

**DANIEL ALVES CORREA DE AZEVEDO
FILIPE SOARES DA SILVA
RENATO VINICIUS PINTO DORNELES**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO BINÔMIO TEMPO X
TEMPERATURA UTILIZADO NA ETAPA DE BRASSAGEM NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE CERVEJA ARTESANAL**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Campus Rio Pomba, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, como parte das exigências do curso Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos para a obtenção do título de bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**RIO POMBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018**

**DANIEL ALVES CORREA DE AZEVEDO
FILIPE SOARES DA SILVA
RENATO VINICIUS PINTO DORNELES**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO BINÔMIO TEMPO X
TEMPERATURA UTILIZADO NA ETAPA DE BRASSAGEM NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE CERVEJA ARTESANAL**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Campus Rio Pomba, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, como parte das exigências do curso Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos para a obtenção do título de bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^(a) Fabíola Cristina de Oliveira

**RIO POMBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018**

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Jofre Moreira – IFET/RP.
Bibliotecária: Tatiana dos Reis Maciel CRB 6 / 2711.

A994a

Azevedo, Daniel Alves Correa de.

Avaliação da influência do binômio tempo x temperatura utilizado na etapa de brassagem nas características físico-químicas de cerveja artesanal. / Daniel Alves Correa de Azevedo; Filipe Soares da Silva; Renato Vinicius Pinto Dorneles. – Rio Pomba, 2018.

37f. : il.

Orientador: Prof.^a Dsc. Fabíola Cristina de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso de Ciência e Tecnologia em Alimentos.
Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Campus Rio Pomba.

1. Tecnologia de alimentos. 2. Cerveja artesanal. 3. Brassagem - bebida. I. OLIVEIRA, Fabíola Cristina de (Orient.). II. Título.

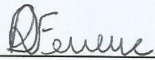
CDD: 663.5

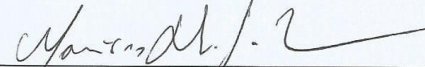
DANIEL ALVES CORREA DE AZEVEDO
FILIPE SOARES DA SILVA
RENATO VINICIUS PINTO DORNELES

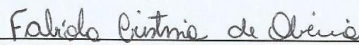
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO BINÔMIO TEMPO X
TEMPERATURA UTILIZADO NA ETAPA DE BRASSAGEM NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE CERVEJA ARTESANAL

Trabalho de Conclusão apresentado ao Campus Rio Pomba, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, como parte das exigências do curso Bacharel em Ciência e Tecnologia de Alimentos para a obtenção do título de Cientista de Alimentos.

APROVADA: 04 de dezembro de 2018


Prof^a. Débora Rezende Ferreira
Coorientadora


Prof. Maurício Henriques Louzada Silva
Coorientador


Prof^a. Fabíola Cristina de Oliveira
Orientadora

Dedicamos este trabalho a todas as
pessoas que sempre nos incentivaram e
nunca desistiram de nós.

AGRADECIMENTOS

A minha amada mãe, Sueli, pelo amor incondicional, por todo apoio e por estar ao meu lado sempre, em todas as situações, e se esforçar para sempre me proporcionar uma boa educação, e estar comigo mesmo que em pensamento. Obrigado!

A minha eterna vó, Maria José, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos (in memoriam).

A minha namorada Giovanna, pelo amor, apoio, companheirismo e pela amizade.

Ao meu irmão David e minha cunhada Bárbara, que sempre estiveram comigo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – Campus Rio Pomba, em especial ao Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, onde adquiri grandes ensinamentos.

À orientadora, professora, Fabíola, pela disponibilidade, auxílio e apoio em todos os projetos realizados em minha graduação. Aos professores, Maurício e Débora, pela colaboração para a realização e conclusão deste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Ciência e Tecnologia de alimentos, em especial aos professores Maurílio e Roselir pelos ensinamentos e oportunidades.

Aos funcionários, em especial Renata e Rosélio, por toda amizade, auxílio e apoio nas pesquisas desenvolvidas por mim.

Aos meus parceiros de conclusão deste trabalho, Filipe e Renato, por toda a força que me deram durante este projeto.

A todos meus familiares.

Aos meus amigos, que de maneira direta ou indireta me auxiliaram nesta jornada, o meu muito obrigado!

Daniel Alves Correa de Azevedo

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer minha família, especialmente, meu pai e minha mãe, que juntos enfrentaram tantas dificuldades para que eu pudesse estudar. Aos meus avós, Divino e Dina, obrigado pelo apoio e torcida.

Agradeço a minha namorada Nayara, que ao longo desses meses me deu não só força, mas apoio para vencer essa etapa da vida acadêmica. Obrigado meu amor, por suportar as crises de estresse e minha ausência em diversos momentos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais – Campus Rio Pomba por todos esses anos de aprendizagem, superações e alegrias.

Agradeço aos professores do Departamento de Ciência e Tecnologia de alimentos que acompanharam a minha jornada acadêmica de perto e deram muito apoio em sala de aula. Obrigado pela incansável dedicação e confiança. Sou grato principalmente à professora Fabíola, que foi a minha orientadora mais atenciosa, e contribuiu muito com a realização dessa pesquisa.

Meu eterno agradecimento a todos os meus amigos, em especial a Dalila, Daniel e Renato, que deram uma contribuição valiosa para a minha jornada acadêmica. Obrigada pelos conselhos, palavras de apoio, puxões de orelha e risadas. Só tenho a agradecer e dizer que esse TCC também é de vocês.

Filipe Soares da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que esteve ao meu lado me protegendo, iluminando e abençoando. Aos meus maiores exemplos de vida, meus avós, em especial minhas avós Elza e Maria Lourdes, aos meus pais por todos os esforços, aos meus tios (as) em especial à tia Rosinha e a tia Luquinha, aos meus primos (as), aos meus primos-irmãos e amigos pelo apoio, dedicação, puxões de orelha, compreensão, carinho e amor durante toda minha vida.

Deus me deu um presente maior do que já pude imaginar um dia, que foi minha namorada, Izabela, o grande Amor da minha vida que sou eternamente grato por estar comigo em todos os momentos me dando sempre força, apoio, dedicação, conselhos, compreensão, carinho, Paixão e Amor. Quero ter você para sempre na minha vida junto em todos os momentos te Amo para sempre.

A todos professores e funcionários, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do sudeste de Minas Gerais – Campus Rio Pomba, por todos os ensinamentos, atenção e tempo disponibilizado para esclarecer sempre a todas as dúvidas e ajudar sempre da melhor forma.

Em especial à orientadora, professora Fabíola, pelo empenho e ajuda desde o início, nas disciplinas, na monitoria e na iniciação científica onde surgiu a ideia para a realização desse trabalho, pela doação do seu tempo, dedicação e ensinamentos.

Aos grandes amigos e parceiros feitos no período de graduação em especial Felipe, Daniel, Bia, Dalila e Carol pelas ajudas nos estudos, dedicação, paciência, e aos incentivos otimistas por sempre persistir e aos bons momentos que passamos juntos.

O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.
Winston Churchill (1874 – 1965)

Trabalho de Conclusão do Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO BINÔMIO TEMPO X TEMPERATURA UTILIZADO NA ETAPA DE BRASSAGEM NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE CERVEJA ARTESANAL

RESUMO

AZEVEDO, Daniel Alves Correa, SILVA, Filipe Soares, DORNELES, Renato Vinicius Pinto

Dezembro, 2018

Orientadora: Fabíola Cristina de Oliveira

A cerveja é uma das bebidas mais consumidas em todo o mundo, sendo produzida a partir da transformação dos açúcares presentes no mosto cervejeiro em álcool e outros subprodutos durante a fermentação. Na etapa de brassagem, preparo do mosto, são utilizados diferentes binômios de tempo e temperatura para promover a hidrólise do amido em açúcares fermentescíveis por diferentes enzimas. Dependendo do binômio tempo e temperatura utilizado nesta etapa o produto final pode apresentar diferentes características. O objetivo deste trabalho foi analisar as características físico-químicas finais de cervejas produzidas utilizando diferentes binômios tempo/temperatura na etapa de brassagem. A cerveja foi elaborada a partir de kit comercial adquirido para a elaboração de 10 litros de cerveja *Ale Blond*, de acordo com recomendações do fabricante. As cervejas foram produzidas utilizando três diferentes tratamentos, sendo denominados tratamentos A (63°C por uma hora e 72°C por 30 minutos), B (68°C por 90 minutos) e C (72°C por uma hora e 63°C por 30 minutos). A etapa de brassagem foi realizada e em um equipamento construído durante a realização deste estudo com o objetivo de se ter um melhor controle da temperatura. Foram realizadas análises físico-químicas de pH, densidade (g/cm³), acidez total (meq/L), teor alcoólico (% v/v), teor de sólidos solúveis (°Brix), cor (parâmetros L, a*, b*) e glicídios redutores em glicose (g/100mL) no mosto e na cerveja final. Os resultados obtidos nas análises demonstraram diferença significativa ($p < 0,05$) entre as cervejas produzidas por meio dos diferentes tratamentos. Para pH, o tratamento B se diferenciou do tratamento C. Para os parâmetros de cor L e a*, o tratamento C apresentou menor luminosidade e tendeu menos para o vermelho. Para glicídios redutores no mosto, todas as amostras se diferenciaram, o que pode ser explicado pela diferença no binômio tempo/ temperatura utilizado na etapa de brassagem. Para glicídios redutores na cerveja o tratamento C se diferenciou dos demais. Os demais parâmetros não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$). Conclui-se que a temperatura de brassagem teve influência no teor de açúcares redutores no mosto e na cerveja, no pH e nos parâmetros de cor L e a*.

Palavras-chave: Cervejas Especiais, Brassagem, Fermentação.

FOOD AND SCIENCE TECHNOLOGY SENIOR RESEARCH PROJECT

**EVALUATION OF TIME AND TEMPERATURE BINOMIALS
INFLUENCE'S IN MASHING PROCESS ON PHISYCAL-CHEMICAL
CHARACTERISCS OF CRAFT BEER**

ABSTRACT

**AZEVEDO, Daniel Alves Correa, SILVA, Filipe Soares, DORNELES, Renato
Vinicius Pinto**

December, 2018

Advisor: Fabíola Cristina de Oliveira

Beer is one of the most consumed beverages around the world, it is obtained from transformation of the sugars present in the brewer's wort into alcohol and other by-products during fermentation. In mashing process, different time and temperature binomials are used to promote hydrolysis of the starch into fermentable sugars by different enzymes. The final product may present different features depending on time and temperature binomials. The aim of this text was to analyse the beers features produced by different time and temperature binomials during mashing process. The beer was made through a comercial kit purchased to make 10 liters of Blond Ale beer, according to manufacturer's recommendation. The beers were produced by using 3 different treatments, named A (63°C per hour and 72°C per 30 minutes), B (68°C per 90 minutes) and C (72°C per hour and 63°C per 30 minutes). The analyses of pH, density (g/cm³), total acidity (meq/L), alcohol content (%v/v), content of soluble solids (°Brix), color (L, a*, b*), reducing glycodes (g/100mL) were made on brewer's wort and final beer. The results showed a significantly difference (p>0,05) between the beers that were produced by different treatments. The treatment A was different from pH of the treatment B. The treatment C showed lower luminosity and tended less towards red. All the samples of brewer's wort reducing glycodes were different because of the differences in time and temperature binomials used during mashing process. Treatment C was different from the others about reducing glycodes in beer. The other analyses didn't show significantly difference (p>0,05). In conclusion, the mashing temperature had influenciend the brewer's wort and beer's content of reducing sugar, in pH and in the parameters of colour L and a*.

Key words: Craft Beers, Mashing, Fermentation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Ação das enzimas α e β amilase.....	20
Figura 2. Painel com controle de temperatura e bomba de recirculação para a mostura.	24
Figura 3. Fluxograma de produção da cerveja	25
Figura 4. Etapa de filtração das formulações de cerveja.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixas típicas de temperatura e pH de enzimas durante a mostura.	20
Tabela 2. Tempo e temperatura utilizado na brassagem dos diferentes tratamentos.	26
Tabela 3. Ingredientes adicionados na etapa de fervura..	27
Tabela 4. Resultados médios das análises físico-químicas dos três tratamentos*.	30
Tabela 5. Resultados médios das análises de glicídios redutores em glicose.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
CervBrasil	Associação Brasileira da Indústria da Cerveja
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
EBC	European Brewery Convention
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PIB	Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	ix
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1. Definição e classificação.....	13
3.2 Mercado.....	15
3.3. Matérias-primas cervejeiras.....	16
3.3.1. Água.....	16
3.3.2. Malte	16
3.3.3. Lúpulo	17
3.3.4. Levedura	18
3.3.5. Adjuntos cervejeiros	18
3.4. Processamento.....	19
3.4.1. Moagem	19
3.4.2. Mosturação ou Brassagem	19
3.4.3. Filtração do Mosto.....	21
3.4.4. Fervura.....	21
3.4.5. Decantação e resfriamento	22
3.4.6. Fermentação	22
3.4.7. Maturação	23
3.4.8. Carbonatação.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1. Equipamento e Processamento.....	24
4.2. Análises físico-químicas	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1 Análises físico-químicas	29
6. CONCLUSÃO.....	33
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

Cerveja é definida como a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo. Parte do malte de cevada poderá ser substituído por adjuntos cervejeiros. São considerados adjuntos cervejeiros a cevada cervejeira e os demais cereais aptos para o consumo humano, malteados ou não-malteados, bem como os amidos e açúcares de origem vegetal (BRASIL, 2009).

O mercado de cerveja tem impacto expressivo na economia brasileira. Estima-se que a produção anual de cerveja no Brasil seja cerca de 14 bilhões de litros, sendo o terceiro país com maior produção de cerveja no mundo, ficando atrás da China e dos Estados Unidos da América (EUA). O setor cervejeiro tem grande importância na economia do país, movimentando 77 bilhões de reais durante o ano de 2016, relacionando-se à 1,6% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (CERVBRASIL,2016)

O mercado cervejeiro se divide em cervejas industriais e cervejas artesanais. As cervejas industriais vinculam-se ao processo produtivo industrializado, visando maior quantidade de litros na produção e menores preços, correspondendo majoritariamente ao montante de consumo nacional. De forma mais tímida no mercado, apresentam-se as cervejas artesanais, que de acordo com a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CERVBRASIL), representam 1% do mercado de cerveja no país (CERVBRASIL, 2016). Ao se produzir cerveja artesanal tem-se uma maior liberdade para criar receitas personalizadas e experimentar variações no processo produtivo, mantendo a qualidade do produto (VENTURINI FILHO, 2016).

Segundo dados divulgados pelo Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, houve um crescimento de 37,7% no número de cervejarias artesanais registradas no Brasil em 2017 (BRASIL, 2018).

Existem cerca de 20 mil formulações diferentes de cervejas em todo o mundo, esta diversidade se deve a vários fatores, tais como a mudança no processo produtivo ou adição de ingredientes diferentes como outras fontes de açúcar como o milho, arroz, mel, mandioca e trigo, ou até a adição de frutas para conferir características sensoriais diferentes à bebida modificando seu sabor original.

O processo tradicional de produção de cerveja pode ser dividido em oito operações essenciais: moagem do malte; mosturação ou tratamento enzimático do

mosto; filtração do mosto; fervura do mosto; tratamento do mosto (remoção do precipitado, resfriamento e aeração); fermentação; maturação e clarificação (ALMEIDA e SILVA, 2005).

Todo o processo de produção de cerveja começa com a adição de água ao malte e adjuntos já moídos. Com a adição de água quente na etapa de mostura, enzimas presentes nos grãos de malte são ativadas. Estas enzimas são responsáveis pela conversão de amido em açúcares mais simples, como glicose, maltose e dextrinas, e a atividade de cada enzima depende da temperatura. Desta forma, com o objetivo de favorecer diferentes grupos enzimáticos, é utilizado o esquema de rampas de aquecimento, visando estabelecer um protocolo de patamares de temperatura com durações controladas. Diferentes rampas fornecem diferentes quantidades de açúcares fermentescíveis que, por sua vez, interferem na fermentabilidade do mosto: quanto mais açúcares fermentáveis o mosto apresentar, mais alcoólica e “seca” será a cerveja produzida, rampas com uma atividade maior de beta amilase, resultarão em uma cerveja mais alcoólica, já as rampas com atividade maior de alfa amilase, resultarão em uma cerveja mais encorpada e com maior dulçor (PALMER, 2006).

A etapa de brasagem é realizada principalmente de forma manual nas pequenas cervejarias. Esta etapa está entre os mais importantes na fabricação de cerveja e a temperatura utilizada está relacionada diretamente com a qualidade final da cerveja. Com isso torna-se necessário o desenvolvimento de um método para manter a temperatura durante esta etapa, garantindo um maior controle deste parâmetro durante a brassagem e padronizando as características finais do produto.

Acredita-se que nos dias atuais, grande parte dos cervejeiros caseiros e pequenas indústrias utilizem do método com termômetros manuais para realizar o procedimento de brassagem, com isso a criação de um protótipo automatizado de fácil aquisição para controle das rampas de temperatura, pode ter um impacto positivo principalmente para os pequenos produtores, já que irá facilitar o controle do processo e proporcionar uma maior padronização do produto. Neste contexto o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do binômio tempo x temperatura empregado na etapa de brassagem nas características físico-químicas de cerveja artesanal utilizando uma panela elétrica com controle automático de temperatura.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Avaliar a influência do binômio tempo x temperatura empregado na etapa de brassagem nas características físico-químicas de cerveja artesanal utilizando uma panela elétrica com controle automático de temperatura.

2.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver uma panela elétrica com controle automático de temperatura e recirculação contínua para garantir uma exatidão da temperatura durante o processo.
- Utilizar diferentes rampas de temperatura na etapa de brassagem para elaboração de cerveja.
- Avaliar o teor de açúcar redutor no mosto após a etapa de brassagem submetida a diferentes rampas de temperatura.
- Avaliar as características físico-químicas das cervejas produzidas com diferentes rampas de temperatura por meio da graduação alcoólica, sólidos solúveis totais, pH, acidez total, parâmetros de cor e açúcar redutor.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Definição e classificação

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) está inserido no setor produtivo como principal regulador, sendo responsável pela definição dos parâmetros de qualidade da cerveja, conceder o registro a produtores, padronizadores, envasadores, importadores, exportadores e atacadistas, conceder o registro de todas as cervejas produzidas e controlar a qualidade das cervejas importadas e das produzidas em solo nacional (MÜLLER, 2014).

O Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, classificação, registro, inspeção, produção e fiscalização de bebidas, define cerveja como sendo a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo. Parte do malte de cevada

poderá ser substituído por adjuntos cervejeiros, cujo emprego é limitado a uma quantidade máxima de 45% em relação ao extrato primitivo, que é o extrato do mosto de malte de origem da cerveja. Consideram-se adjuntos cervejeiros a cevada cervejeira e os demais cereais aptos para o consumo humano, malteados ou não-malteados, bem como os amidos e açúcares de origem vegetal (BRASIL, 2009).

As cervejas são basicamente classificadas em dois grupos, de acordo com o tipo de fermentação, empregado em sua produção. As cervejas conhecidas como *ale* que são produzidas com alta fermentação, e as cervejas tipo *lager* de baixa fermentação.

As cervejas classificadas como *Ale* são produzidas com leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae* sendo sua fermentação em temperaturas, dependendo do tipo de cerveja, em torno de 20°C. São consideradas cervejas de alta fermentação pelo fato de o fermento tender a ficar suspenso no tanque durante o processo, resultando em aromas e sabores complexos, com notas frutadas e de especiarias. O fato de serem consideradas cervejas de alta fermentação não significa que tenham necessariamente teor alcoólico mais alto que as *Lager*. Também não são necessariamente escuras. Existem *Ale* de baixo e alto teor alcoólico, assim como claras e escuras (EISENBAHN, 2010)

As *Lager*, como dito anteriormente, são cervejas de baixa fermentação, cujo processo é feito em temperaturas menores que as do tipo *Ale*, em torno de 10°C. São produzidas com leveduras da espécie *Saccharomyces uvarum*, sendo pouco frutadas, com aromas e sabores de cereais (cevada e/ou trigo), pão e lúpulo (EISENBAHN, 2010).

Quanto ao teor alcoólico as cervejas podem ser classificadas como cerveja sem álcool, sendo que estas cervejas devem apresentar uma porcentagem em volume total de álcool menor ou igual que 0,5%. Para ser considerada com álcool, a cerveja deve apresentar porcentagem volumétrica de álcool superior a 0,5% na cerveja (BRASIL, 2009).

Em relação à cor das cervejas, pode-se afirmar que as cervejas claras, por convenção europeia, devem apresentar valores menores de 20 unidades EBC (European Brewery Convention) unidade de medição de turvação em cervejas, já às escuras, pela mesma convenção, as cervejas escuras devem apresentar valores iguais ou superiores a 20 unidades EBC (SINDICERV, 2015).

As cervejas também podem ser classificadas quanto à proporção de malte no extrato primitivo. As cervejas puro malte são aquelas que possuem 100% de malte de cevada, em peso, na base do extrato primitivo, como fonte de açúcares. A cerveja tradicional é aquela que possui proporção de malte de cevada maior ou igual a 50%, em peso, na base do extrato primitivo, como fonte de açúcares. E as “cerveja de” seguida do nome do vegetal predominante, aquela que possuir proporção de malte de cevada maior 20% e menor que 50%, em peso, na base do extrato primitivo, como fonte de açúcares (BRASIL,2009).

A classificação quanto ao extrato primitivo pode ser definida como, leve, a cerveja cujo extrato primitivo é maior ou igual a cinco por cento em peso e menor que dez e meio por cento em peso. Pode ser classificada também como cerveja comum, definida como sendo a cerveja cujo extrato primitivo é maior ou igual a dez e meio por cento em peso e menor que doze por cento em peso. Já a cerveja extra, definida como sendo a cerveja cujo extrato primitivo é maior ou igual a doze por cento em peso e menor ou igual a quatorze por cento em peso ou cerveja forte, definida como sendo a cerveja cujo extrato primitivo é maior que quatorze por cento em peso (BRASIL,2009).

3.2 Mercado

O setor cervejeiro é um dos mais relevantes da economia brasileira, com mais de 2,2 milhões de pessoas empregadas ao longo da cadeia, é um dos maiores empregadores do Brasil. Como possui um importante efeito multiplicador na economia, sua atuação movimenta uma extensa cadeia produtiva que é responsável por 1,6% do PIB e 14% da indústria de transformação nacional (CERVBRASIL, 2016).

As cervejas especiais, também conhecidas como artesanais, *premium*, *superpremium*, *gourmet*, são cervejas dotadas de tributos de diferenciação se comparadas às cervejas produzidas em larga escala. Essas cervejas são caracterizadas, de modo geral, pelo uso de matéria-prima nobre e processos de produção refinados (STEFENON, 2012).

Segundo dados divulgados pelo Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, houve um crescimento de 37,7% no número de cervejarias artesanais registradas no Brasil em 2017. O ano de 2016 terminou com 493, já 2017

encerrou com 679. Outra informação interessante é que 8,9 mil produtos foram registrados por estes negócios em 2017, totalizando uma média de 13 para cada marca (BRASIL,2018).

3.3. Matérias-primas cervejeiras

Para a fabricação de cervejas existem quatro matérias-primas essenciais, sendo elas: água, malte, levedura e lúpulo. Podem ser adicionados adjuntos cervejeiros ou outros componentes para dar alguma característica específica a cerveja (LEWIS; YOUNG, 2002).

3.3.1. Água

A água para a produção de cerveja deve ser de alta qualidade, sendo que a quantidade gasta da mesma em uma indústria cervejeira pode ser de 4 a 10 vezes em relação ao volume de cerveja produzida. Pode-se afirmar que a água é um componente essencial na fabricação da cerveja, já que é a base do produto, podendo ultrapassar 92% do total do produto (LIMA; FILHO, 2011).

O controle dos parâmetros físico-químicos da água é essencial, um destes parâmetros é o pH. A água com pH acima de 6,0 tem mais chances de causar extração indesejada de taninos do bagaço, o que pode resultar em um sabor adstringente e um aumento de turbidez posteriormente. O pH ideal para ser utilizado na produção de cerveja deve estar compreendido em torno de 5,1 a 5,7 (LARA, 2018).

3.3.2. Malte

O termo técnico malte define a matéria-prima resultante da germinação de qualquer cereal sob condições controladas. Quando não há denominação, subentende-se que é feito de cevada; em qualquer outro caso, acrescenta-se o nome do cereal. Para obtenção do malte o cereal é submetido ao processo de malteação (SCHMITT, 2010; VENTURINI FILHO, 2010; MORADO, 2009). Qualquer tipo de cereal pode ser utilizado para malteação. Apenas a cevada maltada recebe o nome de malte propriamente dito. Para outros cereais deverá conter “malte de”, como malte de milho, malte de trigo, malte de sorgo, entre outros. (BRASIL,2009).

Existem algumas características específicas da cevada que a torna o cereal preferível e mais utilizado no processo de malteação em relação aos outros cereais, além de ser economicamente mais viável. Entre estas características pode-se destacar elevado teor de amido e de enzimas após a malteação (principalmente amilase), constitui-se de outras proteínas que proporcionam à cerveja um equilíbrio nos efeitos em relação à espuma, ao corpo e a sua estabilidade coloidal (essencial à manutenção das características do produto), contém também um baixo teor de lipídeos (facilita na manutenção da estabilidade da bebida). Outra característica primordial da cevada é a malteação simples (MORADO, 2009).

O processo de malteação está diretamente ligado à qualidade da cerveja, afetando as características sensoriais desta. O processo de germinação controlada da cevada envolve a umidificação, a germinação em si e a secagem, e cujos propósitos são: amolecer os grãos para facilitar a moagem; desenvolver as enzimas responsáveis pela quebra do amido durante a brassagem; e introduzir cor e aromas desejáveis à cerveja. Pode se dizer que a principal função do malte é fornecer açúcar para a fermentação da cerveja (LIMA; FILHO, 2011).

Existem também os maltes especiais, estes são maltes com coloração e sabor acentuados, produzidos através do aquecimento de malte base em temperaturas mais altas, causando a reação de Maillard, proporcionando uma coloração e um sabor diferenciado para a cerveja (ACKLEY, 2018).

3.3.3. Lúpulo

O Lúpulo (*Humulus lupulus*) é uma planta de difícil cultivo, típica de regiões frias e dioica, ou seja, possui flores femininas e masculinas na mesma planta. Apenas as flores femininas são utilizadas na cerveja, pois nelas são encontradas as glândulas que produzem a lupulina, composta, em sua maior parte, por resinas e óleos essenciais, responsáveis pelo amargor típico e contribuem para o aroma característico da cerveja. Estes óleos essenciais são altamente voláteis, sendo que cerca de 96% dos mesmos são perdidos ao decorrer do processo de fabricação da cerveja (VENTURINI FILHO, 2010).

O lúpulo pode ser comercializado na forma de flores secas, em péletes e como extrato, sendo os dois últimos mais concentrados e facilmente armazenados e manipulados (VENTURINI FILHO, 2000).

O lúpulo é o terceiro constituinte da formulação da cerveja, além da água e do malte. Seu uso é reduzido, sendo necessários entre 40 a 300 gramas para o preparo de 100L de cerveja. Algumas variedades de lúpulo são utilizadas com o intuito de conferir aroma, e outras variedades são responsáveis por realçar o amargor, podendo ainda ser empregado com as duas finalidades. Cabe ao cervejeiro saber dosar e combinar esse ingrediente na formulação de seu produto (MORADO, 2009).

O lúpulo é considerado o “tempero” da cerveja. Os compostos amargos do lúpulo são os α -ácidos e os β -ácidos, componentes importantes, por proporcionarem o sabor amargo da cerveja, além de beneficiarem a estabilidade da espuma e aumentarem a estabilidade biológica da cerveja, pois evitam o desenvolvimento de alguns microrganismos (REINOLD, 1997).

3.3.4. Levedura

As leveduras possuem a habilidade de metabolizar eficientemente os constituintes do mosto que é um caldo resultante da mistura de malte e água aquecida, rico em açúcares fermentescíveis. Na etapa de fermentação as leveduras transformam os açúcares fermentescíveis em álcool e gás carbônico a fim de produzir uma cerveja com qualidade e estabilidade sensorial satisfatória (CARVALHO et al., 2006).

As leveduras mais utilizadas em cervejaria são de duas espécies do gênero *Saccharomyces*: *Saccharomyces uvarum*, utilizada na fabricação de cerveja do tipo *lager* (baixa fermentação), atua de maneira mais lenta provocando uma fermentação menos densa, porém, mais eficiente, o que leva a formação de uma cerveja mais limpa e de sabor seco. Já *Saccharomyces cerevisiae*, usada na fabricação de cerveja do tipo *ale* (alta fermentação), atua na superfície da mistura, possui ação rápida, porém não chega a consumir todo o açúcar contido no malte, por esse motivo a bebida tem um sabor frutado, complexo e doce (EVANGELISTA, 2012).

3.3.5. Adjuntos cervejeiros

Os adjuntos podem ser definidos como carboidratos não maltados de composição apropriada e propriedades que, beneficemente, complementam ou suplementam o malte na produção do mosto cervejeiro. Como forma de tornar o

processo de produção de cerveja economicamente mais vantajoso, pode-se adicionar ao malte carboidratos vegetais e cereais. Tais carboidratos possuem a função de aumentar o teor de hidratos de carbono no mosto. São considerados adjuntos cereais, como arroz, milho, produtos de cevada e trigo (SILVA, 2005).

3.4. Processamento

3.4.1. Moagem

A moagem tem por objetivo quebrar o grão do cereal e expor o seu amido interno, aumentando a superfície de contato com as enzimas do malte, favorecendo a hidrólise. Essa etapa tem relação direta com a rapidez das transformações físico-químicas, rendimento, clarificação e qualidade final da cerveja. Pode ser executada em equipamentos que permitam a exposição do conteúdo interno do cereal, do tipo moinhos de rolos, discos ou martelos (VENTURINI FILHO, 2000).

É importante que a redução do grão do malte seja de forma uniforme para obter o rompimento da casca; a desintegração total do endosperma, promovendo uma melhor atuação enzimática. Deve-se ter uma produção mínima de farinha com granulometria muito fina, evitando a formação de substâncias que produzam uma quantidade excessiva de pasta dentro da solução (VENTURINI FILHO, 2010).

Para o malte ser considerado como bem moído, o mesmo deve possuir as seguintes características: ausência de grãos inteiros e partículas de endosperma aderidas à casca, maioria das cascas rompidas longitudinalmente, endosperma reduzido a partículas pequenas e de tamanho uniforme e quantidade mínima de farinha fina (BOTELHO, 2009).

3.4.2. Mosturação ou Brassagem

O processo de moagem do grão é seguindo pelo processo de mostura que também é conhecido por brassagem. Esta etapa de brassagem consiste em inserir o malte moído em meio aquoso, para a ativação das enzimas que irão converter o amido em açúcares fermentescíveis e não fermentescíveis. Nesta etapa utiliza-se de seis a oito litros de água para cada kg de malte (PALMER, 2006).

A brassagem é realizada com aumentos de temperatura, sucedidos por intervalos de estabilização, fazendo com que cada enzima possa atuar na sua faixa de temperatura ótima (BRIGGS et al., 2004).

As enzimas presentes nas matérias-primas são os agentes mais importantes nas reações de hidrólise. As diástases, ou enzimas amilolíticas são aquelas usadas no processo de hidrólise do amido gerando glicose, maltose, maltotriose e dextrinas (Figura 1), das quais a alfa e a beta-amilase são as mais importantes. A alfa-amilase pode atacar as cadeias dos componentes do amido em qualquer ponto no interior da cadeia linear, ou seja, a alfa amilase é uma endoenzima que hidrolisa ligações glicosídicas $\alpha(1-4)$. Já a enzima β -amilase é uma exoenzima e hidrolisa ligações $\alpha(1-4)$ a partir da extremidade não-redutora, produzindo então a maltose. Sua ação repetida na amilose leva a parcial destruição do polímero. Sobretudo, esta enzima é bloqueada por ramificações ou outras irregularidades na cadeia. Dessa forma, a amilopectina é parcialmente degradada pela β -amilase (SANTOS, 2005).

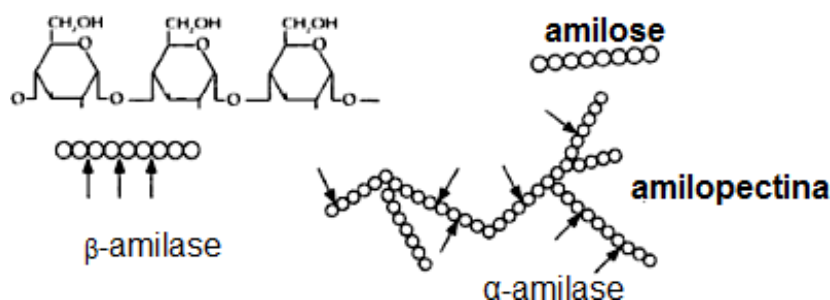


Figura 1. Ação das enzimas α e β amilase.

Adaptado de (Gava; Da Silva; Frias 2009).

Na Tabela 1 estão apresentadas as faixas de temperatura e pH ótimos de atuação das amilases.

Tabela 1. Faixas típicas de temperatura e pH de enzimas durante a mostura.

Enzima	Atuação	pH	Temperatura °C
Dextrinase	Maltotriose pela desagregação das combinações 1-6	5,1	55 a 60
β - amilase	Decomposição do amido para maltose pela desagregação das combinações 1-4	5,4 e 5,6	60 a 65
α - amilase	Decomposição do amido para dextrinas inferiores pela desagregação das combinações 1-4	5,6 e 5,8	70 a 75

Adaptado de (TSCHOPE 2001).

3.4.3. Filtração do Mosto

A filtração consiste em separar o mosto, solução contendo os açúcares resultantes da mosturação, do bagaço de malte ou torta, que atua como meio filtrante. Esta filtração ocorre pela passagem do mosto sobre a torta de malte que fica retida em um fundo falso, deve haver recirculação deste mosto para garantir uma melhor clarificação. A filtração é extremamente importante para a qualidade da cerveja, visto que os sólidos contêm grande quantidade de proteínas e enzimas coaguladas, resquícios de amido não modificado, material graxo, silicatos e polifenóis. Essas substâncias podem prejudicar as características sensoriais da cerveja como sabor, odor, viscosidade, e cor da cerveja (REITENBACH, 2010).

Após a separação do mosto, a camada filtrante é lavada com certa quantidade de água a 75°C. A temperatura da mistura durante a filtração deve ser em torno de 75°C, pois, nesta temperatura a viscosidade do mosto diminui, diluindo os açúcares ainda retidos no bagaço facilitando sua solubilização diminuindo as perdas; as enzimas estão inativas; o desenvolvimento bacteriano está bloqueado; e não existe risco de extrair substâncias insolúveis das matérias-primas, principalmente taninos da casca do malte (VENTURINI FILHO, 2000).

3.4.4. Fervura

Na etapa de fervura do mosto ocorre desnaturação proteica, a concentração do mosto, a eliminação de compostos sulfurosos, a esterilização e escurecimento do mosto, por meio da reação de Maillard. Na fervura, ocorre a adição do lúpulo, normalmente feita em duas etapas: no início da fervura, para conferir o amargor e mais ao final da fervura, responsável por conferir o aroma característico de cerveja, aromas florais, herbais e mesmo condimentados do lúpulo. Durante a fervura há transformação de alfa-ácidos presente no lúpulo em iso-alfa-ácidos que são responsáveis pelas características de amargor da cerveja (MORADO, 2009). O processo normalmente tem duração de 60 minutos de fervura efetiva e mais 30 minutos para o aquecimento do líquido (PAPAZIAN, 2014).

A fervura elimina algumas impurezas, como algumas proteínas, que são floculadas e denominadas de *trub*, que, poderiam prejudicar a aparência e o sabor da cerveja, por isso as mesmas devem ser retiradas no momento da fervura quando

ocorrer a formação de espuma. Longas fervuras podem causar a volatilização de boa parte dos óleos essenciais do lúpulo, responsáveis pelos sabores e aromas característicos (PALMER, 2006).’

3.4.5. Decantação e resfriamento

Ao final da fervura, o mosto deve ser agitado vigorosamente no sentido anti-horário, fazendo o movimento circular, sendo este processo denominado como *whirlpool*. Após a realização deste procedimento deve-se deixar o mosto em repouso por 20 minutos para formação do *trub*, este é definido como uma massa mucilaginosa resultante do repouso do mosto após a fervura, sendo rico em proteínas desnaturadas, polifenóis, taninos e lúpulo, isomerizado nesse processo (VENTURINI FILHO, 2010).

O mosto quente deve ser resfriado, após a clarificação, até a temperatura em que será inoculado com a levedura, geralmente entre 15 e 22°C, para cervejas tipo *ale*. O processo deve ser realizado rapidamente e sob condições assépticas para interromper as reações químicas, assim como minimizar as possibilidades de crescimento de qualquer micro-organismo contaminante (BRIGGS et al., 2004).

3.4.6. Fermentação

As características de sabor e aroma de qualquer cerveja estão determinadas de forma preponderante pelo tipo de levedura utilizada. Embora o etanol seja o principal produto de excreção produzido pela levedura durante a fermentação do mosto, esse álcool primário tem pequeno impacto no sabor da cerveja. O tipo e a concentração de vários produtos de excreção formados durante a fermentação são quem primariamente determinam o sabor da cerveja. A formação desses compostos depende do processo metabólico do cultivo da levedura. Vários fatores podem afetar esse processo metabólico e, conseqüentemente, o sabor da cerveja, incluindo a linhagem de levedura, a temperatura e o pH da fermentação, o tipo e a proporção de adjunto, o modelo de fermentador e a concentração do mosto (MORADO, 2009).

Durante a fermentação ocorrem diversas alterações fisiológicas nas leveduras, iniciando com o desenvolvimento das células e o aumento de sua população, esta é denominada fase aeróbia. Após o esgotamento de oxigênio o meio se torna anaeróbico, as leveduras transportam açúcar para o interior de suas

células a fim de formar piruvato, o qual é metabolizado em etanol e gás carbonico, sendo então excretados para ambiente externo. O fim da fermentação, portanto, é caracterizado geralmente pelo consumo de todo o açúcar fermentescível (EATON, 2006).

As fermentações *Ale* (de alta fermentação) duram de 5-10 dias a temperaturas de 16 a 21 °C. As fermentações *Lager* (de baixa fermentação) geralmente são mais longas, com uma fermentação inicial de 10-13 °C, seguida de um período de maturação a 1 °C. Uma vez que a fermentação produz muito calor, os tanques precisam ser constantemente resfriados para manter a temperatura adequada (BREJAS, 2015).

3.4.7. Maturação

A maturação tem por objetivo iniciar a clarificação da cerveja mediante a remoção, por sedimentação, das células de levedura, de material amorfo e de componentes que causam turbidez a frio na bebida. Também tem a função de saturar a cerveja com gás carbônico, por meio da fermentação secundária, melhorar o odor e sabor da bebida e manter a cerveja no estado reduzido, evitando que ocorram oxidações que comprometam sensorialmente a bebida. A melhoria do odor e sabor se dá devido à redução da concentração de diacetil, acetaldeído e ácido sulfídrico, bem como o aumento do teor de éster (ALMEIDA e SILVA, 2005).

A maturação deve ser realizada logo após a fermentação e consiste no abaixamento da temperatura para próximo de 0°C, podendo ser realizada no próprio recipiente onde ocorreu a fermentação ou transferida para outro similar (DINSLAKEN, 2016).

3.4.8. Carbonatação

A gaseificação pode ser feita por duas técnicas, uma consiste na injeção forçada de CO₂, esta é mais complexa e necessita de *kegs* ou de barris para que haja a injeção do gás, ou por *priming*. A técnica chamada *priming*, muito empregada para produção de cervejas artesanais, utiliza a adição de açúcares fermentescíveis à cerveja no momento do envase, com objetivo de realizar a produção de CO₂ pelas leveduras através de uma nova fermentação na garrafa, de modo a gaseificar a

cerveja final e, por isso, essa adição deve ser limitada a cerca de 8 gramas por litro de cerveja (PALMER, 2006).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Desenvolvimento do equipamento de controle de temperatura

Este trabalho foi desenvolvido no Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, *Campus* Rio Pomba.

Inicialmente foi montado um protótipo para o processo de brassagem com o objetivo de controlar a temperatura do processo de forma mais eficiente (Figura 2).



Figura 2. Panela com controle de temperatura e bomba de recirculação para a mostura.

Este protótipo foi desenvolvido a partir de uma panela comum de 10 litros, que foi montada utilizando uma resistência de 1000w acoplada com um termostato para aquecer o mosto, onde o mesmo desliga a resistência após atingir a temperatura ideal, reativando-o com o abaixamento da temperatura em 0,5°C. A esta panela foi conectada uma bomba, conforme apresentado na Figura 2, com o objetivo de promover uma recirculação da água do fundo através de uma mangueira atóxica até um aspersor localizado na parte superior da panela, este processo é necessário para

evitar um superaquecimento na parte inferior e para manter a temperatura homogênea no interior da panela.

4.2. Processamento da cerveja

A cerveja foi elaborada a partir de um kit comercial para produção de 10 litros de cerveja *Ale Blond*, que apresenta cor amarela, sabor refrescante, de aroma suave provenientes da composição de lúpulos e de produtos secundários produzidos a partir dos processos fermentativos. É produzida em processo de alta fermentação e com baixo amargor, conforme fluxograma apresentado na Figura 3.

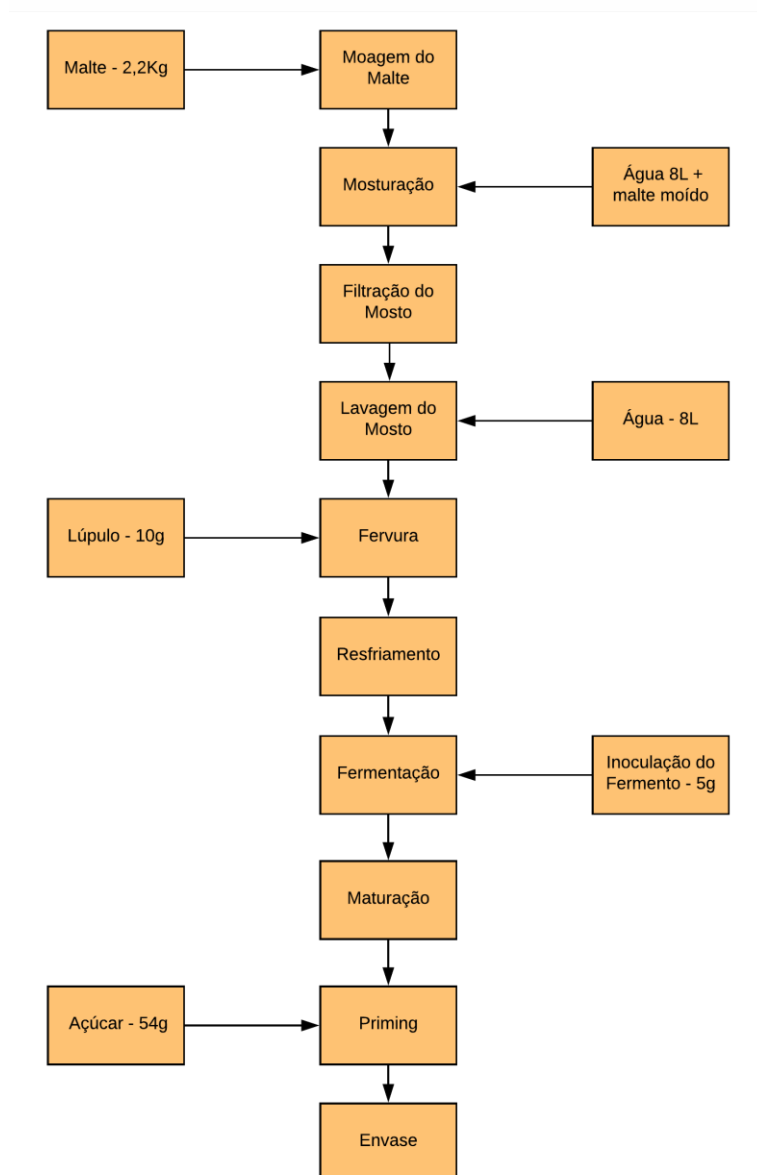


Figura 3. Fluxograma de produção da cerveja.

As cervejas foram elaboradas a partir de três tratamentos diferentes (Tabela 2) utilizando três rampas distintas de temperaturas na etapa de brassagem com o objetivo de observar possíveis diferenças causadas pela mudança do binômio tempo x temperatura nas características das cervejas produzidas. Cada tratamento foi realizado em duas repetições.

Tabela 2. Tempo e temperatura utilizado na brassagem dos diferentes tratamentos.

Tratamento	Tempo	Temperatura
Tratamento A	63°C	60 minutos
	72°C	30 minutos
Tratamento B	68°C	90 minutos
Tratamento C	72°C	60 minutos
	63°C	30 minutos

A escolha das temperaturas utilizadas em cada tratamento foi realizada com base na temperatura ótima de atuação das enzimas. No tratamento A o maior tempo à temperatura de 63°C é para favorecer a ação das β -amilases, no tratamento C o maior o maior tempo à 72°C é para favorecer a ação das α -amilases e o tratamento B empregou-se uma temperatura entre a temperatura ótima das duas enzimas.

Primeiramente os utensílios a serem utilizados foram higienizados e sanitizados. Posteriormente iniciou-se o processo com a adição do malte previamente moído (2kg de malte pilsen e 200 gramas de malte *caragold*) em oito litros de água mineral a 65°C. Em seguida foram aplicadas as rampas de temperatura, conforme Tabela 2, com o objetivo de promover a geleificação e a hidrólise do amido em açúcares fermentescíveis.

O teste de iodo foi realizado ao final da brassagem para verificar a hidrólise completa do amido e após resultado negativo, o mosto foi submetido a uma temperatura de 78°C por 10 minutos, para a inativação das enzimas.

Em seguida, foi realizada a filtração, com o objetivo de separar o mosto líquido do bagaço de malte (Figura 4). A filtração foi realizada utilizando uma panela de alumínio contendo filtro tipo fundo falso permitindo apenas a passagem da parte líquida, que foi recirculada por meio da bomba inserida na torneira da panela, a qual levava o mosto até o aspersor localizado na parte superior da panela. O bagaço do malte forma um meio filtrante para o mosto, que foi recirculado por 20 minutos até

obtenção de um mosto clarificado. Após essa recirculação, foram utilizados oito litros de água a 80°C com o objetivo de auxiliar na extração de parte dos açúcares embebidos nas cascas bagaço do malte. Nesta etapa a água foi adicionada lentamente sobre os grãos para evitar a formação de caminhos preferenciais, gerando assim uma lavagem ineficiente e não extraindo os açúcares de forma eficiente.



Figura 4. Etapa de filtração das formulações de cerveja.

Após a filtração, o mosto clarificado foi submetido à etapa de fervura por 60 minutos com adição de lúpulo. A adição do lúpulo foi realizada em 2 estágios, segundo recomendação do fabricante do kit. Os ingredientes adicionados na etapa de fervura e o tempo de adição estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Ingredientes adicionados na etapa de fervura.

Ingrediente	Peso	Momento de adição
Lúpulo Hallertau Magnum	5 gramas	10 minutos após início da fervura
Lúpulo Saaz	5 gramas	50 minutos após início da fervura

Faltando 10 minutos para o término da fervura foi inserido o *chiller* de imersão de cobre para que o mesmo fosse esterilizado e não contaminasse o mosto. Ao final da fervura retirou-se a panela do fogo e conectou o *chiller* a uma mangueira com circulação de água fria no interior para resfriamento do mosto até a temperatura de 20°C. Em seguida retirou-se o *chiller* e realizou-se o *whirlpool*, agitando o mosto uniformemente em movimento de espiral, com a finalidade de facilitar na decantação do *trub* frio, que consiste em um material mucilaginoso precipitado durante a fervura formado de resinas de lúpulo, proteínas coaguladas e polifenóis. Posteriormente a densidade do mosto foi corrigida adicionando água mineral a uma temperatura de

90°C, a quantidade de água adicionada foi suficiente para atingir a densidade ideal de 1,045g/cm³, totalizando aproximadamente 10 litros de mosto.

O mosto clarificado foi transferido para o balde fermentador sendo adicionado o fermento previamente ativado.

O balde fermentador foi acondicionado em uma estufa do tipo BOD (CE-300/120) com temperatura controlada. A fermentação ocorreu em temperatura de 20°C por aproximadamente 7 dias. Atingida a densidade, abaixou-se a temperatura da BOD para aproximadamente 3°C, por 10 dias, com a finalidade de promover a decantação das leveduras, favorecendo a clarificação da cerveja.

Antes do envase foi realizado o *priming*, com adição de 8g de açúcar por litro de cerveja produzida com o objetivo de fornecer substrato para leveduras presentes promoverem a carbonatação da cerveja.

A cerveja foi envasada em garrafas de cor âmbar com capacidade de 600mL previamente higienizadas e esterilizadas. As garrafas foram mantidas sob refrigeração a temperatura de aproximadamente 20°C por 7 dias para ocorrer a maturação e gaseificação.

4.2. Análises físico-químicas

Foram realizadas, nas cervejas obtidas a partir dos diferentes tratamentos, análises para determinação de pH, densidade (g/cm³), acidez total titulável expressa em meq/L e teor de sólidos solúveis (°Brix) de acordo com metodologia descrita por Zenebon; Pascuet; Tiglea (2008). A determinação do teor alcoólico, expresso em porcentagem por volume, foi realizada a partir da medida de densidade, utilizando-se densímetro, sendo o cálculo realizado pela diferença da densidade (ρ) final da cerveja e inicial do mosto, medida antes de iniciar a fermentação (BICHARA, 2014).

A quantidade de glicídios redutores em glicose (g/100 mL) foi determinada pelo método de *Lane-Eynon* que consiste na redução do Cu⁺⁺ existente na solução A de Fehling para Cu⁺ em meio alcalino com a consequente oxidação dos açúcares redutores. É chamado de Açúcares Redutores, ou simplesmente AR, todos os açúcares capazes de reduzir o cobre (Cu) de uma solução cupro-alcalina do estado cúprico (Cu⁺⁺) para o cuproso (Cu⁺) (ZENEBO; PASCUET; TIGLEA, 2008).

A determinação dos parâmetros de cor (L, a*, b*) foi realizada utilizando colorímetro de Hunter® operando no sistema CIELAB (MALHEIROS, 2007). A

coordenada L expressa o grau de luminosidade da cor ($L = 100 = \text{branco}$; $L = 0 = \text{preto}$), enquanto a coordenada a^* expressa o grau de variação entre o vermelho e o verde (a^* mais positivo = mais vermelha; a^* mais negativo = mais verde) e a coordenada b^* expressa o grau de variação entre o amarelo e o azul (b^* mais positivo = mais amarelo; b^* mais negativo = mais azul) (FERREIRA; BENKA, 2014). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) por Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), utilizando-se o Programa SISVAR versão 5.3. As médias dos diferentes tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Controle de temperatura durante processo de brassagem

Após a construção do equipamento para controle de temperatura durante a etapa de brassagem, foram realizados testes com o objetivo de conferir se a temperatura indicada no termostato era realmente a temperatura no interior da panela. Conforme medição de temperatura realizada com termômetro digital em paralelo ao uso do termostato, pode-se afirmar que a panela manteve a temperatura constante em todas as partes durante todo o processamento da cerveja. Este fato é devido principalmente à recirculação do mosto durante o processo evitando que a parte inferior da panela estivesse com temperatura mais elevada que a parte superior.

5.2 Análises físico-químicas

Os resultados das cervejas elaboradas a partir dos diferentes tratamentos (Tabela 4) mostram que para sólidos solúveis, densidade, teor alcoólico, acidez total titulável e para o parâmetro de cor b^* não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para os diferentes tratamentos. Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para pH e para os parâmetros de cor L e a^* .

Tabela 4. Resultados médios das análises físico-químicas dos três tratamentos*.

Tratamento	pH	Sólidos solúveis (°Brix)	Densidade (g/cm ³)	Teor alcóolico (%)	Acidez Total (meq/L)	Cor		
						L	a*	b*
A	4,29ab	7,0a	1,011a	4,46a	29,5a	48,94b	5,47ab	18,0a
B	4,21a	6,8a	1,012a	4,33a	28,5a	47,82b	5,51b	17,9a
C	4,45b	6,7a	1,015a	3,87a	29,0a	44,82a	5,05a	16,9a
DMS	0,18	0,70	0,005	0,66	4,17	2,78	0,45	1,67

* Médias seguidas pela mesma letra numa mesma coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O valor de pH das cervejas variou de 4,21 a 4,45. Segundo Araújo, Silva e Minim (2003) as cervejas tipo *ale* apresentam um pH entre 3,0 a 6,0, sendo um produto ligeiramente ácido. Este baixo valor de pH pode ser atribuído ao pH do malte que situa entre 4,0 e 5,0. A água cervejeira tem pH próximo a neutralidade, mas, durante a brassagem, sofre um tamponamento espontâneo ao redor de 5,2 pela ação do próprio malte, podendo este tampão ser auxiliado por sais adequados. Pode-se dizer que a variação do pH nos tratamentos, pode ter sido influenciada pelos os ácidos produzidos durante a fermentação (VENTURINI FILHO, 2000).

Todas as amostras analisadas apresentaram um pH menor que 4,5 sendo de fundamental importância, pois contribui evitar a proliferação de micro-organismos patogênicos, principalmente o *Clostridium botulinum*, bactéria que causa o botulismo, e evita posteriores contaminações. Assim contribuindo para um produto de boa qualidade (HOFFMANN, 2001).

O valor de sólidos solúveis não teve diferença significativa entre os três tratamentos ($p > 0,05$), obtendo valores de 6,7 a 7,0 °Brix. Estes valores indicam a quantidade de compostos solúveis que correspondem ao total de compostos dissolvidos em água, como, açúcares, proteínas e ácidos. Na cerveja ainda permanecem açúcares, pois durante a quebra do amido ocorre a formação de dextrinas-limite, que são fragmentos de polissacarídeos resultantes da hidrólise do amido pelas β -amilases. Estes fragmentos não sofrem hidrólise das ligações α -1,6, em pontos de ramificação. Portanto, as dextrinas-limite não são fermentáveis e subsistem até a finalização da cerveja (BUSCH, 2015).

A densidade inicial para os tratamentos foi de 1,045, e a densidade final variou entre 1,011 e 1,015 g/cm³, não possuindo diferença significativa entre as

amostras ($p>0,05$). A densidade inicial e final são parâmetros para se estimar o valor de álcool que será atingido no produto final (MORADO,2009).

Durante a brassagem, o amido do malte é convertido em açúcares menores, com aumento da densidade do mosto. A maioria das cervejas apresentam uma densidade inicial antes da inoculação do fermento, entre 1,035 e 1,060 g/cm³. Durante a fermentação, as leveduras consomem o açúcar, produzindo álcool como composto principal, diminuindo assim a concentração de açúcar e consequentemente a densidade. Com isso, a maioria das cervejas apresentam densidade final entre 1,005 a 1,015 g/cm³. Durante a produção de cerveja a densidade diminui devido a produção de álcool e, em geral, cervejas com menor densidade final apresentam maior teor alcoólico (BICHARA,2014).

A análise do teor de álcool das cervejas variou de 3,87 a 4,46%, não possuindo diferença significativa ($p>0,05$) entre os tratamentos. Pela definição de AQUARONE et al (2001), cerveja “é a bebida não destilada obtida de fermentação alcoólica de mosto de cereal maltado, geralmente malte de cevada, sendo facultativa a adição de outra matéria-prima, como milho, arroz, trigo e em geral o teor alcoólico é baixo, de 3% a 8%”. Segundo SILVA (2004) as cervejas costumam ter entre 4% a 5% de teor alcoólico, ainda que este possa variar consideravelmente conforme o estilo e o cervejeiro. Pode-se dizer que o teor alcoólico das cervejas produzidas está em conformidade com os teores alcoólicos citados por estes autores.

O aumento da produção de álcool era esperado com o aumento da hidrólise do amido em açúcares redutores, porém como citado por Matoso (2013), a análise de densidade pode ser influenciada por diversos fatores, sendo indicada a utilização de outros métodos para comparar a quantidade de álcool.

A acidez total na cerveja refere-se aos ácidos orgânicos totais tituláveis. A variação nos diferentes tratamentos foi de 28,5 a 29,5 meq/L, não possuindo diferença significativa entre os tratamentos ($p>0,05$). Ferreira; Benka (2014) elaboraram cerveja artesanal a partir de malte germinado pelo método convencional e tempo reduzido de germinação e encontraram valores de acidez variando ente 28,97 a 41,52 meq/L. A maioria dos ácidos presentes na cerveja já existe no mosto, porém em proporções distintas, e suas concentrações variam em função da matéria-prima, da variedade do malte e das condições de maltagem, os outros ácidos provém da fermentação das leveduras, por isso há uma grande variação no teor de

ácidos no produto final. Outro responsável pela acidez da cerveja é o ácido carbônico, resultante da reação entre o gás carbônico e água, que eleva a acidez da bebida, podendo ser responsável pelo aumento da acidez nas cervejas mais carbonatadas (VENTURINI FILHO, 2000).

Na análise de cor, os valores de L variaram entre 44,82 a 48,94 e estão relacionados à luminosidade das amostras, o tratamento C se diferenciou dos demais ($p < 0,05$) possuindo menor luminosidade. Os valores para o parâmetro a^* variaram de 5,05 a 5,47, sendo que o tratamento B se diferiu de C, já o tratamento A não se diferiu dos demais ($p > 0,05$), porém pode-se concluir que todos possuem tendência a coloração vermelha. Esta diferença pode ser explicada pela falta de padronização na clarificação das cervejas artesanais. Para o parâmetro b^* , os tratamentos não tiveram diferença significativa ($p > 0,05$), todas as formulações apresentaram valores positivos variando de 16,9 a 18,0 indicando uma coloração amarela. Silva; Vendruscolo (2015) encontraram para os parâmetros de cor (L, a^* , b^*), os resultados de 34,55; 7,33 e 14,33 respectivamente, com isso pode-se observar que os resultados do parâmetro de cor para a cerveja produzida por estes autores corroboram com os resultados encontrados neste estudo, as amostras possuem boa luminosidade, tem coloração amarela e tende para o vermelho. Ferreira; Benka (2014) citam que produção de cervejas artesanais e sua carência na padronização de produção e de etapas de clarificação podem levar a suspensão de células de levedura no produto final, células estas que podem interferir na determinação de cor pelo colorímetro.

Para os glicídios redutores em glicose na cerveja e no mosto (Tabela 5), houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

Tabela 5. Resultados médios das análises de glicídios redutores em glicose.

Tratamento	Mosto (g/100ml)	Cerveja (g/100ml)
A	8,70c	1,21b
B	7,68b	1,09ab
C	6,46a	1,03a
DMS	0,76	0,13

* Médias seguidas pela mesma letra numa mesma coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A diferença na quantidade de glicídios redutores em glicose no mosto pode ser explicada pelos binômios de tempo x temperatura utilizados na brasagem. Segundo Palmer (2006) o processo de brassagem em temperaturas em torno de 65°C promove uma maior quebra do amido em açúcares redutores, o que corrobora com os resultados encontrados no presente trabalho, onde o tratamento A obteve um maior teor de açúcares redutores em relação aos tratamentos B e C. De acordo com Smith (2009) temperaturas de mostura menores resultam em uma maior porcentagem de açúcares a serem fermentados, resultando em uma cerveja de acabamento final limpo, com maior atenuação, teor de álcool ligeiramente maior e menos encorpada.

Para glicídios redutores na cerveja apenas o tratamento C se diferiu dos demais. Os resultados obtiveram variação entre 1,03% a 1,21%, porém foi adicionada uma solução de sacarose para promover a carbonatação da cerveja na garrafa. Esta sacarose é hidrolisada por enzimas das leveduras e convertida em glicose e frutose, que pode ter contribuído para o açúcar redutor residual.

6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o protótipo desenvolvido foi essencial para um melhor controle de temperatura durante a etapa de brassagem, já que foi possível manter a mesma uniforme em toda a panela durante a realização desta etapa.

As cervejas produzidas utilizando diferentes binômios tempo x temperatura obtiveram características de pH, sólidos solúveis, teor alcoólico, acidez e cor semelhantes a outras cervejas encontradas no mercado e que a temperatura de brassagem influenciou significativamente o pH, os parâmetros de cor L e a* e o teor de açúcar redutor das cervejas.

Em relação à quantidade de açúcares redutores em glicose no mosto pode-se dizer que o tratamento A (65° por 60 minutos e 72° por 30 minutos) foi o mais eficaz para maior produção destes. Quanto à quantidade de glicídios redutores na cerveja, o açúcar redutor residual pode ser atribuído a uma fermentação incompleta no mosto ou ao xarope de sacarose adicionado para promover a fermentação secundária na garrafa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKLEY, D. Exploring the Maillard Reaction in Beer Brewing. 2018. Disponível em: <<http://www.eckraus.com/blog/maillard-reaction-in-beer-brewing>>. Acesso em: 06/11/2018.

ALMEIDA e SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. (Org). **Tecnologia de bebidas**. São Paulo; Edgard Blücher, 2005. p. 347-382.

AQUARONE, E. et al. Biotecnologia: Alimentos e Bebidas Produzidos por Fermentação. São Paulo, Edgard Blücher, 2001.

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

BICHARA, N. **Dicas sobre o uso de densímetros e refratrômetros**. 2014. Disponível em: <<http://www.lamasbier.com.br/2014/05/dicas-sobre-o-uso-de-densimetros-e-refratrometros.html>>. Acesso em: 13/11/2018.

BOTELHO, B. G. **Perfil e Teores de Aminoácidos Bioativos e Características Físico-Químicas em Cervejas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas, Belo Horizonte.

BRASIL. Decreto n. 6.871, de 04 de junho de 2009. Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial da União**, São Paulo, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **A cerveja no Brasil**. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/a-cerveja-no-brasil>> Acesso em: 09/11/2018.

BREJAS. Como fazer cerveja: o processo de fabricação. 2015. Disponível em: <<https://www.brejas.com.br/fazer-cerveja.shtml>>. Acesso em: 09/11/2018.

BRIGGS. D. E. et al. **Brewing – Science and Practice**. 1. ed. Cambridge: CRC Press, 2004.

BUSCH, J. Advanced Mashing Techniques. 2015. Disponível em: <<https://www.morebeer.com/articles/advancedmashing>> . Acesso em: 14/11/2018.

CARVALHO, G.B.M., et al. Elementos biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro: 1ª. Parte- As leveduras. **Revista Analytica**, São Paulo, v.25, n. 1, p.36 - 42, 2006.

CERVBRASIL. Anuário 2016. Disponível em:
<http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/anuarios/CervBrasilAnuario2016_WEB.pdf>.
Acesso em: 06/11/2018.

DINSLAKEN, D. Maturação da cerveja: dicas e temperaturas. 2016. Disponível em:
< <https://concerveja.com.br/maturacao/>> Acesso em: 11/12/2018.

EATON, B. An Overview of Brewing. In: PRIEST, G. F; STEWART, G. G. (Ed.).
Handbook of Brewing. New York: Taylor & Francis Group, 2006. p. 82 – 87.

EISENBAHN. História da cerveja. 2010. Disponível em: <www.eisenbahn.com.br>.
Acesso em: 06/11/2018.

EVANGELISTA, R. R. **Análise do processo de fabricação industrial de cerveja**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba.

FERREIRA, A. S.; BENKA, C. L. **Produção de Cerveja Artesanal a partir de Malte Germinado pelo Método Convencional e Tempo Reduzido de Germinação**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão.

GAVA, A. J.; Da SILVA, C.A.; FRIAS, J.R. **Tecnologia de Alimentos** - Princípios e Aplicações. São Paulo: Nobel, 2009.

HOFFMANN, F. L. Fatores limitantes à proliferação de microorganismos em alimentos. **Brasil Alimentos**, São Paulo, v. 9, n. 1, p.23-30, 2001.

LARA, C. pH na produção de cerveja caseira: como controlar. 2018.
Disponível em: < <https://www.hominilupulo.com.br/cervejas-caseiras/ph-na-producao-de-cerveja-caseira-como-controlar/>> Acesso em: 17/11/2018.

LEWIS, M. J.; YOUNG, T. W. **Brewing**. 2. ed. Nova Iorque: Publishers, Kluwer Academic/ Plenum, 2002.

LIMA, L. L. A.; FILHO, A. B. M. Técnico em alimentos: tecnologia de bebidas. 2011.
Disponível em:
<http://pronatec.ifpr.edu.br/wpcontent/uploads/2013/06/Tecnologia_de_Bebidas.pdf>
Acesso em: 06/11/2018.

MALHEIROS, G. C. **Estudo da cor e degradação da clorofila durante armazenamento de erva-mate tipo chimarrão**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MATOSO, L. Método crioscópico para quantificação de etanol em bebidas. 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1594/1/CM_COALM_2013_1_09.pdf>. Acesso em 14/11/2018.

MORADO. Larousse da cerveja. **Larousse Do Brasil**. 1. ed. 2009.

MÜLLER, C. V. Mapa atua na modernização da legislação do setor cervejeiro. 2014. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/informativo%20cerveja%20_2_.pdf>. Acesso em: 06/11/2018.

PALMER, J. **How to Brew**: Everything You Need To Know To Brew Beer Right The First Time. 1. ed. Book Network, 2006.

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

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

REITENBACH, A. F. **Desenvolvimento de cerveja funcional com adição de probiótico: *Saccharomyces boulardii***. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SANTOS, I. J. **Cinética de fermentação e estudo de metabólitos e enzimas intracelulares envolvidas na fermentação alcoólica cervejeira conduzidas com leveduras de alta e baixa fermentação em diferentes composições de mosto**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SCHMITT, T.C. **Produção de cerveja tipo Pale Ale**. 2010. Trabalho acadêmico (Planejamento e Projetos da Indústria II) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

SILVA, C. M. Descritivo como calcular o álcool na cerveja. 2005. Disponível em: <https://www.alquimiadacerveja.com.br/apostilas/Descritivo_Como_Calcular_o_alcool_na_Cerveja.pdf>. Acesso em: 14/11/2018.

SILVA, C. M. Descritivo Como Fazer Cerveja Lager de baixa fermentação. 2004. Disponível em: <http://www.alquimiadacerveja.com.br/Artigos/Descritivo_Como_Fazer_Cerveja_Lager.pdf>. Acesso em: 13/11/2018.

SILVA, N.N.C; VENDRUSCOLO, F. Adição de pigmento natural produzido por *monascus ruber* cct 3802 em cerveja. 2015. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2015/trabalhos/10/7348-21260.html>> Acesso em: 12/11/2018.

SINDICERV. Tipos de Cerveja, 2015. Disponível em: <<http://www.sindicerv.com.br/tipo-cerveja.php>> Acesso em: 07/11/2018.

SMITH, B. Mashing for All Grain Beer Brewing. 2009. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2009/07/16/mashing-for-all-grain-beerbrewing/>>. Acesso em: 15/11/2018.

STEFENON, R. Vantagens competitivas sustentáveis na indústria cervejeira: o caso das cervejas especiais. **Revista Capital Científico - Eletrônica**, v. 10, n. 1, p. 1-16, 2012

TSCHOPE, E. C. **Microcervejarias e cervejarias**: a história, a arte e a tecnologia. 1. ed. São Paulo: Aden, 2001.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas**: ciência e tecnologia. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2016.

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

VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de cerveja**. Jaboticabal: Funep. 83 p. 2000.

PALMER, J. **How to Brew**: Everything You Need To Know To Brew Beer Right The First Time. 1. ed. Book Network, 2006.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **São Paulo: Instituto Adolfo Lutz**, 2008. p. 1020.