

CERVEJA ARTESANAL COM TEOR ALCOÓLICO REDUZIDO E ALTA CONCENTRAÇÃO DE CARBOIDRATOS

JÚLIO CÉSAR BERALDO DE MORAES¹, RICARDO FIGUEIRA², MARIA MARCIA PEREIRA SARTORI³, WALDEMAR GASTONI VENTURINI FILHO⁴

¹Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP. Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso, CEP 18610-034, Botucatu, SP, Brasil. julio.moraes@etec.sp.gov.br

²Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP. Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso, CEP 18610-034, Botucatu, SP, Brasil. ricardo.figueira@unesp.br

³Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP. Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso, CEP 18610-034, Botucatu, SP, Brasil. maria.mp.sartori@unesp.br

⁴Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP. Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso, CEP 18610-034, Botucatu, SP, Brasil. waldemar.venturini@unesp.br

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo produzir uma cerveja no estilo *Pale Ale* com teor alcoólico reduzido e alta concentração de carboidratos. As cervejas foram produzidas a partir de mosturação isotérmica, por infusão, a 70 °C, 75 °C e 80 °C. O mosto foi ajustado para um °Brix igual a 12, posteriormente inoculado com levedura *Ale* e fermentado a 18 °C. A maturação transcorreu por 15 dias a 8 °C e por mais 15 dias a 1 °C. As amostras foram analisadas para teor alcoólico, extrato aparente, extrato real, extrato original, amargor, acidez total, cor, pH e turbidez. Os resultados foram submetidos à análise de variância e 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 (escala hedônica) e as medianas foram comparadas pelo teste Kruskal-Wallis (5% de probabilidade). As diferentes temperaturas de mosturação resultaram nos teores alcoólicos 3,81±0,26 %, 3,14±0,17 % e 2,35±0,11 % (ABV), respectivamente. Na análise sensorial, para o parâmetro de avaliação global, as medianas obtidas foram 7,0, 7,0 e 6,0, respectivamente. Os resultados desta pesquisa indicaram que, à medida que se aumenta a temperatura de mosturação, perde-se qualidade sensorial da bebida.

Palavra-Chave: Bebida alcoólica fermentada, mosturação, infusão, *Pale Ale*.

CRAFT BEER WITH REDUCED ALCOHOL CONTENT AND HIGH CARBOHYDRATE CONCENTRATION

ABSTRACT: This work aimed to produce a beer in the *Pale Ale* style, with reduced alcohol content and high concentration of carbohydrates. The beers were produced from isothermal mashing, by infusion, at 70 °C, 75 °C and 80 °C. The must was adjusted to a °Brix equal to 12, later inoculated with *Ale* yeast and fermented at 18 °C. Maturation took place for 15 days at 8 °C and for another 15 days at 1 °C. The samples were analyzed for alcohol content, apparent extract, real extract, original extract, bitterness, total acidity, color, pH and turbidity. The results were submitted to analysis of variance and Tukey test (5% probability). The physicochemical parameters were also submitted to multivariate analysis of the main components. Sensory analyses were performed using affective test (hedonic scale) and the median results were compared using the Kruskal-Wallis test (5% probability). The different mashing temperatures of the sample resulted in the alcohol contents 3,81±0,26 %, 3,14±0,17 % and 2,35±0,11 % (ABV), respectively. In the sensory analysis, for the global evaluation parameter, the medians obtained were 7,0, 7,0 and 6,0, respectively. The results of this research indicated that, as the mash temperature is increased, the drink's sensory quality is lost.

Keywords: Fermented alcoholic beverage, mashing, infusion, *Pale Ale*.

1 INTRODUÇÃO

As cervejas artesanais, geralmente, são mais ricas em álcool, mais saborosas, aromáticas e encorpadas quando comparadas com as cervejas “*pilsen*” comercializadas pelas grandes corporações. As cervejarias artesanais estão fazendo inovações que se adaptam melhor ao mercado cervejeiro brasileiro, como a introdução de bebidas com teor de álcool reduzido, quando comparadas aos estilos originais no *Beer Judge Certification Program* (BJCP). Um exemplo são as cervejas conhecidas como *Session* (*Session IPA*, *Session Stout*), que são oferecidas no mercado com teor de álcool em volume (*ABV – alcohol by volume*) que varia de 3,5 % a 4,5 %, enquanto os estilos originais das *IPA* e *Stout* apresentam concentração alcoólica superior 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 levado em consideração é o aumento de consumidores das cervejas puro malte.

No Brasil, segundo a Instrução Normativa 65 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 % e 2,0 % (*ABV*) (BRASIL, 2019).

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

A quebra enzimática do amido durante a mosturação pode ser controlada pelos parâmetros de temperatura, viscosidade, valor de pH e tempo. Ao longo dos séculos, muitos e diferentes processos de mosturação foram desenvolvidos, podendo ser classificados em dois métodos básicos: infusão e decocção. A principal tarefa da mosturação é a hidrólise do

amido em açúcares fermentescíveis. O amido da cevada é composto de 20 % a 30 % amilose e de 70 % a 80 % de amilopectina. A propriedade mais importante do amido para fins cervejeiros é gelatinização (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, que para grãos de amido da cevada está entre 61 °C e 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).

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

Cervejas com baixo teor alcoólico não são uma novidade, por exemplo, a *Malzbier* alemã contém entre 0,5 % e 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 estilo *Pilsen*.

Uma maneira de produzir mosto com baixa fermentabilidade é realizar a mosturação em alta temperatura. Aqui a premissa é que a degradação de amidos pela α -amilase produz pequenas quantidades de açúcares fermentescíveis juntamente com altas concentrações de dextrinas não fermentescíveis. A β -amilase é menos estável ao calor do que a α -amilase e, portanto, o uso de alta temperatura de mosturação (80 °C – 85 °C) produz um mosto com fermentabilidade suficientemente baixa para produzir uma

cerveja com baixo teor alcoólico. Este método tem sido usado com sucesso em escala comercial, porém, requer controle muito preciso de temperatura de mosturação. (BOULTON; QUAIN, 2001)

O uso de cepas de leveduras menos eficientes na produção de etanol, obtidas a partir de tecnologias para produção de leveduras geneticamente modificadas, leveduras híbridas, outras cepas da levedura *Saccharomyces* não convencionais e até areação do mosto para aumento do processo de respiração, são utilizados para produção de cervejas com baixo teor alcoólico, porém esses processos causam impacto na composição de voláteis e conseqüentemente no perfil sensorial da cerveja. (VARELA; VARELA, 2019)

Outra forma de obter cerveja com baixo de teor alcoólico é através de métodos físicos e biológicos complementares. Esta metodologia incluiu a modificação dos regimes de mosturação com aplicação de patamares de temperatura abaixo da temperatura ideal para β -amilase (64 °C) e acima da α -amilase (72 °C) e alteração no processo de fermentação, utilizando temperaturas baixas para produzir bebidas com teor alcoólico reduzido. Também é utilizada mosturação prolongada a temperatura de 50 °C e depois uma parada na temperatura de 77 °C. Os resultados mostraram que houve um aumento substancial no extrato total, produzindo taxa de açúcar não fermentescível maior do que de açúcares fermentescíveis. Isso combinado a um processo de fermentação com uso de levedura de alta fermentação (18 °C), mas conduzido a baixa temperatura (5 °C por 7 dias), levaram a obtenção de uma cerveja que atende aos requisitos para cerveja de baixo teor alcoólico. (IVANOV et al., 2016)

Técnicas de substituição da levedura *Saccharomyces cerevisiae* por leveduras não convencionais do tipo *Saccharomyces ludwigii* e *Zygosaccharomyces rouxii* foi empregada para produção de cerveja com baixo teor alcoólico, com ótimos resultados para teores de álcool e de voláteis. A levedura *Saccharomyces ludwigii* apresentou melhores resultados para na produção de cerveja com baixo teor alcoólico. (FRANCESCO et al., 2015)

Os processos para produção de cerveja com teor alcoólico reduzido, se resumem em métodos biológicos e físico-químicos, em todos eles há perda na qualidade sensorial da cerveja, quanto a remoção de aromas e sabores junto com o álcool. Os métodos que utilizam membrana para remoção de álcool se destacam em relação aos demais na busca de produtos de alta qualidade, entre eles citam-se os métodos de diálise e osmose reversa. (MULLER et al., 2020)

O desafio de garantir a estabilidade do sabor de cervejas artesanais representa uma questão constante para os produtores, tornando-se um dos principais desafios tecnológicos. Esses, devem ter conhecimento profundo dos processos e equipamentos. Os estudos futuros sobre essas cervejas precisam se concentrar na caracterização das matérias-primas, composição química dessas, diferentes leveduras e bactérias fermentadoras para modular o sabor e outras propriedades sensoriais da cerveja, e a escolha de métodos de remoção de álcool que menos impactam nessas propriedades. (SALANTÁ et al., 2020)

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

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Equipamentos

- Panela elétrica de 25 L *Single Vessel*;
- Moinho de discos ranhurados, marca MOLDAR INOX, modelo hobby JB-25 kg;
- Refratômetro de bancada: marca REICHERT, modelo r²i300;
- Balança semi-analítica: marca GEHAKA, modelo BG2000;
- Medidor de pH: 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.

2.1.2 Matérias-primas

2.1.2.1 Água

A água usada 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) instalados no local onde a cerveja foi produzida.

2.1.2.2 Lúpulo

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

2.1.2.3 Malte

Malte de cevada tipo Pilsen, marca Soufflet do Brasil Ltda. Cor: 3,6 *European Brewing Convention*; Poder diastático ($^{\circ}WK$): 286; Betaglucanos: 171 mg/L; Friabilidade: 92,5%. Malte tipo *Pale Ale*, marca *Viking Malt*. Cor: 6,6 *European Brewing Convention*; Poder

Diastático ($^{\circ}WK$): 193; Betaglucanos: 105 mg/L; Friabilidade: 80,9 %.

2.1.2.4 Levedura

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

2.1.2.5 Açúcar

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

2.2 Métodos

2.2.1 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 (R_i), 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

2.2.2 Fabricação da cerveja

As etapas a seguir descrevem as etapas da fabricação das cervejas.

2.2.2.1 Moagem

A fabricação da cerveja foi iniciada com a moagem de 2,5 kg de grãos 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.

2.2.2.2 Mosturação

Foram adicionados 20 L 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 min 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.

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

2.2.2.3 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 L, 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.

2.2.2.4 Fermentação

O mosto foi inoculado com a levedura *Ale* (0,4 g/L). O fermentador foi mantido em freezer horizontal 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.

2.2.2.5 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 meio de 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.

2.2.2.6 Maturação

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

2.2.2.6.1 Análise físico-química

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

2.2.2.6.2 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 alunos da graduação de universidade pública localizada no interior do estado de São Paulo, totalizando 51 pessoas entre 18 e 30 anos de idade. Foram servidos aproximadamente 20 mL de cerveja (5 °C) em taças de vidro branco e transparente, que foram codificadas com números de três dígitos, ordenados de forma aleatória.

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

2.2.2.6.3 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 de regressão linear para os valores dos teores alcoólicos e temperaturas de mosturação (T1, T2, T3).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 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) A refermentação no interior da garrafa (*priming*), 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.

A acidez está relacionada ao gosto ácido da cerveja. Muitos ácidos orgânicos e o gás carbônico, quando dissolvido na cerveja, determinam o nível de acidez, que é expressa em termos de ácido láctico. A concentração total de ácidos em cerveja está entre 0,1 % e 0,3 %. A cerveja é, portanto, levemente ácida e seu pH está na faixa de 4 a 5 (SPEDDING, 2020).

Os tratamentos T1, T2 e T3 diferiram estatisticamente entre si no 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 os resultados da Tabela 2 verifica-se, através do parâmetro Extrato Real, que houve um aumento considerável na quantidade de extrato do tratamento T3, aproximadamente 40 % a mais que no tratamento T1. Observa-se também a relação inversa entre o teor de extrato (aparente e real) e o teor alcoólico.

Tabela 2. Análise físico-químicas das cervejas.

Parâmetros	T1	T2	T3
pH	4,55±0,04a	4,58±0,10a	4,63±0,04a
Acidez (% m/v ácido láctico)	0,12±0,01a	0,11±0,01a	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±0,16a	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±0,07a	1,91±0,03a

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

Ainda analisando os dados da Tabela 2, observa-se diferença estatística significativa entre os tratamentos nos parâmetros de amargor, cor e turbidez.

À medida que se eleva a temperatura de mosturação, a turbidez da cerveja também aumenta, indicando a presença de maior concentração de sólidos em suspensão nas bebidas. 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.

Observou-se que as cervejas que foram mosturadas na temperatura de 80 °C apresentaram maior resultado de amargor na análise físico-química. Uma possível explicação seria que em temperaturas mais elevadas de mosturação ocorreria maior extração de componentes do malte (vide resultados e cor e turbidez), entre eles alguns que são absorvidos no mesmo comprimento de onda utilizado na análise de amargor da cerveja,

pois o valor deveria ser próximo dos outros tratamentos, uma vez que a quantidade adicionada de lúpulo e o tipo de lúpulo forma os mesmos nos três tratamentos.

A cerveja produzida neste trabalho é classificada como “cerveja” em relação ao conteúdo alcoólico, segundo a Instrução Normativa 68 de 10 de dezembro de 2019, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A cerveja do tratamento T3, foi a que apresentou menor teor alcoólico, aproximadamente 50 % menor que as cervejas comerciais, porém não pode ser classificada como cerveja de baixo teor alcoólico, segundo a legislação citada acima, pois apresentou teor maior que 2 % (ABV).

3.2 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, Regazzi e Carneiro (2012), este fato torna os cálculos estatísticos e a interpretação mais simples do que em outros métodos.

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 (PIEDADE, et al., 2019).

Tabela 2. 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

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. Quanto mais açúcar é adicionado no *priming*, maior será carbonatação, algumas cervejas especiais belgas vigorosamente carbonatadas usam até 14 g de açúcar por L (MARCHBANKS, 2012).

Tabela 3. 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 1 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 (tabela 2). Mostra também que os resultados das variáveis Extrato Real e Extrato Aparente, são diretamente proporcionais as variáveis Cor e Turbidez, ou seja, à 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,

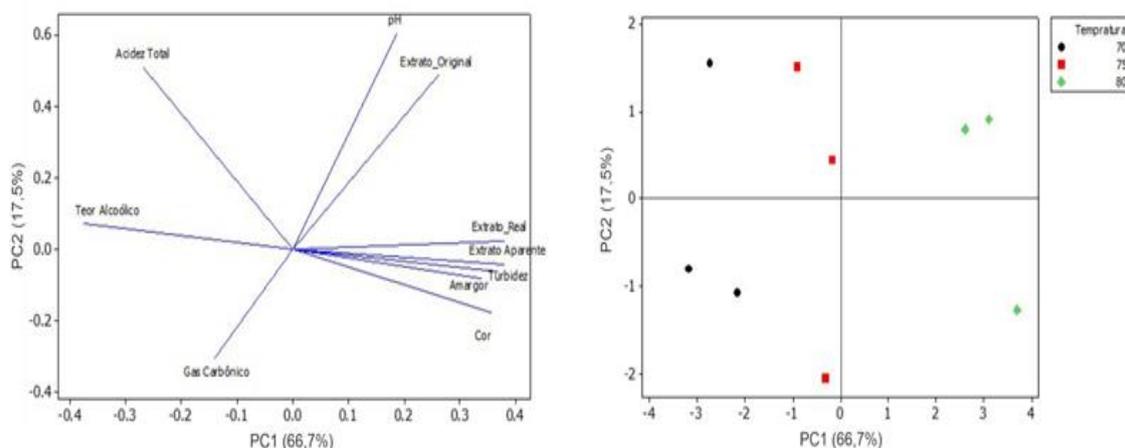
aumentando o teor de sólidos solúveis e consequentemente aumentando a Cor e a Turbidez.

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 1).

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 1. Polifenóis de alto peso molecular pode 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 1).

Figura 1. Biplot exibindo autovetores e pontuações para PC1 e PC2 e Biplot exibindo tratamentos (T1, T2 e T3) e pontuações para PC1 e PC2



3.3 Análise Sensorial

A Tabela 5 mostra os resultados da análise sensorial. 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).

No geral, as cervejas dos tratamentos T1 e T3 apresentaram diferenças estatísticas significativa nos parâmetros de Odor, Sabor e Avaliação Global. Nesses mesmos parâmetros,

T1 e T2, bem como, T2 e T3, não apresentaram diferenças estatísticas significativa. Já no parâmetro de Cor, T1, T2 e T3, não apresentaram diferenças estatísticas significativa.

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 5), os provadores atribuíram notas semelhantes para todos os tratamentos, não havendo diferença estatística entre eles. Isso indica que os provadores gostaram igualmente de todas as intensidades de cor das cervejas.

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).

Já para os atributos odor, 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 aumentam a quantidade de polifenóis no mosto. Os polifenóis envolvidos na formação da turbidez da cerveja são os taninos, esses compostos

fenólicos estão relacionados com a adstringência, sensação na boca indesejável na cerveja (RYDER; POWER, 2006).

4 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais em que os ensaios foram realizados pode-se concluir que é possível produzir cerveja com baixo teor alcoólico elevando 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.

5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF BREWING CHEMISTS. **Methods of analysis of the American Society of Brewing Chemists**. Madison: ASBC, 1958.

BEHRENS, J. Análise sensorial de bebidas. *In*: VENTURINI FILHO, W. G. **Industria de bebidas: inovação, gestão e produção**. São Paulo: Blucher, 2011. v.3, cap. 9, p. 183-213.

BOULTON, C.; QUAIN, D. The brewing process. *In*: BOULTON, C.; QUAIN, D. **Brewing: yeast and fermentation**. London: Blackwell, 2001. p. 19-68.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. 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: 04 Jul. 2022.

BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. Beer maturation and treatments. *In*: BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. **Brewing: science and practice**. Cambridge: CRC Press, 2004. cap. 15. p. 543-601.

CRUZ, C. D.; REGAZZI A. J.; CARNEIRO P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012.

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

FRANCESCO, G.; TURCHETTI, B.; SILEONI, V.; MARCONI, O.; PERRETTI, G. Screening of new strains of *Saccharomyces ludwigii* and *Zygosaccharomyces rouxii* to produce low-alcohol beer. **Journal of the Institute of Brewing**, London, n. 121, p. 113-121, 2015.

GRESSER, A. Properties and quality. *In*: EBLINGER, H. M. **Handbook of Brewing: processes, technology, markets**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. cap. 15. p. 380-381.

ISERENTANT, D. Beers: recent technological innovations in brewing. *In*: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. **Fermented Beverage Production**. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1995. cap. 3, p. 45-61.

IVANOV, K.; PETELKOV, I.; SHOPSKA, V.; DENKOVA, R.; GOCHEV, V.; KOSTOV, G. Investigation of mashing regimes for low-alcohol beer production. **Journal of the Institute of Brewing**, London, n. 122, p. 508-516, 2016.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, New York, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

KROTTENTHALER, M. Hops. *In*: EBLINGER, H. M. **Handbook of Brewing: processes, technology, markets**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. cap. 3, p. 85-101.

KROTTENTHALER, M.; BACK, W.; ZARNKOW, M. Wort production. *In*: EBLINGER, H. M. **Handbook of Brewing**: processes, technology, markets. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. cap. 7, p. 165-173.

MARCHBANKS, C. J. Priming Sugar. *In*: OLIVER, Garrett. **The Oxford Companion to Beer**. New York: Oxford University Press, 2012. p. 863-864.

MULLER, C.; NEVES, L. E.; GOMES, L.; GUIMARÃES, M.; GHEST, G. Processes for alcohol-free beer production: a review. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 40, n. 2, p. 273-281, 2020.

PIEIDADE, G. N.; VIEIRA, L. V.; SANTOS, A. R. P.; AMORIM, D. J.; ZANOTTO, M. D.; SARTORI, M. M. P. Principal component analysis for identification of superior castor. **Journal of Agricultural Science**. Ontario, v. 11, n. 9, p. 179-187, 2019.

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

RYDER, D. S.; POWER, J. Miscellaneous ingredients in aid of the process. *In*: PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. Cambridge: CRC Press, 2006. cap. 9, p. 334-378.

SALANTĂ, L. C.; COLDEA, T. E.; IGNAT, M. V.; POP, C. R.; TOFANĂ, M.; MUDURA, E.; BORSA, A.; PASQUALONE, A.; ZHAO, H. Non-Alcoholic and Craft Beer Production and Challenges. **Processes**, Basileia, v. 8, n. 1382, p. 1-23, 2020.

SPEDDING, G. Acidez. *In*: OLIVER, G.; MENDES, I. **O Guia Oxford da Cerveja**. São Paulo: Blucher, 2020, p. 33-34.

VARELA, J.; VARELA, C. Microbiological strategies to produce beer and wine with reduced ethanol concentration. **Current Opinion in Biotechnology**. Amsterdam, v.56, p. 88-96, 2019.

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