



**JOÃO PEDRO SALOMÃO SIMÕES**

**APRIMORAMENTO DE UM PROCESSO PRODUTIVO DE  
CERVEJA ARTESANAL**

**LAVRAS – MG  
2022**

**JOÃO PEDRO SALOMÃO SIMÕES**

**APRIMORAMENTO DE UM PROCESSO PRODUTIVO DE CERVEJA  
ARTESANAL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

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

Prof. Dr. Tiago José Pires de Oliveira  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

---

Simões, João Pedro Salomão.

Aprimoramento de um processo produtivo de cerveja artesanal.

/ João Pedro Salomão Simões. - 2022.

64 p. : il.

Orientador(a): Natália Maira Braga Oliveira.

Coorientador(a): Tiago José Pires de Oliveira.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Produção de cerveja. 2. Melhorias de processo. 3. Eficiência.  
4. Aumento de produtividade. 5. BJCP. I. Oliveira, Natália Maira  
Braga. II. Oliveira, Tiago José Pires de. III. Título.

---

**JOÃO PEDRO SALOMÃO SIMÕES**

**APRIMORAMENTO DE UM PROCESSO PRODUTIVO DE CERVEJA  
ARTESANAL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 29 de julho de 2022.

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

Prof. Dr. Márcio Pozzobon Pedroso – UFLA

Prof. Dr. Raphael Menechini Neto – Cervejaria Tauá

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

Prof. Dr. Tiago José Pires de Oliveira  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2022**

## AGRADECIMENTOS

Nesta seção, deixo os agradecimentos às pessoas que tonaram possível chegar até aqui, marcando o encerramento de mais uma etapa em minha vida.

Primeiramente agradeço meus pais, Laércio e Roseli por todo amor, apoio e estrutura dedicados ao longo da vida. Aos meus irmãos, Caroline e Mateus, que sempre me serviram de inspiração, pela amizade e carinho. A minha namorada, Gabriela, pelo amparo, companheirismo e dedicação.

Gostaria de agradecer também a todas as pessoas que passaram ao longo de minha trajetória em atividades extracurriculares, especialmente ao NeeB e NucBeer que me acolheram e me ensinaram muito sobre diversos aspectos do se relacionar com as pessoas, tanto no pessoal quanto no profissional.

Agradeço a todos os educadores que fizeram parte de minha trajetória acadêmica, especialmente aos professores e técnicos da UFLA, sempre muito solícitos e dispostos a ensinar, o que tornou essa experiência algo muito mais leve e produtivo.

Em especial, gostaria de agradecer a professora Natália por toda dedicação a esse projeto, fico muito honrado em aprender e poder trabalhar ao seu lado, e ao professor Tiago por aceitar ser meu coorientador e pelo apoio e conhecimentos.

Por fim, agradeço a minha República, a ela credito uma grande parte do meu desenvolvimento pessoal, e a todas as pessoas que estiveram somando comigo ao longo dessa fase de graduação, meu muito obrigado.

## RESUMO

Tendo em vista o aumento da concorrência entre as organizações, as empresas enfrentam desafios cada vez maiores para se destacarem nos seus respectivos mercados de atuação. Com isso, a melhoria contínua nos processos produtivos se torna fundamental, e com o mercado cervejeiro não é diferente. O presente trabalho tem como objetivos o aumento da eficiência total e de brassagem de um processo produtivo de cerveja artesanal, redução de custos com matérias-primas, aumento da produtividade, otimização no tempo de produção, além de melhorias no acompanhamento dos parâmetros do processo. Para as produções, foi utilizado o módulo do tipo HERMS, destinado ao desenvolvimento de pesquisas do Núcleo de Estudos em Cerveja Artesanal (NucBeer), localizado no Laboratório de Engenharia das Reações Químicas da Universidade Federal de Lavras. Foram realizadas quatro produções: uma Irish Red Ale, duas American IPAs e uma Cream Ale, sendo realizadas melhorias entre uma produção e outra, como redução do volume morto e do tempo de produção, resultando em aumento de eficiência. Os parâmetros de análise, ABV (*alcohol by volum*), OG (*original gravity*) e FG (*final gravity*), estão todos dentro da faixa ou muito próximo dos adotados para os estilos escolhidos. Como melhorias, obteve-se a diminuição do volume morto da panela de brassagem e a redução geral em volumes desperdiçados, com a diminuição das mangueiras do equipamento, além de terem sido feitas novas calibrações do módulo, podendo utilizar os *softwares* cervejeiros de forma mais precisa, o que trouxe tanto economia de matéria-prima quanto eficácia na execução das receitas. Foi possível constatar um aumento de 6,6% na eficiência de brassagem (BY), que quantifica os açúcares potenciais que são extraídos dos grãos durante essa etapa, a qual passou de 63,2% para 69,8%. Já para a eficiência total do equipamento (OBY), o aumento foi de 14,2%, passando de 54,2% para 68,4%, sendo produzidos em torno de 120 L de cerveja com uma otimização no tempo de produção de aproximadamente 50%.

**Palavras-chave:** Produção de cerveja. Melhorias de processo. Eficiência. Aumento de produtividade. BJCP.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Comportamento das propriedades atribuídas pelo lúpulo de acordo com o tempo de fervura .....	14
Figura 2 – Formas de apresentação do lúpulo: (A) cones frescos, (B) cones desidratados e (C) pellets .....	14
Figura 3 – Diferentes tipos de malte .....	15
Figura 4 – Fluxograma da produção de cerveja .....	17
Figura 5 – Moinho de dois rolos .....	18
Figura 6 – Malte Pilsen antes da moagem (A) e moído (B) .....	19
Figura 7 – <i>Whirlpool</i> ilustrando a formação do <i> trub </i> .....	21
Figura 8 – Trocador de calor de placas .....	22
Figura 9 – Aquecimento por recirculação .....	24
Figura 10 – Diferentes estilos de cerveja.....	25
Figura 11 – Irish Red Ale .....	26
Figura 12 – American IPA.....	27
Figura 13 – Cream Ale.....	28
Figura 14 – Identidade visual do Beersmith .....	30
Figura 15 – Identidade visual do Brewfather.....	30
Figura 16 – Esquema do sistema produtivo.....	32
Figura 17 – Equipamento de produção .....	32
Figura 18 – Esquema de estabilização de temperatura .....	35
Figura 19 – Brassagem.....	36
Figura 20 – Teste do iodo .....	37
Figura 21 – Esquema de filtração e lavagem .....	37
Figura 22 – Fervura.....	39
Figura 23 – Resfriamento e transferência do mosto para o fermentador .....	39
Figura 24 – Fermentação .....	40
Figura 25 – Calibração da panela de lavagem .....	46
Figura 26 – Calibração da panela de brassagem.....	46
Figura 27 – Calibração da panela de fervura .....	47
Figura 28 – Cervejas Irish Red Ale e American IPA.....	52
Figura 29 – Estoque de produção.....	52
Figura 30 – American IPA produzida.....	53

Figura 31 – Cream Ale produzida.....	53
Figura A1 – Receita da Irish Red Ale no Brewfather .....	58
Figura A2 – Receita da American IPA no Brewfather .....	59
Figura A3 – Receita da Cream Ale no Brewfather .....	60
Figura B1 – Planilha para cálculo de sais da American IPA .....	61
Figura B2 – Planilha para cálculo de sais da Cream Ale.....	62
Figura C1 – Rótulo Irish Red Ale .....	63
Figura C2 – Rótulo American IPA .....	63
Figura C3 – Rótulo Cream Ale .....	64
Quadro 1 – Temperatura e pH de atuação das enzimas no mosto .....	19



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatísticas vitais da Irish Red Ale .....	26
Tabela 2 – Estatísticas vitais American IPA .....	27
Tabela 3 – Estatísticas vitais Cream Ale.....	28
Tabela 4 – Matérias-primas utilizadas nas produções .....	34
Tabela 5 – Volumes de água adicionados de acordo com a panela e o estilo de cerveja.....	35
Tabela 6 – Adições de lúpulo.....	38
Tabela 7 – Parâmetros adotados para carbonatação.....	41
Tabela 8 – Acompanhamento da produção da Irish Red Ale .....	43
Tabela 9 – Acompanhamento da produção da 1ª American IPA.....	44
Tabela 10 – Acompanhamento da produção da 2ª American IPA.....	44
Tabela 11 – Volumes mortos dos componentes do módulo de produção .....	45
Tabela 12 – Taxa de evaporação na panela de fervura .....	48
Tabela 13 – Acompanhamento da produção da Cream Ale .....	48
Tabela 14 – Valores de eficiência .....	49
Tabela 15 – Valores de tamanho do lote e tempo de produção .....	50
Tabela 16 – Teor alcoólico .....	51

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1	Cerveja .....	12
2.2	Matérias-primas .....	12
2.2.1	Água .....	12
2.2.2	Lúpulo .....	13
2.2.3	Malte.....	15
2.2.4	Levedura .....	16
2.2.5	Adjuntos .....	16
2.3	Processo Produtivo .....	17
2.3.1	Moagem.....	18
2.3.2	Brassagem .....	19
2.3.3	Clarificação .....	20
2.3.4	Fervura .....	21
2.3.5	Resfriamento .....	22
2.3.6	Fermentação .....	22
2.3.7	Maturação.....	23
2.3.8	Carbonatação e envase .....	23
2.4	Sistema de produção do tipo HERMS .....	23
2.5	Estilos de cerveja .....	24
2.5.1	Irish Red Ale .....	25
2.5.2	American IPA.....	26
2.5.3	Cream Ale .....	27
2.6	Eficiências de brassagem e total .....	28
2.7	<i>Softwares</i> cervejeiros .....	29
2.7.1	Beersmith .....	29
2.7.2	Brewfather .....	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	31
3.1	Procedimento para produção das cervejas .....	31
3.2	Cálculo das eficiências.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43

5	CONCLUSÃO .....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE A – Receitas. ....	58
	APÊNDICE B – Ajuste de água. ....	61
	APÊNDICE C – Rótulos.....	63

## 1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma bebida fermentada muito antiga, com sua criação datada entre 6000 e 8000 mil anos, sendo ao longo da história sido feitas melhorias no controle contínuo do seu processo produtivo. Os ingredientes básicos para a produção da maioria das cervejas são: água, cevada maltada, lúpulo e levedura; de fato, a lei Bavária de pureza, com quase 500 anos (Reinheitsgebot), restringe os cervejeiros a utilizarem apenas esses ingredientes nas cervejas produzidas na Alemanha (VENTURINI FILHO, 2016).

No Brasil, a legislação permite que haja, em adição ou substituição ao malte de cevada, o uso de cereais não maltados e carboidratos de origem vegetal, transformados ou não, os chamados adjuntos. Na elaboração do mosto cervejeiro, eles podem substituir o extrato primitivo, malte ou extrato de malte, em até 45% em massa (BRASIL, 2019).

Em 2020, o Brasil chegou a um total de 1.383 cervejarias registradas, um aumento de 14,4% em relação ao ano anterior, que produziram 14,1 bilhões litros da bebida (BRASIL, 2021).

Com o aumento da concorrência entre as organizações, as empresas enfrentam desafios cada vez maiores para se destacarem nos seus respectivos mercados de atuação. Assim, a melhoria contínua nos processos produtivos se torna fundamental, e com o mercado cervejeiro não é diferente, ficando clara a competitividade desse setor e a relevância dele para a economia como um todo.

Perante o exposto, a otimização do processo produtivo de cerveja é essencial, possibilitando refinar seu desempenho. Sabe-se a otimização dos processos passa por várias etapas. Utilizando um método de análise, é possível avaliar quais pontos são críticos para a operação, identificar os fatores que impactam negativamente na rotina do processo e, assim, ter uma orientação mais efetiva de como melhorar sua eficiência.

Nesse sentido, o trabalho proposto tem como objetivos o aumento da eficiência total e de brassagem de um processo produtivo de cerveja artesanal, redução de custos com matérias-primas, aumento da produtividade, redução no tempo de produção, além de melhorias no acompanhamento dos parâmetros do processo. Para isso, foi utilizado o módulo de produção de cerveja do Núcleo de Estudos em Cerveja Artesanal (NucBeer), localizado no Laboratório de Engenharia das Reações Químicas no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Cerveja**

Por definição, “cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação de levedura, com adição de lúpulo, sendo que o malte de cevada e o lúpulo podem ser substituídos pelos seus extratos” (BRASIL, 2009).

Considerada como alimento durante quase toda sua história que data de mais de 7 mil anos, a cerveja tem também um passado marcado pelos religiosos cristãos, tanto católicos quanto protestantes, por intelectuais, filósofos, artistas e políticos. A tendência de refinamento sensorial e melhoria contínua, guiada pela sofisticação do paladar e apoiada pela tecnologia, levou a uma grande gama de produtos oferecidos ao consumidor final.

Às diversas opções de maltes, seu grau de secagem e diferenciação na maltaria, além da escolha dos cereais utilizados, somam-se as possibilidades de lúpulos com diferentes teores de força aromática ou de amargor, e as combinações com as diferentes cepas de levedura que desempenham papel fundamental na transformação dessa mistura doce em álcool. A isso tudo se acrescentam ainda as propriedades físico-químicas da água utilizada. Finalmente, entram os detalhes do processo: temperatura, pressão, tempo etc. e os eventuais temperos. E com isso obtemos a diversidade. (MORADO, 2017).

### **2.2 Matérias-primas**

#### **2.2.1 Água**

Considerando-se que as cervejas têm em torno de 90% de água, ela é um ingrediente importantíssimo na qualidade final do produto. Os aspectos considerados em relação à água para a produção da cerveja vão bem além da potabilidade, uma vez que sua química interfere bastante no sabor e no aroma da bebida (MORADO, 2017).

Existem dois tipos de água utilizados na fabricação da cerveja, a água cervejeira, usada no preparo do malte para a moagem, transferência de produtos em elaboração e na lavagem de garrafas, latas e barris, e a água de serviço, utilizada em procedimentos, locais e equipamentos que não entram em contato com o produto. A água deve preencher certos requisitos para que possa ser empregada na produção da cerveja, sendo livre de turbidez, com o pH controlado (5 a 9,5) e dentro dos padrões microbiológicos, além de possuir quantidades adequadas de sais, conferindo assim um grande leque de possibilidades ao se ajustar tal matéria-prima (ROSA; AFONSO, 2015).

Basicamente, existem três íons que podem ser usados para melhorar a cerveja. Estes íons são: cloreto, sulfato e sódio. O sódio e o cloreto colaboram no ajuste da doçura da cerveja, enquanto os sulfatos acentuam o amargor do lúpulo. Antes de qualquer adição na água cervejeira, é fundamental entender o perfil de sais que ela possui, assim não havendo exageros nas adições, como exemplo, muito sulfato pode produzir um amargor muito intenso e desagradável (PALMER, 2006).

### 2.2.2 Lúpulo

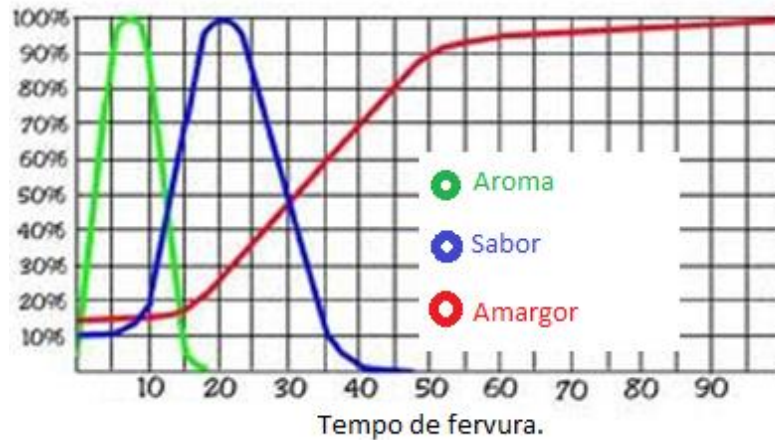
O lúpulo é uma planta trepadeira com alta capacidade de crescimento, chegando a medir entre 5 e 7 metros de altura, e produtor de pequenos cones. Seu nome científico é *Humulus lupulus* e ele pertence à família *Cannabaceae*. Na fabricação da cerveja somente cones femininos são utilizados, porque possuem uma concentração muito maior de compostos desejados do que os masculinos, com números chegando a até 150 vezes mais (MORADO, 2017).

O lúpulo é um conservante natural e essa foi uma de suas primeiras funções na cerveja. Lúpulos eram adicionados diretamente aos barris após a fermentação, para manter a cerveja fresca enquanto era transportada. Foi assim que o estilo *India Pale Ale* (IPA) foi desenvolvido. Na virada do século 18, cervejarias britânicas começaram a embarcar *strong ale* com lotes de lúpulo adicionados aos barris para preservá-la ao longo dos vários meses de viagem para a Índia. No final da viagem, a cerveja tinha adquirido as características principalmente de aroma e de sabor do lúpulo (PALMER, 2006).

Segundo Palmer (2006), lúpulos de amargor são ricos em alfa ácidos, cerca de 10% de seu peso, já os lúpulos de aroma possuem cerca de 5% desses compostos e produzem sabor e aroma proeminentes na cerveja. No entanto, muitas variedades de lúpulo podem ser usadas para ambas as finalidades. Lúpulos de amargor, também conhecidos como *kettle hops*, são acrescentados no início da fervura e deixados durante cerca de uma hora, por sua vez, os de aroma são adicionados ao final e, normalmente, fervidos por até 15 minutos, sendo conhecidos como *finishing hops*.

Sabendo dessa relação, é possível, a partir da combinação de variedades de lúpulo e diferentes tempos durante a fervura, elaborar perfis mais complexos e particulares, trazendo equilíbrio entre as variáveis organolépticas cabíveis ao lúpulo, como aroma, amargor e sabor. Com o auxílio da Figura 1, pode-se observar o comportamento dessas propriedades em relação ao tempo de fervura.

Figura 1 – Comportamento das propriedades atribuídas pelo lúpulo de acordo com o tempo de fervura.



Fonte: Adaptado de Cerveja Henrik Boden (2009).

Segundo Morado (2017), o cervejeiro escolhe os lúpulos adequados à sua receita em função das características desejadas. Essa escolha determinará também qual o melhor momento de acrescentá-lo ao processo: se no início, durante ou ao final da fervura ou mesmo ao final da fermentação (*dry hopping*). Os lúpulos usados na fabricação de cervejas são fornecidos em uma das três formas, descritas a seguir.

- Cones frescos: pouco usados, devido à sua sensibilidade à umidade. Duram, no máximo, uma semana após a colheita. Somente cervejas vizinhas aos campos utilizam-no dessa forma (Figura 2 A).
- Cones desidratados: depois de colhidos, os cones são desidratados a fim de preservar os principais óleos e resinas (Figura 2 B).
- *Pellets*: é o mais comum; são utilizados folhas e cones recém-colhidos, prensados e embalados a vácuo para conservação (Figura 2 C).

Figura 2 – Formas de apresentação do lúpulo: (A) cones frescos, (B) cones desidratados e (C) *pellets*.



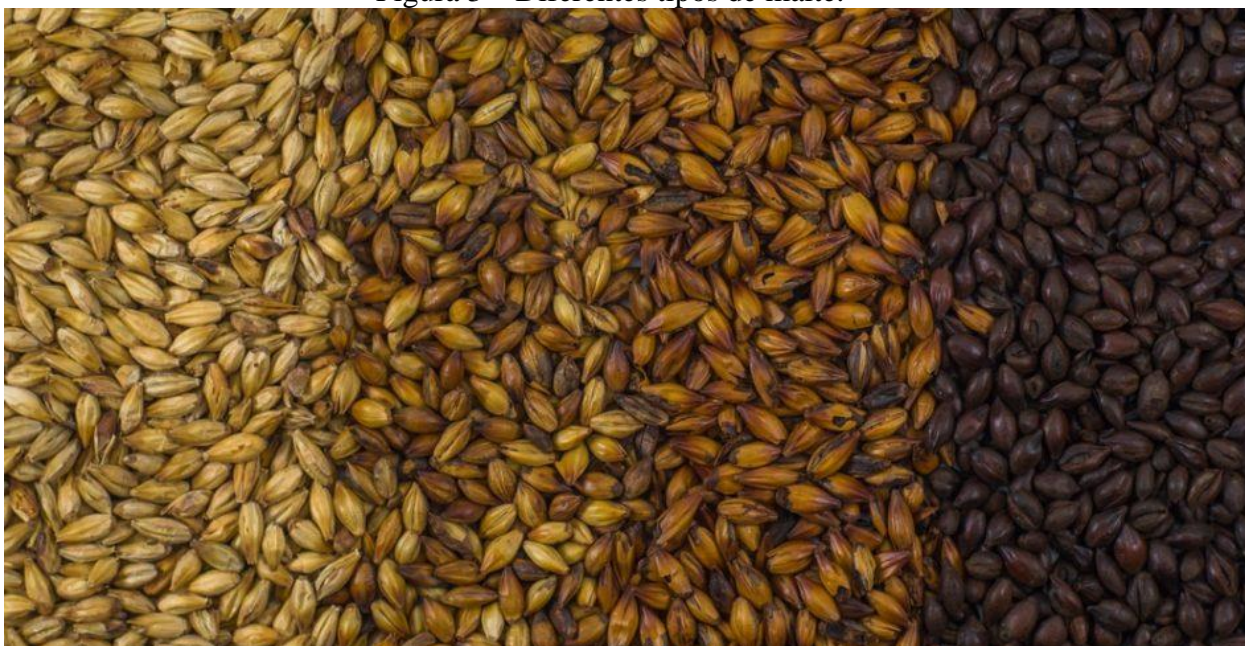
Fonte: Yakima Valley Hops (2022).

### 2.2.3 Malte

“Malte ou cevada maltada é o grão de cevada cervejeira submetido a processo de malteação” (BRASIL, 2019).

Maltar é o processo que consiste em maceração, germinação e secagem. O grão de cevada é umidificado para iniciar o processo de germinação. Quando a semente germina, ela ativa enzimas que começam a converter suas reservas de amido e proteínas em açúcares e aminoácidos, os quais serão utilizados no crescimento da planta. O objetivo de maltar um grão é liberar estas enzimas para sua utilização no processo produtivo da cerveja. Uma vez que as enzimas começam a agir, o grão que iniciou o brotamento é seco num forno, desativando as enzimas do malte, até que seja utilizado na fabricação da cerveja (PALMER, 2006). Durante a secagem dos grãos, podem ser obtidos diferentes níveis de torra do malte, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Diferentes tipos de malte.



Fonte: Central Brew (2021a).

“Assim, para uma boa cerveja, o malte deve ter boa qualidade e ser armazenado adequadamente. Os grãos escolhidos para a malteação são selecionados por tamanho, teor de proteína e umidade” (MORADO, 2017).



## 2.2.4 Levedura

“As leveduras utilizadas na produção de cerveja são fungos unicelulares que se reproduzem vegetativamente por brotamento, pertencem ao gênero *Saccharomyces* e estão distribuídas na espécie *S. Cerevisiae*” (HOUGH, 1985).

Segundo Palmer (2006), a levedura pode viver de forma anaeróbica devido ao processo conhecido como fermentação. Suas células incorporam açúcares simples, como glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) e maltose, e produzem dióxido de carbono ( $CO_2$ ), álcool etílico ( $C_2H_5OH$ ) e ATP (adenosina trifosfato) como produtos. Pode-se observar na Equação 1 a representação de como se dá o processo de fermentação.



A respeito do uso das leveduras, tem-se basicamente usos baseados nas cervejas Ale, Lager e Lambic, havendo maior enfoque nas duas primeiras.

Tradicionalmente, as cervejas Lager são produzidas com leveduras conhecidas como de baixa fermentação, etapa essa que é conduzida em faixa de temperatura de 7 – 15 °C, levando a fermentação primária de sete a dez dias. As leveduras que fermentam as Ales, ou de alta fermentação, são utilizadas em temperaturas na faixa de 18 – 22 °C, e demoram cerca de três a cinco dias para a fermentação primária (VENTURINI FILHO, 2016).

## 2.2.5 Adjuntos

Adjuntos são fontes alternativas de açúcares que têm como objetivo substituir uma parcela do malte. Muitas vezes, eles são utilizados como substituinte mais barato do que o malte de cevada, mas também podem ter seu uso correlacionado a mudança de parâmetros vinculados à qualidade da cerveja, sendo eles cor, sabor e espuma. Enquanto o uso de adjuntos muitas vezes não é bem aceito por entusiastas da cerveja, pela sua ampla utilização, acabam se tornando tradicionais (OLIVER, 2020).

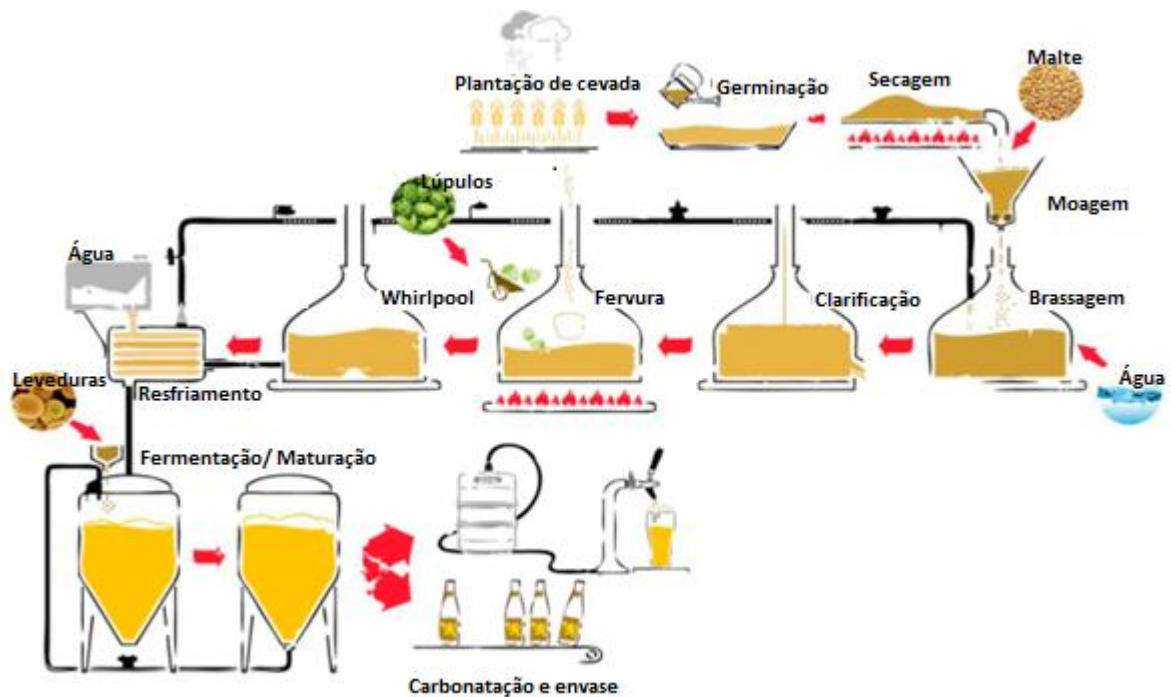
A adição desses constituintes da cerveja pode ser feita na brassagem, fervura, fermentação e até na maturação, trazendo diferentes benefícios e particularidades para o produto. Como exemplos de adjuntos, pode-se citar o trigo, arroz, aveia, milho, centeio, sorgo, semente de coentro, gengibre e casca de laranja (PALMER, 2006).

### 2.3 Processo produtivo

A receita para a fabricação da cerveja basicamente é: mói-se a cevada maltada e coloca-se em infusão a quente com água; coa-se a mistura, ferve-se de novo com lúpulo e novamente coa-se. Acrescenta-se, então, a levedura e deixa-se fermentar. Depois, essa bebida fermentada fica em repouso por algum período para maturação e, em seguida, retiram-se as leveduras, dando início ao processo de carbonatação, tornando a cerveja pronta para consumo ao final desse processo (MORADO, 2017).

Esse processo envolve várias e complexas reações químicas e bioquímicas, que devem ocorrer sobre rigoroso controle de algumas variáveis, como temperatura, pH, entre outros. Na Figura 4, pode-se observar o fluxograma do processo produtivo da cerveja.

Figura 4 – Fluxograma da produção de cerveja.



Fonte: Adaptado de Dadobier (2017).

Um ponto importante a se ressaltar é que como o processo de malteação, incluindo as etapas de germinação e secagem, não é feito artesanalmente, na maioria dos casos, ele não está descrito detalhadamente neste trabalho. Ademais, destaca-se que, antes do início da produção de cerveja, deve ser feita uma limpeza rigorosa e sanitização de todos os equipamentos e utensílios que serão utilizados no processo.

### 2.3.1 Moagem

Moagem é o processo em que ocorre a quebra do malte e cereais por um moinho de malte, anteriormente ao processo de brassagem. Os moinhos podem ter vários desenhos e podem conter um, dois ou até mesmo três pares de rolos, ou em casos de cervejarias que necessitam de uma moagem mais fina, pode-se recorrer ao uso de moinhos de martelo. Tradicionalmente, o malte é moído seco, porém algumas cervejarias utilizam moagem úmida, podendo ser mais eficiente (OLIVER, 2020). Pode-se ver na Figura 5 um exemplo de moinho de rolos.

Figura 5 - Moinho de dois rolos.



Fonte: Cerveja da Casa (2021).

A principal função da moagem consiste em aumentar a área superficial do amido, podendo assim acelerar as reações enzimáticas, favorecendo a hidrólise (PIRES; BRÁNYIK, 2015). Essa etapa tem fundamental importância na rapidez das transformações físico-químicas, na clarificação, no rendimento e na qualidade do produto (VENTURINI FILHO, 2010).

Há uma grande relação entre a eficiência na extração dos açúcares dos grãos e o tamanho das partículas resultantes da moagem. As partículas maiores possibilitam uma filtração mais eficiente, já as partículas menores promovem uma melhor extração, pois facilita a ação enzimática (SZWAJGIER, 2011). As cascas dos grãos moídos auxiliam na etapa da filtração, por serem insolúveis, atuando como camada filtrante e evitando que o material particulado fique compactado, permitindo a extração do açúcar à medida que o mosto flui pela camada filtrante (PALMER, 2006). Pela Figura 6, tem-se o malte antes e após o processo de moagem.

Figura 6 - Malte Pilsen antes da moagem (A) e moído (B).



Fonte: Casa Nobre Brew Shop (2022).

### 2.3.2 Brassagem

Os grãos moídos são misturados com água, formando uma mistura espessa. É nesse processo, também conhecido como mostura, que os cereais amiláceos são transformados em açúcares e aminoácidos, ocorrendo também a solubilização de outros compostos e gerando um líquido doce e fermentável chamado de mosto (OLIVER, 2020).

A mostura consiste em submeter essa infusão a diferentes temperaturas por períodos pré-determinados. Esse processo é importante, pois cada enzima age melhor em determinada temperatura (MORADO, 2016).

Com o passar dos anos, vem se desenvolvendo diferentes processos de mosturação, que podem ser divididos em métodos de infusão e decocção. A escolha do tipo de mostura a ser aplicada durante a atuação enzimática vai depender muito do tipo e da composição da cerveja desejada (VENTURINI FILHO, 2016).

Levando em conta o método por infusão, em que se usa a mesma temperatura para todas as enzimas da mostura, que é o método mais simples e o mais usado para a maioria dos estilos de cerveja, o mosto deve ser mantido à temperatura de sacarificação por cerca de uma hora, idealmente sem que haja variação de mais de dois graus (PALMER, 2006).

Pode-se observar no Quadro 1, as faixas de temperaturas e pH ideais para a atuação de determinadas enzimas, juntamente com suas funções.

Quadro 1 – Temperatura e pH de atuação das enzimas no mosto.

Enzima	Faixa ideal de temperatura	Faixa de pH	Função da enzima
Fitase	30-52 °C	5,0-5,5	Diminuição do pH do mosto
Beta Glucanase	35-45 °C	4,5-5,5	Gelatinização, auxiliando a liberação de açúcares fermentescíveis
Peptidase	45-55 °C	4,6-5,3	Produz maior quantidade de proteínas solúveis no mosto
Protease	45-55 °C	4,6-5,3	Quebram proteínas que geram a turvação da cerveja
Beta Amilase	55-65 °C	5,0-5,5	Produz maltose
Alfa Amilase	68-72 °C	5,3-5,7	Produz açúcares diversos, incluindo a maltose

Fonte: Adaptado de Rixhon (2015).

Seguindo o processo de brassagem, tem-se uma etapa que tem como única função interromper a atuação das enzimas e preparar o mosto para a filtragem e lavagem, o *mash out*. Terminado o tempo de brassagem, a temperatura do mosto é elevada até cerca de 75-79 °C durante alguns minutos para inativar as enzimas que estavam convertendo os amidos. Cabe mencionar que a maioria das receitas para fabricação de cerveja já contam com essa faixa de temperatura nas rampas de temperatura (PALMER, 2006).

### 2.3.3 Clarificação

A clarificação ocorre após a brassagem, consistindo na filtração e lavagem do mosto. Em concordância com Morado (2016), a filtração é a etapa do processo que consiste em fazer a separação da parte líquida do mosto e o bagaço do malte, sendo feita em tinas de clarificação, geralmente utilizadas em cervejarias de menor porte pela sua versatilidade. A filtração em tina de clarificação utiliza um fundo falso, que serve de sustentação para o elemento filtrante, que consiste nas cascas do malte. Assim, esse tipo de filtro demanda que a moagem seja feita com moinho de rolos, por preservar as cascas do malte. Após a filtração, adiciona-se água quente, a uma temperatura de 75 °C a 79 °C, ao bagaço restante, extraíndo-se boa parte dos açúcares que ainda estão contidos nos grãos, formando então o mosto secundário.

“Deve-se tomar cuidado em relação a temperatura da água de lavagem, valores elevados podem resultar na extração excessiva de polifenóis e amido residual, podendo causar sabores indesejados e elevando a turbidez da cerveja respectivamente” (MORADO, 2016).

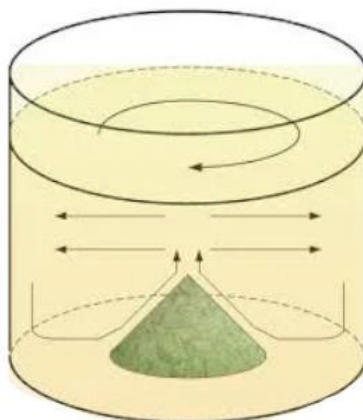
### 2.3.4 Fervura

Com o mosto filtrado, pode-se submetê-lo à próxima etapa do processo, a fervura. Essa etapa tem como objetivos: inativação de enzimas, esterilização do mosto, coagulação proteica, extração de compostos amargos e aromáticos do lúpulo, formação de substâncias constituintes do aroma e sabor, evaporação de água excedente e de componentes aromáticos indesejáveis ao produto (VENTURINI FILHO, 2016). Segundo Venturini Filho (2016), o mosto deve ser mantido em fervura até atingir a concentração desejada de açúcares para o início da fermentação, durante 60-90 min, permitindo uma evaporação máxima de até 10% do volume inicial.

Outro ponto da fervura é a adição do lúpulo, normalmente feita em duas etapas, como mencionado anteriormente, uma conferindo amargor e a outra para adição de características referentes aos óleos essenciais do lúpulo, sendo essas escolhas feitas conforme a concentração de alfa e beta ácidos presentes na planta (MORADO, 2016).

Por fim, é necessário fazer a retirada de alguns compostos que podem comprometer a estabilidade da cerveja, a esse processo se dá o nome de *whirlpool*. Nele, o princípio é que forças centrípetas farão com que as partículas sólidas suspensas no mosto decantem e migrem para o centro do fundo da tina em formato de massa cônica. Esse processo fará a separação do *trub*, um sedimento que contém partículas sólidas a base de proteína e fragmentos de lúpulo, e do mosto que será resfriado e posteriormente fermentado (OLIVER, 2020). Tal processo pode ser observado através da Figura 7, na qual as setas indicam o sentido de rotação do mosto e a formação do conglomerado de sedimentos.

Figura 7 - *Whirlpool* ilustrando a formação do *trub*.



Fonte: Concerveja (2016).

### 2.3.5 Resfriamento

O mosto é resfriado até a temperatura desejada para a fermentação, sendo uma fase importante na formação de aromas. Em geral, esse resfriamento ocorre de 85 °C, temperatura em que finaliza o *whirpool*, a 30 °C, utilizando trocadores de calor do tipo placa, como ilustrado na Figura 8. O resfriamento deve ser rápido, para evitar a formação de aromas indesejáveis e o risco de contaminação. O mosto então é transferido para o fermentador e aerado para fornecer à levedura o oxigênio de que ela necessita para a multiplicação celular; etapa essa que deve ser feita com cuidado evitando adição excessiva de oxigênio e, conseqüentemente, a oxidação do mosto (PALMER, 2006).

Figura 8 - Trocador de calor de placas.



Fonte: Do autor (2022).

### 2.3.6 Fermentação

O processo fermentativo consiste no ponto central para produção de qualquer bebida alcoólica, possuindo como principal objetivo a conversão de açúcares em etanol e gás carbônico pela levedura (Equação 1), sob condições anaeróbicas (VENTURINI FILHO, 2016).

Segundo Venturini Filho (2016), todos os carboidratos fermentescíveis como, maltose, frutose, sacarose, maltotriose e glicose, são utilizados pela levedura. Além dos produtos principais da fermentação alcoólica, são gerados também alguns subprodutos, como o diacetil, por exemplo, sendo que vários deles permanecem no líquido e são assimilados pela levedura. Esses compostos secundários influenciam nas características organolépticas e sensoriais da cerveja pronta.

### 2.3.7 Maturação

Pode também ser chamada de fase secundária ou de acondicionamento, é a etapa em que a levedura vai fazer a retirada dos subprodutos, provenientes da fermentação primária, que são indesejáveis, o que ajuda a melhorar características da cerveja como sabor e limpidez (HUGHES, 2016).

No final da fermentação secundária, a levedura suspensa flocula e decanta no fundo do fermentador, e a cerveja fica mais clara. As proteínas de alto peso molecular também decantam durante esta etapa. Este processo pode ser otimizado, fazendo o resfriamento da cerveja, sendo conhecido como "*cold conditioning*" nas Ales ou "*laggering*" nas Lagers, e é uma prática bem popular entre os cervejeiros artesanais e nas micro cervejarias (PALMER, 2006).

Uma técnica que em determinados estilos também faz parte da maturação é o *dry hopping*, que consiste em acrescentar lúpulo após a fermentação ou durante a maturação, através de uma infusão a frio, com o objetivo de intensificar aromas e dar frescor à cerveja. Por isso, os lúpulos utilizados nesta etapa têm maior concentração de beta ácidos, embora também acrescentem amargor à cerveja. Na atualidade, a técnica tornou-se muito popular nas cervejas em que há destaque para as características do lúpulo, como na IPA (MORADO, 2016).

### 2.3.8 Carbonatação e envase

Com o objetivo de atingir o nível adequado de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), uma das formas de carbonatação é fazer a adição de uma quantidade de açúcar na cerveja, imediatamente antes da transferência da bebida para o recipiente em que se vai envasar, podendo ser garrafas, latas e até barris. A quantidade de substrato a ser colocada depende do tipo de açúcar a ser usado, da quantidade de cerveja e do nível de CO<sub>2</sub> desejado. Como opções, tem-se os açúcares de milho, cana e o extrato de malte seco (DME, do inglês *dry malt extract*) (HUGHES, 2016).

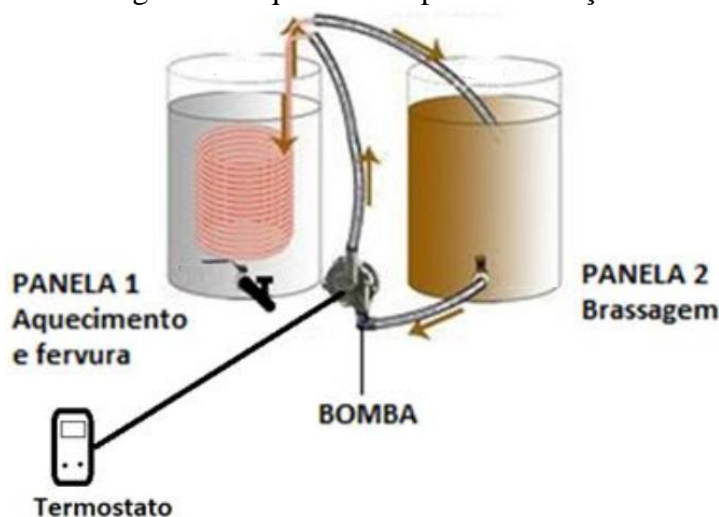
## 2.4 Sistema de produção do tipo HERMS

O HERMS, ou sistema de aquecimento indireto do mosto, consiste em realizar a brassagem por meio de duas panelas, sendo um reservatório de água e a outra onde fica contido o mosto. Sua sigla advém do inglês "*heat exchange recirculation mash system*" e o processo consiste em recircular constantemente o mosto por uma serpentina imersa no reservatório de



água quente, como ilustrado na Figura 9, e ter controle total da temperatura durante a brassagem. Como o aquecimento é feito por troca térmica de forma indireta, é um sistema que permite certo nível de automatização e traz benefício referente aos grãos, evitando o sobreaquecimento dos açúcares do mosto (CAMPOS, 2017).

Figura 9 - Aquecimento por recirculação.



Fonte: Adaptado de Mundo Kveik (2020).

Cabe mencionar que, além do HERMS, existem outros tipos de sistemas de produção, entre eles o BIAB e o RIMS. O primeiro possui esse nome como sigla de “*brew in a bag*”, tratando-se de um sistema mais simples, por suas características e pela quantidade de equipamentos necessários, já que basicamente são utilizados um caldeirão e um filtro de tecido. Quando se trata do RIMS (*recirculating infusion mash system*), utiliza-se aquecimento direto à medida em que o mosto vai sendo recirculado, movimento esse que evita danos por aquecimento excessivo (BEERSMITH, 2009). Ambos são sistemas mais simples que o HERMS e, por esse motivo, não têm as vantagens que a produção de cerveja artesanal por aquecimento indireto possui, como a maior possibilidade de controle do processo e de aumento de escala.

## 2.5 Estilos de cerveja

As cervejas podem ser classificadas de acordo com um critério ou conjunto de critérios, não sendo simples, pois são inúmeros os parâmetros que podem nortear essa categorização. As cervejas podem ser agrupadas por cor, matérias-primas, método de produção, origem, estilo, teor alcoólico etc. (MORADO, 2016).

Para a adequação da cerveja em determinado estilo, existem grandezas quantitativas, que são dimensões para classificá-las, sendo elas: ABV (*alcohol by volum*), OG (*original gravity*), FG (*final gravity*), SRM (*standard reference method*) e IBU (*international bitterness unit*), que são medidas de teor alcoólico, densidade inicial, densidade final, cor e amargor, respectivamente. Com base em tais parâmetros, se faz possível, como ilustrado na Figura 10, tomar nota de diferentes estilos de cerveja.

Figura 10 - Diferentes estilos de cerveja.



Fonte: Via Fly Viagens (2019).

Pela Figura 10, pode-se observar uma grande variedade de estilos, tanto Lagers quanto Ales, representados por suas cores e com o recipiente adequado para o consumo. Dentre os estilos de cerveja existentes, os abordados no presente trabalho são Irish Red Ale, American India Pale Ale (IPA) e Cream Ale (que se aproxima à Wheat Beer, dentre os estilos apresentados na Figura 10), os quais estão descritos a seguir.

### 2.5.1 Irish Red Ale

“As cervejas tradicionais da Irlanda contidas nesta categoria são de cor âmbar a preto, de fermentação alta, de intensidade leve a moderada, cada um dos estilos neste agrupamento tem uma variedade mais ampla do que comumente se acredita” (BONACCORSI, 2016).

Segundo Bonaccorsi (2016), as Irish Red Ales são ligeiramente maltadas, apresentam um suave dulçor inicial de caramelo e um paladar ligeiramente voltado a grãos e biscoito, tendo um toque mais seco e tostado no final, possuem baixa presença de lúpulo e sua coloração vai

de âmbar médio a cobre avermelhado médio.

A partir da Tabela 1 e da Figura 11, é possível ver as faixas de resultados esperadas, denominadas estatísticas vitais, e a coloração do estilo, respectivamente.

Tabela 1 – Estatísticas vitais da Irish Red Ale.

Parâmetros	Mínimo	Máximo
ABV	3,8%	5,0%
OG	1,036	1,046
FG	1,010	1,014
SRM	9	14
IBU	18	28

Fonte: BJCP (2021).

Figura 11 - Irish Red Ale.



Fonte: Central Brew (2021b).

### 2.5.2 American IPA

“O termo ‘IPA’ intencionalmente não é mais mencionado por extenso, como ‘Índia Pale Ale’, já que nenhuma destas cervejas historicamente foram à Índia e muitas não são claras. Entretanto, o termo IPA veio a ser um estilo de balanço definido nas cervejas artesanais modernas” (BONACCORSI, 2016).

Segundo Bonaccorsi (2016), as American IPA têm como características presença marcante de lúpulo e amargor, força moderada e podem conter uma grande variedade de lúpulos

americanos modernos, sendo que sua coloração varia de dourado médio a leve âmbar avermelhado.

Segue na Tabela 2 as faixas estatísticas que norteiam o estilo em questão e na Figura 12 é possível ver um exemplo do estilo.

Tabela 2 – Estatísticas vitais American IPA.

Parâmetros	Mínimo	Máximo
ABV	5,5%	7,5%
OG	1,056	1,070
FG	1,008	1,014
SRM	6	14
IBU	40	70

Fonte: BJCP (2021).

Figura 12 - American IPA.



Fonte: Cervejaria Antuérpia (2022).

### 2.5.3 Cream Ale

As cervejas nesta categoria geralmente não são complexas, seus sabores são suaves e com maior *drinkability*, que é a facilidade em se manter bebendo aquele estilo por maior tempo e quantidade. As Cream Ales normalmente têm características semelhantes às Lagers, e são projetadas para atrair os consumidores de Lagers de massa, sendo consideradas como cervejas de transição (BONACCORSI, 2016).

Segundo Bonaccorsi (2016), a Cream Ale é considerada um estilo com, no aroma, notas

de mate médio ou baixo-médio, sendo doce, coloração de amarelo palha a moderado ouro e sabor com baixo a médio-baixo amargor.

Pode-se ver com a Tabela 3 e a Figura 13 características inatas ao estilo em questão, sendo os parâmetros e um exemplo comercial, respectivamente.

Tabela 3 – Estatísticas vitais Cream Ale.

Parâmetros	Mínimo	Máximo
ABV	4,2%	5,6%
OG	1,042	1,055
FG	1,006	1,012
SRM	2	5
IBU	8	20

Fonte: BJCP (2021).

Figura 13 - Cream Ale.



Fonte: Capitão Barley (2021).

## 2.6 Eficiências de brassagem e total

A eficiência é um número importante a ser entendido para a fabricação de cerveja. Ela determina a gravidade original da cerveja, bem como a quantidade de grãos necessária para desenvolver uma determinada receita. Compreender a diferença entre a eficiência da brassagem e total do processo também é importante. Pode-se classificar as eficiências do processo

cervejeiro em basicamente duas, a *Brew House Yield* (eficiência de brassagem, BY) e a *Overall Brew House Yield* (eficiência total, OBY). A BY é definida simplesmente pela porcentagem de açúcares potenciais que são extraídos dos grãos durante a brassagem, já a OBY é definida como a eficiência total do processo. Tais valores de eficiência podem ser calculados através de *softwares* cervejeiros ou por equações matemáticas, que serão descritos posteriormente (BEERSMITH,2014). Podemos considerar valores entre 70% e 75% como uma média muito boa para cervejas artesanais, já valores com um percentual menor que 60% podem quantificar uma baixa eficiência (CERVEJA DA CASA, 2020).

## 2.7 *Softwares* cervejeiros

Basicamente, *softwares* cervejeiros são sistemas de compilação, armazenamento e integração de dados para facilitar o manuseio das informações necessárias para criar um rótulo de cerveja. Com eles, é possível elaborar receitas, organizar dados de produção, calcular parâmetros importantes, como teor alcoólico, eficiência e atenuação, além de acompanhar em tempo real a produção, possibilitando ajustes instantâneos que venham a ser necessários, como uma plataforma de acompanhamento dos dados (CERVEJA E MALTE, 2017).

### 2.7.1 Beersmith

O Beersmith<sup>TM</sup> é um dos mais populares e confiáveis *softwares* de cerveja da atualidade, podendo ser utilizado por meio dos sistemas operacionais Windows, Linux ou OS MAC, tendo uma interface simplificada e intuitiva. Assim, é possível criar receitas, fazer uma parametrização do processo de produção, garantindo mais confiabilidade aos resultados, e adaptar as receitas com o perfil do equipamento utilizado, além da possibilidade de compartilhá-las *on-line* (BEERSMITH, 2022). Na Figura 14 é possível ver o logotipo do *software* em questão.

Figura 14 – Identidade visual do Beersmith.



Fonte: Beersmith (2022).

### 2.7.2 Brewfather

Brewfather® é um moderno *software* de elaboração e acompanhamento de receitas de cerveja. Tal plataforma tem como diferencial um *layout* moderno e simplificado, trazendo uma experiência mais amigável aos usuários, além de disponibilizar a plataforma de maneira gratuita para a maioria das funcionalidades (BREWFAATHER, 2022). Na Figura 15, tem-se apresentada a identidade visual do *software* Brewfather.

Figura 15 - Identidade visual do Brewfather.



Fonte: Brewfather (2022).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O módulo utilizado para a produção de cerveja e desenvolvimento do trabalho foi um do tipo HERMS, utilizado para pesquisa no Núcleo de Estudos em Cerveja Artesanal (NucBeer). A seguir estão descritos os procedimentos realizados para as produções, bem como para os cálculos relativos à eficiência.

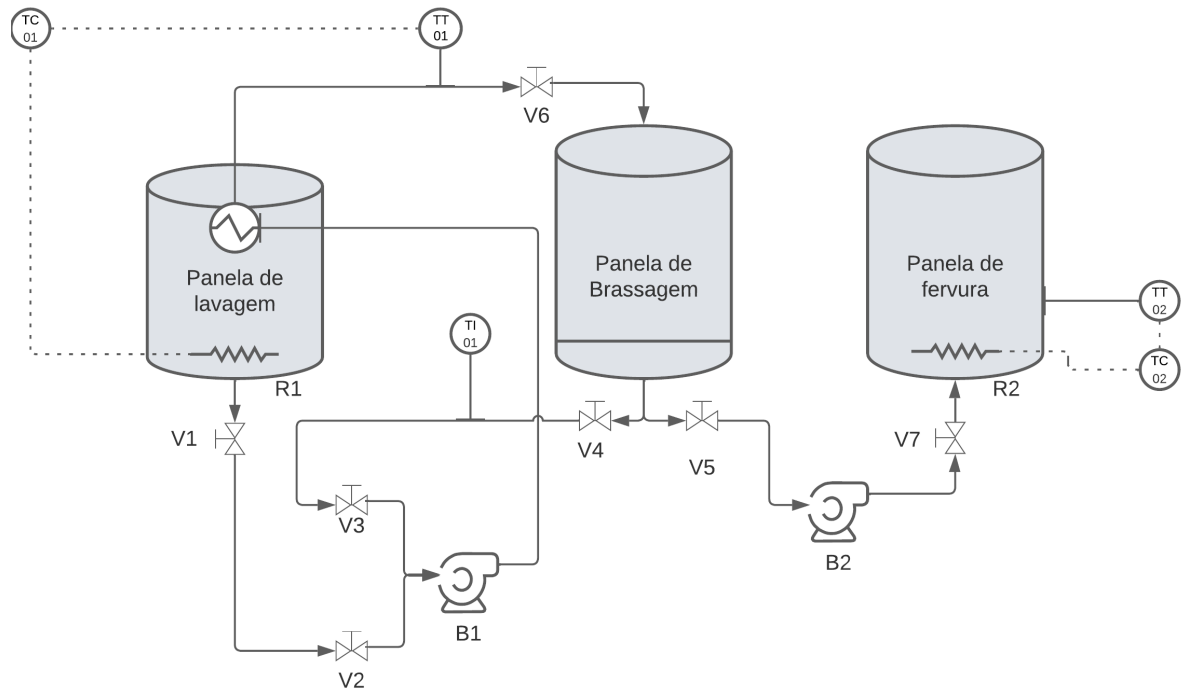
Durante o trabalho, foi feito um mapeamento do processo para identificação das oportunidades de melhoria no sistema, ou seja, visando encontrar quais alterações poderiam ser implementadas para aperfeiçoar o desempenho do processo. Com isso, e dado que uma das medidas de eficiência é especificamente relativa à etapa de brassagem, houve um direcionamento tanto para essa etapa quanto para a recirculação e lavagem (*sparge*) do mosto, as quais apresentaram mais possibilidades de aprimoramento e com maiores impactos nas eficiências.

#### 3.1 Procedimento para produção das cervejas

O equipamento de produção do NucBeer é composto por três painéis de aço inoxidável, sendo uma de 32 L (denominada painel de lavagem) e duas de 48 L (painéis de brassagem e de fervura), as quais são equipadas com válvulas para controle de fluxo, duas bombas, um controlador de temperatura, dois tanques fermentadores de 50 L, dois tanques fermentadores de 20 L, duas resistências, sendo uma de 3000 W e a outra de 5000 W, dois termopares, uma serpentina, um trocador de 30 placas e mangueiras atóxicas. Como acessórios, foram utilizados *airlock*, fundo falso, *hop bag*, refratômetro e termômetro analógico. Tal composição pode ser vista nas Figuras 16 e 17, em que há, respectivamente, um esquema e uma ilustração do sistema produtivo.



Figura 16 - Esquema do sistema produtivo.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 17 - Equipamento de produção.



Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 17, uma foto real do equipamento, pode-se ver o indicativo das bombas e das válvulas presentes no módulo, como apresentadas no esquema da Figura 16. Ademais, a montagem do sistema produtivo foi cuidadosamente revisada em cada produção, buscando evitar falhas no processo.

Para a elaboração da receita e acompanhamento da produção foram utilizados dois *softwares* cervejeiros, tanto o Beersmith quanto o Brewfather, sendo o segundo mais utilizado, enquanto o Beersmith serviu como referência, por ser mais tradicional, o Brewfather foi utilizado para conferência dos cálculos dos parâmetros da produção, como eficiência e teor alcoólico, que são calculados diretamente pelos programas.

Segundo Fernandes (2021), tem-se uma equação de calibração para cada panela do módulo de produção, a qual relaciona a altura do líquido na panela (H) com o volume nela contido (V). Tais dados de calibração, apresentados a seguir, foram utilizados para planejamento das duas primeiras produções deste trabalho, que serviram de base para as melhorias propostas na sequência. Esses dados estão representados pelas Equações 2, 3 e 4, obtidas por Fernandes (2021) para as panelas de lavagem, brassagem e fervura, respectivamente.

$$H = 1,0834 V + 0,7110 \quad (2)$$

$$H = 0,8486 V - 5,7209 \quad (3)$$

$$H = 0,8228 V - 0,3601 \quad (4)$$

Todas essas Equações, 2, 3 e 4, apresentaram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior que 0,9996, confirmando a linearidade dos dados. Assim, para o diagnóstico do sistema produtivo e identificação das possíveis melhorias, foi necessária a realização de algumas produções, sempre ajustando o equipamento e as receitas ao final delas. Nesse sentido, foram produzidas quatro receitas, uma de Irish Red Ale, duas de American IPA e uma de Cream Ale, conforme matérias-primas e suas quantidades correspondentes apresentadas na Tabela 4. As receitas completas, elaboradas no Brewfather, estão disponíveis no Apêndice A. Cabe ressaltar que as duas últimas produções consistiram em duas bateladas consecutivas, por isso observa-se na Tabela 4 maiores quantidades de matérias-primas utilizadas.

Tabela 4 – Matérias-primas utilizadas nas produções.

Matéria-prima	Irish Red Ale		1ª American IPA		2ª American IPA		Cream Ale	
	Tipo	Quantidade	Tipo	Quantidade	Tipo	Quantidade	Tipo	Quantidade
Malte	Pale	4,5 kg	Pale	7,3 kg	Pale	13 kg	Pilsen	11,7 kg
	Carared	0,5 kg	-	-	-	-	-	-
	Munich	0,5 kg	Munich	1,7 kg	Munich	4 kg	-	-
	Melanoidin	0,250 kg	-	-	-	-	-	-
	Caramunich	0,150 kg	-	-	-	-	-	-
	Carafa	50 g	-	-	-	-	-	-
Adjuntos	-	-	-	-	-	-	Flocos de milho	1,4 kg
Lúpulo	-	-	Cascade	130 g	Cascade	260 g	Centennial	36 g
	Perle	24 g	Magnum	25 g	Magnum	50 g	-	-
	-	-	Simcoe	18 g	Simcoe	36 g	Simcoe	80 g
Levedura	US-05	2 pct	US-05	2 pct	US-05	4 pct	US-04	4 pct

Fonte: Do autor (2022).

As quantidades de maltes utilizadas nas receitas acima descritas (Tabela 4) já vieram previamente moídas pelo fornecedor, apresentando todas a mesma granulometria. De modo que, como etapa inicial do processo, de extrema importância, é feita a limpeza e sanitização de todos os componentes, evitando possíveis contaminações ao longo do processo. Para isso, o procedimento realizado consiste em colocar 20 litros de água, filtrada e livre de cloro, pois passa por dois filtros de carvão ativado, um filtro de 5 micras e outro de 1 micra, na panela de lavagem e adicionar uma concentração de 1:1 (v/v) de ácido peracético e aguardar 15 minutos, repetindo esse procedimento em todas as panelas e nos fermentadores, sempre circulando essa solução pelas bombas e válvulas, lembrando de colocar os demais componentes envolvidos na produção também em contato com o sanitizante, sendo esses demais itens: trocador de placas, válvulas do fermentador, colheres, *airlock*, régua, mangueiras e outros itens que eventualmente foram utilizados.

É importante ressaltar que a sanitização pode ser feita apenas nos componentes que participam das etapas frias, já que a alta temperatura utilizada nas panelas serve como um agente de descontaminação.

Após o sistema ter sido devidamente higienizado e sanitizado, é necessário estabilizar a temperatura para início da brassagem. Nessa etapa, é realizado o preenchimento das panelas de lavagem e brassagem com água, de acordo com a receita previamente escolhida, com os volumes apresentados na Tabela 5. Posteriormente a isso, dá início ao aquecimento até atingir uma temperatura que seja adequada para execução da brassagem, conforme procedimento ilustrado na Figura 18. Em conjunto a esse procedimento, é feita a correção de íons na água; para isso, são adicionados sais, cujas quantidades estão apresentadas no Apêndice B. Portanto,

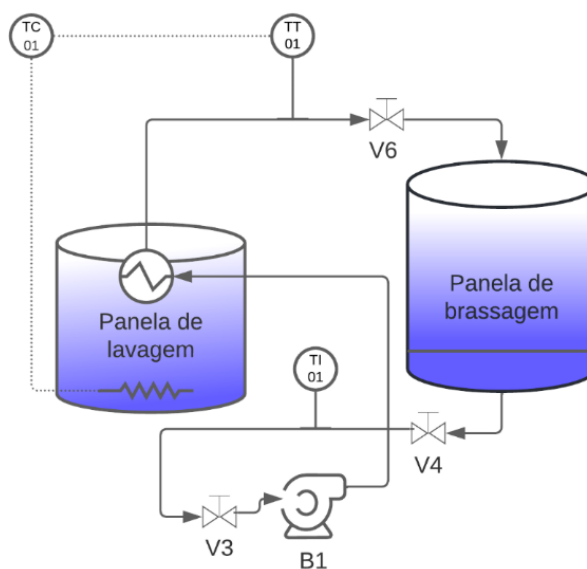
na Tabela 5, é possível tomar nota dos volumes de água necessários em cada uma das receitas produzidas, e observar as variações de acordo com as receitas, e na Figura 18 observa-se o esquema de estabilização de temperatura.

Tabela 5 – Volumes de água adicionados de acordo com a panela e o estilo de cerveja.

Estilo	Panela de Lavagem (L)	Panela de Brassagem (L)	Volume Total (L)
Irish Red Ale	25,27	21,12	46,39
1ª American IPA	19,17	30,27	49,44
2ª American IPA	20,10	28,77	48,87
Cream Ale	19,19	26,98	48,77

Fonte: Do autor (2022).

Figura 18 - Esquema de estabilização de temperatura.



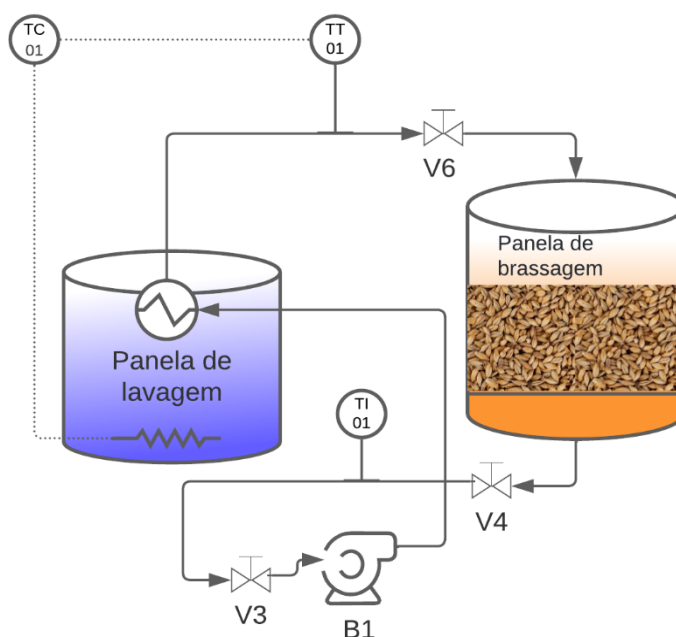
Fonte: Do autor (2022).

De acordo com a Figura 18, que representa a parte do módulo utilizada na brassagem, tem-se um sensor e transmissor de temperatura (TT-01) localizado na entrada da panela de brassagem, que informa a medida ao controlador (TC), o qual envia sinal para a resistência da panela de lavagem (R1). Quando se atinge a mesma temperatura em TT-01 e TI-01, que é o sensor e indicador de temperatura localizado na saída da panela de brassagem, indicando sua estabilidade, sendo ela de 70 °C, pode-se assim iniciar o processo de brassagem, como descrito a seguir.

São adicionados os grãos na panela de brassagem, que estão à temperatura ambiente, e dá-se início ao processo de recirculação da água quente que passa pelos grãos e, em seguida, após ser bombeada por B1, pela serpentina na panela de lavagem, estando abertas as válvulas

V3, V4 e V6 ilustradas na Figura 19. Nesse momento, a temperatura do sistema reduz, pela diferença de temperatura entre a água e o malte, e o *set point* do TC é ajustado para 65 °C: temperatura que favorece a conversão do amido em açúcares fermentescíveis. A brassagem como descrita é representada no esquema da Figura 19, na qual azul é utilizado para representar a água e o marrom representa o mosto. Esse processo ocorre por uma hora, sendo que, ao final desse período, o *set point* foi aumentado para 75 °C por 15 min, sendo feito assim o *mash out*.

Figura 19 - Brassagem.



Fonte: Do autor (2022).

O acompanhamento desse processo é realizado através do teste do iodo. Esse teste consiste em colocar uma gota de amostra de mosto em um prato de porcelana, com uma gota de solução de iodo a 2%. Se ainda houver amido para converter, ocorrerá uma reação química e a cor da mistura ficará escura, como na primeira amostra da Figura 20, localizada na parte superior a esquerda. Se não houver amido para reagir, ou seja, se a conversão para açúcares estiver completa, a cor ficará alaranjada, como em uma solução de iodo puro, como pode-se observar nas últimas amostras da Figura 20, localizadas na parte inferior a direita.

Figura 20 - Teste do iodo.

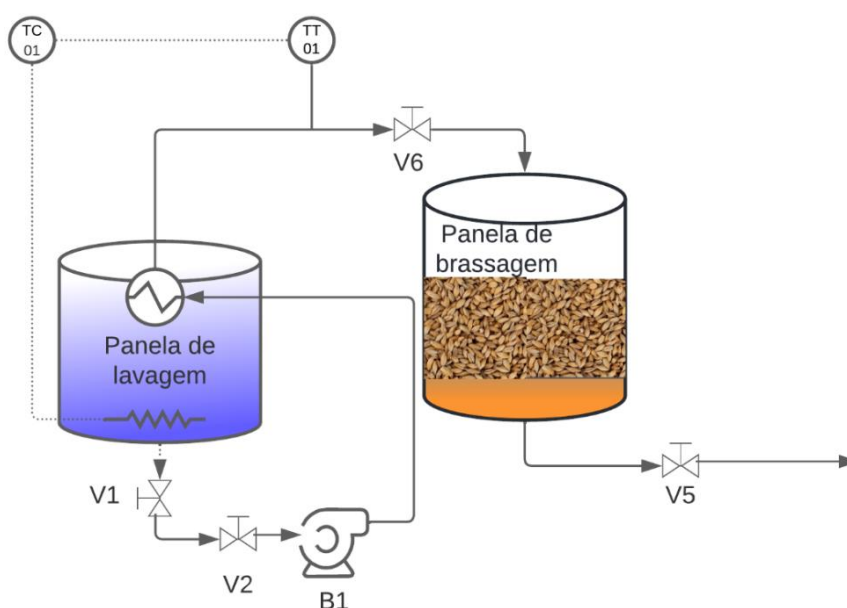


Fonte: NucBeer (2022).

Portanto, uma cor alaranjada aparece, geralmente, 60 minutos após o início da infusão, indicando que a etapa está concluída.

Após a brassagem, o mosto é filtrado, sendo bombeado pela B2 da panela de brassagem para a de fervura e dá-se início ao processo de lavagem dos grãos, aproveitando a água já aquecida da panela de lavagem, cuja temperatura é a utilizada no final da brassagem, como ilustrado no esquema da Figura 21. A válvula V5 é aberta, dando passagem ao mosto proveniente da panela de brassagem, que por sua vez recebe água da panela de lavagem com a abertura das válvulas V1 e V2 e fechamento das válvulas V3 e V4, sendo que V6 permanece aberta e a temperatura permanece no mesmo *set point* do processo anterior, possibilitando uma extração mais completa dos açúcares dos grãos.

Figura 21 - Esquema de filtração e lavagem.



Fonte: Do autor (2022).

Esse processo, ilustrado na Figura 21, deve ser feito de forma lenta, aumentando o tempo de contato entre a água e os grãos, e de forma que a vazão da V5 seja semelhante à da V6, assim, não abaixa o nível do mosto, evitando expor o conglomerado de grãos e facilitando a extração dos açúcares. Cabe destacar que o processo de lavagem deve ter início no momento em que os grãos começam a ficar expostos. Isso possibilita um maior gradiente de concentração de açúcares entre a água e os grãos, servindo como força motriz para uma extração mais eficaz, e também deve ser feito com o *sparge* mais espalhado possível, evitando a formação de caminhos preferenciais na camada de grãos, que pode limitar a extração.

Posteriormente à transferência de toda água disponível na panela de lavagem e de todo mosto da panela de brassagem, concentrando o líquido na panela de fervura, pode-se dar início à fervura, com outro aquecimento do mosto, só que dessa vez até uma temperatura que o coloque em ebulição. Como mencionado anteriormente, nesta etapa ocorrem as adições de lúpulo no *hop bag*. Na Tabela 6, estão descritas as adições de lúpulo realizadas nas produções, ressaltando que são feitas adições ao longo de todo o processo de fervura, trazendo características de aroma e amargor específicas de cada receita.

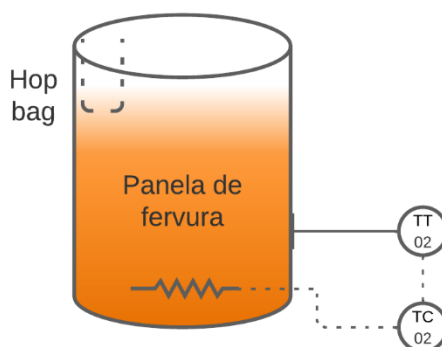
Tabela 6 – Adições de lúpulo.

Estilos	Lúpulos	Quantidade (g)	<i>Dry hopping</i>
Irish Red Ale	Perle	24	Não
1ª American IPA	Cascade, Magnum, Simcoe	130, 25 e 18	Sim
2ª American IPA	Cascade, Magnum, Simcoe	130, 25 e 18	Sim
Cream Ale	Centennial, Simcoe	18 e 40	Não

Fonte: Do autor (2022).

Na Figura 22 está ilustrado o esquema de fervura, com controle de temperatura, mantendo o *set point* em 100 °C, sempre visando uma fervura vigorosa, porém controlada, para evitar transbordar o mosto.

Figura 22 - Fervura.

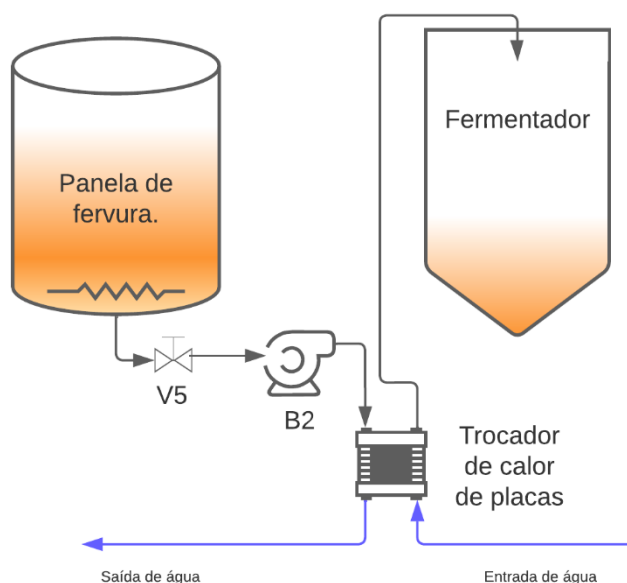


Fonte: Do autor (2022).

Ao final dessa etapa, deve ser realizado o *whirlpool*, sendo aplicada uma rotação nesse mosto fervido de forma manual por cerca de 5 minutos e, logo após, um repouso por cerca de 15 minutos, possibilitando que houvesse a decantação dos compostos não desejados na sequência do processo, formando o *trub*.

Em seguida, com o mosto comumente a cerca de 85 °C, dá-se início ao resfriamento e transferência do mosto para o fermentador, posicionando o trocador de calor de acordo com a Figura 23, enquanto o resíduo de lúpulo fica retido no *hop bag*, sendo separado do mosto. Esse processo deve ser feito de maneira lenta, com o objetivo de favorecer a troca térmica, possibilitando que o mosto se encontre em uma temperatura adequada para a inoculação da levedura, sendo ela específica para cada tipo levedura. No caso das cervejas Ales, que foram as produzidas neste trabalho, essa temperatura deve ser em torno de 30 °C.

Figura 23 - Resfriamento e transferência do mosto para o fermentador.



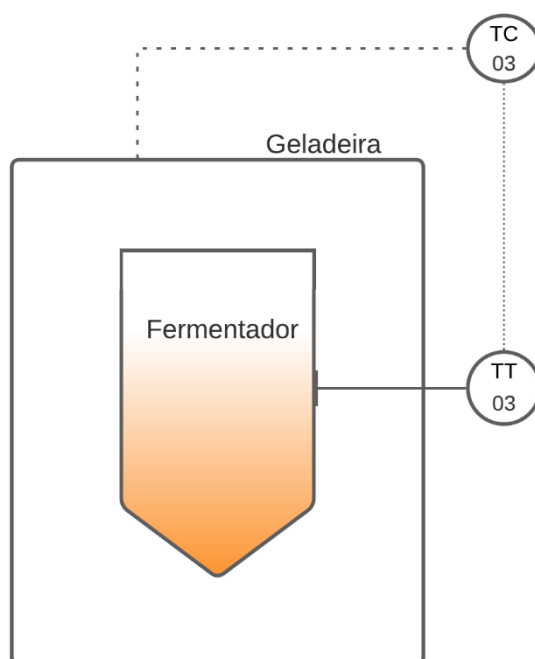
Fonte: Do autor (2022).



Com o mosto já armazenado no fermentador, deve-se fazer o inóculo da levedura. Para isso, o fermentador é acondicionado de acordo com as especificações de temperatura da levedura, e ela é adicionada ao balde fermentador, sendo que deve ser hidratada anteriormente ao seu uso.

Para a hidratação da levedura, água filtrada foi aquecida em um Erlenmeyer no aquecedor e agitador magnético até a fervura e, em seguida, esperou-se que ela chegasse à temperatura abaixo de 35 °C. Após atingida essa temperatura, os pacotes de levedura foram abertos e adicionados na água. Aguardou-se então até a hidratação completa das leveduras, cerca de 20 minutos. Para todas as produções realizadas no presente trabalho, foi utilizado o mesmo perfil de fermentação. Foi feita a fermentação primária a 18 °C de 4 a 7 dias, depois aumentando a temperatura em 1 °C por dia até alcançar 22 °C, mantendo nessa temperatura por de 7 a 10 dias e, por fim, foi realizando um *cold crash*, reduzindo a temperatura a 0 °C, e mantendo nela por volta de 5 a 7 dias. Segue, na Figura 24, o esquema de fermentação.

Figura 24 - Fermentação.



Fonte: Do autor (2022).

Como visto na Figura 24, o equipamento utilizado na fermentação é constituído por uma geladeira e por um controle de temperatura, que a aciona de acordo com o *set point*, conseguindo manter as faixas de temperatura descritas acima.

Uma vez que os processos fermentativos terminam, é feita a trasfega para outro fermentador, sendo retirado o excesso, principalmente, de leveduras inativas do líquido. Isso

porque elas decantam com o término da fermentação e permanecem no fundo do primeiro fermentador. Dá-se então início ao processo de envase, sendo feita adição de açúcar nas garrafas para carbonatação, em quantidades como apresentado na Tabela 7, em que está expresso a quantidade açúcar por litro de cerveja, de acordo com o estilo que estava sendo produzido.

Tabela 7 – Parâmetros adotados para carbonatação.

Estilo da cerveja	CO <sub>2</sub> (volume por volume de cerveja)	Açúcar de cana (peso por volume de cerveja)
Lager clara, Bock, Pale Ale e cerveja de frutas	2,5	6,5 g/L
IPA, suave, herbáceas e com especiarias	2,0	4,5 g/L

Fonte: Adaptado de Hughes (2016).

Pela Tabela 7, observa-se que para os estilos IPA e Cream Ale (suave), produzidos neste trabalho, a referência de carbonatação é 2,0 mL de CO<sub>2</sub> por mL de cerveja, de modo que foram adicionados 4,5 g de açúcar cristal por litro de cerveja que estava sendo envasada, já para a Red Ale foi utilizado-se uma referência de carbonatação de 2,5 ml de CO<sub>2</sub> por mL de cerveja, adicionados 6,5 g de açúcar cristal por litro.

Para tal processo, foram misturados açúcar e água numa proporção 1:1 (m/v), ferveu-se a mistura, facilitando assim a solubilização e esterilizando a solução, e por fim foi feita a adição nas garrafas, de acordo com o volume que seria envasado, sendo na maioria das vezes usadas garrafas de 600 ml.

### 3.2 Cálculo das eficiências

No cálculo da eficiência de brassagem, são necessárias algumas informações referentes ao malte e à própria produção. O cálculo é feito inicialmente coletando valores de densidade potencial do malte, usualmente informados pelo fabricante do grão, quantidade de malte utilizado e volume do lote fabricado, conforme apresentado por Palmer (2006).

Fazendo uma multiplicação da densidade potencial do malte (DPM), em PKL, que são pontos potenciais por quilograma por litro, pela quantidade de malte (m, em quilogramas) e dividindo pelo volume do lote (VL, em litros), tem-se o máximo rendimento da receita (PP), em pontos potenciais, como mostra a Equação 5. Sendo PKL uma medida de concentração, em total de extrato por massa.

$$PP = \frac{(DPM * m)}{VL} \quad (5)$$

O próximo passo é converter a OG da receita em pontos (P), isso é feito subtraindo uma unidade da densidade e multiplicando por mil, como mostra a Equação 6. Com 1,060 como densidade original, por exemplo, totalizaria 60 pontos.

$$P = (OG - 1) * 1000 \quad (6)$$

Tendo ambos os dados, os pontos da receita (P) e os pontos potenciais, que seria o rendimento máximo (PP), calcula-se a eficiência de brassagem (BY), como mostra a Equação 7. Supondo um mosto com pontos potenciais calculados em 80 e pontos obtidos de 60, a eficiência será de 75%.

$$BY = \frac{P}{PP} \quad (7)$$

Já para o cálculo da eficiência global, conforme indicado pelo canal Faz Ciência (EFICIÊNCIA, 2021), deve-se fazer uma relação entre o volume de lote esperado (VP) e o volume produzido (LP), como mostra a Equação 8, sendo EL a eficiência do lote.

$$EL = \frac{LP}{VP} \quad (8)$$

Sendo assim, pode-se encontrar a eficiência total (ou eficiência do equipamento), OBY, multiplicando o valor de BY e EL, como mostra a Equação 9.

$$OBY = BY * EL \quad (9)$$

Utilizando as Equações de 5 a 9, pode-se encontrar valores de eficiência de brassagem e total, os quais são apresentados pelos *softwares* cervejeiros mencionados no capítulo anterior. Assim, no presente trabalho, os cálculos desses parâmetros foram feitos utilizando o *Brewfather*, minimizando a possibilidade de erros e possibilitando um melhor acompanhamento e visualização dos dados do processo.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo o domínio do processo produtivo e dos fatores que poderiam afetar a eficiência do processo, foram feitas as primeiras produções com o objetivo de identificar possibilidades de melhoria. A primeira produção acompanhada neste trabalho foi da Irish Red Ale, podendo já identificar a necessidade de redução de volume morto, mais especificamente na panela de brassagem.

Para as três primeiras produções, da Irish Red Ale e as duas de American IPA, foram utilizadas as calibrações das panelas apresentadas por Fernandes (2021), que utilizou o mesmo módulo em seu estudo. Ao longo de todas as produções, foram obtidos valores relativos à densidade, os quais estão apresentados nas Tabelas 8, 9, 10 e 13 a seguir, na sequência em foram realizadas as produções. De modo que na Tabela 8, tem-se os dados de densidade em função do tempo, obtidos na produção da Irish Red Ale.

Tabela 8 – Acompanhamento da produção da Irish Red Ale.

Tempo (min)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
15	1,016
30	1,034
60	1,042
<i>Pós-Mash out</i>	-
OG esperada	1,042
OG	1,035
FG	1,009

Fonte: Do autor (2022).

Inserindo os dados de OG da primeira produção, apresentados na Tabela 8, o *software* atualiza suas estimativas e cálculos de eficiência. Com isso, é possível ajustar suas próximas previsões, de modo a obter dados mais precisos, possibilitando assim um melhor planejamento de produções futuras. Isso se observa pela redução da diferença entre a OG esperada e a obtida. No caso da Irish, houve uma diferença de 0,007 g/cm<sup>3</sup>, enquanto para a 1ª American IPA, produzida depois, a diferença foi de 0,004 g/cm<sup>3</sup>, como observa-se nos dados da Tabela 9.

Tabela 9 – Acompanhamento da produção da 1ª American IPA.

Tempo (min)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
15	1,025
30	1,051
45	1,054
60	1,057
<i>Pós-Mash out</i>	1,062
OG esperada	1,062
OG	1,058
FG	1,015

Fonte: Do autor (2022).

Além disso, como mencionado no capítulo anterior, as produções da 2ª American IPA e da Cream Ale foram feitas em duplicata, ou seja, foram feitas duas bateladas consecutivas, acondicionando os volumes obtidos em ambas no mesmo fermentador e, com isso, os volumes dos lotes produzidos dessas receitas foram dobrados. Para fins de análise das produções, e dadas as semelhanças entre os dados obtidos nas duplicatas, estão apresentados os valores de densidade média, como na Tabela 10, para a 2ª American IPA.

Tabela 10 – Acompanhamento da produção da 2ª American IPA.

Tempo (min)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
15	1,036
30	1,044
45	1,054
60	1,058
<i>Pós-Mash out</i>	1,061
OG esperada	1,062
OG	1,059
FG	1,019

Fonte: Do autor (2022).

Pela Tabela 10, confirma-se a melhoria nas estimativas do *software*, já que a OG esperada é apenas 0,003 g/cm<sup>3</sup> maior que a obtida. No entanto, finalizadas as três primeiras produções, apesar de reduzir a diferença entre ambos os valores, pode-se observar uma dificuldade de obter dados para densidade original que fossem idênticos aos esperados. Isso indicou que poderia haver uma imprecisão nas informações sobre o equipamento que foram inseridas no *software*, especificamente relativas às aferições de volumes, aos volumes mortos e à taxa de evaporação, as quais foram coletadas do trabalho de Fernandes (2021).

Ademais, foram feitas alterações no módulo produtivo (Figuras 16) com intuito de

aprimorar a eficiência: no fundo da panela de brassagem, foi adicionado um espigão ao cotovelo ali presente, possibilitando um maior tempo de sucção da bomba 1 e reduzindo assim o volume morto dessa panela. Outra medida foi cortar as mangueiras responsáveis por conectar as panelas, deixando-as nos tamanhos mais justos possíveis (Figura 17), diminuindo a quantidade de líquido que permanece dentro delas, facilitando assim os fluxos pelo sistema e reduzindo volume morto e desperdício.

Após essas modificações e a análise dos dados até então obtidos (Tabelas 8, 9 e 10), foram feitas novas calibrações das panelas e quantificados novamente os volumes mortos e a taxa de evaporação na etapa de fervura, em duplicata, com auxílio de provetas, cronômetro e régua. Na Tabela 11, estão apresentados os valores de volumes mortos dos componentes do módulo produtivo em comparação com os utilizados previamente, que foram apresentados por Fernandes (2021).

Tabela 11 – Volumes mortos dos componentes do módulo de produção.

Equipamento	volume morto obtido (L)	volume morto de referência (L), Fernandes (2021)
Panela de lavagem	2,200 ± 0,020	2,150 ± 0,020
Panela de brassagem	1,390 ± 0,010	3,270 ± 0,040
Panela de fervura	3,400 ± 0,010	3,390 ± 0,110
Trocador, bombas e mangueiras	0,580 ± 0,005	0,500
Fundo falso	6,316 ± 0,030	6,725 ± 0,030
Fermentador de 50 L	2,800 ± 0,030	2,900

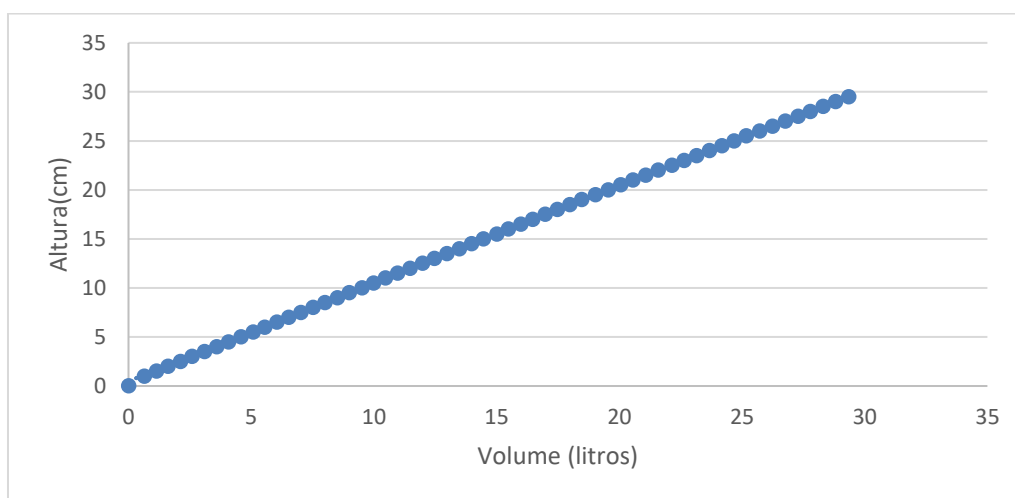
Fonte: Do autor (2022).

Pelos dados da Tabela 11, nota-se que houve uma redução significativa no volume morto da panela de brassagem, indicando um maior aproveitamento no processo; dado esse que altera o rendimento da produção, o que implica em melhores eficiências, que são observadas experimentalmente e nos cálculos feitos pelo *software*. Essa alteração do volume morto da panela de brassagem também tem relação com a redução, menos expressiva, mas também significativa, no volume morto do fundo falso, visto que ele é parte desta panela. Nos demais dados apresentados, há diferenças menores, que podem ser explicadas por imprecisões das medidas. Por fim, o aumento no volume morto do trocador de calor, bombas e mangueiras, apesar da redução do comprimento das mangueiras, é considerável em termos relativos, mas pequeno em valores absolutos, podendo também ser resultado de imprecisão nas aferições desses volumes e, para melhorar esta medida, recomenda-se que em trabalhos futuros sejam obtidos os valores separados de cada componente, permitindo identificar melhor os pontos de

divergência.

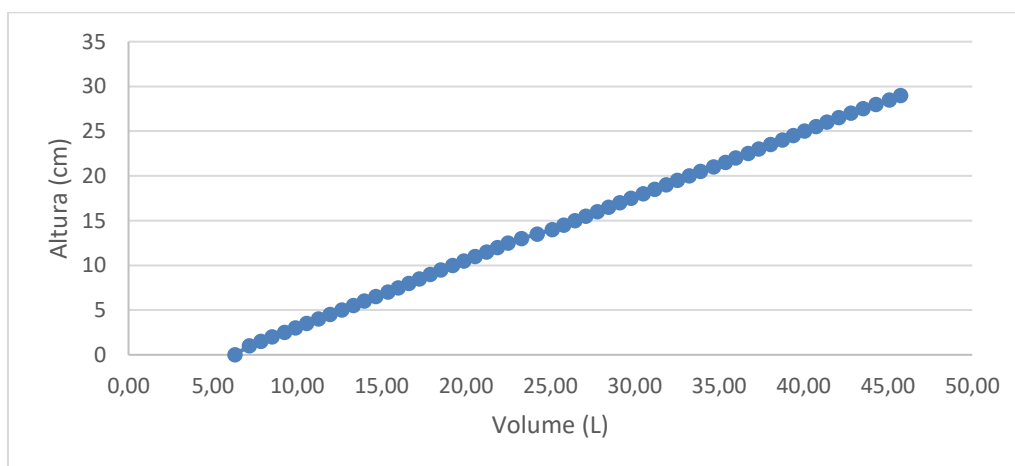
Como dito anteriormente, foram refeitas as calibrações, em temperatura ambiente, utilizando uma vazão constante de 14,5 ml/s de água filtrada, a qual foi quantificada com auxílio de proveta de 100 ml, régua e cronômetro, em duplicata. Nas Figuras 25, 26 e 27, pode-se ver resultados obtidos referentes as novas calibrações das painéis de lavagem, brassagem e fervura, respectivamente, do módulo HERMS do NucBeer.

Figura 25 - Calibração da panela de lavagem.



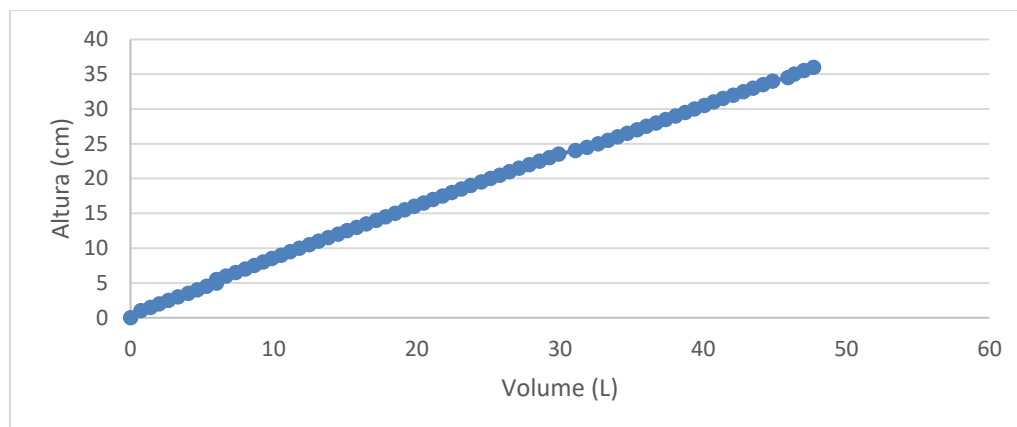
Fonte: Do autor (2022).

Figura 26 - Calibração da panela de brassagem.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 27 - Calibração da panela de fervura.



Fonte: Do autor (2022).

Foram coletados dados de 0,5 em 0,5 cm para essas calibrações, permitindo obter elevados valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) ao linearizar os dados apresentados nas Figuras 25, 26 e 27, todos maiores que 0,999, indicando precisão dos dados obtidos.

A partir dessas curvas, foram obtidas as Equações 10, 11 e 12 para as panelas de lavagem, brassagem e fervura, respectivamente, podendo-se observar os resultados de tais calibrações, sendo H (altura da panela) e V (volume da panela).

$$H = 0,9950 V + 0,4894 \quad (10)$$

$$H = 0,7268 V - 4,1331 \quad (11)$$

$$H = 0,7393 V + 1,0301 \quad (12)$$

Além disso, foram encontrados dados para a taxa de evaporação de água na panela de fervura, com base na observação do volume na panela por 1 h e 30 min, de acordo com a Tabela 12, sendo o experimento feito em duplicata, de modo que os dados apresentados correspondem aos valores médios.



Tabela 12 – Taxa de evaporação na panela de fervura.

Tempo (min)	H (cm)	V (L)
0	30,00	39,19
10	29,20	38,10
20	28,25	36,82
30	27,10	35,26
40	26,10	33,91
50	25,00	32,42
60	24,00	31,07
70	23,00	29,72
80	22,00	28,36
90	21,00	27,01
Taxa de evaporação (L/h)		8,12 ± 0,27

Fonte: Do autor (2022).

Tendo em vista a taxa de evaporação do processo, foi possível ajustar a configuração do *software* Brewfather, de forma que ele fornecesse estimativas mais precisas do processo e aferisse com mais precisão as medidas de eficiência, dado que por padrão o *software* utilizava a taxa de evaporação de 8 L/h (Fernandes, 2021).

Com todos esses ajustes implementados, foi feita a última produção, da Cream Ale, conseguindo estimar valores para densidades de maneira mais precisa pelo Brewfather, os quais se aproximassem dos dados quantificados experimentalmente, como apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Acompanhamento da produção da Cream Ale.

Tempo (min)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
15	1,032
30	1,051
45	1,053
60	1,057
Pós-Mash out	1,059
OG esperada	1,046
OG	1,046
FG	1,011

Fonte: Do autor (2022).

Foi possível observar uma compatibilidade entre os dados esperado e obtido, como é possível observar analisando os valores de OG, demonstrando uma compilação de dados mais refinada através do *software* Brewfather. Finalizadas as produções, foi possível realizar um comparativo entre as eficiências de brassagem (BY) e total (OBY) dos lotes produzidos, como apresentado na Tabela 14. Nela, tem-se os valores fornecidos pelo Brewfather e os calculados pelas Equações 7 e 9, respectivamente.

Tabela 14 – Valores de eficiência.

Produções	Calculados pelo Brewfather		Calculados pelo autor	
	Eficiência de brassagem (%)	Eficiência do equipamento (%)	Eficiência de brassagem (%)	Eficiência do equipamento (%)
Irish Red Ale	63,2	54,2	-	-
1ª American IPA	61,82	63,97	57,18	64,33
2ª American IPA	66,35	69,13	65,96	69,43
Cream Ale	69,79	68,36	65,96	64,80

Fonte: Do autor (2022).

Pela Tabela 14, nota-se um aumento das eficiências ao longo das produções, atingindo aproximadamente 70% de eficiência de brassagem para a última receita. Esse aumento de eficiências calculadas foi observado experimentalmente, sendo contabilizado um aumento significativo nos volumes produzidos. Ademais, ao realizar os cálculos pelas Equações 5, 6, 7, 8 e 9, foram obtidos valores de eficiências próximos aos apresentados pelo *software*, com divergências inferiores a 5%, validando o procedimento de cálculo, com exceção dos dados referentes à Irish Red Ale, que foram apresentados e discutidos no trabalho de Freire (2022).

É importante mencionar que, por serem receitas diferentes, haveria naturalmente uma variação na eficiência de brassagem, já que são utilizados maltes e condições operacionais distintas. Além disso, Palmer (2006) apresenta que a maioria dos cervejeiros, inclusive os comerciais, não obtém o rendimento máximo do malte, independente dos métodos e equipamentos utilizados, sendo de 70% a 80% o rendimento típico obtido por cervejeiros caseiros. Portanto, a eficiência de brassagem de 69,79% obtida na produção da Cream Ale aproxima-se dessa faixa de referência, podendo estar próxima do máximo possível de ser obtido no sistema utilizado.

Outra análise importante a ser feita é com relação à quantidade produzida e ao tempo necessário em cada produção, como mostra a Tabela 15, visto que aprimorar a produção também consiste em reduzir o tempo necessário para produzir o mosto e prepará-lo para a etapa de fermentação.

Tabela 15 – Valores de tamanho do lote e tempo de produção.

Produções	Volume envasado (L)	Tempo de produção (h)	Volume/tempo (L/h)
Irish Red Ale	18	10	1,8
1ª American IPA	11	8,5	1,3
2ª American IPA	47	12	3,9
Cream Ale	42	10	4,2

Fonte: Do autor (2022).

De acordo com a Tabela 15, pode-se avaliar as melhorias implementadas neste trabalho. Observa-se uma redução considerável no tempo de produção, considerando a correspondente quantidade produzida: por exemplo, comparando a primeira produção com a última, pode-se observar um aumento significativo no volume produzido e uma redução de mais da metade do tempo necessário, o que representa um aumento de mais de 130% na razão volume por tempo de produção. Isso se deve às melhorias na condução do processo, no preparo dos equipamentos antes da produção e na familiarização com o HERMS.

Cabe mencionar que observando o volume envasado na primeira produção de American IPA (Tabela 15), nota-se uma redução em comparação com a produção anterior, sendo ocasionada por um excesso de resfriamento no *cold crash*, que levou a um congelamento da cerveja e ocasionou uma perda expressiva do volume produzido. Além disso, esse problema operacional foi responsável por alterações na percepção sensorial e no teor alcoólico do produto. A partir da terceira produção, o volume aumentou consideravelmente, não só devido às bateladas duplas, como devido ao aumento de eficiência, conforme dados expressos na Tabela 14.

No período de desenvolvimento deste trabalho, foram produzidos cerca de 140 litros de cerveja, sendo desses envasados 118 litros, havendo perda de aproximadamente 15%, valor que indicou uma necessidade de maior atenção ao controle de temperatura e de cuidados com o processo de finalização da cerveja, que foi feito nas duas últimas produções, de modo que, ao fazer o cálculo com base nelas, a perda reduziu para 11%. Assim, foram envasadas um total de 175 garrafas de 600 ml, 2 garrafas de 1 L, um barril *keg* de 10 L e 3 garrafas *long neck*.

Além disso, considerando as características das cervejas produzidas, pela Tabela 16, pode-se observar o teor alcoólico de cada uma delas.

Tabela 16 – Teor alcoólico.

Estilo	ABV (%)	ABV (%)
	referência	
Irish Red Ale	3,8-5,0	3,4
1ª American IPA	5,5-7,5	6,4
2ª American IPA	5,5-7,5	5,6
Cream Ale	4,2-5,6	4,6

Fonte: Do autor (2022).

Sendo que na Tabela 16, tem-se os teores de álcool de referência e nominal das cervejas, sendo os valores nominais calculados pelo *software* Brewfather. Comparando os valores da Tabela 16 com os teores de álcool dos estilos correspondentes, nota-se que as American IPA e a Cream Ale foram produzidas com teores adequados às faixas dos estilos, enquanto a Irish Red Ale teve um teor nominal (3,4%) um pouco inferior ao limite inferior (3,8%) apontado para o estilo.

Além disso, comparando os resultados com os padrões dos estilos, tem-se que os valores de densidade final das cervejas produzidas, apresentados nas Tabelas 8, 9, 10 e 13, foram dentro ou muito próximos das faixas de FG dos estilos, como constam nas Tabelas 1, 2 e 3, e reproduzidos na Tabela 16.

Outro ponto de importante foi fazer uma análise sobre as percepções sensoriais das cervejas produzidas. Cabe ressaltar que foram feitas observações sem planejamento experimental nesse sentido, sem os rigores necessários para validá-las, visto que não foi possível a avaliação padronizada por profissionais qualificados; no entanto, elas serviram de base para analisar o processo produtivo e buscar melhorias. Por exemplo, como observações relativas à 1ª American IPA, que foi experimentada e avaliada pelo mestre cervejeiro e *sommelier* da Cervejaria Naípe, Alex Júnior, foram feitos comentários positivos a respeito de cor, corpo e sabor, e sugestões de melhorias nos aspectos aroma e amargor, as quais já eram esperadas devido ao problema de congelamento que ocorreu nesta produção.

Com relação às apresentações das cervejas produzidas neste trabalho, tem-se as imagens apresentadas a seguir. Na Figura 28, tem-se as garrafas das duas primeiras produções; o estoque da 2ª American IPA na Figura 29; na Figura 30, pode-se observar sua cor, espuma e corpo; e, por fim, na Figura 31, uma garrafa de Cream Ale. Enquanto os rótulos de todas as cervejas produzidas, Irish Red Ale, American IPA e Cream Ale, estão expostos no Apêndice C.

Figura 28 - Cervejas Irish Red Ale e American IPA.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 29 - Estoque de produção.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 30 - American IPA produzida.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 31 - Cream Ale produzida.



Fonte: Do autor (2022).

## 5 CONCLUSÃO

Conclui-se a partir dos resultados expostos que o aprimoramento do módulo HERMS de produção de cerveja, presente no Laboratório de Engenharia das Reações Químicas da Universidade Federal de Lavras, foi eficaz, trazendo melhorias em alguns pontos-chaves do processo produtivo.

No que diz respeito a eficiência, houve um aumento de 6,6% na eficiência de brassagem e cerca de 14,2% na eficiência total do equipamento, valores que refletem diretamente na quantidade de cerveja produzida e na economia de matéria-prima utilizada no processo. Levando em consideração as duas receitas de American IPA, na segunda produção houve uma economia de 5,6% de matéria-prima maltada em relação à primeira.

Outro aspecto a se considerar é o rendimento do equipamento, considerando a primeira produção, da Irish Red Ale, o volume do produto envazado foi inferior a 20 L, esse valor passando a ser de em torno de 23 L por batelada.

Outra melhoria relevante foi no tempo de produção da cerveja verde, ou seja, ainda não fermentada, sendo que, comparando apenas uma batelada de cada receita, pôde-se observar uma redução de 50% no tempo de produção.

Avaliando possíveis melhorias para trabalhos futuros, podem ser realizadas alterações na granulometria da moagem, favorecendo a extração do malte, ao promover maior exposição dos grãos, preservando as cascas o mais integras possíveis. Pode-se também propor um controle de temperatura que consiga englobar mais pontos de controle, como por exemplo na primeira panela, minimizando assim erros nos patamares das rampas de aquecimento feitas durante a brassagem, já que essas temperaturas afetam a atividade enzimática no mosto e, conseqüentemente, a eficiência do processo. Outra possível melhoria é automatizar o *whirlpool*, tornando a separação do *trub* mais eficaz e evitando o transporte desse material para os fermentadores. E, por fim, sugere-se que sejam feitos ajustes na etapa do *sparge*, trazendo um aumento da extração dos açúcares do mosto, assim aumentando o rendimento e, por consequência, a eficiência de brassagem. Cabe mencionar também a importância de avaliar a variação da eficiência, após implementação das melhorias, utilizando a mesma receita, já que isso garante condições operacionais passíveis de serem comparadas.

## REFERÊNCIAS

- BJCP - BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM. **Beer Style Guidelines**. 2021. Disponível em: <https://www.bjcp.org/bjcp-style-guidelines/>. Acesso em: 28 fev. 2022.
- BRASIL. **Decreto n. 6871, de 04 de junho de 2009**. Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em : <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/decreto-no-6-871-de-4-de-junho-de-2009.pdf/view>. Acesso em 28 fev. 2022.
- BRASIL. **Mercado cervejeiro cresce no brasil e aumenta interesse pela produção nacional de lúpulo e cevada**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/08/mercado-cervejeiro-cresce-no-brasil-e-aumenta-interesse-pela-producao-nacional-de-lupulocevada#:~:text=Em%202021%2C%20a%20expectativa%20%2C%20A9,1%2C%20milh%C3%A3o%20de%20tonelada>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa n° 65, de 10 de dezembro de 2019**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. D.O.U. Publicado em dezembro de 2019, ed 239, p.31. Brasília. 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário da cerveja 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-crescimento-de-14-4-em-2020-numero-de-cervejarias-registradas-no-brasil-passa-de-13mil/anuariocerveja2.pdf>
- BEERSMITH. **Brewhouse efficiency vs Mash efficiency in all grain beer brewing**.2014. Disponível em: <http://beersmith.com/blog/2014/11/05/brewhouse-efficiency-vs-mash-efficiency-in-all-grain-beer-brewing/> . Acesso em: 29 abr. 2022.
- BEERSMITH. **Beersmith home brewing software**. 2022. Disponível em: <http://beersmith.com/>. Acesso em: 20 mai. 2022.
- BEERSMITH. **Brew in a bag (biab) all grain beer brewing**. 2009. Disponível em: <http://beersmith.com/blog/2009/04/14/brew-in-a-bag-biab-all-grain-beer-brewing/> . Acesso em: 25 mai. 2022.
- BONACCORSI, M. M. **Guia de estilos de cervejas BJCP 2015**. 2016. Disponível em: <https://acervamineira.com.br/images/SiteWP/BJCP-2015-traduzido-review-julho2018-4-novos-estilos.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2022.
- BREWFATHER. **Powerfull and easy to use tool for your brewing needs**. 2022. Disponível em: <https://brewfather.app/>. Acesso em : 20 mai. 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.



CAPITAOBARLEY. **Cream Ale**. 2021. Disponível em: <https://capitaobarley.com.br/cream-ale/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

CASA NOBRE BREW SHOP. **Malte**. 2022. Disponível em: <https://www.casanobrebrewshop.com.br/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

CENTRAL BREW. Malte para cerveja: 6 dicas para não errar na escolha. **Blog Central Brew**, 2021a. Disponível em: <https://centralbrew.com.br/blog/malte-para-cerveja-6-dicas-para-nao-errar-na-escolha/>. Acesso em : 01 jul. 2022.

CENTRAL BREW. Série estilos de cerveja: conheça as Red Ale. **Blog Central Brew**, 2021b. Disponível em: <https://centralbrew.com.br/blog/serie-estilos-de-cerveja-conheca-as-red-ale/>. Acesso em : 01 jul. 2022.

CERVEJA DA CASA. **Dicas para aumentar sua eficiência na brassagem**. 2020. Disponível em: <https://cervejadacasa.wordpress.com/2020/08/17/dicas-para-aumentar-sua-eficiencia-na-brassagem/>. Acesso em : 12 ago. 2022.

CERVEJA DA CASA. **Moagem**. 2021. Disponível em: [https://www.cervejadacasa.com/moedores-de-malte?gclid=Cj0KCQjwvtvqVBhCVARIsAFUxcRsV4qjjDFNEUmUmRIxM-62OitRNt\\_ng9j\\_w8G9uIQirhBiRqBmLBWkaAuEsEALw\\_wcB](https://www.cervejadacasa.com/moedores-de-malte?gclid=Cj0KCQjwvtvqVBhCVARIsAFUxcRsV4qjjDFNEUmUmRIxM-62OitRNt_ng9j_w8G9uIQirhBiRqBmLBWkaAuEsEALw_wcB). Acesso em: 01 jul. 2022.

CERVEJA E MALTE. **Beer smith: usar ou não usar na produção de cervejas?** 2017. Disponível em: <https://cervejaemalte.com.br/blog/usar-ou-nao-beer-smith>. Acesso em : 03 mai. 2022.

CERVEJA HENRIK BODEN. **Lúpulo**. 2009. Disponível em: <http://www.cervejahrenrikboden.com.br/lupulo/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

CERVEJARIA ANTUERPIA. **Você conhece os diferentes estilos de IPA?**. 2022. Disponível em: <https://cervejariaantuerpia.com.br/estilos-ipa/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

CONCERVEJA. **Whirlpool: Melhor fazer quente ou frio?** 2016. Disponível em: <https://concerveja.com.br/whirlpool/>. Acesso em: 01 Jul. 2022.

DADOBIER. **Processo de fabricação da nossa cerveja**. 2017. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/490188740662992704/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

EFICIÊNCIA. Pato Branco: Rizzo & Huning Ltda, 2021. 1 vídeo (21 min). Publicado pelo canal Faz Cerveja. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vrjECWRwKpw>. Acesso em: 01. jul. 2022.

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.

FREIRE, G. B. **Produção de cerveja red ale com café**. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2022.

HOUGH, J. S. **The biotechnology of malting and brewing**. Cambridge: Cambridge University Press, 1985. X'

HUGHES, G. **Cerveja feita em casa**. Editora Publifolha, 1.ed. São Paulo: Publifolha, 2016.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**. Editora Alaúde, 1. ed. São Paulo: Avenida Paulista, 1337, conjunto 11, 2017.

MUNDO KVEIK. **Lavar os grãos com água fria ou quente?**. 2020. Disponível em: <http://www.mundokveik.com/p/lavar-os-graos-com-agua-fria-ou-quente.html>. Acesso em: 01 jul. 2022.

NUCBEER – **Núcleo de estudos em cerveja artesanal**. Produções. 2022. Fotografias. Disponível em: <https://www.instagram.com/nucbeer/>. Acesso em: 15 jun. 2022.

OLIVER, G. **O guia oxford da cerveja**. São Paulo: Editora Blucher, 2020. Disponível em: [https://www.google.com.br/books/edition/O\\_Guia\\_Oxford\\_da\\_Cerveja/5y7fDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1](https://www.google.com.br/books/edition/O_Guia_Oxford_da_Cerveja/5y7fDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1). Acesso em : 02 mar. 2022

PALMER, J. **How to Brew: Everything you need to know to brew great beer everytime**. Colorado: Brewers Publications, 2006.

PIRES, E.; BRÁNYIK, T. **Biochemistry of beer fermentation**. **springer: Briefs in biochemistry and molecular biology**. Editora Springer, 2015.

RIXHON. **Fervura enzimas**. 2015. Disponível em: <https://sites.google.com/site/rixhon/fervura-enzimas>. Acesso em: 01 jul. 2022.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. **A química da cerveja**, Revista química nova na escola, São Paulo. v. 37, n.2, p.98-105, 2015.

SZWAJGIER, D. **Dry and wet milling of malt. a preliminary study comparing fermentable sugar, total protein, total phenolics and the ferulic acid content in non-hopped worts**. **j. inst. brew**, v. 117, n. 4, p. 569–577, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00505.x>. Acesso em: 04 mar. 2022

VENTURINI FILHO, Waldemar G. **Bebidas alcoólicas**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521209577/>. Acesso em: 24 jan. 2022.


VIA FLY VIAGENS. **Quais tipos de cerveja existem?** Entenda as diferenças! 2019. Disponível em: <https://viaflyviagens.com.br/quais-tipos-de-cerveja-existem/>. Acesso em: 01 jul. 2022.

YAKIMA VALLEY HOPS. **Shop hops**. 2022. Disponível em: <https://yakimavalleyhops.com/>. Acesso em: 01 jul. 2022.


## APÊNDICE A – Receitas

Nas Figuras A1, A2 e A3, estão apresentadas as receitas elaboradas pelo *software* Brewfather para desenvolvimento das cervejas desenvolvidas no presente trabalho, sendo a Irish Red Ale, American IPA e Cream Ale, respectivamente, como descrito na Seção 3.

Figura A1 – Receita da Irish Red Ale no Brewfather.


  
[www.brewfather.app](http://www.brewfather.app)

### Irish Red Ale - 4.2%

<b>Irish Red Ale</b>		<b>NucBeer</b>		 <b>23 EBC</b>
Autor: Gabriella Freire		Volume do Lote : 24 L	Tamanho da Fervura: 37.17 L	
Tipo: Somente Grãos		Volume Pós Fervura: 29.17 L	Água de Mostura : 21.12 L	
IBU : 21 (Tinseth)		Água de Lavagem : 25.27 L	Tempo de Fervura : 60 min	
BU/GU : 0.5		Água Total : 46.39 L		
Cor : 23 EBC		Eficiência do Equipamento: 54.2%	Eficiência da Mostura: 63.2%	
Carbonatação : 2.4 CO2-vol		<b>Perfil de Mostura</b>		
Densidade Pré Fervura : 1.033		High fermentability		
Densidade Original : 1.042		69 °C - 60 min - Temperatura		
Densidade Final : 1.010		<b>Perfil de Fermentação</b>		
<b>Fermentáveis (5.95 kg)</b>		Ale		
4.5 kg - Malte Pale Ale 6 EBC (75.6%)		18 °C - 4 dias - Primária		
500 g - Malte Munique 22.5 EBC (8.4%)		22 °C (4 dia de rampa) - 7 dias - Secundária		
500 g - Carared 47.5 EBC (8.4%)		0 °C - 5 dias - Cold Crash		
250 g - Melanoidin 59 EBC (4.2%)				
150 g - Caramunich II 124 EBC (2.5%)				
50 g - Carafa I 630 EBC (0.8%)				
<b>Lúpulos (24 g)</b>				
60 min - 24 g - Perle - 8.25% (21 IBU)				
<b>Levedura</b>				
2 pct - Fermentis Safale American US-05				

Fonte: Adaptado de Freire (2022).

Figura A2 – Receita da American IPA no Brewfather.



## IPA NUCBEER - João Pedro S - 6.6%

### American IPA

Autor: João Pedro S Simões

Tipo: Somente Grãos

IBU : 56 (Tinseth)  
 BU/GU : 0.92  
 Cor : 13 EBC  
 Carbonatação : 2.4 CO2-vol

Densidade Pré Fervura : 1.048  
 Densidade Original : 1.061  
 Densidade Final : 1.011

### Fermentáveis (9 kg)

7.3 kg - 3.9 EBC (81.1%)  
 1.7 kg - Munich Malt, Germany 18.7 EBC (18.9%)

### Lúpulos (175.1 g)

60 min - 42.7 g - Cascade - 5.5% (22 IBU)  
 60 min - 24.4 g - Magnum - 12% (27 IBU)  
 10 min - 18 g - Simcoe - 13% (8 IBU)

### Dry Hops

60 dias - 90 g - - 5%

### Levedura

2 pct - Fermentis Safale American US-05

### NucBeer

Volume do Lote : 24 L  
 Tamanho da Fervura: 37.17 L  
 Volume Pós Fervura: 29.17 L

Água de Mostura : 30.27 L  
 Água de Lavagem : 19.17 L  
 Tempo de Fervura : 60 min  
 Água Total : 49.44 L



13 EBC

Eficiência do Equipamento: 54.2%  
 Eficiência da Mostura: 63.2%

### Perfil de Mostura

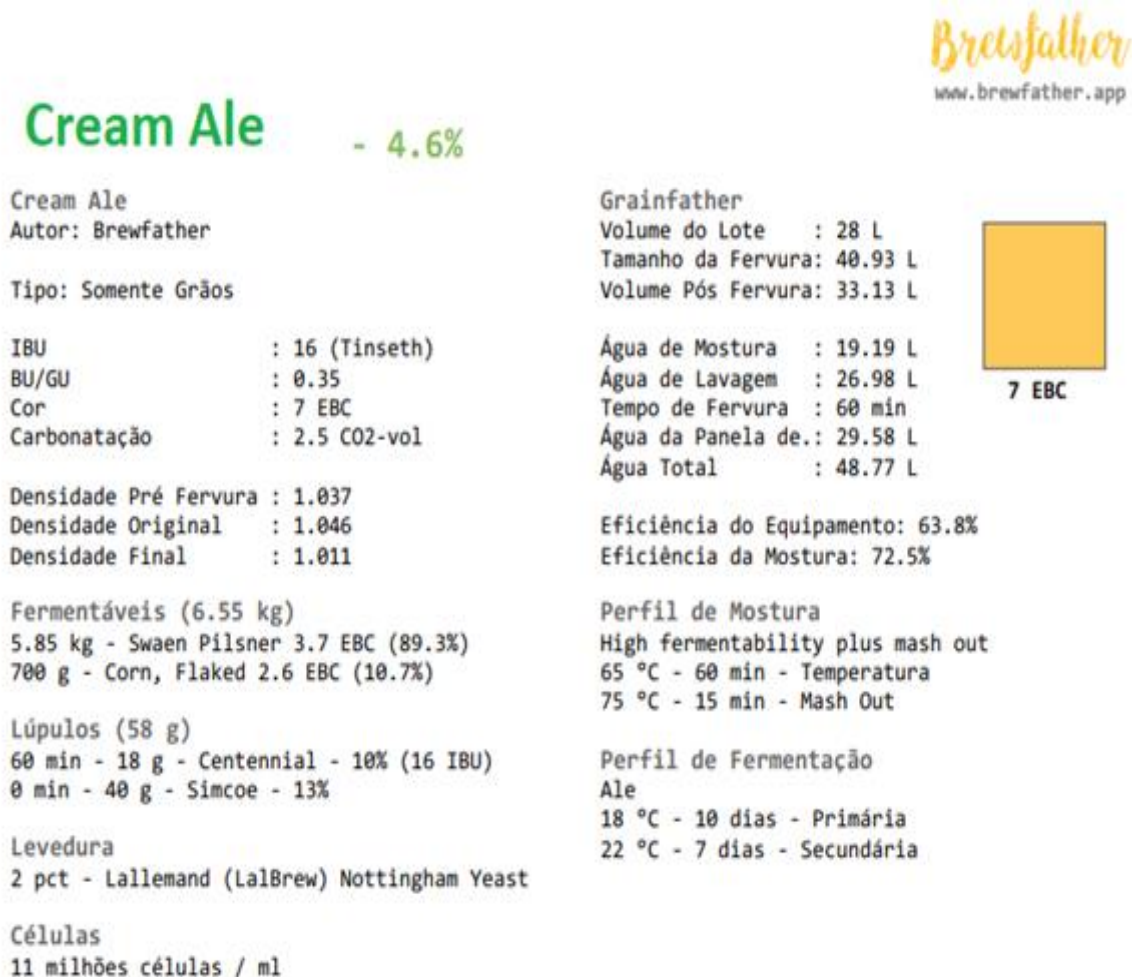
High fermentability plus mash out  
 65 °C - 75 min - Temperatura  
 75 °C - 10 min - Mash Out

### Perfil de Fermentação

Ale  
 18 °C - 4 dias - Primária  
 22 °C (4 dia de rampa) - 7 dias - Secundária  
 0 °C - 5 dias - Cold Crash

Fonte: Do autor (2022).

Figura A3 – Receita da Cream Ale no Brewfather.



Fonte: Do autor (2022).

## APÊNDICE B – Ajuste de água

Nas Figuras B1 e B2, pode-se ver o cálculo das quantidades de sais utilizados para ajustar a água para as produções da American IPA e da Cream Ale, respectivamente, como citado na Seção 3. Com relação ao ajuste para produção da Irish Red Ale, foi feito com adição de sais conforme apresentado por Freire (2022).

Figura B1 - Planilha para cálculo da adição de sais da American IPA.

Step 1: Enter Starting Water Profile						
<b>A. Profile</b>	Calcium (Ca ppm)	Magnesium (Mg ppm)	Sodium (Na ppm)	Chloride (Cl ppm)	Sulfate (SO <sub>4</sub> ppm)	<input checked="" type="radio"/> Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> ppm) <input type="radio"/> Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> ppm)
Starting Water Profile: (ppm = mg/L)	0	0	0	0	0	0
<b>B. Volume</b>	Mash Water	Sparge Water				
Volume (liters):	30,27	19,2				
(gallons):	8,00	5,07				
% that is Distilled or RO:	0%	0%				
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>						

Step 2: Enter Grain Info					Distilled water	grain types	dist water pH
	Select Grain Type	Weight (kg)	Color (°L) (Crystal Malts Only)	Mash pH (from chart)			
<b>Crystal Malt:</b> <i>Caramel malts, Cara Munich, Cara Aroma, etc.</i>	Base - Maris Ot	7,3		5,77		1 - Select Grain -	
	Base - Munich	1,7		5,43		2 Base - 2-Row	5,70
	- Select Grain -	0		0,00		3 Base - 6-Row	5,79
<b>Roasted/Toasted Malt:</b> <i>Roasted Barley, Black Patent, Carafa, etc.</i>	- Select Grain -	0		0,00		4 Base - Maris Otte	5,77
	- Select Grain -	0		0,00		5 Base - Munich	5,43
	- 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
<b>Acidulated Malt:</b> <i>Enter in Step 4a.</i>							
Total Grain Weight (kg):	<b>9</b>						
(lbs):	19,8						
Mash Thickness:	<b>3,36 l/kg</b>						
	1,61 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	<b>ESTIMATED Room-Temp Mash pH</b>	Desired Room-Temp Mash pH	
68	-15	<b>5,69</b>	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:	
add at dough-in or prior.				grams:	grams:	
Mash Water Additions (grams):	9,35	4,5	2,04	0	88%	
Adjusting Sparge Water? (y/n):	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	oz:	0	Typically 2.0%. Revise if necessary.
Sparge Water Additions (grams):	<b>5,9</b>	<b>2,9</b>	<b>1,3</b>	(0% of total wt) Some recommend keeping this under 3%		
add to boil, or to sparge water prior to sparging, or combine with mash salts when treating all water combined prior to brewing.						

Step 4b: Adjust Mash pH UP (if needed)				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.
	Slaked Lime Ca(OH) <sub>2</sub>	Baking Soda NaHCO <sub>3</sub>	Chalk CaCO <sub>3</sub>	
add at dough-in or prior.				
Mash Water Additions (grams):	0	3,47	0	
Adjusting Sparge Water? (y/n):	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sparge Water Additions (grams):	<b>0,0</b>	<b>2,2</b>	<b>0,0</b>	
add to boil, or to sparge water prior to sparging, or combine with mash salts when treating all water combined prior to brewing.				

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:	111	6	31	72	199	0,36
Mash + Sparge Water Profile:	111	6	31	72	199	0,36
Palmer's Recommended Ranges:	50 - 150	10 - 30	0 - 150	0 - 250	50 - 350	Below .77, May enhance bitterness
There are varying opinions on these ranges. Consider doing your own research and/or experimentation to determine what's best for you.						

Fonte: Do autor (2022).

Figura B2 - Planilha para cálculo da adição de sais da Cream Ale.

### 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 checked="" type="radio"/> Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> ppm) <input type="radio"/> Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> ppm)
Starting Water Profile: <small>(ppm = mg/L)</small>	0	0	0	0	0	0

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):	25,5	27,94
<small>(gallons):</small>	6,74	7,38
% that is Distilled or RO:	0%	0%

---

### Step 2: Enter Grain Info

	Select Grain Type	Weight (kg)	Color (°L) <small>(Crystal Malts Only)</small>	Distilled water Mash pH <small>(from chart)</small>	grain types	dist water pH
<b>Crystal Malt:</b> <small>Caramel malts, Cara Munich, Cara Aroma, etc.</small>	Base - Maris Ot	7,3		5,77	1 - Select Grain -	
	Base - Munich	1,7		5,43	2 Base - 2-Row	5,70
<b>Roasted/Toasted Malt:</b> <small>Roasted Barley, Black Patent, Cara, etc.</small>	- Select Grain -	0		0,00	3 Base - 6-Row	5,79
	- Select Grain -	0		0,00	4 Base - Maris Otte	5,77
	- Select Grain -	0		0,00	5 Base - Munich	5,43
<b>Acidulated Malt:</b> <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):		9				
		<small>(lbs):</small> 19,8				
Mash Thickness:		2,83 l/kg				
		<small>1,36 qt/lb</small>				

The above values are used to calculate mash pH. They may vary depending on malter 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	<b>ESTIMATED Room-Temp Mash pH</b>	Desired Room-Temp Mash pH	
81	24	<b>5,73</b>	<b>5.4 - 5.6</b>	<p><small>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.</small></p> <p><small>There are varying opinions on the optimum range here. Consider doing your own research and/or experimentation to determine what's best for you.</small></p>

---

### 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:
<small>add at dough-in or prior.</small>				2,0%	88%
→ Mash Water Additions (grams):	0	6	5	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):	0,0	6,6	5,5	<small>(0% of total wt) Typically 2.0%. Revise if necessary. Some recommend keeping this under 3%</small>	

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

---

### 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>	
<small>add at dough-in or prior.</small>				<small>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.</small>
→ Mash Water Additions (grams):	0	3,47	0	
Adjusting Sparge Water? (y/n):	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
▶ Sparge Water Additions (grams):	0,0	3,8	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.

---

### 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:	64	18	37	114	76	1,49
Mash + Sparge Water Profile:	64	18	37	114	76	1,49
Palmer's Recommended Ranges:	50 - 150	10 - 30	0 - 150	0 - 250	50 - 350	Above 1.3 may enhance maltiness

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

Fonte: Do autor (2022).

## APÊNDICE C – Rótulos

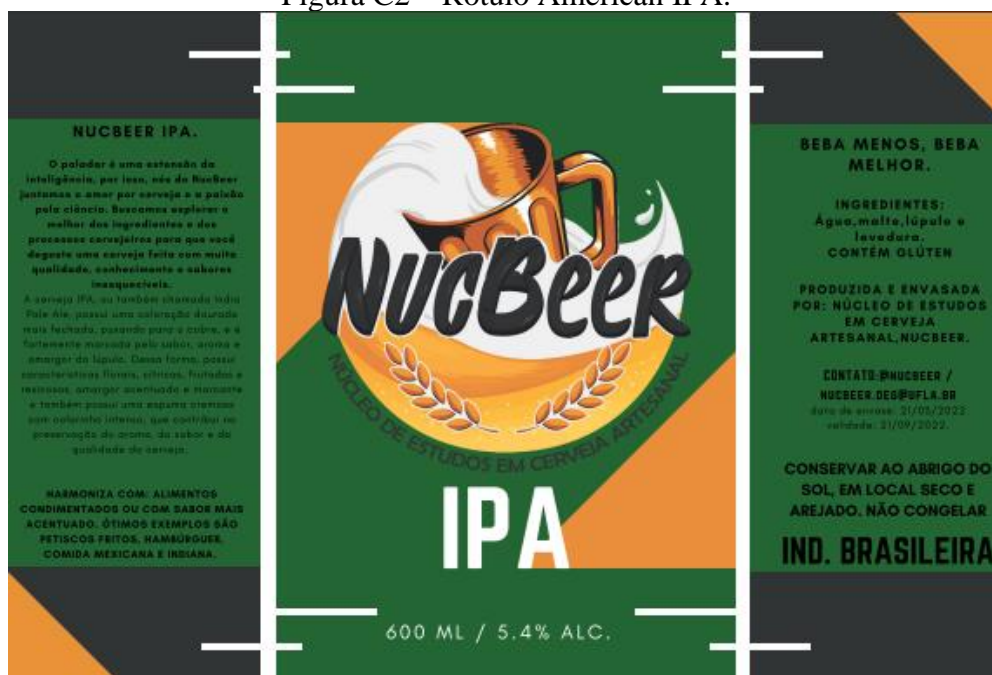
Nas Figuras C1, C2 e C3 estão apresentados os rótulos referentes as produções das cervejas apresentadas na Seção 3, sendo a Irish Red Ale, American IPA e Cream Ale, respectivamente.

Figura C1 – Rótulo Irish Red Ale.



Fonte: Adaptado de NucBeer (2022).

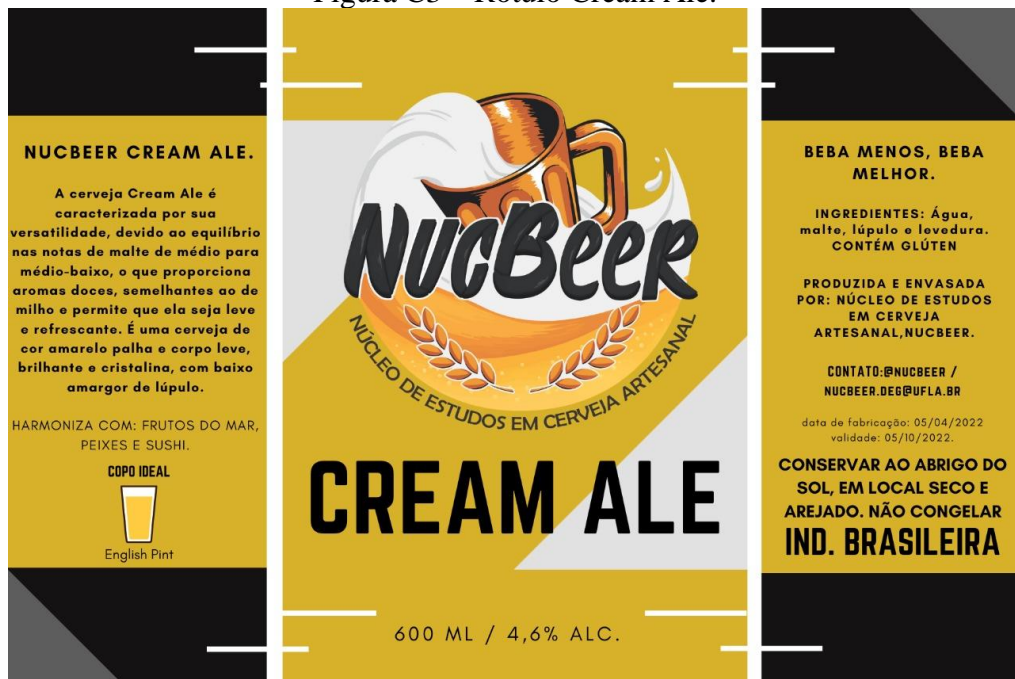
Figura C2 – Rótulo American IPA.



Fonte: Adaptado de NucBeer (2022).



Figura C3 – Rótulo Cream Ale.



Fonte: Adaptado de NucBeer (2022).