (DINSLAKEN, 2016).

A base das pétalas da flor contém glândulas amarelas de lupulina, um material resinoso, de sabor amargo, onde predominam resinas, óleos, antocianinas, tanino e  $\alpha$ -ácidos. Os óleos essenciais são responsáveis pelo aroma de lúpulo presente nas cervejas (ex.: mirceno, humuleno, cohumuleno), enquanto o amargor é definido principalmente pelos índices de alfa/beta ácidos. Dessa forma, o lúpulo tem dupla função na produção de cerveja: a aromática e a que propicia o sabor amargo. A figura 5 abaixo exibe a base do lúpulo com as glândulas de lupulina.



Figura 5. Lúpulo e glândulas de lupulina na base da flor.

Fonte: Palmer

Os principais responsáveis pelo amargor da cerveja são os alfa ácidos isomerizados. Os alfa ácidos são transferidos gradualmente para o mosto e durante a sua fervura, mudam de estrutura e isomerizam. Este processo demanda tempo e geralmente após a adição do lúpulo, a fervura do mosto é mantida por certo tempo (DINSLAKEN, 2016). A figura 6 representa a reação de isomerização que ocorre com os alfa ácidos.

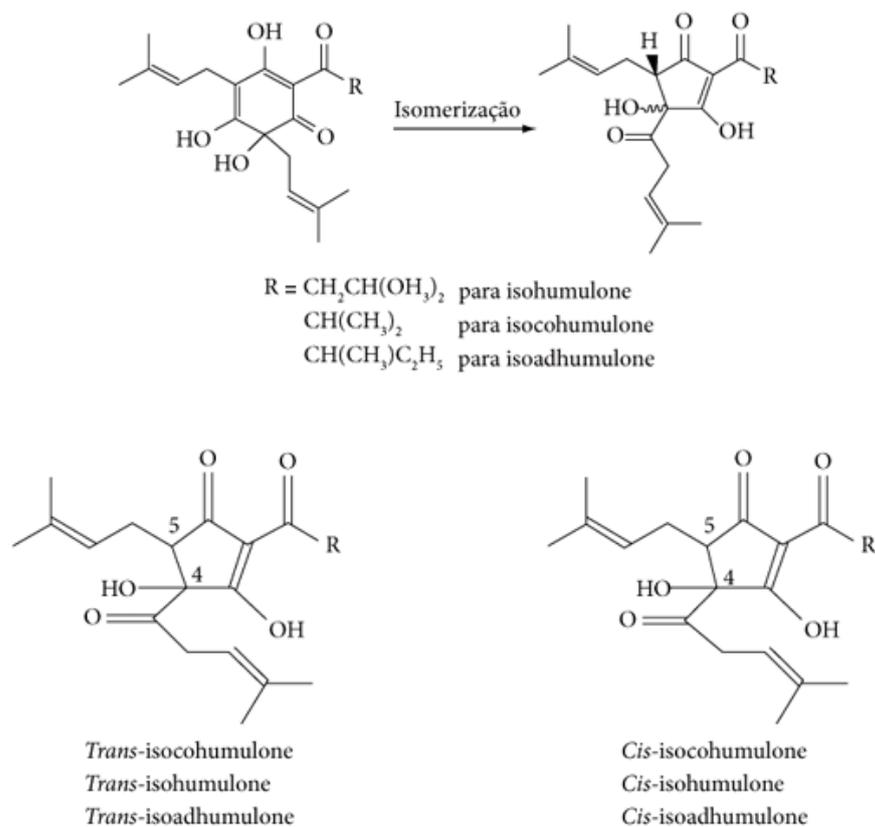


Figura 6. Isomerização de alfa ácidos em iso-alfa-ácidos e seus derivados.

Fonte: Silva e Faria

Apesar de tratar-se de uma única espécie, existem diversas variedades de lúpulo, cada uma com características bem definidas, com diferentes intensidades de amargor e perfis de aromas. A escolha do lúpulo certo para a cerveja é fundamental e é tarefa do cervejeiro conhecer as suas características e propriedades (DINSLAKEN, 2016).

A tabela 4 abaixo apresenta as principais variedades de lúpulo e suas características.

Tabela 4. Principais variedades de lúpulo e suas características.

VARIEDADE	PAÍS DE ORIGEM	TIPO	ALPHA ÁCIDO (%)	CARACTERÍSTICA	USO
<i>Admiral</i>	Inglaterra	Amargor	13,5 – 16,5	Resinoso, neutro	Ales americanas e inglesas
<i>Ahtanum</i>	USA	Amargor / Aroma	5,7 – 6,3	Floral e cítrico	Versões americanas das bitters inglesas

<i>Amarillo</i>	USA	Amargos / Aroma	8 – 11	Floral e cítrico intenso	<i>Pale Ales</i> , IPAs e Belgian IPAs
<i>Aurora</i>	Eslovênia	Amargor / Aroma	7 – 9,5	Picante e gramíneo	<i>Pale</i> belgas e <i>lagers</i>
<i>Bobek</i>	República Tcheca	Amargor / Aroma	3,5 – 7	Picante terroso	<i>Pale</i> belgas e <i>lagers</i>
<i>Bramling Cross</i>	Inglaterra	Aroma	5 – 7	Picante, cassis	<i>Pale Ale</i> inglesas, <i>Old Ale</i> e <i>Barley Wine</i>
<i>Cascade</i>	USA	Amargor / Aroma	4,5 – 7	Floral, <i>grapefruit</i>	<i>American Pale Ale</i>
<i>Centennial</i>	USA	Amargor	9,5 – 11,5	Floral, frutado (similar <i>Cascade</i> )	Amargor e aroma para diversos estilos de cervejas americanas, como as IPAs
<i>Challenger</i>	Inglaterra	Amargor / Aroma	5 – 9	Picante, cedro, chá-verde	<i>Ales</i> inglesas
<i>Chinook</i>	USA	Amargor / Aroma	11 – 14	<i>Grapefruit</i> , resinoso, pinho	IPAs e Imperial IPAs
<i>Citra</i>	USA	Aroma	11 – 13	Manga, maracujá, frutas tropicais	IPAs
<i>Cluster</i>	USA	Amargor	5,5 – 8,5	Picante, amora	IPAs
<i>Columbus</i>	USA	Amargor / Aroma	14 – 16	Pimenta-do-reino, pinho, alcaçuz	<i>Belgion</i> IPA, Imperial IPA e <i>Saison</i>
<i>Crystal</i>	USA	Aroma	3,5 – 5	Tangerina, cítrico	<i>German Pils</i> e <i>Kölsch</i>
<i>East Kent Golding</i>	Inglaterra	Aroma	4 – 7	Picante, condimentado, terroso	<i>Pale Ale</i> , <i>Strong Ale</i> e <i>Barley Wine</i>
<i>First Gold</i>	Inglaterra	Amargor / Aroma	6,5 – 8,5	Picante, laranja, geleia	<i>Pale Ale</i> inglesas e <i>Bitters</i>
<i>Fuggle</i>	Inglaterra	Amargor / Aroma	3 – 6	Terroso, notas de grama e menta	Cervejas escuras inglesas
<i>Galaxy</i>	Austrália	Aroma	1 – 16	Maracujá, pêssego	<i>Pale lagers</i> e IPAs
<i>Galena</i>	USA	Amargor	12 – 14	Picante, notas de cassis	Grande variedade de cervejas americanas
<i>Golding</i>	USA	Aroma	4 – 6	Picante, notas de mel, terroso	Adiciona um sabor Inglês às <i>Pale Ales</i> e IPAs americanas
<i>Green Bullet</i>	Nova Zelândia	Amargor	11 – 14	Floral, frutado-resinoso	Amargor em cervejas belgas
<i>HallertauerMittelfrüh</i>	Alemanha	Aroma	5 – 7	Herbal com um toque amadeirado e com notas de menta	Clássico para <i>German Pilsners</i>

<i>Hersbrucker</i>	Alemanha	Aroma	2 – 5	Picante, um pouco mais frutado que <i>Hallertauner</i>	Usado em diversos estilos de <i>lagers</i> e ales continentais
<i>Liberty</i>	USA	Aroma	3,5 – 5	Floral e frutado, abacaxi	Adequado para aroma da maioria dos estilos <i>Lager</i>
<i>Magnum</i>	Alemanha / USA	Amargor	11 – 16	Neutro, pouco aroma	Amargor para <i>lagers</i> , onde um amargor super limpo é desejado
<i>Mosaic</i>	USA	Aroma	11,5 – 13,5	Complexo, com frutas tropicais, cítrico, pinho e terroso	IPAs e <i>Pale Ales</i>
<i>Motueka</i>	Nova Zelândia	Aroma	6,5 – 8,5	Super limpo, cítrico, combina bem com Saaz	<i>Saison</i> , <i>Witbiers</i> e <i>Fruit Biers</i>
<i>Nelson Sauvin</i>	Nova Zelândia	Amargor / Aroma	11 – 13	Super frutado, um pouco como vinho brando Sauvignon e notas de groselha	<i>Single hop</i> , <i>Saison</i> e <i>Strong Golden Ale</i>
<i>Nortern Brewer</i>	Alemanha	Amargor / Aroma	7,5 – 10	Picante, resinoso, notas herbáceas	Califórnia <i>Common</i> , belgas escuras
<i>Nugget</i>	USA	Amargor	12 – 14,5	Delicado, pera, pêsego	Amargor para cervejas do estilo Americano
<i>Pacific Gem</i>	Nova Zelândia	Amargor	13 – 15	Amora, carvalho, pinho	Experimente em cervejas envelhecidas
<i>Pacific Jade</i>	Nova Zelândia	Amargor / Aroma	12 – 14	Pimenta-preta e cítrico	<i>Saison</i> e <i>Hafeweizen</i>
<i>Palisade</i>	USA	Amargor / Aroma	5,5 – 9,5	Flora e frutado, mix de características inglesas e alemãs	Amargor e aroma para versões criativas de <i>lagers</i>
<i>Perle</i>	Alemanha	Amargor / Aroma	6 – 10	Mais picante que <i>Hallertau</i> , notas florais e frutados	Cervejas de trigo ( <i>Weiss</i> )
<i>Pilgrim</i>	Inglaterra	Amargor / Aroma	7 – 11	Picante, cedro e mel	<i>Saison</i> e <i>Witbier</i>
<i>Pioneer</i>	Inglaterra	Amargor / Aroma	8 – 10	Amargor limpo e agradável, notas cítricas	Adicione complexidade em <i>Ales</i> inglesas

<i>Progress</i>	Inglaterra	Aroma	4 – 7	Características inglesas, como Fuggle, mas um pouco mais doce	Aroma para uma ampla variedade de Ales inglesas
<i>Saaz</i>	República Tcheca	Aroma	2 – 8	Picante, terroso, gloral	O clássico lúpulo picante/herbal para cervejas alemãs
<i>Saphir</i>	Alemanha	Aroma	2 – 4,5	Floral e frutado	<i>Single hop</i> , <i>Kölsch</i> e cervejas de trigo
<i>Sorachi Ace</i>	Japão / USA	Amargor / Aroma	10 – 16	Aroma cítrico único com um toque de endro	<i>Single hop</i> , <i>season</i> e outros estilos belgas
<i>Summit</i>	USA	Amargor	16 – 19	Descrito como um toque de cebola e alho junto com cítrico e picante	Amargor para ampla variedade de ales
<i>Tettnager</i>	Alemanha	Aroma	3 – 6	Limpo, picante leve	Ótimo em cervejas de trigo e um componente clássico em muitas <i>American Lagers</i>
<i>Wakatu</i>	Nova Zelândia	Amargor	6,5 – 6,5	Pinho e laranja, com notas florais e baunilha	Ótimo para IPAs e estilos similares
<i>Warrior</i>	USA	Amargor	15 – 17	Amargor muito limpo	Bastante versátil para amargor
<i>Willamette</i>	USA	Amargor / Aroma	4 – 6	Notas de cassis, picante e floral	Adiciona características inglesas em qualquer cerveja
<i>Zeus</i>	USA	Amargor / Aroma	14 – 16	Pimenta-do-reino, pinho, alcaçuz	<i>Belgian IPA</i> , <i>Imperial IPA</i> e <i>Season</i>

Fonte: Dinslaken

Pode-se, portanto, dividir o lúpulo em duas categorias:

- Lúpulos de amargor, nos quais os alfa-ácidos corresponde cerca de 10% de seu peso. Geralmente são acrescentados no malte no início da ebulição e fervidos durante cerca de uma hora.
- Lúpulos de aroma, com cerca de 5% em peso de alfa-ácidos, produzem um sabor e aroma mais agradável à cerveja. Também conhecidos como lúpulos "de acabamento" (*finishing hops*), são adicionados ao final da

fervura, sendo normalmente fervidos por 15 minutos ou menos (PALMER, 1999).

#### 2.1.4 Levedura

As leveduras são seres unicelulares, pertencentes ao reino dos fungos e responsáveis pela fermentação alcoólica na ausência de oxigênio (condição anaeróbica). Embora ao longo da história da cerveja tenham sido cultivadas dezenas de cepas de leveduras, com diferentes características de fermentação, duas delas merecem destaque por serem comumente empregadas no processo: *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces uvarum*. A levedura pura é selecionada, comercializada na forma líquida e presa a um inóculo sólido ou é vendida na forma de células liofilizadas (secas). Essas leveduras além de produzir álcool, devem flocular e sedimentar, o que permite a separação da cerveja obtida do inóculo (PALMER, 1999).

De modo geral, podemos classificar as variações cervejeiras das leveduras em dois tipos funcionais.

- *Alta fermentação*: além de fermentarem em temperaturas mais altas (16-24°C), elevam-se à superfície da cerveja no final da fermentação formando uma película flutuante. Este tipo de levedura é bastante empregado na fabricação de cervejas do tipo *Ale*.
- *Baixa fermentação*: Também conhecidas como leveduras para a fabricação de cervejas do tipo *Lager*. Diferente do tipo anterior, essas leveduras se depositam no fundo do fermentador ao final do processo de fermentação e atuam em uma faixa de temperatura mais baixa (9-15°C).

Abaixo é apresentado um comparativo com algumas das principais leveduras secas e líquidas utilizadas, na produção de variados estilos de cerveja.

Tabela 5. Principais Leveduras para produção de cerveja.

<b>Estilo da Cerveja</b>	<b>Exemplo Comercial</b>	<b>Levedura Líquida</b>			<b>Levedura Seca</b>	
		<b>Wyeast</b>	<b>White Labs</b>	<b>Bio4</b>	<b>Fermentis</b>	<b>Lallemand</b>
<i>Premium American lager</i>	<i>Heineken</i>	2035 <i>American lager</i>	840 <i>American</i>	<i>American lager 002</i>	<i>Fermentis 34/70</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>
<i>Dortmund export</i>	<i>DAB Export</i>	2124 <i>Bohemian lager</i>	830 <i>Germanlager</i>	<i>Germanlager 004</i>	<i>Fermentis S23</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>
<i>Bohemian pilsner</i>	<i>PilsnerUrquell</i>	2001 <i>Urquell</i>	800 <i>POPilsner</i>	<i>PilsnerUrquell 001</i>	<i>Fermentis 34/70</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>

<i>Germanpilsner</i>	<i>Bitburger</i>	<i>2007 Pilsener</i>	<i>840 American lager</i>	<i>American lager 002</i>	<i>Fermentis 34/70</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>
<i>Viennalager</i>	<i>Brooklyn lager</i>	<i>2124 Bohemian lager</i>	<i>830 Germanlager</i>	<i>Germanlager 004</i>	<i>Fermentis 34/70</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>
<i>Oktoberfest / Märzen</i>	<i>PaulanerOktoberfest</i>	<i>2206 Bavarianlager</i>	<i>820 Germanlager</i>	<i>Germanlager 004</i>	<i>Fermentis 34/70</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>
<i>Hellesbock</i>	<i>AyingerMaibock</i>	<i>2487 Hella bock</i>	<i>833 Germanbock</i>		<i>Fermentis 34/70</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>
<i>Dopplebock</i>	<i>PaulanerSalvator</i>	<i>2124 Bohemianlager</i>	<i>830 Germanlager</i>	<i>Germanlager 004</i>	<i>Fermentis 34/70</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>
<i>Eisbock</i>	<i>NiagaraEisbock</i>	<i>2308 Munichlager</i>	<i>838 Southern Germanlager</i>		<i>Fermentis 34/70</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>
<i>Munichduffel</i>	<i>AyingerAltboairischDunkel</i>	<i>2278 Czechpils</i>	<i>800 Pilsner</i>	<i>PilsnerUrquell 001</i>	<i>Fermentis 34/70</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>
<i>Bitter (ESB)</i>	<i>Fullers ESB</i>	<i>1187 Ringwood ale</i>	<i>005 English ale</i>	<i>London ESB 030</i>	<i>Fermentis S04</i>	<i>BRY-97 / Nottingham</i>
<i>Pale ale</i>	<i>Sierra Nevada Pale Ale</i>	<i>1187 Ringwood ale</i>	<i>005 English ale</i>	<i>London ESB 030</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>Nottingham</i>
<i>English IPA</i>	<i>Brooklyn East India Pale Ale</i>	<i>1187 Ringwood ale</i>	<i>005 English ale</i>	<i>London ESB 030</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>BRY-97</i>
<i>American IPA</i>	<i>Stone IPA</i>	<i>1272 American ale</i>	<i>060 American ale blend</i>	<i>American ale 025</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>BRY-07 / Nottingham</i>
<i>Black IPA</i>	<i>Hi5 2 Cabeças</i>	<i>1187 Ringwood ale</i>	<i>005 English ale</i>	<i>London ESB 030</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>BRY-07 / Nottingham</i>
<i>Irishred ale</i>	<i>Way Beer Irish Red Ale</i>	<i>1084 Irish ale</i>	<i>004 Irish ale</i>	<i>Irish ale 032</i>	<i>Fermentis S33</i>	<i>BRY-07 / Nottingham</i>
<i>Belgianblonde ale</i>	<i>LeffeBlond</i>	<i>1388 Belgianstrong</i>	<i>570 Belgiangolden ale</i>	<i>Belgian ale 066</i>	<i>Fermentis S33</i>	<i>BRY-07 / Nottingham</i>
<i>Belgiandubbel</i>	<i>Westmalle Dubbel</i>	<i>3944 Belgian</i>	<i>400 Belgianwital ale</i>	<i>Trappist ale 065</i>	<i>Fermentis S33</i>	<i>Abbaye / Nottingham</i>
<i>Belgiantripel</i>	<i>StBernardusTripel</i>	<i>3944 Belgianwitalbier</i>	<i>400 Belgianwital ale</i>	<i>Trappist ale 065</i>	<i>Fermentis S33</i>	<i>Abbaye</i>
<i>Mild</i>	<i>Moorhouses Black Cat</i>	<i>1318 London ale III</i>	<i>013 London ale</i>	<i>London ESB 030</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>Nottingham / Windsor</i>

<i>American barleywine</i>	<i>Sierra Nevada Bigfoot</i>	<i>1056 American ale</i>	<i>001 California ale</i>	<i>American ale 025</i>	<i>Fermentis 34/70</i>	<i>BRY-07 / Nottingham</i>
<i>Dry stout</i>	<i>Guinness Draught Stout</i>	<i>1084 Irish ale</i>	<i>004 Irish ale</i>	<i>Irish ale 032</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>BRY-97 / Nottingham</i>
<i>Brown porter</i>	<i>Fuller's London Porter</i>	<i>1028 London ale</i>	<i>013 London ale</i>	<i>American ale 025</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>Nottingham / Windsor</i>
<i>Weizenbock</i>	<i>Schneider Acentinus</i>	<i>3056 Bavarian wheat</i>	<i>380 Hefeweizen IV</i>	<i>Hefeweizen 055</i>	<i>Fermentis WB06</i>	<i>Munich / Munich Classic</i>
<i>Witbier</i>	<i>Hoegaarden Wit</i>	<i>3944 Belgian witbier</i>	<i>400 Belgian wit ale</i>	<i>Belgian Wit 067</i>	<i>Fermentis WB06</i>	<i>Munich</i>
<i>Dunkelweizen</i>	<i>Ayinger Ur-Weisse</i>	<i>3056 Bavarian wheat</i>	<i>380 Hefeweizen IV</i>	<i>Hefeweizen 055055</i>	<i>Fermentis WB06</i>	<i>Munich / Munich Classic</i>
<i>Kölsch</i>	<i>Eisenbahn Kölsch</i>	<i>2565 Kölsch</i>	<i>029 German ale</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>	
<i>California common</i>	<i>Anchor Steam</i>	<i>2112 California ale</i>	<i>810 San Francisco lager</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>	
<i>Saison</i>	<i>Saison Dupont Vieille Provision</i>	<i>3711 French saison</i>	<i>565 Belgian saison I</i>	<i>Saison ale 064</i>	<i>Belle Saison</i>	
<i>California common</i>	<i>Anchor Steam</i>	<i>2112 California ale</i>	<i>810 San Francisco lager</i>	<i>Fermentis US-05</i>	<i>Diamond / Nottingham</i>	
<i>Saison</i>	<i>Saison Dupont Vieille Provision</i>	<i>3711 French saison</i>	<i>565 Belgian saison I</i>	<i>Saison ale 064</i>	<i>Belle Saison</i>	

Fonte: Dinslaken

### 2.1.5 Adjuntos

Adjuntos são fontes de carboidratos complementares ao malte, fornecendo açúcares redutores fermentescíveis. Não são provenientes da cevada e, geralmente, são carboidratos não maltados tais como: milho, arroz, trigo, dentre outros. Algumas indústrias inclusive utilizam o xarope de maltose como fonte de açúcar, que além de fornecer substrato para a ação das maltases, também tem a função de acelerar a etapa da mosturação (PALMER, 1999).

Como descrito anteriormente, as enzimas do malte atuam sobre o amido da cevada que lhe deu origem. No entanto, na maior parte das vezes, estas enzimas precisam de mais substrato para promover uma maior sacarificação. Dessa forma, estes

adjuntos são utilizados e adicionados ao processo, podendo entrar na proporção de até 50% da quantidade de malte (PALMER, 1999).

Os aditivos são materiais que podem apresentar várias funções e características que auxiliarão na eficiência da produção de cerveja, além de torná-la mais saborosa. Alguns aditivos comumente utilizados na cerveja são:

- *Antioxidantes*: tem como função evitar a ação do oxigênio, que é o principal fator da deterioração das gorduras dos alimentos. Quando sofrem transformações, essas gorduras acabam por alterar o sabor e odor do produto, tornando-o impróprio para o consumo.
- *Estabilizantes*: mantém as características físicas das emulsões e suspensões, isto é, misturas como a bebida alcoólica. São adicionadas às cervejas com a finalidade de aumentar sua viscosidade.
- *Acidulantes*: atuam como adjunto de aroma e sabor e estão disponíveis comercialmente na forma de soluções aquosas incolores, inodoras, viscosas e não voláteis. São geralmente produzidos pela fermentação de sacarose altamente refinada. Este componente também auxilia no ajuste do pH, diminui o tempo de maceração e favorece a precipitação das proteínas, melhorando a cor e auxiliando a filtração do mosto.

Podem-se citar também como aditivos o açúcar comercial (sacarose), as frutas e as especiarias. É muito comum o uso de glicose ou o açúcar invertido (açúcar fervido com água) na cerveja antes do engarrafamento. O intuito dessa medida é estimular a carbonatação natural, levando a levedura a converter esse açúcar em gás carbônico e álcool dentro da garrafa (PALMER, 1999).

## **2.2 Processo produtivo**

### **2.2.1 Fluxograma de processo**

O processo de fabricação de cerveja consiste em diversas operações que vão desde a moagem dos ingredientes até o envase. Resumidamente, o processo consiste em moer o malte da cevada e o colocar em água quente para reativar e acelerar a atividade das enzimas, convertendo as reservas de amido da cevada em açúcares num curto período de tempo. O líquido açucarado resultante (mosto) é fervido com lúpulo e fermentado pela levedura, produzindo a cerveja. As etapas são as seguintes: Moagem do malte, mosturação, filtração, fervura do mosto, resfriamento, fermentação, maturação, carbonatação e engarrafamento. Um fluxograma simplificado pode ser encontrado na figura 7.

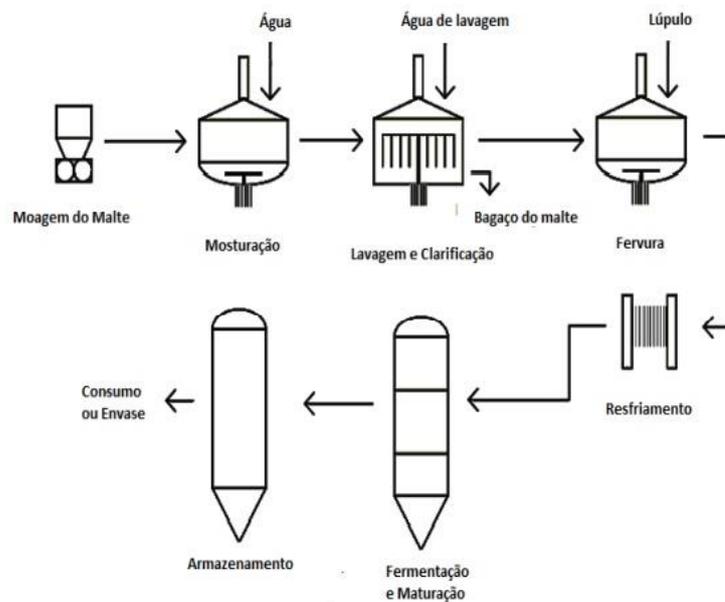


Figura 7. Fluxograma básico do processo produção de cerveja

Fonte: Autoria própria

### 2.2.2 Moagem

O processo, dentro da fábrica de cerveja, inicia-se com a moagem do malte. O malte estocado nos silos é moído por esmagamento entre rolos, com o objetivo de quebrar os grãos e expor o endosperma rico em amido, para maximizar a atuação das enzimas na etapa posterior.

A forma como os grãos são moídos pode interferir na produção da cerveja. No processo artesanal, o grão não deve ser moído a ponto de virar um pó, mas também não deve estar inteiro. O ideal é que ele seja quebrado “ao meio”, expondo o amido (parte branca interna do grão) e preservando a casca, a qual funcionará como um filtro na etapa de circulação, tornando a cerveja mais clara e límpida (REIS&REIS, 2016).

No processo industrial, os grãos são moídos até a forma de farelo, o que aumenta a eficiência na extração de açúcar e não causa prejuízo na filtração, uma vez que o método utilizado é mais robusto. No processo artesanal, os farelos podem entupir os equipamentos na recirculação e deixar a cerveja mais turva.

Existem dois tipos principais de moinhos utilizados nas cervejarias: o de rolos e o de discos. O moinho de rolos é comumente empregado e geralmente trabalha em pares tal como pode ser observado na figura 8. É bastante eficiente e geralmente é mais caro, justamente por ser revestido com aço inoxidável. Já o moinho de discos, não é tão

eficiente quanto o de rolos, mas é mais acessível e executa o seu papel dentro da precisão esperada para pequenos cervejeiros. Esse modelo pode ser notado na figura 9.



Figura 8. Moinho de rolos utilizado para moagem dos grãos de cevada.

Fonte: Loja Lamas Brew Shop.



Figura 9. Moinho de discos.

Fonte: Mercado livre

### 2.2.3 Mostura

A mosturação pode ser entendida como o cozimento do malte para obtenção de açúcares fermentáveis a partir do amido contido no malte e outros carboidratos fermentáveis, e tem como objetivo obter um rendimento otimizado de extração, ter uma produtividade máxima da brassagem e minimizar custos de energia e operacionais.

A mosturação é um processo de transformação enzimática que é influenciada por: concentração do mosto na mostura, tempo de atuação das enzimas, temperatura

da mostura, pH da mostura, qualidade do malte utilizado e composição da moagem do malte (PALMER, 1999).

Durante o processo as três principais reações são: a hidrólise do amido em carboidratos fermentáveis (glicose, frutose, sacarose, maltose e maltorriose) e não fermentáveis (dextrinas), a hidrólise de proteínas a aminoácidos e a terceira é a reação de degradação das cadeias remanescentes de beta-glucano. As três transformações ocorrem sob ação das enzimas amilolíticas e dextrinase, protease e betaglucanases, respectivamente (GONÇALVES et al., 2016). Todavia existem ainda outras enzimas, mas devido às condições da mostura estas são as mais atuantes.

A quantidade de cada tipo de açúcar é obtida de acordo com a temperatura, uma vez que cada enzima atua em uma temperatura diferente. Entre as enzimas amilolíticas, a  $\alpha$ -amilase, responsável por produzir os açúcares não fermentáveis, atua na faixa de temperatura entre 68°C e 72°, enquanto que a  $\beta$ -amilase, que produz os açúcares fermentáveis, atua na faixa de 55°C e 65°C.

É importante destacar que essa variação está relacionada com o tipo de estilo de cerveja a ser produzido. Dessa forma, é função do mestre cervejeiro ajustar a temperatura e pH do mosto, bem como administrar a duração desses ajustes, de modo a favorecer a ação de uma ou outra enzima e, portanto, customizar o mosto resultante de acordo com os critérios desejados. exemplifica as enzimas atuantes e suas respectivas faixas de atuação.

Tabela 6. Enzimas atuantes na mosturação, temperatura ideal, pH de atividade e função.

<b>Enzima</b>	<b>Temperatura de atividade (°C)</b>	<b>pH de atividade</b>	<b>Função</b>
Glucanases	35 a 45	4,5 a 5,5	Quebram as moléculas que conferem a regidez do amido.
Enzima de desramificação	36 a 45	5 a 5,5	Hidrolisam ligações glicodídicas alfa-(1-6) na amilopectina (amigo ramificado insolúvel) em amiloses.
Proteases	45 a 55	3,7 a 5,3	Degradam as proteínas formando complexos de menor peso molecular, mas solúveis, e que são importantes nutrientes no processo de fermentação. Os polipetídeos de alto peso molecular residuais, formados durante a maltação, serão importante para a estabilidade da espuma.

Beta-amilases	55 a 65	5 a 5,5	Decompõem a amilose e a amilopctina de fora para dentro, de duas em duas unidades de glicose.
Alfa-amilases e dextrinases limite	65 a 75	5,3 a 5,7	Atuam desordenadamente sobre as ligações internas, alfa - (1-4)

Fonte: Palmer

Existem duas técnicas comumente utilizadas no processo da mosturação: Infusão e Decocção. O método mais utilizado pela maioria dos *homebrewers* é a infusão e significa que, no momento da brassagem a água a ser utilizada é esquentada até uma determinada temperatura e o malte moído é inserido dentro do caldeirão. Então, o mosto é mantido sob uma temperatura constante ou submetido a rampas de temperatura, dependendo do estilo da cerveja a ser produzida (REIS&REIS, 2016). Já na decocção a temperatura do mosto é elevada até um novo patamar fervendo parte dele separadamente. As literaturas sugerem que 1/3 é a quantidade ideal, mas esta quantidade pode ser alterada para 1/4 ou 1/2. A decocção pode ser simples, dupla ou tripla, de acordo com quantas adições são feitas para controlar a temperatura.

Durante a mosturação o mosto pode ser esquentado em rampas de temperaturas diferentes para dar determinadas características à cerveja, visto que a cada faixa uma enzima é atuante, conforme descrito a seguir:

- Repouso proteico: 50-55°C

As enzimas que atuam nessa faixa de temperatura agem nos cereais ricos em proteína, como trigo, centeio, aveia e grãos não maltados.

As proteínas podem ser classificadas de acordo com o seu peso molecular (PM), sendo que cada tipo confere vantagens e desvantagens no processo de produção da cerveja, como pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7. Tipo de proteína, vantagens e desvantagens.

Tipo de proteína		Vantagens	Desvantagens
Alto	peso molecular	-Algumas contribuições com retenção de espuma	-Grande turbidez -Instabilidade
Médio	peso molecular	-Importante para retenção de espuma -Confere corpo	-Turbidez
Baixo	peso molecular	-Nutriente para fermentação	-Não colabora com retenção de espuma

Fonte: Henrik Boden

São três enzimas responsáveis pelo repouso proteolítico: A protease ( 50-60°C) é responsável por quebrar as proteínas de alto PM para proteínas de médio PM. Ou seja, essa enzima transforma a proteína “ruim” de alto PM em proteína “boa” de médio PM; A exopeptidase (40-50°C) transforma proteínas de alto e médio PM em proteínas de baixo PM. Ou seja, essa enzima aumenta a quantidade de nutrientes para a levedura, mas como ponto negativo quebra também proteínas de médio PM o que pode acabar “afinando” a cerveja deixando ela aguada (sem corpo) e com problemas de retenção de espuma; A endopeptidase (~ 50-60°C) decompõe as cadeias proteolíticas em proteínas de alto e médio PM (HENRIK BODEN, 2015).

- Sacarificação  $\beta$ -amilase: 55-65°C

Essa enzima é responsável por converter o amido do malte, quebrado a partir da extremidade, em açúcares menores, portanto mais fermentáveis. Mais açúcar fermentável significa maior atividade fermentativa, conseqüentemente mais conversão de açúcar em álcool, deixando pouco residual. Como resultado, a cerveja torna-se mais alcoólica e menos encorpada/doce. O tempo ideal para essa parada é de 40 a 70 minutos, dependendo do estilo da cerveja a ser produzida.

- Sacarificação  $\alpha$ -amilase: 68-73°C

Essa enzima é a responsável por converter parte do amido, quebrado a partir do centro, em açúcares não fermentáveis (dextrinas). Como consequência, a cerveja terá maior residual de açúcar, o que dá a sensação de corpo à bebida. O tempo ideal para essa parada é de 15 a 30 minutos. Dependendo do estilo essa parada pode até ser desconsiderada.

- Inativação de enzimas: 75-79°C

Também conhecido como “*mash-out*”, essa faixa de temperatura serve para inativar o trabalho das enzimas e preparar o mostro para filtragem e posteriormente fervura. O tempo ideal é de 5 a 15 minutos.

Nesse processo de mostura, o sistema mais utilizado na produção caseira de cerveja é o uso de três painéis, representado na figura 10, sendo as outras duas para o aquecimento da água de lavagem e para a etapa de fervura, que são descritas nas seções subsequentes. As painéis são geralmente feitas de alumínio ou aço inox AISI304, além de possuírem válvulas e, em alguns casos, termômetros e marcadores de temperatura.



Figura 10. Arranjo de panelas para produção de cerveja artesanal.

Fonte: Indupropil

Na etapa de mosturação, é necessária filtrar o mosto do que sobre dos resquícios sólidos do malte adicionado. Dessa forma, a panela usada possui uma forma que permita realizar a filtração. Geralmente, isso é feito através de um fundo falso ou com um filtro denominado filtro *bazooka*. O fundo falso é uma espécie de filtro que o malte moído é separado no fundo da panela, criando uma camada filtrante intermediária, sem contato com o fundo da panela.

O *bazooka* é um filtro de malha que atua engatado no registro de saída da panela, impedindo que os grãos de cevada saiam durante a recirculação do mosto, ao final da brassagem. Como ela permite o contato do mosto com os grãos, permite uma maior homogeneização da temperatura (CARNEIRO et al,2016). Por outro lado, deve-se ter cuidado para evitar o de entupimento da mesma. Os dois tipos de sistema de filtração comumente utilizados, conforme descrito, estão ilustrados na Figura 11.



Figura 11. Sistema de filtração via fundo falso (esquerda) e bazooka (direita).

Fonte: Loja Lamas Brew Shop

#### 2.2.4 Filtragem e Lavagem

Após os 10 minutos de *mash out* recomenda-se realizar a filtração do mosto. No processo artesanal, o líquido é retirado no fundo do caldeirão e colocado na parte de cima, para ser filtrado pelas cascas do grão. À medida que o mosto circula, mais límpido ele se torna. O tempo ideal para este processo de filtração é de 30 minutos.

Após a clarificação do mosto, ainda existem açúcares disponíveis no bagaço de malte que podem ser extraídos por meio de uma lavagem em que a própria casca do malte atuará como elemento filtrante.

A esse processo, economicamente importante, dá-se o nome de *sparging*. O cervejeiro deve manter uma panela com água aquecida na mesma temperatura do *mash out* (entre 76 e 78 graus). Para realizar esse procedimento, o cervejeiro possui duas opções, o *fly sparge* e o *batch sparge*.

No processo de *fly sparge*, a lavagem é contínua e água de lavagem entra na panela de mostura ao mesmo tempo que o mosto é transferido da panela de mostura para a tina de fervura. O ideal é que essas vazões sejam baixas e similares para que a cama de grãos não seja perturbada garantindo uma melhor extração dos açúcares residuais. (DINSLAKEN, 2016). Esse esquema foi explicitado na figura 12.

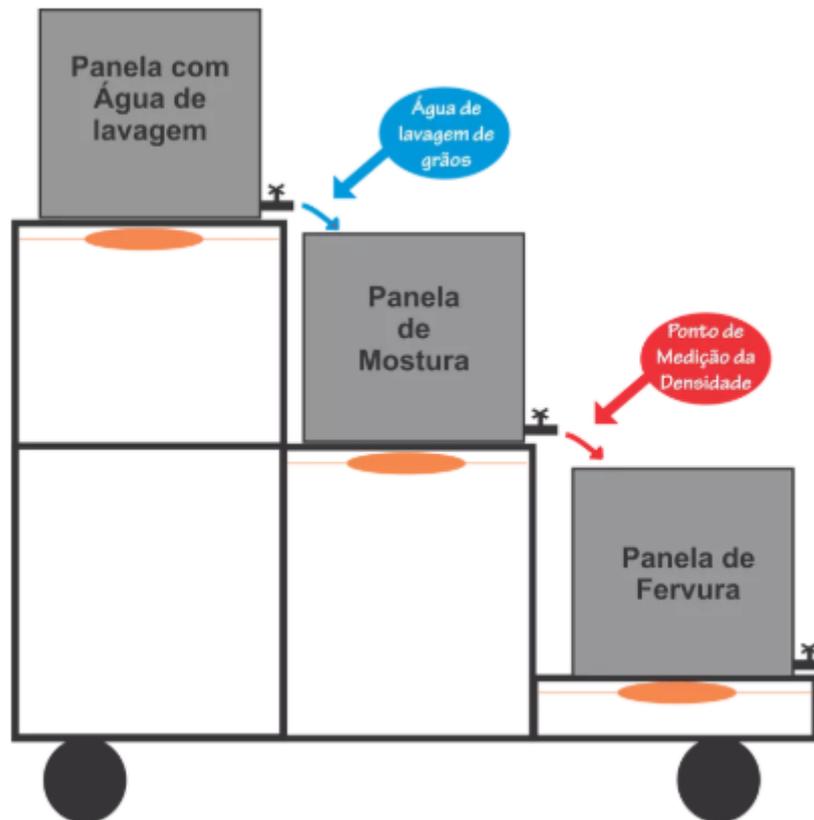


Figura 12. Esquema de lavagem contínua  
 Fonte: Dinslaken

Outra possibilidade é fazer o *batch sparge*, em que primeiramente o mosto é totalmente drenado para a panela de fervura. Após isso, toda a água da lavagem é adicionada à panela de mostura, homogeneizada firmemente e depois recirculada até que esteja suficientemente clarificada e novamente drenada em sua totalidade para a panela de fervura. (DINSLAKEN, 2016)

### 2.2.5 Fervura

Após todo o mosto filtrado ser trasfegado para a tina de fervura, é levado ao estado de ebulição durante 1 hora podendo chegar até 2 horas (REIS&REIS, 2016). É nesta etapa que é feito a adição de lúpulo. A fervura tem algumas funções importantes do processo como:

- Solubilização e transformação das substâncias amargas do lúpulo;
- Eliminação de substâncias voláteis indesejáveis;
- Esterilização do mosto;
- Precipitação de proteínas de peso molecular elevado;

- Fixação da concentração final do mosto.

Após a fervura, é necessário fazer a separação do mosto quente dos lúpulos não solubilizados e do precipitado proteico. Antes do mosto entrar para os fermentadores, é resfriado até a temperatura de trabalho da levedura.

### 2.2.6 *Whirlpool*

O *whirlpool* é uma técnica utilizada no mosto após a etapa de fervura, onde o cervejeiro utilizando uma pá, produz um redemoinho, o qual resulta na formação do *trub*, que nada mais é do que o produto das partículas mais pesadas que o mosto decantadas no fundo da panela, como as proteínas que coagulam e restos de lúpulo.

Tem-se como objetivo, não levar tais elementos para o fermentador, a fim de que os mesmos não atrapalhem o trabalho das leveduras, bem como obter um líquido mais límpido possível. Esse efeito pode ser observado na figura 13.

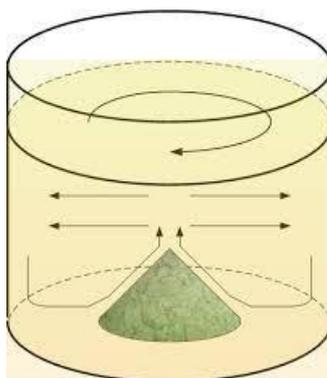


Figura 13. *Whirlpool*

Fonte: Concerveja

### 2.2.7 Resfriamento

O resfriamento do mosto inicia a etapa fria da brassagem e a partir desse momento, deve-se atentar aos riscos reais de contaminação. Esse processo deve ocorrer da forma mais rápida possível, para minimizar esses riscos. Além disso, com o fogo desligado, o DMS formado não é evaporado, com isso, se o resfriamento for lento, aumenta-se a chance da cerveja ter aroma de milho cozido (REIS&REIS, 2016).

O ideal é que o mosto seja resfriado até temperaturas seguras para a sobrevivência das leveduras (máximo de 27°C) ou já para a temperatura de fermentação, o que vai depender da levedura utilizada. Em geral, temperaturas mais

amenas (12°C) são usadas para leveduras de baixa fermentação, e temperaturas mais altas para leveduras de alta fermentação (20°C) (GONÇALVES et al., 2016).

Existem três formas tradicionais de fazer o resfriamento do mosto:

- Trocador de calor com placas: Utilizado majoritariamente na indústria. Tem alta eficiência (o resfriamento ocorre na hora), mas o custo é elevado, como mostrado na figura 14.

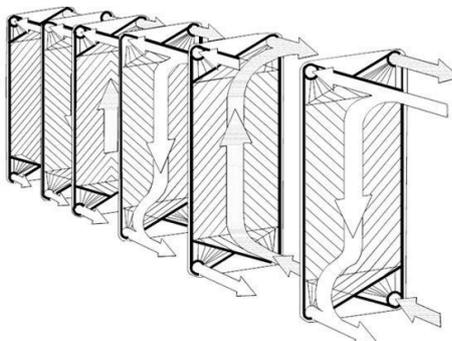


Figura 14. Distribuição de fluxo em um trocador de calor a placas.

Fonte: Henrik Boden

- Contra fluxo: Constituído por uma mangueira inserida em uma outra mangueira de maior diâmetro, figura 15. O mosto passa na mais fina enquanto a água de resfriamento passa na mangueira mais grossa, fazendo a troca térmica.



Figura 15. Trocador de calor em contra corrente.

Fonte: Henrik Boden

- *Chiller* de imersão: Método mais comum, que foi utilizado no processo artesanal caseiro. É constituído de uma serpentina, geralmente de cobre ou alumínio, que é colocada na panela de fervura e a água passa dentro do *chiller*, resfriando o mosto de forma gradual, figura 16. Normalmente, utiliza-se gelo com água para

acelerar o processo num arranjo em série com um “pré-chiller”, diminuindo a temperatura de entrada do líquido.



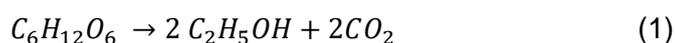
Figura 16. Chiller de cobre.

Fonte: Henrik Boden

### 2.2.8 Fermentação

De forma simples, a etapa de fermentação consiste na conversão dos açúcares fermentáveis do mosto em álcool, gás carbônico e subprodutos pela ação da levedura. A levedura produz álcool e gás carbônico ao dissociar os açúcares fermentescíveis (glicose, maltose, maltotriose, frutose e sacarose) alimentando-se, ao mesmo tempo, de proteínas e sais minerais (DIAS CARNEIRO, 2010).

A reação global do processo de fermentação a partir da glicose é expressa por:



Entretanto, a fermentação cervejeira é um processo complexo, no qual através da atividade metabólica dos microrganismos, ocorrem diversas transformações da matéria orgânica (carboidratos e aminoácidos) como exemplificado pela figura 17.

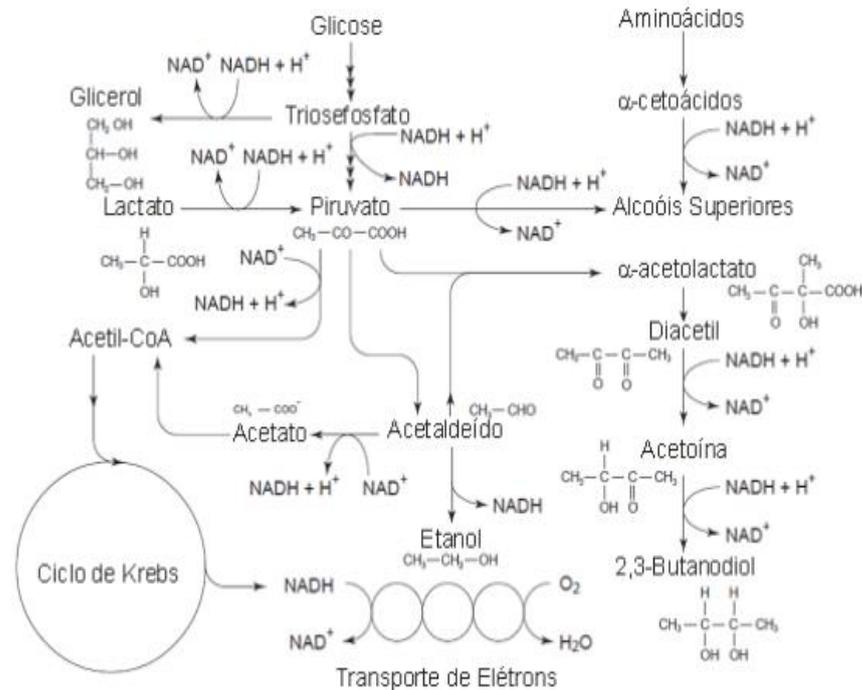


Figura 17. Vias metabólicas da fermentação cervejeira.

Fonte: Dias Carneiro

A partir da análise da figura acima, pode-se observar que os açúcares (representado nesse caso pela glicose) são as principais fontes de energia para a levedura e o elemento necessário para a produção de etanol. Os compostos gerados a partir das vias metabólicas dos aminoácidos e as gorduras são fundamentais para a construção de uma estrutura celular saudável e para o desenvolvimento das substâncias responsáveis pelo *flavor* da cerveja.

Durante a fermentação, as leveduras produzem uma variedade de compostos responsáveis pelo aroma vindos diretamente do metabolismo de açúcares e aminoácidos presentes no mosto. As classes mais importantes de compostos voláteis são o acetaldeído, os álcoois superiores e os ésteres (DIAS CARNEIRO, 2010).

O acetaldeído é excretado na cerveja “verde” pelas leveduras durante os três primeiros dias de fermentação e é responsável pelo sabor definido como rançoso. Ao longo da fermentação, a concentração de acetaldeído decresce, pois é consumido pelas leveduras. Nas cervejas “verdes” a concentração está entre 20-40 mg/L e decresce para 8-10 mg/L no produto finalizado. Condições como quantidade suficiente de levedura ao final do processo e uma temperatura mais elevada de maturação são necessárias para a redução deste composto ser efetiva.

Em contraste com o acetaldeído, os álcoois superiores são compostos responsáveis pelo aroma característicos do final do processo de fermentação e fornecem um sabor indesejado à cerveja, sendo considerado como um sabor parecido com plástico.

Por outro lado, os ésteres são compostos muito importantes para a configuração do *flavor* na cerveja. Eles fornecem um aroma frutado/floral e são desejáveis na cerveja quando encontrados em quantidades moderadas, pois assim fornecem um aroma agradável à cerveja. Quando presente em excesso, eles fornecem um forte aroma de frutas, que é considerado indesejável pela a maioria dos consumidores. Entretanto, o tipo de cerveja é o fator determinante para a presença desejada ou não do éster.

Tabela 8. Principais ésteres na cerveja.

<b>Composto</b>	<b>Faixa Encontrada (mg/L)</b>	<b>Aroma</b>	<b>Gama de concentração (mg/L) em 48 cervejas</b>
Acetato de etila	20-30	Frutal	8-32
Acetato de Isoamílico	0,6 - 1,2	Banana	0,2 - 3,8
Caproato de Etila	0,17 - 0,21	Parecido com maçã	0,05 - 0,3
Caprilato de Etila	0,3 - 0,9	Parecido com maçã	0,04 - 0,53
Acetato de Feiletila	3,8	Rosas, mel, maçã, adocicado	0,10 - 0,73

Fonte: Dias Carneiro

O fermentador é um dos equipamentos mais importantes do processo de produção de cerveja. A principal função de um fermentador é oferecer um ambiente controlado que permita às leveduras produzirem álcool e gás carbônico como produtos principais.

O reator do tipo tanque com agitação convencional mecânica é largamente utilizado nos processos industriais. Eles possuem um eixo vertical de agitadores em formato de pás, que são responsáveis por homogeneizar o mosto. Para produções artesanais em menor escala é comum o uso de um fermentador cônico ou um balde de

plástico, aço inox ou vidro adaptado para a fermentação. Como os fermentadores devem ser operados em condições assépticas, é necessário a utilização de um sistema de fermentação passível de sanitização. A figura 18 mostra modelos artesanais de um tanque de fermentação, e é possível ver na figura 19 um modelo de fermentador cônico industrial.



Figura 18. Balde em plástico para fermentação.

Fonte: Loja Lamas Brew Shop



Figura 19. Fermentador cônico

Fonte: Loja Lamas Brew Shop

A geometria do fermentador é bastante importante para a eficiência da fermentação, pois deve facilitar a eficácia da troca gasosa e levar em conta os

fenômenos de transporte existentes nos processos biológicos. Além disso, é importante que o tanque de fermentação contenha o acessório denominado *airlock* para permitir a saída dos gases produzidos durante a fermentação e impedir que o ar de fora contamine a cerveja, como mostrado na figura 20.



Figura 20. Airlock tipo S

Fonte: Loja Lamas Brew Shop

### **2.2.9 Maturação**

É a etapa onde ocorre o processo de refinamento da cerveja a temperaturas adequadas, sendo a primeira parte, acima da temperatura de fermentação, com o fim de permitir a liberação dos componentes voláteis indesejáveis como os ésteres, cetonas, aminoácidos, acetaldeído, etc. Esta etapa é responsável por encerrar esses processos e posteriormente, a desacelerar a ação das leveduras.

A segunda parte da operação é feita a temperatura perto de 0°C, a fim de fazer com que o fermento residual e outras substâncias em suspensão se decantem no fermentador, deixando a cerveja mais limpa e clara. (AQUARONE et al, 2001). Geralmente o tempo gasto nesse processo dura entre uma e duas semanas, ou até mais dependendo do estilo da cerveja.

### **2.2.10 Carbonatação**

No final da maturação, a cerveja perdeu todo o gás produzido ao longo do processo e então, é feita a etapa de gaseificação. Este processo pode ser feito de duas formas principais: a carbonatação em barril ou em garrafa. A primeira é forçada, e ocorre com a introdução de gás carbônico na cerveja a partir de um cilindro. A segunda é

resultado de uma nova fermentação, feita pelas leveduras ativas remanescentes, e é o método mais usado pelo cervejeiro caseiro.

Na carbonatação em garrafa, há o fornecimento de uma nova fonte de açúcar fermentável para a cerveja, que é envasada e tampada. A levedura remanescente consome esse açúcar, produzindo naturalmente o gás, o qual é retido e solubilizado, formando a espuma na cerveja. A quantidade de açúcar varia de acordo com tipo de cerveja produzida, uma vez que o volume médio de CO<sub>2</sub> varia de acordo com os estilos, como exemplificado na tabela 9.

A forma recomendada de adicionar o açúcar na cerveja é por meio de uma solução aquosa chamada *priming*. Adiciona-se a quantidade de açúcar adequada para o tipo de cerveja produzida, onde para cada 4 gramas de açúcar de cozinha adicionadas em 1 litro de cerveja, a levedura produz mais 1 volume de CO<sub>2</sub>, em um volume de água 2,5 vezes maior, que é fervida até que seja feita a diluição, e após o resfriamento, é despejada lentamente na cerveja (REIS&REIS, 2016).

Tabela 9. Volume de CO<sub>2</sub> típico de cada estilo de cerveja.

<b>Estilo da cerveja</b>	<b>Volume de CO<sub>2</sub></b>
<i>Ales inglesas</i>	1,5-2,0
<i>Porter, stout</i>	1,7-2,3
<i>Ales belgas</i>	1,9-2,4
<i>Lagers</i>	2,2-2,7
<i>Ales americanas</i>	2,2-2,7
<i>Lambics</i>	2,4-2,8
Cerveja de Trigo	3,3-4,5

Fonte: Henrik Boden

### **2.2.11 Envase**

Para fazer o envase da cerveja, é preciso sanitizar as garrafas e, caso seja feito o processo *priming*, é necessário saber fazer o cálculo da quantidade adequada. No processo caseiro, as garrafas podem ser lavadas com solução de iodo ou peracético em abundância. Na indústria se faz uso de várias soluções, como a de hidróxido de sódio. Em laboratório é possível autoclavar as garrafas. A esterilização adequada das garrafas é muito importante, pois a chance de contaminação da cerveja é muito grande, o que caso aconteça, leva a uma perda de toda a bebida produzida.

Além disso, nesse processo deve-se evitar a exposição da cerveja ao oxigênio, para não promover a oxidação da mesma. Deve-se deixar o líquido escorrer pelas

beiradas da garrafa, sem muita turbulência, até que a mesma esteja quase cheia. É importante destacar, que não se deve preencher toda a garrafa com cerveja, pois é necessário manter um espaço vazio, *headspace*, devido à formação do gás. O controle de pressão nas garrafas pode ser feito com uma garrafa fechada com um manômetro adaptado, contendo a mesma cerveja e a mesma quantidade que as outras (CARNEIRO et al, 2016).

O arrolhador proporciona o fechamento das garrafas ou envase da cerveja artesanal, conforme apresentado na figura 21. Há diferentes tipos desse equipamento no mercado, mas em geral o seu funcionamento é manual. Após encher as garrafas, deve-se tampá-las com arrolhador e armazená-las em temperatura ambiente na ausência de luz, a fim de evitar *off flavours* provenientes da fotocontaminação (PALMER, 1999).



Figura 21. Arrolhador de garrafas.

Fonte: Lojas Lamas Brew Shop.

## 3 Processo artesanal

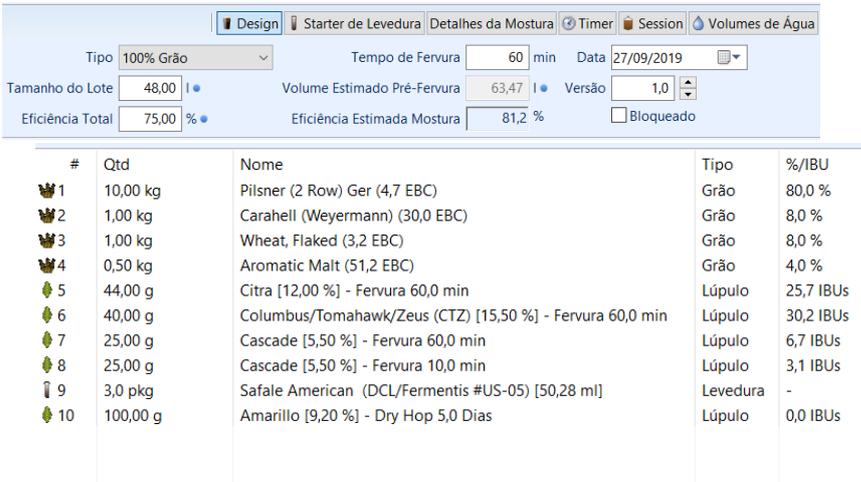
### 3.1 Métricas de avaliação

#### 3.1.1 Receita Controle

Para coleta de dados utilizados no presente trabalho, utilizou-se a receita controle que é descrita nas figuras que seguem. O estilo escolhido foi *American IPA – American India Pale Ale* que se enquadra no grupo 21A do guia BJCP - *Beer Judge Certification Program*.

Na produção da receita utilizou-se um software denominado *Beersmith 2*, que é, basicamente, um sistema de compilação, armazenamento e integração de dados para facilitar o manuseio com as informações necessárias para receitas de cerveja, possibilitando conduzir experimentos com mais segurança e praticidade. Além disso, o software conta com diversos cálculos cervejeiros internalizados que possibilitam a estimativa de diversos parâmetros tanto no planejamento da receita quanto durante a brassagem.

Como procedimento inicial, é necessário fornecer o *input* de eficiência inicial para o software estimar os parâmetros do produto final. Por padrão, o *Beersmith* utiliza o valor de 75%. Além disso, é preciso estipular algumas configurações do equipamento, como perda por evaporação e volume total de *trub*. Esses parâmetros também possuem valores padrões e são utilizados pelo programa para calcular a necessidade de água total para a brassagem. Esses dados podem ser encontrados nas figuras abaixo.



The screenshot shows the Beersmith 2 software interface. At the top, there are tabs for 'Design', 'Starter de Levedura', 'Detalhes da Mostura', 'Timer', 'Session', and 'Volumes de Água'. Below the tabs, there are several input fields: 'Tipo' (100% Grão), 'Tempo de Fervura' (60 min), 'Data' (27/09/2019), 'Tamanho do Lote' (48,00), 'Volume Estimado Pré-Fervura' (63,47), 'Versão' (1,0), 'Eficiência Total' (75,00 %), and 'Eficiência Estimada Mostura' (81,2 %). There is also a 'Bloqueado' checkbox. Below the settings, there is a table with 10 rows of ingredients.

#	Qtd	Nome	Tipo	%/IBU
1	10,00 kg	Pilsner (2 Row) Ger (4,7 EBC)	Grão	80,0 %
2	1,00 kg	Carahell (Weyermann) (30,0 EBC)	Grão	8,0 %
3	1,00 kg	Wheat, Flaked (3,2 EBC)	Grão	8,0 %
4	0,50 kg	Aromatic Malt (51,2 EBC)	Grão	4,0 %
5	44,00 g	Citra [12,00 %] - Fervura 60,0 min	Lúpulo	25,7 IBUs
6	40,00 g	Columbus/Tomahawk/Zeus (CTZ) [15,50 %] - Fervura 60,0 min	Lúpulo	30,2 IBUs
7	25,00 g	Cascade [5,50 %] - Fervura 60,0 min	Lúpulo	6,7 IBUs
8	25,00 g	Cascade [5,50 %] - Fervura 10,0 min	Lúpulo	3,1 IBUs
9	3,0 pkg	Safale American (DCL/Fermentis #US-05) [50,28 ml]	Levedura	-
10	100,00 g	Amarillo [9,20 %] - Dry Hop 5,0 Dias	Lúpulo	0,0 IBUs

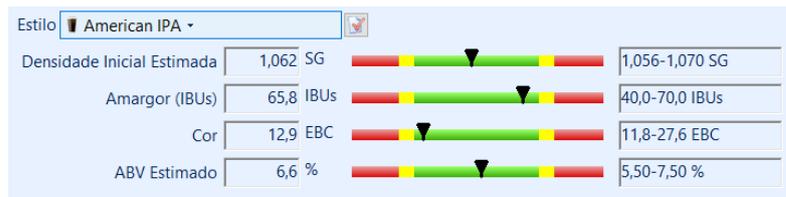


Figura 22. Beersmith 2 - Ingredientes e parâmetros estimados.

Fonte: Autoria própria

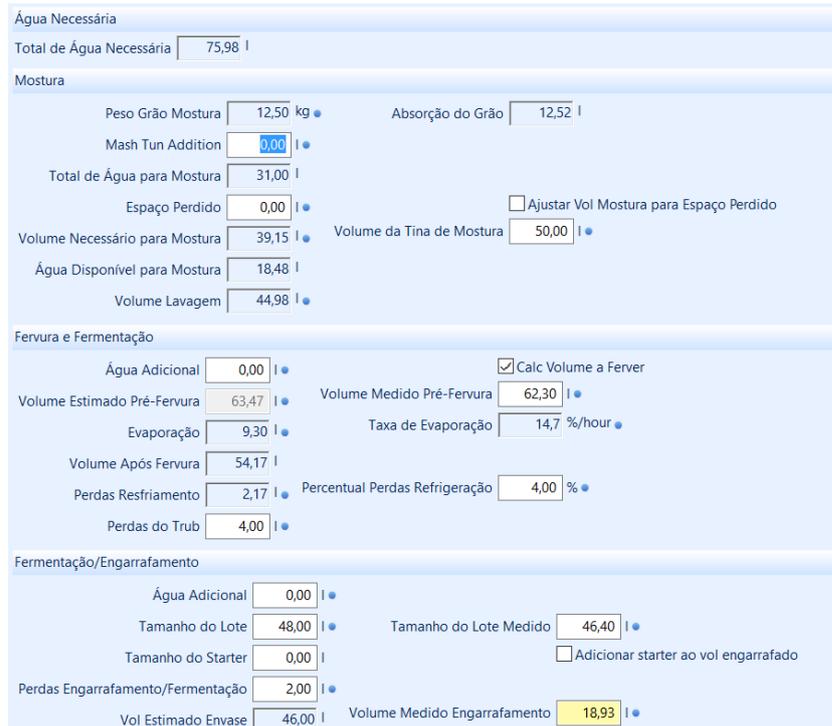


Figura 23. Beersmith 2 – Volumes de Água

Fonte: Autoria própria

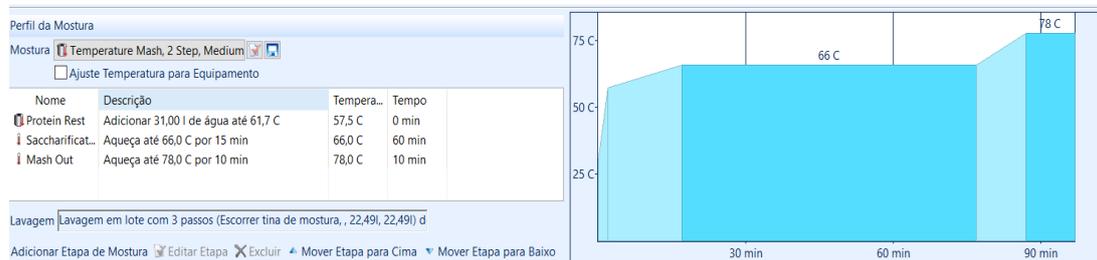


Figura 24. Beersmith 2 – Detalhes da Mostura

Fonte: Autoria própria

### 3.1.2 Densidade do mosto

A relação entre a densidade do mosto ou da cerveja e a densidade da água é conhecida como densidade específica, *Specific Gravity* (SG). Assim, uma densidade específica de 1,010 significa que a solução pesa  $10/1000=1/100=1\%$  mais do que o mesmo volume em água, sendo que essa unidade sofre variação com a temperatura, a qual deve ser corrigida (CARNEIRO et al, 2016).

Durante a brassagem, o amido do malte é convertido em açúcar e ocorre um aumento da densidade. No final do resfriamento do mosto e antes da fermentação, é feita a medida da densidade inicial, *Original Gravity* (OG), cujo valor para a maioria das cervejas é de 1,035 a 1,060 g/mL. No decorrer da fermentação, há conversão de açúcar em álcool e, portanto, após esse processo observa-se uma densidade final, *Final Gravity* (FG) com valor inferior ao inicial, ficando normalmente entre 1,005 e 1,015 g/mL.

A ausência de variação entre duas medidas de densidade é o que indica o fim do processo de fermentação. Para verificar a constância entre medidas consecutivas, recomenda-se fazer uma medida e repeti-la 24 horas depois, sendo que o equipamento comumente utilizado é o densímetro, como na figura 25.



Figura 25. Densímetro.

Fonte: Lojas Lamas Brew Shop.

Os densímetros comumente utilizados são calibrados para uso a 20 °C e, para medidas em outras temperaturas, é necessário fazer uma correção no valor da

densidade, conforme Tabela 10 abaixo. Dessa forma, uma leitura de 1,025 g/mL feita a 50 °C, por exemplo, resultará em uma densidade de  $1,025 + 0,010 = 1,035$  g/mL.

Tabela 10. Correção da densidade para densímetros calibrados a 20 °C.

Temperatura °C	Correção	Temperatura °C	Correção	Temperatura °C	Correção
1	-1.9	30	2.5	59	14.3
2	-1.9	31	2.8	60	14.8
3	-1.8	32	3.1	61	15.3
4	-1.8	33	3.4	62	15.8
5	-1.8	34	3.7	63	16.4
6	-1.7	35	4.1	64	16.9
7	-1.7	36	4.4	65	17.5
8	-1.6	37	4.8	66	18
9	-1.6	38	5.1	67	18.6
10	-1.5	39	5.5	68	19.1
11	-1.4	40	5.9	69	19.7
12	-1.3	41	6.2	70	20.3
13	-1.2	42	6.6	71	20.8
14	-1.1	43	7	72	21.4
15	-0.9	44	7.4	73	22
16	-0.8	45	7.8	74	22.6
17	-0.6	46	8.3	75	23.2
18	-0.4	47	8.7	76	23.8
19	-0.2	48	9.1	77	24.4
20	0	49	9.5	78	25
21	0.2	50	10	79	25.7
22	0.4	51	10.4	80	26.3
23	0.6	52	10.9	81	26.9
24	0.9	53	11.4	82	27.6
25	1.1	54	11.8	83	28.2
26	1.4	55	12.3	84	28.9
27	1.6	56	12.8	85	29.5
28	1.9	57	13.3	86	30.2
29	2.2	58	13.8	87	30.9

Fonte: Dinslaken

No presente trabalho, as medições de densidade foram realizadas em dois momentos distintos:

- Antes da fervura: O objetivo é obter a quantidade de açúcares fermentáveis que foram extraídos durante a mostura. Este valor é importante para estimar a eficiência total da brassagem posteriormente.
- Após a fervura: O valor da densidade pós-fervura é a densidade final do líquido a ser fermentado pelas leveduras. É utilizado também para estimar e validar a evaporação de mosto durante a fervura, em conjunto com as medições de volume. Como a quantidade de pontos de densidade dentro da mistura é fixo, caso o volume seja reduzido, o valor de densidade em g/mL aumenta. Dessa forma, é possível estimar o novo volume de forma simples por proporção inversa.

### 3.1.3 Volumes

Uma grandeza importante nos cálculos e no processo cervejeiro é o volume. É necessário ter certa precisão nas quantidades dos líquidos em diversos momentos da brassagem. No estudo realizado, as medições foram feitas para os seguintes momentos:

1. Adição de água para mostura
2. Adição de água para lavagem
3. Volume pré fervura
4. Volume pós fervura
5. Medição de *trub* remanescente da fervura

Devido ao fato dos caldeirões de mostura, lavagem e fervura serem cilíndricos, as medições de 1 - 4 são feitas de forma simplificada. É utilizada uma régua inox, figura 26, para apurar a altura total do líquido dentro do caldeirão. Utilizando as medições obtidas em centímetros, o resultado em cm<sup>3</sup> é de fácil conversão para litros. Dessa forma, o cálculo do volume total segue a fórmula de volume de um cilindro:

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4} \quad (2)$$



Figura 26. Régua Trident Flex-50

Fonte: Trident

Na medição número 5, o volume de *trub* que sobra na panela de fervura é bem pequeno, ficando em torno de 2 a 4 litros dependendo do tamanho do lote e da quantidade de lúpulos utilizados na fervura. Dessa forma, o método apresentado acima é de difícil aplicação.

Nesse caso, a metodologia utilizada foi diferente. Para medir o volume de *trub*, foi utilizado uma jarra graduada, figura 27, de volume total de 3 litros. Depois de drenado todo o mosto da panela de fervura, o *trub* foi vertido para a jarra. Quando o volume alcançava a marcação de 2,5 litros, o processo era interrompido e reiniciado até o esgotamento total da panela. Dessa forma, o volume total de *trub* foi obtido pela soma das quantidades das etapas.



Figura 27. Jarra graduada 3 litros.

Fonte: Plasvale

Por fim, é possível calcular o volume final do lote, que é a quantidade de mosto que vai efetivamente para o fermentador. Para tal, utilizamos também um fator de contração do líquido após o resfriamento, que é definido pelo software em 4%. Portanto, a fórmula obtida foi:

$$V_{final} = (V_{pós-fervura} * (1 - 0,04)) - V_{trub} \quad (3)$$

#### 3.1.4 Tempo despendido

Foi necessário definir a duração de cada etapa do processo para ser possível elencar os procedimentos que mais demandam tempo e apresentam as maiores oportunidades de redução da duração total de brassagem. Dessa forma, a medição do tempo despendido foi realizada durante toda a brassagem, anotado devidamente para cada etapa individual.

A ferramenta utilizada foi um cronômetro comum, presente no smartphone do cervejeiro, como pode ser visto na figura 28.



Figura 28. Cronômetro  
Fonte: Autoria Própria

#### 3.1.5 Temperatura

Para todo o processo de fabricação de cerveja, o acompanhamento da temperatura é muito importante. Na mostura, é ela que define as enzimas que estarão atuando e conseqüentemente a quantidade de açúcares fermentáveis no mosto.

Já na lavagem, o controle da temperatura é essencial para facilitar a extração dos açúcares restantes e dar fluidez ao mosto. Também é importante controlar a temperatura máxima do líquido em contato com os grãos a fim de evitar a extração de taninos e causar sabores desagradáveis no produto final.

No processo de fervura, é necessário acompanhar a temperatura para evitar uma ebulição muito fervorosa no início da mesma. Isso pode gerar derramamento e perda de volume e lúpulos no procedimento.

Por fim, é muito importante garantir a redução da temperatura suficiente no resfriamento. O mosto deve chegar em condições ideais no fermentador para possibilitar a inoculação e o bom funcionamento das leveduras.

No trabalho realizado, a temperatura foi medida durante todos os processos da brassagem. O instrumento utilizado foi um termômetro analógico do tipo espeto, figura 29, que possui um clipe de fixação para a borda da panela. Esse tipo de termômetro é o mais indicado para o uso em caldeirões cervejeiros.



Figura 29. Termômetro analógico – tipo espeto

Fonte: Autoria Própria

Especificações:

- Escala: -10°C a 100°C
- Em inox;
- Com clipe de fixação;
- Escala interna;
- Tamanho: 30 cm; Dial do termômetro: 5,5 cm de diâmetro;
- Resolução: 1°C

### **3.1.6 Consumo de utilidades**

#### *3.1.6.1 Consumo de gás*

Devido às diversas etapas de aquecimento no processo de fabricação de cerveja artesanal, é de suma importância computar o consumo do combustível utilizado para tal. No caso do processo artesanal, os aquecimentos são realizados com fogareiros de

alta pressão, alimentados por botijões de gás liquefeito de petróleo (GLP), como visto na figura 30.



Figura 30. Botijão GLP P13

Fonte: Ultragaz

O dispêndio desse combustível foi calculado utilizando os parâmetros de consumo médio do fogareiro informado pelo fabricante do mesmo. A informação disponibilizada foi dada em quilos de GLP consumidos por hora, o que levou a seguinte fórmula para o consumo total de GLP por etapa:

$$C_{etapa} = C_{fogareiro} * D_{etapa} \quad (4)$$

Onde:

- $C_{etapa}$  = consumo em quilos de GLP na etapa
- $C_{fogareiro}$  = consumo do fogareiro em quilos de GLP em uma hora
- $D_{etapa}$  = duração da etapa em horas

### 3.1.6.2 Consumo de água

Outra utilidade que possui extensiva utilização durante todo o processo é a água. Ela pode ser destinada para o produto final, chamada de “água cervejeira” e também utilizada nos processos de resfriamento, por exemplo, chamada de “água de serviço”.

Durante o processo produtivo, a água utilizada na mostura e lavagem foi de origem mineral, vendida em galões de 20 litros como na figura 31. Devido ao baixo volume utilizado e facilidade de obter as informações do perfil da água, como pH e sais, essa opção é muito adequada para o processo artesanal. Dessa forma, o consumo

dessa utilidade foi facilmente calculado, computando apenas o volume necessário para as etapas.



Figura 31. Galão de água mineral 20 litros

Fonte: Cascataí

Por outro lado, a água de serviço é proveniente da rede da concessionária local, sendo obtida através da torneira de uso geral. Para o cálculo do consumo do líquido, foi utilizado um padrão obtido pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) para torneiras de tanque/uso geral, que indica um valor de 0,42 litros/segundo.

Para realizar a validação deste valor com a torneira utilizada no projeto, foi realizado um teste simples de enchimento de um volume com tempo cronometrado. O teste consistiu em encher um balde fermentador de 20 litros com a torneira em sua abertura máxima para obter o tempo necessário para tal. Dessa forma, foi possível obter a vazão estimada da torneira utilizada e confrontar com o parâmetro fornecido pela SABESP.

O tempo total obtido do teste de enchimento foi de 46 segundos. Esse valor nos fornece uma vazão de 0,43 litros/segundo. Dito isso, a diferença para o valor informado pela SABESP é de 3,5% apenas, considerado tolerável para tal aplicação.

Como hipótese simplificadora, a água de serviço considerada foi apenas a utilizada no resfriamento do mosto. Outras utilizações como lavagem dos equipamentos e da área de brassagem foram consideradas não diferenciais entre os processos e, portanto, não foram calculadas.

### 3.1.7 Eficiência de brassagem

Uma importante grandeza para o processo de fabricação de cerveja artesanal é a eficiência de brassagem. Este valor sintetiza a capacidade de extração dos açúcares dos grãos e as perdas de volume do processo em relação ao seu potencial máximo. Uma alta eficiência no processo incorre em menores custos com insumos e um lote envasado maior.

Os direcionadores dessa grandeza são os tipos e quantidades de grãos utilizados, densidade medida e volume medido no fermentador. A formulação parte da quantidade máxima teórica de pontos de densidade de acordo com as quantidades e tipos de malte usados visto que cada grão tem sua densidade potencial. Essa grandeza é definida como a densidade que pode ser obtida com uma libra de grãos em um galão americano de água (SMITH, 2008).

$$P_{m\acute{a}ximo} = (SG_{potencial\ gr\tilde{a}o} - 1) * 1000 * M_{gr\tilde{a}o} \quad (5)$$

Onde:

- $P_{m\acute{a}ximo}$  = total de pontos de densidade potenciais
- $SG_{potencial\ gr\tilde{a}o}$  = densidade potencial do grão em pontos/libras
- $M_{gr\tilde{a}o}$  = massa do grão em libras

Dado um determinado volume alvo informado em galões americanos no fermentador, é calculada qual a densidade máxima em g/mL do volume.

$$OG_{m\acute{a}xima} = \frac{P_{m\acute{a}ximo}}{V_{mosto}} + 1 \quad (6)$$

Por fim, é utilizada uma proporção simples entre a  $OG_{m\acute{a}xima}$  e  $V_{mosto}$  com a densidade medida ( $OG_{medida}$ ) e volume medido ( $V_{medido}$ ). Dessa forma, a eficiência de brassagem é calculada.

$$E = \frac{(OG_{medida}-1)*V_{medido}}{(OG_{m\acute{a}xima}-1)*V_{mosto}} \quad (7)$$

É importante notar que a relação utiliza as grandezas em unidades de medidas americanas, libras para massa e galões americanos para volume. A conversão dessa unidade de massa/volume para o S.I. é feita através da multiplicação pela constante 0,119826. Na prática, os cálculos foram realizados através do software que já possui as

conversões e cálculos internalizados, sendo necessário apenas fornecer os *inputs* de volumes, receita e densidades obtidas.

### 3.1.8 Custo total por litro no fermentador

Além das diversas métricas de avaliação inerentes ao processo produtivo, foi necessário avaliar também a viabilidade econômica da atividade. Dessa forma, o indicador escolhido foi o de custo total por litro no fermentador.

Essa grandeza contempla todos os custos variáveis envolvidos na produção, assim como o volume total obtido. Assim foi possível relacionar a eficiência do processo e consumo de utilidades e insumos. O equacionamento utilizado foi determinado da seguinte maneira:

$$C_{litro} = \frac{C_{insumos} + C_{\acute{a}gua1} + C_{\acute{a}gua2} + C_{glp}}{V_{fermentador}} \quad (8)$$

Onde:

- $C_{insumos}$  = Custo total dos maltes, lúpulos e leveduras obtidos através do fornecedor de insumos e as quantidades utilizadas na receita controle.
- $C_{\acute{a}gua1}$  = Custo da água cervejeira obtido através da quantidade de galões de 20 litros utilizados e o custo unitário em fornecedor local.
- $C_{\acute{a}gua2}$  = Custo da água de serviço, utilizando o valor do m<sup>3</sup> cobrado pela concessionária local de abastecimento.
- $C_{glp}$  = Custo do gás liquefeito de petróleo utilizado no processo, obtido através do preço divulgado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) para o município de Araruama em 2019.
- $V_{fermentador}$  = Volume enviado para o fermentador conforme calculado no tópico 3.1.3

## 3.2 Descrição do processo produtivo

### 3.2.1 Moagem

O início do processo produtivo se deu com a moagem dos grãos. No procedimento artesanal, o moedor utilizado foi um Moinho de Cereais Guzzo, figura 32, que realiza a moagem através de discos reguláveis. O cesto de grãos embutido no

moedor comporta cerca de 500g de grãos, se fazendo necessário diversas reposições do grão a ser moído.



Figura 32. Moinho de cereais Guzzo

Fonte: Autoria Própria

Especificações:

- Utilizado para triturar milho, soja, trigo, cevada e etc.
- Destinado para o uso doméstico.
- Fabricado todo em ferro fundido
- Fixação em balcão
- Peso líquido: 4,1 kg
- Produção média: 20 kg/h
- Dimensões: 33,0(C) x 22,5(L) x 46,0(A) cm

A fim de adequar a moagem para uma qualidade satisfatória dos grãos para a mostura, foram regulados os discos adicionando os grãos ao moinho e analisou-se a saída dos grãos. Após verificação e ajuste do equipamento, a moagem foi realizada de modo manual girando uma alavanca por movimentos do cervejeiro. Esse processo levou 31 minutos e 14 segundos, totalizando 12,5 quilos de malte e pode ser observado nas figuras 33 e 34.



Figura 33. Moagem de malte  
Fonte: Autoria própria



Figura 34. Malte moído manualmente  
Fonte: Autoria própria

### 3.2.2 Mostura

O sistema utilizado no processo de mostura, lavagem e fervura foi composto por três caldeirões. As panelas utilizadas são do modelo industrial linha Hotel, com duas unidades com capacidade de 45,0 litros (mostura e lavagem) e uma unidade com capacidade de 68,0 litros.

A panela para mostura foi adaptada com um registro esfera em latão de  $\frac{1}{2}$  polegada para a drenagem do líquido. Um termômetro para acompanhamento das

temperaturas também foi instalado. O elemento filtrante utilizado nesse sistema foi a *bazooka*.

O aquecimento nessa etapa foi realizado por um fogareiro de alta pressão de 12 caulins, figura 35. Esse equipamento possui pés para elevação e regulagem individualizada para o disco interno e externo.



Figura 35. Fogareiro de alta pressão 12 caulins

Fonte: Mercado Livre

Inicialmente, foram adicionados 31,0 litros de água, de acordo com a receita controle, a 27°C na tina de mostura. O fogareiro foi ligado com abertura máxima da regulagem a fim de alcançar a temperatura de 61°C para a descida do malte.

O tempo necessário para tal foi de 24 minutos e 18 segundos. Esse processo foi realizado concomitantemente a moagem dos grãos, já que não requeria nenhuma atuação do cervejeiro. Alcançada a temperatura alvo e finalizada a moagem, todo o malte foi despejado na tina de mostura e conseqüentemente a temperatura foi reduzida para 57°C.

Dessa forma, foi necessário realizar uma nova etapa de aquecimento para atingir o patamar de mostura principal. Fez-se uma rampa até a temperatura de 66°C, seguindo a recomendação da receita, despendendo 12 minutos e 23 segundos para atingir este valor.

Após uma hora mosturando com a panela fechada na temperatura de 66°C, deu-se início ao processo de *mash out*. Para isso, a temperatura foi elevada até 78°C, sendo necessário 19 minutos e 41 segundos. Ao atingir esse patamar, a panela de mostura foi retirada do fogareiro e mantida tampada, para viabilizar o início do aquecimento da água de lavagem.



Figura 36. Mostura

Fonte: Autoria própria

### 3.2.3 Filtragem e Lavagem

Após 10 minutos no processo de *mash out*, deu-se início ao processo de filtragem do mosto. Dessa forma, o mosto foi drenado para a jarra graduada e foi devolvido a tina de mostura com o auxílio de uma escumadeira. A escumadeira foi utilizada para fazer uma queda suave do líquido e não afetar a camada de grãos, que é responsável pela filtração do mosto. Os equipamentos podem ser observados na figura 37.



Figura 37. Jarra plástica graduada e escumadeira.

Fonte: Plasvale e Mercado Livre

Esse movimento foi realizado repetidas vezes até que o líquido ficasse translúcido (aproximadamente todo o volume de mosto da panela). Em seguida, despejou-se o mosto na panela de fervura. Essa primeira recirculação teve duração de 16 minutos e 10 segundos.

Enquanto a recirculação e filtragem era feita manualmente, a água de lavagem estava sendo aquecida. O tempo total para o aquecimento dos 45,0 litros de líquido foi de 69 minutos e 4 segundos. Desse total, 26 minutos e 10 segundos foram ocupados com o *mash out* e a primeira recirculação, se fazendo necessário a espera de 42 minutos e 54 segundos para iniciar a lavagem.

O método de lavagem escolhido foi o *batch sparge*, devido a facilidade de implementação ao usar o sistema de filtragem com *bazooka*. Após drenar o mosto, foi inserida a metade do volume de água de lavagem, devido a capacidade da panela de mostura. Feito isso, foi misturada vigorosamente a água com o malte e reiniciado o processo de recirculação manual.



Figura 38. Lavagem e trasfega do mosto.

Fonte: Autoria Própria

Ao completar o segundo processo de recirculação, o líquido é vertido para a tina de fervura. Todo esse procedimento foi repetido para a última metade do volume de lavagem, totalizando três recirculações e drenagens (incluindo a porção de líquido proveniente da mostura). As últimas duas etapas de recirculação e drenagens (com a

água de lavagem) levaram 15 minutos e 6 segundos e 16 minutos e 37 segundos respectivamente, totalizando 31 minutos e 43 segundos.

### 3.2.4 Fervura

Após todo o mosto ser transferido para a panela de fervura, o produto teve sua temperatura medida com o valor de 72°C atingindo um volume total de 61,5 litros. A densidade pré fervura foi aferida e corrigida para a temperatura de calibragem do densímetro, atingindo o valor de 1,052 g/mL. Dessa forma, o fogareiro foi ligado em sua abertura máxima a fim de atingir 100°C (temperatura de fervura), onde foram necessários 58 minutos e 23 segundos para tal.

Com o início da fervura, figura 39, foram adicionados os lúpulos nos tempos estipulados na receita. Logo no início do processo, 109g de lúpulos (Cascade, Citra e Columbus) foram inseridos. Em momento posterior, quando faltavam 10 minutos para o fim da fervura (que totalizou 1 hora), foram adicionados mais 25g do lúpulo Cascade.



Figura 39. Fervura

Fonte: Autoria própria

Por fim, o volume total de líquido e a densidade pós fervura foram medidos para apuração da evaporação total e uso posterior no cálculo do volume final no fermentador. Usando a metodologia descrita anteriormente, o volume apurado foi de 52,5 litros com uma densidade de 1,061 g/mL.

Como a quantidade de pontos de densidade no volume é uma constante, a redução do volume aumenta a densidade relativa do mosto. Dessa forma, foi possível validar utilizando a seguinte relação:

$$V_{esperado} = \frac{V_{pré\ ferverura} * (OG_{pré\ ferverura} * 1000 - 1000)}{(OG_{pós\ ferverura} * 1000 - 1000)} \quad (9)$$

$$V_{esperado} = \frac{61,5 * (1,052 * 1000 - 1000)}{(1,061 * 1000 - 1000)} = 52,43 \text{ litros}$$

Dessa forma, é possível aferir que a medição dos volumes apresentou a precisão esperada dada a metodologia utilizada.

### 3.2.5 Whirlpool

Após o encerramento do processo fervura, foi iniciado o procedimento denominado *whirlpool*. A função principal dessa etapa é induzir a decantação das proteínas coaguladas e os lúpulos, os quais foram adicionados durante a fervura.

Utilizando uma pá cervejeira, foram realizados movimentos circulares manualmente durante cerca de 2 minutos. O resultado pode ser verificado na figura 40.



Figura 40. *Whirlpool* e *trub*

Fonte: Autoria própria

### 3.2.6 Resfriamento

Logo após a realização do *whirlpool*, foi dado início ao resfriamento do mosto com *chiller* de imersão. O equipamento utilizado no processo foi construído a partir de uma “panqueca” de 15m de tubo de alumínio, com bitola de ½ polegada. A entrada de água fria do *chiller* foi proveniente da rede de abastecimento local, com temperatura de 27°C.



Figura 41. Chiller de imersão

Fonte: Mercado Livre

O equipamento, figura 41, foi inserido cuidadosamente na panela para não interromper o *vortex* criado pelo *whirlpool*. O intuito foi otimizar o tempo fazendo com que a decantação e resfriamento acontecessem ao mesmo tempo. O *chiller* foi introduzido no mosto que estava a 95°C. O procedimento para reduzir a temperatura a 31,5°C durou 32 minutos e 19 segundos.

### 3.2.7 Trásfega final e volume no fermentador

Por fim, todo o volume de mosto resfriado foi jogado em uma bombona alimentícia para dar início a fermentação. Essa trásfega é feita através da gravidade utilizando o registro esfera de  $\frac{1}{2}$  polegada presente na panela de fervura. O processo todo levou 4 minutos e 8 segundos, sendo interrompido no momento em que o *trub*, figura 42, começou a ser visível.



Figura 42. Medição de *trub* na jarra graduada.

Fonte: Autoria própria

Feito isso, foi necessário fazer a medição do volume total de *trub* remanescente para calcular o volume total transferido para o fermentador. Seguindo a metodologia descrita anteriormente, a jarra graduada foi enchida com o volume de *trub* que totalizou 4 litros até seu esgotamento. De posse desse valor, o volume total transferido para o fermentador foi calculado:

$$V_{final} = (V_{pós-fervura} * (1 - 0,04)) - V_{trub} \quad (10)$$

$$V_{final} = (52,5 * (1 - 0,04)) - 4 = 46,4 \text{ litros}$$

### 3.3 Custos

#### 3.3.1 Custos dos equipamentos

Para viabilizar a produção, os primeiros custos que foram computados são os referentes aos equipamentos. Conforme descrito ao longo deste capítulo 3, utensílios como caldeirões, fogareiros, termômetros e moedor são a base do processo produtivo artesanal e representam a maior parte dos custos com aquisições de equipamentos. A lista detalhada com quantidades, valores e locais de obtenção foi explicitada abaixo:

Tabela 11. Equipamentos de brassagem para processo artesanal e seus custos.

Item	Quantidade	Preço unitário	Total	Obtenção
Moedor Guzzo	1	R\$170	R\$170	Lojas Americanas
Caldeirão nº45	1	R\$265	R\$265	Mercado Livre
Caldeirão nº40	2	R\$119	R\$239	Mercado Livre
Bazooka	1	R\$58	R\$58	Lamas Brew Shop
Kit Registros	3	R\$30	R\$90	Loja de conexões e hidráulica
Fogareiro de alta pressão	1	R\$131	R\$131	Lojas Americanas
Densímetro	1	R\$55	R\$55	Lamas Brew Shop
Proveta de plástico	1	R\$13	R\$13	Lamas Brew Shop
Pá cervejeira	1	R\$37	R\$37	Mercado Livre
Termômetro Espeto	1	R\$45	R\$45	Lamas Brew Shop
Régua 50cm Inox	1	R\$60	R\$60	Loja de utilidades
Tubo de alumínio (chiller)	1	R\$70	R\$70	Loja de refrigeração
Termômetro para panela	2	R\$97	R\$194	Mercado Livre
<b>TOTAL</b>			<b>R\$1.426</b>	

Fonte: Autoria Própria

Dito isso, é possível notar que o sistema de três painéis é a linha de custo mais representativa dentro do total. Os três caldeirões, com seus respectivos registros, elemento filtrante (*bazooka*) e termômetros *inline*, totalizam R\$845, representando 59% do custo total.

### 3.3.2 Custos variáveis da receita

#### 3.3.2.1 Custo de insumos

A fim de calcular o indicador de custo total por litro no fermentador, todos os custos variáveis da receita foram computados como demonstrado anteriormente no tópico 3.1.8. Os insumos de produção (maltes, lúpulos e leveduras), como esperado, são os itens mais representativos dentro do custo de produtos vendido (CPV).

Todos os itens foram obtidos através do Lamas Brew Shop, malteria que disponibiliza os itens em granel, facilitando o fracionamento adequado. A relação detalhada de cada um pode ser encontrada abaixo:

Tabela 12. Custos dos insumos da receita.

<b>Tipo</b>	<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço/unidade</b>	<b>Total</b>
Malte	Pilsen Agrária	10kg	R\$0,80/100g	R\$80,00
Malte	Wheat Weyermann	1kg	R\$1,59/100g	R\$15,90
Malte	CaraHell Weyermann	1kg	R\$2,05/100g	R\$20,50
Malte	Aromatic Weyermann	0,5kg	R\$2,05/100g	R\$10,25
Lúpulos	Cascade	50g	R\$1,70/10g	R\$8,50
Lúpulos	Columbus	40g	R\$2,21/10g	R\$8,84
Lúpulos	Citra	44g	R\$4,27/10g	R\$18,79
Lúpulos	Amarillo	100g	R\$3,54/10g	R\$35,40
Levedura	US 05	3 unidades	R\$18,16/unidade	R\$54,48
			<b>TOTAL</b>	<b>R\$252,66</b>

Fonte: Autoria própria

### 3.3.2.2 Custo de utilidades

Já os custos de utilidades foram calculados utilizando uma metodologia específica para cada tipo. O detalhamento dos custos, cálculo de consumo e referência de preço para esses materiais foi detalhado:

Tabela 13. Custos das utilidades do processo artesanal

<b>Utilidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço/Unidade</b>	<b>Total</b>
GLP (quilos)	2,84	R\$4,77	R\$13,56
Água cervejeira (litros)	76,00	R\$0,35	R\$26,60
Água de serviço (litros)	814,38	R\$0,01636	R\$13,32
			<b>TOTAL</b>
			<b>R\$53,48</b>

Fonte: Autoria própria

O consumo de GLP segue a formulação apresentada anteriormente, onde foram computados a duração de todas as etapas de aquecimento e conseqüentemente o consumo total:

$$C_{etapa} = C_{fogareiro} * D_{etapa} \quad (11)$$

$$C_{etapa} = \frac{0,70kg}{h} * 4,06 h = 2,84 \text{ quilos de GLP}$$

O custo de um botijão GLP P13, fornecido pela ANP para a cidade de Araruama em 2019, é de R\$62,00. Esse valor nos leva a um preço por quilo de R\$4,77. A multiplicação dessas grandezas nos leva a um custo total de GLP de R\$13,56.

Em relação a água cervejeira, o custo do item é calculado utilizando o valor do galão de 20 litros obtido pelo fornecedor da cidade. O respectivo consumo é dado pela receita controle, totalizando 76 litros. Portanto, para o valor de R\$7,00 para o galão, o custo de cada litro é de R\$0,35. Dessa forma, o custo total dos 76 litros é de R\$26,60.

O consumo da água de serviço também segue a formulação apresentada em tópicos anteriores, onde foi computado a duração total do resfriamento. Conseqüentemente, o consumo total foi obtido utilizando a vazão informada pela SABESP e validada através dos testes com a torneira:

$$C_{etapa} = v_{torneira} * D_{etapa} \quad (12)$$

$$C_{etapa} = 0,42 \frac{l}{s} * \left( 32,31 \text{ minutos} * 60 \frac{\text{segundos}}{\text{minuto}} \right) = 814,4 \text{ litros de água}$$

Dessa forma, foi utilizado o referencial de custo da concessionária local de abastecimento da cidade, Águas de Juturnaíba (conforme anexo X). Como premissa, foi utilizado a tarifa por m<sup>3</sup> de estabelecimento domiciliar na faixa de consumo de 25m<sup>3</sup> a 35m<sup>3</sup> por mês. Este valor é de 16,36 reais por m<sup>3</sup>, o que resulta em um custo de R\$0,01636/litro. Dito isso, o custo total da água de serviço foi de R\$13,32.

### 3.3.2.3 Custo total por litro no fermentador

Por fim, foi possível estimar o custo total por litro no fermentador, indicador de avaliação do CPV e da viabilidade econômica da atividade. Seguindo a formulação apresentada no tópico 3.1.8, foi obtido:

$$C_{litro} = \frac{C_{insumos} + C_{\text{água1}} + C_{\text{água2}} + C_{glp}}{V_{\text{fermentador}}} \quad (13)$$

$$C_{litro} = \frac{252,66 + 26,60 + 13,32 + 13,57}{46,4} = 6,60 \text{ R\$/litro}$$

## 4 Automação dos processos

### 4.1 Revisão bibliográfica

#### 4.1.1 Resistência elétrica

Para a realização do aquecimento de qualquer material, existem diversas opções disponíveis para utilização. No segmento da eletrotermia, que utiliza a energia elétrica para a geração de calor, podemos destacar (FINNOCHIO, 200-).

- Resistivo
- Indutivo
- Dielétrico
- Por arco
- Emissão de plasma, elétrons ou laser

Utilizando o efeito Joule, o aquecimento resistivo consiste na geração de calor a partir de uma resistência que é atravessada por uma corrente elétrica. Esse efeito se dá pela transformação da energia elétrica em energia térmica, que conseqüentemente aquece os materiais em contato com a resistência, figura 43.



Figura 43. Resistência elétrica

Fonte: Nobre Brasil

O fenômeno ocorre, pois, todos os materiais condutores de eletricidade possuem uma oposição ao fluxo de das cargas elétricas, denominado resistência. (GONZÁLES, 2008). O nível de aquecimento gerado é proporcional a resistência elétrica do material, de modo que, quando a resistência é elevada, o calor gerado também é elevado e o material pode ser considerado um resistor (OGLU, 2007).

Nesse método de aquecimento, todas as formas de transferência de calor estão presentes. No entanto, o meio de transferência de calor mais relevante nesse processo é a de condução (MATA, 1993). Esse método é muito comum nos chuveiros elétricos, por exemplo, onde a resistência aquece o fluxo de água.

Em aplicações de engenharia, o uso da resistência elétrica apresenta diversas vantagens. De forma geral, seu uso é bastante confiável pois através do controle de tensão aplicado é possível controlar a quantidade de calor a ser gerado. No caso do projeto em questão, esse método se configura como muito superior ao aquecimento por gás. O fato de a resistência estar em contato direto com o líquido a ser aquecido também diminui as perdas para o ambiente externo, quando comparado com a opção que utiliza a chama para o aquecimento da panela.

#### **4.1.2 Trocador de calor duplo tubo**

Outro dispositivo com diversas aplicações na engenharia e indústria são os trocadores de calor. Concebidos para efetuar trocas de calor entre dois corpos em temperaturas distintas, os trocadores são utilizados para condicionamento e aquecimento de ambientes, geração de potência, recuperação de calor em diversos processos, entre outros (INCROPERA et al, 2008).

Diversos parâmetros são fundamentais em seu funcionamento e utilização. Na fase de projeto destes, são determinados constantes como material utilizado, diâmetro dos tubos/cascos e área de troca de calor (SCHMIDT et al, 1996). Nas aplicações de engenharia, é possível destacar os modelos:

- Tubos concêntricos
- Casco e tubo
- Escoamento cruzado
- Trocadores de placas

Os trocadores de calor de tubos concêntricos são equipamentos de concepção comparativamente simples. O acoplamento de dois tubos concentricamente, com

espaço suficiente entre as duas paredes para a vazão do fluido é a base de sua construção (INCROPERA et al, 2008). Nesse modelo, é possível obter dois tipos de arranjos: corrente paralela e contracorrente.

Na primeira configuração, ambos os fluidos quente e frio entram pela mesma extremidade e se deslocam no mesmo sentido. Nos trocadores de contracorrente, por outro lado, os fluidos de diferentes temperaturas adentram por extremidades diametralmente opostas escoando em sentidos divergentes, deixando o equipamento em extremidades contrárias. Esses arranjos podem ser observados na figura 44 abaixo.

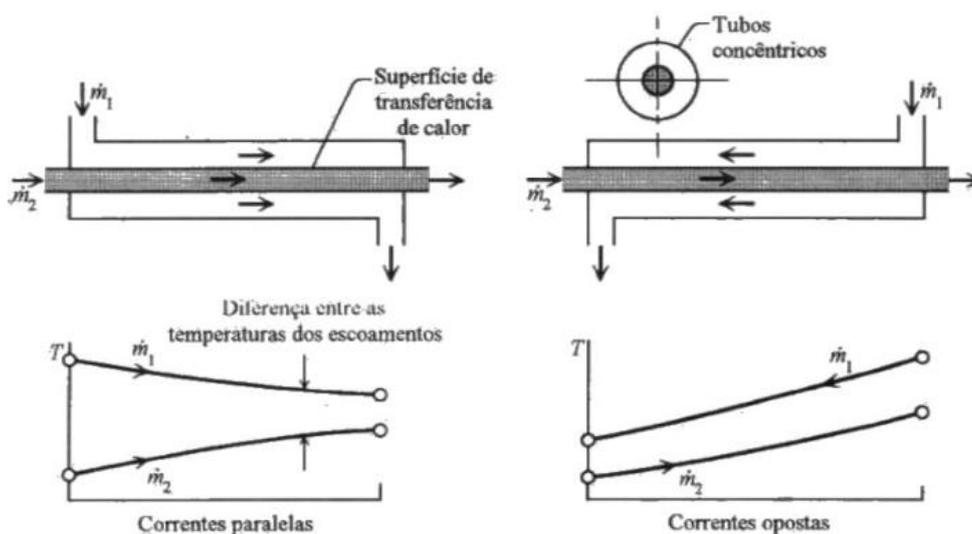


Figura 44. Trocadores de calor de tubos concêntricos.

Fonte: Diógenes Ganghis - Cefet-BA

#### 4.1.3 Bomba de acionamento magnético

As bombas, máquinas responsáveis pelo deslocamento dos líquidos por escoamento, possibilitaram progresso na ciência e na tecnologia, garantindo melhorias industriais e nas condições de saúde da população. Hoje em dia, são amplamente utilizadas nas indústrias, residências e áreas rurais para uma infinidade de aplicações diferentes.

Segundo (MACINTYRE, 1997), bombas são máquinas geratrizes, que transformam em energia, o trabalho mecânico de um motor de acionamento. Essa energia é transferida ao líquido sob as formas de energia cinética e de pressão, garantindo o seu deslocamento por escoamento. Ao se instalar bombas em um sistema hidráulico, tem-se como principais objetivos gerar um fluxo capaz de aumentar pressão desse fluido contido, além de aumentar a sua velocidade de escoamento.

Com o intuito de deslocar grandes volumes de líquido de um local para o outro, uma das possibilidades é o emprego de sistemas de bombeamento com tubulações. Estes devem ser dimensionados considerando alguns fatores, tais como: o líquido a ser utilizado, comprimento e disposição das tubulações que interligam os recipientes, altura de elevação, além do tempo desejado para realização do processo (MATTOS E FALCO, 1998).

Cada bomba apresenta uma determinada curva característica de carga (H) X vazão (Q). A partir dessa curva, deve-se traçar a curva específica do sistema, considerando os fatores que influenciam nas perdas de carga do processo, como, comprimento e diâmetro da tubulação, quantidade de conexões (válvulas, curvas, tês, etc.), características do líquido, altura de elevação e pressão manométrica dos reservatórios.

Existem vários tipos de bombas, figura 45, e estas são classificadas de acordo com sua aplicação ou pela forma como a energia é cedida para o líquido. Segundo (MATTOS E FALCO, 1998), as classificações podem ser organizadas da seguinte maneira:

- Dinâmicas ou turbobombas (bombas centrífugas, de fluxo misto, de fluxo axial)
- Deslocamento positivo (bombas de pistão, bombas de êmbolo, bombas rotativas).



Figura 45. Diversos tipos de bombas hidráulicas.

Fonte: Excell Bombas

No presente trabalho, foram utilizadas as bombas centrífugas de acionamento magnético. De acordo com (MATTOS E FALCO, 1998), as bombas centrífugas são bombas cuja energia transferida ao líquido é principalmente cinética, sendo posteriormente convertida em energia de pressão. A origem dessa energia cinética depende da forma do impelidor, podendo ser puramente centrífuga e/ou de arrasto.

A bomba com acionamento magnético possui aplicações onde é inaceitável o risco de vazamento de fluido pela bomba. Isso se deve pela necessidade de impedir o desperdício do produto alimentício, além da própria proteção do operador e do ambiente onde é realizado o bombeamento (TETRALON, 2019).

#### **4.1.4 Controlador PID e PWM**

O controle automático de processo permite manter o valor de saída de um determinado sistema dentro de uma faixa ou de um valor específico pré-determinado. Foi originado durante a Revolução Industrial, com o engenheiro James Watt, responsável por implementar um controle de velocidade em uma máquina de vapor (OGATA, 2003). Nicolas Minorsky e Harry Nyquist em anos posteriores, por exemplo, aprimoraram a estabilidade do controle em aplicações de direcionamento marítimo e de telecomunicações, respectivamente. Outros engenheiros e matemáticos também contribuíram para o desenvolvimento dessa técnica ao longo dos anos, permitindo o avanço da engenharia em múltiplas áreas como biologia, economia, biomedicina, química, além da própria engenharia.

O controle automático é fundamental nos atuais processos de produção industrial, sendo bastante empregado em operações como controle de umidade, vazão, pressão, temperatura e viscosidade. Inúmeras são as vantagens ao implementar esse tipo de sistema, que vão desde otimização de desempenho de sistemas dinâmicos, melhoria de produtividade, otimização de recursos e de matéria prima, segurança operacional, até redução do impacto ambiental (OGATA, 2003).

Considerando um dado sistema, o valor da variável de processo controlada é medido com um sensor e comparado ao valor pré-estabelecido, denominado *setpoint*. O sensor ao medir essa variável e comparar com o *setpoint*, irá determinar o sinal de controle para o atuador. Este processo trata-se de um sistema de controle em malha fechada, visto que o sinal de saída é realimentado, sendo comparado ao sinal de entrada. A forma como o controlador atua sobre o processo a fim de manter a variável controlada no *setpoint* é denominado ação de controle.

De acordo com (OGATA, 2003), há alguns tipos de controladores, que podem ser classificados considerando suas ações de controle. São eles: controladores on-off,

proporcionais, integrais, proporcional-integral (PI), proporcional-derivativo (PD) e proporcional integral-derivativo (PID).

Usualmente, a fim de se ter um controle mais preciso e atingir resultados mais satisfatórios, utiliza-se uma ação PID. Estes controladores usufruem das três ações de controle (proporcional, integral, derivativo) simultaneamente.

A ação proporcional determina o valor de saída do sistema considerando a diferença entre a variável de processo e o *setpoint*, que é denominada de erro ou *offset*. Dessa forma, a ação de controle é proporcional ao erro conforme equação 14 abaixo:

$$u(t) = K_p \times e(t) \quad (14)$$

Existe uma faixa proporcional que é a banda na qual a proporcionalidade é mantida. Assim, pode-se assumir qualquer valor de saída desde que esteja compreendido entre os limites de saídas máxima e mínima (DIAS, 2012). Esse tipo de ação embora garanta uma maior velocidade de resposta do sistema de controle, se tiver um aumento desordenado, poderá provocar oscilações que tornarão o sistema instável.

Para eliminar o erro de *offset* da ação proporcional, deve-se estudar a ação de controle integral, cuja ação é proporcional à integral do erro conforme equação 15.

$$u(t) = K_I \times \int_0^t e(t) dt \quad (15)$$

Esta ação é sempre usada em conjunto com a ação proporcional e nela é feito reajuste do valor de *setpoint*. A ação integral corrige o valor do erro em intervalos regulares de tempo, somando à ação o valor do desvio em relação ao *setpoint*. (OGATA, 2003) O intervalo de atuação é denominado tempo integral, cujo inverso é denominado ganho/taxa integral. Dessa forma, o aumento deste tempo ocorre quando o ganho integral reduz, e assim, tem-se uma atuação mais demorada do controle do processo. O principal objetivo da ação integral, como já mencionado, é eliminar o erro *offset* e ao adotar um tempo integral extremamente longo, o processo pode ter instabilidade. Quanto maior o desvio, tem-se uma maior velocidade de correção, cuja resposta é lenta e assim, desvios maiores num intervalo menor de tempo não são devidamente corrigidos.

A ação derivativa também é sempre utilizada em conjunto com a ação proporcional e tem como principal objetivo melhorar o desempenho do sistema, atuando nas situações em que há erro. Caso o processo esteja estabilizado, seu efeito é nulo. A ação de controle é proporcional à derivada do erro, conforme equação 16 abaixo.

$$u(t) = K_D \times \frac{de(t)}{dt} \quad (16)$$

Nesta ação, é calculado em tempos regulares a variação do desvio do processo, adicionando esta diferença à variável manipulada. Na ação derivativa, há uma correção antecipada ao desvio, atuando de forma preventiva e diminuindo o tempo de resposta (DIAS, 2012; NATIONAL INSTRUMENTS, 2014).

A junção das ações proporcional (P), integral (I) e derivativa (D) para gerar um único sinal de controle origina o controlador PID, que aproveita as características de cada ação, solucionando problemas de controle nos processos industriais. Esse controlador possui fácil implementação, custo baixo além de versatilidade para estabilizar os comportamentos tanto de regime transitório quanto permanente (OGATA, 2003).

Um sistema PID reúne o controle básico da ação proporcional atuando conforme o valor do erro, a redução deste por meio da ação integrativa, além de acelerar a velocidade de atuação com redução de oscilações pela ação derivativa. Em resumo, a variável de processo é lida por um sensor, que calcula a resposta de saída do atuador considerando os cálculos proporcional, integral e derivativo. Este tipo de controlador oferece boa relação entre precisão e velocidade, sendo bastante aplicado em plantas térmicas. Um exemplo de um sistema com controlador PID representado por diagrama de blocos é exibido na figura 46 abaixo.

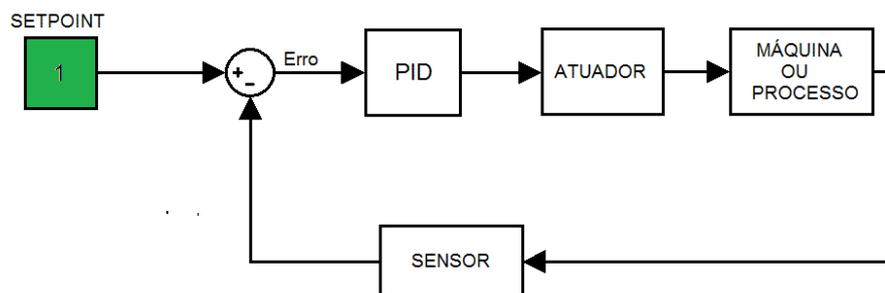


Figura 46. Diagrama de blocos de um sistema com controlador PID

Fonte: Website Embarcados – controlador PID

O PWM é uma tecnologia na qual a abreviação significa *pulse width modulation*, ou modulação de largura de pulso. Seu funcionamento se baseia em limitar o tempo de abertura da chave para que a carga seja modulada para o tamanho desejado. O interruptor define uma largura de pulso pelo tempo em que permanece fechado e o

intervalo entre pulso pela duração em que fica aberto (GHIRARDELLO, 200-). Esses tempos unidos estabelecem o período e conseqüentemente a frequência de controle, de modo que a modulação da largura do pulso controla o ciclo ativo do sinal e a potência aplicada.

#### **4.1.5 Motor elétrico**

Motores elétricos são máquinas que transformam energia elétrica em mecânica, em geral por meio de um eixo de rotação. Dentre os diversos tipos de motores existentes, esses podem ser classificados de acordo com o tipo de corrente que utilizam, como os de corrente contínua, corrente alternada e universais (WEG, 2019).

Os primeiros têm elevado custo de instalação e de manutenção, além de necessitar de uma fonte de corrente contínua. Esta fonte pode ser, por exemplo, um dispositivo que converta a corrente alternada comum em contínua. Esses modelos apresentam aplicações restritas, onde geralmente existe a necessidade para funcionamento com velocidade variável entre amplos limites, além de alta precisão que justificam os altos custos do equipamento.

Motores de corrente alternada, figura 47, são os mais utilizados visto que normalmente a distribuição de energia elétrica é feita já em corrente alternada. Ao contrário do corrente contínua, esse tipo de motor apresenta baixo custo de operação e manutenção, além de ser eficiente em aplicações que exigem altos torques e baixas correntes de partida, com velocidade constante em variações de carga (WEG, 2019). Um dos principais tipos de motores de corrente alternada é o motor síncrono, que funciona com velocidade fixa, sem interferência do escorregamento.



Figura 47. Motor elétrico de corrente alternada.

Fonte: WEG motores

Outro tipo de motor de corrente alternada, que foi utilizado nesse trabalho, é o motor de indução tipo gaiola. Esses modelos de motores geralmente trabalham com velocidade constante, variando com a carga mecânica que é aplicada ao eixo. O controle dessa velocidade é possível através da utilização dos inversores de frequência. Os motores de indução com rotor de gaiola, devido a essas características de simplicidade, custo competitivo e robustez, são os mais utilizados, onde estima-se que representa cerca de 90% do uso industrial, rural, comercial e residencial (FILIPPO FILHO, 2000).

## **4.2 Equipamentos e dispositivos**

### **4.2.1 Resistências elétricas**

Uma das etapas mais importantes do processo de fabricação são as que envolvem o aquecimento. Além de consumir uma grande quantidade de tempo da brassagem, esse procedimento demanda bastante precisão para se obter a temperatura correta no momento adequado.

No intuito de diminuir os tempos de espera e facilitar o controle automático da temperatura, a solução adotada foi a aquisição de resistências elétricas. Além de uma possível redução no custo da energia/combustível (que foi verificada em tópicos posteriores), a eliminação do uso do GLP também retira um elemento extra (e sua

eventual troca/aquisição/manuseio) do ambiente de produção, dado que a energia elétrica já se encontra disponível no local de brassagem.

O material a ser utilizado na resistência elétrica é de suma importância. Por se tratar de um produto alimentício, ligas de chumbo devem ser evitadas para não soltar substâncias tóxicas. Nesse caso, a recomendação são os aços inoxidáveis.

Outra escolha que teve que ser tomada foi quanto a densidade da resistência. Visto que resistências com altas densidades possuem menor área de contato com o líquido em que estão imersas, elas possuem maior risco de causar caramelização do mosto, podendo alterar o sabor e aparência do produto final. Nesse caso, as resistências de baixa densidade possuem a aplicação mais aderente ao objetivo do projeto desenvolvido.

Dito isso, foi realizada uma pesquisa de mercado para buscar resistências elétricas nas especificações estabelecidas. Para dar maior flexibilidade no momento de brassagem, optou-se por adquirir duas resistências distintas, uma para a mostura que demandam menos potência e uma para a etapa de lavagem/fervura, onde é necessário atingir maiores temperaturas com maiores volumes. Os modelos escolhidos podem ser encontrados na figura 48 abaixo.

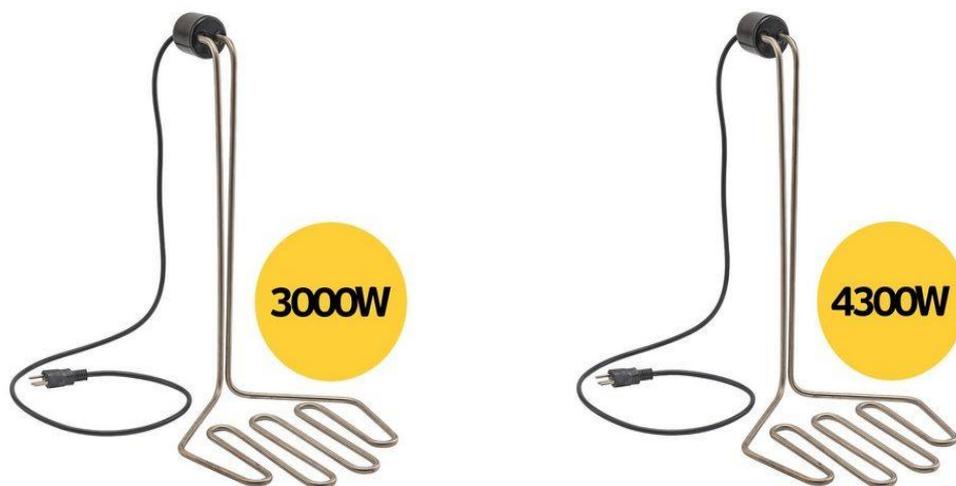


Figura 48. Resistências elétricas EZBrew 3000W/4300W.

Fonte: EZBrew

#### Especificações:

- Potência: 3000W / 4300W
- Voltagem: 220V
- Amperagem da tomada: 20A

- Isolamento duplo com revestimento em aço inox AISI304
- Diâmetro da resistência: 27 cm / 32 cm
- Altura do pescoço frio: 45 cm / 48 cm

#### **4.2.2 Chiller de contra fluxo**

Outra etapa que demanda muito tempo do total de brassagem é o processo de resfriamento. Além disso, por se tratar de um “circuito aberto”, o resfriamento por *chiller* de imersão consome muita água, principalmente no final da etapa quando o delta de temperatura entre o líquido frio (água a temperatura ambiente) e o líquido quente (mosto a cerca de 40°C/50°C) é muito baixo.

A solução adotada para esse problema foi a introdução do trocador de calor duplo tubo de contracorrente, também chamado de *chiller* de contra fluxo no processo de fabricação de cerveja artesanal. Além disso, para agilizar ainda mais o processo e diminuir o consumo de água, foi adotado um sistema em série com um “pré-*chiller*” imerso em gelo, diminuindo a temperatura de entrada do líquido frio. Dessa forma, o valor mínimo de temperatura que o mosto pode alcançar deixa de ser a temperatura ambiente, que em geral não é adequada para a inoculação de leveduras.

Dado o elevado custo praticado pelos fabricantes desse tipo de equipamento para uma escala pequena, o trocador utilizado nesse projeto foi construído pelo autor como observado na figura 49. Foi utilizado o mesmo tubo de alumínio usado no processo artesanal, com comprimento de 15 metros e bitola de ½ polegada. Para a função do tubo concêntrico de maior diâmetro, foi utilizada mangueira cristal de PVC com bitola de ¾ polegada. Além disso, foram utilizadas algumas conexões como tês, espigões, niples de redução e abraçadeiras facilmente obtidos em lojas de hidráulica.



Figura 49. Chiller de contra fluxo.

Fonte: Autoria própria

#### 4.2.3 Sistema de recirculação e lavagem contínua

A etapa de recirculação e filtragem da cerveja no processo artesanal é muito manual e demandante em esforço humano. Além de ocupar um tempo considerável das brassagem, a repetibilidade do processo é muito frágil devido ao fato de ser realizada por movimentos repetidos sequenciais do cervejeiro. Outro aspecto a ser considerado é a limitação da capacidade da panela de mostura, que faz com que a etapa de lavagem seja dividida em 2 partes. Isso torna necessária a realização de três etapas de recirculação e drenagens para a panela de fervura.

Para evitar a repetição de trabalhos extremamente manuais e passíveis de erros, foi adotado um sistema de recirculação e lavagem contínua. Nesse arranjo, a recirculação é realizada simultaneamente durante todo o processo de mostura, eliminando a necessidade de uma etapa posterior pra tal.

A fim de tornar esse sistema possível, foi necessário a aquisição de novos equipamentos e adaptações no processo. Para fazer a movimentação do líquido que sai pelo registro e retorna ao topo da panela, fez-se preciso o uso de uma bomba hidráulica. Para não afetar a cama de grãos, que é responsável pela filtragem do mosto e sua consequente limpidez, foi utilizado um “chuveiro de recirculação” que dispersa a água e

gera uma queda suave do líquido (função que era desempenhada pela escumadeira no processo artesanal). Por fim, o elemento filtrante foi alterado da *bazooka* para o fundo falso, a fim de evitar entupimentos e garantir que a recirculação ocorra durante todo o processo sem interrupções.

Esses novos equipamentos também possibilitam o método de lavagem contínua, ou *fly sparge*. O “chuveiro de recirculação” é acoplado na panela de lavagem para que o líquido chegue suavemente no caldeirão de mostura. O fundo falso possibilita que o fluxo seja ininterrupto, com a vazão de entrada na panela de mostura (saída da lavagem) equivalente a vazão de saída da tina de mostura (entrada da fervura). Esses equipamentos podem ser encontrados nas figuras 50 e 51 abaixo.



Figura 50. Bomba magnética MP 15R

Fonte: Autoria própria

#### Especificações:

- Capacidade de aquecimento até 140°C
- Rosca 1/2 NPT
- Capacidade máxima: 16 a 19L / minuto
- Capacidade nominal: 8 a 12L / minuto
- Desnível máximo (altura): 2,4 a 3,4 metros
- Voltagem: 110V
- Potência: 25W

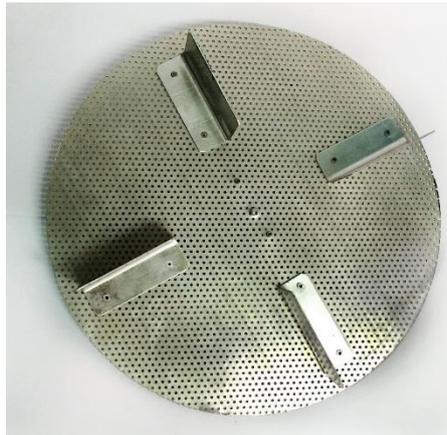


Figura 51. Chuveiro de lavagem e fundo falso 40cm

Fonte: Mercado Livre

Além disso, a bomba centrífuga de acionamento magnético tem diversas outras utilizações. No presente projeto, ela foi utilizada em outras etapas como resfriamento e transferência para o fermentador, que foram descritas em tópicos posteriores.

#### **4.2.4 Controlador de temperatura e brassagem**

Durante todas as etapas de aquecimento do processo produtivo, o controle de temperatura é muito importante para se obter a qualidade desejada do produto final. Na operação artesanal, esse procedimento era realizado via inspeção de um termômetro espeto e interferência direta do cervejeiro para desligar ou ligar a chama do fogareiro. Além disso, ao esquentar o mosto na presença de grãos, é mandatório manter uma agitação através da pá cervejeira a fim de evitar a caramelização e possível queima do fundo da panela.

Diante dessa situação, foi proposta a utilização de um sistema de controle automático de temperatura, que pudesse acionar e desativar as resistências elétricas para o aquecimento. Além disso, foi desejado que o controlador fosse capaz de programar rampas de distintas temperaturas e durações, para que o processo de

mostura requeresse o mínimo de interferência do cervejeiro e consequentemente o máximo de repetibilidade entre bateladas.

Dada a constatação, foi realizada a procura dos diversos equipamentos disponíveis no mercado. Foi possível identificar uma grande variedade de opções utilizando tecnologias embarcadas diversas, nas quais podemos destacar o Arduino e Raspberry PI. Dito isso, a opção realizada foi de utilizar o controlador CARP20 do fabricante EZBrew, que também comercializa as resistências elétricas adquiridas.

Esse equipamento, figura 52, conta com as tecnologias PID e PWM, fazendo com que o *overshoot* e o erro da temperatura seja mínimo, além de modular o pulso para que a temperatura setada seja mantida de forma suave. Além disso, o controlador aceita a programação de até 8 rampas de temperatura e tempo, sendo facilmente acoplado na borda dos caldeirões cervejeiros. O CARP20 também possui chave para controle da bomba de recirculação e conta com o controlador de tempo e temperatura CAD-T-326 do fabricante BAED, equipado com o sensor de temperatura NTC-10K.



Figura 52. Controlador CARP20 EZBrew

Fonte: EZBrew

#### 4.2.5 Moinho de grãos automático motorizado

Para garantir a qualidade do produto final, é necessário assegurar uma moagem de qualidade. A etapa de moagem dos grãos no processo artesanal era extremamente

demandante em tempo, além de requerer um grande esforço físico do operador. O uso do moinho de discos com acionamento via manivela gerava um grande desgaste do cervejeiro logo no início da brassagem, e também não garantia a melhor moagem e exposição do endosperma do grão para atuação das enzimas na etapa posterior de mostura. Além disso, um processo de moagem inadequado prejudica a etapa de filtragem, devido a trituração da casca que serve de cama filtrante para o mosto.

Feita essa constatação, a solução apresentada foi a aquisição de um moinho de rolos motorizado. A primeira característica supre a demanda por qualidade de moagem, enquanto a segunda atende a necessidade de um procedimento automatizado que demanda menos tempo e atuação humana, conseqüentemente trazendo maior repetibilidade do processo. A busca por opções disponíveis no mercado levou a aquisição do moinho apresentado na figura 53 e 54.



Figura 53. Moedor de rolos motorizado

Fonte: Autoria própria



Figura 54. Detalhes do motor do moedor

Fonte: Autoria própria

Especificações:

- Moedor de 2 rolos de 1.1/2" x 140mm em Aço Carbono 4140.
- Eixo de 5/8"
- Polia de 180mm com proteção em fibra de vidro.
- Motor Hercules elétrico monofásico de indução do tipo gaiola de 1/4 de HP, carcaça NEMA 56, 1730 RPM, Grau de proteção IP21, frequência de 60 Hz
- Capacidade: 200kg de malte moído/hora
- Regulagem: 0 a 3mm
- Funil com alongador, capacidade para aproximadamente 8kg.
- Base em aço tubular.
- Bivolt

#### 4.2.6 *Brewstand*

O sistema proposto de recirculação e lavagem contínua requerem uma configuração adequada das painelas. Duas opções eram viáveis para tal, o uso de diversas bombas hidráulicas para a movimentação dos líquidos entre os caldeirões, ou a utilização da gravidade. A segunda opção, por ser menos onerosa financeiramente, foi a escolhida para o projeto.

O equipamento desenvolvido para essa finalidade é chamado de *brewstand* ou árvore de brassagem. Ele consiste em uma estrutura metálica, em geral utilizando

*metalon* ou cantoneiras, que dão suporte para as painéis em 3 níveis de altura diferentes, facilitando o uso da gravidade para a transferência de líquidos em etapas da brassagem.

O modelo escolhido para o presente projeto pode ser encontrado na figura 55 abaixo. Esse *brewstand* possui os três níveis em direções alternadas, diminuindo a largura total do equipamento, o que facilita seu encaixe e disposição na área de produção. Além disso, ele também apresenta rodízios para facilitar o deslocamento, com sistema de travamento.



Figura 55. *Brewstand* 3 níveis

Fonte: Autoria Própria

#### 4.2.7 *Whirlpool* com furadeira e pá em T

Para facilitar a etapa de *whirlpool*, foram propostas alterações na forma de realizar o processo. O uso da pá cervejeira requeria bastante esforço do operador além do contato prolongado com o mosto quente. Uma simples solução proposta foi utilizar uma furadeira com uma pá inox em formato de T para gerar esse movimento rotacional no líquido e conseqüentemente o efeito redemoinho e a decantação das partículas remanescente no mosto. Esse equipamento pode ser observado na figura 56.



Figura 56. Furadeira Einhell RT-ID 65 e Pá de *whirlpool* em inox

Fonte: Autoria própria

Especificações da furadeira:

- Marca: Einhell
- Modelo: RT-ID 65
- Velocidade eletrônica variável e reversível
- Potência: 650W
- Mandril: 1/2" (13mm)
- Capacidade de perfuração: Madeira 25mm / Concreto 13mm / Aço 10mm
- Rotação: 0 - 3000 RPM
- Impacto: 0 - 4800 IPM

#### 4.2.8 Filtro de água

Assim como no processo de troca do GLP por energia elétrica, a motivação de eliminar um elemento/insumo extra na brassagem levou a adoção de um novo equipamento. A necessidade de aquisição e troca dos galões de 20L para cada nova brassagem se mostrou dispendiosa e com uma possível oportunidade na redução de custos.

Dada essa constatação, a solução proposta foi adoção de um filtro de carvão ativado. Esse tipo de elemento filtrante tem como função a eliminação do cloro e de materiais particulados como areia, ferrugem e sedimentos. O modelo escolhido foi o filtro AP230 multiuso da 3M, que teve suas especificações e detalhes explicitados abaixo.



Figura 57. Filtro 3M AP230

Fonte: Mercado Livre

Especificações:

- Vida útil nominal: 2500 L (troca de refil recomendada a cada 6 meses)
- Vazão máxima: 680 litros/hora
- Dimensões aprox. do produto (A x L x P): 32cm x 12cm x 12cm
- Componentes do elemento filtrante (refil): Celulose/ Carvão Ativado com Prata Coloidal

### 4.3 Oportunidades

Diversos outros dispositivos foram analisados e estudados no presente projeto para melhorar a qualidade do processo de brassagem e compor uma automação mais completa. No entanto, muitos deles não apresentaram custo x benefício relevante ou não ofereceram grande economia de tempo e/ou esforço humano.

Dentre essas opções, é possível destacar equipamentos referentes ao controle remoto de fermentação, envases mecanizados para diferentes vasilhames e lavadoras automáticas. Esses dispositivos, no entanto, possuem aplicação muito restrita a indústria de grande porte, apresentam custos elevados e não se configuraram como opção viável para escala do presente projeto. Alguns exemplos são encontrados nas figuras 58, 59 e 60 abaixo.



Figura 58. Airlock digital com controle de fermentação remoto

Fonte: Plaato



Figura 59. Recravadeira de latas

Fonte: Mocmaq



Figura 60. Lavadora automática de barril

Fonte: Eisen Tec Equipamentos

## 5 Processo artesanal automatizado

### 5.1 Métricas de avaliação

No novo processo produtivo, diversas métricas de avaliação foram mantidas para ser possível a comparação entre os procedimentos. Dentre os indicadores descritos no capítulo 3.1, foi possível destacar a manutenção da metodologia e momento das seguintes métricas:

- Receita controle
- Densidade do mosto
- Volumes
- Tempo despendido
- Eficiência de brassagem

Os indicadores que foram modificados devido a nova natureza do processo foram descritos conforme os tópicos seguintes.

#### 5.1.1 Temperatura

No processo artesanal, as medições das temperaturas foram realizadas com o termômetro espeto. Devido à introdução do controlador PID de brassagem, as novas medições foram realizadas através do sensor NTC-10K embutido no aparelho, figura 61. Essa medição foi executada durante todo o processo de brassagem para garantir a correta execução das rampas definidas no controlador.



Figura 61. Sensor de temperatura NTC-10K

Fonte: Autocore Robótica

Especificações:

- Tipo: NTC 10k  $\pm$  1% 3950;
- Sonda de aço inoxidável e à prova d'água;
- Faixa de medição: -20 a 105 ° C;
- Comprimento do cabo: 1 metro;
- Dimensões da sonda: 5 x 25 mm;
- B-constante: 3380K - / + 1%

## 5.1.2 Consumo de utilidades

### 5.1.2.1 Consumo de energia elétrica

Enquanto no primeiro processo as etapas de aquecimento foram realizadas através do fogareiro alimentado por GLP, nesse novo procedimento foi a energia elétrica que produziu o calor necessário para tal. Além disso, outras etapas como moagem, recirculação, *whirlpool* e resfriamento também utilizaram energia elétrica devido aos dispositivos adotados.

Dessa forma, foi necessário calcular o consumo total de energia elétrica empregado no processo. A metodologia utilizou o consumo individual dos equipamentos fornecidos pelos fabricantes e o tempo de uso de cada dispositivo. O equacionamento ficou da seguinte maneira:

$$E_{etapa} = \sum E_{aparelho} * D_{etapa} \quad (17)$$

Onde:

- $E_{etapa}$  = consumo em kWh na etapa
- $E_{aparelho}$  = consumo do aparelho em kW
- $D_{etapa}$  = duração da etapa em horas

### 5.1.2.2 Consumo de água e gelo

A introdução do filtro de água 3M, descrito no tópico 4.2.8, encerrou a necessidade da utilização da água mineral proveniente dos galões de 20 litros. Nesse novo processo, toda a água utilizada, tanto a água cervejeira quanto de serviço, é proveniente da rede local de abastecimento filtrada através do dispositivo empregado.

Dessa forma, todo o consumo de água segue a metodologia usada anteriormente. Esse indicador utiliza a vazão da torneira utilizada e o tempo necessário para alcançar os volumes desejados.

Além disso, o resfriamento do processo artesanal automatizado também sofreu mudanças. Essa etapa foi realizada com o novo trocador de calor, que é ligado em série com um “pré-chiller”, imerso em uma bacia com água e gelo. Dessa forma, o consumo do gelo também teve que ser computado para avaliar o custo total da brassagem. O modelo utilizado foi o saco de 10kg de gelo tipo escama, figura 62.



Figura 62. Gelo tipo escama

Fonte: Geloso

### 5.1.3 Custo total por litro no fermentador

Devido a mudança na fonte de energia do processo produtivo, além da introdução de um outro utilitário (gelo) na etapa de resfriamento, o indicador de custo total por litro no fermentador precisou ser revisitado. A nova formulação segue como apresentado abaixo:

$$C_{litro} = \frac{C_{insumos} + C_{água} + C_{gelo} + C_{eletricidade}}{V_{fermentador}} \quad (18)$$

Onde:

- $C_{insumos}$  = Custo total dos maltes, lúpulos e leveduras obtidos através do fornecedor de insumos e as quantidades utilizadas na receita controle.
- $C_{água}$  = Custo da água cervejeira e de serviço, obtido pela rede local de abastecimento.
- $C_{gelo}$  = Custo do gelo utilizado no processo de resfriamento.

- $C_{\text{eletricidade}}$  = Custo da energia elétrica de todos os equipamentos utilizados durante o processo, calculados utilizando o custo do kWh da distribuidora de energia local (Enel) conforme anexo X.
- $V_{\text{fermentador}}$  = Volume enviado para o fermentador conforme calculado no tópico 3.1.3.

## 5.2 Descrição do processo produtivo

### 5.2.1 Moagem

A fim de dar início ao processo produtivo, foi necessário realizar a moagem do malte. O novo moedor foi regulado a uma distância de 1,3mm entre os rolos e a moagem foi iniciada.

Dada a capacidade de moagem informada de 200kg/hora, o tempo de moagem esperado para 12,5 quilos de grãos (conforme a receita controle) era de 3 minutos e 45 segundos. A moagem de todo o malte, no entanto, foi realizada em 3 minutos e 34 segundos. O resultado pode ser observado na figura 63 abaixo.



Figura 63. Malte moído com moedor automático

Fonte: Autoria própria

### 5.2.2 Mostura e filtragem

Para o início da mostura, foram adicionados 34,0 litros de água (conforme indicação da receita) a 30,2°C na tina de mostura com o controlador de temperatura acoplado a resistência elétrica de 3000W. Para atingir a temperatura de 61°C, o tempo necessário de aquecimento foi de 29 minutos e 17 segundos.

Ao chegar na temperatura desejada, todo o malte foi despejado e consequentemente a temperatura caiu para 58,5°C. Foi realizada a rampa até 66,0°C (patamar principal de mostura), demorando 14 minutos e 8 segundos para atingir este nível.

Durante os 60 minutos de mostura, o líquido ficou em constante recirculação para que o não houvesse perda de tempo posterior nessa etapa, como observado na figura 64. Foi utilizada a bomba magnética 15R e o chuveiro de recirculação, para que não houvesse movimentação excessiva na cama de grãos e consequentemente perda de qualidade na filtragem.

Após 60 minutos mosturando e recirculando a 66,0°C, foi iniciada a última rampa programada pelo controlador. O *mash out* foi realizado a 78°C, onde foram necessários 23 minutos e 57 segundos para tal. Após atingir essa temperatura, o processo se manteve inalterado durante 10 minutos.



Figura 64. Processo de mostura com recirculação contínua

Fonte: Autoria própria

### 5.2.3 Lavagem

Assim como no primeiro processo, foram utilizados 45,0 litros de água de lavagem, seguindo as recomendações da receita controle. Essa água foi introduzida na a 30,3°C na panela de lavagem e aquecido até a temperatura de 78,0°C com a resistência elétrica de 4300W. Este processo, que foi realizado durante a mostura, demandou 49 minutos e 35 segundos para a conclusão.

Ao fim do *mash out* e com a água de lavagem na temperatura correta, o processo de lavagem foi iniciado utilizando o método fly sparge, como na figura 65. As vazões das torneiras foram reguladas a fim de se manter um fluxo contínuo de entrada e saída da panela de mostura, favorecendo a lenta e constante extração dos açúcares remanescentes nos grãos. O processo total de lavagem durou 42 minutos e 43 segundos.



Figura 65. Lavagem dos grãos utilizando o método fly sparge

Fonte: Autoria própria

#### 5.2.4 Fervura

Após todo o mosto ser transferido para a tina de fervura ao fim da lavagem, o produto se encontrou a temperatura de 75,3°C, com o volume medido de 62,3 litros e densidade de 1,055 g/mL. O controlador recebeu o comando para ativar a resistência elétrica de 4300W com potência equivalente a 85% de sua capacidade total (segundo padrão do fabricante), a fim de atingir 100°C (temperatura de fervura). Esse processo de aquecimento para início da fervura levou 40 minutos e 18 segundos.

Assim como no processo artesanal, durante essa etapa foram adicionados os lúpulos nas quantidades e tempos recomendados pela receita controle. Por fim, o volume total de líquido e a densidade pós fervura foram aferidos para validar a evaporação total e também calcular o volume final no fermentador. Dessa forma, o volume apurado foi de 53,6 litros com uma densidade de 1,064 g/mL.



Figura 66. Fervura

Fonte: Autoria própria

### 5.2.5 Whirlpool

Depois da etapa de 1 hora da fervura, foi realizado o processo de *whirlpool*. Esse procedimento utilizou a furadeira elétrica e a pá em formato T. O movimento foi executado durante 1 minuto ininterrupto. Após a criação do *vortex* e retirada do equipamento do líquido, aguardou-se cerca de 14 minutos para que o líquido fosse decantado, como exemplificado pela figura 67 e 68.



Figura 67. *Whirlpool* utilizando furadeira elétrica

Fonte: Concerveja



Figura 68. *Trub* obtido com *whirlpool* com furadeira

Fonte: Autoria própria

### 5.2.6 Resfriamento e trasfega final

A última etapa do processo produtivo foi o resfriamento em conjunto com a trasfega para o fermentador. Após o fim do tempo de espera para a decantação devido ao *whirlpool*, foi dado início a esta etapa.

A trasfega começou com o líquido na tina de fervura a 79,9°C, onde ele era transferido para o chiller de contra fluxo e despejado no fermentador cônico com auxílio da bomba 15R. O líquido de resfriamento do trocador era a água que vinha da rede e passava por um chiller de imersão na panela com gelo. Esse esquema pode ser observado na figura 69.

O processo durou 14 minutos e 27 segundos, até que todo o mosto fosse drenado da panela de fervura, exceto o *trub*. A temperatura do líquido medida no fermentador foi de 23,4°C.



Figura 69. Arranjo do “pré-chiller” e trasfega para o fermentador

Fonte: Autoria própria

Por fim, foi efetuada a medição do volume total de *trub* remanescente na panela de fervura para realização do cálculo do volume total transferido para o fermentador. Seguindo a metodologia descrita no tópico 3.1.3, a jarra graduada foi preenchida com o volume de *trub* que somou 3,4 litros até o seu fim. Com isso, o cálculo do volume total transferido para o fermentador foi realizado conforme equação 10:

$$V_{final} = (V_{pós-fervura} * (1 - 0,04)) - V_{trub}$$

$$V_{final} = (53,6 * (1 - 0,04)) - 3,4 = 48,1 \text{ litros}$$

A densidade do líquido é decorrente da eficiência do processo em diversas etapas, como moagem, mostura e lavagem. No entanto, não é possível utilizar essa grandeza para cálculos financeiros. No presente projeto, a proposta foi igualar a densidade para o valor obtido no primeiro processo, aumentando seu volume e conseqüentemente gerando impacto no indicador de custo total por litro no fermentador.

Sendo assim, como foi obtida uma densidade superior ao processo 1 (1,064 x 1,061), foi necessário realizar uma diluição para ser possível a comparação entre os procedimentos. O equacionamento e o resultado foram explicitados abaixo, conforme rearranjo da equação 9:

$$V_{utilizado} = V_{final} * \frac{(OG_{processo2} * 1000 - 1000)}{(OG_{processo1} * 1000 - 1000)}$$

$$V_{utilizado} = 48,1 * \frac{(1,064 * 1000 - 1000)}{(1,061 * 1000 - 1000)} = 50,4 \text{ litros}$$

## 5.3 Custos de implementação

### 5.3.1 Custos dos equipamentos

Para viabilizar a implementação da automação proposta, foi necessário calcular o custo dos equipamentos envolvidos. Os itens descritos no tópico 4.2 foram adquiridos e seus custos podem ser obtidos com mais detalhes na tabela 14 abaixo:

Tabela 14. Equipamentos de brassagem para processo automatizado e seus custos

Item	Quantidade	Preço unitário	Total	Obtenção
Moedor elétrico	1	R\$2.005	R\$2.005	Cerveja da Casa
Fundo Falso Nº 40	1	R\$99	R\$99	Mercado Livre
Controlador PID/PWM	1	R\$1.180	R\$1.180	EZBrew
Resistência 3000W	1	R\$284	R\$284	EZBrew
Resistência 4300W	1	R\$328	R\$328	EZBrew
Pá de <i>Whirlpool</i>	1	R\$30	R\$30	Soldador local
Furadeira	1	R\$236	R\$236	Loja do mecânico
Chuveiro Lavagem	1	R\$96	R\$96	Mercado Livre
Bomba MP 15R	1	R\$480	R\$480	Mercado Livre
Chiller de contra fluxo	1	R\$200	R\$200	Loja de conexões e refrigeração
Filtro 3M AP230	1	R\$171	R\$171	Mercado Livre
<i>Brewstand</i>	1	R\$450	R\$450	Soldador local
Mangueiras e Conexões	1	R\$30	R\$30	Loja de conexões local
<b>TOTAL</b>			<b>R\$5.589</b>	

Fonte: Autoria Própria

No custo total, os itens mais representativos são o moedor e o controlador PID/PWM. Quando contabilizados em conjunto das duas resistências que compõem o sistema de aquecimento, os quatro itens totalizam R\$3.797, que representam 68% do custo total da implementação do novo sistema automatizado.

### 5.3.2 Custos variáveis da receita

Assim como no tópico 3.3.2, os custos variáveis da receita são compostos pelos custos dos insumos e das utilidades, relacionados ao volume total pelo indicador de custo total por litro no fermentador. Nesse novo processo, o custo dos insumos não sofreu alteração devido a manutenção da receita controle para fins de comparabilidade.

#### 5.3.2.1 Custo de utilidades

Por outro lado, os custos de utilidades foram calculados utilizando a metodologia apresentada anteriormente. Os custos com suas referências de preço e respectivo resultado de consumo foi explicitado abaixo:

Tabela 15. Custos das utilidades do processo automatizado.

Utilidade	Quantidade	Preço/Unidade	Total
Energia elétrica (kWh)	13,10	R\$0,68322	R\$8,95
Água (litros)	442,50	R\$0,01636	R\$7,24
Gelo (quilos)	10,00	R\$1,00	R\$10,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$26,19</b>

Fonte: Autoria própria

O consumo da energia elétrica segue a formulação apresentada no tópico 5.1.2.1, onde a duração de todas as etapas de utilização dos dispositivos foi apurada e consequentemente obtido o custo total. A relação de cada aparelho, seu tempo de utilização e consumo pode ser encontrada no anexo X. O valor de R\$/kWh utilizado foi obtido através das tarifas vigentes da Enel para a bandeira amarela nas classes B1 (residências) e B3 (comércio, industrial e poder público).

O consumo da água foi análogo ao realizado no capítulo 3, onde foi computado a duração total do resfriamento, volume necessário para a mostura e lavagem e volume para diluição do mosto. O referencial de custo da concessionária local de abastecimento da cidade foi mantido. O consumo total foi obtido utilizando o equacionamento:

$$C_{total} = v_{torneira} * D_{etapa} + V_{\text{água cervejeira}} + V_{\text{diluição}} \quad (19)$$

$$C_{total} = 0,42 \frac{l}{s} * \left( 14,45 \text{ minutos} * 60 \frac{\text{segundos}}{\text{minuto}} \right) + 76,00 + 2,36 = 442,50 \text{ litros}$$

### 5.3.2.2 Custo total por litro no fermentador

Dessa forma, foi estimado o custo total por litro no fermentador, indicador da viabilidade econômica da atividade. De acordo com a fórmula 13, o custo por litro foi calculado conforme abaixo:

$$C_{litro} = \frac{C_{insumos} + C_{\text{água}} + C_{\text{gelo}} + C_{\text{eletricidade}}}{V_{\text{fermentador}}}$$

$$C_{litro} = \frac{252,66 + 7,24 + 10,00 + 8,95}{50,4} = 5,53 \text{ R\$/litro}$$

## 6 Comparação entre processos

A fim de comparar ambos os processos, foram realizadas análises referentes aos aspectos energéticos e produtivos do procedimento. Foi feita a comparação dos custos das utilidades usadas, análise qualitativa do esforço do operador, tempo demandado, eficiência da brassagem e os aspectos financeiros de cada cenário. Dito isso, a tabela 16 sintetizou as mudanças estruturais dos processos e os resultados esperados de cada função.

Tabela 16. Resumo dos equipamentos em cada processo

Função	Processo 1	Processo 2	Resultado esperado
Gerar movimento mecânico - moagem	Manual	Motor elétrico	Menor esforço do operador Menor tempo
Moagem dos grãos	Moinho de discos	Moinho de rolos	Maior eficiência
Gerar calor	Fogareiro	Resistências elétricas	Menor tempo Menor custo de combustível Maior controle (eficiência)
Controle de temperatura	Manual	Controlador PID	Maior controle (eficiência)
Medição de temperatura	Analógico	Digital	Maior controle (eficiência)
Recirculação	Manual	Bomba Magnética	Maior eficiência Menor esforço do operador
Filtragem	<i>Bazooka</i>	Fundo falso	Maior eficiência
Resfriamento	Chiller de imersão	Chiller de contrafluxo em série	Menor tempo Menor custo de água
<i>Whirlpool</i>	Manual	Elétrico	Maior eficiência Menor esforço
Fonte de água cervejeira	Mineral	Rede (Filtro AP230)	Menor custo de água

Fonte: Autoria Própria

### 6.1 Resultados de eficiência energética

#### 6.1.1 Consumo de GLP e energia elétrica

Na tabela 17 abaixo, os resultados relativos ao consumo de GLP/energia elétrica foram descritos:

Tabela 17. Comparação dos custos de GLP/energia elétrica

<b>Combustível (GLP/energia elétrica)</b>	<b>Processo 1 (GLP)</b>	<b>Processo 2 (E. Elétrica)</b>	<b>Delta</b>
Quantidade (quilos/kWh)	2,84	13,10	-
R\$/Unidade	R\$4,77	R\$0,68	-
<b>Total</b>	<b>R\$13,56</b>	<b>R\$8,95</b>	<b>-R\$4,61 (-34%)</b>

Fonte: Autoria Própria

No caso da utilidade GLP/energia elétrica notamos uma redução percentual significativa, no valor de 34%. É importante notar que mesmo que a energia elétrica tenha sido utilizada para outras funções como moagem e recirculação, a representatividade quase total (99%) do consumo foi nos processos de aquecimento. Dessa forma, a utilização da fonte de calor elétrica apresenta vantagens financeiras sobre o GLP.

### 6.1.2 Consumo de água e gelo

No consumo de gelo e água, tanto a água cervejeira quanto a de serviço, também houve redução no valor dispendido. Os resultados foram expressos na tabela 18 abaixo:

Tabela 18. Comparação dos custos de água e gelo

<b>Água</b>	<b>Processo 1</b>	<b>Processo 2</b>	<b>Delta</b>
Quantidade (litros)	890,38	442,50	-
R\$/Unidade (ponderado)	R\$0,04	R\$0,02	-
<b>Total</b>	<b>R\$39,92</b>	<b>R\$7,24</b>	<b>-R\$32,68</b>
<b>Total com gelo</b>	<b>R\$39,92</b>	<b>R\$17,24</b>	<b>-R\$22,68 (-57%)</b>

Fonte: Autoria Própria

Nesse caso, o custo R\$/unidade do processo 1 foi ponderado pela quantidade de água de fonte mineral e água da rede. A redução percentual do custo com esse utilitário foi de 57%. Além da redução do custo por litro possibilitado pelo filtro AP230, a quantidade de água necessária sofreu grande decréscimo devido ao trocador de calor de contracorrente em série, viabilizado pelo uso da bomba.

### 6.1.3 Impacto no custo total por litro no fermentador

Dessa forma, foram calculados os impactos dessas otimizações no custo total por litro no fermentador do processo. A parcela de contribuição de cada um desses efeitos foi detalhada abaixo:

Tabela 19. Impacto da eficiência energética no custo por litro

	Processo 2			
	Processo 1	Redução Água	Redução Energia	Redução Água + Energia
<b>Custo total</b>	R\$306,14	R\$283,46	R\$301,53	R\$278,84
<b>Litros no fermentador</b>	46,4	46,4	46,4	46,4
<b>R\$/L</b>	R\$6,60	R\$6,11	R\$6,50	R\$6,01
<b>DELTA</b>		<b>-R\$0,49 (-7%)</b>	<b>-R\$0,10 (-2%)</b>	<b>-R\$0,59 (-9%)</b>

Fonte: Autoria Própria

## 6.2 Resultados de eficiência de produção

### 6.2.1 Tamanho do lote, densidade e eficiência de brassagem

Outros aspectos já apontados nos tópicos anteriores foram os volumes e densidades obtidas em cada processo. Esses resultados foram utilizados para o cálculo da eficiência de brassagem. Para os cálculos financeiros que envolvem a grandeza do custo total por litro no fermentador, a melhora do indicador de eficiência de brassagem é convertida em maior volume de produto final. As eficiências obtidas pelo software podem ser observadas na figura 70.

Selecione Campos - Escolha os campos a mostrar	
Densidade Estimada Pré-Fervura	1,051 SG
OG Medida	1,061 SG
Tamanho do Lote Medido	46,40 l
Eficiência Medida	70,9 %
Proporção Amargor	1,056 IBU/SG
Lúpulo Total	234,00 g
Grãos Total	12,50 kg
Volume Após Fervura	54,17 l

Selecione Campos - Escolha os campos a mostrar	
Densidade Estimada Pré-Fervura	1,051 SG
OG Medida	1,064 SG
Tamanho do Lote Medido	48,10 l
Eficiência Medida	77,1 %
Proporção Amargor	1,056 IBU/SG
Lúpulo Total	234,00 g
Grãos Total	12,50 kg
Volume Após Fervura	54,17 l

Figura 70. Eficiência de brassagem do processo 1 e 2

Fonte: Autoria própria

Tabela 20. Comparativo da eficiência de brassagem

<b>Dado</b>	<b>Estimados</b>	<b>Processo 1</b>	<b>Processo 2</b>
Volume pré-fervura (litros)	63,47	61,5	62,3
Densidade pré-fervura (g/mL)	1,051	1,052	1,055
Volume pós-fervura (litros)	54,17	52,5	53,6
<b>Densidade pós-fervura (g/mL)</b>	<b>1,062</b>	<b>1,061</b>	<b>1,064</b>
Contração resfriamento (4%) - (litros)	-2,17	-2,10	-2,14
Perdas de <i>Trub</i> (litros)	-4,00	-4,00	-3,40
<b>Tamanho do Lote (litros)</b>	<b>48</b>	<b>46,4</b>	<b>48,1</b>
<b>Eficiência medida</b>	<b>75%</b>	<b>70,9%</b>	<b>77,1% (+6,2 p.p.)</b>

Fonte: Autoria Própria

No resultado, foi notado a obtenção de um volume pré fervura menor com uma densidade superior ao estimado. Estes resultados sugerem uma absorção de mosto pelo grão e perdas no processo de lavagem/maior que o estimado pelo *software*. Por outro lado, a eficiência de extração dos açúcares dos processos foi superior, que resultou numa densidade 4 pontos maior que o esperado. Os processos mais relevantes nessa melhoria são a moagem, controle de temperatura na mostura e lavagem contínua.

Também foi possível aferir uma evaporação mais branda do mosto. A fervura consumiu menos volume que o esperado e resultou num aumento de densidade de 9 pontos, ao invés dos 11 pontos estimados pelo *Beersmith*.

Dito isso, a melhor qualidade do *vortex* criado pelo *whirlpool* com utilização da furadeira resultou em volume de *trub* inferior, de apenas 3,4 litros. Esse efeito somado aos anteriores fez com que o processo 2 obtivesse um volume final ligeiramente superior com uma densidade maior em 2 pontos em relação ao estimado pelo *software* e ao processo 1. A eficiência final ficou em 77,1%, um acréscimo de 6,2 pontos percentuais em relação ao processo 1.

Como já abordado no tópico 5.2.6, esse incremento na eficiência foi convertido para o maior volume final no fermentador. Dessa forma, esse parâmetro impactou o custo por litro do processo 2. Esse resultado foi explicitado na tabela 21 abaixo:

Tabela 21. Impacto da eficiência de produção no custo por litro

	Base de comparação	Processo 2
		Efeito Eficiência
<b>Custo total</b>	R\$278,84	R\$278,84
<b>Litros no fermentador</b>	46,4	50,4
<b>R\$/L</b>	R\$6,01	R\$5,53
	<b>DELTA</b>	<b>-R\$0,48 (-7%)</b>

Fonte: Autoria Própria

## 6.2.2 Tempo e outros resultados qualitativos

Outra grandeza que sofreu grandes impactos com a automação e utilização dos dispositivos mecânicos foi o tempo. Existiam diversas ineficiências no processo, onde era necessário aguardar o final de certas etapas para a realização de outras. Foram compiladas as durações de todas as etapas nas tabelas 22 e 23 abaixo:

Tabela 22. Tempo de cada etapa em minutos no processo 1

Processo	Tempo (minutos)	Tempo efetivo (minutos)	Observação
Moagem	31,3	31,25	-
Aquecimento Rampa 1*	24,3	0,00	Durante moagem
Descida do malte	0,0	0,00	-
Aquecimento Rampa 2	12,2	12,23	-
Mostura 1	60,0	60,00	-
Aquecimento <i>Mash Out</i>	19,7	19,68	-
<i>Mash out</i>	10,0	10,00	-
1º Recirculação	16,2	16,17	-
Aquecimento Água Lavagem*	69,1	42,90	Início pós aquecimento <i>mash out</i>
Lavagem	0,0	0,00	-
2º Recirculação	15,1	15,10	-
Lavagem 2	0,0	0,00	-
3ª Recirculação	16,6	16,62	-
Aquecimento Fervura	58,4	58,38	-
Fervura	60,0	60,00	-
<i>Whirlpool</i> + Resfriamento	32,3	32,32	-
Trasfega Final	4,1	4,13	-
	<b>TOTAL MINUTOS</b>	<b>378,78</b>	
	<b>TOTAL HORAS</b>	<b>6,31</b>	

Fonte: Autoria Própria

Tabela 23. Tempo de cada etapa em minutos no processo 2

Processo	Tempo (minutos)	Tempo efetivo (minutos)	Observação
Moagem	3,57	0,00	Durante aquecimento rampa 1
Aquecimento Rampa 1	29,28	29,28	-
Descida do malte	0,00	0,00	-
Aquecimento Rampa 2	14,13	14,13	-
Mostura 1	60,00	60,00	-
Aquecimento <i>Mash Out</i>	23,95	23,95	-
<i>Mash out</i>	10,00	10,00	-
Aquecimento Água Lavagem	49,75	0,00	-
Lavagem	42,72	42,72	Durante mostura
Aquecimento Fervura	40,3	40,30	-
Fervura	60,00	60,00	-
<i>Whirlpool</i>	15,00	15,00	-
Resfriamento + trasfega	14,45	14,45	-
	<b>TOTAL MINUTOS</b>	<b>309,83</b>	
	<b>TOTAL HORAS</b>	<b>5,16 (-18%)</b>	

Fonte: Autoria Própria

Sendo assim, foi possível aferir um ganho de 18% no tempo total do processo produtivo. As etapas mais relevantes para essa melhoria foram o aquecimento mais célere para a fervura e a realização do aquecimento da água de lavagem durante a mostura. O progresso nessa grandeza pode significar menores custos com mão de obra, no caso de um cenário com contratação de operadores.

De forma qualitativa, foi possível pontuar diversas melhorias no processo produtivo do ponto de vista de esforço do cervejeiro. Algumas etapas que demandavam muita intervenção manual foram substituídas pelos dispositivos adequados, gerando menor desgaste na brassagem e aumentando a repetibilidade do produto.

As etapas de moagem, recirculação do mosto e *whirlpool* foram as atividades mais demandantes do ponto de vista físico. Com a utilização dos equipamentos no processo 2, foram evitados cerca de 81 minutos de esforço manual nessas três etapas, além de ter eliminado a necessidade de constante vigília e controle da temperatura quando utilizando o fogareiro e o termômetro espeto.

Os fatos citados também contribuíram para outros aspectos qualitativos da produção. A menor intervenção manual do cervejeiro aumenta a repetibilidade do processo, o que torna possível a reprodução da receita em lotes futuros. Além disso, a

melhoria na qualidade da filtragem e do *trub* foi notável no produto final, que apresentou menor turbidez e melhor aspecto no copo, como mostrado na figura 71.



Figura 71. Comparativo dos aspectos visuais do processo 1 e 2

Fonte: Autoria própria

## 6.3 Custos e amortização

### 6.3.1 Premissas de cálculo

Para realizar a comparação do resultado líquido dos processos e de VPL, foram necessárias a adoção das seguintes premissas:

- Regime de brassagem: 4 lotes/mês
- Preço de venda: R\$15 por litro - 100% da produção vendida
- Custos variáveis de produção (custo total por litro no fermentador) e custos fixos (depreciação do equipamento e remuneração de capital)
- Depreciação linear em 5 anos (60 meses) com valor residual de 50%
- WACC da atividade (para descontos de fluxo de caixa e remuneração de capital): 8,57% a.a. (DAMODARAN, 2019)
- Imposto Simples Nacional: 7% sobre lucro bruto
- Não diferencia custos relativos aos processos de fermentação e comercialização

Dito isso, foram calculados os custos fixos referentes ao processo 1 e 2. No caso do processo 2, o valor do investimento foi obtido através da soma do custo dos equipamentos do processo 1 e da automação. Nesse caso, foram removidos os custos de aquisição do fogareiro, *bazooka* e moedor manual, equipamentos que não foram utilizados no processo automatizado. A tabela 24 explicitou os resultados de custos fixos e a tabela X detalhou a composição do cálculo do resultado líquido.

Tabela 24. Custos fixos por mês dos processos 1 e 2

		<b>Processo 1</b>	<b>Processo 2</b>
<b>Valor - Investimento</b>		R\$1.426,00	R\$6.657,00
<b>Valor Residual - Equipamentos</b>	50%	R\$713,00	R\$3.328,50
<b>Depreciação - meses</b>	60	R\$11,88	R\$55,48
<b>Remuneração de capital - WACC (a.a.)</b>	8,57%	R\$9,80	R\$45,77
	<b>R\$/Mês</b>	<b>R\$21,69</b>	<b>R\$101,25</b>

Fonte: Autoria Própria

Tabela 25. Resultado líquido dos processos 1 e 2

	<b>Processo 1</b>	<b>Processo 2</b>
Lote (litros)	46,4	50,4
Lotes/mês	4	4
Produção mensal (litros)	186	202
Preço de venda (R\$/litro)	R\$15,00	R\$15,00
Receita Bruta	R\$2.784	R\$3.025
Custos Variáveis (R\$/litro)	R\$6,60	R\$5,53
CPV (R\$/mês)	R\$1.225	R\$1.115
Custos Fixos (R\$/mês)	R\$22	R\$101
Resultado Bruto	R\$1.538	R\$1.809
Resultado Líquido - mês	<b>R\$1.430</b>	<b>R\$1.682</b>
Resultado Líquido - ano	<b>R\$17.161</b>	<b>R\$20.183 (+18%)</b>

Fonte: Autoria própria

### 6.3.2 Comparação do VPL

Dado o resultado líquido obtido para cada processo na tabela 25, foram calculados as entradas e saídas de caixa resultantes do investimento. Os fluxos de caixa foram trazidos a valor presente para apuração do VPL de cada processo. O horizonte utilizado foi de 5 anos, devido a premissa de vida útil dos equipamentos adquiridos.

Tabela 26. VPL dos processos 1 e 2

	Processo 1			Processo 2		
	Saída	Entrada	Fluxo de caixa	Saída	Entrada	Fluxo de caixa
<b>Ano 0</b>	<b>-R\$1.426</b>	R\$0	<b>-R\$1.426</b>	<b>-R\$6.657</b>	R\$0	<b>-R\$6.657</b>
<b>Ano 1</b>	0	R\$17.161	R\$17.161	0	R\$20.183	R\$20.183
<b>Ano 2</b>	0	R\$17.161	R\$17.161	0	R\$20.183	R\$20.183
<b>Ano 3</b>	0	R\$17.161	R\$17.161	0	R\$20.183	R\$20.183
<b>Ano 4</b>	0	R\$17.161	R\$17.161	0	R\$20.183	R\$20.183
<b>Ano 5</b>	0	R\$17.161	R\$17.161	0	R\$20.183	R\$20.183
		<b>VPL 5 anos</b>	<b>R\$66.077</b>		<b>VPL 5 anos</b>	<b>R\$72.733 (+10%)</b>
		<b>VPL 1 ano</b>	<b>R\$14.381</b>		<b>VPL 1 ano</b>	<b>R\$11.933 (-17%)</b>

Fonte: Autoria própria

No resultado obtido, é possível notar que o acréscimo do VPL é dependente do horizonte de tempo da análise. No curto prazo (1 ano), existe uma diminuição do VPL devido ao alto valor do investimento inicial. O acréscimo de receita devido a maior eficiência operacional do processo 2 gera valor no longo prazo, acrescentando 10% ao VPL no horizonte de 5 anos.

Dessa maneira, foi realizado um estudo particular do payback e VPL do investimento de *upgrade* do equipamento. Apenas o custo adicional de investimento foi considerado, onde foram abatidos 50% (valor residual) do custo do fogareiro, moedor e *bazooka*. Como entrada de caixa, foi contabilizado apenas a diferença de resultado líquido obtido no processo 1 e processo 2. Sendo assim, foram obtidos na tabela 27 os seguintes resultados de VPL e métricas de avaliação financeira.

Tabela 27. VPL e *payback* da automação

	Automação		
	Saída	Entrada	Fluxo de caixa
<b>Ano 0</b>	<b>-R\$5.410</b>	R\$0	<b>-R\$5.410</b>
<b>Ano 1</b>	0	R\$3.022	R\$3.022
<b>Ano 2</b>	0	R\$3.022	R\$3.022
<b>Ano 3</b>	0	R\$3.022	R\$3.022
<b>Ano 4</b>	0	R\$3.022	R\$3.022
<b>Ano 5</b>	0	R\$3.022	R\$3.022
		<b>VPL - 5 anos</b>	<b>R\$6.477</b>
		<b>VPL - 1 ano</b>	<b>-R\$2.627</b>
		<b>PAYBACK (anos)</b>	<b>1,8</b>

Fonte: Autoria própria

## 7 Aspectos da implementação

Durante o desenvolvimento do projeto, a implementação do novo processo apresentou diversas nuances que valem ser destacadas. Alguns aspectos como a dificuldade encontrada na operacionalização, obrigações e restrições legais da produção e comercialização, e vantagens de escala produtiva são pontos que devem ser abordados com maior detalhe.

No que tange a introdução dos novos equipamentos, em alguns momentos pequenas adaptações foram necessárias para que o funcionamento não fosse comprometido. Em outros casos, esse processo se deu de maneira muito simples e direta, onde podemos destacar:

- Moinho de grãos automático motorizado: Esse equipamento foi o mais custoso dentre todos os dispositivos adquiridos. Por outro lado, sua instalação e utilização foi muito simples. Excluindo o fato do seu tamanho considerável, o aparelho demandou apenas a conexão à uma fonte de energia elétrica 110V. O fato de possuir um cesto de grãos com bastante capacidade facilita muito esse processo, pois foi possível adicionar quase a totalidade do malte, sem a necessidade de repetidas reposições de grãos (como no processo 1).
- *Brewstand*: O dispositivo também não apresentou maiores complicações em sua introdução e utilização. Devido as grandes dimensões que possui, o transporte e alocação dele no ambiente de brassagem foi o ponto mais crítico, porém facilmente resolvido com o devido planejamento e auxílio de outros operadores.
- Furadeira e pá de *whirlpool*: Esse sistema de *whirlpool* possui a aplicação muito prática. Com apenas uma conexão à rede elétrica na tensão de 110V, a operacionalização só demandou o manuseio correto do operador, sem apresentar nenhum ponto crítico a brassagem.
- Filtro de água AP230: O equipamento introduzido para utilizar água da rede se mostrou de fácil utilização e muito benéfico para os custos. Foram adquiridos engates rápidos para a entrada e saída de água, a fim de ajudar o “*plug-in*” e “*plug-out*”. Além de eliminar a necessidade da compra, troca e manutenção de galões de 20 litros, a vazão da água da rede foi suficiente para que o enchimento dos volumes necessários não demandasse muito tempo.

Em contrapartida, os outros dispositivos mecânicos adicionados ao processo de fabricação apresentaram detalhes e dificuldades mais específicas na implementação. Em alguns casos, foram necessários testes e ajustes prévios para garantir o correto funcionamento do aparelho no momento de brassagem. Foi possível destacar com mais detalhes os seguintes aspectos:

- Resistências elétricas: Esses dispositivos requereram uma adaptação importante. Foi necessário adaptar a rede elétrica do ambiente de brassagem para receber a voltagem de 220V, devido à alta potência dos equipamentos. Por outro lado, devido ao fato delas possuírem “pescoço frio” e serem portáteis, foi mais fácil a utilização no caldeirão, sem a necessidade de realizar furação das painéis.
- Controlador PID/PWM de brassagem: Esse equipamento também necessitou de uma adaptação nas painéis. Devido a utilização do sensor de temperatura, foi necessário introduzir um poço termométrico nos caldeirões para que a sonda pudesse realizar as medições corretamente sem ficar imersa no líquido. Além disso, foi necessário algum tempo para se habituar com o controle de receitas e rampas do dispositivo para que os patamares de temperatura não apresentassem divergências do estipulado.
- Trocador de calor de contracorrente: Devido ao fato de ter sido construído pelo autor, esse equipamento apresentou alguns detalhes importantes. Foram necessários o uso de diversas conexões para que as bitolas de todas as partes funcionassem adequadamente. Além disso, a vedação do aparelho é um aspecto muito importante, devido ao perigo de contaminação do mosto já frio. Por conta disso, foi utilizada uma quantidade considerável de fita veda-rosca, além de testes prévios para detectar vazamentos.

Outro ponto muito importante é a adequação aos padrões permitidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Esse aspecto é de difícil operacionalização devido aos altos custos envolvidos, além de possuir exigências muito disparens entre estados e fiscais. É necessário que o local da fábrica esteja situado em área industrial, além de se enquadrar em alguns requisitos prediais, como área mínima, altura do pé direito, separação física completa entre área produtiva e outras áreas,

dentre outros. Além do registro do MAPA para a fábrica, é necessário registrar e obter licença para cada receita produzida. Isso torna o processo de lançamentos e inovação mais lento e burocrático.

Durante a elaboração do projeto, também foi observado o impacto da escala de produção na avaliação financeira do investimento. Devido a vida útil de 5 anos adotada para o equipamento, considerando sua depreciação e remuneração do capital ao longo desse período, foi notado que a maximização da utilização desse equipamento traria vantagens financeiras no projeto. Dada essa constatação, duas opções eram viáveis:

- Aumentar o tamanho do lote: Essa opção, no entanto, iria requerer a aquisição de novos equipamentos como caldeirões maiores, resistências mais potentes para sustentar o aquecimento, trocadores de calor mais eficientes/maiores para realizar o resfriamento e etc.
- Aumentar o número de lotes/mês: Essa escolha pareceu mais viável dado o investimento realizado, já que os equipamentos utilizados seriam os mesmos e o único ponto a ser monitorado era a capacidade comercial para realizar a venda de toda a produção.

Dessa forma, foi adotado um novo regime de brassagem. A avaliação financeira considerou 4 lotes por semana, totalizando 16 lotes no mês, valor que é quatro vezes maior que o utilizado anteriormente. A diferença no resultado líquido pode ser observada na tabela 28 abaixo.

Tabela 28. Resultado líquido dos processos em regime de 16 lotes/mês

	<b>Processo 1</b>	<b>Processo 2</b>
Lote (litros)	46,4	50,4
Lotes/mês	16	16
Produção mensal (litros)	742	807
Preço de venda (R\$/litro)	R\$15,00	R\$15,00
Receita Bruta	R\$11.136	R\$12.101
Custos Variáveis (R\$/litro)	R\$6,60	R\$5,53
CPV (R\$/mês)	R\$4.898	R\$4.462
Custos Fixos (R\$/mês)	R\$22	R\$101
Resultado Bruto	R\$6.216	R\$7.538
Resultado Líquido - mês	<b>R\$5.781</b>	<b>R\$7.010</b>
Resultado Líquido - ano	<b>R\$69.372</b>	<b>R\$84.123 (+21%)</b>

Fonte: Autoria própria

É possível notar um acréscimo de resultado líquido da ordem de 3 pontos percentuais, quando comparado com o regime de 4 lotes/mês. Dessa forma, foi calculado a diferença de VPL para os dois processos no novo regime e o *payback* do *upgrade* do equipamento. Nessa nova configuração, o VPL de 1 ano do processo 2 já

passa a ser superior, com acréscimo de 13% em relação ao processo 1. O VPL de longo prazo (5 anos) cresce significativamente, alcançando 19% de acréscimo em relação ao processo 1 e 9 pontos percentuais quando comparado com o processo 2 no regime de 4 lotes/mês. O *payback* do investimento também é reduzido para menos de 4 meses. Esses resultados foram explicitados na tabela 29 abaixo.

Tabela 29. VPL e *payback* no regime de 16 lotes/mês

Período	Processo 1			Processo 2			Automação		
	Saída	Entrada	Fluxo de caixa	Saída	Entrada	Fluxo de caixa	Saída	Entrada	Saldo
<b>Ano 0</b>	<b>-R\$1.426</b>	R\$0	<b>-R\$1.426</b>	<b>-R\$6.657</b>	R\$0	<b>-R\$6.657</b>	<b>-R\$5.410</b>	R\$0	<b>-R\$5.410</b>
<b>Ano 1</b>	0	R\$69.372	R\$69.372	0	R\$84.123	R\$84.123	0	R\$14.751	R\$14.751
<b>Ano 2</b>	0	R\$69.372	R\$69.372	0	R\$84.123	R\$84.123	0	R\$14.751	R\$14.751
<b>Ano 3</b>	0	R\$69.372	R\$69.372	0	R\$84.123	R\$84.123	0	R\$14.751	R\$14.751
<b>Ano 4</b>	0	R\$69.372	R\$69.372	0	R\$84.123	R\$84.123	0	R\$14.751	R\$14.751
<b>Ano 5</b>	0	R\$69.372	R\$69.372	0	R\$84.123	R\$84.123	0	R\$14.751	R\$14.751
		<b>VPL 5 anos</b>	R\$271.443		<b>VPL 5 anos</b>	R\$324.235 (+19%)		<b>VPL 5 anos</b>	R\$52.614
		<b>VPL 1 ano</b>	R\$62.470		<b>VPL 1 ano</b>	R\$70.826 (+13%)		<b>VPL 1 ano</b>	R\$8.177
								<b>PAYBACK (anos)</b>	0,4

Fonte: Autoria própria

## 8 Conclusão

O presente trabalho se propôs a demonstrar os ganhos com a mecanização e automatização do processo de produção de cerveja artesanal em escala caseira. Com a implementação do processo mais automático, foi possível obter um aumento de 6,2% na eficiência do processo que resultou em um maior volume de produção cervejeira e assim, um incremento de 4L por lote de produção.

Esses ganhos também foram economicamente mensurados, visto que o custo de produção por litro de cerveja foi reduzido em aproximadamente R\$0,60, valor que representa 9% do custo total por litro no fermentador. Adotando as premissas utilizadas, como quatro lotes produzidos no mês, preço de venda fixo e considerando todo lote vendido, tem-se um incremento de 18% no resultado líquido anual. Dessa forma, mesmo demandando um investimento inicial considerável para uma produção caseira com a mecanização de algumas etapas do processo, foi possível demonstrar, ao longo deste projeto, que o valor investido é compensado pelos inúmeros pontos citados, além de se obter o *payback* num período inferior a 2 anos.

Por meio desse trabalho, foi possível entender com maior profundidade o processo de produção cervejeira, além de controlar com mais detalhes etapas fundamentais do processo. Substituições e adições de alguns dispositivos mecânicos ao longo da confecção cervejeira, como inclusão do motor elétrico para facilitar a moagem dos grãos e do controlador PID para medição da temperatura de brassagem, além de incorporar a bomba magnética para recirculação e lavagem contínua, possibilitaram os benefícios significativos já explicitados, além de uma redução significativa de tempo total de processo e menor esforço físico e necessidade de intervenção do operador.

Por outro lado, foram obtidos alguns *insights* em relação a implementação do projeto e dos resultados esperados. A resistência de 3000W, por exemplo, foi menos célere que o fogareiro de alta pressão. Esse fato apontou uma oportunidade de melhoria, como a utilização de um ebulidor portátil para facilitar o atingimento dos patamares de temperatura desejados. Outro ponto que vale destaque é o trocador de calor contracorrente, que poderia ter sido confeccionado com um tubo de bitola menor e de material mais adequado como o cobre. Dessa forma, haveria uma área de contato maior com maior coeficiente de troca térmica, diminuindo a temperatura final do mosto.

Como sugestões futuras, para melhorar a qualidade do processo de brassagem e compor uma automação mais completa, pode-se avaliar a utilização de alguns outros equipamentos. Medidores de nível para as panelas e refratômetro, por exemplo, são

dispositivos que auxiliariam muito no processo de medição dos volumes e densidades, que mesmo no processo 2 foram realizadas de maneira bastante manual e demandante.

## 9 Referências Bibliográficas

- ALVES, Lindemberg Martins Ferreira. **Análise físico-química de cervejas tipo Pilsen comercializadas em Campina Grande na Paraíba**. Universidade Estadual da Paraíba, 2014. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3965/1/PDF%20-%20Lindemberg%20Martins%20Ferreira%20Alves.pdf>>. Acesso em 16 set. 2019.
- AQUARONE, E. et al. **Biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. V.4, Série Biotecnologia Industrial. p.523.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERVEJA ARTESANAL. **Estatísticas e perspectivas do Mercado Cervejeiro**. 2018. 24 slides. Disponível em: <<https://pages.services/pages.abracerva.com.br/documento-mercado-da-cerveja/>>. Acesso em: 22 ago. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CERVEJA. **Anuário 2015**. Disponível em: <[http://www.cervbrasil.org.br/arquivos/ANUARIO\\_CB\\_2015\\_WEB.pdf](http://www.cervbrasil.org.br/arquivos/ANUARIO_CB_2015_WEB.pdf)> Acesso em: 17 ago. 2019.
- BODE, Daniel. **A fevura do mosto**. 2011. Disponível em: <<http://www.hominilupulo.com.br/cervejas-caseiras/a-fevura-do-mosto-por-daniel-bode/>>. Acesso em: 18 ago. 2019.
- CALDEIRÃO, L. et al. **Modeling and kinetic study of bio-ethanol production from soy protein concentrate by-product**. Food Science and Technology (Campinas), v. 36, n. 2, p. 369-374, 2016.
- CERVEJA HENRIK BODEN. **Envase**. Disponível em: <<http://www.cervejahrenrikboden.com.br/envase/>>. Acesso em: 15 set. 2019.
- CERVEJA HENRIK BODEN. **Parada Protéica**. Disponível em: <<http://www.cervejahrenrikboden.com.br/parada-proteica>>. Acesso em: 15 set. 2019.
- DAMODARAN, A. **Cost of Capital by Sector (US)**. NYU Stern School of Business. 2019. Disponível em: <[http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/wacc.htm](http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/datafile/wacc.htm)> Acesso em: 20 de nov. de 2019.
- DIAS, Felipe S. B. **Controle PID**. Ceará: Instituto Federal do Ceará, 2012. 8 p.
- DIAS CARNEIRO, D. **Estudo Computacional da Etapa Fermentativa da Produção de Cerveja e Proposta de uma Estratégia de Controle para o Processo**. [s.l.] UFRRJ, 2010.

- FALCO, Reinaldo de. MATTOS, Edson Ezequiel de. **Bombas industriais**. 2ª edição, editora Interciência, 1998.
- FILIPPO FILHO, G. **Motor de indução**. São Paulo: Érica, 2000. 243 p.
- FINNOCHIO, Marco A. F.. **Eletrotermia**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procopio, LABSIEE. 200-. 4 p.
- FREITAS, Adriana Gomes. **Relevância do mercado cervejeiro brasileiro: avaliação e perspectivas e a busca de uma Agenda de Regulação**. Revista Pensamento e Realidade, v. 30, n.2, 2015. Disponível em: <[revistas.pucsp.br/index.php/pensamentorealidade/article/download/24655/17959](http://revistas.pucsp.br/index.php/pensamentorealidade/article/download/24655/17959)>. Acesso em 10 set. 2019.
- GHIRARDELLO, A. **Apostila sobre modulação PWM**. Colégio Politec, 200-. 6p.
- GONÇALVES, A. et al. **Produção artesanal de cerveja**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
- GONZÁLES, Winder, **Diseño y construcción de bobina de calentamiento por inducción para fundición de titânio**, 2008. Proyecto de Grado, Universidad Simon Bolívar, Sartanejas, 55p.
- INCROPERA F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- LALLEMAND. **Levedura de cerveja**. Disponível em: <[http://www.agraria.com.br/extranet/arquivos/agromalte\\_arquivo/lallemand\\_catalog\\_portuguese.pdf](http://www.agraria.com.br/extranet/arquivos/agromalte_arquivo/lallemand_catalog_portuguese.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2019.
- MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2ª edição, editora LTC, 1997.
- MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **As cervejarias continuam a crescer**. 2018. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/as-cervejas-continuam-a-crescer-pdf/pdf/@@download/file/As%20Cervejas%20Continuam%20a%20Crescer%20\(PDF\).pdf](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/as-cervejas-continuam-a-crescer-pdf/pdf/@@download/file/As%20Cervejas%20Continuam%20a%20Crescer%20(PDF).pdf)>. Acesso em: 17 ago. 2019
- MARA, D. **Continuous Agave Juice Fermentation for Producing Bioethanol**. Biomass Now - Sustainable Growth and Use, 2013.
- MATA, W. **Recuperation assistee des petroles visqueux par ondes electromagnetiques**. 1993. 172f. These (Docteur), Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse.
- NAKABASHI, Bruno Bolorone. **Análise da composição físico-química de cerveja caseira (Homebrew)**. Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em:

- <<http://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2014/MIQ14016.pdf>>.  
Acesso em 05 set. 2019.
- NATIONAL INSTRUMENTS. **Explicando a teoria PID**. Disponível em: <http://www.ni.com/white-paper/3782/pt/>. Acesso em: 08 de nov. de 2019.
  - OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 4. ed. São Paulo: Practice Hall, 2003. 929p.
  - OGLU, F. H. N. **Electromagnetic heating methods for heavy oil reservoirs**. 2007. 67f. Thesis (M.Sc. in Petroleum Engineering and Management), School of Architecture, Engineering & Applied Sciences, Baku.
  - PALMER, Jonh. **How to Brew: Everything you need to know to brew great beer everytime**. Colorado: Brewers Publications, 1999.
  - PALMER, Jonh; KAMINSKI, Colin. **Water: A comprehensive guide for brewers**. Colorado: Brewers Publications, 2013.
  - PAPAZIAN, Charlie. **The complete joy of home brewing**. HarperCollings, 2014.
  - REIS, R.; REIS, B. **Produção artesanal de cerveja**. 2016.
  - SCHMIDT, F.W. et al. **Introdução as ciências térmicas - Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1996.
  - SILVA, Paulo Henrique Alves da; FARIA, Fernanda Carolina de. **Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas , v. 28, n. 4, p. 902-906, Dec. 2008 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20612008000400021&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612008000400021&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 17 Set. 2019.
  - SMITH, Brad. **Brewhouse Efficiency for All Grain Beer Brewing**. 2008. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2008/10/26/brewhouse-efficiency-for-all-grain-beer-brewing/>>. Acesso em 08 out. 2019.
  - TETRALON, **Bombas Magnéticas**. 2019. Disponível em: <<http://www.tetralon.com.br/processos-industriais/bombas-magneticas/>> Acesso em: 08 de nov. de 2019.
  - WEG. **Guia de especificação de Motores Elétricos**. Jaraguá do Sul – SC: Weg, 2019. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>> Acesso em: 20 de out. de 2019.



## Anexo I - Tarifas de água utilizadas



<b>TARIFA VIGENTE A PARTIR DA REF.: 01/2018</b>
<b>TARIFA REFERENCIAL DE ÁGUA (TRA): R\$ 6,8200</b>

<b>CATEGORIA</b>	<b>FAIXA</b>	<b>ÁGUA (R\$/m<sup>3</sup>)</b>
<b>DOMICILIAR</b>	Tarifa Social	3,4300
	De 0 a 10 m <sup>3</sup>	6,8200
	De 10 a 15 m <sup>3</sup>	8,7600
	De 15 a 25 m <sup>3</sup>	13,0700
	De 25 a 35 m <sup>3</sup>	16,3600
	De 35 a 45 m <sup>3</sup>	20,9700
	De 45 a 55 m <sup>3</sup>	25,6700
	De 55 a 65 m <sup>3</sup>	32,6300
	Acima a 65 m <sup>3</sup>	39,6800
<b>COMERCIAL</b>	De 0 a 10 m <sup>3</sup>	17,3800
	De 11 a 20 m <sup>3</sup>	21,6900
	De 20 a 30 m <sup>3</sup>	34,6200
	Acima a 30 m <sup>3</sup>	54,9100
<b>INDUSTRIAL</b>	De 0 a 20 m <sup>3</sup>	35,060000
	De 20 a 30 m <sup>3</sup>	43,720000
	Acima a 30 m <sup>3</sup>	54,910000
<b>PÚBLICO</b>	De 0 a 20 m <sup>3</sup>	9,770000
	De 20 a 30 m <sup>3</sup>	14,570000
	Acima a 30 m <sup>3</sup>	22,740000

## Anexo II - Tarifas de luz utilizadas

### Tarifas Enel

Reajuste Tarifário Reh.2.523/2019



FORNECIMENTO EM BAIXA TENSÃO

VIGÊNCIA 01/07/2019

	Bandeira Ativa		
	R\$/kWh		
RESIDENCIAL BAIXA RENDA - B1	VERDE	AMARELA	VERMELHA P1
0 A 30 kWh	0,21132	0,21657	0,22532
31 a 100 kWh	0,36228	0,37128	0,38628
101 a 220 kWh	0,54342	0,55692	0,57942
ACIMA 220 kWh	0,60380	0,61880	0,64380
<b>B1 - RESIDENCIAL NORMAL</b>	<b>0,66822</b>	<b>0,68322</b>	<b>0,70822</b>
SUB-GRUPO - OUTROS	R\$/kWh		
B2 - R U R A L	0,50784	0,52284	0,54784
B2 - RURAL IRRIGANTE - 60% desc.	0,20314	0,20914	0,21914
B2 - RURAL COOP. ELETRIF. RURAL	0,48112	0,49612	0,52112
B3 - DEMAIS CLASSES (Com, Ind e Poder Público)	0,66822	0,68322	0,70822
B4a - ILUMINACAO PUBLICA	0,36752	0,38252	0,40752
B4b - ILUMINACAO PUBLICA	0,40093	0,41593	0,44093

**Res. Homol. ANEEL 2.523, de 26/03/2019 - vigência 01/04/2019**

Res. Homol. ANEEL 2.519, de 14/03/2019 - vigência 15/03/2019

Res. Homol. ANEEL 2.377, de 14/03/2018 - vigência 15/03/2018

Res. Homol. ANEEL 2207, de 14/03/2017 - vigência 15/03/2017

Res. Homol. ANEEL 2214, de 28/03/2017 - vigência 01/05/2017

## Anexo III - Cálculo detalhado do consumo de gás e energia elétrica

<b>BRASSAGEM 1</b>				
Processo	Equipamento utilizado	Tempo (minutos)	Consumo (kg/h)	GLP (kg)
Aquecimento Rampa 1	Fogareiro	24,3	0,7	0,28
Aquecimento Rampa 2		12,2		0,14
Aquecimento <i>Mash Out</i>		19,7		0,23
Aquecimento Água Lavagem		69,1		0,81
Aquecimento Fervura		58,4		0,68
Fervura		60,0		0,70
<b>BRASSAGEM 2</b>				
Processo	Equipamento utilizado	Tempo (minutos)	Consumo (W)	Energia (kWh)
Moagem	Moedor	3,6	180,0	0,01
Aquecimento Rampa 1	Resistência 3000W	29,3	3000,0	1,46
Aquecimento Rampa 2	Resistência 3000W	14,1	3000,0	0,71
Mostura 1	Bomba 15R	60,0	25,0	0,03
Aquecimento <i>Mash Out</i>	Resistência 3000W	24,0	3000,0	1,20
Aquecimento Água Lavagem	Resistência 4300W	49,8	4300,0	3,57
Aquecimento Fervura	Resistência 4300W a 85%	40,3	3655,0	2,45
Fervura	Resistência 4300W a 85%	60,0	3655,0	3,66
<i>Whirlpool</i>	Furadeira	1,0	650,0	0,01
Resfriamento + trasfega	Bomba 15R	14,5	25,0	0,01