



**GABRIELLA BARBOZA FREIRE**

**PRODUÇÃO DE CERVEJA RED ALE COM CAFÉ**

**LAVRAS – MG  
2022**

**GABRIELLA BARBOZA FREIRE**

**PRODUÇÃO DE CERVEJA RED ALE COM CAFÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Engenharia  
Química, para obtenção do título de Bacharel.

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Natália Maira Braga Oliveira  
Orientadora

Prof. Dr. Márcio Pozzobon Pedroso  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2022**

**GABRIELLA BARBOZA FREIRE**

**PRODUÇÃO DE CERVEJA RED ALE COM CAFÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Engenharia  
Química, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 de abril de 2022.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Natália Maira Braga Oliveira – UFLA

Prof. Dr. Márcio Pozzobon Pedroso – UFLA

Prof. Dr. Gilson Campani Júnior – UFLA

Prof. Dr. Luciano Jacob Corrêa – UFLA

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Natália Maira Braga Oliveira  
Orientadora

Prof. Dr. Márcio Pozzobon Pedroso  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2022**

*À minha família, em especial aos meus pais, por todo o carinho e apoio ao longo de  
minha trajetória.*

## AGRADECIMENTOS

E o meu ciclo acadêmico vai chegando ao fim. Agradeço a Deus pela oportunidade de ter estudado na UFLA, universidade que sonhei durante todo o ensino médio, e pelos diferentes caminhos que pude percorrer ao longo da minha trajetória.

Agradeço aos meus pais, Letivan e Glícia, pelo amor e apoio incondicionais. Aos meus irmãos, Igor e Júnior, pela amizade e pela presença em todos os momentos. Ao meu namorado, Gabriel, pela parceria e pelos sorrisos nos dias difíceis. À toda minha família e aos meus amigos, meus avós, tios, primos, sogros e cunhadas, por tanto carinho e por sempre torcerem por mim.

Durante a graduação, além de aluna, fui empresária júnior, monitora, intercambista e cervejeira, saio com o coração muito feliz e com a sensação de que não só cheguei ao meu destino, como aproveitei toda a minha caminhada. Aprendi muito com cada uma dessas experiências e agradeço à todas as pessoas que conheci e que, de alguma forma, contribuíram significativamente para minha evolução. De forma especial, agradeço à Júlia, Lili, Ana Clara e Isabel, que compartilharam comigo diversos momentos da vida universitária e a tornaram bem melhor e mais leve.

Agradeço também, a todos os professores que passaram pela minha vida durante esses anos e contribuíram para minha formação, especialmente, aos professores da Engenharia Química.

Em particular, agradeço à Professora Natália, que me orientou neste trabalho com tanto carinho e profissionalismo, me ensinou muito e me ajudou a fazer as melhores escolhas diante das adversidades que surgiram. Ao Professor Márcio, que aceitou ser o meu coorientador e muito contribuiu com suas experiências de pesquisador e estudioso do mundo cervejeiro. Aos Professores Luciano e Gilson, agradeço por aceitarem o meu convite para estarem presentes em um dia tão especial.

Que venham novos desafios e aprendizados!

*“Um bebedor de cerveja que se reconheça como tal é, antes de tudo, um homem ou uma mulher que não deseja embriagar-se – se o quisesse, poderia dar-se a bebidas dez ou mais vezes mais fortes do ponto de vista alcoólico, para igual quantidade de líquido. Assim, o que ele ou ela quer mesmo é ter o prazer, a alegria, a satisfação, o encantamento que só a cerveja pode propiciar-lhe.” (Antônio Houaiss)*

## RESUMO

O mercado cervejeiro tem se mostrado cada vez mais promissor e atrativo e, neste cenário, cresce a competitividade e a busca por inovações. Com a disseminação da cultura cervejeira, muitos consumidores estão se tornando mais exigentes, preferindo a qualidade em detrimento da quantidade, pois como, geralmente, as cervejas artesanais possuem preços mais elevados, as pessoas as compram em uma quantidade menor, mas por outro lado, vivem experiências sensoriais de alto nível e marcantes. O presente trabalho teve como objetivo compreender o processo produtivo de cerveja artesanal e avaliar a adição de café como um ingrediente especial, por meio da produção de receitas do estilo Red Ale. Para os experimentos, foi utilizado o módulo de produção do Núcleo de Estudos em Cerveja Artesanal da UFLA (NucBeer). Foram usados dois diferentes tipos de cafés especiais, um fermentado e o outro não-fermentado, e as adições foram feitas no momento do envase da cerveja. Foram testadas duas formas diferentes de extração do café para adição à cerveja, extração à quente e à frio. O segundo método, também denominado *cold brew* foi mais bem avaliado, também pela possibilidade de fornecer uma bebida mais suave e refrescante, e, ao mesmo tempo, com as características dos cafés destacadas. Para avaliação do processo produtivo, ao longo das etapas foram feitas medições de densidade e do teor de açúcar usando um refratômetro. A densidade inicial, medida no mosto após a fervura, foi 1,037 g/cm<sup>3</sup> para a primeira cerveja e 1,035 g/cm<sup>3</sup> para a segunda. Já densidade final, medida na cerveja após a fermentação, foi 1,020 g/cm<sup>3</sup> para a primeira e 1,009 g/cm<sup>3</sup> para a segunda produção, demonstrando a dificuldade de fermentação que ocorreu no primeiro lote. O teor alcoólico, que está diretamente relacionado com a densidade, foi estimado de 2,2% para a primeira cerveja e de 3,4% para a segunda. Para o estilo Red Ale, a densidade inicial e a densidade final da cerveja devem estar entre 1,036 e 1,046 g/cm<sup>3</sup> e 1,010 e 1,104 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Já o teor alcoólico deve variar entre 3,8% e 5,0%. Na primeira produção, houve um problema com o controlador de temperatura, o que resultou em um processo falho e em uma cerveja fora dos padrões desejados. Na segunda produção, esse problema foi corrigido, mas a brassagem apresentou baixo rendimento, resultando em uma cerveja melhor, mas com teor alcoólico um pouco abaixo do esperado. Logo, conclui-se que as duas cervejas não se enquadraram exatamente nas expectativas do estilo escolhido, mas os erros cometidos contribuíram para uma melhor compreensão do processo produtivo; e a cerveja resultante da segunda produção ficou mais próxima do esperado. No entanto, os problemas operacionais, que levaram a dificuldades de atenuação dos açúcares nas fermentações, resultando em cervejas mais adocicadas que o previsto para o estilo escolhido, acabaram ressaltando ainda mais as características dos cafés. De modo que a adição do café propiciou cervejas bastante aromáticas e complexas, obtendo-se um equilíbrio e uma boa harmonização.

**Palavras-chave:** Mercado cervejeiro. Produção artesanal. Aditivos para cerveja. Café fermentado. Extração à frio.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo da cerveja. ....	13
Figura 2 - Filtração e clarificação do mosto. ....	17
Figura 3 - Representação do whirlpool feito após a fervura. ....	18
Figura 4 - Classificação das cervejas quanto ao SRM. ....	22
Figura 5 - Ilustração de um módulo produtivo do tipo HERMS. ....	27
Figura 6 - Módulo de produção do NucBeer. ....	28
Figura 7 - Ilustração do processo de lavagem dos grãos. ....	30
Figura 8 - Representação da etapa de resfriamento do mosto. ....	32
Figura 9 - Adição dos maltes. ....	35
Figura 10 - Teste de iodo realizado na segunda produção. ....	37
Figura 11 - Etapa de lavagem dos grãos (Sparge). ....	37
Figura 12 - Etapa de fervura do mosto. ....	38
Figura 13 - Trub formado na primeira produção de Red Ale. ....	39
Figura 14 - Etapa de fermentação. ....	40
Figura 15 - Maturador após a trasfega. ....	43
Figura 16 - Cerveja Red Ale maturada. ....	43
Figura 17 - Envase da cerveja Red Ale. ....	44
Figura 18 - Extração à frio dos cafés fermentado e não-fermentado. ....	45
Figura 19 - Garrafas armazenadas durante o período de carbonatação e incorporação do café. .....	46
Figura 20 - Cervejas finais da primeira (A) e segunda (B) produções. ....	47
Figura A 1 - Receita da Red Ale no BrewFather. ....	55
Figura B 1 - Planilha de cálculo para ajuste da água cervejeira. ....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas ideais para atividade enzimática. ....	15
Tabela 2 - Matérias-primas e orçamento para as produções. ....	26
Tabela 3 - Medições de densidade e teor de açúcar no mosto.....	36
Tabela 4 - Densidade e teor de açúcar na fermentação da primeira produção.....	41
Tabela 5 - Densidade e teor de açúcar na fermentação da segunda produção.....	41

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Definições relativas à cerveja.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Mercado cervejeiro.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Processo produtivo de cerveja .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Malteação .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Moagem do malte.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Brassagem .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Filtração do mosto .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Fervura .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.6</b>	<b>Resfriamento .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.7</b>	<b>Fermentação.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.8</b>	<b>Maturação .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.9</b>	<b>Carbonatação e envase.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Estilo Red Ale.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Café como aditivo de cerveja.....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Matérias-primas .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Unidade experimental .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Produção da cerveja .....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE A - Receita da cerveja Red Ale .....</b>	<b>55</b>
	<b>APÊNDICE B - Planilha usada para ajuste da água cervejeira .....</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE C - Análises físico-químicas .....</b>	<b>57</b>
	<b>APÊNDICE D - Testes preliminares de extração do café.....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo (GUIA DA CERVEJA, 2021). A produção cervejeira nacional atingiu cerca de 14,1 bilhões de litros em 2021, alcançando um faturamento próximo a 107 bilhões de reais (CERVBRASIL, 2021). De acordo com a revista Beer Art (2021), o mercado cervejeiro no Brasil cresceu muito nos últimos anos, chegando a um total de 1.383 cervejarias registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) ao final de 2020, e, neste cenário, as cervejas artesanais vêm ganhando um grande destaque. Normalmente, estas cervejas possuem preços mais elevados, mas apresentam sabores e aromas diferenciados e complexos, conquistando os consumidores pela alta qualidade e inovação. Uma pesquisa realizada pelo Núcleo de Estudos em Cerveja Artesanal da Universidade Federal de Lavras (UFLA), que traçou o perfil dos consumidores de cerveja artesanal da cidade e região, mostrou que 90% dos consumidores escolhem uma cerveja pelo seu sabor (UAIAGRO, 2022).

O mercado de cervejas artesanais é bastante promissor e tem atraído a atenção de muitos, inclusive das grandes cervejarias já consolidadas com marcas populares. Com o aumento do interesse, da oferta e da disseminação da cultura cervejeira, aumenta também a competitividade dentro do segmento e a busca por novidades por parte dos consumidores. Consequentemente, para quem quer se destacar, torna-se fundamental usar a criatividade e, por isso, pode-se visualizar uma tendência em produzir cervejas com ingredientes atípicos, como especiarias, frutas, café, entre outros (DIÁRIO DO COMÉRCIO, 2021).

Além de sua relevância no mercado de cervejas artesanais, o estado de Minas Gerais é o maior produtor de café do país. Nas últimas safras, a cafeicultura mineira produziu quase metade de todo o volume colhido nacionalmente (CONAB, 2022). Neste cenário, vale destacar a região Sul mineira, cuja produção cafeeira representa 54,4% do total produzido no estado (EMATER, 2020). Além de se destacar pela quantidade, o Sul de Minas é mundialmente conhecido pela produção de cafés sustentáveis, de alta qualidade e certificados, que apresentam sabores e aromas diferenciados (CAFEICULTURA, 2019).

Diante disso, mediante a compreensão do processo produtivo de cerveja artesanal, este trabalho teve como objetivo produzir uma Red Ale com adição de café ao final do processo, utilizando os métodos de extração à quente e *cold brew*, a fim de testar a combinação e avaliar os efeitos da adição.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Definições relativas à cerveja

Segundo a legislação brasileira, Instrução Normativa nº65 de dezembro de 2019 (BRASIL, 2019), a cerveja é definida como a bebida resultante da fermentação alcoólica, por ação da levedura, do mosto cervejeiro produzido a partir do malte de cevada e água potável, com adição de lúpulo. Uma parte da cevada maltada pode ser substituída por outros cereais, maltados ou não, mas o uso de adjuntos e a quantidade mínima de malte deve estar de acordo com a legislação do país. Considerando a norma supracitada, as cervejas podem ser classificadas em relação a proporção de malte de cevada, em:

- a) cerveja puro malte: aquela elaborada a partir de um mosto, cujo extrato primitivo é proveniente exclusivamente de malte de cevada ou extrato de malte;
- b) cerveja: aquela elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo contém no mínimo 55%, em massa, de cevada maltada e no máximo 45% de adjuntos cervejeiros;
- c) cerveja com o nome do vegetal predominante: aquela elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo provém, em sua maioria, de adjuntos cervejeiros, possuindo uma proporção de malte de cevada entre 20% e 50%, em massa.

Dentre as diversas legislações que fazem parte da história da cerveja, a mais famosa referência sobre os ingredientes é a Lei da Pureza Alemã (*Reinheitsgebot*), determinada pelos duques Guilherme IV e Luís X em 1516, e aplicada a toda a região da Baviera. Tal lei estabelecia que os únicos ingredientes permitidos na fabricação da cerveja eram água, cevada e lúpulo, marcando definitivamente estes como ingredientes básicos da produção cervejeira (MORADO, 2017). A levedura só foi incluída nesta lei mais tarde, pois até então ainda era desconhecida.

Muitas cervejarias ainda apresentam a Lei da Pureza Alemã em seus rótulos e nas suas estratégias de *marketing* como se fosse um símbolo de qualidade e pureza, no entanto, na prática, seguir a lei por si só não é sinônimo de produzir uma boa cerveja (MAFRA, 2018). A qualidade da bebida está diretamente relacionada à execução correta de todas as etapas do processo produtivo, incluindo a escolha da receita, conservação e qualidade dos insumos. Ademais, produzir usando a criatividade está cada vez mais usual.

## **2.2 Mercado cervejeiro**

No início da história da cerveja, a produção era vista apenas como uma atividade caseira e mesmo após o surgimento de algumas indústrias locais, e até mesmo regionais, até a década de 1950 as cervejarias alcançavam, no máximo, o país de origem. Nos anos 1970, cervejarias mais estruturadas conseguiram se expandir de forma rápida em todo o mundo e, com a expansão das fronteiras do capitalismo no final do século XX, a indústria cervejeira se tornou um grande negócio, se destacando globalmente (MORADO, 2017).

Segundo Morado (2017), no início do século XXI, grandes conglomerados cervejeiros, como Ambev e Heineken, passaram a buscar agressivamente novos mercados, ampliando suas fronteiras para regiões como China, Rússia e Brasil. Essa expansão acarretou a concentração do setor, levando as maiores cervejarias ao domínio do mercado. Neste contexto, começaram a surgir as micro e pequenas cervejarias, impulsionadas pela resistência ideológica à grande indústria e a busca constante por novidades sensoriais, combinando perfeitamente a tradição da cultura cervejeira com a modernização.

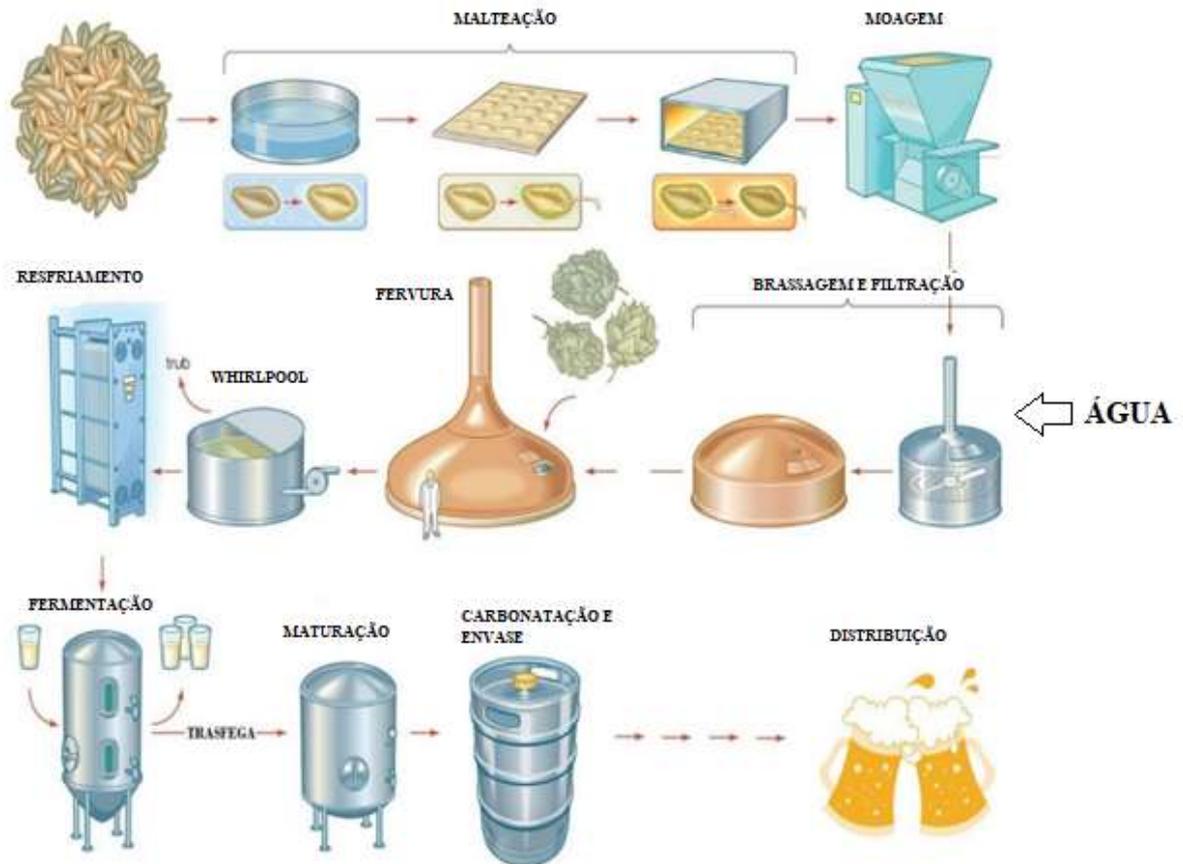
Atualmente, no Brasil, o setor cervejeiro é um dos mais relevantes na economia, com uma produção que chega a cerca de 14,1 bilhões de litros por ano, respondendo por 2% do PIB brasileiro e presente em todas as cidades do país (CERVBRASIL, 2021).

O segmento cervejeiro é bastante promissor e é possível observar algumas tendências crescentes. Uma delas é o aumento da exigência dos consumidores, que estão cada vez mais informados e atentos ao perfil sensorial das cervejas e, por este motivo, estão buscando cervejas com características sensoriais e visuais atrativas e inovadoras. Neste cenário, pode-se observar que cervejas frutadas e aromatizadas estão se tornando mais populares entre os apreciadores da bebida (MORADO, 2017).

## **2.3 Processo produtivo de cerveja**

O processo produtivo da cerveja pode ser dividido em nove etapas, as quais estão apresentadas na Figura 1 e serão descritas a seguir.

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo da cerveja.



Fonte: Adaptado de Cinema e Cerveja (2017).

### 2.3.1 Malteação

A malteação (ou maltagem) é de fundamental importância na produção e qualidade da cerveja. Trata-se da etapa na qual o cereal se transforma em malte e ocorre em três estágios: maceração, germinação e secagem. O objetivo da malteação é produzir enzimas, por meio da germinação, que levarão a mudanças químicas e físicas nos grãos e farão com que o cereal se torne fonte de açúcares fermentescíveis (MORADO, 2017).

Por se tratar de um processo complexo, geralmente, a etapa de malteação é externa ao processo produtivo propriamente dito e acontece em locais já preparados para sua realização, surgindo, então, as chamadas maltarias. Atualmente, há quatro maltarias no Brasil: a Navegantes, Passo Fundo e Agromalte – Agrária, que estão situadas no Rio Grande do Sul, sendo as duas primeiras pertencentes à cervejaria Ambev; e a Maltaria do Vale, que está localizada em Taubaté, no estado de São Paulo (DULCETTI, 2016).

### 2.3.2 Moagem do malte

A moagem pode ser basicamente definida como a quebra dos grãos de malte. Consiste em rasgar longitudinalmente a casca do grão, deixando seu endosperma amiláceo exposto, a fim de favorecer a ação enzimática durante a etapa seguinte. Para que a ação enzimática seja realmente satisfatória e para favorecer também a filtração do mosto, etapa que acontece posteriormente, é importante evitar que o endosperma fique aderido às cascas e que haja produção de farinha fina (UZÊDA, 2021).

Neste contexto, um fator importante é a escolha do tipo de moagem. De acordo com Morado (2017), existem dois tipos básicos de equipamentos: os moinhos de rolos e do tipo martelo. Basicamente, a diferença entre as duas moagens é que na primeira, há a preservação da casca, o que favorece a etapa de filtração; e na segunda, o malte é praticamente reduzido a pó, algo que deve ser evitado, como citado anteriormente.

Portanto, a moagem do malte deve ser fina para favorecer a ativação das enzimas, mas não tão fina ao ponto de se tornar um problema na etapa de recirculação do mosto. Segundo Boden (2009), a moagem ideal é aquela que fornece uma mistura com aproximadamente 30% de cascas inteiras, 55% de sêmolas intermediárias, 12% de farinha e nenhum grão inteiro.

### 2.3.3 Brassagem

Esta etapa é também conhecida como mosturação, e consiste no cozimento do malte em temperaturas específicas para ativar enzimas que serão responsáveis pela conversão de proteínas em aminoácidos e peptídeos e do amido em moléculas de açúcares menores, como glicose e maltose (CONCERVEJA, 2019).

Nesta etapa, é produzido o mosto, uma solução açucarada proveniente da sacarificação do amido dos grãos. A sacarificação do amido é a conversão das grandes moléculas de açúcar em maltose e moléculas menores e acontece, principalmente, pela ação de três enzimas que são alfa-amilase, beta-amilase e limite-dextrinase (LARA, 2018).

Ambas as enzimas são responsáveis pela quebra da molécula do amido e a extração de açúcares fermentescíveis. Contudo, podem se diferir nos compostos que originam. A alfa-amilase quebra o amido de forma aleatória, podendo formar maltose e maltotriose, moléculas fermentescíveis; e dextrinas, moléculas não-fermentescíveis. Já a beta-amilase realiza a quebra de fora para dentro de forma constante, sempre formando moléculas fermentescíveis, como a maltose (DINSLAKEN, 2017). A limite-dextrinase também origina apenas moléculas

fermentescíveis, podendo estas serem maltoses ou maltotrioses (COMO FAZER CERVEJA, 2019).

Além disso, existem faixas de temperatura e pH ideais para cada enzima agir, como apresentado na Tabela 1. Trabalhar fora desta faixa não significa que não haverá atividade enzimática, mas a opção por temperaturas maiores ou menores afetará, principalmente, o corpo da cerveja, uma vez que este está diretamente relacionado com a quantidade de açúcares fermentescíveis e não-fermentescíveis no mosto (MORADO, 2017). Vale ressaltar ainda, que a opção por temperaturas mais elevadas pode ser um risco para o processo, devido à possibilidade de inativar as enzimas e assim, não ter a conversão completa do amido, levando a um mosto com uma concentração de açúcares mais baixa que o ideal e prejudicando, a posterior etapa de fermentação.

Tabela 1 - Condições ideais para atividade enzimática.

<b>Enzima</b>	<b>Temperatura Ideal (°C)</b>	<b>Temperatura de Inativação (°C)</b>	<b>pH Ideal</b>
Beta-Amilase	60 - 65	70	5,4 - 5,6
Alfa-Amilase	70 -75	80	5,5 - 5,8
Limite-Dextrinase	55 - 60	65	5,1 - 5,5

Fonte: Adaptado de Muxel (2022).

Segundo Palmer (2006), há duas maneiras básicas de realizar a brassagem. A primeira delas é por infusão simples, trabalhando em uma temperatura única durante todo o processo. A segunda maneira é trabalhando com rampas de temperaturas, isto é, variando a temperatura do mosto para favorecer o desempenho das enzimas individualmente.

Se a infusão simples for escolhida, o ideal é trabalhar com a temperatura variando entre 66 °C e 69 °C, para permitir que a alfa e beta-amilase ajam juntas e acelerem o processo de conversão do amido (LARA, 2018). Então, se o desejo for uma cerveja mais encorpada, é preciso favorecer a atuação das alfa-amilases para se ter mais açúcares não-fermentescíveis no mosto, logo, a temperatura deve ser mantida na casa dos 69 °C. Em contrapartida, se o desejo for uma cerveja mais seca, isto é, com menos açúcar residual, requer-se uma quantidade maior de açúcares fermentescíveis no mosto. Portanto, a temperatura deve estar na casa dos 66 °C para favorecer a atuação das beta-amilases. E, ainda, se o desejo é obter uma cerveja de corpo médio, como é o caso da maioria das cervejas, basta trabalhar com uma temperatura de sacarificação média, na faixa dos 67 °C (DINSLAKEN, 2017). Isso deve-se ao fato de que os açúcares não-fermentescíveis são moléculas maiores que não são consumidas pelas leveduras

e, assim, contribuem para retenção de espuma e para a sensação de viscosidade da cerveja na boca, tornando-a mais encorpada (LARA, 2018).

Quanto ao aquecimento do processo, este também pode ser realizado de duas formas: por infusão, através da adição de água quente; ou por aquecimento direto do recipiente, onde é feita a brassagem. Ademais, há o método de decocção, que é uma combinação dessas duas formas de aquecimento mencionadas, e consiste em aquecer uma parte do mosto separadamente e depois adicioná-la à mistura principal (PALMER, 2006).

Por fim, vale ressaltar que não existe uma receita universal exata para seguir no momento da brassagem. Cada cervejeiro pode desenvolver e aprimorar suas receitas de acordo com a cerveja que deseja produzir. Porém, é imprescindível utilizar a literatura para nortear as escolhas e tornar o processo mais efetivo e eficiente (MORADO, 2017).

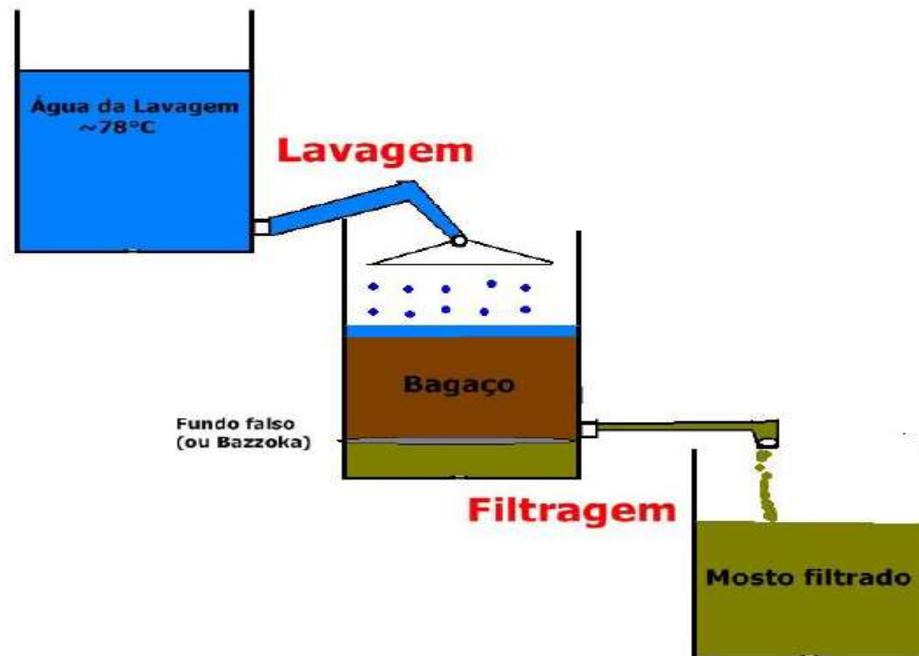
#### **2.3.4 Filtração do mosto**

Após aproximadamente 60 minutos do início da brassagem, é importante verificar se todo o amido presente no mosto foi convertido, podendo ser feito através do teste de iodo. Se o teste indicar a conversão completa do amido, isto é, se não houver reação e mudança de cor quando uma gota do mosto entrar em contato com uma gota de iodo, deve ser realizado o *mash out*, que é a elevação da temperatura a 77 °C, por 5 minutos, para que ocorra a inativação das enzimas presentes (DINSLAKEN, 2017).

Feito isso, é o momento de iniciar a filtração e clarificação do mosto, que assim como indica a Figura 1, é uma etapa conjunta à brassagem. Segundo Mafra (2018), esse processo pode ser dividido em duas fases: a primeira é a filtração do mosto primário e a segunda, é a lavagem do bagaço do malte, como mostra a Figura 2. A primeira fase consiste em recircular o mosto através da cama de grãos que fica no fundo falso da panela de brassagem, a fim de filtrar as partículas sólidas em suspensão e, com isso, clarificar o mosto, tornando-o mais limpo e cristalino. Basicamente, nas cervejarias artesanais, a técnica se dá pela retirada do líquido pelo fundo da panela, retornando pelo topo sobre a cama de grãos repetidas vezes até que seja possível observar um mosto claro e sem sedimentos. A segunda fase é a lavagem dos grãos, também chamada de *sparge*, que objetiva o aumento da eficiência na extração dos açúcares do malte. Este procedimento é feito enquanto o mosto é drenado para a panela de fervura e acontece pelo despejo da água de lavagem sobre a cama de grãos na panela de mostura, fazendo com que os açúcares que ficaram retidos durante a recirculação sejam arrastados e aproveitados, melhorando a eficiência do processo (DINSLAKEN, 2021).

Nesta etapa, deve-se destacar que a temperatura da água de lavagem não deve ser muito elevada, segundo Dinslaken (2021), o ideal é que esteja entre 75 °C e 78 °C, para que não haja extração excessiva de polifenóis e de amido residual do bagaço, o que poderia prejudicar o sabor e aparência da cerveja, respectivamente (MORADO, 2017).

Figura 2 - Filtração e clarificação do mosto.



Fonte: Boden (2009).

### 2.3.5 Fervura

Esta é a última etapa da fase dita quente da produção de cerveja e tem duração de 60 a 120 minutos, a depender da receita. A fervura do mosto deve ser intensa e tem como objetivo a esterilização, inativação de enzimas que poderiam ainda apresentar alguma atividade, coagulação proteica, eliminação de água excedente e de compostos aromáticos indesejáveis e formação de substâncias que conferem aroma e sabor à bebida, pois é nesta etapa que ocorre a adição do lúpulo, como mostra a Figura 1, e, conseqüentemente, a extração de seus compostos amargos e aromáticos (DUARTE, 2015).

A adição do lúpulo é realizada de acordo com as características da cerveja que se deseja produzir. Lúpulos de amargor, aqueles com maior concentração de alfa-ácidos, são adicionados no início da fervura, enquanto os lúpulos de aroma, que possuem maior teor de beta-ácidos, são adicionados ao final da etapa (MORADO, 2017). Algumas receitas incluem também, uma adição de lúpulo no meio da fervura, a fim de incrementar o sabor final da cerveja. Nesta adição,

qualquer variedade de lúpulo pode ser utilizada, mas, geralmente, são escolhidas opções que apresentam baixo teor de alfa-ácidos. É bastante comum que o lúpulo seja adicionado em *hop bags*, ou cesto para lúpulo, para evitar que restos do insumo se tornem sedimentos na cerveja (PALMER, 2006).

Durante a fervura, parte das proteínas contidas no mosto e algumas partículas indesejadas se aglutinam, formando um conglomerado que é chamado de *trub*. Para que a cerveja tenha estabilidade no brilho e não sofra prejuízos no sabor, é fundamental que o *trub* seja separado e retirado do mosto e a forma mais comum de fazer isso é gerando um redemoinho (*whirlpool*), como mostrado na Figura 3, usando a força centrípeta para o fazer decantar e, assim, concentrá-lo no centro da panela (MORADO, 2017).

Figura 3 - Representação do *whirlpool* feito após a fervura.



Fonte: Central Brew (2019).

### 2.3.6 Resfriamento

Terminada a etapa de fervura, o mosto precisa ser resfriado rapidamente para que não haja formação de aromas indesejáveis e risco de contaminação, pois à medida que vai se esfriando, fica suscetível a danos por oxidação e microrganismos (MORADO, 2017).

Além disso, para que seja adicionada a levedura na etapa de fermentação, a temperatura do mosto deve estar entre 25 °C e 35 °C, pois o calor elevado pode levar a levedura à morte. Então, enquanto o mosto é transferido para o fermentador, utiliza-se um trocador de calor para reduzir a temperatura até cerca de 26 °C, deixando o mosto adequado para a próxima etapa.

Como trocador de calor, pode-se utilizar uma serpentina de imersão, um trocador de placas ou uma serpentina de contrafluxo que, basicamente, é uma união dos dois anteriores (CENTRAL BREW, 2019).

### 2.3.7 Fermentação

Conhecendo o processo produtivo pode-se dizer que o cervejeiro não faz a cerveja, ele apenas prepara o mosto para que a levedura o transforme em cerveja, e é na etapa de fermentação que isso acontece. Basicamente, nesta etapa, a levedura consome os açúcares fermentescíveis presentes no mosto e realiza seu metabolismo celular, produzindo etanol e gás carbônico. Parece ser uma etapa simples, mas é bastante delicada e quatro fatores são fundamentais para que haja uma boa fermentação: higiene e sanitização, oxigenação do mosto, taxa de inoculação do fermento e controle de temperatura e pH (UZÊDA, 2021).

De maneira geral, a fermentação pode ser realizada por leveduras conhecidas como *Lagers* ou *Ales*, em correspondência ao tipo de cerveja que produzem. As primeiras são chamadas de leveduras de baixa fermentação e ao final do processo, floculam e se sedimentam no fundo do fermentador; enquanto as *Ales*, de alta fermentação, possuem características apolares e formam aglomerados que se adsorvem às bolhas de gás carbônico e, então, ficam flutuando e se concentram no topo (FURLAN, 2016). Além dessa característica, as leveduras *Lager* agem em temperaturas mais baixas, entre 9 °C e 15 °C, e produzem menos atributos sensoriais, sendo comum originar cervejas mais leves. As *Ales* trabalham em temperaturas mais altas, entre 15 °C e 25 °C, e produzem cervejas mais aromáticas, contribuindo mais para características sensoriais da cerveja, como sabores frutados. (MORADO, 2017).

Ademais, pode-se dizer que a fermentação acontece em três fases. A primeira é chamada de *lag time* e dura entre 2 e 12 horas, que é uma fase de adaptação da levedura ao mosto e de captação de oxigênio e aminoácidos, levando ao crescimento celular. Em seguida, é a fase de crescimento exponencial, na qual acontece, de fato, o consumo de açúcares disponíveis e a produção de álcool e gás carbônico. A duração média desta fase é de 2 a 6 dias para *Ales* e de 4 a 10 dias para *Lagers*. Alguns compostos indesejáveis para a cerveja podem ser produzidos nessa fase, como o diacetil, que confere gosto amanteigado, e o enxofre, que acarreta características de ovo podre. E, por último, tem-se a fase estacionária, na qual a quantidade de açúcar é escassa e a levedura começa a consumir os metabólitos indesejados, produzidos na fase anterior. Há então uma desaceleração do crescimento celular, indicando o fim da fermentação (YEASTLAB, 2018).

### 2.3.8 Maturação

Como mostra a Figura 1, a maturação é um processo que acontece logo após o término da fermentação, em consequência de uma redução da temperatura, e sua duração varia de acordo com o tipo de cerveja que é produzido. É nesta etapa que as características sensoriais e aromáticas são aprimoradas e há a eliminação de *off-flavors*, sabores indesejados decorrentes da presença de determinados compostos, como o diacetil e enxofre, citados acima. E, como ainda há fermentação ocorrendo, muitas vezes chamada de fermentação secundária, leveduras e proteínas vão se precipitando ao fundo do tanque fermentador, tornando o líquido mais claro e límpido (CENTRAL BREW, 2019).

Outro ponto a mencionar quando se fala da importância da maturação é a diminuição do risco de acidentes com as garrafas de cerveja, pois quando esta etapa não é feita, a cerveja pode ser envasada ainda com alta densidade, fazendo com que haja perigo de explosão durante a posterior carbonatação (DINSLAKEN, 2017). Nesta etapa, pode-se ter a adição de especiarias, frutas, lascas de madeira, café e outros ingredientes que podem colaborar com o aroma e sabor que se deseja obter. Ademais, é neste momento que pode acontecer uma nova adição de lúpulo à cerveja, através da técnica conhecida como *dry hopping*, que visa intensificar aromas e dar frescor à cerveja (MORADO, 2017).

### 2.3.9 Carbonatação e envase

Embora haja produção de gás carbônico nas etapas de fermentação e maturação, esta quantidade produzida é inferior a necessária para tornar a cerveja agradável ao paladar. Logo, é preciso utilizar métodos para fazer com que a quantidade de CO<sub>2</sub> atinja o valor ideal, que varia de acordo com o estilo de cerveja que é produzido. Nas grandes indústrias, é feita a carbonatação forçada com injeção direta de CO<sub>2</sub> à cerveja.

Já os cervejeiros artesanais usam, frequentemente, uma técnica denominada refermentação na garrafa. Como ainda restam pequenas quantidades de levedura no momento do envase, uma calda açucarada chamada *priming* é adicionada às garrafas juntamente com a cerveja maturada. As leveduras restantes então consomem a fonte de açúcar adicionada (pode ser açúcar invertido, açúcar refinado, açúcar demerara, açúcar mascavo, mel ou melado) e geram o gás carbônico necessário para que a cerveja fique devidamente carbonatada (DINSLAKEN, 2021).

O *priming* é feito, basicamente, dissolvendo o açúcar em água filtrada e fervida, geralmente em proporções de 1:2 (m:v). A quantidade adicionada em cada garrafa varia de acordo com o teor de gás carbônico que se deseja obter na cerveja e, conseqüentemente, como mencionado acima, varia de acordo com o estilo de cerveja que está sendo produzido. Além disso, há quem prefira adicionar a solução açucarada diretamente no maturador, o que também é possível.

Se for do interesse do cervejeiro responsável pela receita, nesta etapa do processo também pode-se fazer adição de frutas, café, especiarias, dentre outros aditivos, assim como foi mencionado na etapa de maturação.

Vale ressaltar que as garrafas, ou qualquer outro recipiente utilizado para envasar a cerveja, assim como as instalações, devem estar devidamente limpas e sanitizadas, para que não haja riscos de contaminação e a estabilidade e qualidade da bebida sejam garantidas (MORADO, 2017). Por fim, após envasar toda a cerveja produzida, basta deixar as garrafas armazenadas à temperatura ambiente ou refrigeradas em temperaturas próximas à temperatura de fermentação por cerca de 30 dias, para que a levedura consiga atuar e a carbonatação seja satisfatória (PALMER, 2006).

## 2.4 Estilo Red Ale

De acordo com o BJCP (*Beer Judge Certification Program*, 2015), a Red Ale é uma moderna cerveja irlandesa, de alta fermentação, coloração avermelhada, que apresenta sabores sutis e é agradável ao paladar. Essencialmente, trata-se de uma adaptação do estilo popular *English Bitter*, com menos lúpulo e um pouco de malte tostado para dar cor e secura. Geralmente, as cervejas desse estilo apresentam um suave dulçor inicial de caramelo/*toffee*, um paladar ligeiro de grãos e biscoito e um toque seco tostado no final. Trata-se de uma cerveja bastante maltada, pouco encorpada, com baixo ou nenhum aroma de lúpulo (MORADO, 2017).

Além disso, o estilo pode ser caracterizado por grandezas quantitativas, como a OG (*Original Gravity*), FG (*Final Gravity*), IBU (*International Bitterness Unit*), SRM (*Standard Reference Method*) e o ABV (*Alcohol by Volum*), que são medidas de densidade inicial, densidade final, amargor, cor e teor alcoólico da cerveja, respectivamente (CAPITÃO BARLEY, 2021).

Para o estilo Red Ale, a OG deve variar entre 1,036 e 1,046 g/cm<sup>3</sup> e a FG entre 1,010 e 1,104 g/cm<sup>3</sup>. O IBU deve estar entre 18 e 28. A cor da cerveja deve ser um âmbar médio a cobre

avermelhado, ou seja, o SRM deve estar entre 9 e 14, como mostra a Figura 4. E o ABV, por sua vez, deve estar entre 3,8 e 5,0% (BJCP, 2015).

Figura 4 - Classificação das cervejas quanto ao SRM.

MACRO DIVISÃO	SRM	TONALIDADE
Palha	2 - 3	
Amarelo	3 - 4	
Ouro	4 - 5	
Âmbar	6 - 9	
Profundo âmbar / cobre luz	10 - 14	
Cobre	14 - 17	
Profundo cobre/castanho claro	17 - 18	
Castanho	19 - 22	
Castanho Escuro	22 - 30	
Castanho muito escuro	30 - 35	
Preto	35 +	
Preto opaco	40+	

Fonte: Adaptado de Capitão Barley (2021).

Para a produção de cervejas desse estilo, é comum utilizar como malte base o Pale Ale, que possui uma cor mais escura e características de biscoito. Além disso, maltes especiais como Munique, Biscuit, Carared e Caramunich, e maltes torrados, como o Carafa, podem ser adicionados para ajustar o sabor e aroma, proporcionando um dulçor de caramelo e um final mais seco, respectivamente. A brassagem pode ser feita seguindo uma rampa única de temperatura, mantendo-a em torno de 67 °C por, aproximadamente, 60 minutos. Para o lúpulo, é recomendado o uso de lúpulos ingleses tradicionais, como Kast Goldings e Fuggles. Vale ressaltar que o lúpulo deve ser adicionado em pequenas quantidades, apenas para equilibrar o malte com o amargor. Quanto à etapa de fermentação, recomenda-se o uso de leveduras inglesas, de alta fermentação e mais neutras, para garantir que a atenuação seja completa (ACADEMIA ARTESANAL, 2019).

## 2.5 Café como aditivo de cerveja

O café é a quinta bebida mais consumida no mundo, ficando atrás da cerveja, que aparece em quarto lugar (APEX BRASIL, 2019). Não há registros oficiais de sua história, mas sabe-se que é uma planta nativa das regiões altas da Etiópia. Alguns autores afirmam que o consumo do café começou por volta do ano 575 d.C. Nessa época, os etíopes se alimentavam

do fruto. Porém, foi no Iêmen, região oeste da Arábia, onde o café começou a ser cultivado e teve sua produção restrita por muito tempo (GRÃO GOURMET, 2018).

Com o passar dos anos, a cultura cafeeira foi se expandindo. Os holandeses foram fundamentais na propagação da bebida pela Europa, nos anos de 1592. No Brasil, o café chegou em 1792, com as primeiras sementes e mudas plantadas em Belém e depois, Maranhão (DUARTE, 2015).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor de café do mundo. No ano de 2021, a produção cafeeira nacional ocupava uma área de 1,82 milhão de hectares, dos quais 1,45 milhão é destinado ao café arábica e 375,99 mil à espécie conilon. Minas Gerais é o maior estado produtor de café, correspondendo a 54% da área produtiva total, seguido do Espírito Santo, com uma área equivalente a 22% do total (EMBRAPA, 2021).

Além dos números, a tradição mineira no cultivo do café é destacada pela qualidade e excelência. Cidades do sul de Minas são mundialmente reconhecidas pelos muitos cafés *gourmets* e especiais que apresentam sabores e aromas inigualáveis. Os principais fatores apontados como responsáveis pelo sucesso da região são: a altitude, que influencia a qualidade dos grãos; o relevo plano-ondulado, que permite a mecanização dos processos; a qualidade do solo, que favorece o desenvolvimento dos grãos; e o clima, com chuvas abundantes no verão e um inverno seco, fundamental para o aumento da produtividade (DUARTE, 2017).

Além de ser uma bebida tradicionalmente consumida todos os dias, de várias maneiras, no mundo inteiro, o café ainda pode ser utilizado para outros fins, como por exemplo, para agregar aroma e sabor à cerveja. Já existem muitas cervejas no mercado que contêm café, ou remetem ao fruto. Normalmente, as cervejas mais usadas para receber o café são as mais escuras, como as Porters e Stouts, que por serem feitas com maltes torrados, já remetem ao café. Porém, a busca por novidades no mercado cervejeiro é crescente, sendo possível vislumbrar a combinação com cervejas de outros estilos, o que permite até mesmo obter maior complexidade, pois permite ter aroma e sabor de café em cervejas que originalmente não remetem a ele (CONCERVEJA, 2020).

Para que se tenha bons resultados com a adição do café na cerveja, é de fundamental importância trabalhar com grãos de boa qualidade, que apresentam torras mais claras. A moagem deve ser mais grosseira, apenas suficiente para aumentar um pouco a superfície de contato e, assim como a torra, deve ser realizada próxima ao dia da extração para adição na cerveja (BEER SCHOOL, 2021). Para minimizar perdas de sua qualidade, recomenda-se fazer a adição durante as etapas frias da produção cervejeira, ou seja, na maturação ou no envase, pois diminui a complexidade do processo e favorece a contribuição aromática (CONCERVEJA,

2020). Por outro lado, a adição do café nessas etapas apresenta um maior risco de contaminar a cerveja, pois não haverá mais esterilização do líquido, como acontece na etapa de fervura. Como mencionado anteriormente, o café do tipo arábica é predominante na produção brasileira, com destaque para o sul de Minas, devido à sua maior altitude, sendo este tipo o considerado ideal para adição na cerveja. Trata-se de um café mais frutado e cítrico, capaz de proporcionar aromas diferentes e especiais à bebida (BEER SCHOOL, 2021).

O café pode ser adicionado à cerveja em forma de grãos, dentro de um *hop bag*, ou como um extrato. Dentre diversas maneiras que existem para se preparar um extrato de café, há duas que podem ser destacadas. A primeira, é utilizar um fluxo de água quente sobre os grãos, que devem estar em moagem fina, para extrair suas propriedades. É uma prática realizada diariamente nos lares pelo mundo todo para se obter o popular café coado. Um adendo para este método é que, ao se utilizar a água já em ponto de fervura, a alta temperatura eleva o ponto de torra do café, o que pode modificar suas propriedades originais e elevar a acidez da bebida (BEER SCHOOL, 2021). A segunda maneira é uma técnica conhecida como *cold brew*, que como o nome sugere, é uma extração à frio. Devido ao menor potencial extrator da água fria em relação à água quente, neste método os grãos de café, moídos grosseiramente, precisam ficar em contato com a água por pelo menos 12 horas. Ao longo desse tempo prolongado de extração, alguns óleos e ácidos ficam retidos nos grãos, o que proporciona uma bebida suave, mais doce, de aroma intenso e com menor acidez no paladar (DUARTE, 2018). Para cafés especiais, o uso dessa técnica pode ressaltar sabores de chocolate, amêndoas e caramelo.

Para ambas as técnicas, faz-se necessário um processo de separação para que os grãos de café não estejam presentes na cerveja final. Assim, na extração com fluxo quente, pode-se colocar os grãos moídos em um papel filtro, a fim de que apenas a água seja transferida e forme o extrato, deixando o material particulado retido; já na extração à frio, após o tempo suficiente de imersão dos grãos, o extrato também pode ser filtrado por um papel filtro, para que seja possível separar as fases sólida e líquida.

### 3 METODOLOGIA

Para melhor compreensão do processo produtivo de cerveja e avaliação dos resultados, foram realizadas duas produções de cerveja Red Ale. A primeira aconteceu no dia 8 de novembro de 2021 e teve como objetivo testar a receita elaborada, os diferentes tipos de extração de café, os diferentes cafés e as dosagens. A segunda ocorreu no dia 5 de fevereiro de 2022 e a adição de café foi feita usando apenas a técnica de extração e a quantidade que pareceu mais satisfatória nas cervejas da primeira produção. As duas produções seguiram a mesma receita e procedimento e foram realizadas no módulo de produção do Núcleo de Estudos em Cerveja Artesanal (NucBeer), que fica no Laboratório de Engenharia das Reações Químicas, no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

A escolha pelo estilo Red Ale teve o intuito de avaliar a presença de café em uma cerveja mais clara que as comumente utilizadas em experimentos do tipo e ainda pode ser justificada pelas boas perspectivas de harmonização com os cafés que foram utilizados.

#### 3.1 Matérias-primas

O primeiro passo para a produção da cerveja foi a elaboração da receita e para isso foi utilizado o *software* BrewFather (2021). Para a escolha dos maltes, tomou-se como referência uma proporção de 80% de maltes base e 20% de maltes especiais. A fim de favorecer a coloração mais escura e obter características de biscoito e um sabor final tostado na cerveja, fez-se uma combinação dos maltes Pale Ale e Munique como base. Para proporcionar notas de caramelo/*toffee* e a cor mais avermelhada, foram usados os maltes especiais Carared, Melanoidina e Caramunique, e o malte torrado Carafa. Quanto ao lúpulo, buscou-se apenas balancear o dulçor do malte e atender às características do estilo, então a preferência foi pelos lúpulos ingleses tradicionais. Na primeira receita produzida, foi escolhido o lúpulo Challenger e na segunda, foi o Golding, devido à indisponibilidade do outro no fornecedor e à similaridade de ambos. Em relação à levedura, a preferência também foi pela US-05, uma levedura do tipo *Ale*, que por ser mais neutra, produz menos ésteres e sabor frutado, possibilitando obter uma cerveja com um aroma mais limpo para valorizar a posterior adição do café.

A Tabela 2 apresenta as quantidades utilizadas de cada insumo e os seus respectivos valores, considerando duas produções de 20 litros de cerveja cada uma. A receita completa, elaborada no BrewFather (2021), está disponível no APÊNDICE A.

Tabela 2 - Matérias-primas e orçamento para as produções.

<b>Insumo</b>	<b>Quantidade (kg)</b>	<b>Preço Médio</b>
Malte Pale Ale Agrária	4,5	R\$ 43,99
Malte Carared	0,5	R\$ 8,68
Malte Munich II	0,5	R\$ 8,68
Malte Chateau Melano	0,25	R\$ 3,40
Malte Caramunich I	0,15	R\$ 2,33
Malte Carafa I	0,05	R\$ 0,78
Lúpulo Challenger	0,025	R\$ 9,25
Lúpulo US-Golding <sup>1</sup>	0,04	R\$ 13,38
Levedura Fermentis US-05	0,0115	R\$ 24,90
<b>Total para produção 1</b>		<b>R\$ 102,00</b>
<b>Total para produção 2</b>		<b>R\$ 106,13</b>

Fonte: Da autora (2022).

Todos os itens descritos na Tabela 2 foram adquiridos no Ao Cervejeiro, um *brew shop* localizado na cidade de Lavras-MG.

Com o intuito de valorizar a conceituada produção regional de café, e para dar um toque singular à cerveja, foram escolhidos dois tipos de café especial, um fermentado e outro não-fermentado, ambos da espécie arábica, de torra média e oriundos da Fazenda Serra Negra, localizada no município de Ingaí, no sul de Minas Gerais.

O café especial fermentado apresenta sabor frutado, notas de caramelo e uma finalização doce e persistente. Já o café especial não-fermentado, tem como características um sabor de caramelo e chocolate, notas de amêndoas e finalização limpa e delicada (FAZENDA SERRA NEGRA, 2021). Para o trabalho, foram adquiridos 1 kg de cada tipo de café, sendo que cada quilograma custou R\$40,00.

### 3.2 Unidade experimental

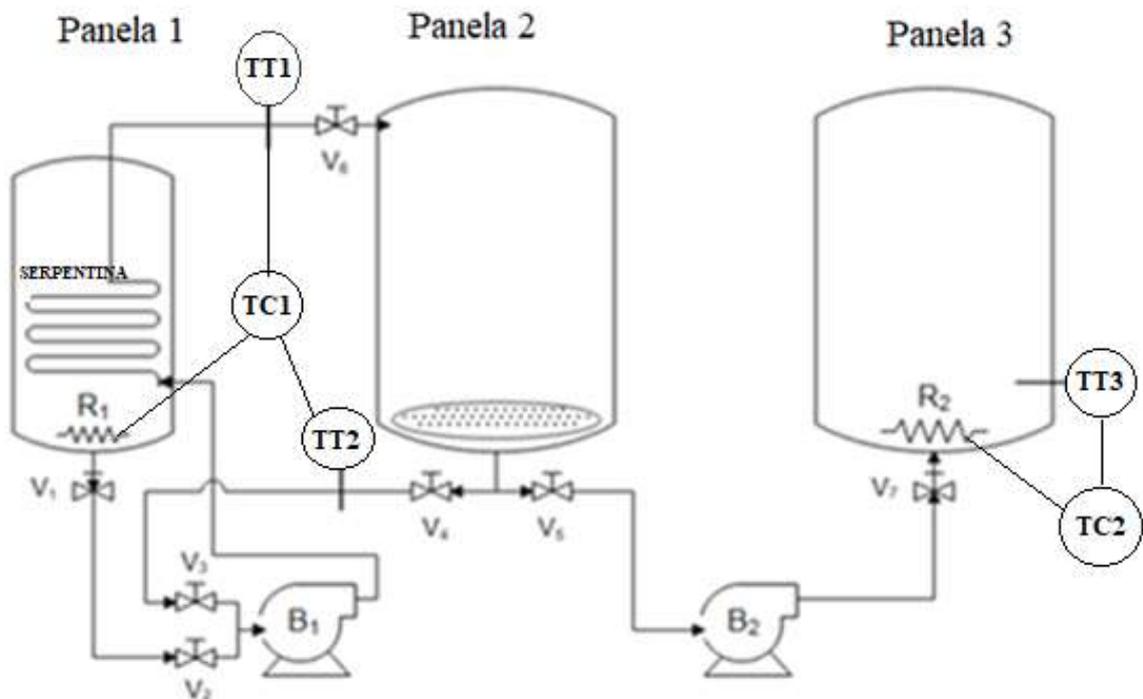
O sistema de produção do módulo utilizado é do tipo HERMS (*Heat Exchanged Recirculating Mash System*), que é constituído de três painéis em inox com funções específicas e realiza o aquecimento do mosto de forma indireta, por recirculação, sendo uma opção mais segura pois evita a caramelização.

Basicamente, como mostra a Figura 5, o módulo em questão consiste em uma primeira panela de 32 L, com válvulas, que atua como um reservatório de água quente para o processo; uma segunda panela de 48 L, com válvulas, fundo falso e chuveiro, na qual acontece a

<sup>1</sup> Trata-se do único ingrediente da segunda produção que foi diferente da primeira.

brassagem; e uma terceira panela, também de 48 L, com válvula, na qual acontece a fervura do mosto (CAMPOS, 2017).

Figura 5 - Ilustração de um módulo produtivo do tipo HERMS.



Fonte: Adaptado de Fernandes (2021).

Além das três painéis, o módulo conta com uma serpentina na panela 1, para recirculação, e, conseqüentemente, para o aquecimento do mosto; duas bombas para auxiliarem no processo de transferência dos líquidos; duas resistências elétricas, uma para aquecer a água na panela 1 e a outra, para ferver o mosto na panela 3; um *hop bag* para adição de lúpulo; algumas mangueiras atóxicas para fazer as conexões; dois controladores de temperatura; e um trocador de calor de placas, para o resfriamento do mosto. Para que seja possível avaliar a sacarificação do amido e fazer medições de densidade e grau brix do mosto (teor de açúcar), também há uma placa de porcelana para teste de iodo, solução de iodo 2% e um refratômetro. Para a etapa de fermentação, fase fria do processo, têm-se dois fermentadores de 50 L; um balde fermentador de 20 L; dois *airlocks*, para acompanhamento da geração de gás carbônico no processo; torneiras com redutores de sedimento; dois poços termostáticos para medição de temperatura; e dois refrigeradores. Para o envase, há tampas e um tampador de garrafas.

Em cada uma das painéis há um espaço que fica entre o seu fundo e a válvula por onde é extraído o líquido, que é chamado de volume morto e precisa ser considerado nos cálculos para não prejudicar o volume final da produção (DISNLAKEN, 2016). Os volumes mortos

estimados para as panelas 1, 2 e 3 do módulo em questão são 2,15 L, 3,27 L e 3,39 L, respectivamente (FERNANDES, 2021).

Segundo Fernandes (2021), para cada uma das três panelas tem-se uma equação de calibração que relaciona o volume com a altura de líquido correspondente. Essas relações são dadas pelas Equações 1, 2 e 3 para as panelas 1, 2 e 3, respectivamente. Sendo o volume dado em litros (L) e a altura em centímetros (cm), a qual é aferida com o auxílio de uma régua de metal.

$$H = 1,0834 V + 0,711 \quad (1)$$

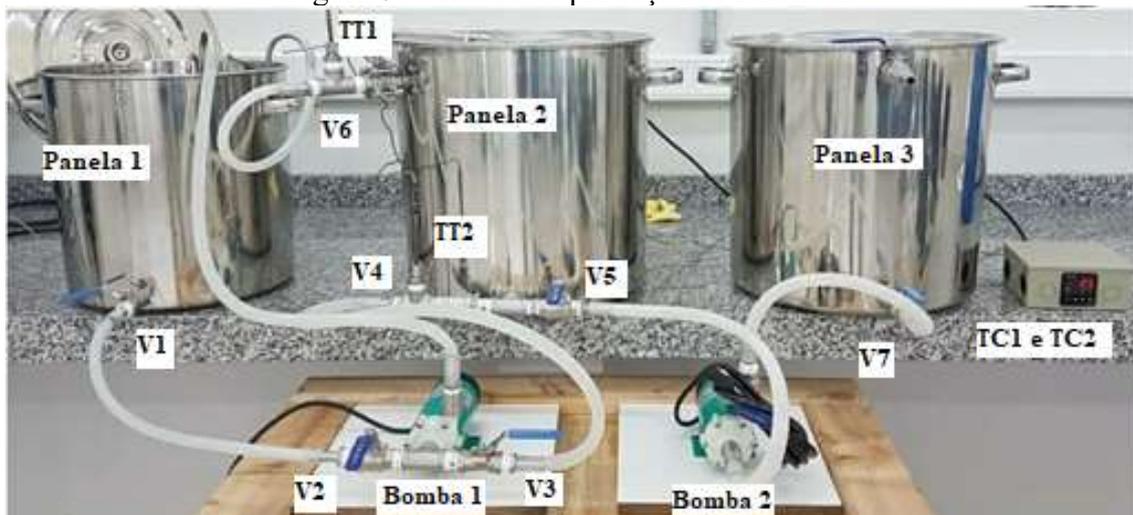
$$H = 0,8486 V - 5,7209 \quad (2)$$

$$H = 0,8228 V - 0,3601 \quad (3)$$

### 3.3 Produção da cerveja

Com as panelas e acessórios previamente limpos, fez-se a montagem do módulo como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Módulo de produção do NucBeer.



Fonte: Adaptado de NucBeer (2021).

Antes de iniciar a produção, fez-se sanitização de todos os equipamentos e acessórios, sendo essa uma etapa fundamental para a obtenção de uma boa cerveja. Para isso, misturou-se

ácido peracético em água, na proporção de 1 ml/L, e a solução foi passada por todas as painelas e acessórios com o auxílio das bombas e mangueiras, deixando a solução em contato com cada item por aproximadamente 15 minutos.

Com o módulo de produção devidamente sanitizado, pode-se seguir para a próxima etapa, que é a brassagem propriamente dita. Os maltes já foram adquiridos moídos, então o próximo passo foi colocar água na panela 1 e ligar a resistência elétrica de 3000 W, ajustando o *set point* do controlador para 71 °C. É importante buscar alcançar uma temperatura inicial um pouco maior do que a temperatura de brassagem, pois quando é colocado o malte, este está à temperatura ambiente e faz com que a temperatura da água diminua.

Neste momento, também deve acontecer uma etapa secundária, mas muito importante, que é o ajuste da água. A química da água interfere muito no sabor e no aroma da cerveja final, por isso é fundamental ajustá-la para obter as características desejadas (MORADO, 2017). A água utilizada neste trabalho já é filtrada e livre de cloro, pois ela passa por dois filtros de carvão ativado, um filtro de 5 micras e outro de 1 micra. Segundo Morado (2017), a presença do cloro na água cervejeira pode conferir aromas fenólicos (cheiro de esparadrapo) à cerveja. Por conseguinte, apenas fez-se a adição de alguns sais para obter uma água mais adequada para o processo cervejeiro, priorizando os cloretos em relação aos sulfatos para destacar a presença do malte, forte característica do estilo Red Ale. As quantidades necessárias foram calculadas utilizando a planilha *EZ Water Calculation*, apresentada no Apêndice B (EZ WATER CALCULATOR, 2021).

Assim, foram adicionadas 2,17 g de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ), 3,6 g de Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), 2,2 g de sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ) e 0,85 g de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ). A presença do cálcio, além de contribuir com a clarificação, aroma e estabilidade da cerveja final, é importante para algumas reações de leveduras, enzimas e proteínas. O magnésio também é um nutriente da levedura, mas deve estar em pequenas concentrações para não conferir um sabor amargo à cerveja. O sódio e o íon cloreto arredondam e acentuam o dulçor da cerveja, enquanto os íons sulfato destacam o amargor do lúpulo (PALMER, 2006).

Com a água ajustada, foram transferidos, aproximadamente, 22 L para a panela 2 e iniciou-se a recirculação. No momento que TT1 e TT2 (Figura 5) indicaram que a temperatura atingiu 71 °C, adicionou-se o malte moído na panela e o *set point* foi ajustado para 69 °C, temperatura escolhida para a brassagem.

A recirculação, para aquecimento indireto do mosto, se manteve até o fim da brassagem e foi aproximadamente 60 minutos. Ao longo do tempo, a mistura foi agitada com o auxílio de uma colher para melhorar a extração e para manter a temperatura constante e não deixar com

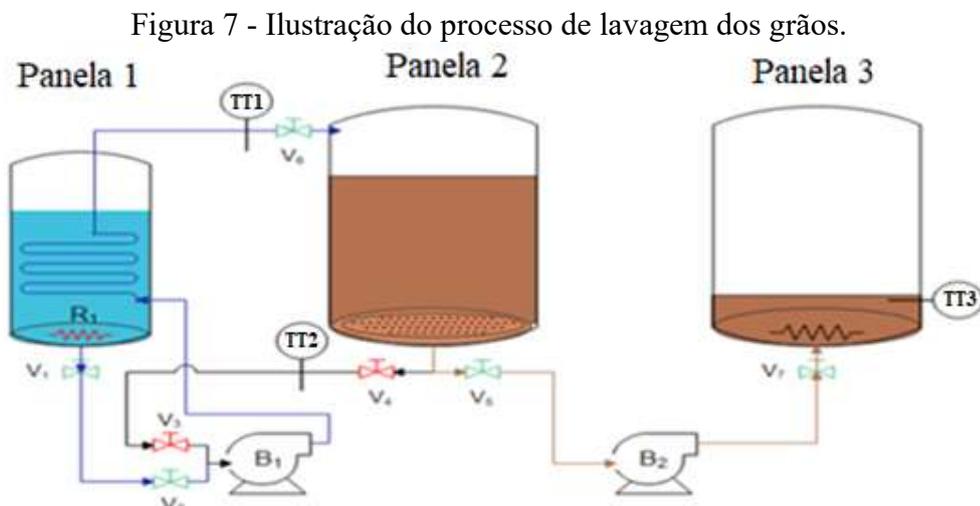
que as cascas do malte dificultassem a recirculação. A cada 15 minutos foi colhida uma amostra do mosto com uma pipeta para fazer a medição da densidade e grau brix com o refratômetro e o teste de iodo, a fim de avaliar o processo de sacarificação.

Vale ressaltar que as medições de densidade também podem ser feitas com o uso de um densímetro, como descrito no Apêndice C, Seção C.3, mas neste caso o uso do refratômetro foi preferido pela praticidade e por demandar um volume de amostra menor em relação ao uso do densímetro.

O teste de iodo consiste em pingar uma gota da amostra do mosto na placa de porcelana, juntamente com uma gota da solução de iodo 2%. Se ainda houver amido a ser convertido no mosto, haverá uma reação química e a coloração ficará escura. Se não houver amido para reagir, ou seja, se a conversão estiver completa, a cor fica alaranjada, como da solução de iodo pura. Portanto, a cor alaranjada, que aparece, geralmente após 60 minutos do início da brassagem, indica que esta etapa está finalizada.

A próxima etapa é realizar o *mash out*, que é a inativação das enzimas após ter obtido a conversão completa do amido. Para isso, o *set point* do controlador foi ajustado para 75 °C e o mosto foi mantido nesta temperatura por aproximadamente 10 minutos. Passado esse tempo, mediu-se novamente a densidade e o grau brix do mosto com o refratômetro.

Após o *mash out*, ocorre a etapa de lavagem e a transferência do mosto para a terceira panela. Então, acionou-se a segunda bomba e iniciou-se a transferência do mosto da segunda panela para a terceira. Aqui, vale ressaltar que a vazão de transferência deve ser baixa para que não ocorra a formação de espuma na panela de fervura. Quando boa parte do mosto já estiver na panela de fervura, inicia-se o processo de lavagem dos grãos (*sparge*), como ilustra a Figura 7.



Fonte: Adaptado de Fernandes (2021).

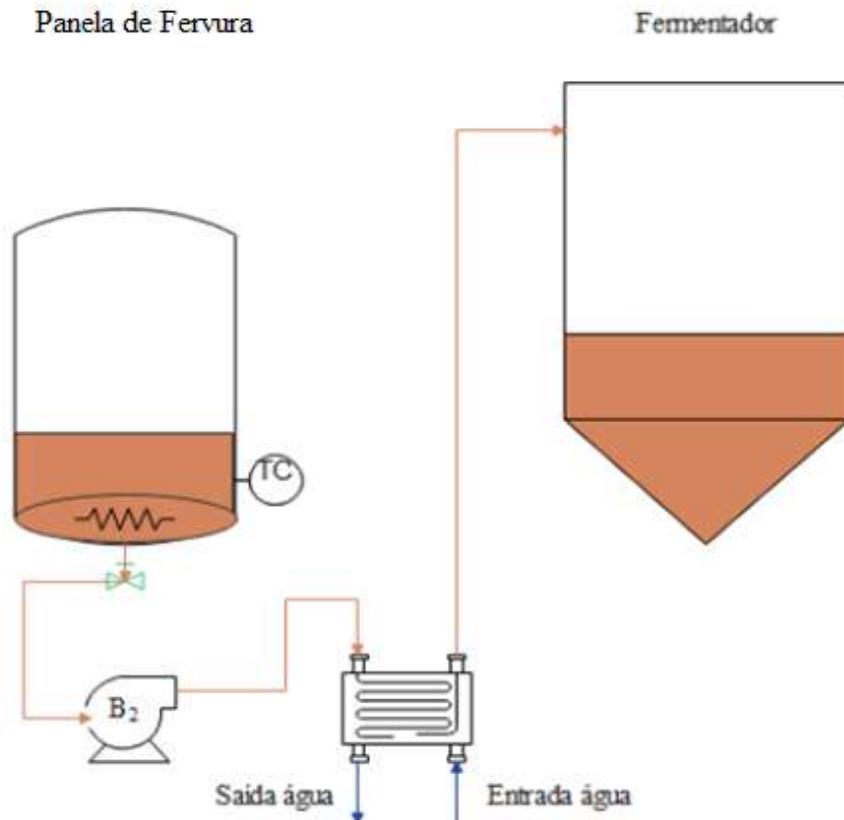
A primeira bomba foi então acionada para transferir cerca de 25 L de água da panela 1, que se encontra à aproximadamente 75 °C, para a panela 2 (fluxo em azul na Figura 7), na qual cai sobre os grãos através de um disco aspersor, totalizando o consumo de 46,4 L de água, como apresentado no Apêndice A. Essa lavagem dos grãos ocorre enquanto o mosto continua sendo transferido para a panela de fervura, como mostra o fluxo em marrom na Figura 7. A etapa de lavagem acontece até que a terceira panela atinja o volume final desejado, no caso, 37,17 L. Após completar este volume, faz-se novamente uma medição da densidade e do teor de açúcar, a fim de verificar a densidade do mosto pré-fervura.

Por fim, tem-se a fervura do mosto, a última fase da etapa quente do processo. Então, liga-se a resistência de 5000 W, que se encontra na panela 3, e o *set point* é ajustado para 100 °C no controlador onde fica o sensor TT3, conforme a Figura 5. Passados alguns minutos, a fervura se estabelece e, neste momento, inicia-se a contagem dos 60 minutos e é feita a adição do lúpulo de amargor no *hop bag*. Como a cerveja produzida não é uma cerveja que tem a presença do lúpulo em destaque, é feita apenas essa adição.

Terminada a fervura, faz-se novamente a medição da densidade, para posterior comparação e monitoramento na etapa de fermentação. Com uma colher, realiza-se o *whirlpool*, fazendo movimentações circulares.

A próxima etapa é o resfriamento. Para isso, utiliza-se um trocador de calor de 30 placas, que conectado por uma mangueira à torneira do laboratório, tem como fluido refrigerante água à temperatura ambiente. Como ilustra a Figura 8, a bomba é acionada, fazendo com que o mosto saia da panela de fervura, passe pelo trocador de calor, tendo sua temperatura diminuída a aproximadamente 30 °C e, então, é transferido ao fermentador. Aqui, novamente, é importante trabalhar com vazões mais baixas para que a troca térmica seja eficiente.

Figura 8 - Representação da etapa de resfriamento do mosto.



Fonte: Adaptado de Fernandes (2021).

Simultaneamente a essa etapa, deve-se fazer a hidratação da levedura, seguindo uma proporção de 10 ml de água para cada grama de levedura utilizada. O pacote de levedura adquirido contém 11,5 g, logo, 115 ml de água filtrada foram colocados em um erlenmeyer e aquecidos no micro-ondas até a fervura, para fins de esterilização. Em seguida, usou-se banho-maria para resfriar essa água até uma temperatura próxima a 38 °C, para que não houvesse risco de perda da levedura. Atingida a temperatura limite, o pacote de leveduras foi despejado no erlenmeyer, a mistura foi homogeneizada com uma agitação bem suave e foi deixada em repouso por alguns minutos, para a hidratação completa e continuação do resfriamento até a temperatura ambiente. Vale lembrar que esta é uma etapa bastante crítica do processo, pois qualquer contaminação pode ser crucial para a etapa de fermentação, então é importante tampar o erlenmeyer para que não fique em contato direto com o ar e com possíveis microrganismos.

Após transferir todo o mosto para o fermentador, inocula-se a levedura hidratada e inicia-se a etapa de fermentação. A solução contida no erlenmeyer é então despejada lentamente no fermentador, para evitar a aeração excessiva do mosto, que depois é tampado e levado à geladeira, com uma temperatura controlada de 18 °C.

Feito esse procedimento, o mosto está pronto para ser transformado em cerveja pelas leveduras. Nos dias seguintes, foram feitas medições da densidade e do teor de açúcar para controle do processo. Para saber se a fermentação terminou, deve-se observar a atenuação da levedura, que se refere à porcentagem de açúcares que foram convertidos em álcool e gás carbônico. Para mensurar a atenuação, mede-se a densidade da cerveja em um dia e após 24 horas, faz-se novamente uma medição. Se não houver alterações, é um indicativo de que a fermentação terminou (LARA, 2018).

No dia que se observou a atenuação da levedura, a temperatura foi elevada para 19 °C, e nos três dias consecutivos foi aumentado mais 1 °C, até atingir a temperatura de 22 °C. Então, a cerveja foi mantida em 22 °C por 7 dias e, no oitavo dia, realizou-se um procedimento conhecido como *trasfega*, transferindo todo o líquido para um segundo fermentador, com a finalidade de retirar resíduos excessivos da levedura e tornar a cerveja final mais limpa.

Esse processo foi feito apenas utilizando uma mangueira e a ação da gravidade. O segundo fermentador foi devidamente sanitizado e a transferência foi feita lenta e cautelosamente, para que não houvesse oxigenação do mosto e nem contaminações no processo. Ao final, o segundo fermentador foi colocado na geladeira à uma temperatura de 0 °C, iniciando uma fase conhecida como *cold crash*, que nada mais é do que a redução rápida da temperatura após a fermentação, para fazer com que as proteínas e restos de levedura decantem e a cerveja fique mais limpa (CENTRAL BREW, 2019).

Passados cinco dias do início do *cold crash*, a cerveja estava pronta para ser carbonatada e envasada. Então, para fornecer gás carbônico (CO<sub>2</sub>) à cerveja, foi realizado o *priming*. A solução açucarada foi feita colocando 122 g de açúcar cristal e 244 ml de água filtrada e aquecida em béquero, obtendo uma proporção de 1:2 (m:v). As garrafas foram lavadas com água e sabão e sanitizadas com álcool 70%. Para as garrafas de 600 ml, foram colocados 7 ml de *priming* em cada uma. Já para *long necks* de 330 ml, foram colocados 3,85 ml do *priming*. A adição foi feita usando uma seringa.

Para adicionar o café, foi feita a extração à frio, pela técnica *cold brew*, um dia antes do envase. Então, foram colocados em um béquero 600 ml de água e 129 g de grãos do café fermentado moídos grosseiramente e a solução foi deixada na geladeira por quase 24 horas. O mesmo procedimento foi feito para o café não-fermentado. No dia seguinte, as duas soluções foram filtradas através de papel filtro, a fim de separar os grãos da fase líquida, usada para a adição na cerveja. A extração do café com fluxo quente, que foi testada na primeira produção, foi feita despejando-se em um béquero com papel filtro 500 ml de água a uma temperatura em torno de 90 °C sobre 40 g de grãos de café em moagem fina. Assim, o material particulado

ficou retido e apenas o extrato foi coletado no béquer. Esse procedimento foi feito para os dois tipos de café.

A escolha desses dois métodos de extração se deu a partir de testes preliminares que foram feitos de forma menos precisa, alguns meses antes dos experimentos em laboratório, conforme explicado no APÊNDICE D.

Algumas garrafas foram envasadas apenas com a cerveja, em outras foi adicionada a solução resultante da extração do café fermentado e nas restantes, a solução resultante da extração do café não-fermentado. Para as garrafas de 600 ml foram adicionados 30 ml da solução de café e nas *long necks*, 16,5 ml. Estas adições também foram feitas usando seringa.

Após o envase e carbonatação, as garrafas foram armazenadas na geladeira a uma temperatura em torno de 19 °C. Esperou-se em torno de 30 dias para se obter um teor de CO<sub>2</sub> satisfatório.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como foi mencionado na Capítulo 3, foram realizadas duas produções de cerveja Red Ale. A primeira teve o intuito de testar a receita, conhecer o módulo de produção, as técnicas de extração do café, os diferentes tipos de café e a quantidade. Já a segunda, possibilitou compreender melhor o processo produtivo da cerveja, minimizar as falhas que ocorreram na primeira produção e validar a adição do café, a partir da técnica que foi considerada melhor.

Como as duas produções seguiram o mesmo processo, ambas tiveram início com a sanitização dos equipamentos e acessórios. Em seguida, colocou-se a água para aquecer na panela 1 e aguardou o tempo necessário para que a temperatura do *set point*, 71 °C, fosse atingida. Quando a temperatura chegou no valor adequado, fez-se a transferência do volume de água requerido para a panela 2 e esperou-se alguns minutos até a temperatura se estabilizar.

Nesse momento, na primeira produção, o controlador apresentou algumas oscilações não esperadas. No entanto, como não se tinha conhecimento de problemas com o equipamento, o processo foi seguido e, quando a temperatura alcançou cerca de 71 °C, foram colocados os maltes, conforme mostra a Figura 9, e agitou-se a mistura com uma colher para homogeneização.

Figura 9 - Adição dos maltes.



Fonte: Da autora (2022).

Comumente, a adição do malte faz com que a temperatura diminua um pouco, mas isso não ocorreu e o controlador chegou a marcar uma temperatura de 75 °C. Conforme apresentado na Tabela 1, esta temperatura é capaz de inativar as principais enzimas responsáveis pela sacarificação do amido, o que de fato deve ter ocorrido.

Como foi descrito na Seção 3.3, ao longo da brassagem foram feitas medições da densidade e do teor de açúcar do mosto. O pH do mosto não foi monitorado porque comumente se encontra dentro da faixa ideal para o processo, devido à acidez dos maltes.

Os resultados das medições de densidade e grau brix para a primeira e segunda produção estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Medições de densidade e teor de açúcar no mosto.

<b>Tempo (min)</b>	<b>Densidade 1<sup>a</sup> produção (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Brix (°Brix)</b>	<b>Densidade 2<sup>a</sup> produção (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Brix (°Brix)</b>
15	1,040	10,2	1,016	6,0
30	1,047	12,1	1,034	8,8
60	1,060	15,2	1,042	10,8
90	1,065	16,9	-	-

Fonte: Da autora (2022).

Observando a Tabela 3, percebe-se que os valores aumentam à medida que a brassagem vai acontecendo, o que é esperado, mas pode-se ver uma diferença significativa entre as duas produções. Um fator que justifica essa diferença é a quantidade de água que foi usada em cada brassagem. Na segunda produção, foram usadas maiores quantidades de água, a fim de compensar os volumes mortos das panelas 1 e 2. No entanto, o *software*, no qual foi elaborada a receita, já forneceu os volumes de água considerando esses valores de perda, o que levou a um excesso de água e, assim, um mosto mais diluído, o que provavelmente prejudicou o rendimento da brassagem. Contudo, cabe ressaltar que, ao final do processo, essa diferença entre as produções não deve ser significativa, já que na etapa de fervura é feita uma correção do volume, adicionando água de lavagem, com base no volume pós-fervura apresentado na receita da cerveja (APÊNDICE A).

Além disso, pela Tabela 3, pode-se ver que a primeira brassagem teve uma duração maior e isso foi porque, ao atingir 60 minutos, o teste de iodo ainda apresentou coloração bastante escura, indicando que havia amido presente no mosto. Porém, mesmo aos 90 minutos de cozimento, ao realizar outro teste de iodo, foi possível constatar que o amido não foi completamente convertido, evidenciando o fato de que as enzimas responsáveis pela conversão foram inativadas quando a temperatura subiu descontroladamente, conforme mencionado

anteriormente. Quando o amido é totalmente convertido, a coloração da amostra durante o teste de iodo deve ficar mais clara, com uma coloração alaranjada, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Teste de iodo realizado na segunda produção.



Fonte: Da autora (2022).

No entanto, foi dada sequência na produção, visando compreender o sistema produtivo. Após a brassagem fez-se o *mash out* e, em seguida, a lavagem dos grãos (Figura 11).

Figura 11 - Etapa de lavagem dos grãos (Sparge).



Fonte: Da autora (2022).

Finalizada a lavagem e ajustado o volume de mosto com base na receita, antes de iniciar a fervura do mosto, fez-se uma nova medição de densidade e os valores foram de  $1,032 \text{ g/cm}^3$

e  $1,033 \text{ g/cm}^3$  para a primeira e segunda produção, respectivamente, comprovando o ajuste de volume feito anteriormente. Em seguida, no início da fervura, foi feita a adição do lúpulo de amargor. Na primeira produção foram adicionados 25 g do lúpulo Challenger e na segunda, 40 g do lúpulo US – Golding. A diferença nas quantidades de lúpulo adicionadas é explicada pela diferença do teor de alfa-ácido entre eles. O Challenger possui um teor mais alto, igual a 8,4%, já o Golding apresenta um teor de 5,1%. Assim, uma pequena quantidade do primeiro já é capaz de conferir o amargor necessário para o estilo produzido. A Figura 12 mostra a fervura acontecendo e o *hop bag* onde foram adicionados os lúpulos.

Figura 12 - Etapa de fervura do mosto.



Fonte: Da autora (2022).

Terminada a fervura, novamente mediu-se a densidade e o teor de açúcar do mosto, encontrando  $1,037 \text{ g/cm}^3$  e, aproximadamente,  $9,3 \text{ }^\circ\text{Brix}$  para a primeira produção, e  $1,035 \text{ g/cm}^3$  e, aproximadamente,  $9,0 \text{ }^\circ\text{Brix}$  para a segunda. Esses valores correspondem à densidade inicial da cerveja (OG), isto é, a densidade que ainda é relativa ao mosto, antes da fermentação acontecer. Como mencionado na Seção 2.4, para o estilo Red Ale, a OG deve variar entre  $1,036$  e  $1,046 \text{ g/cm}^3$ , logo, os valores obtidos experimentalmente podem ser considerados satisfatórios, aproximadamente iguais ao limite inferior da faixa de valores mencionada, visto que as diferenças não são significativas, apresentando um erro de 0,1%, conforme os cálculos feitos pela Equação 4.

$$\text{Erro (\%)} = \frac{|\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}|}{\text{Valor teórico}} \times 100 \quad (4)$$

Antes de seguir com o resfriamento e transferência do mosto para o fermentador, fez-se o redemoinho (*whirlpool*) na panela de fervura, a fim de separar o *trub*. Em outras palavras, a finalidade é fazer com que as partículas mais pesadas, predominantemente proteínas, decantem na panela (Figura 13), resultando em um mosto mais límpido e contribuindo para uma cerveja sem compostos indesejados posteriormente.

Figura 13 - *Trub* formado na primeira produção de Red Ale.



Fonte: Da autora (2022).

Como mostra a Figura 13, o *trub* pôde ser observado no volume morto, após a transferência do mosto para o fermentador, pois foi formada uma quantidade significativa e de fácil identificação, pela diferença na coloração.

Por fim, o mosto foi resfriado usando um contrafluxo com água corrente à temperatura ambiente no trocador de calor de placas e transferido para o fermentador. Fez-se a hidratação da levedura e sua inoculação no mosto, conforme descrito na Seção 3.3, e o fermentador foi colocado no refrigerador, conforme mostra a Figura 14, com o *set point* ajustado para 18 °C.

Figura 14 - Etapa de fermentação.



Fonte: Da autora (2022).

Nos dias seguintes, foram feitas medições da densidade e do teor de açúcar para acompanhar e avaliar o processo. A presença do álcool, que é produzido nesta etapa, distorce a leitura da refração no refratômetro, por isso, foi necessário usar uma relação para corrigir o valor da densidade que é medido. Essa relação é dada pela Equação 5, sendo  $OB$  o valor do brix original, medido após a fervura e  $FB$  o valor do brix final, medido durante a fermentação (LAMAS BREW SHOP, 2014).

$$FG = 1,001843 - 0,002318 \times OB - 0,000007775 \times OB^2 - 0,000000034 \times OB^3 + 0,00574 \times FB + 0,00003344 \times FB^2 + 0,000000086 \times FB^3 \quad (5)$$

Os resultados dos valores medidos e corrigidos estão apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Densidade e teor de açúcar na fermentação da primeira produção.

<b>Tempo (dia)</b>	<b>Densidade Medida (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Brix (°Brix)</b>	<b>Densidade Corrigida (g/cm<sup>3</sup>)</b>
1	1,035	9,0	1,032
2	1,035	9,0	1,032
3	1,027	7,0	1,020
4	1,027	7,0	1,020

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 5 - Densidade e teor de açúcar na fermentação da segunda produção.

<b>Tempo (dia)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Brix (°Brix)</b>	<b>Densidade Corrigida (g/cm<sup>3</sup>)</b>
1	-	-	-
2	1,011	5,0	1,009
3	1,011	5,0	1,009

Fonte: Da autora (2022).

Analisando os dados dispostos nas Tabelas 4 e 5, observou-se uma diferença significativa entre as duas produções. Provavelmente, como a temperatura da primeira brassagem atingiu cerca de 75 °C, a enzima que teve maior atuação na sacarificação do amido foi a alfa-amilase, pois conforme a Tabela 1, ela é inativada em temperaturas maiores que 75 °C. Logo, como sua atuação pode gerar moléculas fermentescíveis e não-fermentescíveis, como mencionado na Seção 3.3, deve-se ter tido uma proporção maior de açúcares não-fermentescíveis em relação aos fermentescíveis, o que levou as leveduras a ficarem com pouco substrato para realizar seus metabolismos, ou seja, a fermentação aconteceu em menor intensidade do que inicialmente projetado, resultando em um baixo percentual de açúcares convertidos em álcoois, isto é, uma baixa atenuação, o que pode ser validado comparando os valores da Tabela 4 com o valor de OG correspondente, que foi de 1,037 g/cm<sup>3</sup>. Por outro lado, na segunda produção, entende-se que ocorreu a conversão completa do amido, por conseguinte, houve uma quantidade maior de açúcar para ser transformado em álcool e gás carbônico pela levedura, por isso o processo de fermentação foi satisfatório, conforme mostra a Tabela 5.

A atenuação da levedura é quantificada quando a densidade se torna constante. Na primeira produção, a atenuação demorou 4 dias para acontecer, já na segunda produção, foram 3 dias. Essa densidade é chamada de densidade final da cerveja (FG). Pelas Tabelas 4 e 5, tem-se que a FG para a primeira e segunda cerveja é 1,020 g/cm<sup>3</sup> e 1,009 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Para cervejas do estilo Red Ale, como consta na Seção 2.4, a FG deve estar entre 1,010 e 1,014 g/cm<sup>3</sup>. Assim, comparando estes com os valores experimentais, percebe-se o quanto a FG da primeira cerveja está alta e distante do intervalo desejado, o que valida a conclusão de que pouco açúcar foi fermentado, sendo aquém ao esperado. Já o resultado para a segunda cerveja

é condizente com o esperado, o valor ficou bem próximo ao limite inferior do intervalo mencionado e confirma que foi possível minimizar os erros em relação à primeira produção.

O teor alcoólico estimado para a cerveja (ABV) está diretamente relacionado à sua densidade, como indica a Equação 6 (CAPITÃO BARLEY, 2021).

$$ABV (\%) = 131,25 \times (OG - FG) \quad (6)$$

Considerando os valores de OG e FG mencionados acima e fazendo os cálculos, tem-se que a primeira cerveja produzida apresentou um teor estimado de 2,2% de álcool, enquanto a segunda, apresentou um teor alcoólico estimado igual a 3,4%. Como também mencionado na Seção 2.4, o ABV para uma Red Ale varia entre 3,8 e 5,0%. Então, comparando com os valores quantificados na prática, pode-se perceber que ambas as cervejas não atenderam a esse parâmetro. Como era de se esperar, a primeira cerveja contém uma quantidade pequena de álcool, pois não houve uma fermentação intensa e, portanto, a produção de etanol foi baixa. Já a segunda, teve um resultado melhor e próximo à expectativa do estilo, mas o valor ainda foi baixo, em decorrência da baixa eficiência do processo.

Até essa etapa, já se tem uma cerveja pronta. No entanto, para que as características sensoriais e visuais fossem aprimoradas, iniciou-se a fase de maturação ou fermentação secundária. A partir do quarto dia de fermentação, a temperatura do refrigerador foi elevada em 1 °C por 4 dias, até atingir 22 °C, temperatura na qual foi mantido por 7 dias. Após esse período, foi feita a trasfega, ou seja, a cerveja foi transferida para um segundo fermentador para ser separada dos resíduos da fermentação. Apesar de se tratar de um procedimento bastante delicado em razão dos riscos de contaminação e oxidação, não houve ocorrência de incidentes nesta etapa em ambas as produções e foi possível obter cervejas mais limpas.

Cabe ressaltar que diversos cervejeiros caseiros optam pela não realização da trasfega, para não exporem suas cervejas aos riscos de contaminação e oxidação. Porém, quando esta é feita, percebe-se uma diminuição significativa de resíduos nas garrafas de cerveja, pois quando há muito resíduo presente, é possível visualizar muitas manchas esbranquiçadas nelas.

A etapa seguinte é o *cold crash*, uma segunda fase da maturação com duração de pelo menos 5 dias. Nesta fase, o segundo fermentador foi colocado no refrigerador (Figura 15) à 0 °C, para favorecer a decantação de proteínas restantes e restos de leveduras e, assim, a clarificação da cerveja. Na primeira produção, esta etapa se estendeu por, aproximadamente, 60 dias e na segunda, por 30 dias.

Figura 15 - Maturador após a trasfega.



Fonte: Da autora (2022).

A Figura 16 corresponde a uma amostra da cerveja após o *cold crash* e antes da carbonatação e envase. A coloração avermelhada ficou condizente com o estilo Red Ale e percebe-se que a cerveja ficou límpida e reluzente em virtude dos cuidados com sua clarificação desde a brassagem até a maturação.

Figura 16 - Cerveja Red Ale maturada.



Fonte: Da autora (2022).

Finalmente, foi o momento de carbonatar e envasar (Figura 17) a cerveja. Neste trabalho, foi também a hora de fazer a adição do café. A carbonatação e envase foram feitos de forma semelhante para as duas produções, de acordo com o que é explicado na Seção 3.3. Nas garrafas de 600 ml, foram adicionados 7 ml do *priming* e 30 ml do extrato de café; enquanto nas *long necks*, de 330 ml, adicionou-se 3,85 ml de *priming* e 16,5 ml do extrato de café.

Figura 17 - Envase da cerveja Red Ale.



Fonte: Da autora (2022).

Em relação à adição do café, a primeira produção foi um teste para avaliar os diferentes métodos de extração, os diferentes cafés e a dosagem. Para os dois tipos de café, fermentado e não-fermentado, foram testadas a extração com fluxo quente e o *cold brew*, extração à frio. Além disso, foi feita uma variação da quantidade adicionada, a fim de analisar qual quantidade seria mais adequada. As duas técnicas de extração se mostraram boas para ambos os cafés, obteve-se uma boa harmonização café – Red Ale de ambos. No entanto, o *cold brew* resultou em um café mais destacado e menos amargo, o que ressaltou mais e de forma mais equilibrada sua presença na cerveja.

Assim, apesar de ambas as técnicas terem apresentado bons resultados, a extração à frio se destacou, conforme mencionado anteriormente. Logo, para a segunda cerveja escolheu-se apenas o *cold brew*, a fim de se ter uma bebida final mais suave e ao mesmo tempo, ressaltar as características dos cafés utilizados. Os extratos obtidos são mostrados na Figura 18.

Figura 18 - Extração à frio dos cafés fermentado e não-fermentado.



Fonte: Da autora (2022).

Como não foram feitas análises sensoriais profissionais, com pessoas treinadas, em relação aos dois tipos de café, fermentado e não-fermentado, não foi possível detectar diferenças significativas entre eles, mas os dois apresentaram uma boa harmonização. Então, pelos bons resultados e por mais uma tentativa de verificar as diferenças entre eles, os dois foram usados na segunda produção.

Quando foram adicionados 60 ml de extrato na produção teste, o sabor de café se sobressaiu em relação ao sabor da cerveja, por isso não foi muito agradável. Uma adição menor, de 10 ml, não foi muito significativa, apenas conferiu um pouco de aroma de café à cerveja. Já quando foram adicionados 30 ml de extrato, percebeu-se que foi suficiente para propiciar aroma e sabor perceptíveis e agradáveis, de forma harmônica, por isso apenas esta quantidade foi mantida na produção seguinte.

Após o envase, carbonatação e adição de café, as garrafas de cerveja foram armazenadas no refrigerador, como mostra a Figura 19, à uma temperatura em torno de 19 °C.

Figura 19 - Garrafas armazenadas durante o período de carbonatação e incorporação do café.



Fonte: Da autora (2022).

Com a cerveja completamente pronta, após, aproximadamente, 30 dias de carbonatação e incorporação dos sabores do café, foi possível perceber que os cafés propiciaram bebidas mais complexas, resultando em uma cerveja avermelhada, com sabor e aroma de café. Como observado na primeira produção e validado na segunda, entre o café fermentado e o não-fermentado, não foi possível observar diferenças significativas na cerveja. As notas adocicadas e de caramelo dos cafés se combinaram bem com o dulçor de caramelo e *toffee* da cerveja.

Pode-se dizer que a cerveja ficou equilibrada, ou seja, o café funcionou apenas como um toque especial no sabor e aroma, permitindo que as características do estilo produzido ainda pudessem ser percebidas. É válido ressaltar que a adição de café, inclusive, foi benéfica para a primeira cerveja, pois contribuiu para disfarçar os defeitos decorrentes da falha na produção, que levaram a uma cerveja mais doce que o esperado, característica esta que harmonizou bem com as do café adicionado.

A Figura 20 A e B mostram os resultados das duas produções, respectivamente. Observando as duas cervejas, pode-se dizer que a carbonatação na cerveja da primeira produção ficou mais adequada (Figura 20A), pois há uma maior formação de espuma. A cerveja da segunda produção (Figura 20B) apresentou uma baixa formação de espuma, indicando que o teor de gás carbônico dissolvido na cerveja não atingiu o valor ideal. Além disso, pode-se

confirmar que a cor ficou dentro do que é desejado para o estilo, não sendo alterada pela adição do café.

Figura 20 - Cervejas finais da primeira (A) e segunda (B) produções.



**A**



**B**

Fonte: Da autora (2022).

## 5 CONCLUSÃO

Em decorrência de alguns fatos que aconteceram durante as duas produções, alguns dos parâmetros que caracterizam a cerveja não atenderam às expectativas do estilo escolhido. Apesar disso, os erros contribuíram para um melhor entendimento do processo produtivo e dos fatores que o influenciam.

A primeira produção foi mais prejudicada pelo aumento súbito da temperatura no início da brassagem, o que levou, possivelmente, à inativação das enzimas responsáveis pela sacarificação do amido, e conseqüentemente, a conversão do amido em moléculas de açúcares menores não aconteceu da forma adequada, acarretando insuficiência de açúcares para a levedura na fermentação. O baixo teor alcoólico da cerveja resultante desta produção, 2,2%, confirma a falha do processo.

Na segunda produção foi possível minimizar os erros, pois sabendo do problema no controlador de temperatura, um termômetro adicional foi utilizado para auxiliar e, assim, a brassagem aconteceu na temperatura adequada. Porém, uma alteração nos volumes de água de brassagem pode ter acarretado uma menor eficiência desta etapa, que ocorreu com maior diluição, o que foi corrigido na fervura. No entanto, provavelmente foi o fator que prejudicou a obtenção de maior teor alcoólico estimado para a cerveja. Este foi de 3,4%, um valor maior em relação à cerveja produzida anteriormente, mas ainda fora do intervalo recomendado para o estilo Red Ale, que varia entre 3,8% e 5,0%.

Apesar da avaliação da adição dos cafés ser feita por provadores não qualificados, as percepções de apreciadores da bebida foram válidas para verificação dos experimentos, permitindo concluir que a combinação proposta, Red Ale com café, correspondeu às expectativas iniciais. Obteve-se uma bebida mais complexa, porém equilibrada. O café não se sobressaiu em relação às características da cerveja, apenas proporcionou um toque peculiar. Isso permite concluir que o café é um ingrediente adicional bastante promissor no mundo cervejeiro, em especial em regiões reconhecidas pela produção de cafés especiais, com o sul de Minas Gerais, pois é capaz de propiciar sabores e aromas inovadores e agradáveis à cerveja, mantendo a essência do estilo que é produzido. Além disso, os experimentos permitem afirmar que o café pode ser incorporado com sucesso a cervejas não escuras, como a Porter e a Stout, comumente utilizadas para esta combinação, as quais, além da cor, naturalmente já remetem ao café por características dos maltes torrados usados em suas produções.

Apesar dos erros cometidos nos experimentos e, conseqüentemente, de alguns resultados diferentes dos esperados, ao observar as cervejas pelos sabores, cores e aromas,

pode-se notar que apresentaram uma coloração adequada ao estilo e ficaram leves e agradáveis de beber. Com relação a adição de dois tipos de cafés diferentes, não foi possível reparar diferenças significativas, necessitando de mais caracterizações mais precisas.

Portanto, para um julgamento mais completo e preciso dos resultados obtidos, recomenda-se que nos próximos experimentos de validação da adição desses cafés, pessoas treinadas e capacitadas, como *sommeliers*, façam avaliação das bebidas em testes sensoriais devidamente planejados. Ademais, recomenda-se que sejam realizadas análises de propriedades físico-químicas da cerveja com determinação precisa dos teores de álcool e outros compostos voláteis, acidez, amargor, cor, turbidez, entre outras, conforme técnicas de caracterização apresentadas no APÊNDICE C.

## REFERÊNCIAS

- ACADEMIA ARTESANAL. Irish Red Ale: Receita de Cerveja Artesanal. **Academia Artesanal**, 2019. Disponível em: <https://academiaartesanal.com.br/receita-red-ale-2/>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- ALVES, L. M. F. **Análise físico-química de cervejas tipo pilsen comercializadas em Campina Grande na Paraíba**. Monografia (Graduação em Química Industrial) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 2014.
- APEX BRASIL. Chá é a bebida mais consumida no mundo. **Portal ApexBrasil**, 2019. Disponível em: <https://portal.apexbrasil.com.br/noticia/CHA-E-A-BEBIDA-MAIS-CONSUMIDA-NO-MUNDO/#:~:text=Segundo%20o%20relat%C3%B3rio%20da%20empresa,de%20litros%20de%20ch%C3%A1%20gelado>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- BEER ART. O mapa da cerveja no Brasil. **Beer Art – Portal da Cerveja**, 2021. Disponível em: <https://revistabeerart.com/news/cevejarias-brasil>. Acesso em: 26 jan. 2022.
- BEER SCHOO, 2021. 1 vídeo (58 min). **Como usar café na produção de cervejas especiais?**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=63aK71gUCes>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- BONACCORSI, M. M. **Guia de estilos de cervejas: certification beer judge program**. BJCP, 2015.
- BODEN, H. Brassagem avançada. **Cerveja Henrik Boden**, 2012. Disponível em: <http://www.cervejahenrikboden.com.br/brassagem-avancada/>. Acesso em: 26 mar. 2022.
- BODEN, H. Moagem. **Cerveja Henrik Boden**, 2009. Disponível em: <http://www.cervejahenrikboden.com.br/moagem/>. Acesso em: 26 mar. 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n.º 65, de 10 de dezembro de 2019. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 dez. 2019. Seção I, p. 18.152-18.173.
- BREWFATHER APP. Disponível em: <https://web.brewfather.app/>. Acesso em: 20 out. 2021.
- CAFEICULTURA. Conheça a importância do café para Minas Gerais presente em 463 municípios (55% do estado). **Revista Cafeicultura**, 2019. Disponível em: <https://revistacafeicultura.com.br/?mat=68385>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- CAMPOS, R. M. **Projeto e automatização de um sistema HERMS artesanal**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2017.
- CAPITÃO BARLEY. OG, FG, IBU e SRM: entenda as siglas da cerveja. **Blog Capitão Barley**, 2021. Disponível em: <https://capitaobarley.com.br/gravidade-ibu-srm-entenda-todas-as-medidas-da-cerveja>. Acesso em 22 mar. 2022.

CENTRAL BREW. Cold Crash: o que é e para que serve?. **Blog Central Brew**, 2019. Disponível em: <https://centralbrew.com.br/blog/cold-crash-o-que-e-e-para-que-serve/>. Acesso em: 13 mar. 2022.

CENTRAL BREW. Processos de produção de cerveja artesanal: maturação. **Blog Central Brew**, 2019. Disponível em: <https://centralbrew.com.br/blog/processos-de-producao-de-cerveja-artesanal-maturacao/>. Acesso em: 05 mar. 2022.

CENTRAL BREW. Processos de produção de cerveja artesanal: resfriamento. **Blog Central Brew**, 2019. Disponível em: <https://centralbrew.com.br/blog/processos-de-producao-de-cerveja-artesanal-resfriamento/>. Acesso em: 26 mar. 2022.

CENTRAL BREW. Whirlpool: descubra o que é e seus benefícios. **Blog Central Brew**, 2019. Disponível em: <https://centralbrew.com.br/blog/whirlpool-descubra-o-que-e-e-seus-beneficios/>. Acesso em: 05 mar. 2022.

CERVBRASIL. Indústria cervejeira está conectada com o desenvolvimento do país. CervBrasil. **Associação Brasileira da Indústria da Cerveja**, 2018. Disponível em: [http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/industria-cervejeira-conectada-desenvolvimento-pais/](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/industria-cervejeira-conectada-desenvolvimento-pais/). Acesso em: 06 fev. 2022.

CINEMA E CERVEJA. BASSOLI, M. Descomplicando a cerveja: 03 – Conheça o processo de fabricação da cerveja. **Cinema e Cerveja**, 2017. Disponível em: <https://cinemaecerveja.com.br/descomplicando-a-cerveja-03-conhe%C3%A7a-o-processo-de-fabrica%C3%A7%C3%A3o-da-cerveja-4d47b0881c9b>. Acesso em: 05 mar. 2022.

COMO FAZER CERVEJA. Desvendando as enzimas cervejeiras. **Blog Como fazer cerveja**, 2019. Disponível em: <https://www.comofazercerveja.com.br/post/desvendando-as-enzimas-cervejeiras>. Acesso em: 31 mar. 2022.

CONAB. Safra brasileira de café: boletim de café. **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em 22 abr. 2022.

CONCERVEJA, 05 de setembro de 2019. 1 vídeo (12 min). **Como adicionar café na cerveja**. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=6WH6U\\_wvx1s](https://www.youtube.com/watch?v=6WH6U_wvx1s). Acesso em: 11 mar. 2022.

DIÁRIO DO COMÉRCIO. BIANCHETTI, M. Cervejas artesanais têm divisor de águas em Minas Gerais. **Diário do Comércio**, 2021. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/negocios/cervejas-artesanais-tem-divisor-de-aguas-em-minas-gerais/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

DINSLAKEN, D. Como atingir o volume final de cerveja previsto na receita. **Blog Concerveja**, 2016. Disponível em: <https://concerveja.com.br/volume-final/>. Acesso em: 13 mar. 2022.

DINSLAKEN, D. Espuma da cerveja. **Concerveja**, 2017. Disponível em: <https://concerveja.com.br/espuma-da-cerveja/>. Acesso em: 02 abr. 2022.

DINSLAKEN, D. Mash out: para que fazer e como ele afeta o perfil da cerveja. **Blog Concerveja**, 2017. Disponível em: <https://concerveja.com.br/mash-out/>. Acesso em: 20 fev. 2022.

DINSLAKEN, D. **Manual do cervejeiro caseiro: um guia completo para iniciantes**. Ebook, 2021.

DUARTE, R. O. Cafés do sul de minas e a sua qualidade superior mundialmente reconhecida. **Blog Villa Café**, 2017. Disponível em: <https://villacafe.com.br/blog/cafes-do-sul-de-minas-e-sua-qualidade-superior-mundialmente-reconhecida/>. Acesso em: 05 mar. 2022.

DUARTE, R. Cold brew: tire suas dúvidas sobre o café passado a frio. **Blog Villa Café**, 2018. Disponível em: <https://villacafe.com.br/blog/cold-brew-tire-suas-duvidas-sobre-o-cafe-passado-a-frio/>. Acesso em: 11 mar. 2022.

DULCETTI. O que é uma maltaria?. **Papo de Bar**, 2016. Disponível em: <https://www.papodebar.com/o-que-e-uma-maltaria/>. Acesso em: 11 mar. 2022.

EMBRAPA. Produção dos Cafés do Brasil ocupa área de 1,82milhão de hectares dos quais 1,45 milhão são de café arábica e 375,99 mil de conilon. **Embrapa**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/64630822/producao-dos-cafes-do-brasil-ocupa-area-de-182-milhao-de-hectares-dos-quais-145-milhao-sao-de-cafe-arabica-e-37599-mil-de-conilon>. Acesso em: 05 mar. 2022.

EMATER. Minas Gerais deve alcançar produção recorde de café na safra 2020. **Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais**, 2020. Disponível em: [https://www.emater.mg.gov.br/portal.do/site-noticias/minas-gerais-deve-alcancar-producao-recorde-de-cafe-na-safra-2020/?flagweb=novosite\\_pagina\\_interna&id=25195#:~:text=A%20safra%202020&text=O%20sul%20de%20Minas%20\(Sul,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20safra%20anterior](https://www.emater.mg.gov.br/portal.do/site-noticias/minas-gerais-deve-alcancar-producao-recorde-de-cafe-na-safra-2020/?flagweb=novosite_pagina_interna&id=25195#:~:text=A%20safra%202020&text=O%20sul%20de%20Minas%20(Sul,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20safra%20anterior). Acesso em: 22 abr. 2022.

EZ WATER CALCULATOR. Disponível em: <https://ezwatercalculator.com/>. Acesso em: 20 out. 2021.

FAZENDA SERRA NEGRA. Instagram. Disponível em: [https://instagram.com/fazserranegra?utm\\_medium=copy\\_link](https://instagram.com/fazserranegra?utm_medium=copy_link). Acesso em: 20 out. 2021.

FERNANDES, J. A. **Construção e implementação de um módulo de produção de cerveja artesanal: sistema HERMS**. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2021.

FURLAN, R. M. C. **Leveduras de processos de bioetanol: potencial para a produção de cerveja especial com mosto de alta densidade**. Tese (Doutora em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2016.

GRÃO GOURMET. SHIE, T. História do café: a origem e trajetória da bebida no mundo. **Grão Gourmet**, 2018. Disponível em: <https://www.graogourmet.com/blog/historia-do-cafe/#:~:text=Origem%20da%20palavra%3A%20Caf%C3%A9,ou%20Cahue%2C%20que%20significa%20For%C3%A7a>. Acesso em: 05 mar. 2022.

- GUIA DA CERVEJA. 6 tendências para o futuro do setor cervejeiro pós-pandemia. **Guia da Cerveja**, 2021. Disponível em: <https://guiadacervejabr.com/tendencias-setor-cervejeiro-pos-pandemia/>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- LAMAS BREW SHOP. Dicas sobre o uso de densímetros e refratômetros. **BrewBlog**, 2018. Disponível em: <https://www.lamasbrewshop.com.br/blog/2014/05/dicas-sobre-o-uso-de-densímetros-e-refratômetros.html>. Acesso em: 01 abr. 2022.
- LARA, C. Brassagem de cerveja artesanal: tudo o que você precisa saber sobre esse processo. **Blog Homini Lúpulo**, 2018. Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/brassagem-avancada/>. Acesso em: 26 mar. 2022.
- LARA, C. Fermentação da cerveja: aprenda como fazer e sua importância. **Blog Homini Lúpulo**, 2018. Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/fermentacao-e-maturacao/>. Acesso em: 01 abr. 2022.
- MAFRA, G. P. **Análise físico-química de cerveja American Lager maturada com pimenta rosa (Aroeira)**. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- MINDELO, L. J. O. et al. **Determinação por titulação do teor de ácido acético em vinagres comerciais coletados em Castanhal – PA**. IV Congresso Internacional das Ciências Agrárias – Instituto COINTER, Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/inscricao/pdvagro/uploadsAnais2020/DETERMINA%C3%87%C3%83O-POR-TITULA%C3%87%C3%83O-DO-TEOR-DE-%C3%81CIDO-AC%C3%89TICO-EM-VINAGRES-COMERCIAIS-COLETADOS-EM-CASTANHAL-PA.pdf>. Acesso em 22 abr. 2022.
- MORADO, R. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Alaúde Editorial, 2017.
- MUXEL, A. A. **Química da cerveja: uma abordagem química e bioquímica das matérias-primas, processo de produção e da composição dos compostos de sabores da cerveja**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2022.
- NUCBEER – NÚCLEO DE ESTUDOS EM CERVEJA ARTESANAL. **Produções**. 2021. Fotografias. Disponível em: <https://www.instagram.com/nucbeer/>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- PALMER, J. **How to brew: everything you need to know to brew great beer every time**. 4. ed. Colorado: Brewers Publications, 2017.
- PHILPOTT, J.; TAYLOR, D. M.; WILLIAMS, D. R. Critical assessment of factors affecting the accuracy of the IoB Bitterness Method. **Journal of American Society of Brewing Chemists**, v. 55, n. 3, p. 103-106, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-55-0103>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- SILVA, A. Carbonatação forçada ou priming: faça a melhor cerveja artesanal | Panela automatizada para fazer cerveja. **Blog EzBrew**, 2019. Disponível em: <https://ezbrew.com.br/carbonatacao-forcada-ou-priming-faca-a-melhor-cerveja-artesanal/>. Acesso em: 31 mar. 2022.

TOZETTO, L. M. **Produção e caracterização de cerveja artesanal adicionada de gengibre (*Zingiber officinale*)**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

UAIAGRO. Mercado de cerveja artesanal vira tema de pesquisas em universidade. **UaiAgro**, 2022. Disponível em: <https://uaiagro.com.br/ufla-mercado-de-cerveja-artesanal-vira-tema-de-pesquisas/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

UZÊDA, A. **Curso Cervejeiro CervArt** – Grupo de Estudos em Cervejas Artesanais. Instituto Federal Sul de Minas Gerais, Machado, Minas Gerais, 2021.

YEASTLAB. Você conhece as fases da fermentação de sua cerveja?. **Yeastlab**, 2018. Disponível em: <http://www.yeastlab.com.br/destaques/voce-conhece-as-fases-da-fermentacao-de-sua-cerveja>. Acesso em: 26 mar. 2022.

## APÊNDICE A - Receita da cerveja Red Ale

Na Figura A1, está apresentada a receita da cerveja Red Ale elaborada pelo *software* BrewFather (2021) para desenvolvimento deste trabalho, como descrito na Seção 3.1.

Figura A 1 - Receita da Red Ale no BrewFather.

<p><b>Irish Red Ale</b> Irish Red Ale 4.2% / 10.5 °P</p> <p>Receita de <b>Gabriella Freire</b></p> <p>Somente Grãos</p> <p><b>NucBeer</b> 54.2% eficiência Volume do Lote: <b>24 L</b> Tempo de Fervura: <b>60 min</b></p> <p>Água de Mostura: <b>21.12 L</b> Água de Lavagem: <b>25.27 L</b> Água Total: <b>46.39 L</b> Volume da Fervura: <b>37.17 L</b> Densidade Pré Fervura: <b>1.033</b></p> <hr/> <p><b>Parâmetros</b> Densidade Original: <b>1.042</b> Densidade Final: <b>1.010</b> IBU (Tinseth): <b>20</b> BU/GU: <b>0.47</b> Cor: <b>22.5 EBC</b> 🍷</p> <p><b>Mostura</b> Temperatura – <b>69 °C</b> – <b>60 min</b></p> <p><b>Maltes (5.95 kg)</b>  <b>4.5 kg</b> (75.6%) – Agraria Malte Pale Ale – Grão – 6 EBC  <b>500 g</b> (8.4%) – Agraria Malte Munique – Grão – 22.5 EBC  <b>500 g</b> (8.4%) – Weyermann Carared – Grão – 47.5 EBC  <b>250 g</b> (4.2%) – Weyermann Melanoidin – Grão – 59 EBC  <b>150 g</b> (2.5%) – Weyermann Caramunich II – Grão – 124 EBC  <b>50 g</b> (0.8%) – Weyermann Carafa I – Grão – 630 EBC</p> <p><b>Lúpulos (25 g)</b>  <b>25 g</b> (20 IBU) – Challenger 7.5% – <b>Fervura</b> – <b>60 min</b></p> <p><b>Levedura</b>  <b>1 pct</b> – Fermentis <b>US-05</b> Safale American 81%</p> <p><b>Fermentação</b>  Primária – <b>18 °C</b> – <b>4 dias</b>  Secundária – <b>22 °C</b> (4 dia de rampa) – <b>7 dias</b>  Cold Crash – <b>0 °C</b> – <b>5 dias</b></p> <p>Carbonatação: <b>2.4 CO<sub>2</sub>-vol</b></p> <p>Fonte: Da autora (2022).</p>
--

## APÊNDICE B - Planilha usada para ajuste da água cervejeira

Na Figura B1, está a planilha usada para o ajuste da água cervejeira, elaborada pelo software EZ Water Calculator (2021), conforme mencionado na Seção 3.3.

Figura B 1 - Planilha de cálculo para ajuste da água cervejeira.

**EZ Water Calculator Spreadsheet 3.0 - METRIC**

**Step 1: Enter Starting Water Profile**

A. Profile	Calcium (Ca ppm)	Magnesium (Mg ppm)	Sodium (Na ppm)	Chloride (Cl ppm)	Sulfate (SO <sub>4</sub> ppm)	<input type="radio"/> Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> ppm) <input checked="" type="radio"/> Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> ppm)
Starting Water Profile: <small>(ppm = mg/L)</small>	0,36	0,28	25	18,2	3	70

*If your water report gives Sulfate as Sulfur (SO<sub>4</sub>-S) such as a Ward Lab's report, multiply by that by 3 to get SO<sub>4</sub>*

B. Volume	Mash Water	Sparge Water
Volume (liters):	21,12	25,27
<small>(gallons):</small>	5,58	6,68
% that is Distilled or RO:	0%	0%

**Step 2: Enter Grain Info**

Select Grain Type	Weight (kg)	Color (°L) <small>(Crystal Malts Only)</small>	Mash pH <small>(from chart)</small>	Distilled water	
				grain types	dist water pH
<i>Crystal Malt:</i> <small>Caramel malts, Cara Munich, Cara Aroma, etc.</small>	Base - Other ▼	4,5		5,70	1 - Select Grain -
	Crystal Malt ▼	0,5	18,4	5,13	2 Base - 2-Row 5,70
	Base - Munich ▼	0,5		5,43	3 Base - 6-Row 5,79
<i>Roasted/Toasted Malt:</i> <small>Roasted Barley, Black Patent, Carafo, etc.</small>	Crystal Malt ▼	0,25	22,7	5,11	4 Base - Maris Oth 5,77
	Roasted/Toas ▼	0,05		4,71	5 Base - Munich 5,43
<i>Acidulated Malt:</i> <small>Enter in Step 4a.</small>	- Select Grain - ▼	0		0,00	6 Base - Pilsner 5,75
	- Select Grain - ▼	0		0,00	7 Base - Wheat 6,04
	- Select Grain - ▼	0		0,00	8 Base - Vienna 5,56
	- Select Grain - ▼	0		0,00	9 Base - Other 5,70
	- Select Grain - ▼	0		0,00	10 Crystal Malt calculated
	- Select Grain - ▼	0		0,00	11 Roasted/Toasted 4,71

**Total Grain Weight (kg):** 5,95  
(lbs): 13,1  
**Mash Thickness:** 3,55 l/kg  
1,7 qt/lb

*The above values are used to calculate mash pH. They may vary depending on maltster or other factors - for example Rahr 2-Row has been found to be 5.56. Modify if necessary.*

**Step 3: View Mash pH**

Effective Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> ppm)	Residual Alkalinity	ESTIMATED Room-Temp Mash pH	Desired Room-Temp Mash pH
94	38	5,62	5.4 - 5.6

*Note: When measuring actual mash pH with a meter, keep in mind that it can take up to 15 minutes for mash pH to stabilize.*

*There are varying opinions on the optimum range here. Consider doing your own research and/or experimentation to determine what's best for you.*

**Step 4a: Adjust Mash pH DOWN (if needed)**

	Gypsum CaSO <sub>4</sub>	Calc. Chloride CaCl <sub>2</sub>	Epsom Salt MgSO <sub>4</sub>	Acidulated Malt acid content:	Lactic Acid acid content:
<i>add at dough-in or prior.</i>				2,0%	88%
Mash Water Additions (grams):	2,17	3,6	2,2	grams: 0	ml: 0
Adjusting Sparge Water? (y/n):	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	oz: 0,0	
Sparge Water Additions (grams):	2,6	4,3	2,6	<small>(0% of total wt) Some recommend keeping this under 3%</small>	

*Typically 2.0%. Revise if necessary.*

**Step 4b: Adjust Mash pH UP (if needed)**

	Slaked Lime Ca(OH) <sub>2</sub>	Baking Soda NaHCO <sub>3</sub>	Chalk CaCO <sub>3</sub>
<i>add at dough-in or prior.</i>			
Mash Water Additions (grams):	0	0,85	0
Adjusting Sparge Water? (y/n):	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sparge Water Additions (grams):	0,0	1,0	0,0

*add to boil, or to sparge water prior to sparging, or combine with mash salts when treating all water combined prior to brewing.*

Calculations for chalk's true affect on pH are very complex and may require an acid to fully dissolve. This spreadsheet uses half of chalk's full potential based on experimental data w/o acid addition. Results may vary.

**Step 5: View Resulting Water Profile**

	Calcium (Ca ppm)	Magnesium (Mg ppm)	Sodium (Na ppm)	Chloride (Cl ppm)	Sulfate (SO <sub>4</sub> ppm)	Chloride / Sulfate Ratio
Mash Water Profile:	70	10	36	100	101	1,00
Mash + Sparge Water Profile:	70	10	36	100	101	1,00
<i>Palmer's Recommended Ranges:</i>	50 - 150	10 - 30	0 - 150	0 - 250	50 - 350	.77 to 1.3 = Balanced

*There are varying opinions on these ranges. Consider doing your own research and/or experimentation to determine what's best for you.*

*This spreadsheet is totally free for you to use however you would like. However, should you desire to show your appreciation, please consider making a donation. Thanks for your consideration!*

Fonte: Da autora (2022).

## APÊNDICE C - Análises físico-químicas

Como mencionado na Seção 5, para que sejam obtidos resultados mais aprofundados das cervejas, existem diversas análises físico-químicas que podem ser feitas. As cervejas podem ser analisadas quanto à acidez total, cor, densidade relativa, extrato seco total, sólidos solúveis, pH, teor alcoólico, amargor, entre outras propriedades. Todas as análises devem ser feitas com amostras descarbonatadas e à temperatura ambiente. A descarbonatação pode ser realizada agitando um frasco com tampa, contendo o volume de cerveja desejado. Em seguida, abre-se lentamente esse frasco, permitindo a liberação do CO<sub>2</sub>, e então, a amostra é levada ao ultrassom, por 8 minutos, para que seja completamente descarbonatada. Por fim, agita-se novamente o frasco e retira-se a tampa devagar, a fim de certificar que houve a liberação completa do gás, indicada pelo repouso da espuma e pela ausência de bolhas.

### C.1 Determinação da acidez total

O método para esta análise foi baseado em uma titulação de neutralização, utilizando uma solução padrão básica e o indicador fenolftaleína. Os materiais e equipamentos necessários são: balança analítica, pipeta volumétrica de 10 ml, bureta de 25 ml, erlenmeyer de 250 ml, solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L, solução de fenolftaleína a 1% (m/v) (MAFRA, 2018).

Transfere-se 10 ml da amostra para o erlenmeyer de 250 ml, já contendo 100 ml de água destilada. Em seguida, coloca-se algumas gotas da solução de fenolftaleína e a titulação é feita com a solução de NaOH, até que seja atingida a coloração rosa. Conforme Brasil (1986) e Mindelo et al. (2019), o cálculo da acidez total pode ser feito com base na Equação C1, na qual V é o volume gasto da solução de hidróxido de sódio (ml), [NaOH] é a concentração em mol/L da solução de hidróxido de sódio, a massa molecular (MM) do ácido acético é igual a 60,052 g/mol e P é o volume da amostra de cerveja (ml).

$$Acidez\ Total\ \left(\frac{g\ de\ ácido\ acético}{100\ mL\ de\ cerveja}\right) = \frac{V \times [NaOH] \times MM\ ácido\ acético \times 100}{P \times Densidade\ da\ Amostra} \quad (C1)$$

## C.2 Cor

A coloração das amostras pode ser analisada através do método de espectrofotometria (EBC 2000), realizando leituras para o comprimento de onda de 430 nm. Segundo Tozetto (2017), para que a análise seja válida, é importante que a amostra de cerveja esteja livre de turbidez, então é necessário centrifugá-la antes de fazer a leitura no espectrofotômetro, e a confirmação da ausência de turbidez deve ser feita através de uma leitura da amostra no comprimento de onda de 700 nm. Os materiais e equipamentos utilizados nesta análise são espectrofotômetro, cubeta de quartzo de 10 mm e água deionizada.

Primeiro, calibra-se o espectrofotômetro para realizar leituras a 430 nm, zerando-o com 10 ml de água deionizada. Em sequência, 10 ml da amostra, já livre de turbidez, é colocada no equipamento, e o valor da absorbância lido é então utilizado para o cálculo da cor da amostra, a partir da conversão pelo método EBC 8.3, apresentado na Equação C2.

$$EBC = A_{430} \times 25 \quad (C2)$$

## C.3 Densidade relativa

Segundo Mafra (2018), a determinação desta grandeza pode ser feita de forma direta, utilizando um densímetro, já que se trata de uma amostra líquida formada por mais de um tipo de substância. Assim, o densímetro é imerso na solução até que esteja afundado por completo, levando a um deslocamento do volume do líquido, igualando seu peso com o densímetro. Assim, este nível de líquido corresponde a um valor de densidade correspondente à escala do instrumento. Os materiais e equipamentos necessários são: densímetro, proveta de 50 ml e termômetro.

Deve-se encher a proveta com 50 ml da cerveja descarbonatada e condicionada à 20 °C, e colocar o densímetro até o equilíbrio do instrumento com o líquido, podendo efetuar a leitura direta da densidade relativa.

## C.4 Extrato seco total

De acordo com Mafra (2018), o método é baseado na pesagem do resíduo seco de um volume de amostra submetido à evaporação, permitindo assim, determinar o teor de sólidos

presentes na amostra de cerveja. Os materiais e equipamentos necessários são balança analítica, banho-maria, estufa, cápsula de porcelana, dessecador e pipeta volumétrica de 20 ml.

Utilizando a pipeta, são transferidos 20 ml da amostra de cerveja para a cápsula de porcelana e faz-se o aquecimento em estufa a 100 °C por 1 hora. Em seguida, resfria-se a amostra no dessecador, faz-se a pesagem na balança analítica e a amostra é colocada em banho-maria até que ocorra a secagem. Feito isso, a amostra deve ser novamente levada à estufa à 100 °C por 1 hora e resfriada no dessecador até a temperatura ambiente. Por fim, faz-se novamente a pesagem e a porcentagem de extrato seco total pode ser determinada pela Equação C3, sendo P a massa do resíduo (g) e V o volume da amostra (ml).

$$\% \text{ Extrato Seco} = \frac{100 \times P}{V} \quad (\text{C3})$$

### C.5 Teor alcoólico

Segundo Alves (2014), a determinação do teor alcoólico pode ser feita por meio do método ebulliométrico, que consiste na determinação da porcentagem de álcool em uma solução fixando o ponto zero na escala do ebuliômetro (°GL). Os materiais e equipamentos necessários são: pisseta, proveta de 50 ml e um ebuliômetro.

Primeiro, é feita a calibração do equipamento, isto é, a determinação do ponto de ebulição da água pura. Para isso, devem ser adicionados 50 ml de água destilada na caldeira do ebuliômetro, devidamente limpa e lavada com água destilada. Então, o termômetro e o condensador são conectados. Em seguida, o condensador também é preenchido com água destilada e acende-se a lamparina, acompanhando no termômetro o aumento da temperatura. Ao perceber que a temperatura está estabilizada, espera-se pelo menos 60 segundos para verificar que a temperatura de ebulição tenha sido mesmo atingida, e então anota-se o valor, terminando assim a etapa de calibração.

Para determinar o teor alcoólico da amostra desejada, despeja-se a água da caldeira e do condensador, e esfria-se o condensador em água corrente. Em seguida, o procedimento anterior é repetido, substituindo a água destilada da caldeira por 50 ml da amostra de cerveja, e o valor da temperatura de ebulição da amostra é anotado. De posse dos valores das temperaturas de ebulição da água e da amostra, o teor alcoólico da cerveja pode ser determinado através de equações matemáticas.

Logo, calcula-se a diferença dos pontos de ebulição ( $\Delta T$ ), por meio da Equação C4.

$$\Delta T = T_{eb, \text{água}} - T_{eb, \text{amostra}} \quad (C4)$$

A partir do valor calculado pela Equação C4, finalmente é feito o cálculo do teor alcoólico (%v/v), por meio da Equação C5.

$$\text{Teor Alcoólico} \left( \% \frac{v}{v} \right) = 0,435 + 1,6687 \Delta T + 0,1234 \Delta T^2 \quad (C5)$$

## C.6 Amargor

Conforme Tozetto (2017), o método para mensurar o amargor de cervejas utiliza a medida espectrofotométrica das substâncias responsáveis pelo amargor do lúpulo, que são os alfa e beta ácidos. O resultado é expresso em Unidades de Amargor (B.U).

A determinação do amargor pode ser realizada por meio da extração de substâncias amargas da cerveja utilizando iso-octano (2,2,4 – trimetilpentano). Os materiais e equipamentos necessários são solução de HCl 6 mol/L, iso-octano, espectrofotômetro e cubeta de quartzo de 10 mm.

Um volume de 20 ml da amostra deve ser previamente acidificado pela adição de 0,5 ml da solução de HCl misturada com 20,0 ml de iso-octano. Em seguida, faz-se a medição espectrofotométrica no comprimento de onda de 275 nm, utilizando a cubeta de quartzo de 10 mm, conforme a metodologia descrita por Philpott, Taylor e Williams (1997). Por fim, o resultado do amargor é calculado pela Equação C6.

$$\text{Amargor (B.U.)} = \text{Abs } 275 \text{ nm} * 50 \quad (C6)$$

## APÊNDICE D - Testes preliminares de extração do café

Com o intuito de conhecer e analisar diferentes tipos de extração, antes de ir para o laboratório, foram feitos alguns testes menos precisos de extração do café, conforme mencionado na Seção 3.3. Para isso, foram utilizadas cervejas comerciais do estilo Red Ale e café especial fermentado da Fazenda Serra Negra, o mesmo descrito na Seção 3. As extrações foram feitas utilizando vodca, água quente e água fria (*cold brew*), como descrito a seguir. Nas análises, buscou-se observar, principalmente, a influência do café na cor, aroma, sabor e amargor da cerveja.

### D.1 Extração à quente

No primeiro teste, utilizou-se uma cerveja do estilo Red Ale da Cervejaria do Funil e o café fermentado. Foram divididas quatro amostras contendo 100 ml de cerveja em cada uma, e foi feita uma extração do café com fluxo quente, utilizando 250 ml de água e, aproximadamente, 30 g do café com moagem fina, para adição em três das amostras. Quando foram colocados 5 ml do extrato de café em uma das amostras, o aroma e sabor de café foram agradáveis, mas pouco intensos. Com 10 ml de extrato, obteve-se um aroma de café melhor que na amostra anterior e o sabor ficou mais aparente e ainda equilibrado com o sabor da cerveja. Com a adição de 15 ml de extrato, a aparência do café foi mais marcante, e o seu sabor sobressaiu um pouco em relação ao sabor da cerveja, que foi experimentada pura. De forma geral, com as três amostras a combinação foi satisfatória, o café agregou aroma e sabor bastante agradáveis e não houve alterações visíveis na cor da cerveja.

### D.2 Extração com vodca

No segundo teste, utilizou-se a mesma cerveja e o mesmo café do teste anterior. No entanto, a extração foi feita utilizando vodca. O extrato foi previamente preparado, cerca de um mês antes, utilizando, aproximadamente, 115 ml de vodca e 30 g de grãos de café levemente triturados. Então, a partir de amostras contendo 100 ml de cerveja, foram feitas as adições do extrato. Quando foram adicionados 2,5 ml, a bebida apresentou um aroma leve e agradável de café, ficou refrescante, mas com um sabor um pouco forte, atribuído à vodca. Com a adição de 1,7 ml do extrato, obteve-se aroma e sabor de café ainda perceptíveis e agradáveis, mas a presença do sabor da vodca ainda permaneceu. Logo, analisando a extração com vodca de

maneira geral, percebe-se que é possível obter uma bebida mais refrescante e com o café destacado, porém, sente-se um forte retrogosto amargo do uso da bebida destilada.

### **D.3 Cold Brew**

No terceiro teste, seguiu-se com a mesma cerveja e o mesmo café, porém usou-se a extração com água fria, denominada *cold brew*. Neste método, o extrato também precisou ser previamente preparado, um dia antes do teste, e para isso utilizou-se 500 ml de água gelada e 70 g de grãos de café levemente triturados. Então, primeiro, adicionou-se 5 ml de extrato em 100 ml de cerveja, obtendo-se um aroma de café agradável e suave, mas um sabor bem marcante em relação ao sabor da cerveja. Em seguida, fez-se o teste com a adição de 2,5 ml de extrato, obtendo-se um resultado bastante positivo. O aroma e o sabor de café foram bastante agradáveis e conseguiu-se um equilíbrio com a cerveja. Por fim, adicionou-se apenas 1,7 ml de extrato, e o resultado foi uma presença bem leve do café, mas ainda mais aparente do que o esperado. De forma geral, a técnica *cold brew* forneceu bebidas refrescantes e agradáveis, mas em quantidades maiores de adição, como 5 ml de extrato, o café se sobressaiu um pouco em relação à cerveja utilizada.