

JULIO CÉSAR BERALDO DE MORAES

**CERVEJA ARTESANAL COM TEOR ALCOÓLICO REDUZIDO E ALTA
CONCENTRAÇÃO DE CARBOIDRATOS**

Botucatu

2020

JULIO CÉSAR BERALDO DE MORAES

**CERVEJA ARTESANAL COM TEOR ALCOÓLICO REDUZIDO E ALTA
CONCENTRAÇÃO DE CARBOIDRATOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus de
Botucatu para obtenção do título de Mestre em
Agronomia.
(Energia na Agricultura)

Orientador: Prof. Dr. Waldemar Gastoni Venturini Filho

Botucatu

2020

M827c Moraes, Julio César Beraldo de
Cerveja artesanal com teor alcoólico reduzido e alta
concentração de carboidratos / Julio César Beraldo de Moraes.
-- Botucatu, 2020
74 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Waldemar Gastoni Venturini Filho

1. Fermentação Alcoólica. 2. Cerveja Artesanal. 3. Teor
Alcoólico Reduzido. 4. Dextrinização. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CERVEJA ARTESANAL COM TEOR ALCOÓLICO REDUZIDO E ALTA CONCENTRAÇÃO DE CARBOIDRATOS

AUTOR: JULIO CESAR BERALDO DE MORAES

ORIENTADOR: WALDEMAR GASTONI VENTURINI FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. WALDEMAR GASTONI VENTURINI FILHO
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Assoc. RICARDO DE OLIVEIRA ORSI
Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - UNESP

Dr.^a MAGALI LEONEL
Centro de Raízes e Amidos Tropicais / Universidade Estadual Paulista - UNESP

Botucatu, 03 de setembro de 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado essa oportunidade de melhorar meu conhecimento intelectual e me capacitar para melhorar na minha carreira profissional.

Ao Professor Doutor Waldemar Gastoni Venturini Filho pela orientação, dedicação e confiança no meu trabalho.

A UNESP – FCA, pela oportunidade me dada de capacitar-me e enriquecer ainda mais meus conhecimentos na minha área de atuação.

Ao Professor Doutor Ricardo Figueira, pela paciência e pela orientação, atenção e conselhos dados durante o período de desenvolvimento do trabalho realizado no laboratório de bebidas, da FCA – UNESP, campus de Botucatu.

Ao colega Vitor Massami Imaizumi, que me auxiliou no desenvolvimento do trabalho escrito.

A Professora Doutora Maria Márcia Pereira Sartori, que me auxiliou no estudo estatístico de Análise Multivariada por Componentes Principais.

Ao Professor Doutor Luiz Alberto Beraldo de Moraes, do departamento de Química da USP – Ribeirão Preto, que me auxiliou na realização das análises de perfil de açúcares.

À minha esposa que em todo os momentos me incentivou e me auxiliou aconselhando a sempre continuar meus estudo independente das dificuldades que passamos juntos ao longo desses três anos, também aos meus filhos Heitor (*in memoriam*) e Matheus o caçula, que nos enche de alegria todos os dias e mais e mais a cada nova descoberta neste novo mundo.

A minha mãe (*in memoriam*), que sempre foi exemplo de superação e ao meu pai que sempre me incentivou para os estudos.

Obrigado a todos aqueles que de forma direta ou indiretamente me auxiliaram neste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo produzir uma cerveja no estilo *Pale Ale*, com teor alcoólico reduzido, através do controle de temperatura no processo de mosturação por infusão. As cervejas foram produzidas a partir de mosturação isotérmica, aplicando-se três repetições (R1, R2 e R3) em três temperaturas diferentes (T1, T2 e T3) à 70 °C, 75 °C e 80 °C, respectivamente. O teor de sólidos solúveis do mosto foi corrigido para 12 °Brix. As amostras de cervejas foram analisadas para os seguintes parâmetros físico-químicos: teor alcoólico, extrato aparente, real e original, amargor, acidez total, cor, pH e turbidez. Os resultados analíticos foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias das análises físico-químicas foram comparadas pelo teste Tukey (5% de probabilidade). Os parâmetros físico-químicos foram também submetidos à análise multivariada dos componentes principais. As análises sensoriais foram realizadas por teste afetivo, utilizando a escala hedônica estruturada de nove pontos. Os resultados das medianas das análises sensoriais, foram comparadas pelo teste Kruskal-Wallis (5% de probabilidade). Os resultados para teor alcoólico, em média foram, 3,81% $\pm$ 0,26, 3,14% $\pm$ 0,17 e 2,35% $\pm$ 0,11 (v/v), para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. Os resultados da análise sensorial apresentaram valores aceitáveis, no parâmetro de avaliação global, as cervejas obtiveram nota, 7,0, 7,0 e 6,0, para os tratamentos, T1, T2 e T3, respectivamente. Os resultados desta pesquisa indicaram que é possível reduzir em 50% o teor alcoólico das cervejas artesanais, elevando-se a temperatura a mosturação. Porém, à medida que aumentamos a temperatura de mosturação, perdemos qualidade sensorial do produto.

Palavra-Chave: Bebida alcoólica. Álcool. Dextrina. Amilase. Mosturação. *Ale*.

ABSTRACT

The present work aimed to produce a beer in the Pale Ale style, with reduced alcohol content, through temperature control in the mashing process by infusion. The beers were produced from isothermal mashing, applying three repetitions (R1, R2 and R3) at three different temperatures (T1, T2 and T3) at 70 °C, 75 °C and 80 °C, respectively. The must soluble solids content was corrected to 12 °Brix. The beer samples were analyzed for the following physical-chemical parameters: alcohol content, apparent, real and original extract, bitterness, total acidity, color, pH and turbidity. The analytical results were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and the means of physicochemical analyzes were compared by Tukey test (5% probability). The physicochemical parameters were also submitted to multivariate analysis of the main components. The results of the medians of the sensorial analyzes, were compared using the Kruskal-Wallis test (5% probability). The results for alcohol content, on average, were $3.81\% \pm 0.26$, $3.14\% \pm 0.17$ and $2.35\% \pm 0.11$ (v / v), for treatments T1, T2 and T3, respectively. The results of the sensorial analysis presented acceptable values, in the global evaluation parameter, the beers obtained a score, 7.0, 7.0 and 6.0, for the treatments, T1, T2 and T3, respectively. The results of this research indicated that it is possible to reduce the alcohol content of craft beers by 50%, increasing the mash temperature. However, as we increase the mashing temperature, we lose sensory quality of the product.

Keywords: Alcoholic beverage. Alcohol. Dextrin. Amylase. Mash. Ale

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Estrutura da amilose e amilopectina.....	28
Figura 2 — Fluxograma do processamento de cerveja artesanal	32
Figura 3 — Processo de mosturação de uma cerveja Pale Ale.	34
Figura 4 — Panela Cervejeira Single Vessel.....	42
Figura 5 — Posição do cesto no momento da retirada do bagaço de malte.	45
Figura 6 — Biplot exibindo autovetores e pontuações para PC1 e PC2	52
Figura 7 — Biplot exibindo tratamentos (T1, T2 e T3) e pontuações para PC1 e PC2	53

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 — Planejamento de Produção.....	45
Tabela 2 — Análise Físico-Químicas das Cervejas	49
Tabela 3 — Componentes principais, valores próprios, proporção da variância explicada e proporções cumulativas.....	51
Tabela 4 — Autovalores, Cor, pH, Extrato Aparente, Extrato Real, Extrato Original, Teor Alcoólico, Amargor, Turbidez, Acidez Total e Gás Carbônico, os dois componentes principais (PC1 e PC2).	52
Tabela 5 — Análise sensorial das cervejas.....	55

LISTA DE SIGLAS

ABV	Álcool por Volume
ANOVA	Análise de Variância
ASBC	American Society of Brewing Chemists
BJCP	Beer Judge Certification Program
CAAE	Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
DMS	Dimetilsulfureto
EBC	European Brewing Convention
EUA	Estados Unidos da América
FCA	Faculdade de Ciências Agrônômicas
GT	Temperatura de Gelatinização
IBU	International Bitterness Unit
IPA	India Pale Ale
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PCA	Análise dos Componentes Principais
PC	Componentes Principais
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial Hidrogeiônico
UNESP	Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1	Categorização básica	24
2.1.1	<i>Ale</i>	24
2.1.2	<i>Lager</i>	24
2.2	Cerveja Artesanal	24
2.3	Cerveja artesanal de baixo teor alcoólico	25
2.4	Histórico de cerveja com teor alcoólico reduzido	25
2.5	Legislação	26
2.6	Matérias Primas.....	27
2.6.1	Malte.....	27
2.6.2	Água	29
2.6.3	Lúpulo.....	30
2.6.4	Levedura	31
2.7	Processo de Produção da Cerveja Artesanal.....	32
2.7.1	Moagem do Malte.....	33
2.7.2	Mosturação.....	33
2.7.3	Filtração.....	34
2.7.4	Fervura	35
2.7.5	<i>Whirpool</i>	35
2.7.6	Resfriamento do Mosto	36
2.7.7	Fermentação	36
2.7.8	<i>Priming</i>	36
2.7.9	Envase	37
2.7.10	Maturação	37
2.7.11	Estilo <i>Pale Ale</i>	37
2.8	Produção de Cervejas de Baixo Teor Alcoólico	38
2.8.1	Destilação a vácuo	38
2.8.2	Evaporação a vácuo.....	38
2.8.3	Diálise.....	39
2.8.4	Osmose Reversa.....	39
2.8.5	Pervaporação, adsorção e extração supercrítica	40

2.8.6	Controle de mosturação.....	40
2.8.7	Controle da fermentação.....	41
2.8.7.1	Adaptações da fermentação.	41
2.8.7.2	Contato frio	41
2.8.7.3	Combinação de Processos Físico-Biológicos	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
3.1	Materiais	43
3.1.1	Equipamentos	43
3.1.2	Matérias-primas	44
3.1.2.1	Água	44
3.1.2.2	Lúpulo	44
3.1.2.3	Malte	44
3.1.2.4	Levedura.....	44
3.1.2.5	Açúcar.....	44
3.2	Métodos	44
3.2.1	Planejamento experimental.....	45
3.2.2	Fabricação da cerveja.....	45
3.2.2.1	Moagem.....	45
3.2.2.2	Mosturação	46
3.2.2.3	Fervura	47
3.2.2.4	Fermentação.....	47
3.2.2.5	<i>Priming</i> e Envase	47
3.2.2.6	Maturação	47
3.2.3	Análise Físico Química	48
3.2.4	Análise Sensorial	48
3.2.5	Análises Estatística.....	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1	Análise Físico-Química	49
4.2	Análise Multivariada: Componentes Principais	51
4.3	Análise Sensorial	54
5	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A — Ajuste da Temperatura Inicial.....	63
	APÊNDICE B — Análise Físico Química.....	64

APÊNDICE C — Análises Estatísticas.....	68
---	----

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o mercado de cervejas especiais e artesanais, vem crescendo exponencialmente, segundo Dino (2019) em dez anos o Brasil passou de 70 para 700 cervejarias, só no último ano houve um crescimento de 35%.

As cervejas especiais e artesanais, geralmente são mais fortes no teor alcoólico e mais encorpadas quando comparadas com as cervejas pilsen comercializadas pelas grandes corporações, por conta disso as cervejarias artesanais estão fazendo alterações nos estilos tradicionais para variações que se adaptam melhor ao mercado cervejeiro brasileiro, com a introdução de novos produtos com teor de álcool reduzido quando comparados aos estilos originais no BJCP, um exemplo são as conhecidas como *Session* (*Session IPA*, *Session Stout*), que são oferecidas no mercado com teores de álcool que variam de 3,5% à 4,5% ABV, enquanto os estilos originais das *IPA* e *STOUT* têm teores de álcool superiores à 6% ABV. Desta forma, os produtores artesanais se esforçam para tornar esses estilos mais leves e refrescantes, mais próximo ao paladar dos consumidores brasileiros acostumados com as cervejas mais leves que são comercializadas em grande escala. Outro fator que deve ser considerado o aumento de consumidores pelas cervejas Puro Malte.

Segundo Casarin (2018), cervejarias produziram bebidas com baixo teor alcoólico, este produto representa menos de 1% das bebidas alcoólicas lançadas de outubro de 2013 à setembro de 2018, o mercado para este tipo de produto tende a crescer nos próximos anos impulsionados pela preocupação com um estilo de vida mais saudável e pelas leis de trânsito mais rígidas em relação ao consumo de álcool e condução de veículos automotores. Outro fator que vai contribuir para crescimento do mercado de produtos de baixo teor alcoólico, é a queda constante ano após ano da indústria de refrigerantes, que cai de 5% a 6% ao ano, segundo Casarin (2018).

No Brasil, segundo a Instrução Normativa Nº 68 de 10 de dezembro de 2019, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), cerveja com teor alcoólico reduzido, é aquela cujo conteúdo alcoólico está entre 0,5% a 2,0% (v/v) MAPA (2019).

Vários fatores, como a demanda por bebidas saudáveis, a percepção social dos efeitos do consumo excessivo de álcool e da legislação severa em caso de alcoolismo, causaram um crescimento considerável no mercado de cervejas com baixo teor alcoólico durante os últimos anos (ISERENTANT, 1995).

As cervejas sem álcool desfrutam de grande popularidade em todo o mundo, devido as suas características típicas. Diferentes aspectos são importantes para os consumidores, incluindo o conceito de estilo de vida saudável, a abdicação do álcool com base nele e a consciência do poder calorífico. Além disso, os requisitos legais mais rigorosos para a segurança no trabalho e as leis de trânsito, bem como as crescentes exigências sobre a mobilidade das pessoas no trabalho e lazer. Essas questões influenciam para o aumento do consumo de cervejas sem álcool e de baixo teor alcoólico. Além disso, propriedades isotônicas podem ser comprovadas em cervejas sem álcool e de baixo teor alcoólico, de modo que possa ser uma alternativa interessante de bebida (por exemplo, para desportistas) (BURBERG; ZARNKOW, 2009).

A quebra enzimática do amido durante a mosturação pode ser controlada pelos parâmetros de temperatura, viscosidade, valor de pH e tempo. Ao longo do tempo muitos e diferentes processos de mosturação foram desenvolvidos, que geralmente podem ser divididos em métodos de infusão e decocção. A principal tarefa da mosturação é a decomposição do amido em açúcares fermentescíveis. O amido de cevada é composto por 20 - 30% amilose e 70 - 80% de amilopectina. A propriedade mais importante do amido para fins cervejeiros é gelatinização - a adsorção de água - inchaço induzido dos grãos de amido que resulta em perda irreversível da estrutura cristalina da molécula. A temperatura na qual a gelatinização começa é denominada temperatura de gelatinização (GT), que para grãos de amido da cevada está entre 61 a 62 °C. Uma gelatinização rápida e uma alta atividade amilolítica garantem uma rápida sacarificação do amido e alto grau de atenuação no mosto (KROTTENTHALER; BACK; ZARNKOW, 2009).

Claramente a mosturação pode ser realizada para produzir um mosto com baixa fermentabilidade, desta forma é a possível fermentar este mosto para produzir uma cerveja com baixo teor alcoólico. Este método está associado com cervejas de sabores intensos, e para reduzir os sabores intensos, a quantidade de malte deve ser reduzida ou substituída por um adjunto de amido que pode fornecer de 40 a 70 % do extrato original. A mosturação é realizada para restringir a beta amilase, aplicando temperaturas entre 70 – 80°C, que produzem altos níveis de dextrinas - açúcares não fermentescíveis. O valor de pH do mosto também é geralmente controlado artificialmente com adição de ácidos. Também é essencial assegurar uma fervura vigorosa para diminuir os níveis de aldeídos, que na ausência de concentrações

normais de etanol, estragará o sabor da cerveja (BRIGGS et al., 2004).

Alguns novos estilos de cervejas surgiram nos últimos anos. Preocupações sobre beber e com a saúde proporcionou um mercado para cervejas com baixo teor alcoólico ou sem álcool. Cervejas com baixo teor de alcoólico não são novas, tem uma longa herança, por exemplo, a *Malzbier* alemã contém 0,5 - 1,0 % ABV. Mais recentemente, desenvolveu-se um mercado para versões com baixo teor alcoólico ou sem álcool de versões existentes, em particular, cervejas do tipo *Pilsener*. Outra maneira de produzir mosto com baixa fermentabilidade é realizar a mosturação em alta temperatura. Aqui a premissa é que a degradação de amidos por amilases produz pequenas quantidades de açúcares fermentescíveis com altas concentrações de dextrinas não fermentescíveis. Por outro lado, a β -amilase produz principalmente açúcares fermentescíveis sob a forma de maltose. A β -amilase é menos estável ao calor do que a α -amilase e, o uso de alta temperatura de mosturação (80 - 85°C) produz um mosto com fermentabilidade suficientemente baixa para produzir um produto com baixo teor alcoólico. Este método tem sido usado com sucesso em escala comercial, porém, requer controle muito preciso de temperatura de mosturação, pois, se a fermentabilidade for muito baixa, aumenta-se o teor de amido no mosto (BOULTON; QUAIN, 2001)

A α -amilase requer íons cálcio para atividade e, se necessário, é usual adicionar sulfato de cálcio ao mosto para fornecer esse íon. Além disso, o cálcio participa em reações com outros íons na água e ajuda a manter um pH baixo. O pH ideal para a atividade da α -amilase é aproximadamente pH 5,3 (BOULTON; QUAIN, 2001).

A α -amilase rompe progressivamente as cadeias de amilose e amilopectina para formar dextrinas contendo 7 a 12 moléculas de glicose, enquanto a β -amilase produz maltose a partir das extremidades não redutoras. (KUNZE, 1999)

Este trabalho teve como objetivo produzir cerveja puro malte estilo *Pale Ale* com teor alcoólico reduzido, através de processo de mosturação por infusão, sob diferentes temperaturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Categorização básica

Segundo o Guia de Estilos de Cervejas do Beer Judge Certification Program (BJCP, 2015) as cervejas são categorizadas no meio dos cervejeiros artesanais por tipo de levedura.

2.1.1 Ale

Cervejas que utilizam leveduras de alta fermentação, ou seja, fermentam a temperaturas mais altas, normalmente entre 18 °C e 22 °C, também conhecidas como *top fermentation*. As cervejas destes estilos costumam ser mais fortes e mais encorpadas, entre elas se destacam as *Pale Ale* e as IPA.

2.1.2 Lager

Cervejas que utilizam leveduras de baixa fermentação, ou seja, fermentam a temperaturas mais baixas, normalmente entre 7 °C e 15 °C, também conhecidas como *bottom fermentation*. As cervejas *Lagers*, costumam ser mais leve, tem menos corpo e teores de álcool menores. Nesta categoria se destaca o estilo *Pilsen*, o mais comercializado no mundo. No Brasil, a maior parte das cervejas produzidas pelas grandes corporações recebem a denominação de estilo como sendo *Pilsen*, mas, na verdade deveriam ser classificadas como *American Light Lager* ou *American Lager*, pelas suas características físico-químicas e sensoriais.

2.2 Cerveja Artesanal

No Brasil, o termo cerveja artesanal tem duplo sentido. Pode se referir às cervejas produzidas em microcervejarias ou àquelas fabricadas em casa. As microcervejarias são indústrias de pequeno porte e comercializam suas cervejas no mercado de bebidas. Enquanto, que as cervejas produzidas em casa não são comercializadas, sendo consumidas no contexto doméstico. Nos países de língua inglesa, se faz a separação dessas duas formas de produção; o termo *craftbrewing* é

usado para a fabricação em microcervejaria, quanto que o *homebrewing* para a produção caseira.

2.3 Cerveja artesanal de baixo teor alcoólico

A produção de cervejas artesanais de baixo teor alcoólico pode ser feita por vários métodos, tais como o controle de mosturação, fermentação controlada, fermentação interrompida, leveduras que fermentam açúcares específicos e também uso de matérias-primas alternativas, como uso de adjuntos que contenham açúcares não fermentescíveis, empregados para diminuir a produção de álcool. Este assunto foi estudado por Costa (2016), Briggs et al. (2004) e Iserentant (1995).

2.4 Histórico de cerveja com teor alcoólico reduzido

A produção de cervejas sem álcool e com baixo teor alcoólico tem uma longa história e patentes sobre os processos há mais de 100 anos. O marketing e a venda dessas cervejas variaram de intensidade ao longo deste período. Cervejas de baixo teor alcoólico foram produzidas em volume considerável no momento da Primeira e Segunda Guerra Mundial como resultado da falta de matérias-primas. A proibição do consumo de bebidas alcoólicas nos EUA de 1919 a 1933, conhecida como lei seca, estimulou a produção deste tipo de produto (BRIGGS et al., 2004).

Existe também um comércio na exportação de cervejas sem álcool para países islâmicos onde a venda de álcool é proibida (BRIGGS et al., 2004).

Essas situações levaram ao desenvolvimento de um mercado saudável e a maioria das principais cervejarias incluíram cervejas sem álcool e cervejas de baixo teor de alcoólico em suas carteiras de produtos. O mercado dessas cervejas tem diminuído recentemente, sob pressão tanto do marketing agressivo das empresas de refrigerantes e dos chamados '*alcopops*' – bebidas alcoólicas mistas, em que o álcool é misturado com algum tipo de extrato de fruta. Isso levou a perdas de marcas e agora existem menos tipos de cerveja disponíveis no mercado. No entanto, a concorrência resultou em melhorias de sabor nas marcas que sobreviveram. Em 1992, na Europa, o consumo de cerveja com baixo teor alcoólico representava de 4% do mercado de bebidas alcoólicas, mas não mostrou crescimento desde então (BRIGGS et al., 2004).

No Brasil, cervejas classificadas com baixo teor alcoólico deve ter um percentual de álcool entre 0,5% - 2% (v/v), segundo normativa do MAPA (2019).

2.5 Legislação

No Brasil segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento MAPA (2019) classifica cerveja com teor alcoólico reduzido como descrito abaixo.

O artigo 2 da Instrução Normativa nº 65 de 10 de dezembro 2019, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, dispõe sobre as definições, e estabelece que:

Art. 2º Conforme definido no art. 36, do Decreto nº 6.871, de 2009, cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro.

§ 1º A expressão "cerveja gruit" é permitida apenas para a cerveja na qual o lúpulo é totalmente substituído por outras ervas, aprovadas para consumo humano como alimento por órgão competente, observadas as demais disposições deste regulamento.

§ 2º A expressão "cerveja sem glúten" é permitida apenas para a cerveja elaborada com cereais não fornecedores de glúten, ou que contenha teor de glúten abaixo do estabelecido em regulamento técnico específico, observadas as demais disposições deste regulamento.

§ 3º A expressão "cerveja de múltipla fermentação" é permitida apenas para a cerveja que passe por outra fermentação, seja na garrafa, em tanques, ou em ambos.

§ 4º A expressão "cerveja light" é permitida apenas para a cerveja cujo valor energético apresente teor máximo de 35 kcal/100 mL.

§ 5º A expressão "chopp" ou "chope" é permitida apenas para a cerveja que não seja submetida a processo de pasteurização, tampouco a outros tratamentos térmicos similares ou equivalentes.

§ 6º A expressão "cerveja Malzbier" é permitida apenas para a cerveja adicionada de açúcares de origem vegetal exclusivamente para conferir sabor doce.

§ 7º O açúcar adicionado na cerveja Malzbier não deve compor o extrato primitivo para a fermentação e não deve ser considerado como adjunto para efeito de cálculos.

Art. 9º Designa-se com o nome de "cerveja" a bebida definida no art. 2º desta Instrução Normativa.

Parágrafo único. A denominação do produto deve ser composta, nesta ordem, de suas classificações quanto à proporção de matérias-primas e quanto ao teor alcoólico.

Art. 10. As cervejas são classificadas em relação à sua proporção de matérias-primas em:

I - "cerveja", quando elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo contém no mínimo 55% em peso de cevada malteada e no máximo 45% de adjuntos cervejeiros;

II - "cerveja 100% malte" ou "cerveja puro malte" quando elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo provém exclusivamente de cevada malteada ou de extrato de malte, segundo definido no art. 4º;

III - "cerveja 100% malte de (nome do cereal malteado)" ou "cerveja puro malte de (nome do cereal malteado)", quando elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo provém exclusivamente de outro cereal malteado; e

IV - "cerveja de (nome do cereal ou dos cereais majoritário(s), malteado(s) ou não)", quando elaborada a partir de um mosto cujo extrato primitivo provém majoritariamente de adjuntos cervejeiros, sendo que:

a) esta poderá ter um máximo de 80% em peso da totalidade dos adjuntos cervejeiros em relação ao seu extrato primitivo e o mínimo de 20% em peso de malte de cevada, ou malte de (nome do cereal utilizado); ou

b) quando dois ou mais cereais contribuírem com a mesma quantidade para o extrato primitivo, todos devem ser citados na denominação.

Art. 11. As cervejas são classificadas em relação ao seu conteúdo alcoólico em:

I - "cerveja sem álcool" ou "cerveja desalcoholizada", aquela cujo conteúdo alcoólico é inferior ou igual a 0,5% em volume (0,5% v/v);

II - "cerveja com teor alcoólico reduzido" ou "cerveja com baixo teor alcoólico", aquela cujo conteúdo alcoólico é superior a 0,5% em volume (0,5% v/v) e inferior ou igual a 2,0% em volume (2,0% v/v); ou

III - "cerveja", aquela cujo conteúdo alcoólico é superior a 2,0% em volume (2,0% v/v) (MAPA, 2019).

2.6 Matérias Primas

2.6.1 Malte

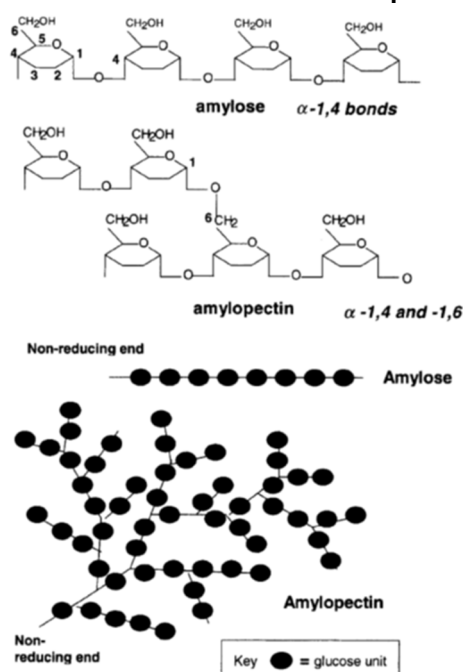
De acordo com Dragone, Silva e Silva (2016), o termo *malte* é definido por produto que passou por processo de germinação, sob condições controladas de qualquer cereal (cevada, trigo, aveia, sorgo, etc.). Podemos produzir malte de qualquer cereal, mas devemos sempre considerar o poder diastático – quantidades de enzimas para conversão do amido em açúcar – para produção de cerveja, além do seu custo de produção. Em cervejarias o malte mais utilizado é obtido de cevada. O processo de transformação do grão de cevada em malte é realizado em três etapas: a) maceração, que consiste na hidratação do grão; b) germinação, para a produção das enzimas do malte; c) secagem, para a desidratação do grão; para os maltes escuros, temos ainda a torra. O amido presente no grão maltado apresenta-se em cadeias menores que na cevada, devido ao início da hidrólise do polissacarídeo; por isso, o grão se torna menos duro e mais solúvel, possui enzimas no interior dos grãos que são fundamentais para o processo de mosturação (DRAGONE; SILVA; SILVA, 2016).

Depois do processo de malteação, o malte resultante terá determinadas características de cor e um poder diastático que o classifica como malte base, em

geral, estão entre esses os maltes *Pilsen* e *Pale Ale*, pois, não foi submetido a nenhum outro processo além da malteação. Maltes base, representam um grande percentual da quantidade total de grãos na produção de cerveja, mais de 50% do total, por fornecer a maior parte do poder enzimático, fundamental durante o processo de mosturação. Existem outras variações de maltes produzidos através de processos de torrefação que fornecerão características especiais em relação à cor, o sabor e potenciais de sacarificação e fermentabilidade (BREDA, 2016).

Dentre os parâmetros amilolíticos, o extrato, grau de atenuação final, poder diastático, como uma estimativa da atividade da β -amilase e α -amilase, geralmente devem ser considerados no malte. O conteúdo do extrato mostra a porcentagem de matéria seca do malte que pode ser dissolvida através do processo de mosturação e indica o rendimento durante procedimento da fabricação de cerveja. No caso do malte de cevada, os valores variam entre 78 e 83,5%. Mesmo com valores mais altos de proteína bruta, as variedades modernas de cevada de verão devem ter conteúdo de extrato acima de 81%. O grau final de atenuação apresenta um resumo de parâmetros para avaliação da qualidade do mosto e fornece informações sobre a processabilidade do extrato pela levedura. Como um recurso de qualidade para o processo de mosturação, deve-se considerar que o grau final de atenuação deve ser o mais alto possível (acima de 81%) (KREISZ, 2009).

Figura 1 – Estrutura da amilose e amilopectina



Fonte: Baxter e Hughes (2001).

Durante a mosturação as enzimas amilolíticas do malte quebram o amido em açúcares fermentescíveis e dextrinas (não fermentescíveis). O amido do malte consiste em aproximadamente 75% de amilopectina e 25% de amilose. A amilopectina é uma molécula ramificada composta de unidades de glicose ligadas por ligações α (1 $\rightarrow$ 4) e por ligações α (1 $\rightarrow$ 6) (ponto de ramificação); já a amilose é uma molécula linear composta por ligações α (1 $\rightarrow$ 4). Tanto a α -amilase como β -amilase podem hidrolisar as ligações α (1 $\rightarrow$ 4). A β -amilase ataca as extremidades redutoras externas da amilopectina e da amilose, liberando maltose, mas parando quando atinge a ligação α (1 $\rightarrow$ 6). Por outro lado, a α -amilase ataca as ligações α (1 $\rightarrow$ 4) entre os pontos de ramificação, liberando dextrinas. Elas fornecem mais substratos para ação da β -amilase. A α -amilase e a β -amilase agem em conjunto reduzindo o amido em maltose, maltotriose, glicose, e dextrina, com predominância do primeiro (BAXTER; HUGHES, 2001).

2.6.2 Água

A água é muito importante no processo cervejeiro, pois é a principal matéria-prima, com aproximadamente 92 a 95% do peso da cerveja. Por este motivo, as cervejarias localizam-se em regiões onde a composição da água é relativamente uniforme e de boa qualidade (DRAGONE; SILVA; SILVA, 2016).

As propriedades químicas e biológicas da água, tem uma relevância significativa na produção de cerveja, e não há nenhum passo no processo de fabricação que não seja influenciado pelos constituintes da água. Consequentemente, o tratamento da água é, em muitos casos necessário (KROTTENTHALER; GLAS, 2009).

Uma maneira comum de caracterizar a água é descrever sua dureza, que é determinada pelo conteúdo de sais de cálcio e magnésio. Assim, a água pode ser descrita como dura ou mole dependendo da sua fonte geológica, enquanto outras fontes de água podem ser descritas como salobra, salina ou turfoso (TAYLOR, 2006).

A dureza total é definida como a soma de todos os íons de metais alcalino-terrosos, principalmente de cálcio e magnésio. A dureza total é dividida em dureza temporária e permanente. A primeira está relacionada aos íons de carbonato (CO_3^{2-}), que são produtos da decomposição de bicarbonatos (HCO_3^-) presentes na água, que pela ação do calor se convertem em carbonatos de cálcio, esses por sua vez são

substância pouco solúvel em água. A dureza permanente está relacionada principalmente com a presença de íons sulfato (SO_4^{2-}), principalmente de cálcio (Ca^{+2}), e íons nitratos (NO_3^-) e cloretos (Cl^-) (KROTTENTHALER; GLAS, 2009).

Uma classificação mais moderna da dureza da água registra a análise da dureza total na unidade de mg.L^{-1} de CaCO_3 , por titulação de água contra ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) e define como *água branda* com concentrações até 130 mg.L^{-1} de CaCO_3 ; *água moderada* com concentrações entre $130 - 250 \text{ mg.L}^{-1}$ de CaCO_3 ; *água dura* com concentrações entre $250 - 380 \text{ mg.L}^{-1}$ de CaCO_3 ; *água muito dura* com concentrações acima de 380 mg.L^{-1} de CaCO_3 (TAYLOR, 2006)

A composição iônica da água utilizada na preparação do mosto exerce uma influência crucial para o resultado bem-sucedido do processo de fabricação de cerveja. Para um ótimo desempenho do processo e, a fim de manter a mais alta qualidade do produto, diferentes estilos de cerveja requerem água com espectros iônicos particulares, normalmente íons de cálcio, magnésio, sódio, sulfato, cloreto e bicarbonato (BOULTON; QUAIN, 2001). Além disso, as enzimas atuam no seu pico apenas dentro de faixas estreitas de pH (ótimos), as beta e alfa-amilase conversoras de amido estão em 5,4 a 5,6 e 5,6 a 5,8, respectivamente, em meio que são muito ácidos ou alcalinos, a atividade enzimática é prejudicada e pode até parar (DORNBUSCH, 2012).

O sulfato (SO_4^{2-}) é o principal ânion do cátion de magnésio, ele contribui para o sabor amargo das cervejas. Leveduras metabolizam o íon sulfato produzindo entre outras coisas, pequenas quantidades de sulfeto de hidrogênio (H_2S), dióxido de enxofre (SO_2) e outras substâncias que contribuem para os aromas indesejáveis as cervejas. Os íons cloreto (Cl^-) contribuem para o caráter suave e maltado a cerveja. A proporção de cloreto e sulfato, ajuda a regular o caráter maltado / amargo da cerveja (BRIGGS, et al., 2004)

Na produção artesanal há uma grande preocupação com o pH, com a presença de cloro, com os sólidos totais e com a quantidade de sais presentes na água que será utilizada, que quase sempre é a da rede pública (BREDA, 2016).

2.6.3 Lúpulo

A planta do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é um membro da família *Cannabaceae* que cresce em regiões temperadas do mundo. As flores femininas do

lúpulo produzem uma secreção na forma de pó amarelo chamada de *lupulina*. Dois componentes da lupulina são fundamentais na produção da cerveja: as resinas que são responsáveis pelo amargor e os óleos essenciais que conferem os aromas característicos. No processo tradicional os cones de lúpulo (inflorescências) são colhidos, separados e posteriormente secos em fornos até atingir um teor de umidade não superior a 12%. O caráter amargo do lúpulo é devido ao alfa ácido, também conhecidos como *humulonas*, que representam entre 2 e 15% do peso do cone de lúpulo. Os betas ácidos apresentam propriedades antissépticas e cervejas amargas mantêm muito melhor suas propriedades do que as cervejas menos amargas (BOULTON; QUAIN, 2001).

2.6.4 Levedura

As habilidades da levedura do gênero *Saccharomyces* para fermentar a massa na panificação e gerar etanol para a produção de bebidas alcoólicas têm sido utilizadas pela humanidade há vários milênios. O consumo de bebidas alcoólicas é comum a todas as civilizações. A produção das primeiras bebidas foi provavelmente acidental, pois fontes de açúcares são invariavelmente contaminadas com levedura. O metabolismo das leveduras *Saccharomyces* na presença de açúcares resultam na formação de etanol e dióxido de carbono mesmo sob condições aeróbicas (BRIGGS et al., 2004).

A Lei da Pureza alemã de 1516 (*Reinheitsgebot*) indicava que na elaboração de cervejas, deveria se utilizar apenas malte, lúpulo e água. A lei foi modificada após o descobrimento da levedura em 1860, por Luis Pasteur. A levedura de fabricação de cerveja (*Saccharomyces*), é um tipo de fungo. Reproduz-se assexuadamente por brotamento. A levedura é um organismo anaeróbio facultativo, isto é, pode crescer em ambientes aeróbios e anaeróbios. A maioria dos microrganismos fazem de uma maneira ou de outra. Além de álcool etílico e dióxido de carbono, a levedura produz muitos outros componentes, como os ésteres, álcoois superiores, cetonas, vários fenóis e ácidos graxos (PALMER, 2006).

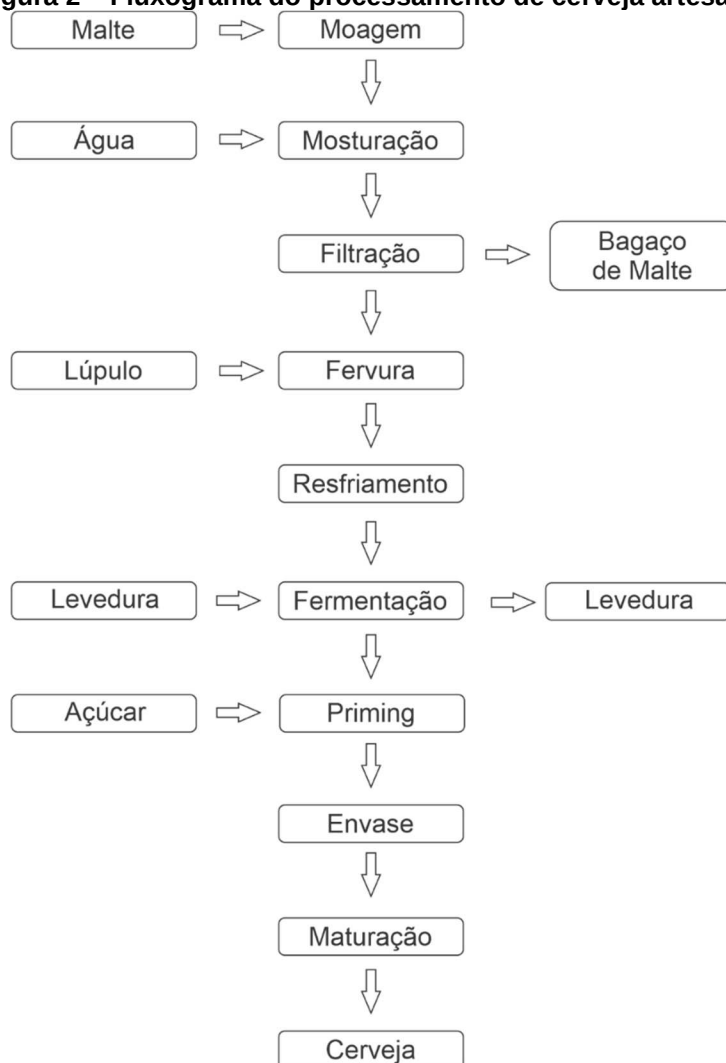
Historicamente, as leveduras de cerveja foram diferenciadas pela sua taxonomia com base em sua capacidade de fermentar a dissacarídeo. Tradicionalmente, a cerveja *Lager* é produzida por leveduras de baixa fermentação (*bottom fermentation*) as temperaturas entre 7 e 15 °C, no final da fermentação essas

leveduras floculam e se acumulam no fundo do fermentador. As leveduras de alta fermentação (*top fermentation*) são utilizadas na produção de cerveja *Ale*, com temperaturas de fermentação entre 18 e 22 °C, são menos floculantes e sobem à superfície do mosto e acumulam-se na espuma durante a fermentação tumultuosa (RUSSELL, 2006).

O sabor e aroma de qualquer cerveja são determinados pelo tipo de levedura utilizada. Embora o etanol seja o principal produto de excreção produzido pela levedura durante a fermentação do mosto, este álcool primário tem pequeno impacto no sabor da cerveja (DRAGONE; SILVA; SILVA, 2016, p. 63).

2.7 Processo de Produção da Cerveja Artesanal

Figura 2 – Fluxograma do processamento de cerveja artesanal



Fonte: O Autor (2019)

A cerveja artesanal pode ser produzida pelo método *All Grain*, que utiliza apenas grãos de cereais maltados e não maltados. Esses devem ser moídos para produção do mosto através de sua imersão em água aquecida – infusão – em rampas de temperaturas específicas, para que as enzimas presentes no malte convertam o amido dos grãos em açúcar. Também pode se produzir cerveja artesanal pelo método de produção com dissolução de extrato de malte seco ou concentrado, que pode ser lupulado ou não. Este método consiste em dissolver o extrato em água quente para produção do mosto, e em seguida seguirá as mesmas etapas do método anterior (fervura, resfriamento, fermentação, maturação e envase).

2.7.1 Moagem do Malte

A moagem é o processo de trituração mecânica do grão de malte. Quando se usa moinho de rolos, o malte é esmagado de tal forma que o endosperma amiláceo é triturado e as cascas se mantenham inteiras. A trituração do endosperma facilita o ataque das enzimas durante a mosturação e as cascas íntegras facilitam a filtração do mosto. Uma moagem enérgica irá produzir muita farinha fina e cascas quebradas com reflexo negativo na filtração do mosto que se tornará lenta. (KROTTENTHALER; BACK; ZARNKOW, 2009).

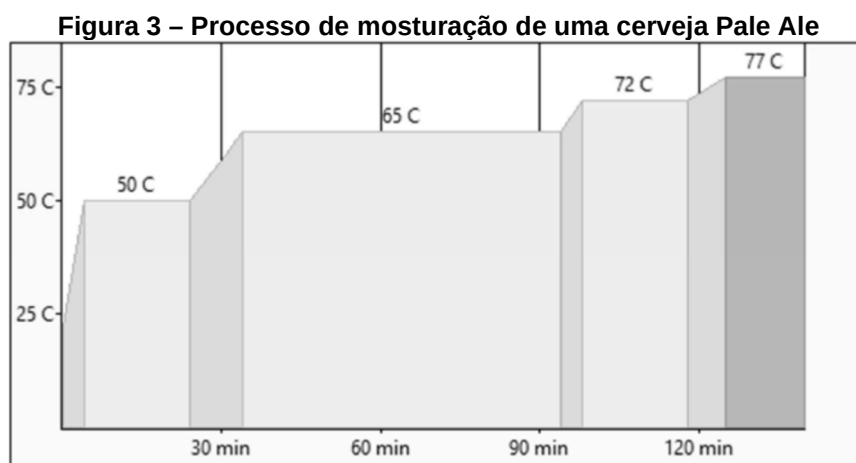
2.7.2 Mosturação

A mosturação consiste em misturar o malte moído com uma quantidade cuidadosamente controlada de água potável a uma temperatura escolhida. A água é quase sempre filtrada e contém uma mistura de sais dissolvidos que podem ser corrigidos de acordo com o estilo de cerveja que será produzida. Na mosturação, o malte moído misturado à água, chamado de *mostura*, é submetido ao aquecimento, segundo uma programação de tempo e temperatura (BRIGGS et al., 2004).

A temperatura é elevada e mantida durante um certo tempo à temperatura ideal para as conversões enzimáticas específicas. As temperaturas empregadas na mosturação são normalmente de 50 °C (descanso proteico) como temperatura ideal para protease, 65 °C (descanso de maltose) para permitir a ação da β -amilase e 72 °C (repouso de sacarificação) como temperatura ótima para α -amilase. A α -amilase é uma endoenzima que quebra a molécula de amido em fragmentos bastante grandes,

enquanto a β -amilase é uma exoenzima que produz preferencialmente maltose. Como a β -amilase e a α -amilase não quebram as ligações α (1 $\rightarrow$ 6) da amilopectina, as ramificações permanecem, assim, é impossível obter uma conversão completa de amido em maltose pelo processo de mosturação convencional, alguns oligossacarídeos (dextrinas) permanecem no mosto (ISERENTANT, 1995).

Na mosturação o amido do malte é convertido em açúcares fermentescíveis e dextrinas (não fermentescíveis). A durante a mosturação é obtida pela ativação das enzimas alfa e beta amilases, sendo que a primeira atua na dextrinização do amido, enquanto a segunda, na sua sacarificação, produzindo maltose principalmente. (OLIVER, 2012)



Fonte: Beersmith Home Brewing (2018)

2.7.3 Filtração

Após a mosturação, deve-se separar o mosto do bagaço de malte por uma filtração. No início da filtragem as cascas do malte constroem rapidamente um filtro natural na parte inferior da panela depois de alguns minutos. Durante esse período, é feita a recirculação do mosto, uma vez formada a torta de filtração (bagaço de malte), o mosto é filtrado com a ajuda das cascas. Quanto mais alta a coluna de cascas, melhor a qualidade do mosto, mas a filtragem é bastante demorada e a remoção do bagaço pode ser difícil (ISERENTANT, 1995).

Após a filtração, o bagaço de malte (torta de filtração) é lavado com água potável à 77°C para a recuperação do açúcar residual presente na torta (BRIGGS et al., 2004).

2.7.4 Fervura

Depois da filtração, o mosto deve ser fervido por um período de 60 a 90 minutos. Segundo Bamforth (2012), durante uma fervura eficaz, todos os objetivos podem ser alcançados, geralmente em menos de 90 minutos. Na fabricação artesanal, a fonte de calor para a fervura é chama direta, a partir da queima de GLP, resistência elétrica e vapor.

Durante a fervura do mosto, ocorrem diferentes reações químicas, como isomerização do alfa ácido do lúpulo, desenvolvimento de substâncias aromáticas, desenvolvimento de cor, inativação de enzimas, esterilização, coagulação de proteínas e do complexo tanino/proteico que precisa ser eliminado para se obter o mosto clarificado. Também ocorrem reações de Maillard, que geram novas substâncias aromáticas. A fervura serve também para remover substâncias aromáticas indesejadas, como o mirceno do lúpulo e diferentes substâncias carbonílicas e enxofre, especialmente dimetilsulfureto (DMS). Além disso, o extrato original é ajustado ao nível recomendado ao estilo que se deseja produzir (KROTTENTHALER; BACK; ZARNKOW, 2009)

O lúpulo ou seus extratos são adicionados ao mosto durante o processo de fervura. O alfa ácido é responsável pelo amargor, enquanto os óleos essenciais pelo aroma característico. A maioria dos compostos dos óleos essenciais é volátil e pode, portanto, ser perdida por evaporação durante a fervura. De modo a conseguir um resultado adequado na fervura para coagular proteínas e isomerizar os ácidos do lúpulo, mas ainda reter quantidade desejada de compostos aromáticos, o fabricante de cerveja pode adicionar à fervura, lúpulo de forma escalonada (BAXTER; HUGHES, 2001).

2.7.5 Whirlpool

Feita a fervura, deve-se separar o trub, constituído por proteínas coaguladas e pelo bagaço do lúpulo, para obter um mosto clarificado.

A técnica de separação mais simples é o *whirlpool* que faz uso da força centrípeta que age sobre as partículas do mosto, quando este gira na forma de um redemoinho. Os detritos do *trub* são depositados no centro da panela, formando um

montículo e o mosto clarificado pode ser retirado pela lateral da panela (EATON, 2006).

2.7.6 Resfriamento do Mosto

O mosto é resfriado do ponto de quase de ebulição até a temperatura de fermentação através de um trocador de calor que usa água como meio refrigerante. A temperatura para fermentação é tipicamente de 7 a 15 °C para cerveja *Lager* e 18 a 22 °C para cerveja *Ale* (EATON, 2006).

2.7.7 Fermentação

O objetivo da fermentação na cervejaria é utilizar a capacidade das células de levedura para converter açúcar fermentescível em etanol e dióxido de carbono, como os principais produtos do metabolismo. A levedura também produz uma série de outras substâncias, como ésteres, álcoois superiores e ácidos que contribuem positivamente para o sabor da cerveja (BRIGGS et al., 2004).

A fermentação ocorre entre 7 – 15 °C para cerveja do tipo *Lager* ou 18 – 22 °C para cerveja do tipo *Ale*. (BAXTER; HUGHES, 2001). Assim a temperatura de trabalho deve ser mantida entre 18 e 22 °C, porque fora deste intervalo a qualidade da cerveja será prejudicada, e a fermentação ocorrerá de forma lenta, quando estiver abaixo dos 15 °C, ou trazer muitos aromas indesejados quando estiver acima dos 22 °C. O processo deve ser mantido a 18 °C, com levedura de alta fermentação e mantido durante um período de cinco a sete dias nessa temperatura (BREDA, 2016).

Durante o processo de fermentação, é necessário controlar a atenuação – valores de densidade – porque à medida que as leveduras transformam os açúcares do mosto em álcool e CO₂, este valor diminui, e o controle precisa ser feito diariamente para observar o comportamento das leveduras e se certificar que a fermentação chegou efetivamente ao fim (BREDA, 2016).

2.7.8 Priming

Neste processo, se faz a adição de açúcar à cerveja verde, seguido de engarrafamento e guarda por até 10 dias. Durante o período de guarda, ocorre a

fermentação do açúcar no interior da garrafa e conseqüentemente, a carbonatação de cerveja. (BREDA, 2016).

2.7.9 Envase

O envase pode ser realizado em garrafas de vidro ou PET, barris de inox ou PET, e *growler* (garrafões de vidro ou PET com volume de 1 a 3,6 litros), sendo as garrafas mais indicadas para facilitar e simplificar o processo de envase, pois, esta é a opção de menor custo e menor carga de trabalho para o cervejeiro artesanal (BREDA, 2016).

2.7.10 Maturação

Tradicionalmente, a maturação envolve uma fermentação secundária que é efetuada por uma pequena quantidade de levedura que permanece na cerveja quando a bebida é transferida do fermentador para o interior da garrafa. A levedura pode utilizar carboidratos fermentescíveis remanescentes no final da fermentação primária ou do "*priming*". O dióxido de carbono produzido é dissolvido na cerveja que está condicionada em garrafa de vidro. Durante maturação, a levedura assimila composto de maus odores como sulfeto de hidrogênio e diacetil, melhorando o perfil sensorial da bebida (BRIGGS et al., 2004).

2.7.11 Estilo Pale Ale

É uma cerveja clara, refrescante com presença marcante de lúpulos que transmitem aromas moderados a forte, com possíveis características, cítricas, floral, de frutas tropicais, entre outros. O aroma maltado dá sustentação ao dos lúpulos. Tem coloração que vai do dourado claro ao âmbar claro, tem corpo moderado e espuma de branco à bege claro, com boa retenção. Geralmente são bastante límpidas, com sabor de moderado a alto de lúpulos, são cervejas balanceadas entre os sabores de malte e de lúpulo. Sabores de lúpulo e o gosto amargo muitas vezes permanece no final (BJCP, 2015).

2.8 Produção de Cervejas de Baixo Teor Alcoólico

Métodos de produção para tipos de cervejas envolvem a remoção de álcool em um tratamento pós-fermentação ou a restrição da produção de álcool durante a mosturação, ou fermentação. A remoção de álcool após a produção pode ser efetuada por destilação a vácuo, evaporação a vácuo, diálise, osmose reversa e pervaporação. A restrição da produção de álcool pode envolver a escolha de grãos, controle de rampas de temperatura de mosturação, parada na fermentação e uso de leveduras especiais (BRIGGS et al., 2004).

2.8.1 Destilação a vácuo

De acordo com Regan (1990), a cerveja submetida ao processo de remoção do álcool é aquecida a 50 °C em um trocador de calor de placa e é então desesterificada sob alto vácuo. Componentes voláteis que evaporam da cerveja são recolhidos em um tanque de mistura. A cerveja desesterificada é então separada do álcool numa coluna de vácuo a cerca de 40°C e passa para um tanque de mistura onde é recombinada com os componentes voláteis. Este método produz cervejas com *off-flavors* (sabores indesejados), por isso é usado raramente uma vez que as altas temperaturas envolvidas neste processo tendem a tornar difícil a produção de cervejas de boa qualidade (BRIGGS et al., 2004).

2.8.2 Evaporação a vácuo

A Evaporação é realizada por um evaporador de película fina, é a mais sofisticada técnica de destilação. O equipamento permite o uso de baixas temperaturas (entre 30 e 40 ° C) para que a degradação térmica da cerveja seja mínima. Cerveja com baixo teor de álcool pode ser produzida neste processo e o etanol pode ser facilmente concentrado por destilação convencional (ISERENTANT, 1995).

As temperaturas utilizadas são menores que as do processo de destilação a vácuo e o tempo de residência sob evaporação é menor. É mais fácil produzir cervejas sem álcool ou com baixo teor alcoólico de qualidade a partir deste método. Os compostos aromáticos são retidos na cerveja quando empregamos esta técnica e esta

é a vantagem real em comparação com o método de destilação a vácuo. A temperatura máxima da cerveja é de cerca de 40 ° C e o tempo de residência no sistema é de três a cinco minutos (BRIGGS et al., 2004).

2.8.3 Diálise

A diálise trabalha em um princípio similar a osmose reversa, a força motriz é um gradiente de concentração, em vez de pressão elevada. Em princípio, a técnica é mais simples e mais atraente do que osmose reversa. A cerveja passa através de um módulo de diálise com membranas de celulose, o dialisado passa através do reator em contracorrente. O álcool passa através da membrana para o dialisado, mas os compostos aromáticos podem ser retidos completamente. A técnica é simples e funciona em baixa temperatura e baixa pressão. Não há diluição da cerveja inicial e o produto resultante é de excelente qualidade. O dialisado pode ser facilmente destilado e produz um álcool de alto valor. No entanto, a aplicação de diálise é limitada à produção de cervejas com teor de álcool, acima de 0,5% (BRIGGS et al., 2004).

2.8.4 Osmose Reversa

Este processo utiliza filtração a alta pressão (30 a 60 bar) através de uma membrana semipermeável. As membranas são feitas de acetato de celulose, nylon ou outros polímeros e permitem a passagem de moléculas pequenas, como água e etanol, e retêm as moléculas maiores. A alta pressão utilizada força a água e o álcool contra a pressão osmótica natural da cerveja através da membrana. Os compostos de sabor e aroma da cerveja, que são eliminados com a mistura álcool/água, são retificados (destilados) e a fração livre de álcool que ainda contém alguns compostos voláteis é adicionada de volta para a cerveja (BRIGGS et al., 2004).

Em comparação com as cervejas sem álcool produzidas termicamente, a cerveja produzida por osmose reversa mostra um sabor um pouco mais completo. No entanto, impressões aromáticas como mosto e pão também aparecem aqui. Há um caráter levemente ácido que pode ser notado em comparação com as cervejas originais. Em comparação com cervejas produzidas no processo térmico, as perdas de substâncias amargas são um pouco maiores. O aumento da turbidez é, em geral, inferior a 1 unidade EBC (BURBERG; ZARNKOW, 2009).

2.8.5 Pervaporação, adsorção e extração supercrítica

Em processo de pervaporação são novamente aplicadas técnicas envolvendo membranas, em que um componente específico em fase líquida passa preferencialmente através de uma membrana para o outro lado como fase gasosa. Neste contexto a remoção do álcool da cerveja convencional é realizada por vaporização parcial através de uma membrana seletiva e semipermeável, aplicando vácuo do lado do permeado. Os vapores alcoólicos permeados são condensados e recuperados. Como em outros processos aplicando membranas, uma das vantagens da pervaporação é a possibilidade de o trabalho ser realizado em baixas temperaturas, o que evita degradação dos compostos termo sensíveis encontrados na cerveja (SILVA et al., 2016).

2.8.6 Controle de mosturação

Para cervejas com baixo teor alcoólico pode-se usar uma mosturação a alta temperatura, pois neste processo a produção de açúcares fermentescíveis é reduzida, limitando a sacarificação pela ação da enzima β -amilase. A β -amilase é mais termolábil que α -amilase. Realizando a mosturação a 80 °C, a β -amilase é inativada enquanto a ação da α -amilase não é afetada. O método produz um mosto com uma alta taxa de dextrina, açúcar não fermentescível, e a cerveja resultante tem um alto teor de carboidrato. Um efeito semelhante pode ser obtido pela substituição de uma parte do malte por hidrolisados de amido (adicionados após inativação das enzimas). Adaptações do procedimento de mosturação para limitar a atividade da β -amilase é frequentemente usada em combinação com a produção de mosto de baixa gravidade e fermentação limitada (ISERENTANT, 1995)

Outra técnica para reduzir a produção de álcool para cervejas de baixo teor alcoólico é usar um mosto com alta concentração de carboidratos não fermentescíveis. Tal mosto pode ser produzido mediante adição de um xarope de milho ou outro adjunto com alta concentração de açúcares não fermentescíveis (MUNROE, 2006).

2.8.7 Controle da fermentação

2.8.7.1 Adaptações da fermentação.

Saccharomyces ludwigii é uma cepa especial de levedura que fermenta apenas glicose, frutose e sacarose. Este fermento, fermenta aproximadamente 15% dos açúcares fermentescíveis do mosto cervejeiro. A cerveja resultante é rica em maltose, mas a impressão do gosto doce da maltose é menor que a da glicose ou sacarose, então a cerveja final não se apresenta muito doce. Uma maneira alternativa de prevenir o consumo de todos os açúcares fermentescíveis são interromper a fermentação por resfriamento rápido e remoção da levedura, antes que uma atenuação completa seja alcançada. A temperatura inicial de fermentação é geralmente baixa e a oxigenação do mosto é limitada para evitar a formação de diacetilo. Como no caso do uso de uma levedura especial, que o teor de maltose resultante da cerveja final é alto (ISERENTANT, 1995).

Saccharomyces ludwigii está intimamente relacionado com *Saccharomyces uvarum*, mas não fermenta a maltose. Com a produção de um mosto que fornece um perfil de carboidrato fermentescível adequado, pode se produzir uma cerveja com a concentração desejada de álcool. O sabor da cerveja será diferente por causa da nova linhagem, no entanto, o nível de álcool é facilmente controlado (MUNROE, 2006).

2.8.7.2 Contato frio

O contato frio é uma forma especial de fermentação controlada. É a única forma de fermentação limitada que permite a produção de uma cerveja com concentração de álcool abaixo de 0,05%. O processo foi inicialmente descrito por Schur (1983). Um mosto padrão é resfriado a uma temperatura baixa (entre -1 e 0°C) e inoculado com levedura a uma alta taxa de células. O fermento é deixado em contato com o mosto por vários dias. Por causa da baixa temperatura a atividade metabólica da levedura é baixa, mas há uma adsorção de compostos de lúpulo e do mosto à superfície da levedura e ocorre alguma redução dos compostos carbonílicos do mosto que são responsáveis pelos sabores de mosto (ISERENTANT, 1995).

2.8.7.3 Combinação de Processos Físico-Biológicos

Combinar processos físicos e biológicos é uma boa possibilidade para se aproveitar de ambos os processos. Quando cervejas são misturadas, o caráter do mosto pode ser diluído, o corpo e suavidade podem ser trazidos para a cerveja ao mesmo tempo; o gosto azedo nas cervejas sem álcool também pode ser parcialmente coberto. No entanto, no que se refere aos equipamentos e custos, ainda são muito altos (BURBERG; ZARNKOW, 2009).

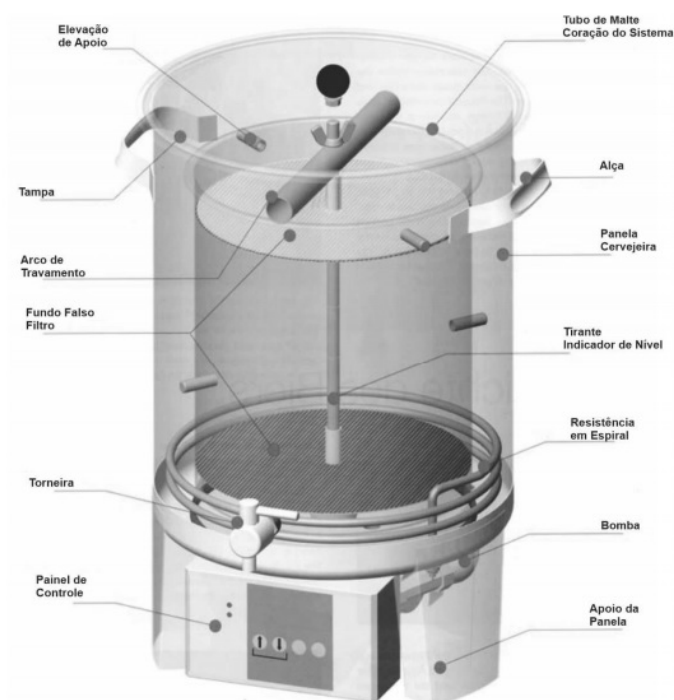
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Equipamentos

- Panela elétrica de 25 litros *Single Vessel*;

Figura 4 – Panela Cervejeira Single Vessel



Fonte: Brewuk, (2020).

- Moinho de discos ranhurados, marca MOLDAR INOX, modelo hobby JB-25kg;
- Refratômetro de bancada: marca REICHERT, modelo r²i300;
- Balança semi-analítica: marca GEHAKA, modelo BG2000;
- Medidor de pH digital: marca TECNAL, modelo TEC-5;
- Medidor de Turbidez: marca HACH, modelo 2100N;
- Destilador: marca BÜCHI, modelo K-355;
- Densímetro digital: marca METTLER, modelo DA-310;
- Espectrofotômetro: marca BIOCHROM, modelo Libra S60;
- Bomba calorimétrica: marca IKA-Works, modelo 2000.
- Termômetro digital: marca E.T.I LTD.

3.1.2 Matérias-primas

3.1.2.1 Água

A água para a fabricação da cerveja foi da rede pública (Sabesp), coletada através do sistema de filtração com carvão ativo (remoção do cloro) e celulose (remoção de materiais particulados) do Laboratório de Bebidas, da FCA, UNESP, Botucatu.

3.1.2.2 Lúpulo

Lúpulo para amargor, “*Hallertau Polaris em Pellet T-90*”, marca BSW, alfa ácidos 21,6 %, óleos totais 4,0 - 5,0 ml.100g⁻¹. Lúpulo para aroma “*Cascade em Pellet T-90*”, marca BSW, alfa ácidos 3,6%, óleos totais 0,8 – 1,5 ml.100g⁻¹.

3.1.2.3 Malte

Malte de cevada tipo Pilsen, marca Soufflet do Brasil Ltda. Cor: 3,6 EBC; Poder diastático: 286 WK; Betaglucanos: 171 mg.L⁻¹; Friabilidade: 92,5%. Malte tipo *Pale Ale*, marca *Viking Malt*. Cor: 6,6 EBC; Poder Diastático: 193 WK; Betaglucanos: 105 mg.L⁻¹; Friabilidade: 80,9%.

3.1.2.4 Levedura

Saccharomyces cerevisiae, marca *Fermentis* “*Safale (US-05)*” para fabricação de cervejas do tipo *Ale*.

3.1.2.5 Açúcar

O açúcar utilizado no *priming* foi do tipo cristal, marca União.

3.2 Métodos

3.2.1 Planejamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo o trabalho dividido em 3 tratamentos, com 3 repetições cada, perfazendo 9 parcelas experimentais:

Tratamento 1 (T1): Mosturação em temperatura única de 70 °C.

Tratamento 2 (T2): Mosturação em temperatura única de 75 °C.

Tratamento 3 (T3): Mosturação em temperatura única de 80 °C.

Todas as cervejas foram produzidas no espaço de três semanas. Por semana, foram produzidas as cervejas dos três tratamentos (T1, T2, T3) de uma mesma repetição (Ri), conforme programação mostrada na tabela 1. Dentro de cada semana, a produção foi realizada em dois dias consecutivos, pois não foi possível realizar três mosturações num único dia.

Tabela 1 – Planejamento de Produção

Repetições	1º dia	1º dia	2º dia	
R1	T1	T2	T3	1º Semana
R2	T2	T3	T1	2º Semana
R3	T3	T1	T2	3º Semana

3.2.2 Fabricação da cerveja

A cerveja foi produzida pelo método de mosturação por infusão, em panela única com o volume total de água (mosturação + lavagem do bagaço) desde o início da mosturação. As etapas a seguir descrevem as etapas da fabricação das cervejas.

3.2.2.1 Moagem

A fabricação da cerveja foi iniciada com a moagem de 2,5 kg de malte, em moinho de discos ranhurados, sendo 1,5 kg de malte *Pilsen* e 1,0 kg de malte *Pale Ale*. A granulometria apresentou-se grossa o suficiente para que não se destruísse totalmente as cascas do malte, que posteriormente tiveram a função de meio de filtração, durante a recirculação do mosto.

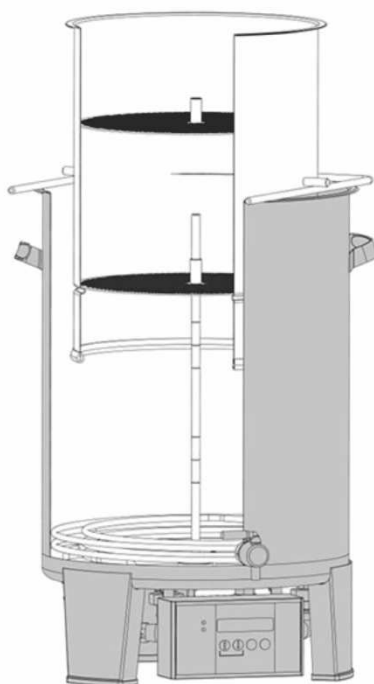
3.2.2.2 Mosturação

Foram adicionados 20 litros de água filtrada na panela elétrica *Single Vessel* – único vaso – numa relação de 1:8 (malte:água), ou seja, para cada 1 kg de malte, 8 kg de água. O malte moído foi adicionado à água pré-aquecida, de forma que após sua adição, a temperatura da mostura estivesse na temperatura programada do tratamento.

Para realização do T1, a temperatura inicial da água foi de 72,5 °C e a temperatura de mostura foi 70 °C. Para realização do T2, a temperatura inicial da água foi de 77,75 °C e a temperatura de mostura foi 75 °C. Para realização do T3, a temperatura inicial da água foi de 83 °C e a temperatura de mostura foi 80 °C. O tempo de mosturação foi de 90 minutos para todos os tratamentos.

A temperatura de mosturação foi controlada por aferições a cada dois minutos com termômetro digital. Ao final da mosturação, o cesto interno foi desacoplado da panela e elevado para iniciar a filtração e a recirculação do mosto, ficando apoiado sobre a borda da panela (cesto externo) através do suporte de apoio. Dessa forma, o mosto foi separado do bagaço do malte.

Figura 5 – Posição do cesto no momento da retirada do bagaço de malte



Fonte: MCA Braumeister Brasil (2020).

Então o cesto interno foi retirado da panela elétrica com o bagaço do malte e a temperatura foi elevada para início da etapa de fervura.

3.2.2.3 Fervura

O processo de fervura transcorreu por 60 minutos. O lúpulo amargor foi adicionado ao mosto no início da fervura e o lúpulo aroma, a 15 minutos do seu final.

Após o final da fervura, realizou-se o *whirlpool*, para separação do *trub*. Após a separação do *trub*, o mosto foi resfriado a 25 °C, com auxílio de uma serpentina de alumínio que foi usada como trocador de calor; o líquido de refrigeração foi água da rede pública, cuja temperatura estava em torno de 20 °C. Logo após, o mosto foi trasfegado para o fermentador (balde de polietileno, de 15 litros, com grau alimentício), sua massa e seu teor de sólidos solúveis foram mensurados e, finalmente, seu teor de extrato foi corrigido para 12 °Brix pela adição de água filtrada.

3.2.2.4 Fermentação

O mosto foi inoculado com a levedura *A/e* (0,4 g.L⁻¹). O fermentador foi mantido em freezer na temperatura de 18 °C, por 7 dias, para todos os tratamentos. Para verificar o final da fermentação, realizou-se medidas do teor de extrato (°Brix) com auxílio de um refratômetro.

3.2.2.5 *Priming* e Envase

Após a fermentação, a cerveja verde (recém-fermentada) foi trasfegada para balde de polietileno, para aferição de sua massa, e então, adicionou-se 0,6 g de açúcar cristal para cada 100 g de cerveja, visando sua carbonatação, por refermentação em garrafas de vidro de 300 ml, cor âmbar. Durante o *priming*, as garrafas foram mantidas por 7 dias na temperatura de 25 °C.

3.2.2.6 Maturação

Após o *priming*, as garrafas foram levadas para refrigeração e mantidas à temperatura de 8 °C±1 por 15 dias e posteriormente à temperatura de 1 °C±1 por mais

15 dias, quando se finalizou o processo de maturação. A partir desse momento, as cervejas foram consideradas prontas para as análises físico-químicas e sensorial.

3.2.3 Análise Físico Química

As cervejas foram analisadas para os seguintes parâmetros físico-químicos: teor alcoólico, extrato real, extrato aparente, cor, amargor, turbidez, pH (EBC, 2005), extrato original, acidez total e gás carbônico (ASBC, 1958).

3.2.4 Análise Sensorial

As análises sensoriais foram realizadas pelo método afetivo com uso de escala hedônica estruturada de nove pontos, ancoradas nas notas 1 (desgostei muitíssimo) e 9 (gostei muitíssimo). Foram avaliados os seguintes atributos: aroma, sabor, cor e avaliação global (BEHRENS, 2011).

As análises foram realizadas com os alunos da graduação da FCA – UNESP, Campus de Botucatu-SP, dos cursos de Agronomia, Engenharia Florestal e Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, totalizando 51 pessoas. Foram servidos aproximadamente 20 ml de cerveja (5 °C) em taças de vidro branco e transparente, que foram codificadas com números de três dígitos, sendo T1 com final 1, T2 com final 2 e T3 com final 3, ordenados de forma aleatória.

Esta pesquisa foi registrada na Plataforma Brasil (CAAE: 20246119.4.0000.5411) e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina, Unesp, Campus de Botucatu, parecer 3.720.227.

3.2.5 Análises Estatística

Os resultados das análises físico-químicas e sensorial da cerveja foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos resultados das análises físico-químicas foram comparadas pelo teste Tukey (5% de probabilidade). As medianas dos resultados da análise sensorial foram comparadas pelo teste de Kruskal-Wallis. Foi realizada análise multivariada de componentes principais correlacionando as variáveis pH, Cor, Extrato Original, Extrato Aparente, Extrato Real, Teor Alcoólico, Amargor, Acidez Total e Gás Carbônico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Físico-Química

Na análise dos resultados físico-químicos, segundo a tabela 2, as cervejas não tiveram diferenças estatísticas significativas para os tratamentos T1, T2 e T3, nos parâmetros de pH, acidez, extrato original e gás carbônico. O resultado para extrato original, já era esperado uma vez que o mosto foi corrigido para 12 °Brix (11,6 °Plato), antes da fermentação. A refermentação no interior da garrafa (*primming*), visando a carbonatação da bebida, produziu quantidades semelhantes de gás carbônico em todos os tratamentos. Da mesma forma, a quantidade de ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação alcoólica também foi semelhante em todos os tratamentos.

Tabela 2 – Análise Físico-Químicas das Cervejas

Parâmetros	T1	T2	T3
pH	4,55±0,04a	4,58±0,10 ^a	4,63±0,04a
Acidez (% m/v ácido láctico)	0,12±0,01a	0,11±0,01 ^a	0,11±0,01a
Amargor (IBU)	26,10±0,73b	27,20±4,65b	36,95±3,62a
Cor (EBC)	12,86±1,44b	15,36±0,77ab	18,55±2,21a
Turbidez (EBC)	4,82±2,51b	9,98±1,41b	20,10±5,12a
Teor Alcoólico (% v/v)	3,81±0,26a	3,14±0,17b	2,35±0,11c
Extrato Original (°Plato)	12,32±0,16a	12,39±0,16 ^a	12,62±0,15a
Extrato Aparente (°Plato)	5,2±0,30c	6,5±0,3b	8,0±0,3a
Extrato Real (°Plato)	6,60±0,29b	7,70±0,11ab	9,14±0,27a
Gás carbônico (v/v)	1,97±0,07a	1,93±0,07 ^a	1,91±0,03a

Médias seguidas de letras iguais na linha, não diferem pelo teste de Tukey (5% probabilidade).

A acidez está relacionada ao sabor azedo da cerveja. Muitos ácidos orgânicos e o gás carbônico, quando dissolvido na cerveja, determinam o nível de acidez, que é expressa como ácido láctico. A concentração total de ácidos em cerveja está entre 0,1% e 0,3%. A cerveja é, portanto, levemente ácida, seu pH está na faixa de 4 a 5 (SPEDDING, 2012).

Ainda segundo a tabela 2, os tratamentos T1, T2 e T3, diferem estatisticamente entre si, nos parâmetros, de teor alcoólico, extrato real e extrato aparente. Estes resultados estão diretamente relacionados entre si, mas de forma inversa, uma vez que quanto maior o teor alcoólico observado nas cervejas, menores foram os valores de extrato real e extrato aparente. Quanto maior a concentração de dextrina nos mostos, que por ser infermentescível permanecerá na cerveja, maior será o teor de

extrato real e extrato aparente e, conseqüentemente, menor deverá ser o teor alcoólico da bebida.

Analisando o restante dos dados da tabela 2, temos diferença estatística significativa entre os tratamentos, nos parâmetros de amargor, cor e turbidez.

Segundo Briggs et. al (2004), a 80 °C há α -amilase suficiente para liquefazer o amido e produzir dextrina, enquanto a β -amilase e outras enzimas mais termolábeis são destruídas rapidamente e pode ocorrer pouca sacarificação. À medida que subimos a temperatura de mosturação de 70 °C para 80 °C, o teor alcoólico da cerveja diminuiu, indicando a menor produção de açúcares fermentescíveis durante a mosturação. Também segundo Boulton e Quain (2001), a β -amilase é menos estável ao calor do que a α -amilase e, o uso de alta temperatura de mosturação (80 – 85 °C) produz um mosto com fermentabilidade suficientemente baixa, indicando que há uma redução significativa da produção de açúcares fermentescíveis em mosturações à alta temperatura, reforçando a tese que podemos realizar este processo acima de 80 °C para obter produtos de baixo teor alcoólico, porém com perda de qualidade sensorial.

À medida que elevamos a temperatura de mosturação, a turbidez da cerveja também aumenta, indicando a presença de maior concentração de sólidos em suspensão nas bebidas que foram obtidas em mosturação com maior temperatura. Gresser (2009) informa que temperaturas elevadas no final da mosturação aumenta a extração de polifenóis, especialmente taninos. Como polifenóis apresentam afinidade com as proteínas, eles formam complexos tanino-proteínas responsáveis pela turvação da cerveja; esse tipo de fenômeno pode ter ocorrido durante e após a mosturação do tratamento T3, em maior intensidade que os demais tratamentos.

As cervejas produzidas na mosturação com temperatura de 80 °C apresentaram maior intensidade de cor. Certamente, a extração de compostos de cor da casca do malte é maior em temperaturas mais elevadas. Gresser (2009) afirmou que a extração de polifenóis (compostos que conferem cor aos alimentos e bebidas) é maior em mosturações com temperaturas mais elevadas. A maior parte dos polifenóis da cerveja são derivados do malte, e estão localizados na camada de aleurona, endosperma e casca. Os maltes de cevada ricos em proteínas contêm mais polifenóis. Com o aumento da modificação do malte e um processo de secagem intensivo, o conteúdo de polifenóis solúveis está aumentando. Cervejas de maltes com alto teor de antocianogênios têm menor tendência à formação de turbidez. (GRESSER, 2009)

Observou-se que as cervejas mosturadas na temperatura de 80 °C apresentaram maior amargor. Este é um resultado difícil de compreender, uma vez que a lupulagem foi feita depois da mosturação. Uma possível explicação seria que em temperaturas mais elevadas de mosturação ocorreria maior extração de componentes do malte, entre eles alguns que são absorvidos no mesmo comprimento de onda utilizado na análise de amargor da cerveja. Segundo Krottenthaler (2009), polifenóis de alto peso molecular, podem causar um amargor adstringente a cerveja.

4.2 Análise Multivariada: Componentes Principais

A Análise dos Componentes Principais (PCA) reduz um conjunto de dados contendo muitas variáveis para um conjunto de dados contendo um menor número de variáveis. Essas novas variáveis são combinações lineares das originais, e essas combinações lineares são escolhidas para representar a fração máxima possível da variabilidade contida nos dados originais. (WILKS, 2011)

A variação explicada pelos Componentes Principais (PC), defini o número de PCs que devem ser mantidos. Para Rencher (2002), a proporção da variância explicada pelos PCs deve corresponder a pelo menos 70%. Neste estudo, os dois primeiros PCs explicaram aproximadamente 84,20% de toda a variabilidade no conjunto de dados (66,70% explicado pelo PC1, 17,50% pelo PC2) conforme apresentado na tabela 3. Segundo Cruz et al. (2012), este fato torna os cálculos estatísticos e a interpretação mais simples do que em outros métodos.

Tabela 3 – Componentes principais, valores próprios, proporção da variância explicada e proporções cumulativas

Componentes Principais	Valores Próprios (λ)	Proporção	Proporção Cumulativa
PC1	6,6708	0,6670	0,6670
PC2	1,7471	0,1750	0,8420
PC3	0,9920	0,0990	0,9410
PC4	0,3582	0,0360	0,9770
PC5	0,1530	0,0150	0,9920
PC6	0,0422	0,0040	0,9960
PC7	0,0348	0,0030	1,0000
PC8	0,0020	0,0000	1,0000
PC9	0,0000	0,0000	1,0000
PC10	0,0000	0,0000	1,0000

Também podemos selecionar PCs pelo critério de Kaiser (1958), que determina que o número de componentes deve ser igual ao número de autovalores (variâncias de PC) com média maior ou igual às variâncias de cada variável no conjunto de dados original. Este critério considera que PCs com autovalores > 1 ($\lambda_i > 1$) são suficientes para representar a variabilidade total no conjunto de dados original. Esse método indicou que os dois primeiros PCs são suficientes para estudar o conjunto de dados original. (PIEADADE, et al., 2019)

Os autovetores são essenciais para identificar as variáveis que mais contribuíram para cada componente. Segundo a tabela 4, PC1 apresentou maiores associações positivas com as seguintes variáveis: Cor, Extrato Real, Extrato Aparente, Amargor e Turbidez, já a variável: Teor Alcoólico apresentou maior associação negativa para PC1. Para PC2, tais associações positivas também foram observadas para as seguintes variáveis: Extrato Original, pH e Acidez Total, já a variável: Gás Carbônico apresentou maior associação negativa para PC2.

Considerando que a variável Extrato Original, foi corrigida em todos os tratamentos para valores constantes de °BRIX e que a variável Gás Carbônico, depende exclusivamente da quantidade de sacarose colocada no *priming*, então podemos descartar a correlação negativa entre essas.

Tabela 4 – Autovalores, Cor, pH, Extrato Aparente, Extrato Real, Extrato Original, Teor Alcoólico, Amargor, Turbidez, Acidez Total e Gás Carbônico, os dois componentes principais (PC1 e PC2)

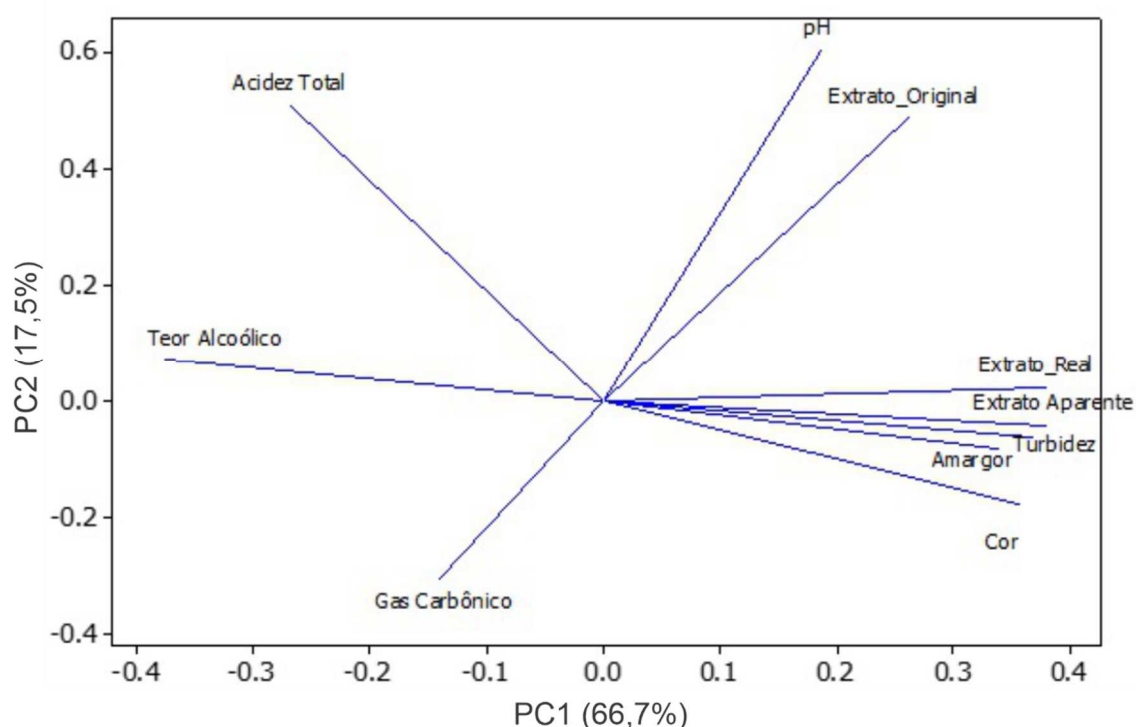
Variáveis	PC1	PC2
Cor	0,356	-0,175
pH	0,187	0,603
Extrato Aparente	0,380	-0,042
Extrato Real	0,380	0,023
Extrato Original	0,261	0,487
Teor Alcoólico	-0,376	0,071
Amargor	0,338	-0,079
Turbidez	0,367	-0,063
Acidez Total	-0,268	0,507
Gás Carbônico	-0,140	-0,305

As variáveis relacionadas a conversão de açúcar fermentescíveis em álcool (Extrato Aparente, Extrato Original e Extrato Real) e às características sensoriais da cerveja (Turbidez, Amargor e Cor) apresentaram correlação positiva entre si ($\alpha < 90^\circ$),

já esses grupos apresentam correlação negativa com a variável Teor Alcoólico, portanto, podemos considerar essas variáveis como parte determinante para o resultado do estudo. No entanto, há coeficientes de correlação entre grupos que foram muito baixos ($\alpha \approx 90^\circ$) ou não significativos. A figura 6 nos mostra que a correlação negativa entre a variável Teor Alcoólico e Extrato Real, indica que seus valores são inversamente proporcionais, quanto menor o Teor Alcoólico, maior o Extrato Real, e estão de acordo com os resultados das análises físico-químicas na tabela 2. O figura 6 mostra também que os resultado das variáveis Extrato Real e Extrato Aparente, são diretamente proporcionais as variáveis Cor e Turbidez, ou seja, a medida que os valores dos Extratos aumentam, a Turbidez e Cor também aumenta. Isso acontece porque o Extrato Real, é a medida da quantidade de sólidos solúveis não fermentescíveis na cerveja, que se relacionam diretamente com a Turbidez e Cor. Segundo Gresser (2009), cervejas produzidas a partir de mosturação a temperaturas elevadas, aumentam a extração de polifenóis e taninos, aumentando o teor de sólidos solúveis e consequentemente aumentando a Cor e a Turbidez.

A análise de PCA também comprova que quanto maior o valor de Extrato Real, menor o Teor Alcoólico, ou seja, haverá mais sólidos solúveis na forma de açúcar não fermentescíveis na cerveja, aumentando também a Cor e a Turbidez (Figura 6).

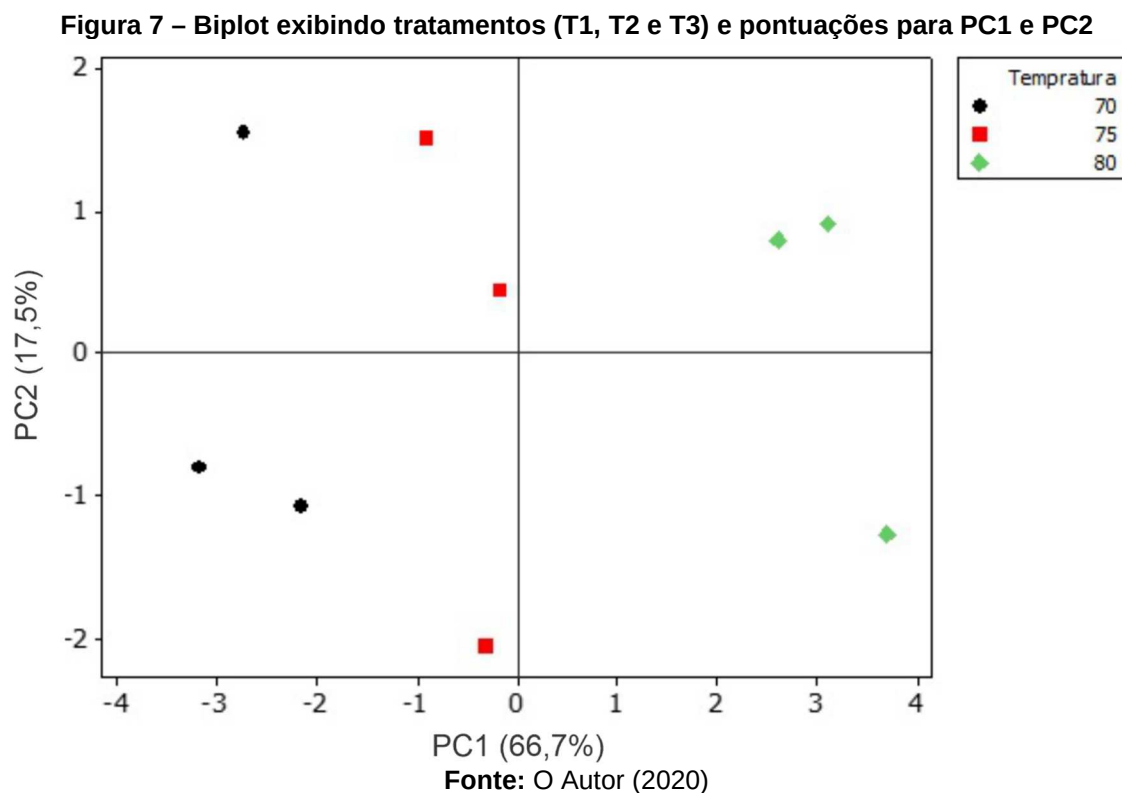
Figura 6 – Biplot exibindo autovetores e pontuações para PC1 e PC2



Fonte: O autor (2020)

Os maiores valores de Extrato Aparente, Turbidez, Cor e Amargor, foram observados para o tratamento T3, mosturação na temperatura de 80 °C como apresentado na figura 7. Polifenóis de alto peso molecular podem aumentar a cor, turbidez e o amargor da cerveja, especialmente em mosturação a temperaturas elevadas e fevurvas prologandas. (KROTTENTHALER, 2009).

Podemos observar também que a variável Teor Alcoólico, está relacionada ao tratamento T1, mosturação na temperatura de 70 °C, comprovando o resultado da análise físico-química, que mostra maior Teor Alcoólico para este tratamento. O tratamento T2, mosturação na temperatura 75 °C, apresentaram variações nas variáveis Gás Carbônico e Acidez Total, e valores intermediários para as demais variáveis (Figura 7).



4.3 Análise Sensorial

A tabela 4 mostra os resultados da análise sensorial, pelo método afetivo de escala hedônica. As cervejas de todos os tratamentos tiveram notas médias acima de 5, indicando que foram bem avaliadas, de acordo com a escala utilizada. Os melhores resultados sensoriais foram obtidos nos tratamentos T1 e T2, ou seja, com as cervejas que foram obtidas em mosturações com temperaturas mais baixas (70 e 75 °C).

As cervejas do T1 e T3, apresentaram diferenças estatísticas significativas nos parâmetros de Odor, Sabor e Avaliação Global. Nesses mesmos parâmetros, T1 e T2, bem como, T2 e T3, não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Já no parâmetro de Cor, T1, T2 e T3, não apresentaram diferenças estatísticas significativa, conforme tabela 4.

Tabela 5 – Análise sensorial das cervejas

Parâmetros	T1	T2	T3
Cor	7,0a	8,0a	7,0a
Odor	7,0a	7,0ab	6,0b
Sabor	7,0a	7,0ab	6,0b
Avaliação Global	7,0a	7,0ab	6,0b

Medianas seguidas de letras iguais na linha, não diferem pelo teste de Kruskal-Wallis (5% probabilidade).

Embora a cor das cervejas tenha sido afetada pelos tratamentos, ou seja, quanto maior a temperatura de mosturação, maior a sua intensidade de cor (tabela 3), os provadores atribuíram notas semelhantes para todos os tratamentos, não havendo diferença estatística entre eles.

Já para os atributos odores, sabor e avaliação global houve perda de qualidade sensorial na medida em que se aumentou a temperatura de mosturação para 80 °C. É provável que a menor qualidade sensorial da cerveja do tratamento T3 esteja relacionada à maior extração de componentes do malte.

Segundo Gresser (2009), temperaturas elevadas no final da mosturação aumentará a quantidade de polifenóis no mosto. Os polifenóis envolvidos na formação da turbidez da cerveja são chamados de taninos, esses compostos fenólicos estão relacionados com sabores adstringentes, sensação na boca de sabores indesejáveis à cerveja. (RYDER; POWER, 2006).

5 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais em que os ensaios foram realizados, pode-se concluir que é possível produzir cerveja com baixo teor alcoólico, alterando a temperatura de mosturação. O aumento da temperatura de mosturação alterou as características físico-químicas das cervejas, bem como seus atributos sensoriais; neste caso, a bebida perdeu qualidade sensorial na temperatura mais elevada de mosturação. A cerveja que apresentou melhor resultado quando comparamos teor alcoólico e qualidades sensoriais, foi a cerveja produzida no tratamento T2, que manteve as qualidades sensórias da cerveja com maior teor alcoólico, porém com um teor alcoólico aproximadamente 17% menor.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF BREWING CHEMISTS. **Methods fo analysis of the American Society of Brewing Chemists**. Madison: ASBC, 1958. 209 p.
- BAMFORTH, C. W. Boiling. In: OLIVER, G. **The Oxford companion to beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 230.
- BAMFORTH, C. W. Clarity. In: OLIVER, G. **The Oxford companion to beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 364.
- BAXTER, E. D. *et al.* An overview of the malting and brewing processes. In: BAXTER, E. D.; HUGHES, P. S. **BEER**: quality, safety and nutritional aspects. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001. Cap. 1. p. 1-13.
- BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM. **2015 Style Guidelines**: beer style guidelines. 2015. Beer Style Guidelines. 2015. Disponível em: <https://www.bjcp.org>. Acesso em: 20 nov. 2019.
- BEERSMITH HOME BREWING. **BeerSmith 3**: home brewing software. Home Brewing Software. 2018. Disponível em: <https://beersmith.com>. Acesso em: 02 dez. 2020.
- BEHRENS, J. Análise sensorial de bebidas. In: VETURINI FILHO, W. G. **Industria de bebidas**: inovação, gestão e produção. São Paulo: Blucher, 2011. Cap. 9, p. 203.
- BOULTON, C.; QUAIN, D. The brewing process. In: BOULTON, C.; QUAIN, D. **Brewing**: yeast and fermentation. London: Blackwell, 2001. p. 19-68.
- BREDA, M. H. Cerveja artesanal. In: VETURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. Cap. 4. p. 85-111.
- BRIGGS, D. E. *et al.* Beer in the trade. In: BRIGGS, Dennis E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; STEVENS, Roger. **Brewing**: science and practice. Boca Raton: CRC Press, 2004. Cap. 23, p. 820.
- BRIGGS, D. E. *et al.* Fermentation technologies. In: BRIGGS, Dennis E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; STEVENS, Roger. **Brewing**: science and practice. Boca Raton: CRC Press, 2004. Cap. 14, p. 509.
- BRIGGS, D. E. *et al.* Mashing technology. In: BRIGGS, Dennis E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; STEVENS, Roger. **Brewing**: science and practice. Boca Raton: CRC Press, 2004. Cap. 6. p. 189-225.
- BRIGGS, D. E. *et al.* The science of mashing. In: BRIGGS, Dennis E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; STEVENS, Roger. **Brewing**: science and practice. Boca Raton: CRC Press, 2004. Cap. 4. p. 85-167.

BRIGGS, D. E. *et al.* Water, effluents and wastes. In: BRIGGS, Dennis E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; STEVENS, Roger. **Brewing: science and practice**. Boca Raton: CRC Press, 2004. Cap. 3. p. 60-67.

BRIGGS, D. E. *et al.* Yeast biology. In: BRIGGS, Dennis E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; STEVENS, Roger. **Brewing: science and practice**. Boca Raton: CRC Press, 2004. Cap. 11. p. 363-399.

BRIGGS, D. E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; STEVENS, Roger. Beer maturation and treatments. In: BRIGGS, Dennis E.; BOULTON, Chris A.; BROOKES, Peter A.; STEVENS, Roger. **Brewing: science and practice**. Boca Raton: CRC Press, 2004. Cap. 15. p. 543-601.

CASARIN, R. **Diário Comércio Indústria e Serviço**. 2018. Disponível em: <https://www.abras.com.br/clipping/bebidas/66316/mercado-de-bebidas-de-baixo-teor-alcoolico-e-pouco-explorado-no-pais>. Acesso em: 02 dez. 2020.

COSTA, R. H. K. **Produção de cerveja com baixo Teor Alcoólico**. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia Indústria em Microbiologia, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2016.

CRUZ, C. D. *et al.* **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento**. Viçosa: UFV, 2012.

DINO. Publicidade Corporativa. **Revista Exame**, 1 fev. 2019. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/dino/mercado-de-cervejas-artesanais-cresceexponencialmente-no-brasil/>. Acesso em: 20 nov. 2019.

DORNBUSCH, H. Color. In: OLIVER, G. **The Oxford companion to beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 373.

DORNBUSCH, H. PH. In: OLIVER, G. **The Oxford companion to beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 840-841.

DRAGONE, G.; SILVA, T. A. D. O.; SILVA, J. B. D. A. Cerveja. In: VETURINI FILHO, W. G. (org.). **Bebidas Alcoólicas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. Cap. 3. p. 51-84.

EATON, B. Overview of Brewing. In: PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. Boca Raton: CRC Press, 2006. Cap. 3. p. 77-89.

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

GRESSER, A. Properties and quality. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of Brewing: processes, technology, markets**. Darmstadt: Wiley Vch, 2009. Cap. 15. p. 380-381. INFOBIP. **Mensageria no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://panoramamobiletime.com.br/pesquisa-mensageria-no-brasil-agosto-de-2020/>. Acesso em: 29 nov. 2020.

ISERENTANT, D. Beers: recent technological innovations in brewing. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. **Fermented Beverage Production**. Glosgow: Springer Science+business Media Dordrecht, 1995. Cap. 3. p. 45-61.

KAISER, Henry F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 187-200, set. 1958. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02289233>.

KROTTENTHALER, M. Hops. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of Brewing: processes, technology, markets**. Darmstadt: Wiley Vch, 2009. Cap. 3, p. 89.

KROTTENTHALER, M.; BACK, W.; ZARNKOW, M. Wort production. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of Brewing: processes, technology, markets**. Darmstadt: Wiley Vch, 2009. Cap. 7. p. 165-173.

KROTTENTHALER, M.; GLAS, K. Brew water. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of Brewing: processes, technology, markets**. Darmstadt: Wiley Vch, 2009. Cap. 4, p. 105.

KUNZE, W. Beer production. In: KUNZE, W. **Technology Brewing and Malting**. Berlin: Vlb, 1999. Cap. 4. p. 437-446.

KUNZE, W. Wort production. In: KUNZE, W. **Technology Brewing and Malting**. Berlin: Vlb, 1999. Cap. 3. p. 190-200.

MCA BRAUMEISTER BRASIL (Brasil). **Nova Braumeister 50L plus**. 2019. Disponível em: <https://braumeisterbrasil.com.br/produto/braumeister-50l-plus/>. Acesso em: 02 dez. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019. **Estabelece Os Padrões de Identidade e Qualidade Para Os Produtos de Cervejaria**. 239. ed. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 11 dez. 2019. Seção 1, p. 31-31. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-65-de-10-de-dezembro-de-2019-232666262>. Acesso em: 09 jun. 2020.

MUNROE, J. H. Aging and finishing. In: PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. Boca Raton: CRC Press, 2006. Cap. 13. p. 526-548.

MUNROE, J. H. Fermentation: nonalcoholic and low-alcohol fermentations. In: PRIEST, Fergus G.; STEWART, Graham G. **Handbook of Brewing**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006. Cap. 12, p. 511.

OLIVER, G. Saccharification. In: OLIVER, G. **The Oxford companion to beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 917.

PALMER, J. J. Yeast. In: PALMER, J. J. **How to Brew**. Boulder: Brewers Publications, 2006. Cap. 6, p. 78.

PEACOCK, V. Bitterness. In: OLIVER, G. **The Oxford companion to beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 215.

PIECADE, G. N. D. et al. Principal component analysis for identification of superior castor. **Journal Of Agricultural Science**. Ontario, p. 179-187. set. 2019. Disponível em: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/39746>. Acesso em: 02 dez. 2020.

RABIN, D.; FORGET, C.; SMITH, G. **The Dictionary of Beer and Brewing**. 2. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2013. 327 p.

REGAN, J. Production of alcohol-free and low alcohol-beers by vacuum distillation and dialysis. **Fermentation**, London, v. 3, n. 4, p. 235-237, abr. 1990.

REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S.; CRUZ, C. D. Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético. **Editores UFV**, Viçosa, v. 1, p. 514-514, out. 2012. 4A.

REINOLD, M. R. **Tipos de cerveja**. 2017. Cervesia: Tecnologia Cervejeira. Disponível em: <https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/tecnicos/tipos-de-cerveja.html>. Acesso em: 02 dez. 2020.

RENCHE, A. C. **Methods of Multivariate Analysis**. 2. ed. Toronto: John Wiley & Sons, 2003. 738 p.

RUSSELL, I. Yeast. In: PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. Boca Raton: CRC Press, 2006. Cap. 8. p. 282-321.

RYDER, D. S.; POWER, J. Miscellaneous ingredients in aid of the process. In: PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. Boca Raton: CRC Press, 2006. Cap. 9, p. 359.

SCHUR, F. Ein neues Verfahren zur Herstellung von alkohol-freien Bier. Proc. Eur. **19th Congress**, London, 1983. 353-360.

SIEBERT, K. Polyphenols. In: OLIVER, G. **The Oxford companion to beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 855-856.

SILVA, A. E. D. et al. Elaboração de cerveja com diferentes teores alcoólicos através de processo artesanal. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 3, p. 369-374, set. 2009.

SILVA, D. P. D. et al. Cerveja Sem Álcool. In: VETURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. Cap. 5. p. 120-126.

SPEDDING, G. Acidity. In: OLIVER, G. **The Oxford companion to beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 63.

TAYLOR, G. D. Water. In: PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. Boca Raton: CRC Press, 2006. Cap. 4. p. 91-134.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 3. ed. San Diego: Elsevier, 2011. 519 p.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S. Bebidas Alcoólicas. In: INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos Físico- Químicos para Análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: Ial, 2008. p. 453-460.

APÊNDICE A — Ajuste da Temperatura Inicial

Cálculo da temperatura água de infusão:

Capacidade Calorífica do malte (C_{pb}) = $0,3822 \text{ cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$

Capacidade Calorífica da água (C_{pw}) = $1,0 \text{ cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$

Temperatura do malte (T_b) = 20°C

Temperatura da água (T_w) = ? °C

Temperatura do mosto (T_m) = 75°C

Massa do malte (M) = 2.5kg

Massa da água (W) = 20kg

Equação:

$$W * C_{pw} * (T_w - T_m) = M * C_{pb} * (T_m - T_b)$$

Cálculo:

$$20.000 * 1,0 * (T_w - 70) = 2.500 * 0.3822 * (70 - 20)$$

$$20.000 * T_w - 1.400.000 = 52.552,50$$

$$T_w = (1.447.775 / 20.000)$$

$$T_w = 72,39\text{°C} (T_1)$$

$$T_w = 77,63\text{°C} (T_2)$$

$$T_w = 82,87\text{°C} (T_3)$$

APÊNDICE B — Análise Físico Química

Temperaturas de mosturação médias (°C)

Tratamentos	R1	R2	R3
T1	70,59±0,28	70,49±0,53	70,06±0,46
T2	75,34±0,25	75,08±0,58	75,10±0,64
T3	80,42±0,51	80,30±0,91	80,22±0,51

Dados do Parâmetro (COR)

COR						
		Absorvância (430nm)	f(fator de diluição)	Constante	COR (EBC)	Média
T1	R1	0,580	1	25	14,50	12,86
	R2	0,472	1	25	11,80	
	R3	0,491	1	25	12,28	
T2	R1	0,628	1	25	15,70	15,36
	R2	0,579	1	25	14,48	
	R3	0,636	1	25	15,90	
T3	R1	0,658	1	25	16,45	18,55
	R2	0,734	1	25	18,35	
	R3	0,834	1	25	20,85	

Dados do Parâmetro (pH)

pH da Cerveja				
		pH	Média	
T1	R1	4,52	4,55	0,04
	R2	4,53		
	R3	4,59		
T2	R1	4,63	4,58	0,10
	R2	4,65		
	R3	4,46		
T3	R1	4,63	4,63	0,04
	R2	4,67		
	R3	4,60		

Dados do Parâmetro (EXTRATO APARENTE)

Extrato Aparente							
		Densidade	SG	°Plato	°Brix	Média	DP
T1	R1	1,02133	1021,33	5,6	5,4	5,2	0,3
	R2	1,01925	1019,25	5,1	4,9		
	R3	1,01899	1018,99	5,0	4,8		
T2	R1	1,02417	1024,17	6,3	6,1	6,5	0,3
	R2	1,02437	1024,37	6,4	6,2		
	R3	1,02566	1025,66	6,8	6,5		
T3	R1	1,03119	1031,19	8,2	7,9	8,0	0,3
	R2	1,02898	1028,98	7,6	7,3		
	R3	1,03094	1030,94	8,1	7,8		

Dados do Parâmetro (EXTRATO REAL)

Extrato Real				
		Densidade	SG	°Plato
T1	R1	1,02611	1026,11	6,9
	R2	1,02450	1024,50	6,4
	R3	1,02450	1024,50	6,4
T2	R1	1,02895	1028,95	7,6
	R2	1,02895	1028,95	7,6
	R3	1,02976	1029,76	7,8
T3	R1	1,03590	1035,90	9,4
	R2	1,03426	1034,26	8,9
	R3	1,03467	1034,67	9,0

Dados do Parâmetro (EXTRATO REAL CORRIGIO)

Extrato Real Corrigido							
		Densidade (ER)	Densidade (EA)	°Plato (ER)	°Plato (ER) Corrigido	Média	DP
T1	R1	1,02611	1,02133	6,9	6,93	6,60	0,29
	R2	1,02450	1,01925	6,4	6,43		
	R3	1,02450	1,01899	6,4	6,43		
T2	R1	1,02895	1,02417	7,6	7,64	7,70	0,11
	R2	1,02895	1,02437	7,6	7,63		
	R3	1,02976	1,02566	7,8	7,83		
T3	R1	1,03590	1,03119	9,4	9,44	9,14	0,27
	R2	1,03426	1,02898	8,9	8,95		
	R3	1,03467	1,03094	9,0	9,03		

Dados do Parâmetro (EXTRATO ORIGINAL)

Extrato Original						
		Álcool (% m/m)	Extrato Real corrigido (%)	°Plato	Média	DP
T1	R1	2,74	6,93	12,23	12,32	0,16
	R2	2,98	6,43	12,21		
	R3	3,14	6,43	12,50		
T2	R1	2,54	7,64	12,54	12,39	0,16
	R2	2,46	7,63	12,39		
	R3	2,27	7,83	12,23		
T3	R1	1,72	9,44	12,77	12,62	0,15
	R2	1,90	8,95	12,61		
	R3	1,78	9,03	12,47		

Dados do Parâmetro (AMARGOR)

Amargor						
		Absorvância	f (fator de diluição)	Constante	IBU	
T1	R1	0,521	1	50	26,05	26,10
	R2	0,537	1	50	26,85	
	R3	0,508	1	50	25,40	
T2	R1	0,644	1	50	32,20	27,20
	R2	0,460	1	50	23,00	
	R3	0,528	1	50	26,40	
T3	R1	0,747	1	50	37,35	36,95
	R2	0,663	1	50	33,15	
	R3	0,807	1	50	40,35	
						0,73
						4,65
						3,62

Dados do Parâmetro (TURBIDEZ)

Turbidez (EBC)				
		Turbidez (EBC)	Média	DP
T1	R1	7,72	4,82	2,51
	R2	3,41		
	R3	3,33		
T2	R1	11,2	9,98	1,41
	R2	10,3		
	R3	8,43		
T3	R1	16,2	20,10	5,12
	R2	18,2		
	R3	25,9		

Dados do Parâmetro (ACIDEZ TOTAL)

Acidez Total					
		Normalidade NaOH	Volume (ml)	g de ác. Lático / 100ml de cerveja	
T1	R1	0,1	1,3	0,12	0,12
	R2	0,1	1,3	0,12	
	R3	0,1	1,4	0,13	
T2	R1	0,1	1,3	0,12	0,11
	R2	0,1	1,4	0,13	
	R3	0,1	1,1	0,10	
T3	R1	0,1	1,2	0,11	0,11
	R2	0,1	1,2	0,11	
	R3	0,1	1,1	0,10	
					0,01
					0,01
					0,01

Dados do Parâmetro (GÁS CARBÔNICO)

CO ₂					
		PSI	T °C	Volume CO ₂ . Volume Cerveja ⁻¹	
T1	R1	22	21,9	2,01	1,97
	R2	22	21,9	2,01	
	R3	20	21,9	1,89	
T2	R1	22	21,9	2,01	1,93
	R2	20	21,9	1,89	
	R3	20	21,9	1,89	
T3	R1	20	21,9	1,89	1,91
	R2	20	21,9	1,89	
	R3	21	21,9	1,95	
					0,07
					0,07
					0,03

Dados do Parâmetro (TEMPERATURA DE MOSTURAÇÃO)

TEMPERATURA DE MOSTURAÇÃO									
	R1T1 (°C)	R2T1 (°C)	R3T1 (°C)	R1T2 (°C)	R2T2 (°C)	R3T2 (°C)	R1T3 (°C)	R2T3 (°C)	R3T3 (°C)
1	70,40	71,70	70,40	75,50	75,60	74,70	80,40	79,50	80,50
2	70,30	70,30	69,80	75,20	76,30	75,60	80,70	79,20	80,20
3	70,70	70,60	69,50	75,20	76,30	75,80	80,80	79,10	80,10
4	70,30	70,80	70,20	75,20	74,50	74,50	80,20	79,90	79,60
5	70,30	71,40	70,20	75,50	74,70	74,70	81,00	80,60	80,10
6	70,60	71,50	70,00	75,10	75,30	74,40	79,80	80,40	80,20
7	70,40	71,40	69,50	74,50	75,40	75,10	80,80	80,50	80,00
8	70,30	71,00	70,30	75,10	74,70	75,70	79,90	80,60	80,10
9	70,60	70,60	69,90	75,40	74,20	75,30	80,90	80,60	80,20
10	70,10	70,00	70,10	75,10	75,00	75,50	79,80	81,50	79,90
11	70,10	69,90	70,10	75,40	75,20	74,80	80,80	80,50	80,00
12	70,40	70,10	70,50	75,30	75,90	75,10	80,00	80,70	80,10
13	70,20	70,60	70,30	75,10	74,50	76,40	80,50	79,70	80,20
14	70,40	70,10	69,80	75,50	74,90	76,40	80,30	80,60	80,30
15	70,70	69,70	70,60	75,30	75,20	74,40	80,20	79,20	79,90
16	70,70	70,10	70,10	75,70	75,40	74,80	80,80	81,00	80,00
17	71,10	70,70	69,60	75,30	76,30	76,10	80,20	79,40	80,80
18	70,90	70,70	70,90	75,30	74,10	74,60	80,80	79,80	81,00
19	71,00	70,50	70,50	75,20	75,30	75,20	79,80	81,00	81,20
20	70,70	70,40	69,60	75,70	74,90	74,20	81,10	79,60	79,60
21	70,60	70,20	69,90	75,40	75,00	73,80	79,80	81,00	79,70
22	70,60	70,00	70,00	75,30	74,80	75,40	81,00	79,30	79,70
23	70,60	69,90	69,80	75,50	75,70	74,70	79,70	81,50	79,70
24	70,60	69,70	69,40	75,70	75,20	75,10	81,10	79,20	80,30
25	70,70	70,10	70,70	75,30	74,70	74,50	80,00	81,70	80,00
26	70,60	70,60	70,10	75,30	75,20	75,10	81,00	79,20	79,90
27	70,50	71,00	69,90	75,80	74,80	75,60	79,90	81,80	80,40
28	70,80	70,70	69,50	75,40	75,10	75,80	81,10	79,10	80,80
29	70,70	70,60	70,60	75,60	74,30	74,40	79,90	81,70	80,20
30	70,80	70,30	70,50	75,20	74,50	74,80	80,90	79,30	80,40
31	71,20	69,90	69,70	75,50	75,10	75,20	79,80	81,30	82,00
Média	70,58	70,49	70,06	75,34	75,10	75,09	80,42	80,27	80,23
DP	0,27	0,53	0,40	0,25	0,58	0,64	0,50	0,90	0,51

APÊNDICE C — Análises Estatísticas

GABARITO

Coluna 1 – Tratamento 1

Coluna 2 – Tratamento 2

Coluna 3 – Tratamento 3

COR

One Way Analysis of Variance

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed (P = 0,722)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,355)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM	
Col 1	3	0	12,858	1,441	0,832	b
Col 2	3	0	15,358	0,771	0,445	ab
Col 3	3	0	18,550	2,207	1,274	a

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	48,832	24,416	9,711	0,013
Residual	6	15,086	2,514		
Total	8	63,918			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,013).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,824

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
Col 3 vs. Col 1	5,692	3	6,217	0,011	Yes
Col 3 vs. Col 2	3,192	3	3,486	0,107	No
Col 2 vs. Col 1	2,500	3	2,731	0,211	No

pH

One Way Analysis of Variance

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed (P = 0,359)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,615)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM	
Col 1	3	0	4,547	0,0379	0,0219	a
Col 2	3	0	4,580	0,104	0,0603	a
Col 3	3	0	4,633	0,0351	0,0203	a

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	0,0115	0,00573	1,268	0,347
Residual	6	0,0271	0,00452		
Total	8	0,0386			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,347).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,076

The power of the performed test (0,076) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are more likely to not detect a difference when one actually exists. Be cautious in over-interpreting the lack of difference found here.

EXTRATO APARENTE

One Way Analysis of Variance

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed (P = 0,458)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,976)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM	
Col 1	3	0	5,233	0,321	0,186	c
Col 2	3	0	6,500	0,265	0,153	b
Col 3	3	0	7,967	0,321	0,186	a

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	11,227	5,613	60,867	<0,001
Residual	6	0,553	0,0922		
Total	8	11,780			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001).

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
Col 3 vs. Col 1	2,733	3	15,590	<0,001	Yes
Col 3 vs. Col 2	1,467	3	8,365	0,003	Yes
Col 2 vs. Col 1	1,267	3	7,224	0,005	Yes

EXTRATO REAL

One Way Analysis of Variance

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Failed (P < 0,050)

Test execution ended by user request, ANOVA on Ranks begun

Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks

Data source: Data 1 in Notebook 1

Group	N	Missing	Median	25%	75%	
Col 1	3	0	6,435	6,433	6,808	b
Col 2	3	0	7,635	7,634	7,782	ab
Col 3	3	0	9,033	8,967	9,340	a

H = 7,200 with 2 degrees of freedom. P(est.)= 0,027 P(exact)= 0,004

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,004)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	P<0,05
Col 3 vs Col 1	18,000	3,795	Yes
Col 3 vs Col 2	9,000	1,897	No
Col 2 vs Col 1	9,000	1,897	No

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.

TEOR ALCOÓLICO % (v/v)

One Way Analysis of Variance

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed (P = 0,776)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,325)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM	
Col 1	3	0	3,813	0,257	0,148	a
Col 2	3	0	3,143	0,175	0,101	b
Col 3	3	0	2,347	0,112	0,0649	c

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	3,235	1,617	44,433	<0,001
Residual	6	0,218	0,0364		
Total	8	3,453			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001).

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
Col 1 vs. Col 3	1,467	3	13,315	<0,001	Yes
Col 1 vs. Col 2	0,670	3	6,083	0,012	Yes
Col 2 vs. Col 3	0,797	3	7,232	0,005	Yes

EXTRATO ORIGINAL

One Way Analysis of Variance

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed (P = 0,569)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,997)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM	
Col 1	3	0	12,316	0,163	0,0943	a
Col 2	3	0	12,388	0,155	0,0895	a
Col 3	3	0	12,617	0,150	0,0868	a

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	0,148	0,0738	3,020	0,124
Residual	6	0,147	0,0244		
Total	8	0,294			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,124).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,266

The power of the performed test (0,266) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are more likely to not detect a difference when one actually exists. Be cautious in over-interpreting the lack of difference found here.

AMARGOR**One Way Analysis of Variance**

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed (P = 0,411)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,078)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM	
Col 1	3	0	26,100	0,726	0,419	b
Col 2	3	0	27,200	4,652	2,686	b
Col 3	3	0	36,950	3,617	2,088	a

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	213,995	106,997	9,107	0,015
Residual	6	70,495	11,749		
Total	8	284,490			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,015).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,795

The power of the performed test (0,795) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are more likely to not detect a difference when one actually exists. Be cautious in over-interpreting the lack of difference found here.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
Col 3 vs. Col 1	10,850	3	5,483	0,019	Yes
Col 3 vs. Col 2	9,750	3	4,927	0,030	Yes
Col 2 vs. Col 1	1,100	3	0,556	0,920	No

TURBIDEZ**One Way Analysis of Variance**

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed (P = 0,250)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,538)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM	
Col 1	3	0	4,820	2,512	1,450	b
Col 2	3	0	9,977	1,413	0,816	b
Col 3	3	0	20,100	5,122	2,957	a

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	362,551	181,276	15,747	0,004
Residual	6	69,071	11,512		
Total	8	431,623			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = 0,004).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,966

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
Col 3 vs. Col 1	15,280	3	7,800	0,004	Yes
Col 3 vs. Col 2	10,123	3	5,168	0,025	Yes
Col 2 vs. Col 1	5,157	3	2,632	0,230	No

ACIDEZ TOTAL**One Way Analysis of Variance**

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed (P = 0,447)

Equal Variance Test: Passed (P = 1,000)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM	
Col 1	3	0	0,120	0,00520	0,00300	a
Col 2	3	0	0,114	0,0137	0,00794	a
Col 3	3	0	0,105	0,00520	0,00300	a

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	0,000342	0,000171	2,111	0,202
Residual	6	0,000486	0,0000810		
Total	8	0,000828			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,202).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,164

The power of the performed test (0,164) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are more likely to not detect a difference when one actually exists. Be cautious in over-interpreting the lack of difference found here.

CARBONATAÇÃO**One Way Analysis of Variance**

Data source: Data 1 in Notebook 1

Normality Test: Passed (P = 0,406)

Equal Variance Test: Passed (P = 1,000)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM	
Col 1	3	0	1,970	0,0693	0,0400	a
Col 2	3	0	1,930	0,0693	0,0400	a
Col 3	3	0	1,910	0,0346	0,0200	a

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	0,00560	0,00280	0,778	0,501
Residual	6	0,0216	0,00360		
Total	8	0,0272			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0,501).

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,050

The power of the performed test (0,050) is below the desired power of 0,800.

Less than desired power indicates you are more likely to not detect a difference when one actually exists. Be cautious in over-interpreting the lack of difference found here.

COR**Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks**

Data source: Data 1 in Notebook1

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed ($P < 0,050$)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
1,000	51	0	8,000	7,000	8,000
2,000	51	0	8,000	7,000	9,000
3,000	51	0	8,000	7,000	8,000

H = 0,532 with 2 degrees of freedom. ($P = 0,767$)

The differences in the median values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference ($P = 0,767$)

ODOR**Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks**

Data source: Data 1 in Notebook1

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed ($P < 0,050$)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
1,000	51	0	8,000	6,000	8,000
2,000	51	0	7,000	6,000	8,000
3,000	51	0	6,000	5,000	8,000

H = 6,435 with 2 degrees of freedom. ($P = 0,040$)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ($P = 0,040$)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	$P < 0,05$
1 vs 3	1074,000	3,394	Yes
1 vs 2	286,500	0,905	No
2 vs 3	787,500	2,489	No

SABOR

Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks

Data source: Data 1 in Notebook1

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed ($P < 0,050$)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
1,000	51	0	7,000	7,000	8,000
2,000	51	0	7,000	5,000	8,000
3,000	51	0	6,000	5,000	8,000

$H = 8,818$ with 2 degrees of freedom. ($P = 0,012$)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ($P = 0,012$)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	$P < 0,05$
1 vs 3	1282,500	4,053	Yes
1 vs 2	852,000	2,692	No
2 vs 3	430,500	1,360	No

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.

AVALIAÇÃO GLOBAL

Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks

Data source: Data 1 in Sensorial Cervejas

Dependent Variable: Avaliação Global

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed ($P < 0,050$)

Group	N	Missing	Median	25%	75%
1,000	51	0	8,000	7,000	8,000
2,000	51	0	7,000	6,000	8,000
3,000	51	0	7,000	6,000	8,000

$H = 7,605$ with 2 degrees of freedom. ($P = 0,022$)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ($P = 0,022$)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparison	Diff of Ranks	q	$P < 0,05$
1 vs 3	1203,000	3,802	Yes
1 vs 2	588,000	1,858	No
2 vs 3	615,000	1,943	No

Note: The multiple comparisons on ranks do not include an adjustment for ties.