

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS PATO BRANCO  
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

NATHANNA AZEVEDO LAGE

**ANÁLISE E PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL DO TIPO IPA  
(INDIA PALEALE)**

Pato Branco - PR  
2021

**NATHANNA AZEVEDO LAGE**

**ANÁLISE E PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL DO TIPO IPA  
(INDIA PALEALE)**

**ANALYSIS AND PRODUCTION OF IPA TYPE CRAFT BEER (INDIA  
PALE ALE)**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Banca Avaliadora do Curso de Bacharelado em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Química.

Orientador: Prof. Me. Edilson da Silva Ferreira

Pato Branco - PR  
2021



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná**  
Pato Branco  
Departamento de Química  
Curso de Bacharelado em Química



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### **ANÁLISE E PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL DO TIPO IPA (INDIA PALE ALE)**

por

NATHANNA AZEVEDO LAGE

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado(a) em 03 de dezembro de 2021 às 8 horas e 20 minutos como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Química. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

---

Edilson da Silva Ferreira  
Prof. Orientador

---

Henrique Emílio Zorel Júnior  
Membro titular

---

Leandro Zatta  
Membro titular

Nota: O Documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se no SEI processo 23064.053624/2021-13.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Cassandra, que deixou o corpo físico para se tornar o todo e estará sempre comigo. Eu sou porque ela é.e sempre será!

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Cassandra Azevedo (*in memoriam*), tanto pela paciência, amor, dedicação, compreensão e horas de chamada de vídeo, quanto por todos os sacrifícios empregados em minha educação, pelo apoio moral e financeiro e por tudo que me ensinou ao longo da minha vida. Agradeço, ainda, por sempre ter me apoiado em minhas escolhas. Eu sou porque ela é e não existirá nada maior que ela.

Ao meu avô, Walter de Azevedo, que com toda a diferença de geração me apoiou e incentivou na decisão de sair de casa para cursar uma Universidade em outro Estado e me deu suporte financeiro durante todos esses anos, mesmo ele não lembrando mais.

Ao meu companheiro de vida, Bruno Vital, também acadêmico da UTFPR, por ser minha dupla há 15 anos. Por ter sido meu professor nas infinitas listas de cálculo, física e me socorrer na matemática básica, por ser meus departamentos, por ter me escutado e oferecido seu ombro nos meus choros e desesperos, por sempre incentivar e apoiar as minhas ideias, projetos e loucuras e acreditar em cada uma delas, pela compreensão, risadas, aventuras, por aceitar fazer cerveja comigo sabendo que executaria quase toda a parte pesada do trabalho, por investir e acreditar na minha educação profissional e por escolher estar presente todos os dias dividindo a tarefa mais importante das nossas vidas: a parentalidade.

Ao meu filho, Matheus, carinhosamente apelidado de Bolinha, por ter se comportado exemplarmente no semestre que frequentou as aulas da UTFPR conosco e ser o motivo da minha escolha em continuar a faculdade.

Aos professores do curso de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco, pelos ensinamentos, lições, incentivos, cobranças e por me ajudarem a trilhar o caminho para me tornar uma profissional. Destaco aqui o meu querido Co-orientador Prof. Dr. Mário Cunha.

À todos os cervejeiros e cervejeiras, caseiros ou profissionais, que gentil e pacientemente se disponibilizaram em me ajudar, trocar experiências, ensinar e dar dicas sobre a produção de cerveja. Destaco, entre eles, os cervejeiros Fernando Rizzo, Eduardo Blonkoski, Prof. Dr. Diogo Hendges e todos os professores da Escola Superior de Cerveja e Malte por todo conhecimento transmitido feito com tanta qualidade.

Por último e não menos importante, ao meu querido Orientador e amigo, Professor Edilson da Silva Ferreira, não só por toda paciência, eficiência, incentivo, ajustes, referenciais teóricos, cobranças e correções pertinentes nesse trabalho, mas pela amizade desenvolvida ao longo dos anos, pelo convívio, pelas risadas, pelas tardes de conversa, pelo apoio e por tudo que ele nem sabe que fez e ajudou. Eu não poderia ter escolhido melhor Orientador. Obrigada Mestre!

## EPÍGRAFE

“Eu não posso oferecer nada mais que sangue, labuta, suor e cerveja.”

Winston Churchill

## RESUMO

LAGE, Nathanna Azevedo. **Análise e produção de Cerveja Artesanal tipo IPA (India Pale Ale)**. 2021 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Bacharelado em Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

A cerveja artesanal é definida como uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo composta por quatro ingredientes: água, malte, lúpulo e levedura. O uma mudança no perfil de produção de cerveja, que possui registros de sua fabricação e consumos entre povos egípcios, babilônios, sumérios, mesopotâmicos, gregos e romanos desde 6000 a.C. e nos últimos quarenta estava com a produção e comercialização concentrada nas mãos das grandes empresas. Hoje, o consumidor está interessado em entender do processo de produção e até mesmo produzir sua própria cerveja. No Brasil, a cerveja artesanal mais produzida e consumida é a IPA (India Pale Ale), uma cerveja artesanal do tipo Ale, caracterizado por altos níveis de álcool, pelo amargor e aroma característico do lúpulo, uma flor feminina cônica de uma planta trepadeira dióica. O presente estudo teve por objetivo produzir, comparar e avaliar a cerveja artesanal tipo India Pale Ale através das análises físico-químicas por meio dos parâmetros pH, Densidade inicial, Densidade final, Teor Alcoólico e Amargor.

**Palavras-chave:** Cerveja Artesanal. Cerveja tipo IPA. Lúpulo.



## ABSTRACTS

LAGE, Nathanna Azevedo. **Analysis and production of IPA Type Craft Beer (India Pale Ale)** 2021 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Bacharelado em Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

Craft beer is defined as a drink obtained by the alcoholic fermentation of the beer must from barley malt and drinking water, by the action of yeast, with the addition of hops composed of four ingredients: water, malt, hops and yeast. The a change in the profile of beer production, which has records of its manufacture and consumption among Egyptian peoples, Babylonians, Sumerians, Mesopotamians, Greeks and Romans from 6000 to .C. and in the last forty was with the production and marketing concentrated in the hands of large companies. Today, the consumer is interested in understanding the production process and even producing their own beer. In Brazil, the most produced and consumed craft beer is IPA (India Pale Ale), an Ale-type craft beer characterized by high levels of alcohol, bitterness and aroma characteristic of hops, a female conical flower of a dioedic climbing plant. The present study aimed to produce, compare and evaluate the craft beer type India Pale Ale through the physicochemical analyses through the parameters pH, Initial density, Final density, Alcohol content and Bitterness.

**Keywords:** Craft Beer. IPA beer. hops.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Valores de EBC para alguns estilos de cerveja .....	22
Figura 2 - Pontos de torrefação do malte .....	26
Figura 3 - Imagem de <i>humulus lupulus</i> .....	26
Figura 4 - Imagem em MEV de uma levedura .....	28
Figura 5 - Fluxograma do processo de produção da cerveja .....	29
Figura 6 - Imagem de um gráfico-aranha do lúpulo Cascade.....	35
Figura 7 - Kit completo para produção de 20 litros de cerveja .....	38
Figura 8 - Processo de produção da cerveja CvjNat .....	39
Figura 9 - Reação de complexação entre iodeto e amilose.....	40
Figura 10 - Estrutura química da amilose .....	40
Figura 11 - Aprisionamento da molécula de iodo na cadeia helicoidal da amilose ...	41
Figura 12 - Teste iodo-amido realizado.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de qualidade das águas cervejeira .....	24
Tabela 2 - Composição química da água comercial, utilizada na produção da Cvj Nat .....	37
Tabela 3 - Valores de pH da cerveja produzida .....	43
Tabela 4 - Valores do pH das amostras de cerveja comerciais .....	44
Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos das cervejas CVJ Nat e comerciais, em triplicata, com média e desvio padrão .....	45

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ABV Alcohol by Volume

IBU Internacional Bitterness Unit

EBC European Brewing Convention

OG Original gravity

FG Final gravity

IPA India Pale Ale

AA Ácido-Alfa

SRM Standard Reference Method

EBC European Brewery Convention

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 GERAL .....	17
2.2 ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
3.1 CERVEJA NO BRASIL .....	18
3.2 CERVEJA NO MUNDO .....	18
3.3 ESTILOS DE CERVEJA .....	19
3.3.1 Cerveja tipo Lager .....	20
3.3.2 Cerveja tipo Lambic .....	20
3.3.3 Cerveja tipo Ale .....	20
3.3.4 Cerveja IPA (India Pale Ale) .....	21
3.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA CERVEJA .....	21
3.4.1 ABV .....	21
3.4.2 IBU .....	21
3.4.3 EBC .....	22
3.4.4 GRAU BRIX E PLATO .....	22
3.5 LEI DA PUREZA .....	23
3.6 INSUMOS .....	24
3.6.1 Água .....	24
3.6.2 Malte .....	25
3.6.3 Lúpulo .....	26
3.6.4 Levedura .....	27
3.7 PROCESSO DE PRODUÇÃO .....	28
3.7.1 Moagem dos grãos .....	29
3.7.2 Brassagem ou Mosturação .....	29
3.7.3 Clarificação/Filtração/Lavagem .....	30
3.7.4 Fervura e Lupulagem .....	31
3.7.5 Resfriamento .....	31
3.7.6 Fermentação .....	32
3.7.7 Dry Hopping .....	33
3.7.8. Maturação .....	33

3.7.9 Carbonatação.....	<b>SUMÁRIO</b> .....	33
3.7.10 Envase .....		34
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>		<b>35</b>
4.1 MATERIAL .....		35
4.1.1 Local da produção.....		37
4.1.2 Equipamentos .....		37
4.2 MÉTODOS .....		38
4.2.1 Procedimento experimental.....		38
4.2.2 Análises físico-químicas .....		39
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>		<b>43</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>		<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>		<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cerveja é considerada uma das bebidas mais antigas que se tem notícia, sendo observados registros de sua fabricação e consumos entre povos egípcios, babilônios, sumérios, mesopotâmicos, gregos e romanos desde 6000 a.C. (BOTELHO, 2009). Relatos históricos indicam que a cerveja, uma bebida carbonatada, de baixo teor alcoólico, preparada a partir da fermentação do malte de cevada, com lúpulo e água, tenha sido descoberta acidentalmente, a partir da fermentação alcoólica de cereais guardados em depósitos, em condições favoráveis, juntamente com o domínio do cultivo de cereais pelo homem (BARTH, 2013; ALMEIDA E SILVA, 2005).

Na Idade Média, a cerveja era considerada um alimento seguro (o chamado pão líquido), pois as condições sanitárias eram precárias, e a água contaminada (MORADO, 2009; HORNSEY, 2003). Vários mosteiros passaram a produzir a bebida, sendo as mulheres, as responsáveis pela produção, as cozinheiras consideradas as “mãos férteis e sagradas”. Com o avanço no melhoramento do processo, a cerveja passou a ser mais importante que o vinho, e mais consumida que a água (SUPER INTERESSANTE, 2015).

O aumento da produção da cerveja ocorreu até a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), quando ocorreram mudanças significativas na produção devido à escassez de malte e lúpulo, influenciando a economia da época. Neste momento, passaram a ser usados adjuntos da produção milho, arroz e trigo na produção (BARTH, 2013; HORNSEY, 2003).

Nas últimas 4 décadas, ocorreu uma mudança no perfil de produção de cerveja, antes nas mãos das grandes empresas. Hoje, o consumidor está interessado em entender do processo de produção e até mesmo produzir sua própria cerveja (MATOS, 2011). Estes(as) cervejeiro(as) artesanais, incrementam as suas cervejas com produtos selecionados, em uma variedade de estilos, além de atuar em um mercado mais restrito, cuja capacidade produtiva é geralmente menor (CERVBRASIL, 2021; MARCUSSO, 2015; MATOS, 2011, SANTOS, 2003).

É possível diversificar a produção de cerveja e para isso os cervejeiros artesanais produzem vários tipos da bebida, separadas em dois grandes estilos: as *lagers* e as *ales*, sendo elas de baixa e alta fermentação, respectivamente. A

IPA (India Pale Ale) está inserida no estilo Ale. É um tipo de cerveja mais encorpado, de cor dourada à acobreada, que tem como principal característica a grande quantidade de lúpulo adicionado na produção, proporcionando maior amargor, tornando-a também mais aromática, cujo teor alcoólico encontra-se entre 5,5 - 7,5%. São um contraponto às cervejas comerciais, sendo o tipo de cerveja mais produzido.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Produzir uma cerveja artesanal do IPA (India Pale Ale).

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- Determinar os parâmetros físico-químicos envolvidos no processo.
- Verificar se os parâmetros e características da cerveja IPA, estão de acordo com os resultados normatizados.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CERVEJA NO BRASIL

A atual definição de cerveja, no Brasil, promulgada no Decreto nº. 2.314, de 4 de setembro de 1997, Art. 64 (BRASIL, 1997), define que: “Cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo”. Portanto, pode-se explicar cerveja como uma bebida alcoólica carbonatada, produzida através do processo de fermentação de grãos contendo amido, principalmente os cereais maltados<sup>1</sup>, como a cevada e o trigo. Seu preparo inclui água como parte importante do processo e pode-se adicionar temperos, frutas, ervas ou outras plantas.

As bebidas alcoólicas são responsáveis por uma parte significativa do comércio brasileiro. Segundo o BNB (2017), em 2014 correspondeu a 3% do valor da produção da indústria de transformação. No Brasil, a cerveja é a bebida alcoólica mais consumida, correspondendo a quase 90% do mercado (SEBRAE, 2016).

Dados da Associação Brasileira da Indústria Cervejeira (CervBrasil, 2017), indicam que o Brasil possui cerca de 117 mil hectares plantados com cereais destinados à produção da bebida. Em 2016, o país produziu aproximadamente, 14,0 bilhões de litros de cerveja, ficando atrás apenas da China e dos EUA, alcançando posto de terceiro maior produtor mundial, em 2014, o Brasil com 10,3 bilhões de litros da bebida também era o terceiro em consumo mundial (ROSA E AFONSO, 2014).

#### 3.2 CERVEJA NO MUNDO

A maior parte da produção mundial de cerveja é feita por empresas multinacionais, que são líderes de mercado e produzem cervejas populares em grande volume e atuam em todo o território nacional. Estima-se cerca de 19 mil cervejarias no mundo, sendo 94%, de produtores artesanais. Os Estados Unidos encabeçam a lista de maior número de produtores, enquanto o Reino Unido, o maior

---

<sup>1</sup> grãos umedecidos a ponto de iniciarem o processo de germinação necessários para transformar o cereal em malte

número de cervejarias per capita (número de empresas por tamanho da população). Se for considerada como um todo, a Europa possui mais cervejarias artesanais que os Estados Unidos (ALLTECH & THE BREWERS JOURNAL 2017).

Globalmente, o mercado de cervejas artesanais foi responsável pelo lucro de US\$ 38 bilhões, em 2018. Estima-se que a taxa composta anual de crescimento (CAGR) fique em 14% entre 2018 - 2023. Nos Estados Unidos, a produção de cerveja artesanal alcançou a cifra de US\$ 26 bilhões em 2018, um crescimento de 8% em relação ao ano anterior (GLOBAL CRAFT BEER MARKET – GROWTH, TRENDS AND FORECASTS 2018).

A pandemia de Coronavírus e as restrições resultantes na vida pública prejudicaram a indústria cervejeira em todo o mundo. A maioria dos 172 países produtores de cerveja foram afetados pela evolução negativa: 97 deles viram a produção diminuir, enquanto apenas 37 registraram crescimento (MATTHIAS, 2021).

### 3.3 ESTILOS DE CERVEJA

Para Stewart (2011), o estilo de cada cerveja é a união de todos os seus parâmetros e características, como aparência, teor alcoólico, aroma, paladar, sensação na boca e fermentação, de modo que possam ser reconhecidos, replicados, discutidos e compreendidos. As cervejas são divididas em três grandes famílias: lagers, ales e lambics, que tem como característica principal a levedura usada na produção.

Ales	Cervejas mais consumidas mundialmente de baixa fermentação e com graduação alcoólica geralmente entre 4 e 5%.
Lagers	Cervejas mais fermentadas, com teor alcoólico superior aos das lagers.
Lambics	Cervejas de fermentação espontânea, causada por exposição à agentes naturais (leveduras selvagens) presentes no meio.

### 3.3.1 Cerveja tipo Lager

As cervejas consideradas mais jovens, popularizadas a partir do século XIX, sendo produzidas por baixa fermentação (até 12 °C) com as leveduras *Saccharomyces Carlsbergensis* ou *Saccharomyces Pastorianus*, que ficam depositadas no fundo do tanque e são pouco resistentes à temperaturas elevadas. O processo de fermentação é mais lento e o produto final apresenta uma coloração mais clara. São cervejas de baixa complexidade que liberam menos ésteres durante o processo. As mais conhecidas são as cervejas tipo Pilsen, Pale Lager, American Standard Lager, Vienna e Bock. O teor alcoólico é considerado de baixo a moderado, com variações entre 4 a 7%.

### 3.3.2 Cerveja tipo Lambic

As cervejas lambics têm o processo de fermentação espontâneo, onde o mosto é depositado em tonéis abertos com leveduras selvagens, bactérias e outros microrganismos presentes. Após o início da fermentação, o líquido passa para toneis de madeiras, ficando armazenado por no mínimo seis meses. O resultado final é cerveja de alta complexidade, de características ácidas, azedas, e com aromas e sabores distintos, sendo consideradas cervejas puras e sem misturas.

### 3.3.3 Cerveja tipo Ale

As cervejas ale ocorrem por alta fermentação, as leveduras atuam em temperatura entre 14-25 °C e ficam no topo de tanque, atuando de forma mais rápida sobre os açúcares do mosto e outros ingredientes. São cervejas mais complexas, devido a maior liberação de ésteres, conferindo aroma frutado e condimentado. Os tipos mais comuns são: Stout, Porter, Indian Pale Ale, Wizenbier, Dubel, Tripel.

### 3.3.4 Cerveja IPA (India Pale Ale)

De acordo com Palmer (2006), as cervejas tipo IPA começaram a ser produzidas na virada do século 18, de forma acidental. As cervejarias britânicas começaram a embarcar cervejas tipo Ale com doses extras de lúpulo adicionados aos barris com o objetivo de preservar a bebida ao longo de vários meses no percurso das viagens, até a Índia. Ao final da viagem, a bebida havia adquirido um sabor característico do lúpulo e maior amargor. As cervejas ale têm como característica elevado teor de etanol e lúpulo, o nome veio pela grande popularidade da bebida na Índia Britânica, no século 19. Seu ABV varia entre 5,5 e 7,5%, o EBC entre 40 e 60 e o IBU entre 40 e 60.

## 3.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA CERVEJA

### 3.4.1 ABV

O ABV também é conhecido como teor de etanol, obtido a partir da conversão de açúcares fermentáveis presentes no mosto. O valor é determinado a partir da relação entre as densidades final (GF) e inicial (OG), determinadas no processo de produção (STEWART, 2011).

### 3.4.2 IBU

O IBU (Internacional Bitterness Unit) é o padrão internacionalmente aceito para qualificar o amargor da cerveja. Os valores de IBU são importantes para o controle de qualidade da cerveja e fornecem informações sobre a intensidade de amargor. Os valores podem variar entre 1 a quase 100 IBU's.

### 3.4.3 EBC

A EBC (European Brewing Convention) é o método internacional de avaliação da cor das cervejas (figura 1). O índice também é utilizado para medir a turbidez. Antigamente a cor da cerveja era estimada qualitativamente por comparação de estilos. O método EBC é quantitativo e envolve medir a cor da amostra de cerveja em um espectrofotômetro (KISSMEYER, 2011).

Figura 1 - Valores de EBC para alguns estilos de cerveja

MACRO DIVISÃO	SRM	TONALIDADE	EBC	CLASSIF.**
Palha	2 - 3		3,94 - 5,91	Cerveja Clara até 20 EBC
Amarelo	3 - 4		5,91 - 7,88	
Ouro	4 - 5		7,88 - 9,85	
Âmbar	6 - 9		11,82 - 17,73	
Profundo âmbar / cobre luz	10 - 14		19,70 - 27,58	
Cobre	14 - 17		27,58 - 33,49	Cerveja Escuro ≥ 20 EBC
Profundo cobre/castanho claro	17 - 18		33,49 - 35,46	
Castanho	19 - 22		37,43 - 43,34	
Castanho Escuro	22 - 30		43,34 - 59,10	
Castanho muito escuro	30 - 35		59,10 - 68,95	
Preto	35 +		68,95 - 78,80	
Preto opaco	40+		>78,80	

Fonte: BJCP Guideline 2008.

### 3.4.4 GRAU BRUX E PLATO

O mosto cervejeiro possui diversos açúcares solubilizados em seu líquido, tornando-o mais viscoso e denso. Conhecer o valor densidade (massa específica) é importante para uma série de processos, uma delas é teor alcoólico da cerveja determinado pela diferença entre OG<sup>2</sup> (densidade inicial) e FG<sup>3</sup> (densidade final). Para isso podemos usar um densímetro ou refratômetro com escalas em “Brix”, “Plato” ou “SG”.

<sup>2</sup> Do inglês Original Gravity

<sup>3</sup> Do inglês Final Gravity

A determinação dos sólidos solúveis via escala Brix ( $^{\circ}\text{B}$ ) é utilizada na indústria de alimentos para medir a quantidade aproximada de açúcares em soluções, sendo que 1  $^{\circ}\text{B}$  correspondente a 1g de sacarose, em uma mistura de 100 g.

Por definição, grau Plato ( $^{\circ}\text{P}$ ) é a unidade medida da concentração (em massa) em uma solução de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e sacarose ( $\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) mais utilizada na fabricação cervejeira. Assim, conforme discutido por Palmer (2006), 1  $^{\circ}\text{P}$  = 1,0 g de  $\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  e 99,0 g  $\text{H}_2\text{O}$  (BRIGGS, 2004). A equação de conversão entre  $^{\circ}\text{B}$  e  $^{\circ}\text{P}$  é apresentada abaixo.

Eq. 1

Utilizando um refratômetro como instrumento de medida, o valor de  $^{\circ}\text{B}$ , segue a mesma lógica do valor de  $^{\circ}\text{P}$ . Entretanto, o primeiro parâmetro avalia o percentual de sólidos solúveis totais, em uma amostra de mosto, muito utilizado na produção de vinhos, xaropes doces, sucos e hoje nas cervejas artesanais (BRIGGS, 2004).

### 3.5 LEI DA PUREZA

De origem Alemã, a lei “Reinheitsgebot”<sup>4</sup>, foi criada em 23 de Abril de 1516 pelo Duque Guilherme IV da Baviera e determinava que a cerveja produzida e consumida na região só poderia conter água pura, malte e lúpulo. Nesta época não se considerava o uso da levedura pois a existência da mesma ainda não teia sido descoberta (PEREIRA, 2015).

---

<sup>4</sup> Lei da Pureza da Cerveja, em português

## 3.6 INSUMOS

### 3.6.1 Água

Ingrediente com maior proporção na cerveja (> 90% do produto final), que precisa de um tratamento prévio (pH, dureza, matéria orgânica, etc.), para ser utilizado no processo, de forma a não afetar a qualidade da bebida (VENTURINI FILHO, 2010; BRIGGS, 2004; TAYLOR, 2006; REINOLD, 1997; RODHES, 1995). A composição da água influenciou os estilos e as tradições em diversos locais, principalmente na Europa, como a Pilsen na República Tcheca e a Baviera na Alemanha (tabela 1):

Tabela 1 - Exemplo de qualidade das águas cervejeira

Cidade	País	Características
Pilsen	República Tcheca	Água branda, com baixas quantidades de cálcio, carbonato, cloreto, magnésio, sódio e sulfato, o que ajudou a popularizar a Pilsner.
Viena	Áustria	Água com baixos níveis de sódio e cloreto, promovendo a produção de cervejas âmbar.
Munique	Alemanha	Água com baixas quantidades de sódio, sulfatos e cloreto, variável média de cálcio e magnésio e alta proporção de carbonatos fazem dessa água uma boa opção para acentuar o sabor maltado – como ocorre na cerveja Munich Dunkel.
Dortmund	Alemanha	Alto teor em todos os aspectos minerais, praticamente, a composição da água ajudou a popularizar a Lager de Dortmund.
Londres	Reino Unido	Água com variante média e alta de carbonato, sódio e sulfato, tornando a cerveja Porter bastante popular na região.

Fonte: Blog Escola Superior de Cerveja e Malte. Tabela de autoria própria.

A principal propriedade da água na produção de cerveja é sua dureza, que pode ser dividida entre dureza permanente, referindo-se a quantidade de íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), e dureza temporária, caracterizada pela quantidade de bicarbonatos<sup>5</sup> de cálcio e magnésio. A temporária pode ser removida durante a fervura e a permanente suavizada com aditivos químicos (MACEDO, 2005).

<sup>5</sup> Respectivamente  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$



Existem dois tipos de água utilizados na fabricação de cerveja: a água cervejeira e a água de serviço. A água cervejeira é usada no preparo do malte para a moagem, transferência de produtos, rinsagem fina na lavagem de utensílios e a água de serviço é utilizada em procedimentos, locais e equipamentos que não entram em contato com o produto (ROSA E AFONSO, 2014).

### 3.6.2 Malte

Para Norton (2017), a malteação é o processo de mergulhar o grão em água de modo que ele germine, produzindo enzimas que se quebram e liberam reservas de amido nos grãos. Sua função é fornecer açúcares para a levedura transformar em álcool e gás carbônico na etapa de fermentação

A cevada é um cereal cultivado para alimentação de pessoas e animais, possuindo em seu grão (ou semente) um alto teor de amido e baixas quantidades de proteínas, condição importante para a produção da cerveja, sendo transformada em cevada maltada.

As variações de cevada são de duas fileiras (2-row) e seis fileiras (6-row). A cevada 2-row apresenta em sua espiga duas fileiras de grãos, cada uma com um grão e a cevada 6-row apresenta duas fileiras de grãos, cada uma com três grãos. Nos EUA, as principais opções são 2-row para produção de cervejas mais leve, e 6-row, com maior número de enzimas, que produz uma cerveja mais encorada e sedosa, por conter mais proteínas (NORTON 2017).

Os maltes-base correspondem a maior parte dos maltes usados na cerveja. Os maltes Pale Ale e o Pilsen são os mais conhecidos e usados, contudo algumas usam mistura deles com grãos como o malte de trigo, Carapils, Vienna, Munich, Carabrown, Special B, Malte Chocolate, entre outros (NORTON 2017).

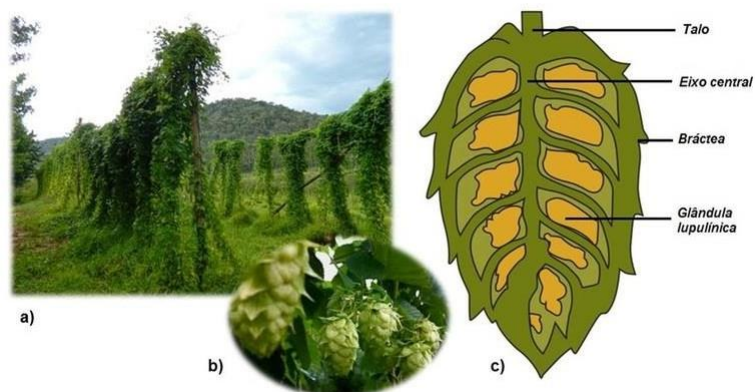
Figura 2 - Pontos de torrefação do malte



Fonte: Lamas Brewshop <https://www.lamasbrewshop.com.br/blog/2018/04/especial-de-maltes-malte-base-x-malte-especial.html>

### 3.6.3 Lúpulo

O lúpulo é a flor cônica feminina de uma planta trepadeira dióica nativa do hemisfério norte chamada *Humulus lupulus*, encontrada nas regiões subtropicais da Europa e Ásia. Suas flores assemelham-se a pequenas pinhas cujas brácteas de cor verde encerram no seu interior a glândula lupulínica. Matéria-prima que oferece estabilidade à espuma, além de influenciar no seu aroma e sabor a cerveja (NORTON, 2017; FERNANDES, 2015).

Figura 3 - Imagem de *humulus lupulus*

Fonte: Nutriagro.

Tipos mais comuns de lúpulos: Cascade, Centennial, Chinook, Citra, Simcoe, Summit, Saaz, entre outros. O consumo do lúpulo pela indústria cervejeira é majoritário, tanto que 97% da produção, aproximadamente, é destinada à fabricação de cerveja. O lúpulo é um ingrediente que confere aroma, amargor e estabilidade coloidal à espuma, além de atuar como antioxidante e antimicrobiano (DURELLO, 2019).

O lúpulo contém também  $\alpha$ -ácidos que conferem um gosto amargo à cerveja, definindo o percentual de amargor a bebida. A maioria das formas comercializadas do lúpulo possui um padrão da quantidade dessa substância, facilitando assim a escolha do tipo de lúpulo para a produção.

As principais formas lúpulo encontradas no mercado são: em flor, pellets, extratos e essências. A forma em flor é 100% natural, porém não ideal para estocagem, e menos eficiente para fabricação de cerveja. Já os pellets após o processo de moagem e prensagem são os melhores para armazenagem. O extrato é uma forma líquida de lúpulo sem resinas, são de fácil estocagem, tem um prazo de validade considerável, mas podem sofrer alterações. As essências consistem em óleos do lúpulo, com seus componentes refinados e concentrados, este tipo de lúpulo vem ganhando espaço no ramo cervejeiro.

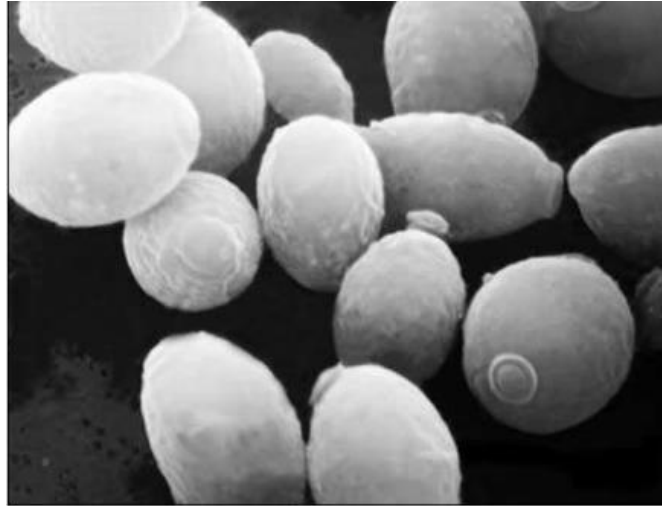
Lúpulos são classificados de acordo com o sabor que promovem na cerveja: amargor, aromático e dual. O amargor possui teor bem elevado de  $\alpha$ -ácidos; já os aromáticos possuem teor baixo desse ácido, conferindo um aroma bem agradável à cerveja. A forma dual apresenta uma combinação de sabor amargo e aromático (HIERONYMUS, S. 2012).

#### 3.6.4 Levedura

Fungo unicelular, cujo nome científico é *Saccharomyces cerevisiae* é responsável por realizar o processo de fermentação microbiológica dos açúcares presentes no mosto. A fermentação deve ocorrer na ausência de oxigênio, os carboidratos do malte em contato com a levedura produzem etanol e dióxido de carbono. O tempo de fermentação deve ser controlado para a obtenção do teor de álcool desejado.

Como explicado por (TEIXEIRA, 2009), estes fungos consumirão o amido do mosto cervejeiro transformando-o em álcool, gás carbônico e outros compostos de sabor típicos da cerveja como ésteres, fenólicos, compostos sulfurosos, álcool superiores, aldeídos e cetona.

Figura 4 - Imagem em MEV de uma levedura

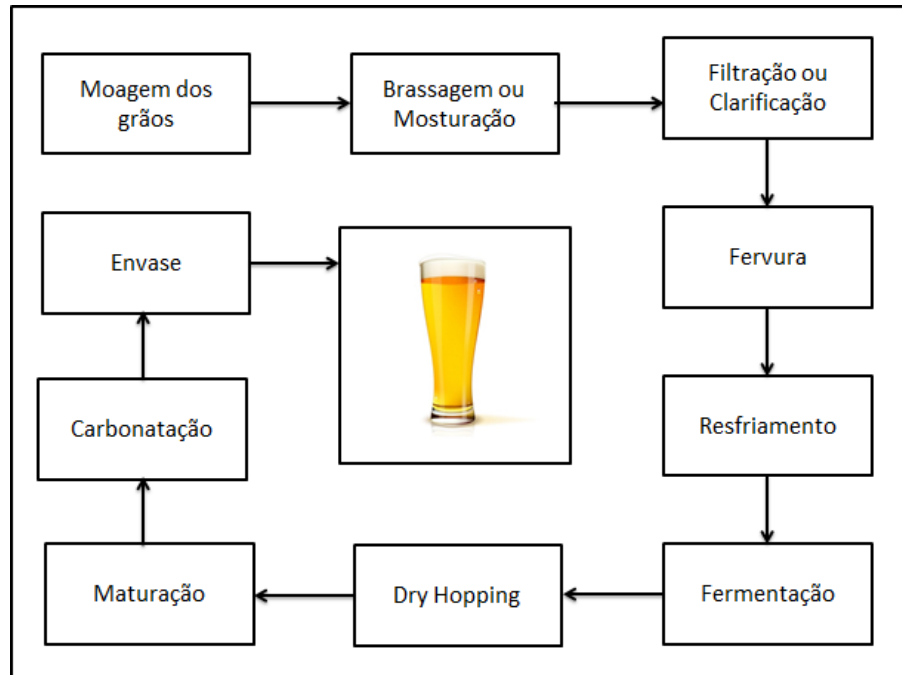


Fonte: GAENSLY, 2010

### 3.7 PROCESSO DE PRODUÇÃO

O processo de produção da cerveja India Pale Ale é complexo e dividido em várias etapas, com início na moagem dos grãos, no sentido horário, conforme a figura abaixo:

Figura 5 - Fluxograma do processo de produção da cerveja.



Fonte: Autoria própria

### 3.7.1 Moagem dos grãos

Primeira etapa do processo de produção de cerveja, cujo objetivo é expor o amido presente no endosperma, para um melhor contato com as enzimas. O tipo de moinho utilizado e a granulometria do malte moído dependem do processo de clarificação do mosto a ser empregado.

### 3.7.2 Brassagem ou Mosturação

Nesta etapa ocorre a hidrólise enzimática, o rompimento das moléculas de amido por aquecimento; a formação de extrato contendo todas as substâncias solubilizadas e disponibilização de nutrientes para levedura (AGRÁRIA, 2021).

Palmer (2006) afirma que brassagem ou mosturação é o processo do envolvimento do malte moído em água quente, hidratando-o e ativando as enzimas que irá converter o amido dos grãos em açúcares fermentáveis, um dos processos mais complexos da etapa de produção. As enzimas contidas no grão de cevada maltada dão início ao processo de hidrólise do amido, convertendo-os em maltoses e outros açúcares menores (MATOS, 2011).

A hidrólise na brassagem é controlada através de parâmetros como temperatura (termômetro alimentício imerso na água), aparelho medidor de pH e o tempo de contato do malte com a água.

### 3.7.3 Clarificação/Filtração/Lavagem

A clarificação é o processo físico para a recuperação do mosto primário e do extrato da lavagem do bagaço. A filtração (separação sólido-líquido), tem como objetivo a separação dos compostos insolúveis, das substâncias do malte dissolvidas, durante a mosturação (AGRÁRIA, 2021; KROTTENTHALER, BACK e ZAMKOW, 2009).

A lavagem da cama de grãos tem o intuito de extrair a maior quantidade de açúcares possíveis sem a presença dos taninos que confere um sabor adstringente (PALMER, 2006). Nesta etapa é importante observar o valor da temperatura da água, pois o aumento  $> 1 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ , tende a aumentar a solubilização dos taninos presentes nos grãos, interferindo na qualidade da cerveja.

Mosto primário é o mosto concentrado, gerado durante a mostura (malte moído + água arriada) e se mantém constante durante a clarificação. É o mosto mais concentrado de todo o processo. Extrato de lavagem do bagaço é extraído durante a lavagem do bagaço e sua concentração vai diminuindo conforme avançam as lavagens. A temperatura do mosto na clarificação não deve baixar dos  $75^{\circ}\text{C}$ , respeitando a temperatura adequada para a sacarificação (temperatura ideal  $78^{\circ}\text{C}$ ) (AGRÁRIA, 2021).

### 3.7.4 Fervura e Lupulagem

A fervura é uma das etapas mais simples do processo de produção de cerveja artesanal, no entanto necessita de um bom controle de temperatura, podendo durar entre 60 a 90 minutos. A adição gradativa do lúpulo na etapa da fervura é conhecida como lupulagem (MORTON, 2017; BRIGGS, 2004). Os principais objetivos da fervura são:

- Concentração do mosto através da evaporação da água excedente;
- Isomerização dos alfa-ácidos presentes no lúpulo;
- Redução do valor do pH;
- Floculação Proteica;
- Transferências de substâncias amargas do lúpulo;
- Estabilização biológica através da esterilização do mosto;
- Estabilização bioquímica com a inativação das enzimas;
- Evaporação de compostos aromáticos indesejáveis como o (dimetilssulfureto) DMS, que agrega aroma de milho verde ao mosto.
- Delegação de paladar, aroma e cor ao mosto.

### 3.7.5 Resfriamento

Segundo Morton (2016), esta etapa é importante que aconteça rapidamente para evitar a contaminação do mosto. Idealmente, o resfriamento deverá acontecer no máximo em 15 minutos.

O modo mais fácil para resfriar o mosto até a temperatura de inoculação da levedura é utilizar um equipamento chamado chiller de imersão. Este equipamento é uma fio de aço inoxidável com uma entrada para água fria e saída para a água quente proveniente do contato com o líquido.

### 3.7.6 Fermentação

O objetivo da fermentação, etapa mais longa e importante da produção da cerveja é utilizar a capacidade das células de levedura na conversão do açúcar em etanol ( $C_2H_5OH$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ), principais produtos, além de subprodutos como ésteres álcoois superiores (BRIGGS, 2004). A fermentação alcoólica pode ser representada por meio da transformação da sacarose em glicose e frutose, o que é possível pela reação de invertase (Eq. 02).

Eq. 02

Pode-se observar que nesta reação uma molécula de sacarose, por ação de catalisadores, sofre hidrólise liberando uma molécula de água e produzindo glicose e frutose. Esta reação é seguida pela decomposição da molécula de glicose produzindo etanol e liberando gás carbônico (Eq. 03)

Eq. 03

A fermentação é dividida em duas etapas: inoculação da levedura e fermentação. A inoculação (ativação) da levedura, é um método de preparo onde, inicialmente, o microrganismo (levedura ou fermento) se adapta ao meio (mosto). A fase de ativação é predominantemente aeróbia, em que as leveduras se reproduzem utilizando o oxigênio, proteínas, e outras substâncias.

De acordo com Silva (2019), existem 4 tipos de fermentação: baixa, alta, espontânea e mista. No Brasil, é mais comum a utilização das fermentações alta e baixa. Essas denominações são dadas de acordo com a diferença de temperatura empregada durante o processo fermentativo, onde o controle de temperatura é crucial durante toda a produção. Para alta fermentação, geralmente são utilizadas temperaturas em torno de 15 e 22°C e para baixa fermentação as temperaturas variam entre 9 e 14°C. (PHILLISKIRK, 2011).

A combinação de diferentes temperaturas e leveduras específicas geram diversos perfis de cerveja.



### 3.7.7 Dry Hopping

O Dry Hopping é uma técnica de fermentação à frio que, além de intensificar compostos aromáticos já presentes, adiciona outros aromas substancialmente diferentes.

O objetivo do Dry Hopping é infundir na cerveja aromas e sabores adicionais de lúpulos frescos.

Lúpulos podem ser adicionados ao tanque de fermentação para aumentar e melhorar o aroma final da cerveja. Os alfa-ácidos presentes no lúpulo são responsáveis pelo amargor e no dry hopping não são isomerizados, permanecendo insolúveis. (OLIVER, 2011)

A transferência de aroma é mais rápida em temperaturas mais elevadas do que a temperatura de fermentação. O perfil do aroma também é definido pela temperatura, influenciado pela volatilidade dos óleos essenciais.

### 3.7.8. Maturação

Esta fase é importante para sedimentar as partículas em suspensão e para desencadear algumas reações de esterificação que irão produzir aromatizantes essenciais para a cerveja. (MATOS, 2011).

Após a fermentação a cerveja ainda não está pronta para o consumo, pois as fermentações tendem a produzir sabores considerados indesejáveis. A maturação deve acontecer para tornar a cerveja palatável.

### 3.7.9 Carbonatação

De acordo com Parks (2011), essa etapa é uma das definidoras das características da cerveja. Seus efeitos influenciam diretamente as sensações de sabor, odor e aparência.

A carbonatação ou gaseificação da cerveja pode ser feita de duas formas: com a injeção de dióxido de carbono forçadamente ou pelo primming.

Na produção de cervejas artesanais o método mais usual é a carbonatação por primming, que consiste em adicionar açúcar na cerveja não filtrada e imediato

envasamento. Este açúcar deve ser de fácil consumo para as leveduras e para isso deve ser dissolvido previamente. As leveduras fermentarão esse açúcar e produzirão dióxido de carbono, que irá se difundir no líquido e pressurizar a garrafa após o fechamento da mesma (MATOS, 2011).

#### 3.7.10 Envase

No envase, deve-se ter cuidado com a exposição da garrafa ao oxigênio a fim de evitar a oxidação. Deve-se encher a garrafa próximo a curvatura limite, evitando borbulhamento, deixando um espaço livre e por fim, colocar a tampa devidamente esterilizada (PALMER, 2006).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

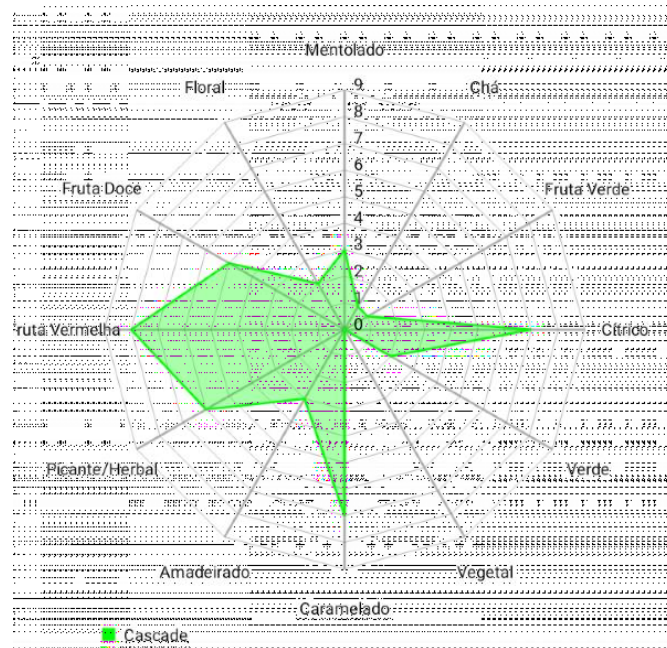
### 4.1 MATERIAL

Para a produção da cerveja IPA foram utilizados os seguintes insumos foram:

#### a) Lúpulo Cascade

Um dos mais conhecidos lúpulos americanos, desenvolvido no Oregon, EUA, em 1972. Tem origem vulcânica encontrado nas montanhas Cascade, é um lúpulo meio-forte, com distinto aroma floral perfumado. As principais características desta variedade são os seus compridos cones escuros e o baixo teor de  $\alpha$ -ácidos. Primeira escolha para uso IPA, muito utilizado no dry hop, com excelentes resultados. Possui notas de grapefruit e outras frutas cítricas, com um leve toque floral e picante (MORTON, 2017).

Figura 6 - Imagem de um gráfico-aranha do lúpulo Cascade



Fonte: Site Armazém do Lúpulo. <https://www.armazemcervejeiro.com/produto/11125/lupulo-cascade-50g-safra-2019-pellet-t90>

O gráfico aranha do perfil sensorial do lúpulo Cascade indica que em uma escala de intensidade com variação de 0 a 9 (sendo 0 nenhum e 9 o nível de intensidade máxima), esse tipo de lúpulo apresenta intensidade 3 para perfil

mentolado, 1 para chá e fruta verde, 7 para cítrico, 2 para verde, 0 para vegeta. 7 para caramelado, 3 para amadeirado, 6 para picante/herbal, 8 para frutas vermelhas, 5 para fruta doce e 2 para floral. Com esses indicativos, podemos constatar que é um lúpulo que combina com os tipos de maltes escolhidos na formulação da cerveja (pale ale e caramel) porque apresenta um nível de intensidade alto para caramelado, condizente como malte caramel.

#### b) Maltes:

Pale Ale: Em quase todas as cervejas, os maltes pale ale formarão mais de três quartos dos pesos dos grãos. Um malte produzido com cevada de duas fileiras 100% nacional, tradicionalmente usado para cervejas britânicas de alta fermentação atualmente usadas para Ales, Porter, Sout, Lager e Belgas (MORTON, 2017).

Caramel: Este malte colorido caramelo-cobre proporciona sabor e aroma de malte rico a cervejas lager âmbar e escuras. Comparado a outros maltes coloridos tradicionais, apresenta um poder diastásico mais forte e produz um amargor mais suave (MORTON, 2017).

#### c) Levedura

A Levedura utilizada foi a Fermentis US-05. Levedura do tipo Ale, disponível desidratada e selecionada para produzir cervejas bem balanceadas com baixo diacetil e com um paladar final limpo. Forma uma firme camada de espuma e apresenta habilidade manter em suspensão durante a fermentação (FERMENTIS, 2021).

#### d) 4.1.4 Água

A água utilizada neste procedimento foi adquirida no mercado local da cidade de Pato Branco-PR, disponível em galões de 20 litros, apresentando características físico-químicas adequadas para elaboração da bebida.

pH = 5,22

Tabela 2 - Composição química da água comercial, utilizada na produção da Cvj Nat

Íon presentes	Quantidade (mg L <sup>-1</sup> )
Estrôncio	0,003
Bário	0,007
Magnésio	0,12
Potássio	0,10
Sódio	0,20
Potássio	0,10
Sódio	0,20
Bicarbonato	2,09
Fluoreto	0,01

Fonte: Site da marca.

#### 4.1.1 Local da produção

A produção da cerveja foi realizada no Laboratório de Alimentos da UTFPR campus Pato Branco e as análises foram realizadas no Laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco.

#### 4.1.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados para a produção foram:

Kit cervejeiro completo com capacidade para 20 Litros contendo:

- ✓ Tinas de mosturação, clarificação e fervura.
- ✓ Pá de mostura.
- ✓ Jarra de marcação de volume.
- ✓ Termômetro alimentício.
- ✓ Medidor de pH.
- ✓ Balança
- ✓ Proveta
- ✓ Erlenmeyer
- ✓ Chiller de resfriamento.
- ✓ Tanque fermentador

- ✓ Airlock
- ✓ Garrafas, tampinhas e arrolhador.
- ✓ Sanitizador (iodofor ou ácido peracético)

Figura 7 - Kit completo para produção de 20 litros de cerveja



Fonte: (<https://www.lojaodeofertas.com.br/produto/kit-completo-inox-para-producao-de-20-litros-de-cerveja-artesanal-com-insumos-220-v-2383>)

## 4.2 MÉTODOS

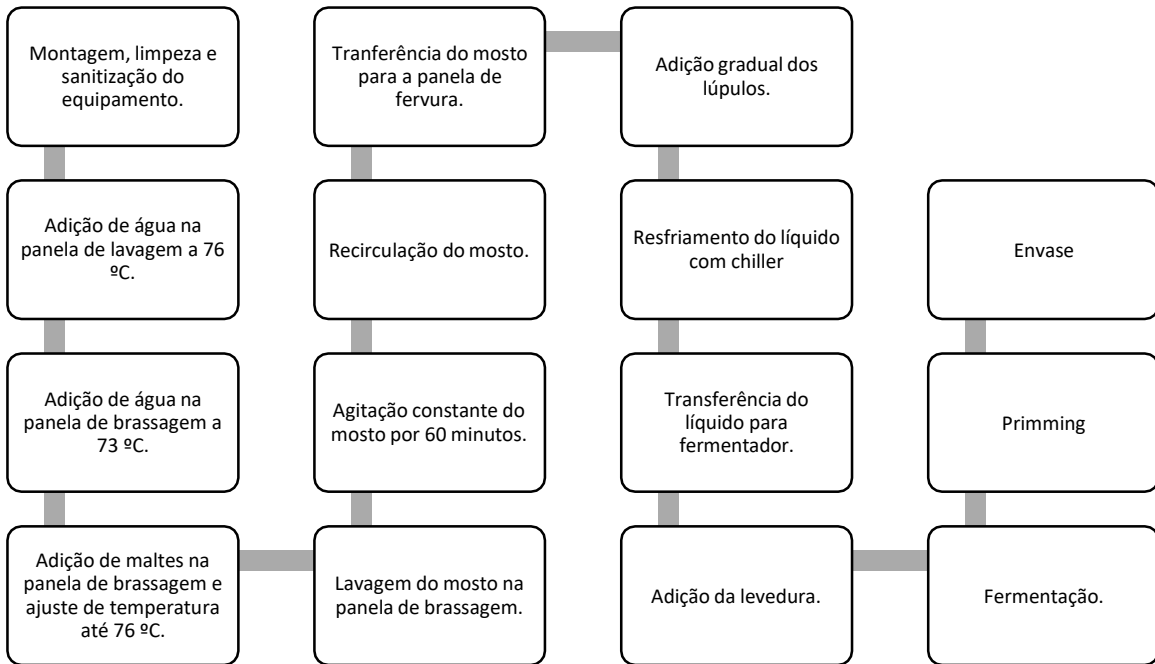
Este trabalho constitui-se de um estudo experimental de cerveja produzida de forma artesanal do tipo IPA. A escolha por esse tipo de cerveja se justifica por ser a cerveja artesanal mais vendida e produzida no atual cenário do mercado de cerveja Artesanal.

Por critérios de comparação, foi necessário utilizar os parâmetros de cinco cervejas artesanais comerciais com estilo IPA, com informações no rótulo e disponíveis no mercado.

### 4.2.1 Procedimento experimental

A produção da cerveja foi realizada seguindo as etapas do fluxograma abaixo:

Figura 8 - Processo de produção da cerveja CvjNat.



Fonte: Autor

#### 4.2.2 Análises físico-químicas

O presente trabalho visa avaliar os aspectos físico-químicos de uma cerveja artesanal tipo India Pale Ale, com o intuito de ponderar se seguem padrões de qualidade estabelecidos pela ANVISA no decreto nº 2.314/1997.

Uma garrafa contendo 600 mL de amostra de cerveja foi utilizada para avaliação dos parâmetros no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco. Todas as determinações foram realizadas com as amostras descarbonatadas, conforme normativa de análise do Instituto Adolfo Lutz para bebidas alcoólicas. As análises foram realizadas em triplicata, sendo o seu valor médio (valor  $\pm$  desvio padrão), comparado com as marcas de cervejas artesanais comerciais. Os parâmetros avaliados foram: pH, Densidade inicial, Densidade final, Teor Alcoólico e Amargor.

#### 4.2.2.1 Teste iodo-amido

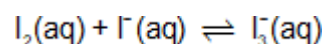
A etapa da mosturação tem como principal objetivo a conversão do amido do malte em açúcares menores (glicose, maltose e maltotrioses) através da ativação das enzimas produzidas durante a malteação.

É importante que a mostura seja conduzida de tal maneira que no final do processo não haja uma grande proporção de polissacarídeos que não são fermentescíveis (não assimilados pela levedura) e que podem causar alterações sensoriais e principalmente turvações no produto final. Para controlar isso, usa-se uma solução de iodo que ao entrar em contato com moléculas de amido muda de cor (azul escuro).

O amido é um polissacarídeo produzido em grande quantidade nos vegetais, e é constituído por dois outros polissacarídeos estruturalmente diferentes: amilose e amilopectina. A molécula da amilose não apresenta ramificações e, no espaço, assume conformação helicoidal (forma de hélice).

O complexo de coloração azul intensa é resultado da oclusão (aprisionamento) do iodo nas cadeias lineares das amiloses, enquanto que a amilopectina por não apresentar estrutura helicoidal, devido à presença das ramificações, a interação com o iodo será menor, e a coloração menos intensa. O resultado final da complexão do amido com o iodo é a formação de um complexo de cor azul intensa.

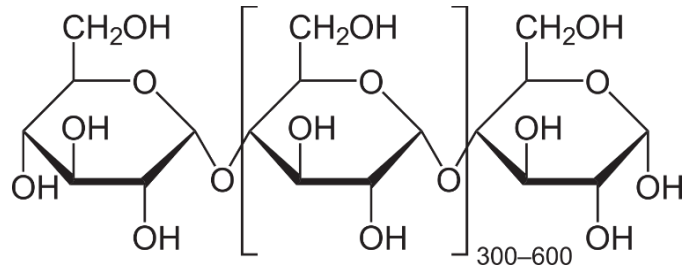
Figura 9 - Reação de complexação entre iodeto e amilose



Esta coloração irá mudar gradativamente, sumindo conforme avança no tempo de repouso acima dos 70°C (marrom avermelhada, avermelhada, alaranjada e por fim amarelo). A diluição deve ser preparada a 2%. Enquanto a reação de iodo não der negativa (amarela) não deve prosseguir a brassagem. A temperatura do mosto deve estar próximo aos 20°C.

Figura 10 - Estrutura química da amilose





Fonte: ([http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/praticas\\_ch/teste\\_amido.htm](http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/praticas_ch/teste_amido.htm))

Figura 11 - Aprisionamento da molécula de iodo na cadeia helicoidal da amilose



Fonte: ([http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/praticas\\_ch/teste\\_amido.htm](http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/praticas_ch/teste_amido.htm))

Figura 12 - Teste iodo-amido realizado



Fonte: <https://concerveja.com.br/teste-iodo/>

#### 4.2.2.2 Densidades inicial e final

O mostro da cerveja de produção própria antes de ser transferido ao balde de fermentação, teve uma alíquota retirada, enchendo uma proveta com 50 mL, e inseriu-se um densímetro até o seu equilíbrio para efetuar a leitura da densidade relativa inicial. Após o processo de fermentação, realizou-se novamente o processo para avaliar a densidade relativa final da cerveja.

#### 4.2.2.3 Amargor

O amargor pode ser calculado utilizando o IBU (International Bitterness Unit) a partir da seguinte equação:

Eq. 4

Onde:

Utilização AA = corresponde ao fator entre a densidade específica do mosto pelo tempo de fervura.

%AA = quantidade de  $\alpha$  - ácido (alfa-ácido) do lúpulo, indicada na embalagem do produto.

Qtdd de Lúpulo = quantidade em gramas de lúpulo utilizado.

V = Volume Final Mosto. É o volume em litros do mosto estimado para se levar ao fermentador.

OG = Densidade inicial

#### 4.2.2.4 Teor Alcoólico

O teor alcoólico pode ser calculado utilizando o ABV (alcohol by volume) a partir da seguinte equação:

Eq. 05

Onde:

OG= Original Gravity (densidade inicial)

FG= Final Gravity (densidade final)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar o procedimento experimental de produção de cerveja artesanal tipo IPA, os seguintes resultados foram obtidos:

Tabela 3 - Valores de pH da cerveja produzida.

Etapas	Valor de pH
Brassagem	5,5
Lavagem	5,0
Fervura	5,2
Cerveja pronta	5,7

Fonte: Autora.

A variação de valor do pH da água durante a brasagem, passando pela lavagem do mosto, fervura e até finalização do produto pode ser percebida e justificada em cada etapa:

A reação de fermentação de carboidratos como a glicose é:

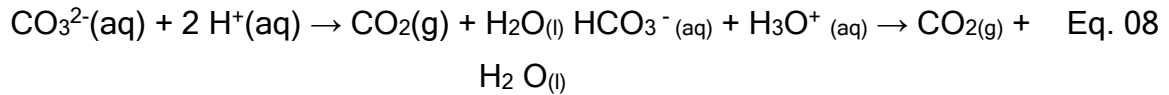


Reação de hidrólise de amido em carboidratos:



A água comercial utilizada possui um valor de pH de 5,22 (pH com caráter ácido). Quando os grãos de malte, que possuem uma alta concentração de carbonatos, foram adicionados à panela de brassagem para a mosturação, esses carbonatos presentes nos grãos reagiram com os minerais presentes na água, resultando em uma liberação de íons  $\text{H}^+$  deixando o mosto mais ácido. (valor do pH da brasagem = 5,5) Para a produção de cerveja é desejável essa acidificação do mosto.

A dissolução de carbonatos reduz a acidez da cerveja devido às reações:



Quando o carbonato for completamente consumido na reação, o valor de pH vai reduzir, como aconteceu na etapa de lavagem do mosto (pH = 5,0).

Durante a fervura, uma quantidade da água presente no mosto é evaporada, cumprindo o objetivo de concentrar o mosto para a fermentação. Com o mosto concentrado, o valor do pH é elevado (valor do pH da fervura = 5,2).

Após fermentação adequada e com a cerveja concluída o pH da cerveja diminui. (valor do pH cerveja = 5,7).

Estudos mostram que a cerveja é um produto que apresenta leve acidez, sendo que a faixa de pH da cerveja tipo ale pode variar entre 3 e 6. Na amostra de cerveja produzida, o valor do pH variou entre 5,0 e 5,7, mostrados na tabela acima. Sendo assim, a cerveja possui pH ácido.

Tabela 4 - Valores do pH das amostras de cerveja comerciais

pH das amostras de cerveja				
Cvj 1	Cvj 2	Cvj 3	Cvj 4	Cvj 5
6,6	6,0	5,8	5,2	6,3

Fonte: Autora.

Nas amostras de cervejas artesanais comerciais utilizadas os valores de pH variaram entre 5,2 e 6,6, conforme a tabela 5. Sendo assim, as amostras de cerveja também possuem um caráter ácido.

As divergências entre os valores das amostras de cerveja IPA utilizadas podem ser decorrentes da água utilizada no processo de produção, tipo de lúpulo, tipo de malte, tipo de levedura, tempo adequado de cada etapa de produção, correção de pH durante o processo de produção da cerveja.

Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos das cervejas CVJ Nat e comerciais, em triplicata, com média e desvio padrão.

Parâmetros		Cvj nat			Média	Desvio-padrão
OG (°)	1,068	1,068	1,068	1,068	0	
FG (°)	1,014	1,014	1,014	1,014	0	
IBU (°)	58	58	58	58	0	
ABV (%)	7,0875	7,0875	7,0875	7,0875	0	

Parâmetros		Cvj 1			Média	Desvio-padrão
OG (°)	1,072	1,07	1,07	1,070667	0,001155	
FG (°)	1,014	1,015	1,015	1,014667	0,000577	
IBU (°)	59,6	59,5	59,5	59,53333	0,057735	
ABV (%)	7,6125	7,21875	7,21875	7,35	0,227332	

Parâmetros		Cvj 2			Média	Desvio-padrão
OG (°)	1,065	1,065	1,065	1,065	0	
FG (°)	1,011	1,012	1,013	1,012	0,001	
IBU (°)	65,2	62,2	62,1	63,16667	1,761628	
ABV (%)	7,0875	6,95625	6,825	6,95625	0,13125	

Parâmetros		Cvj3			Média	Desvio-padrão
OG (°)	1,072	1,072	1,072	1,072	0	
FG (°)	1,017	1,017	1,017	1,017	0	
IBU (°)	58,4	58,4	58,4	58,4	0	
ABV (%)	7,21875	7,21875	7,21875	7,21875	0	

Parâmetros		Cvj 4			Média	Desvio-padrão
OG (°)	1,065	1,067	1,067	1,066333	0,001155	
FG (°)	1,015	1,016	1,016	1,015667	0,000577	
IBU (°)	61	61	61	61	0	
ABV (%)	6,5625	6,69375	6,69375	6,65	0,075777	

Parâmetros		Cvj 5			Média	Desvio-padrão
OG (°)	1,072	1,07	1,071	1,071	0,001	
FG (°)	1,014	1,014	1,015	1,014333	0,000577	
IBU (°)	59,6	59,5	59,4	59,5	0,1	
ABV (%)	7,6125	7,35	7,35	7,4375	0,151554	

Fonte: Autora.

A tabela 5 apresenta os resultados dos principais parâmetros de qualidade das cinco amostras de cervejas artesanais comerciais e a mostra de cerveja produzida no laboratório da UTFPR.

A cerveja produzida na UTFPR (CvjNat), tanto em valores de média quanto os de desvio-padrão indicaram que não houve variação de resultados e, portanto, as análises ocorreram sem qualquer erro de equipamento, paralaxe, análise, produção ou operação.

Em relação à densidades inicial e final:

Para a amostra de cerveja 1 (Cvj1), houve variação valores de média e desvio-padrão em todos os parâmetros, indicando possíveis erros no processo de produção, como ajuste de volume de água, ajuste de pH, calibração de equipamentos utilizados ou erros de medição como erro de paralaxe.

Na amostra de cerveja 2 (Cvj2), ocorreu variação nos valores de média em todos os parâmetros, mas os valores de desvio-padrão podem ser considerados insignificantes. Isto nos mostra que a cerveja foi analisada com maior eficiência em relação à amostra de cerveja 1 (Cvj1).

Já na amostra de cerveja 3 (Cvj3), observamos nenhuma variação dos valores obtidos em triplicata, e os valores de média em cada parâmetro analisado com o desvio padrão é nulo, indicando resultados de análises coerentes e com erros insignificantes. Foi a única cerveja artesanal comercial que não apresentou variações de resultados.

A amostra de cerveja 4 (Cvj4) não apresentou variação dos resultados de média em relação aos valores de triplicata e apresentou mínima variação no desvio-padrão. Essas variações podem indicar pequenos erros instrumentais.

A amostra de cerveja 5 (Cvj5) apresentou variações nas medidas triplicatas e consequência variação de média e desvio-padrão. Essas variações podem ser consequência de erros de análise, produção, operacional ou instrumental.

Com os valores de densidades finais, iniciais e teor alcoólico é possível determinar se as amostras seguem o perfil de uma cerveja India Pale Ale (IPA). De acordo com o Guia de Tipos de Cerveja (BJCP), os parâmetros para esse tipo de cerveja são: OG entre 1,056 e 1,070; FG entre 1,008 e 1,014 e ABV entre 5,5 e 7,5%. A média dos resultados obtidos nestes parâmetros nos indica que a cerveja produzida na UTFPR (CvjNat) está coerente com o estilo em questão.

Em relação ao IBU (amargor), a cerveja produzida na UTFPR (CvjNat) e a amostra de cerveja 3 artesanal comercial (Cvj3) não apresentaram variação de desvio-padrão, mas as amostras de cervejas artesanais comerciais Cvj1, Cvj2 e Cvj5 apresentam um desvio-padrão considerável, que pode indicar que as cervejas não passaram por um controle adequado de produção ou análise.

Para o BJCP, o critério de amargor de uma IPA é entre 50 e 70 SRM, onde o valor mínimo (50 SRM) é a cerveja considerada menos amarga e o valor máximo (70 SRM) a cerveja considerada com o maior índice de amargor. Tanto na cerveja produzida na UTFPR, quanto nas amostras de cerveja artesanais comerciais, os valores determinados de amargor se encontram dentro da faixa de critério indicado pelo BJCP, sendo a cerveja produzida na UTFPR a com menor índice de amargor e a amostra de cerveja 2 (Cvj2) com maior índice de amargor.

É importante ressaltar a possibilidade de diferença de escala e volume de produção entre a cerveja produzida e as amostras de cerveja artesanais comerciais. A cerveja CvjNat foi produzida em pequena escala com equipamento artesanal de capacidade para 20 litros e as amostras de cervejas artesanais comerciais foram produzidas em equipamento artesanal com capacidade de 100 litros e com diferente configuração.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises realizadas nos parâmetros para caracterização físico-química das cervejas e por critério de comparação, foi possível determinar que a cerveja de produção própria demonstrou resultados coerentes em relação as artesanais comerciais, com valores apresentados muito similares às cervejas no mercado.

Considerando que produção e comercialização de cervejas artesanais e industriais apresentam-se em crescimento no Brasil, o presente estudo aponta a relevância das características físico-químicas nas cerveja artesanais, pois através dos resultados dos parâmetros estudados e com os critérios do BJCP (Beer Judge Certification Program) a cerveja produzida na UTFPR (CvjNat) se encaixa no tipo de cerveja IPA (India Pale Ale).



## REFERÊNCIAS

- AGRÁRIA MALTE. **Maltes**. Disponível em:  
<https://www.agraria.com.br/malte/produtos/pale-ale>. Acesso em 16/08/2021.
- AGRÁRIA. **Guia Prático de Produção de Cervejas – Caseiro**. Disponível em  
[https://www.agraria.com.br/extranet\\_2016/uploads/AgromalteArquivo/guia\\_pratico\\_producao\\_de\\_cervejas\\_\\_caseiros\\_1596195102533.pdf](https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/guia_pratico_producao_de_cervejas__caseiros_1596195102533.pdf) . Acessado em 14/11/2021.
- ALLTECH E THE BREWERS JOURNAL. Disponível em:  
<https://www.brewersjournal.info/craft-beer-surge-top-ten-countries-to-get-a-beer-this-st-patricks-day/> Acessado em 16/11/2021.
- ALMEIDA e SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. (Coord.). **Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. Cap. 15, p. 347-382.
- ALVES, L. M. F. **Análise físico-química de cervejas tipo pilsen comercializadas em Campina Grande na Paraíba**. 2014. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.
- ARAÚJO, et al. **Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. v.23, n.2, p. 121-128, 2003.
- ARMAZÉM DO LÚPULO, **Perfil sensorial do Lúpulo Cascade**. Disponível em  
<https://www.armazemcervejeiro.com/produto/11125/lupulo-cascade-50g-safra-2019-pellet-t90>. Acessado em: 10/11/2021.
- BAMFORTH, C. **Beer Tap into the Art and Science of Brewing**, Oxford University Press, 2a Ed., 2003.
- BARTH, R. **The chemistry of beer - the science in the suds**. New jersey: Wiley. 2013.
- BERNSTEIN, L.; WILLOX, J.C. Água. Em: BRODERICK, H.M. **El cervecero en La practica**. Lima: **Asociación Latinoamericana de Fabricantes de Cerveza**. Cap. 4, p.53-82, 1977.
- BJCP, Guideline. **Styles Guideline**, 2015. Disponível em:  
<http://bjcp.org/stylecenter.pgp>. Acessado em 23/03/2021.
- BNB. **Indústria de Bebidas Alcoólicas**. Disponível em:  
[http://www.bnb.gov.br/documents/80223/1138347/2\\_cerveja.pdf](http://www.bnb.gov.br/documents/80223/1138347/2_cerveja.pdf). Acessado em: 11/11/2021.

BOTELHO, B. G. **Perfil e teores de amins bioativas e características físico-químicas em cervejas**. 2009. 75 f. Dissertação (Pós-Graduação) - Curso de Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

BRASIL. **Decreto nº 2.314, de 4 de setembro de 1997**. 1997. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/decretos/2314\\_97.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/decretos/2314_97.htm)>. Acessado em: 03/04/2021.

BRASIL. **Produção mundial de cerveja**. Texto eletrônico disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/08/brasil-e-o-terceiro-no-ranking-de-producao-mundial-de-cerveja>> Acessado em 30/03/2021.

BRIGGS, J.S. et al., **Brewing Science and Practice**. CRC Press LLC, 2004.

CERVBRASIL - **Associação Brasileira da Indústria da Cerveja**. Texto eletrônico disponível em: <<http://cervbrasil.org.br/>> Acessado em 15/03/2021.

DURELLO, R. S.; SILCA, L. M.; BOGUSZ, S **Química do Lúpulo**. Química Nova, v. 42, n. 8, p. 900-919, 2019.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION - EBC. **Method 9.6: Colour of Beer: Spectrophotometric Method (IM)**. Analytica - EBC, 2000.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION - EBC: **Wort Boiling and Clarification, Manual of Good Practices**, 2000.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION-EBC. **Analytica – EBC** 5th ed. Zurique: Brauerei – und Getränke – Rundschau, 2005.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2ª ed., 2005.

EVANGELISTA, R. R. **Análise do processo de fabricação industrial de cerveja**. São Paulo. Título de Graduação. Fatec Araçatuba, 2012, 50p.

FERMENTIS. **Fermento US-05**. Disponível em <https://fermentis.com/en/product/safale-us-05/>. Acesso em 12/11/2021.

FERNANDES, E. **O livro das cervejas - Super bock**. UNICER, 2015.

GAENSLY, F. **Incorporação de ferro pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* e sua influência na formação de biomassa e na capacidade fermentativa**. Dissertação (Mestrado), Setor de Ciência da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 79. 2010.

GLOBAL CRAFT BEER MARKET - GROWTH, TRENDS AND FORECASTS. Disponível em <https://www.businesswire.com/news/home/20180531006314/en/Global-Craft-Beer-Market-2018-2023-Growth-Trends>. Acesso em 15/11/2021.

HIERONYMUS, S. **For the love of hops: the practical guide to aroma, bitterness and the culture of hops**. Brewers publications, 2012.

HORNSEY, S. I. **A history of beer and brewing**. RSC Paperbacks, 2003.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz.** v. 4 Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo: IMESP, 2004. 1004p.

KISSMEYER, A. B. **The Oxford Companion of Beer.** 1<sup>st</sup> ed., USA: Oxford University Press, 2011.

KROTTENTHALER, M.; BACK, W.; ZARNKOW, M. Wort production, In: EBLINGER, Hans M. **Handbook of Brewing: Process, Technology, Markets.** Alemanha: Wiley-VCH, 2009. p. 165-202.

LAMAS BREWSHOP. **Especial de maltes – malte base x malte especial.** Disponível em: <https://www.lamasbrewshop.com.br/blog/2018/04/especial-de-maltes-malte-base-x-malte-especial.html>. Acesso em 08/11/2021.

MACEDO, A. J. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas.** 3<sup>a</sup> edição, Belo Horizonte, 2005.

MADRID, A. **Manual das indústrias de alimentos: processo de produção da cerveja.** São Paulo, 1996, p. 285-313.

MALLET, J. **Malt: a practical guide from field to brewhouse.** Michigan, USA: Brewers Publications, 2014.

MARCUSSO, E. F. **As Microcervejarias no Brasil Atual: Sustentabilidade e Territorialidade.** Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

MATOS, R. A. G. **Cerveja: Panorama do mercado, produção artesanal e avaliação de aceitação e preferência.** 2011. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso/Relatório de estágio do Curso de Graduação em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

MATTHIAS, R. R. **Mercado da Cerveja – Considerações do mercado atual** Revista Indústria de Bebidas, Edição especial cerveja, 2021.

MORADO, R. **Larousse da cerveja.** São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

MORTON, J. **A arte de fazer cerveja: ingredientes, técnicas e receitas para produzir a bebida.** São Paulo: Publifolha, 2017.

NACHEL, M.; ETTLINGER, S. **Cerveja para leigos.** trad. da 2a. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2014.

NUTRIAGRO, **Textos de apoio a nutrição e agroindústria.** Disponível em: <https://nutriagro.weebly.com/luacutepulo.html>. Acessado em 10/09/2021.

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

REINOLD, M. R. **Manual Prático de Cervejaria.** 1.ed. São Paulo: Aden Editora, 1997. 213p.

RODHES, C. P. **The Encyclopedia Of Beer: A-Z**. NY: Henry Holt References Books. 1995.

ROSA, N. A.; AFOLSO, J. C. **A química da cerveja** Revista Química Nova na Escola São Paulo, 2014

SANTOS, S. P. **Os primórdios da cerveja no Brasil**. 1ª edição. São Paulo: Ateliê, 2003.

SARDELLA, A; MATEUS, E. **Curso de Química: química geral**, Ed. Ática, São Paulo/SP – 1995.

SEBRAE, **Mercado Brasileiro de bebidas Alcoólicas**, 2016. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/o-mercado-brasileiro-de-bebidas-alcoolicas>. Acesso em 10 de Abril de 2021.

SEBRAE. **Mercado nacional de cervejas artesanais**. Texto eletrônico disponível em <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/microcervejarias> acessado em 05/04/2021.

SILVA, C. H. P. M., **Microbiologia da Cerveja: do básico ao avançado, o guia definitivo**. 2019. Livraria da física, 1ª edição.

STEWART, G. G.; OLIVER, G. **The Oxford Companion to Beer**. 1ª edição, USA: Oxford University Press, 2011.

SUPER INTERESSANTE. **Dossiê Guia Super de Cervejas**. São Paulo. Editora Abril, 2015

TAYLOR, D. G. Water. In: PRIEST, F.G; STEWART, G.G. **Handbook of brewing**. 2nd ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. 853p.

TEIXEIRA, L. **Análise Sensorial na Indústria de Alimentos**. Rev. Inst. Latic. “Cândido Tostes”. n. 366. 2009.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2010. V. 1 461 p.

VENTURINI FILHO, W. G; CEREDA, M. P. Cerveja, In: ALMEIDA LIMA, U.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial na Produção de Alimentos**. São Paulo: Edgar Blucher, p. 91-144, 2001.

VILLAVECHIA, V. **Tratado de química analítica**. 3ed. Barcelona, Gustavo Gilil, 1963.

**ANEXO 1****RECEITA IPA**

Volume de produção: 20 Litros

**INSUMOS CERVEJEIROS****ÁGUA**

22,0 L de água para brassagem

11,3 L de água para lavagem

Volume total: 33,3 litros

**MALTES:**

5,7 kg Malte Pale Ale

0,600 g Malte Caramel

Total: 6,3 kg de malte

**LÚPULOS:**

28 g (5,5% AA) Cascade (início da fervura)

28 g (5,5% AA) Cascade (40 minutos de fervura)

28 g (5,5% AA) Cascade (50 minutos de fervura)

28 g (5,5% AA) Cascade (final da fervura)

Total: 112 g de lúpulo

**FERMENTO (LEVEDURA)**

1 pacote de 11,5g SafAle American Ale - Fermentis US-05

## ETAPAS DA PRODUÇÃO:

### **Brassagem:**

Adicionar 22,0 L de água na panela de brassagem

Aquecer a água até 73°C.

Adicionar todo o malte moído e aguardar a estabilização da temperatura em 66°C.

### **Filtragem ou clarificação:**

Adicionar 11,3 L de água na panela de lavagem

Aquecer até 76°C

Transferir a água de lavagem para a panela de brassagem gradativamente.

### **Mosturação:**

1ª rampa de temperatura (sacarificação): Manter a temperatura em 66°C por 90 minutos.

2ª rampa de temperatura (mash out): aumentar a temperatura para 76°C por 10 minutos.

Recircular o mosto com o fogo desligado.

Fazer o teste do iodo.

### **Fervura:**

Tempo necessário: 60 minutos.

Após os 60 minutos de fervura resfriar com o chiller até uma temperatura próxima à temperatura de fermentação (18°C)

Medir densidade inicial relativa do mosto.

### **Fermentação:**

Transferir o líquido da panela de fervura para o fermentador devidamente sanitizado.

Adicionar a levedura inoculada.

Lacrar o fermentador.

Medir a densidade relativa final do mosto.

Tempo de fermentação: 10 dias.

Temperatura: 18°C.

**Dry Hopping**

Caso houver necessidade, após 3 dias de fermentação realizar o dry hopping.

**Priming ou carbonatação**

Utilizar 7g de açúcar cristal/litro de cerveja na água fervida.

Adicionar a mistura na cerveja após a conclusão da fermentação.

**Envase**

Com o auxílio de um bastão transferidor de líquidos e um arrolhador, encher as garrafas sanitizadas de cerveja e fechar com tampinhas.

**APÊNDICE**

O cálculo do teor alcoólico parte do seguinte princípio:

Eq. 06

Massas molares:

Gás Carbônico:  $44 \text{ g mol}^{-1}$

Etanol:  $46 \text{ g mol}^{-1}$

A razão entre as massas molares do etanol e gás carbônico é:

Eq. 07

Convertendo o valor do etanol de massa para volume:

Densidade do etanol =  $800 \text{ kg m}^{-3} = 0,8 \text{ g cm}^{-3}$

Eq. 08