

Artigo

Influência do Processamento e da Matéria Prima nas Características Físico-Químicas de Cerveja Lager Produzida em uma Microcervejaria

Kutkoski, R. F.;* Cabrera, L. C.; da Rosa, M. R.; Felsner, M. L.

Rev. Virtual Quim., 2019, 11 (3), 720-740. Data de publicação na Web: 3 de junho de 2019

<http://rvq.sbq.org.br>

Influence of the Processing and Raw Material in the Physicochemical Characteristics of the Lager Beer produced in the Microbrewery

Abstract: In this work the influence of processing and raw material on the physicochemical characteristics of Lager beer produced in a Microbrewery was studied by the application of appropriate statistical tests (ANOVA and Pearson's linear correlation). For this purpose, physicochemical analyzes of pH, acidity, bitterness, color and alcoholic degree were carried out in samples collected at the end of the main stages of production process (brassage, boiling, fermentation and maturation) and the data were analyzed statistically. The results of the Analysis of Variance of the processing and sampling factors indicated that there were significant differences in all stages of the beer production process ($p < 0.05$), between the samples analyzed ($p < 0.05$) and a significant interaction effect ($p < 0.05$) between the processing and sampling factors for all physicochemical characteristics evaluated. The differences observed between the processing steps and between the analyzed samples can be explained by the alkalinity of the water used in the manufacture, the changes of batches of raw material and the changes in the beverage formulation. To better understand how the processing steps, raw material changes and formulation changes affect the physicochemical characteristics of prepared Lager beer, linear correlation analyzes were performed at the 95 % confidence level. Significant negative linear correlations between acid malt proportion and values of pH of brassage step ($r = -0.983$, $p = 0.000$), boiling step ($r = -0.950$, $p = 0.000$) and maturation step ($r = -0.949$; $p = 0.000$) and inversely significant positive linear correlations with the traditional malt ratio and the pH values of the brassage stage ($r = 0.958$, $p = 0.000$), boiling stage ($r = 0.898$, $p = 0.001$), fermentation stage ($r = 0.749$; $p = 0.020$) and maturation stage ($r = 0.909$; $p = 0.001$) showed that the type of malt used, as well as the proportion adopted in the beverage formulation has a great influence on the pH values of all stages of the Lager beer brewing process. A significant positive linear correlation was observed between the pH values of the boiling stage and the bitterness of the maturation stage ($r = 0.717$; $p = 0.030$) suggesting that the Lager beer bitterness is strongly influenced by the pH values of the boiling stage. Similarly, the color of Lager beer is directly proportional to the proportion of traditional malt adopted in the formulation as visualized by the positive linear correlation ($r = 0.636$; $p = 0.000$) among these variables. A one-factor Analysis of Variance showed significant differences between the samples of the maturation stage ($p < 0.05$) for all the physicochemical characteristics studied. Despite the verified statistical differences, the evaluation of the physicochemical parameters in the beer samples of stage of maturation showed an adequate quality according to the standards cited in the literature for the Lager beer style.


Keywords: Processing; raw material; physicochemical analysis; statistical analysis; Lager beer; Microbrewery.

Resumo

Neste trabalho foi estudada a influência do processamento e da matéria prima nas características físico-químicas de cerveja Lager produzida em uma Microcervejaria pela aplicação de testes estatísticos adequados (ANOVA e correlação linear de Pearson). Para esta finalidade análises físico-químicas de pH, acidez, amargor, cor e grau alcoólico foram realizadas em amostras coletadas ao final das principais etapas de produção (brassagem, fervura, fermentação e maturação) e os dados foram analisados estatisticamente. Os resultados da Análise de Variância dos fatores processamento e amostragem indicaram que existem diferenças significativas em todas as etapas do processo produtivo de cerveja ($p < 0,05$), entre as amostras analisadas ($p < 0,05$) e um efeito de interação significativo ($p < 0,05$) entre os fatores processamento e amostragem para todas as características físico-químicas avaliadas. As diferenças observadas entre as etapas de processamento e entre as amostras analisadas podem ser explicadas pela alcalinidade da água utilizada na fabricação, as mudanças de lotes de matéria prima e as alterações de formulação da bebida. Para melhor compreender como as etapas de processamento, as mudanças de matéria prima e as mudanças de formulação afetam as características físico-químicas da cerveja Lager preparada foram realizadas análises de correlação linear no nível de 95 % de confiança. Correlações lineares negativas significativas entre a proporção de malte ácido e os valores de pH das etapas de brassagem ($r = -0,983$; $p = 0,000$), de fervura ($r = -0,950$; $p = 0,000$) e de maturação ($r = -0,949$; $p = 0,000$) e de forma inversa correlações lineares positivas significativas com a proporção de malte tradicional e os valores de pH da etapa de brassagem ($r = 0,958$; $p = 0,000$), de fervura ($r = 0,898$; $p = 0,001$), de fermentação ($r = 0,749$; $p = 0,020$) e de maturação ($r = 0,909$; $p = 0,001$) demonstraram que o tipo de malte utilizado, bem como a proporção adotada na formulação tem grande influência nos valores de pH de todas as etapas do processo de fabricação de cerveja Lager. Foi observada também uma correlação linear positiva significativa entre os valores de pH da etapa de fervura e o amargor da etapa de maturação ($r = 0,717$; $p = 0,030$) sugerindo que o amargor da cerveja Lager é fortemente influenciado pelos valores de pH da etapa de fervura. De forma similar a cor das cervejas Lager é diretamente proporcional a proporção de malte tradicional adotada na formulação como visualizado pela correlação linear positiva ($r = 0,636$; $p = 0,000$) entre estas variáveis. Uma análise de variância de um fator mostrou diferenças significativas entre as amostras da etapa de maturação ($p < 0,05$) para todas as características físico-químicas estudadas. Apesar das diferenças estatísticas verificadas, a avaliação dos parâmetros físico-químicos na etapa da maturação mostrou uma qualidade adequada segundo os padrões citados na literatura para o estilo de cerveja Lager.

Palavras-chave: Processamento; matéria prima; análises físico-químicas; análises estatísticas; cerveja; microcervejaria.

* Universidade Estadual do Centro Oeste, Departamento de Química, Campus Cedeteg, CEP 85040-080, Guarapuava-PR, Brasil.

 kutkoski@hotmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20190053](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190053)

Influência do Processamento e da Matéria Prima nas Características Físico-Químicas de Cerveja *Lager* Produzida em uma Microcervejaria

Rafael Francisco Kutkoski,^a Liziara da Costa Cabrera,^b Marcos Roberto da Rosa,^a Maria Lurdes Felsner^a

^a Universidade Estadual do Centro-Oeste, Departamento de Química, Campus Cedeteg, CEP 85040-080, Guarapuava-PR, Brasil.

^b Universidade Federal da Fronteira Sul, Departamento de Química, Campus Cerro Largo, CEP 97900-000, Cerro Largo-RG, Brasil.

* kutkoski@hotmail.com

Recebido em 17 de agosto de 2019. Aceito para publicação em 22 de abril de 2019

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

2.1. Amostragem

2.2. Análise Físico-Química

2.3. Análise estatística

3. Resultados e Discussões

3.1. Influência das etapas de processamento de cerveja *Lager* (brassagem, fervura, fermentação e maturação) nos valores de pH.

3.2. Influência das etapas de processamento de cerveja *Lager* (brassagem, fervura, fermentação e maturação) nos valores de acidez.

3.3. Influência das etapas de processamento de cerveja *Lager* (Fervura e Maturação) nos valores de amargor.

3.4. Influência da etapa de maturação na composição físico-química de cerveja Lager

4. Conclusão

1. Introdução

A cerveja é uma bebida de baixo teor alcoólico (entre 4,0 e 6,0 %), produzida por processo fermentativo que utiliza como principais ingredientes água, malte, lúpulo e levedura. Esta mistura complexa pode

apresentar diferentes proporções de compostos aromáticos (ácido gálico, ácido vanílico, ácido siríngico, furfural, 5 hidroximetilfurfural, vanilina), um teor de iso- α -ácidos e demais substâncias orgânicas (pigmentos, taninos, proteínas, compostos fenólicos, íons metálicos, entre outros) importantes para a qualidade desse produto,

desse modo, necessitando de um rigoroso controle de qualidade.^{1,2}

Um estudo realizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2014) mostrou que o aumento de renda da população brasileira impulsionou o mercado de bebidas, principalmente dos produtos artesanais. Grande parte desse aumento está relacionado à produção de cervejas artesanais produzidas em microcervejarias.³

As microcervejarias surgiram na década de 80 e a maioria delas está localizada nas regiões sul e sudeste do país, avançando atualmente para outras regiões. Essas empresas oferecem produtos diferenciados a seus clientes os quais apresentam sabor e aroma mais pronunciado, sendo estes enquadrados em um novo mercado composto por estilos diferentes, rótulos chamativos e a adição de algumas especiarias resultando em cervejas exóticas. É importante mencionar também que as microcervejarias tem uma preocupação envolvendo o modo artesanal em seu processo de produção, desse modo, diferenciando-se das grandes cervejarias tradicionais, atendendo ao perfil de um consumidor mais exigente, em termos de qualidade, que busca um produto diferenciado, independente do preço.^{4,5,6}

Apesar disso, as microcervejarias são altamente dependentes da disponibilidade de matérias primas como leveduras, malte, lúpulo e outros ingredientes, pois a aquisição dos mesmos se dá em pequenas quantidades de acordo com o fluxograma de produção.⁵ Desse modo, os produtos formulados ficam mais sujeitos a variações em sua composição química e sensorial devido às mudanças de lotes de matéria prima do que as cervejas produzidas em grandes cervejarias.⁴ Então, o grande desafio das microcervejarias é produzir uma cerveja artesanal que mantenha suas características intrínsecas e sensoriais a cada novo lote.

O processo de produção de cerveja é composto basicamente por: (1) brassagem que consiste na produção do mosto cervejeiro através da extração e hidrólise dos compostos

da cevada malteada seguido de uma separação dos componentes insolúveis; (2) fervura do mosto no qual é adicionado o lúpulo; (3) fermentação e maturação e (4) processamento final (filtração, estabilização e engarrafamento).^{2,7} Apesar do processo de fabricação ter grande influência nas características da cerveja produzida, ainda na literatura são escassos os estudos dedicados a avaliar como estas etapas do processo produtivo e como as mudanças de formulação e de matéria prima interferem nas características físico-químicas e sensoriais das cervejas produzidas, especialmente para as cervejas artesanais elaboradas em microcervejarias.⁸

Assim, neste trabalho foi realizada de forma inédita uma avaliação da influência do processo produtivo e de mudanças de matéria prima e de formulação em uma Microcervejaria da região de Guarapuava (PR) por meio de análises físico-químicas e estatísticas. Nesse estudo foi avaliada a influência nos parâmetros físico-químicos de pH, acidez, grau alcóolico, amargor e cor, das etapas de produção de cerveja (brassagem, fervura, fermentação e maturação) e das mudanças de formulação e de matéria prima. Para atestar a significância do trabalho foram aplicadas diferentes ferramentas estatísticas aos resultados.

2. Materiais e Métodos

2.1. Amostragem

As amostras referentes às quatro etapas de processamento foram coletadas de acordo com o fluxograma de operação de uma Microcervejaria localizada na cidade de Guarapuava - PR. durante um período de quatro meses (03 a 07 de 2017) totalizando nove amostras para cada etapa.

Nas etapas de brassagem e de fervura as amostras foram coletadas nos períodos da manhã e da tarde correspondendo a um total de 18 amostras. Durante o processo de

fabricação da cerveja, as etapas de brassagem e de fervura são realizadas em duas bateladas distintas, sendo que este material corresponde ao mosto. Após a conclusão da fervura e do resfriamento do mosto, os conteúdos das duas bateladas previamente fabricadas são unidos em um único tanque para a realização da fermentação e da maturação. Dessa forma, nas etapas de fermentação e de maturação foram coletadas nove amostras para cada tipo de análise físico-química a ser realizada. Todas as amostras foram acondicionadas em frascos de

polipropileno e resfriadas a 0 °C na Microcervejaria. Logo após, estas foram transportadas até o laboratório, armazenadas em freezer (-18 °C) e mantidas congeladas até algumas horas antes da realização das análises físico-químicas.

Na Tabela 1 são apresentadas informações sobre as mudanças presentes no lote de matéria prima (malte tradicional e lúpulo) e de formulação (variações nas proporções de malte tradicional e de malte ácido) adotadas na produção das nove amostras coletadas.

Tabela 1. Informações pertinentes sobre variações de lote de matéria prima e de formulação na produção das amostras de cerveja *Lager* na Microcervejaria

Amostras	Tipo de Matéria Prima		Mudanças de Formulação	
	Lote de Malte Tradicional*	Lote de Lúpulo**	Variação da Proporção de Malte Tradicional (%)***	Variação de Proporção de Malte Ácido (%)***
1	A	a	0,00	0,00
2	A	a	-0,18	0,00
3	B	a	0,00	0,00
4	B	a	-0,18	0,00
5	B	a	0,00	0,00
6	C	a	-1,14	+0,42
7	C	a	-1,28	+0,72
8	D	b	-2,04	+0,68
9	D	b	-1,95	+0,79

*codificação dos lotes de malte tradicional; ** codificação dos lotes de lúpulo; *** valores percentuais de variação na proporção de malte tradicional em que o sinal (-) indica diminuição de adição de malte e o sinal (+) indica aumento da adição de malte

2.2. Análise Físico-Química

Em todas as amostras coletadas foram realizadas as caracterizações físico-químicas de pH, acidez total, amargor, cor e grau alcóolico considerando-se as principais etapas do processo de fabricação da cerveja, ou seja, brassagem, fervura, fermentação e maturação. As medidas físico-químicas de pH

(método 168/IV), de acidez total (método 221/IV) e de grau alcóolico (método 247/IV) foram realizadas de acordo os Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos.⁹

O amargor da cerveja foi determinado pelo método 8.8 da Analytica – EBC, o qual é recomendado pelo European Brewery Convention.^{8,10} As amostras foram previamente filtradas com papel filtro e descarboxatadas em banho de ultrassom por

16 minutos. Uma alíquota de 10,0 mL da amostra foi retirada e acidificada com 1,0 mL de ácido clorídrico 6,0 mol L⁻¹. Em seguida adicionou-se 20,0 mL de iso-octano e a mistura foi colocada sob agitação a 250 rpm durante 15 min no Shaker. A emulsão formada foi centrifugada em 4000 rpm durante 5 min. A amostra foi transferida para cubeta de

quartzo com 10 mm de percurso óptico e foi realizada a medição espectrofotométrica na região do ultravioleta a 275 nm.

O amargor das amostras foi expresso em unidades de amargor (UA), sendo este valor calculado segundo a Equação 1.

$$\text{Amargor}_{UA} = Ab_{275\text{ nm}} \times 50 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

Ab é a absorvância em comprimento de onda de 275 nm;

UA é a unidade de medida de amargor.

A análise de cor nas amostras foi realizada de acordo com a Analytica-EBC¹¹ considerando as leituras no espectrofotômetro UV-VIS a 430 nm em cubeta de quartzo com caminho óptico de 1,0 cm, segundo a Equação 2:

$$\text{EBC Cor} = A_{430\text{ nm}} \times 25 \quad (\text{Equação 2})$$

2.3. Análise estatística

Para verificar se haviam diferenças significativas nos resultados da análise físico-química das amostras coletadas nas diferentes etapas do processo de produção (brassagem, fervura, fermentação e maturação) da Microcervejaria foram aplicadas análises de variâncias de um fator (*ANOVA one way*) e de dois fatores (*ANOVA two way*) no nível de 95 % de confiança. Um teste de comparação múltipla de médias de Tukey no mesmo nível de confiança também foi aplicado para identificar quais amostras diferem entre si para cada parâmetro físico-químico investigado. Análises de correlação linear de Pearson também foram realizadas no nível de 95 % de confiança para verificar se havia uma influência significativa das mudanças de matéria prima e de formulação nas características físico-químicas das diferentes amostras coletadas.

3. Resultados e Discussões

Os valores dos parâmetros físico-químicos de pH, acidez total, cor e grau alcoólico das amostras coletadas nas diferentes etapas do processo de produção de cerveja da Microcervejaria foram expressos como médias e desvios padrão e são apresentados nas Tabelas 2, 4, 6 e 9.

3.1. Influência das etapas de processamento de cerveja Lager (brassagem, fervura, fermentação e maturação) nos valores de pH

Os valores de pH das amostras das etapas de produção de cerveja na Microcervejaria são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de pH das etapas de processamento de cerveja Lager na Microcervejaria

Amostras	Etapas de Processamento de Cerveja			
	Brassagem*	Fervura*	Fermentação*	Maturação*
1	6,06	6,12	4,34	4,34
2	6,07	6,17	4,30	4,33
3	6,02	5,99	4,35	4,29
4	5,99	6,01	4,45	4,27
5	6,00	6,02	4,26	4,25
6	5,78	5,80	4,43	4,36
7	5,67	5,62	4,63	4,43
8	5,66	5,70	4,48	4,53
9	5,67	5,70	4,43	4,50

*Os respectivos desvios padrões para todas as medidas foram de 0,01, correspondente ao desvio padrão instrumental

Para verificar se havia influência das etapas de fabricação da cerveja Lager (brassagem, fervura, fermentação e maturação) e de amostragem nos valores de pH foi aplicada

uma análise de variância de dois fatores no nível de 95 % de confiança e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Análise de Variância de dois fatores (ANOVA two way) para análise da influência das etapas de processamento de cerveja Lager e da amostragem nos valores de pH

Fontes de Variação	g.l.	SQ	QM	F_{obs}	p -valor
Etapas	3	40,8	13,6	15374,6*	0,000
Amostragem	8	0,2	0,03	29,0**	0,000
Interação	24	1,3	0,06	62,7***	0,000
Resíduo	36	0,03	0,0009		
Total	71	42,4			

*Significativo quando o valor de F_{obs} referente ao fator etapas de processamento for maior do que o valor de $F_{crítico(0,05; 3,36)} = 2,92$;

** Significativo quando o valor de F_{obs} referente ao fator amostragem for maior do que o valor de $F_{crítico(0,05; 8,36)} = 2,27$;

*** Significativo quando o valor de F_{obs} referente ao efeito de interação entre os fatores etapas de processamento e amostragem for maior do que o valor de $F_{crítico(0,05; 24,36)} = 1,84$

Os resultados da ANOVA indicam que existem diferenças significativas nos valores

de pH entre as etapas de processamento de cerveja na Microcervejaria ($F_{obs} = 15374,6$ com

$p = 0,000$). Como ilustrado na Figura 1 observa-se que a variação nos valores de pH entre as etapas de brassagem e de fervura se mantem na faixa de 5,88 a 5,90 e entre as etapas de fermentação e de maturação na

faixa de 4,41 a 4,37, respectivamente. Entre as etapas de fervura e de fermentação há uma diminuição nos valores de pH de 1,49 unidades.

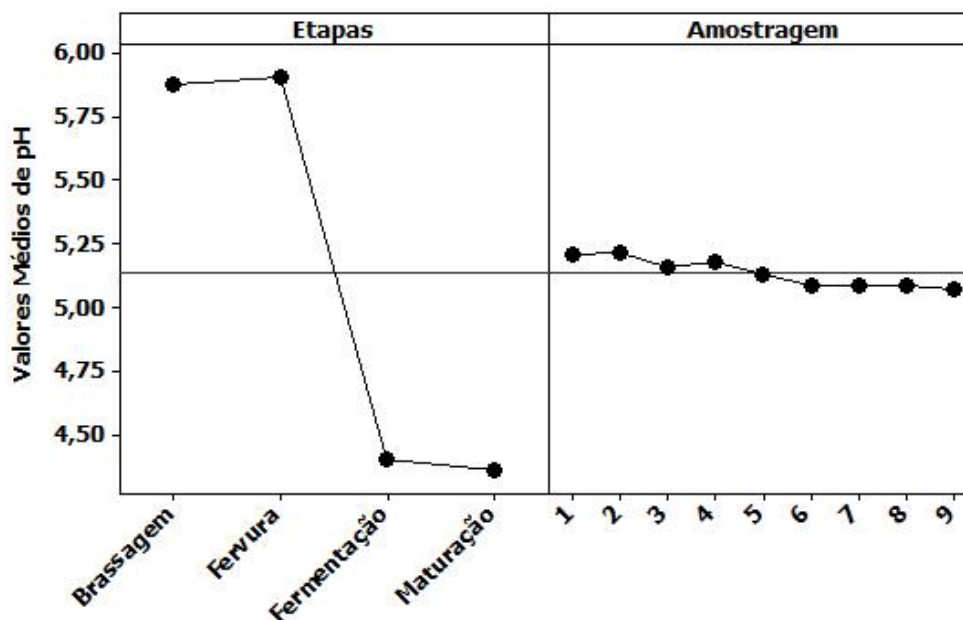


Figura 1. Gráfico de efeitos principais dos fatores etapas de processamento de cerveja Lager (brassagem (1), fervura (2), fermentação (3) e maturação (4) e amostragem (amostras 1 a 9) nos valores de pH

A etapa de brassagem é mais eficiente quando os valores de pH estão na faixa de 5,4 a 5,6 para β -amilase e 5,6 a 5,8 para α -amilase; essas enzimas são responsáveis pela decomposição do amido em maltose e dextrinas¹². As amostras 1 a 5 (Tabela 1) mostraram valores de pH acima da faixa ideal (5,99 a 6,07), indicando que a água usada no processo estava com excesso de alcalinidade¹³. O pH inicial da água utilizada no processo de fabricação da Microcervejaria estava variando de 9,5 a 10,5 (informação obtida de laudos técnicos), sendo que o valor de pH ideal da água usada para a produção de cerveja deve estar na faixa de 6,5 a 7,0. Foi realizada uma modificação na receita original da cerveja produzida (amostras 6 a 9) com a adição de um malte ácido (que contém de 1 a 2 % de ácido lático) (Tabela 1). Então foi possível observar que a partir da amostra 6 os

valores de pH se situaram entre 5,66 a 5,78 e estão mais próximos dos que são considerados ótimos para atuação das enzimas que participam dos processos de produção da cerveja.

É importante ressaltar que se a água utilizada no processo cervejeiro possuir alcalinidade em excesso durante a lavagem do bagaço do malte poderá levar a extração de substâncias amargas, a remoção inadequada de polifenóis do malte e a redução da atividade enzimática e a extração de cor.¹⁴

Na etapa da fervura os valores de pH devem se situar na faixa de 5,30 a 5,50.¹⁵ Esses valores de pH otimizam a reação de isomerização dos α -ácidos, a solubilização dos compostos presentes no lúpulo e o desenvolvimento de cor pela caramelização dos açúcares e pela reação de Maillard,¹⁶ e ao

final dessa etapa os valores de pH tem grande influência na coagulação das proteínas.¹⁷ A remoção deficiente das proteínas ao final da etapa de fervura pode afetar a redução do diacetil (2,3-butanodiona) (que pode ser formado durante a etapa de fermentação), provocar uma redução do amargor na cerveja pela diminuição do rendimento da reação de isomerização dos α -ácidos, além de ser fundamental para garantir uma boa estabilidade da cerveja produzida.¹⁸ Todas as amostras analisadas apresentaram valores de pH acima do valor ideal (5,62 a 6,17) (Tabela 2) para esta etapa de produção de cerveja, tornando-se necessária a realização de uma correção dos valores de pH para se obter uma melhor eficiência na etapa de fervura e posteriormente na etapa de fermentação. No entanto, a partir da amostra 6 observa-se que os valores de pH da etapa de fervura (5,62 a 5,80) se aproximaram mais do valor ideal de pH (5,30 a 5,50) para esta etapa de produção de cerveja.

Já na etapa de fermentação os valores de pH precisam estar na faixa de 4,50 a 5,50 para melhorar a eficiência da levedura.¹⁹ Como foi observado anteriormente os valores de pH ao final da fervura (5,62 a 6,17) estão acima do valor de pH ideal para iniciar o processo fermentativo, sendo necessária uma correção deste parâmetro físico-químico para aumentar a eficiência desta etapa.

Os valores de pH das amostras analisadas da etapa da fermentação (Tabela 2) (4,26 a 4,63) estão próximas do pH final da cerveja. Neste estudo foi observada uma redução de 1,49 unidades nos valores de pH entre as etapas de fervura e de fermentação. Este comportamento pode ser explicado considerando-se que ao final da fermentação os valores de pH sofrem uma redução em relação aos valores devido à formação de alguns ácidos orgânicos como ácido acético, ácido propanóico, ácido butanóico, ácido

pentanóico, ácido octanóico, ácido láctico, ácido pirúvico e ácido succínico que são responsáveis pela redução dos valores de pH entre as etapas de fervura e de fermentação.^{5,19,20}

Na etapa de maturação os valores de pH devem estar na faixa de 4,00 a 5,00 sendo que valores de pH mais baixos melhoram a estabilidade da espuma e valores de pH acima de 4,50 podem favorecer o desenvolvimento de outros micro-organismos.^{8,17,20-22} Neste estudo, as amostras oriundas da etapa de maturação 1 a 5 que foram produzidas sem a adição de pequenas proporções de malte ácido apresentaram valores de pH mais baixos (4,25 a 4,34) e inferiores a 4,50 demonstrando que estes valores propiciam uma melhora da estabilidade da espuma. As amostras 8 e 9 que tinham em sua formulação maior proporção de malte ácido mostraram valores de pH em torno de 4,50 (Tabela 2). Em vista destes resultados, pode-se sugerir que nesta etapa do processo de produção de cerveja, todas as amostras apresentaram valores de pH dentro do recomendado na literatura.

O gráfico dos efeitos principais referente à análise de variância para avaliar a influência do processamento e da amostragem, ilustrado na Figura 1, mostra que existe um efeito muito significativo das etapas de produção de cerveja nos valores de pH. No entanto, a variação de pH entre as amostras foi pequena, indicando que apesar das mudanças de matéria prima e de formulação (Tabela 1) não houve variações muito acentuadas nos valores médios de pH em cada etapa do processo produtivo de cerveja.

Os valores médios de pH das amostras coletadas durante o processo de produção de cerveja na Microcervejaria são apresentados no gráfico de efeito de interação ilustrado na Figura 2.

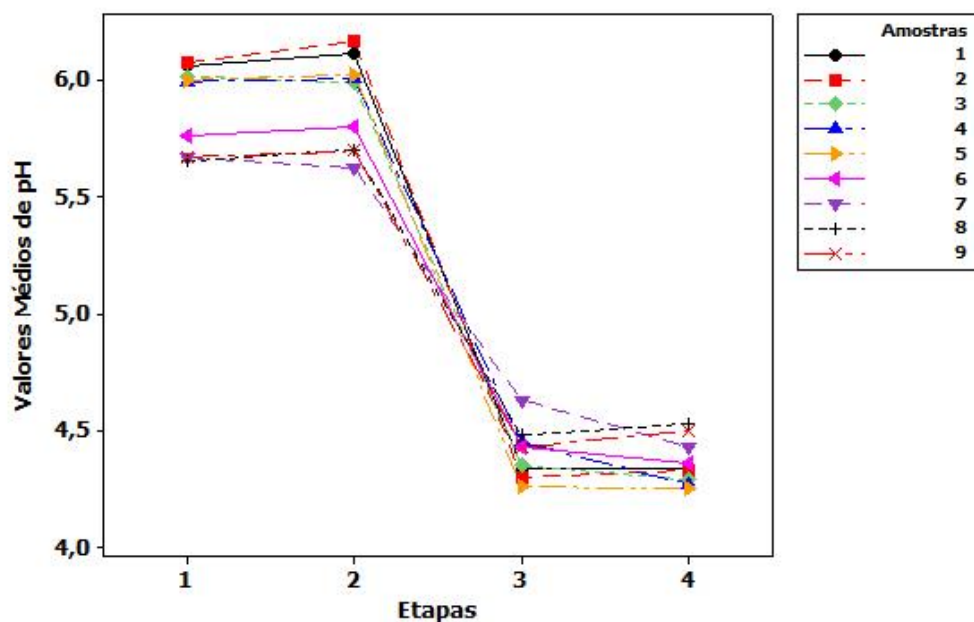


Figura 2. Gráfico do efeito de interação dos fatores etapas de processamento de cerveja Lager (brassagem (1), fervura (2), fermentação (3) e maturação (4) e amostragem (amostras 1 a 9) nos valores de pH

O gráfico do efeito de interação (Figura 2) sugere que há similaridade entre as etapas de brassagem e de fervura e entre as etapas de fermentação e de maturação com relação ao parâmetro físico-químico investigado. Foram observados valores de pH mais baixos nas duas últimas etapas em relação às duas primeiras.

Em relação às amostras coletadas se observa que as variações de pH entre as quatro etapas estão relacionadas às mudanças de matéria prima e de formulação (Tabela 1, Figura 2). As amostras 1 e 2 apresentaram valores similares de pH entre as etapas e foram fabricadas com o lote A de malte tradicional adicionado em proporções similares na formulação destas amostras (Tabela 1). O mesmo comportamento é observado nas amostras 3, 4 e 5 e estas foram produzidas com o lote B de malte e em proporções similares às adotadas para as amostras 1 e 2. A partir da amostra 6 foi observado um comportamento diferenciado nos valores de pH em relação às amostras 1 a 5. A partir da amostra 6 há uma diminuição nos valores de pH das etapas de brassagem e de fervura e um leve aumento nos valores de

pH nas etapas de fermentação e de maturação (Figura 1). Esses resultados podem ser explicados por mudanças nos lotes de malte tradicional (lote C para as amostras 6 e 7 e lote D para as amostras 8 e 9) e pela adição em concentrações crescentes de malte ácido, com conseqüente redução do malte tradicional nas formulações 6 a 9 como mostrado na Tabela 1. Nas amostras 8 e 9 também foi alterado o lote de lúpulo (lote B) em relação às demais amostras (lote A de lúpulo) (Tabela 1).

Para verificar se havia influência das proporções de malte tradicional e de malte ácido adicionado nos valores de pH das amostras analisadas entre as quatro etapas do processo produtivo de cerveja foram realizadas análises de correlação linear no nível de 95 % de confiança. Foram observadas correlações lineares negativas significativas entre a proporção de malte ácido e os valores do pH da etapa de brassagem ($r = -0,983$; $p = 0,000$), entre a proporção de malte ácido e os valores de pH da etapa de fervura ($r = -0,950$; $p = 0,000$), entre a proporção de malte ácido e os valores de pH da etapa de maturação ($r = -0,949$; $p = 0,000$) indicando que quando

umenta a proporção de malte ácido nas formulações há uma diminuição dos valores de pH nestas etapas. De maneira inversa foram observadas correlações lineares positivas significativas entre a proporção de malte tradicional adicionado e os valores de pH das etapas de brassagem ($r = 0,958$; $p = 0,000$), de fervura ($r = 0,898$; $p = 0,001$), de fermentação ($r = 0,749$; $p = 0,020$) e de maturação ($r = 0,909$; $p = 0,001$) nas amostras investigadas. Estes resultados demonstram que o tipo de malte utilizado, bem como a proporção adotada na formulação tem grande

influência nos valores de pH de todas as etapas do processo de fabricação de cerveja.

3.2. Influência das etapas de processamento de cerveja *Lager* (brassagem, fervura, fermentação e maturação) nos valores de acidez

Os valores de acidez das amostras das etapas de processamento de cerveja são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios de acidez (mEq L^{-1}) e respectivos desvios padrão das etapas de processamento de cerveja *Lager* na Microcervejaria

Amostra	Etapas de Processamento de Cerveja			
	Brassagem	Fervura	Fermentação	Maturação
1	22,64±0,62	13,92±0,95	19,04±1,00	25,28±1,82
2	21,76±1,21	13,12±0,48	22,26±1,54	26,24±1,46
3	22,32±0,68	16,00±0,48	25,44±1,27	29,28±1,73
4	22,32±0,68	13,92±1,08	22,26±0,92	20,83±0,39
5	20,72±0,86	13,29±0,93	22,00±0,75	21,08±0,52
6	24,60±0,72	14,16±0,95	25,17±0,63	24,50±1,15
7	24,16±0,81	13,77±1,10	25,25±1,09	29,50±1,09
8	22,83±0,11	14,92±0,31	23,53±0,24	19,75±0,66
9	21,20±0,14	14,08±0,14	21,44±0,37	21,83±0,76

Para verificar se havia influência das etapas de brassagem, fervura, fermentação e maturação na acidez da cerveja *Lager* produzida na Microcervejaria e da

amostragem foi aplicada uma análise de variância de dois fatores aos valores de acidez no nível de 95 % de confiança e os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Análise de Variância de dois fatores (ANOVA two way) para análise da influência das etapas de processamento de cerveja *Lager* e da amostragem nos valores de acidez (mEq L⁻¹)

Fontes de Variação	g.l.	SQ	QM	F_{obs}	p -valor
Etapas	3	1725,2	575,1	858,5*	0,000
Amostragem	8	238,6	29,8	44,5**	0,000
Interação	24	283,2	11,8	17,6***	0,000
Resíduo	72	48,2	0,7		
Total	107	2295,3			

*Significativo quando o valor de F_{obs} referente ao fator etapas de processamento for maior do que o valor de $F_{crítico}(0,05; 3,72) = 3,32$

** Significativo quando o valor de F_{obs} referente ao fator amostragem for maior do que o valor de $F_{crítico}(0,05; 8,72) = 2,39$

*** Significativo quando o valor de F_{obs} referente ao efeito de interação entre os fatores etapas de processamento e amostragem for maior do que o valor de $F_{crítico}(0,05; 24,72) = 1,86$.

Os resultados indicam que existem diferenças significativas nos valores de acidez entre as etapas de produção de cerveja ($F_{obs} = 858,5$ com $p = 0,000$). Como ilustrado na Figura 3 observa-se uma redução nos valores de acidez entre as etapas de brassagem e de

fervura de 8,5 mEq L⁻¹. As amostras coletadas para as etapas do processo de fabricação de cerveja mostraram também diferenças significativas (Tabela 5) nos valores de acidez ($F_{obs} = 44,5$ com $p = 0,000$), como ilustrado na Figura 3.

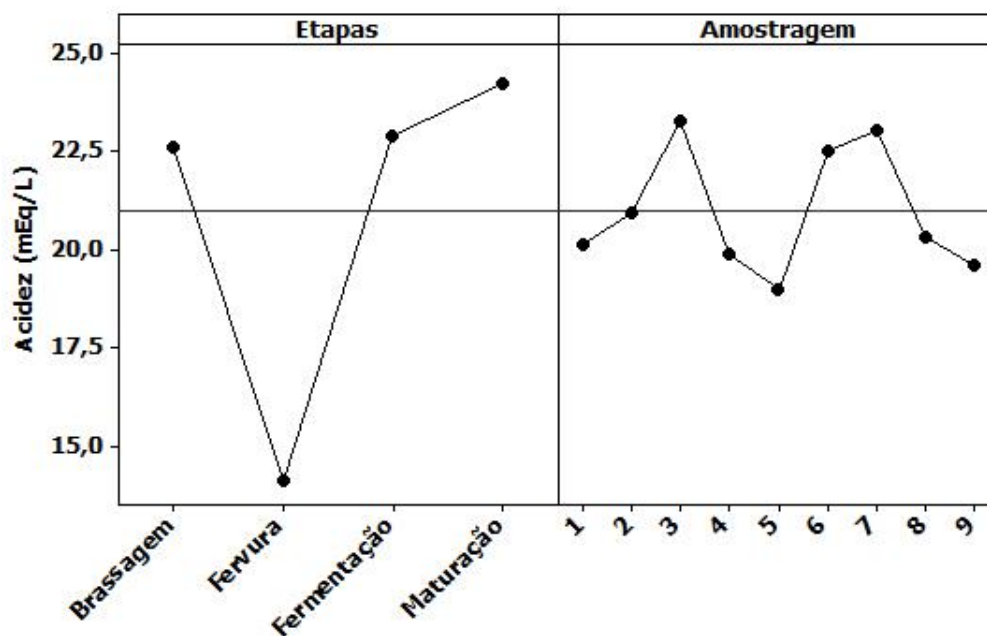


Figura 3. Gráfico de efeitos principais dos fatores etapas de processamento de cerveja *Lager* (brassagem, fervura, fermentação e maturação) e amostragem (amostras 1 a 9) nos valores de acidez

O mosto inicial que corresponde às etapas de brassagem e de fervura contém a maioria dos ácidos provenientes do malte, que podem sofrer variações durante o seu processamento.⁴ Na etapa de brassagem, Figura 4, pode-se observar valores de acidez que podem estar relacionadas aos ácidos graxos presentes no malte. Posteriormente, ocorre uma redução da acidez ao final da etapa de fervura que pode ser relacionada com a remoção do *trub* quente; este resíduo é constituído principalmente de proteínas correspondendo a aproximadamente 70 % em massa, e os outros 30 % desse resíduo são derivados de compostos como polifenóis, minerais, taninos, carboidratos e ácidos graxos.²³

Entre as etapas de fervura e de fermentação há novamente um aumento da acidez de 8,8 mEq L⁻¹ e entre as etapas de fermentação e de maturação há uma leve elevação da acidez de 1,3 mEq L⁻¹. Os valores de acidez observados nas amostras da etapa de fermentação podem ser provenientes da formação de ácidos orgânicos como o ácido

acético e o ácido fórmico.⁸ Esses ácidos são responsáveis pela elevação da acidez na etapa de fermentação como observados na Figura 3. Durante a fermentação ocorre também a formação de ésteres, resultado da reação entre álcoois e ácidos carboxílicos (ácido acético) através do metabolismo da levedura, os quais podem afetar os valores de acidez nesta etapa de produção da cerveja.^{3,24}

Além destes efeitos foi observado também um efeito de interação significativo entre os fatores avaliados (etapas do processo de fabricação e amostragem) nos valores de acidez. Como ilustrado na Figura 4 foi observado um comportamento similar para a acidez entre as amostras coletadas para as etapas de brassagem (valores de acidez entre 20,24 e 25,12 mEq L⁻¹) e de fermentação (valores de acidez entre 19,04 e 25,25 mEq L⁻¹). Na etapa de fervura houve maior variação entre os valores de acidez (11,67 a 16,48 mEq L⁻¹) nas amostras coletadas quando comparadas aos valores de acidez das demais etapas.

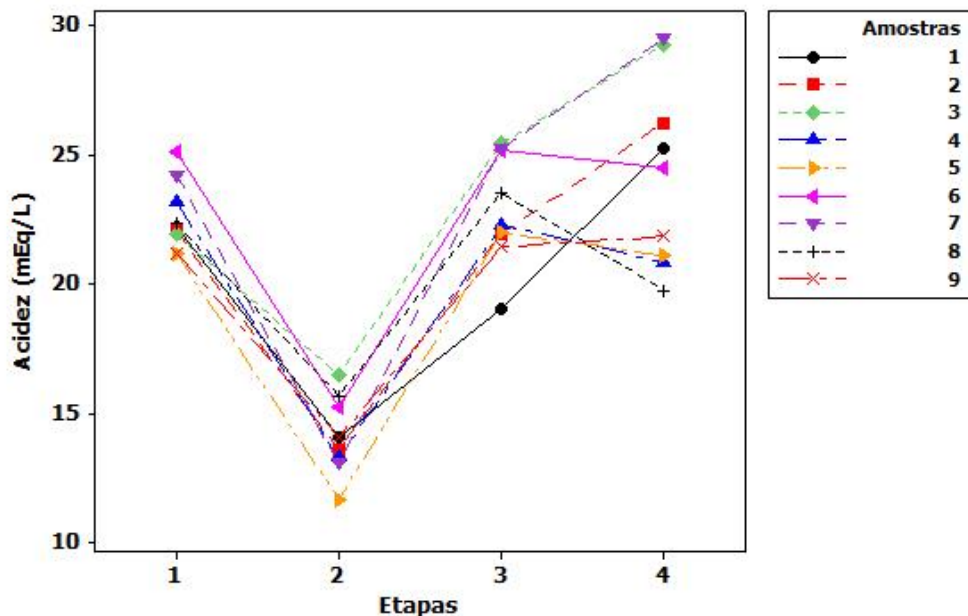


Figura 4. Gráfico de efeito de interação dos fatores etapas de processamento (brassagem (1), fervura (2), fermentação (3) e maturação (4)) e amostragem (amostras 1 a 9) nos valores de acidez de cerveja Lager

O gráfico de efeito de interação entre as etapas de produção e amostragem sugere que entre as etapas de brassagem e de fervura há um comportamento similar nos valores de acidez entre as amostras, sendo que os valores de acidez reduzidos na etapa de fervura foram recuperados durante a etapa da fermentação com valores de acidez próximos aos da etapa da brassagem. Uma diferenciação com relação à acidez foi observada entre as etapas de fermentação e de maturação em relação as amostras analisadas.

Houve um aumento de acidez (situando-se na faixa de 3,84 a 6,24 mEq L⁻¹) entre as etapas de fermentação e de maturação nas amostras 1, 2, 3 e 7 e uma diminuição da acidez (situando-se na faixa de 0,66 a 3,77 mEq L⁻¹) nas amostras 4, 5, 6 e 8. A amostra 9 sofreu um pequeno aumento de acidez igual a 0,39 mEq L⁻¹. Uma possível explicação para esse comportamento é que esses valores de acidez podem ser aumentados ou diminuídos pela conversão de ácidos orgânicos em ésteres.^{2,8,18,24}

3.3. Influência das etapas de processamento de cerveja Lager (fervura, maturação) nos valores de amargor

Para a avaliação do amargor foram realizadas análises deste parâmetro físico-químico somente nas etapas de fervura e de maturação. Isto se justifica pelo fato do lúpulo, ingrediente que confere o sabor amargo à cerveja, ser adicionado somente na etapa de fervura. As substâncias amargas extraídas podem sofrer transformações ou serem perdidas durante a etapa de fermentação e por isso, os valores de amargor são novamente avaliados na etapa de maturação, visando obter-se uma melhor compreensão do processo produtivo com relação a este parâmetro físico-químico. Os valores de amargor das etapas de fervura e de maturação referentes às amostras coletadas são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios de amargor e respectivos desvios padrão das etapas de processamento de cerveja (fervura e maturação) na Microcervejaria

Etapas de Processamento de Cerveja		
Amostra	Fervura (IBU)	Maturação (IBU)
1	26,71±1,62	12,55±0,18
2	24,05±0,29	11,58±0,10
3	26,94±0,65	12,78±0,08
4	27,71±0,21	12,40±0,13
5	23,69±0,65	11,33±0,08
6	22,38±0,22	10,38±0,10
7	24,52±0,81	11,23±0,15
8	18,60±0,15	9,10±0,09
9	20,10±0,18	9,30±0,05

* IBU (*International Bitter Units*)

Para verificar se havia influência das etapas de fervura e de maturação nos valores de amargor da cerveja *Lager* produzida na Microcervejaria e de amostragem foi aplicada

uma análise de variância de dois fatores aos valores de amargor no nível de 95 % de confiança e os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Análise de Variância de dois fatores (ANOVA *two way*) para análise da influência das etapas de processamento de cerveja *Lager* e da amostragem nos valores de amargor

Fontes de Variação	g.l.	SQ	QM	F_{obs}	p -valor
Etapas	1	2031,4	2031,4	51.864,5*	0,000
Amostragem	8	222,3	27,79	709,4**	0,000
Interação	8	37,4	4,67	119,2**	0,000
Resíduo	36	1,41	0,04		
Total	53	2292,4			

*Significativo quando o valor de F_{obs} referente ao fator etapas de processamento for maior do que o valor de $F_{crítico(0,05; 1,36)} = 5,51$

** Significativo quando o valor de F_{obs} referente ao fator amostragem for maior do que o valor de $F_{crítico(0,05; 8,36)} = 2,60$

Os resultados indicam que existem diferenças significativas nos valores de amargor entre as etapas de fervura e de maturação ($F_{obs} = 51.864,5$ com $p = 0,000$). Como ilustrado na Figura 5 observa-se uma redução média maior que 50 % nos valores de amargor entre as etapas de fervura e de maturação. As diferenças nos valores de

amargor entre as etapas de fervura e de maturação podem ser geradas durante a fermentação do mosto, onde no início da fermentação ocorre a formação de gás carbônico, que transporta as substâncias amargas até a parte superior do líquido e estas acabam sendo perdidas nas paredes dos tanques.^{8,25}

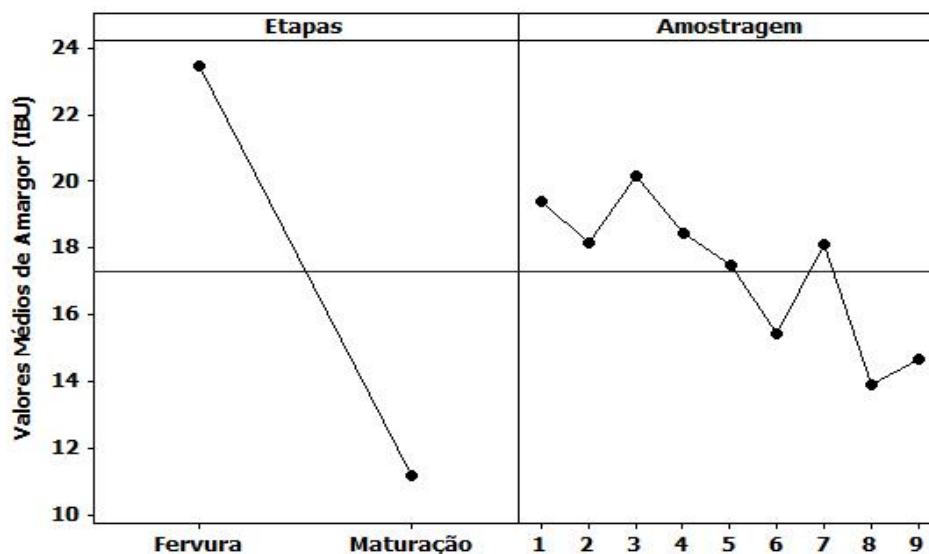


Figura 5. Gráfico de efeitos principais dos fatores etapas de processamento (fervura e maturação) e amostragem (amostras 1 a 9) nos valores de amargor de cerveja *Lager*

Os valores de amargor também podem sofrer uma redução na etapa de fervura quando a reação de isomerização dos α -ácidos for incompleta. Além desses fatores, as substâncias amargas podem ser absorvidas nos poros da levedura, e ao final da fermentação quando essas leveduras precipitam provocam perdas de amargor. A diminuição do pH na fermentação pela formação de ácidos orgânicos também afeta os valores de amargor.²⁶

Na etapa da fervura o lúpulo é adicionado para conferir amargor à cerveja, onde os α -ácidos são convertidos em iso- α -ácidos pela reação de isomerização. Esta reação tem rendimento de apenas 30 % devido ao fato de valores de pH menores não favorecerem a reação de isomerização²⁷. Como já descrito no item 3.1 o intervalo de pH ideal para a

isomerização dos α -ácidos presentes no lúpulo e responsáveis pelo amargor da cerveja é de 5,30 a 5,50 na etapa de fervura.

Como já mencionado, os α -ácidos, compostos que apresentam baixa solubilidade em meio aquoso (60 mg L⁻¹ a 100 °C), são convertidos em iso- α -ácidos, espécies solúveis nesta temperatura. Essa conversão resulta em diastereoisômeros cis-iso- α -ácidos e trans-iso- α -ácidos na proporção de 68 e 32 %, respectivamente. Estes diastereoisômeros possuem como característica principal um anel de cinco membros em sua estrutura. Ainda, segundo os autores²⁸ existem outras moléculas responsáveis por gerar amargor, porém, em menor intensidade, com a substituição dos radicais nas moléculas cis/trans-iso- α -ácidos, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Diferentes compostos geradores de amargor na cerveja

α -ácidos	Radical (R)	%
Humulona	CH ₂ CH(CH ₃) ₂	35-70
Cohumulona	CH(CH ₃) ₂	20-65
Adhumulona	CH(CH ₃)CH ₂ CH ₃	10-15
Préhumulona	CH ₂ CH ₂ CH(CH ₃) ₂	1-10
Posthumulona	CH ₂ CH ₃	1-3

Fonte: Adaptado de Varnan e Sutherland²⁹

As amostras coletadas para estas etapas do processo de fabricação de cerveja mostraram também diferenças significativas nos valores de amargor ($F_{obs} = 709,4$ com $p = 0,000$) como demonstrado na Figura 6. De maneira geral, as amostras 1 a 5 e a amostra 7 produziram valores de amargor maiores do que os observados nas amostras 6, 8 e 9.

Os valores de amargor nas diferentes amostras podem ser afetados pela utilização de lotes diferentes de lúpulo. Nas amostras analisadas neste trabalho foi utilizado o lote de lúpulo A nas amostras 1 a 7, as quais mostraram valores mais altos de amargor nas etapas estudadas (22,38 a 27,71 IBU na etapa de fervura e 10,38 a 12,78 IBU na etapa de

maturação) e o lote de lúpulo B nas amostras 8 e 9 as quais apresentaram valores mais baixos de amargor (18,60 a 20,10 IBU na etapa de fervura e 9,10 a 9,30 IBU na etapa de maturação) (Tabela 1). Estas diferenças entre as amostras também podem estar relacionadas com o rendimento da reação de isomerização dos α -ácidos que podem sofrer influência do pH do mosto, não sendo favorável em valores de pH mais ácidos.¹⁸

Para verificar se havia influência dos valores de pH da etapa de fervura nos valores de amargor das etapas de fervura e de maturação foram realizadas análises de correlação linear no nível de 95 % de confiança entre estas variáveis. Foram observadas

correlações lineares positivas significativas entre os valores de pH da etapa de fervura (Tabela 2) e os valores de amargor da etapa de maturação (Tabela 6) ($r = 0,717$; $p = 0,030$) e entre os valores de amargor da etapa de fervura e os valores de pH da etapa de fervura ($r = 0,630$; $p = 0,000$). Estes resultados sugerem que os valores de pH da etapa de fervura têm

grande influência nos valores de amargor das etapas de fervura e de maturação.

Além destes efeitos foi observado também um efeito de interação significativo entre os fatores avaliados (etapas do processo de fabricação e amostragem) nos valores de amargor (Figura 6).

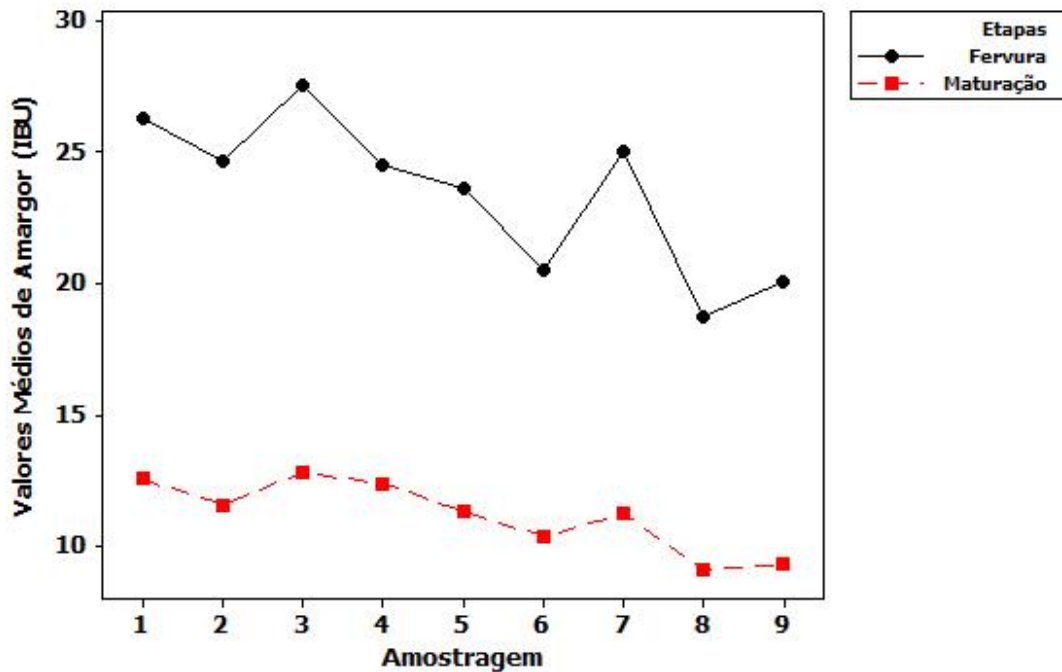


Figura 6. Gráfico de efeito de interação dos fatores etapas de processamento (fervura e maturação) e amostragem (amostras 1 a 9) nos valores de amargor de cerveja Lager

Foi verificado um comportamento similar de variação no parâmetro físico-químico amargor entre as amostras coletadas para as duas etapas do processo de fabricação (fervura e maturação) (Figura 6). No entanto, os valores de amargor foram sempre mais baixos na etapa de maturação quando comparados com a etapa de fervura em todo o período avaliado. Tal comportamento é esperado, uma vez que o amargor naturalmente decresce durante o processo de produção como observado na literatura.²⁶

É preciso também levar em consideração que cada estilo de cerveja produzido possui valores de amargor distintos. No caso de cervejas Lager esses valores variam na faixa de 8 a 40 IBU (International Bitter Units)³⁰, sendo

que cervejas brasileiras estilo pilsen (lager) geralmente possuem valores entre 8 e 20 IBU.

3.4. Influência da etapa de maturação na composição físico-química de cerveja Lager

Na etapa de maturação a cerveja já se encontra praticamente pronta para a comercialização. Em vista disso, nas amostras desta etapa do processo produtivo foram analisados vários parâmetros físico-químicos que são normalmente adotados para garantir a qualidade da cerveja consumida. Na Tabela 9 são apresentados os valores das análises físico-químicas realizadas nas amostras da

etapa de maturação do processo de produção de cerveja na Microcervejaria.

Tabela 9. Análise físico-química das amostras coletadas na etapa de maturação do processamento de cerveja Lager na Microcervejaria

Amostras	pH*	Acidez Total (mEqL ⁻¹) *	Cor (EBC) *	Grau Alcoólico (%)*	Amargor (IBU) *
1	4,34±0,01 ^{c,d}	25,28±0,19 ^b	6,34±0,04 ^d	5,40±0,04 ^a	12,55±0,18 ^{a,b}
2	4,33±0,01 ^{c,d}	25,60±0,25 ^{a,b}	6,62±0,05 ^c	5,10±0,05 ^{c,d}	11,58±0,10 ^c
3	4,29±0,01 ^{d,e}	29,28±0,18 ^a	8,22±0,03 ^a	5,23±0,03 ^b	12,78±0,08 ^a
4	4,27±0,01 ^e	20,87±0,11 ^d	6,68±0,06 ^{b,c}	5,21±0,04 ^{b,c}	12,40±0,13 ^b
5	4,25±0,01 ^e	21,08±0,10 ^d	6,73±0,15 ^{b,c}	5,18±0,05 ^{b,c}	11,33±0,08 ^{c,d}
6	4,36±0,01 ^c	24,50±0,23 ^{b,c}	6,78±0,16 ^{b,c}	4,97±0,05 ^e	10,38±0,10 ^e
7	4,43±0,01 ^b	29,50±0,22 ^a	6,87±0,04 ^b	5,15±0,02 ^{b,c,d}	11,23±0,15 ^d
8	4,53±0,01 ^a	19,75±0,13 ^d	5,42±0,04 ^e	5,06±0,03 ^{d,e}	9,10±0,09 ^f
9	4,50±0,01 ^a	21,83±0,15 ^{c,d}	5,25±0,03 ^e	5,21±0,06 ^b	9,30±0,05 ^f

*Pela aplicação do teste de comparação múltipla de médias de Tukey as médias dos respectivos parâmetros físico-químicos das nove amostras com as mesmas letras sobrescritas não diferem estatisticamente entre si no nível de 95 % de confiança

As amostras da etapa de maturação do processo de produção de cerveja (Tabela 9) apresentaram valores de pH que se situaram entre 4,25 a 4,53. Na literatura, valores de pH menores para a cerveja oriunda da etapa de maturação são recomendados pois tem ação na estabilidade da espuma e na estabilidade microbológica, como já descrito anteriormente. No entanto, observam-se diferenças nos valores de pH das amostras analisadas. Para investigar se estas diferenças nos valores de pH eram significativas uma análise de variância de um fator no nível de 95 % de confiança foi aplicada aos valores de pH das amostras coletadas na etapa de maturação (Tabela 9) e verificou-se que existem diferenças significativas entre as amostras pois o valor do $F_{obs} = 99,25$ com $p = 0,000$ é maior que o valor do $F_{critico(8,9; 0,05)} = 3,23$. A aplicação de um teste de comparação múltipla de médias de Tukey no mesmo nível de confiança indicou que as amostras da etapa de maturação 8 e 9 tem valores de pH mais

altos (4,50 - 4,53) em relação as demais amostras (1 a 7). As amostras 8 e 9 também apresentaram os valores de pH mais baixos nas etapas de brassagem e de fervura (Tabela 2). A amostra 7 mostrou valores de pH (4,63) que diferem de todas as demais. As amostras 1, 2 e 6 não apresentaram diferenças significativas nos valores de pH (4,33 - 4,36). Esses resultados podem ser explicados considerando-se que os valores de pH das amostras de maturação podem ser influenciados por alguns fatores como o pH do mosto e pelos ácidos formados durante a etapa de fermentação.¹⁷

Em vista disso, uma análise de correlação linear no nível de 95 % de confiança foi realizada utilizando-se os dados das Tabelas 2 e 9. Foi observada uma análise de correlação linear negativa significativa ($r = -0,859$, $p = 0,003$) entre os valores de pH das amostras das etapas de brassagem e de maturação e uma correlação linear negativa significativa ($r = -0,773$, $p = 0,014$) entre os valores de pH das

amostras das etapas de fervura e de maturação. Este resultado demonstra que quanto menores forem os valores de pH das etapas de brassagem e de fervura maiores serão os valores de pH da etapa de maturação. Da mesma forma, uma análise de correlação linear entre os valores de pH das etapas de fermentação e de maturação foi realizada e não foi observada uma correlação linear significativa entre estas etapas ($r = 0,588$; $p = 0,096$). Estes fatos indicam que os valores de pH da etapa de maturação são mais influenciados pelo pH do mosto (que corresponde as etapas de brassagem e de fervura) do que pelo efeito dos ácidos formados durante a etapa de fermentação. Por outro lado, as diferenças nos valores de pH das amostras da etapa de maturação podem estar relacionadas às mudanças de lote de matéria prima e de formulação.

Uma análise de variância de um fator no nível de 95 % de confiança foi aplicada aos dados de acidez (Tabela 9) da etapa de maturação e verificou-se que existem diferenças significativas entre as amostras 1 a 9, pois o valor de $F_{obs} = 28,81$ com $p = 0,000$ é maior do que o valor de $F_{crítico(8,18; 0,05)} = 2,45$. A aplicação de um teste de comparação múltipla de médias de Tukey no mesmo nível de confiança indica que as amostras coletadas na etapa de maturação 2, 3 e 7 apresentaram os maiores valores de acidez (25,60 - 29,50 mEq L⁻¹). As amostras 1, 2 e 6 possuem valores de acidez semelhantes entre si com valores intermediários. As amostras 4, 5, 8 e 9 apresentaram os menores valores de acidez (19,75 - 21,83 mEq L⁻¹). Estes resultados podem ser justificados considerando-se que os valores de acidez da etapa de maturação são influenciados pela formação de ácidos orgânicos durante a fermentação através do metabolismo das leveduras, e este parâmetro físico-químico pode sofrer variações pela conversão desses ácidos orgânicos em ésteres durante a etapa de fermentação e na etapa de maturação.³¹

Uma análise de variância de um fator no nível de 95 % de confiança foi aplicada aos dados de grau alcoólico (Tabela 9) da etapa de

maturação e verificou-se que existem diferenças significativas entre as amostras 1 a 9, pois o valor de $F_{obs} = 28,00$ com $p = 0,000$ é maior do que o valor do $F_{crítico(8,18; 0,05)} = 2,45$. A aplicação de um teste de comparação múltipla de médias de Tukey no mesmo nível de confiança indica que a amostra 1 tem valor de grau alcoólico mais alto (5,40) e é diferente em relação as demais amostras. As amostras 3, 4, 5, 7 e 9 possuem valores similares de grau alcoólico (5,15 - 5,23). As amostras 2, 4, 5 e 7 possuem valores semelhantes de grau alcoólico (5,10-5,21). As amostras 6 e 8 apresentaram os menores valores de grau alcoólico (4,97 e 5,06). As diferenças observadas nos valores de grau alcoólico dependem da quantidade de açúcares presentes no mosto que provocam variações no metabolismo da levedura.¹⁴ Todas as amostras analisadas apresentaram valores de grau alcóólico dentro do recomendado pela literatura em cervejas lager que é de 3 a 8 %.⁵

Uma análise de variância de um fator no nível de 95 % de confiança foi aplicada aos dados de cor (Tabela 9) da etapa de maturação e verificou-se que existem diferenças significativas entre as amostras coletadas 1 a 9, pois $F_{obs} = 331,35$ com $p = 0,000$ é maior que o valor do $F_{crítico(8,18; 0,05)} = 2,45$. A aplicação de um teste de comparação múltipla de médias de Tukey no mesmo nível de confiança indica que a amostra 3 coletada da etapa maturação apresenta o valor de cor mais alto (8,22) e é diferente das demais amostras. As amostras 2, 4, 5, 6 e 7 apresentaram valores de cor semelhantes (6,68 a 6,87) entre si e a amostra 1 é diferente de todas as demais. As amostras 8 e 9 apresentaram os menores valores de cor (5,25 e 5,42). Apesar das variações estatísticas encontradas, segundo o guia internacional de estilos de cerveja BJCP (Beer Judge Certification Program)³⁰ a cor das cervejas *lager* pode variar na escala europeia EBC (European Brewing Convention) na faixa de 6 a 8. Utilizando essa classificação apenas a amostra 3 possui coloração fora da escala recomendada. Este resultado pode ser explicado pela extensão da reação de Maillard favorecida devido a uma temperatura mais

elevada adotada durante a etapa de fervura nesta amostra. As demais variações de cor observadas nas demais amostras podem ser resultado das modificações na formulação e no lote de matéria prima, visto que a cor depende diretamente do extrato primitivo e de diferenças na quantidade de compostos fenólicos presentes no malte. Além disso, a casca do malte também pode conter substâncias que colaboram para o desenvolvimento da cor.¹⁰

Para verificar se havia uma relação entre a formulação e a cor das amostras da etapa de maturação foi realizada uma análise de correlação linear no nível de 95 % de confiança. Uma correlação linear positiva significativa entre a proporção de malte tradicional e a cor das amostras de maturação ($r = 0,636$; $p = 0,000$) foi observada, demonstrando que quanto maior a proporção de malte tradicional adicionado na formulação maior será a intensidade de cor da amostra resultante da etapa de maturação. Desse modo, pode-se avaliar essas diferenças como naturais do processo cervejeiro em microcervejarias, com exceção da amostra 3. A classificação da cor da cerveja na legislação brasileira apresenta apenas valores na escala EBC abaixo de 20 para cervejas claras, ou acima de 20 para cervejas escuras.³⁰

Uma análise de variância de um fator no nível de 95 % de confiança foi aplicada aos dados de amargor (Tabela 9) da etapa de maturação e verificou-se que existem diferenças significativas entre as amostras 1 a 9, pois o valor do $F_{obs} = 458,57$ com $p = 0,000$ é maior que o valor do $F_{critico(8,18; 0,05)} = 2,45$.

A aplicação de um teste de comparação múltipla de médias de Tukey no mesmo nível de confiança indica que as amostras 1 e 3 possuem valor de amargor mais altos (12,55 e 12,78) em comparação com as demais amostras. As amostras 1 e 4; 2 e 5; 5 e 7 possuem valores de amargor semelhantes entre si (11,23 a 12,55). Em outras palavras, a amostra 5 apresentou valores médios de amargor similares aos determinados nas amostras 2 e 7 e valores de amargor estatisticamente diferentes das demais amostras. A amostra 6 possui valor de

amargor diferente de todas as amostras (10,38). As amostras 8 e 9 apresentaram os menores valores de amargor (9,10 e 9,30). Esses valores de amargor foram menores devido à maior quantidade de malte ácido usado durante a etapa da brassagem e que forneceram valores menores de pH na etapa da fervura, na qual o lúpulo é adicionado. Outro fator responsável pela diminuição do amargor foi a troca do lote de lúpulo para as amostras 8 e 9 (lote B) em relação as amostras 1 a 7 (lote A). Como já descrito anteriormente, os valores de pH das etapas de fervura e de maturação podem ter grande influência nos valores de amargor. Para verificar se havia uma relação entre os valores de pH e os valores de amargor foi realizada uma análise de correlação linear no nível de 95 % de confiança. Uma correlação linear positiva significativa entre os valores de pH da etapa de fervura e de amargor da etapa de maturação ($r = 0,717$; $p = 0,030$) demonstrou que quanto maiores forem os valores de pH da etapa de fervura mais altos serão os valores de amargor.

4. Conclusão

Os resultados da avaliação dos parâmetros físico-químicos de pH, acidez, cor, amargor e grau alcoólico realizada pela aplicação de testes estatísticos sugeriram diferenças significativas em todas as etapas do processo de produção de cerveja *Lager* e entre as nove amostras coletadas na Microcervejaria. Estas diferenças podem ser explicadas pela alcalinidade da água utilizada na fabricação da cerveja, pelas mudanças de lote de matéria prima, as quais são mais frequentes em microcervejarias e pelas alterações da formulação. De forma geral, as amostras da etapa de maturação mostraram uma qualidade físico-química que está dentro dos intervalos recomendados pela literatura para cerveja *Lager*. Os resultados evidenciam também que para as Microcervejarias possam assegurar ao consumidor uma cerveja artesanal com características intrínsecas bem definidas e constantes a cada novo lote,

caracterizações físico-química da matéria prima devem ser realizadas antes do processo produtivo.

Referências Bibliográficas

- ¹ Biazon, C. L.; *Dissertação de mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2008. [Link]
- ² Rosa, N. A.; Afonso, J. C. A Química da Cerveja. *Química Nova na Escola* **2015**, *37*, 98. [CrossRef]
- ³ Sítio do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Disponível em: <http://www.sebraemercados.com.br/wpcontent/uploads/2015/12/2014_05_20_RT_Mar_Agron_Cerveja_pdf.pdf>. Acesso em: 20 fevereiro 2018.
- ⁴ Toledo, J. C.; Batalha, M. O.; Amaral, D. C. Qualidade na Indústria Agroalimentar: Situação Atual e Perspectivas. *Revista de Administração de Empresas* **2000**, *40*, 90. [Link]
- ⁵ Araújo, F. B.; Silva, P. H. A.; Minim, V. P. R. Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado Brasileiro. *Food Science and Technology* **2003**, *23*, 121. [CrossRef]
- ⁶ Araújo, G. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2016. [Link]
- ⁷ Rebello, F. Produção de Cerveja. *Agrogeoambiental* **2009**, *1*, 145. [CrossRef]
- ⁸ Brunelli, L. T.; Mansano, A. R.; Venturini Filho, W. G. Caracterização físico-química de cervejas elaboradas com mel. *Brazilian Journal of Food Technology* **2014**, *17*, 19. [Crossref]
- ⁹ Zenebon, O.; Pascuet, N. S.; Tiglea, P. In: *Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos*. 4a. ed., Fiocruz: São Paulo, 2008, cap. 9.
- ¹⁰ Cocuzza, S.; Mitter, W. Use of Isomerized Hop Extract as a Replacement for Conventional Hop Extract and Its Influence on Beer Flavor. *MBAA Technical Quarterly* **2009**, *46*, 1. [CrossRef]
- ¹¹ Angeloni, L. H. P.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2016. [Link]
- ¹² Wyler, P.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2013. [CrossRef]
- ¹³ Rio, R. F.; *Dissertação de Mestrado*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Brasil, 2013. [Link]
- ¹⁴ Silva, A. E.; Colpo, E.; Oliveira, V. R.; Herbst Jr., C. G.; Hecktheuer, L. H. R.; Reichert, F. S. Elaboração de Cerveja com Diferentes Teores Alcoólicos Através de Processo Artesanal. *Alimentos e Nutrição*, **2009**, *20*, 369, [Link]
- ¹⁵ Pinto, M. B. C.; Kater, G.; Wikert, J.; Schmidt, F. L. Alterações Físico-químicas Durante o Processo de Fermentação da Cerveja. *Resumo Expandido publicado nos Anais do Congresso Latino Americano e Brasileiro de Ciência e Mercado Cervejeiro*, Blumenau, Brasil, 2016. [Link]
- ¹⁶ Siqueira, P. B.; Bolini, H. M. A.; Macedo, G. A. O Processo de Fabricação da Cerveja e Seus Efeitos na Presença de Polifenóis. *Alimentos e Nutrição*. **2008**, *19*, 491. [Link]
- ¹⁷ Goiana, M. L.; Pinto, L. Í. F.; Zambelli, R. A.; Miranda, K. W. E.; Pontes, D. F. *Resumos do XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Gramado, Brasil, 2016 [Link]
- ¹⁸ Castro, M. P.; Serra, S. G.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade do Vale do Paraíba, Brasil, 2012. [Link]
- ¹⁹ Alves, L. M. F.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Estadual da Paraíba, Brasil, 2014. [Link]
- ²⁰ Almeida, C. I. R.; *Dissertação de mestrado*, Universidade de Aveiro, Portugal, 2006. [Link]
- ²¹ Sleiman, M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil, 2002. [Link]
- ²² Buhali, B.; Silva, N. S. R.da; Córdova, K. R. V.; Dalla Santa, O. R. *Resumo Expandido*

publicado nos *Anais do Congresso Latino Americano e Brasileiro de Ciência e Mercado Cervejeiro*, Blumenau, Brasil, 2016. [Link]

²³ Mathias, T. R. S.; Mello, P. P. M.; Servulo, E. F. C. Resumo Expandido no XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, Brasil, 2014. [CrossRef]

²⁴ Braga, V. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2006. [Link]

²⁵ Laws, D. R. J.; McGuinness, J. D.; Rennie, H. the Losses of Bitter Substances During Fermentation. *Journal of the Institute of Brewing* **1972**, *78*, 314. [CrossRef]

²⁶ Popescu, V.; Soceanu, A.; Dobrinas, S.; Stanciu, G. A study of beer bitterness loss during the various stages of the Romanian beer production process. *Journal of the Institute of Brewing* **2013**, *119*, 111. [CrossRef]

²⁷ Santos, D. C.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2013. [Link]

²⁸ Almeida, N. E. C.; *Dissertação de mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2011. [Link]

²⁹ Varnan, A. H.; Sutherland, J. P.; *Bebidas*, Acibia: Zaragoza, 1997.

³⁰ Strong, G.; England, K. Beer Judge Certification Program 2015 Style Guidelines Beer Judge Certification Program. Disponível em:

<https://www.bjcp.org/docs/2015_Guidelines_Beer.pdf>. Acessado em fevereiro de 2018.

³¹ Carvalho, D. S. DE; Zambiasi, R. C. Avaliação do processo fermentativo de cerveja pilsen pelo uso de diferentes concentrações de *Saccharomyces Cerevisiae*. *Alimentos e Nutrição* **2011**, *22*, 351. [Link]

³² Sítio do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), Decreto 6871/2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm>