

Aplicação de Técnicas Analíticas Instrumentais na Caracterização Físico-Química de Cervejas Industriais

Application of Instrumental Analytical Techniques in the Physicochemical Characterization of Industrial Beers

Maria Clara G. V. Campos,^a  Iodamil Miranda Júnior,^a  Ana Lúcia de Freitas,^a  Luís Antônio da Silva,^a  Valéria A. Alves^{a,*} 

^aUniversidade Federal do Triângulo Mineiro, Unidade Universitária, Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação, Departamento de Química Laboratório de Eletroquímica e Eletroanalítica, CEP 38064-200, Uberaba-MG, Brasil

*E-mail: valeria.alves@uftm.edu.br

Submissão: 30 de Agosto de 2025 – Aceite: 21 de Março de 2026 – Publicado online: 31 de Março de 2026

Beer is the third most consumed beverage in the world and is highly appreciated for its aroma and flavor. To ensure product quality, physical-chemical parameters must be carefully monitored. This work aims to characterize the physicochemical properties of pure malt industrial beers using classical instrumental analytical techniques. The pH of the analyzed beers ranged from 3.48 to 4.03, which is consistent with the desired value of ≤ 4.3 . Additionally, the total acidity values for the industrial all-malt beers varied between 24.78 and 33.88 mEq L⁻¹, aligning with ranges reported in the literature. The color of the samples ranged from 7.19 to 10.91 EBC (European Brewery Convention), classifying them as light beers (≤ 20 EBC). The bitterness, which reflects the concentration of iso- α -acids present in beer, ranged from 6.83 to 15.20 IBU (International Bitterness Units), or 6.83 to 15.20 mg L⁻¹, and was within the expected values. In general, the results were consistent with the data found in literature, being comparative and educational in nature, and are not intended for regulatory purposes.

Keywords: Pure malt industrial beers; physical-chemical analysis; instrumental analytical techniques.

1. Introdução

A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no Brasil¹ e uma das bebidas mais consumidas do mundo.^{2,3} Em 2023 o volume de produção declarado atingiu nacionalmente o montante de 15.361.344.112,77 litros de cerveja no Brasil. A Região Sudeste teve o maior volume de produção declarado, atingindo a marca de 8.207.172.226,46 litros de cerveja, o que representa 53,4% da produção nacional.⁴

De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária, MAPA: “Cerveja é a bebida alcoólica fermentada resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro.”⁵

Para a produção de cerveja, são utilizados quatro ingredientes principais: **água, malte, lúpulo e levedura**.⁶⁻⁸ O processo de produção de cerveja compõe as seguintes etapas: i) **brassagem**, que é a fase onde o mosto cervejeiro (mistura líquida açucarada, base para a cerveja) é produzido,

a partir da extração e hidrólise dos compostos da cevada malteada, e separação dos componentes insolúveis; ii) **fervura** do mosto e adição do lúpulo para amargor e aroma; iii) **fermentação**, onde o mosto, após resfriamento, recebe o fermento (levedura), que converte açúcares em álcool e CO₂, e **maturação**, que demora de 6 a 30 dias, e ocorrem transformações que definem o aroma e o sabor final da cerveja e iv) **filtração, estabilização** (adição de estabilizantes e antioxidantes) e **engarrafamento** (com carbonatação natural ou forçada).⁷⁻⁹

Em uma revisão recente, os autores apresentaram os detalhes das etapas envolvidas na produção da cerveja, entre vários outros aspectos relativos ao tema.⁶ Aos leitores interessados sugere-se consultar a revisão. Um glossário que reúne quase 700 verbetes em português, relacionados ao mundo cervejeiro está disponível na *internet*.¹⁰

Em geral, tem-se dois tipos de fermentação, que dependem da levedura utilizada. A levedura usada permanece na parte inferior do fermentador e origina a cerveja *lager*, ou de baixa fermentação; a temperatura é mantida na faixa de 4 a 18 °C. A levedura que atua na parte superior do fermentador origina a cerveja *ale*, ou de alta fermentação; a temperatura

é mantida na faixa de 14 a 25 °C. O tempo de fermentação de ambas é de 3 a 5 dias.^{6,8,11}

O tipo de fermentação tem impacto no sabor da cerveja; as cervejas *lager* possuem sabor e aroma mais suaves e leves do que as *ales*.¹¹ Cervejas *lager* possuem uma baixa concentração de ésteres, que confere um sabor maltado, devido à contribuição do malte; cervejas *ale* possuem um sabor frutado, o que é atribuído aos ésteres formados durante a fermentação.⁶ Cervejas *lager* representam 90% das cervejas industriais produzidas, sendo mais populares mundialmente.^{6,11}

A classificação das cervejas, em relação à proporção de matérias-primas, é a seguinte: **i)** cerveja; **ii)** cerveja 100% malte ou cerveja puro malte; **iii)** cerveja 100% malte de + (nome do cereal malteado) ou cerveja puro malte de + (nome do cereal malteado); e **iv)** cerveja de + (nome do cereal ou dos cereais majoritário(s), malteado(s) ou não). Dentre os aditivos alimentares, destaca-se os seguintes acidulantes: ácido láctico, ácido málico, ácido cítrico e ácido fosfórico.⁵ A cerveja puro malte é produzida a partir de um mosto cujo extrato primitivo é proveniente de cevada malteada ou de extrato de malte.¹²

O Cartilhão de Bebidas do MAPA⁵ apresenta os padrões de identidade e qualidade estabelecidos pela legislação brasileira para as bebidas, incluindo cervejas. Para esta bebida, o cartilhão apresenta: as referências legais; a sua definição; a sua denominação; os seus parâmetros analíticos; a sua composição; os seus aditivos alimentares e os seus coadjuvantes de tecnologia.

O MAPA é responsável pela fiscalização dos estabelecimentos produtores de cerveja.⁵ O controle de qualidade do produto tem como objetivo principal a verificação da produção da bebida durante toda sua etapa de fabricação, para que o produto final seja entregue aos consumidores nas melhores condições e em sua melhor qualidade. A falta de um controle de qualidade eficaz pode resultar em graves consequências à saúde do consumidor, como intoxicação e alergia.

O controle de qualidade do produto pode envolver análises físico-químicas, microbiológicas e sensoriais.⁸ Neste trabalho foram realizadas as análises dos seguintes parâmetros físico-químicos de cervejas do tipo puro malte: pH, acidez total ou acidez titulável (titulação de ácido fraco com solução de base forte, NaOH), amargor e cor. Essas análises foram realizadas por potenciometria direta (medidas de pH), por titulações potenciométrica e condutimétrica ácido-base (determinação da acidez total), e por espectrofotometria de absorção molecular no UV-VIS (medidas de cor e amargor).

As cervejas puro malte analisadas neste trabalho são de tipo *lager*, estilo pilsen, exceto uma, cujo estilo é *munich helles*. As cervejas pilsen têm sabor leve e delicado (baixo amargor), são claras (cor amarelo dourada), e seu

teor alcoólico varia de 4,0 a 5,0%.^{6,8} De acordo com o Programa de Juízes de Cerveja (*Beer Judge Certification Program*, BJCP)¹³ as cervejas *munich helles*, de origem alemã, possuem cor dourada, sabor suave e maltado, e um amargor moderado.

Nota-se que as publicações científicas em português, relativas à análise físico-química de cervejas, ou são muito específicas, ou seja, investigam o parâmetro amargor, por exemplo, e aprofundam no mesmo, ou abordam mais parâmetros físico-químicos, porém deixam de detalhar os procedimentos e como os valores foram obtidos. Dessa forma, tem-se uma falta de publicações que permitam ao leitor interessado no tema, uma melhor compreensão dos procedimentos e tratamentos utilizados. Nesse sentido, esse trabalho tem o intuito de suprir essa necessidade.

Até onde temos conhecimento, não há dados de titulação condutimétrica de cervejas disponíveis na literatura, sendo portanto apresentados e discutidos pela primeira vez neste trabalho. Face ao exposto, este artigo preenche uma lacuna científica/didática e apresenta como diferencial o uso combinado das titulações potenciométrica e condutimétrica. Os conceitos fundamentais envolvidos nestas duas técnicas analíticas instrumentais podem ser consultados em publicações recentes.^{14,15}

Considerando a cerveja, é possível perceber como a química faz parte do cotidiano das pessoas, desde a sua formulação, que envolve várias etapas, até o seu controle de qualidade, essencial para preservar a saúde dos consumidores. Nesse contexto, o tema cerveja pode ser abordado nas aulas de química do ensino médio e superior, tendo em vista o vasto conteúdo químico envolvido na produção e no controle de qualidade dessa bebida.² Além disso, esse tema tem potencial para desenvolver ações de extensão, abrangendo então ensino-pesquisa-extensão, o tripé atividade fim da universidade.³

Assim, o objetivo deste trabalho é caracterizar físico-quimicamente cervejas industriais puro malte por meio de técnicas analíticas instrumentais clássicas, com enfoque didático e comparativo.

2. Experimental

2.1. Instrumentação e reagentes

Todas as soluções foram preparadas em água purificada obtida com o sistema de osmose reversa da marca Inovare, modelo *Powerfull 2* em 1 (Curitiba-PR, Brasil). As pesagens foram realizadas em uma balança analítica da marca *Weblaborsp*, modelo M254Ai (Mogi das Cruzes-SP, Brasil). O padrão primário biftalato de potássio, HK(C₈H₄O₄), foi seco numa estufa de esterilização e secagem da Vulcan/EES-46D (Araucária-PR, Brasil).

Para a realização das titulações potenciométrica e condutimétrica utilizou-se um medidor de pH de bancada da Akso Produtos Eletrônicos LTDA, modelo Simpla/pH140 (São Leopoldo-RS, Brasil) e um condutivímetro de bancada da MS Tecnopon Equipamentos Especiais LTDA, modelo LUCA 150 (Piracicaba-SP, Brasil), respectivamente, sendo este último munido de uma cela condutimétrica com $K = 1 \text{ cm}^{-1}$.

No caso de ambas as titulações utilizou-se um agitador da Tecnal, modelo TE-0851 (Piracicaba-SP, Brasil) e uma bureta digital de 50 mL da Titrette® (Wertheim, Alemanha). A remoção do CO_2 dissolvido das amostras de cerveja analisadas foi realizada utilizando-se um banho de ultrassom da Unique, modelo USC-1400 (Indaiatuba-SP, Brasil).

Para determinação do amargor das cervejas, as misturas reacionais foram centrifugadas utilizando-se uma centrífuga da Hindustan Thermochemicals, modelo 81C (Industrial Area Phase 2, Ambala, Haryana, Índia); para execução deste procedimento, os volumes de reagentes e amostras foram medidos usando-se micropipetas de volume variável, de 100 a 1000 μL e de 1000 a 5000 μL da Peguepet® (Cotia, São Paulo, Brasil) e de 1000 a 10000 μL da Kasvi (Pinhais, Paraná, Brasil).

As medidas de absorvância, para determinação da cor e do amargor das cervejas, foram realizadas nos comprimentos de onda de 430 nm e 275 nm, respectivamente, utilizando-se um espectrofotômetro da marca Shimadzu, modelo UV 1800 (Japão) e cubetas de quartzo de 1 cm de caminho ótico.

Os reagentes utilizados neste trabalho foram: ácido clorídrico, HCl, 37% (36,46 g mol^{-1}), da Neon (São Paulo-SP, Brasil); solução padrão de condutividade 146,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$, da Dinâmica (Indaiatuba-SP, Brasil); soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, da Dinâmica (Indaiatuba-SP, Brasil); alaranjado de metila, $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$, 95,0% (327,33 g mol^{-1}), da Êxodo Científica (Hortolândia-SP, Brasil); biftalato de potássio, $\text{HK}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)$, 99,95-100,05% (204,22 g mol^{-1}), da Êxodo Científica (Hortolândia-SP,

Brasil); hidróxido de sódio, NaOH 97% (39,997 g mol^{-1}), da Dinâmica (Indaiatuba-SP, Brasil); iso-octano ou 2,2,4-trimetilpentano P.A., C_8H_{18} , 99,5% (114,23 g mol^{-1}), da Dinâmica (Indaiatuba-SP, Brasil); fenolftaleína, $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$, $\leq 100\%$ (318,32 g mol^{-1}), da Dinâmica (Indaiatuba-SP, Brasil). As cervejas analisadas foram adquiridas num supermercado da cidade de Uberaba, Minas Gerais.

2.2. Escolha das cervejas industriais e preparação das amostras para análise

Adquiriu-se cervejas puro malte em lata de alumínio de 350 mL, num supermercado da cidade de Uberaba, Minas Gerais, as quais foram transportadas até o Laboratório de Eletroquímica e Eletroanalítica localizado na Unidade III da Universidade Federal do Triângulo Mineiro para a realização das análises. Foram analisadas 7 cervejas produzidas por 3 cervejarias diferentes.

O critério adotado para a escolha das cervejas analisadas foi baseado na sua popularidade entre os brasileiros. As cervejas foram identificadas com os códigos apresentados na Tabela 1. Todos os códigos apresentam as letras CPM, de cerveja puro malte, seguidas de um número, que corresponde à quantidade de cervejas analisadas.

Este estudo não possui finalidade regulatória/normativa, o que justifica o limitado número de amostras e a análise de um lote por marca.

Observa-se da Tabela 1 que a maioria das cervejas analisadas é do estilo pilsen, exceto uma cujo estilo é *munich helles*, e todas possuem fermentação *lager*. Conforme já pontuado por outros autores,¹⁶ nos rótulos das cervejas são dadas poucas informações dos parâmetros físico-químicos. O teor alcoólico, abrangendo a faixa de 4,5 a 5,2%, foi o único parâmetro informado em todos os rótulos. Somente três cervejas, CPM1, CPM5 e CPM6, forneceram o amargor, e nenhuma informou a cor. De acordo com a literatura,¹⁷ cervejas pilsen possuem amargor na faixa de 6 a 12 IBU, cor entre 7 e 12 EBC, e teor alcoólico entre

Tabela 1. Códigos das cervejas analisadas e dados obtidos nos rótulos

Código*	Estilo/Fermentação	Cervejaria Fabricante	Teor Alcoólico (%v/v)	Amargor (IBU)**	Cor (EBC)***
CPM1	Pilsen/lager	A	4,8	11****	-
CPM2	Pilsen/lager	A	4,6	-	-
CPM3	Pilsen/lager	A	4,5	-	-
CPM4	Pilsen/lager	A	4,8	-	-
CPM5	Pilsen/lager	B	5,0	16	-
CPM6	Munich helles/lager	B	5,2	16	-
CPM7	Pilsen/lager	C	4,6	-	-

* As amostras analisadas correspondem a um único lote por marca, não permitindo inferências estatísticas populacionais. ** O amargor da cerveja é medido em IBU, do inglês *International Bitterness Units*. *** A cor da cerveja é medida em EBC, do inglês *European Brewery Convention*. **** O amargor da cerveja CPM1 foi obtido na internet, pois não há essa informação na embalagem da cerveja.

4,0 e 5,0%. Os ingredientes informados nas embalagens de todas as cervejas são: água, lúpulo e malte (ou derivados de cevada ou malte de cevada), condizente com o esperado para esse tipo de cerveja.^{4,12}

As análises das amostras foram realizadas após a sua degaseificação. Aproximadamente 150 mL de cerveja foram transferidos para um frasco de vidro graduado com tampa de rosca de 500 mL. Mantendo o frasco de vidro bem fechado, intercalou-se três agitações manuais vigorosas com três aplicações de banho de ultrassom durante 5 minutos, deixando escapar o CO₂ liberado durante as agitações. Após remoção do CO₂, com auxílio de uma bureta de 50 mL transferiu-se 30,00 mL de cerveja para um béquer forma alta de 50 mL. A temperatura da cerveja foi mantida entre 20 e 25 °C.¹⁸ A retirada do CO₂ se fez necessária para que não ocorresse interferência desse gás na medição do pH das cervejas, sendo esses valores constituídos apenas pela presença dos ácidos na sua composição.¹⁹

2.3. Determinação do pH e da acidez total das cervejas utilizando as titulações potenciométrica e condutimétrica ácido-base

As medidas físico-químicas de pH (método 168/IV) e de acidez total (método 221/IV) foram realizadas de acordo os protocolos do Instituto Adolfo Lutz.¹⁸ A acidez total da cerveja pode ser expressa em termos de ácido acético^{17,18,20-22} ou de ácido láctico.²⁰⁻²² Nesse trabalho a acidez total foi expressa em termos de ácido acético.¹⁸

As metodologias empregadas para a realização das medidas de pH e da acidez total encontram-se descritas na Informação Suplementar. O sistema de titulação potenciométrica e condutimétrica montado pode ser visto Figura 1.

2.4. Determinação da cor e do amargor das cervejas

As análises de cor e de amargor das cervejas foram realizadas de acordo com os procedimentos disponíveis na literatura especializada sobre esse tema.^{6,7}

A análise da cor das amostras de cerveja, sem diluição, foi realizada de acordo com o método 8.5 espectrofotométrico da Analytica - EBC (*European Brewery Convention* ou Convenção Europeia de Cervejeiros), adotado no Brasil.⁶ A coloração da cerveja também pode ser determinada espectrofotometricamente, a partir do Método de Referência Padrão – SRM (*Standard Reference Method*).⁶

O amargor da cerveja foi determinado pelo método 8.8 espectrofotométrico da Analytica – EBC, o qual é recomendado pelo *European Brewery Convention*.⁷ Este parâmetro é expresso em unidades internacionais de

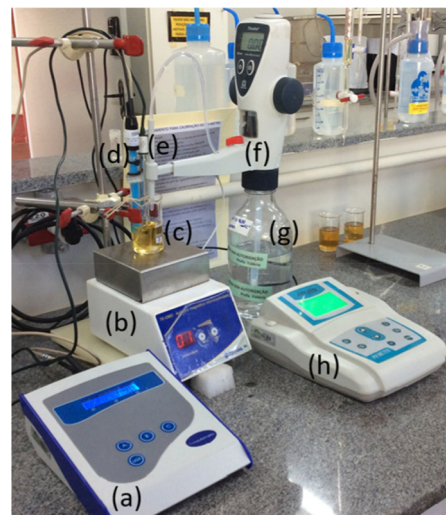


Figura 1. Sistema utilizado na titulação potenciométrica e condutimétrica: (a) condutivímetro; (b) agitador magnético; (c) béquer contendo a amostra de cerveja; (d) eletrodo de vidro combinado de pH; (e) cela condutimétrica; (f) bureta digital; (g) frasco de vidro graduado contendo solução padrão de NaOH; (h) medidor de pH

amargor (IBU, do inglês *International Bitterness Units*), e corresponde à concentração aproximada de iso- α -ácidos presentes na bebida, em mg L⁻¹, cuja faixa de concentração é de 0,6 a 100 mg L⁻¹.^{6,23} 1 IBU equivale a 1 mg de iso- α -ácidos por litro de cerveja.²⁴

As metodologias empregadas para a realização das medidas de cor e amargor encontram-se descritas na Informação Suplementar. Todas as medidas experimentais, de pH, acidez total, cor e amargor, foram feitas em triplicata, a 23 °C.

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização físico-química das cervejas: pH, acidez total, cor e amargor

A Tabela S1 apresenta os dados obtidos experimentalmente das cervejas analisadas. Os volumes de titulante no ponto final foram obtidos a partir das curvas de 2ª derivada (titulação potenciométrica), ou no ponto onde as duas retas se cruzaram (titulação condutimétrica), usando o programa CurTiPot-Cond.²⁵ Ressalta-se que a acidez total final foi calculada com base na titulação potenciométrica, e não condutimétrica, pelo motivo exposto na seção seguinte.

A Figura 2 refere-se às curvas de titulação potenciométrica e condutimétrica da cerveja CPM7, típica das cervejas analisadas. A Tabela S2 apresenta os resultados consolidados, da análise físico-química das cervejas analisadas. Para facilitar a compreensão do leitor, cada parâmetro físico-químico analisado será discutido individualmente.

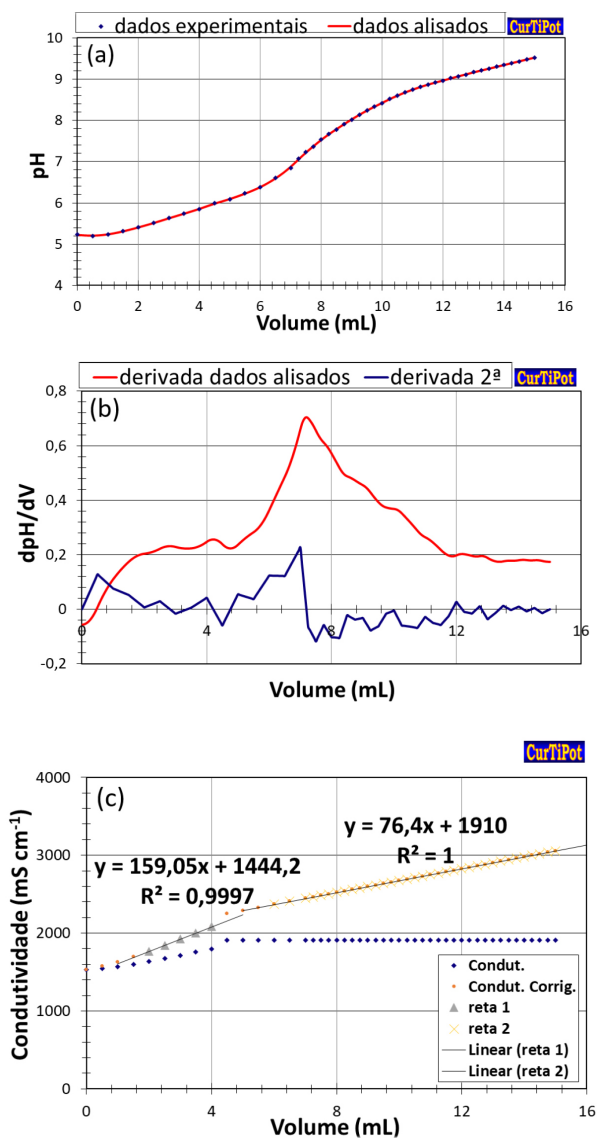


Figura 2. (a) Curva de titulação potenciométrica (sigmoidal); (b) curvas da 1ª e da 2ª derivadas da curva de titulação potenciométrica; (c) curva de titulação condutimétrica, mostrando a condutividade e a condutividade corrigida. As curvas de titulação foram elaboradas e o V_{PF} foi determinado usando-se o programa CurTiPot-Cond. Analisou-se a Amostra 3 da cerveja CPM7, e solução padrão de NaOH como titulante

3.2. Comportamento das curvas de titulação potenciométrica e condutimétrica

Considerando que este trabalho apresenta um certo ineditismo no que se refere à aplicação das técnicas de titulação potenciométrica e condutimétrica em amostras de cerveja, este subitem apresenta uma discussão das curvas obtidas e do seu comportamento. Em geral, as curvas de titulação potenciométrica (sigmoidal, Fig. 2a) apresentaram um ponto de inflexão, que corresponde ao ponto final da titulação, o que também pode ser conferido nas curvas de 1ª e 2ª derivadas (Fig. 2b). As curvas de titulação condutimétrica também apresentaram um ponto final, e portanto duas regiões (Fig. 2c).

Os volumes de titulante gastos nos pontos finais das titulações potenciométricas das amostras de cervejas foram maiores do que os volumes gastos nas titulações condutimétricas (ver Tabela S1 e comparar Fig. 2b e Fig. 2c). Utilizando um raciocínio a partir de dados existentes na literatura, para determinação de ácido acético em amostra de vinagre adulterada com ácido clorídrico, titulado com NaOH $0,1\ mol\ L^{-1}$,²⁶ esse comportamento pode estar relacionado à mistura de ácidos existentes na cerveja, de diferentes valores de pK_a .⁷

Na técnica de titulação potenciométrica, amostras contendo misturas de ácidos de diferentes acidez (por exemplo, ácido clorídrico e ácido acético)²⁶ e em determinadas concentrações relativas, podem ser neutralizados mutuamente, o que pode explicar a diferença observada nos volumes gastos de titulante nas duas técnicas analíticas, como no presente trabalho também.

Na técnica de titulação condutimétrica estes mesmos ácidos presentes na amostra e nas mesmas condições, foram titulados sem que um interferisse no outro, resultando em um volume de titulante gasto no ponto final menor para o ácido mais forte, e maior para o ácido mais fraco, comparando com os volumes gastos a partir da titulação potenciométrica, que apresentou comportamento inverso.²⁶

Nas curvas de titulação condutimétrica (Fig. 2c), a região antes do ponto final é típica da titulação de ácidos fracos, onde ocorre a neutralização do ácido fraco, com ligeiro aumento da condutividade devido à formação dos íons do ácido fraco e da introdução de íons Na^+ no sistema reacional.²⁶ Na região após o ponto final, a condutividade permaneceu constante.

Quando a curva de titulação condutimétrica foi corrigida pela diluição (Fig. 2c), a porção da curva após o ponto final apresentou um ligeiro aumento. Considerando-se a titulação de um ácido fraco com uma base forte, o comportamento observado da condutividade, após o ponto final, esperaria-se um aumento bem mais acentuado da condutividade corrigida, devido ao excesso de íons OH^- .^{14,15,26}

Esse comportamento diferente do esperado, em relação a uma curva de titulação de ácido fraco com base forte pode ser atribuído à complexidade da composição química desse sistema reacional, considerando que a amostra de cerveja analisada apresenta uma mistura de ácidos fracos na sua composição química.⁷ A literatura aponta que, quando há formação de um sistema tampão no meio reacional após o ponto final da titulação, a condutividade permanece praticamente constante.¹⁵

No presente trabalho, é possível que a condutividade não tenha apresentado um aumento significativo após o ponto final da titulação devido à ação dos sistemas tampão que podem ter se formado, os quais consumiram os íons OH^- .

Os demais íons presentes no sistema reacional (como por exemplo, Na^+ e ânions dos ácidos fracos) apresentam valores de condutividade relativamente próximos e bem menores do que a dos íons OH^- , explicando o ligeiro aumento da condutividade corrigida do sistema reacional após o ponto final da titulação (Fig. 2c).¹⁵

Os resultados obtidos no presente trabalho sugerem que há uma mistura de ácidos fracos nas amostras de cerveja, que foram titulados mutuamente na técnica de titulação potenciométrica, enquanto que na titulação condutimétrica o ácido de maior acidez presente na cerveja foi titulado primeiro, enquanto os demais ácidos formaram sistemas tampão, quando titulados com a base forte, o que explica a forma da curva de titulação condutimétrica.

A acidez total das cervejas foi calculada levando-se em consideração os volumes nos pontos finais obtidos a partir das curvas de titulação potenciométrica, visto que esta técnica fornece uma contribuição de todos os ácidos presentes na cerveja.

Considerando que o ácido succínico é um dos ácidos presentes nas cervejas,⁷ realizou-se as titulações potenciométrica e condutimétrica deste ácido. A Figura S1 mostra que as curvas de titulação do ácido succínico apresentaram um comportamento similar àquele das amostras de cerveja. Porém, como se trata de uma solução contendo apenas o ácido succínico, os volumes nos pontos finais, obtidos a partir das duas técnicas analíticas, mostraram-se concordantes entre si.

3.3. Sobre o pH das cervejas analisadas

O pH e a acidez total estão relacionados com a qualidade das matérias-primas utilizadas na produção da cerveja e com a atividade biológica da levedura.^{8,27}

No controle de qualidade, durante todo processo de produção da cerveja, o pH é um parâmetro muito importante para assegurar a qualidade e o padrão do produto final. A medida de pH refere-se aos íons H^+ efetivamente dissociados. O pH influencia diretamente no sabor, na intensidade da cor, na atividade enzimática, no crescimento microbiano (determinando a resistência às alterações microbianas) e em seu potencial de oxirredução.²⁸

A Figura 3 apresenta a síntese dos resultados das cervejas analisadas, as quais são cervejas de baixa fermentação. O pH das cervejas apresentou valores entre 3,48 e 4,03 (Fig. 3a). É importante que a acidez seja mantida, o que contribui com a sua conservação e impede o surgimento de microrganismos indesejados.⁶ Contudo, um pH adequado não garante ausência de contaminação microbiológica.

Em geral, os valores obtidos no presente trabalho mostraram-se coerentes com os valores esperados e reportados na literatura, para cervejas industriais. Os valores obtidos de pH mostraram-se coerentes com o valor desejado, que deve ser $\leq 4,3$.⁶

Cruz²⁹ obteve os seguintes valores de pH para cervejas industriais: Antártica pH = 4,18; Amstel pH = 3,97 e Budweiser pH = 3,85. Segundo a autora,²⁹ é desejável que

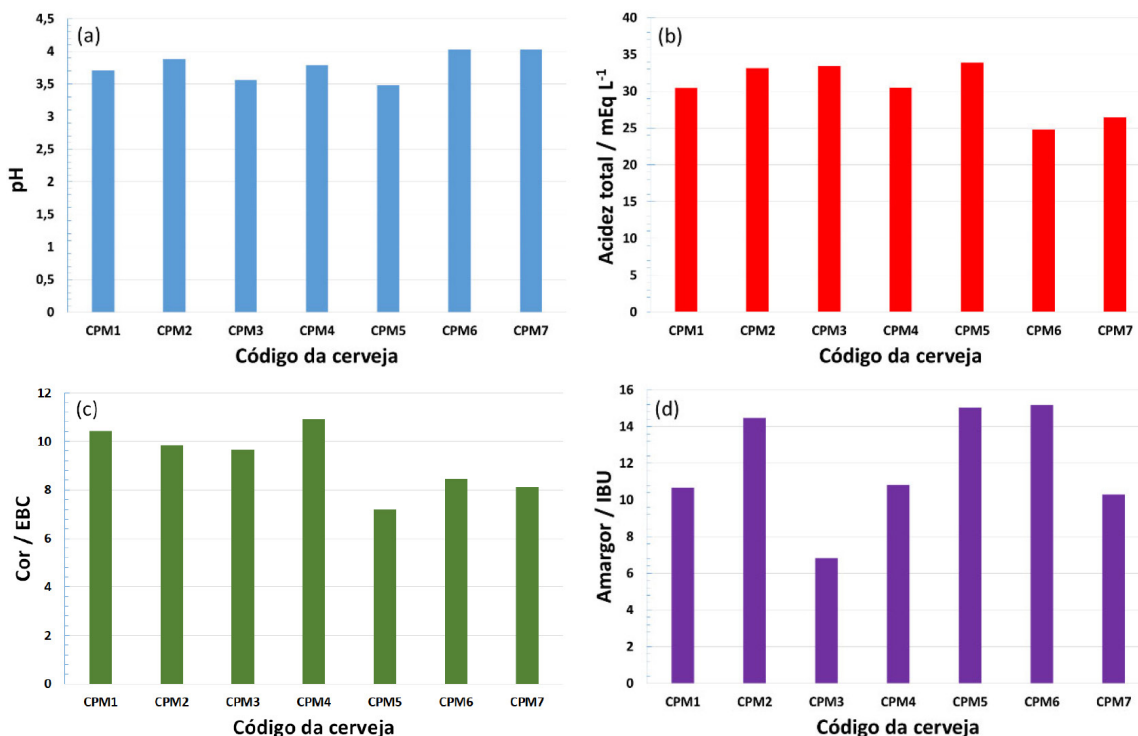


Figura 3. Síntese dos resultados das cervejas analisadas. (a) pH; (b) acidez total; (c) cor; (d) amargor

no final do processo o pH das cervejas esteja próximo de 4. Valores de pH mais baixos melhoram a estabilidade da espuma e valores de pH acima de 4,50 podem favorecer o desenvolvimento de microorganismos patogênicos, como a bactéria *Clostridium botulinum*, que causa o botulismo.^{7,20}

3.4. Sobre a acidez total das cervejas analisadas

A acidez da cerveja se deve principalmente aos ácidos orgânicos presentes na sua composição,²⁷ como o ácido acético, ácido propanóico, ácido butanóico, ácido pentanóico, ácido octanóico, ácido láctico, ácido pirúvico e ácido succínico.⁷ A acidez total das cervejas está relacionada aos ácidos orgânicos totais tituláveis,³⁰ e corresponde a todos os ácidos, dissociados e não dissociados.²⁷

Uma acidez alta pode indicar contaminação no mosto ou na cerveja por bactérias, e/ou uma ação insuficiente da levedura, possivelmente associada ao seu envelhecimento.^{8,31} O desempenho das leveduras pode resultar em pequena produção de compostos indesejados.⁶ A acidez total, isoladamente, não permite inferências conclusivas sobre a qualidade microbiológica. A produção e a matéria-prima podem aumentar a acidez total da cerveja; a contaminação do líquido por microrganismos durante a sua produção também pode causar o aumento da acidez.³¹

De acordo com a Figura 3b, a acidez total das cervejas analisadas apresentou valores entre 24,78 e 33,88 mEq L⁻¹. A legislação não estabelece valores para esse parâmetro físico-químico.³¹

Singer e colaboradores,²⁷ analisaram o pH e a acidez total de cinco tipos de cervejas industriais, a partir da mesma metodologia empregada no presente trabalho. As marcas A1 e A2 eram cervejas populares pilsen (lata de 350 mL), a cerveja marca B era uma *longneck*, pilsen, também popular e C1 e C2 eram cervejas IPAS *gourmets* (garrafa de vidro 600 mL). As cervejas analisadas apresentaram valores de pH entre 4,21 e 4,59, e de acidez total de 0,1794 a 0,4676% (o que corresponde a 29,90 a 77,93 mEq L⁻¹), concordantes com dados da literatura e com valores de referência.

Kutkoski e colaboradores,⁷ investigaram a acidez total de cerveja *lager*, na etapa de maturação da produção. Os valores de acidez total ficaram entre 19,75 a 29,28 mEq L⁻¹.

Os valores de acidez total de seis cervejas industriais, identificados por códigos, analisadas por Sousa e Fogaça,³¹ variaram de 27,0 a 38,7 meq L⁻¹.

Conforme pode ser visto nas Figuras 3a e 3b, as cervejas que apresentaram os menores valores de pH (3,48 e 3,56) também apresentaram maiores valores de acidez total (33,88 e 33,41 mEq L⁻¹), o que parece coerente. O pH é um parâmetro importante e difere da acidez total. Espera-se que quanto maior a acidez total, menor o pH, mas a correlação do pH com a acidez de cervejas é

complexa. Os fenóis presentes na cerveja possuem uma ação tampão, podendo evitar mudanças no pH, inclusive quanto a ácido adicional.³²

Uma análise pode ser feita a partir da acidez total da Coca-Cola e do Guaraná, e o pH desses refrigerantes. A Coca-Cola apresenta uma concentração total de ácido menor do que o Guaraná. No entanto, a Coca-Cola apresenta um valor de pH mais baixo (2,3), indicando uma maior concentração de íons H⁺ em solução. Tal diferença é atribuída à força do ácido utilizado como acidulante nos dois refrigerantes. O pK_a do primeiro hidrogênio ionizável de cada ácido mostra que esse íon é mais ionizado no ácido fosfórico (pK_a = 2,15), o acidulante da Coca-Cola, do que no ácido cítrico (pK_a = 3,13), o acidulante do Guaraná, o que explica o menor valor de pH da Coca-Cola, mesmo essa tendo uma menor acidez total.¹⁹

A partir do exposto para o comportamento entre o pH e a acidez total de refrigerantes, com cautela pode-se estender o mesmo raciocínio para as cervejas. Essas apresentam uma composição complexa, com diferentes ácidos, e ainda são de tipos/fabricantes diferentes e variados lotes de matéria-prima e de formulação. Apesar de ter-se admitido o ácido acético para expressar acidez total das cervejas, é possível a existência de outros ácidos na sua composição química, inclusive mais fortes do que o ácido acético.

3.5. Sobre a cor das cervejas analisadas

A cor da cerveja é definida de acordo com os ingredientes que são utilizados, sendo os principais fatores o tipo do malte e o nível de torra.¹¹ De acordo com Kutkoski e colaboradores,⁷ a cor das cervejas na etapa de maturação tem relação com a proporção de malte tradicional adicionado na sua formulação, podendo também estar relacionada com substâncias presentes na casca do malte.

A cor da cerveja resulta principalmente da ocorrência da reação de Maillard na etapa de fervura, dada a alta concentração de aminoácidos e carboidratos no mosto, os quais reagem formando melanoidinas (cor amarelo âmbar), maltol (sabor de caramelo ou tostado) e furaneol (sabor de morango).^{6,16,33} A reação de Maillard é a mesma reação que confere a cor dourada à casca do pão,³³ cujo mecanismo é apresentado por Coelho Neto e colaboradores,¹⁶ sendo uma versão mais simplificada apresentada por Bering.³⁴

A cor das cervejas analisadas apresentou valores entre 7,19 e 10,91 EBC, conforme citado anteriormente e apresentado nas Tabelas S1 e S2, bem como na Figura 3c. Dessa forma, todas as cervejas analisadas foram classificadas como claras, pois apresentaram valores de cor até 20 EBC.⁶

Segundo Coelho Neto e colaboradores,⁶ a faixa de cor das cervejas estilo pilsen é de 7 a 12 EBC, as quais apresentam cor amarelo dourada. Os valores de cor EBC

das cervejas estilo pilsen analisadas nesse trabalho estão de acordo com a literatura.⁶

Cruz²⁹ fez análise de cor de cervejas industriais e artesanais, por meio do mesmo método utilizado no presente trabalho. No caso das cervejas industriais Antártica, Amstel e Budweiser, os valores de cor obtidos foram 7,93, 6,60 e 5,82 EBC, respectivamente. A autora utilizou uma escala de cores e, com base nos valores de cor EBC, classificou as duas primeiras cervejas com coloração amarela, e a Budweiser com coloração palha. As cervejas artesanais analisadas apresentaram valores de cor EBC mais intensas do que as industriais, cujos valores foram 10,88 EBC e 11,90 EBC (coloração ouro), e 18,26 EBC (coloração âmbar profundo cobre).

Para converter valor de cor (EBC) em cor real da cerveja, inseriu-se o valor de cor (EBC) obtida na Tabela S2 na calculadora disponível na *internet*.³⁵ O valor de cor (EBC) obtido pelo método usado apresentou coerência com a cor real da bebida registrada por meio de fotografias das cervejas analisadas, conforme mostrado na Tabela S3.

3.6. Sobre o amargor das cervejas analisadas

A cerveja contém uma variedade de componentes que impactam diretamente em seu odor e sabor, sendo os principais contribuintes o malte e o lúpulo, *Humulus lupulus* L., usados em sua produção. Isto ocorre por causa dos compostos presentes no lúpulo, tais como, óleos essenciais (0,2-3%), β -ácidos ou lupulonas (1,5-9,5%) e α -ácidos ou humulonas (2,0-16,0%), cujas proporções dependem da planta.¹¹

O lúpulo é um ingrediente essencial na produção de cerveja. Consiste numa planta trepadeira nativa de regiões de clima temperado, existindo diversas variedades no planeta terra. Na inflorescência do lúpulo feminino (cones) são encontradas glândulas ricas em lupulina, uma mistura de substâncias que possui cor amarelada, constituída principalmente por polifenóis, α -ácidos e β -ácidos. Tais substâncias influenciam diretamente no sabor, aroma, estabilização da espuma e conservação da cerveja, e também possuem ação antibacteriana, antitumoral antioxidante e antimutagênica, no sistema biológico humano.^{6,24}

Os α -ácidos têm influência no amargor da cerveja. Lúpulos que apresentam um teor maior que 10% (m/m) de α -ácidos são chamados de “lúpulos de amargor”; os que possuem teor inferior a 5% (m/m) desses ácidos são denominados de “lúpulos de aroma”.⁶ As estruturas mais comuns dos α -ácidos podem ser vistas na Figura 4a.

Os α -ácidos se distinguem dos β -ácidos pela sua capacidade de formar um sal de chumbo pouco solúvel na presença acetato de chumbo, em meio de metanol a baixa temperatura.³⁶ Os α -ácidos e os β -ácidos apresentam absorção máxima em 325 nm e 355 nm, respectivamente.³⁷

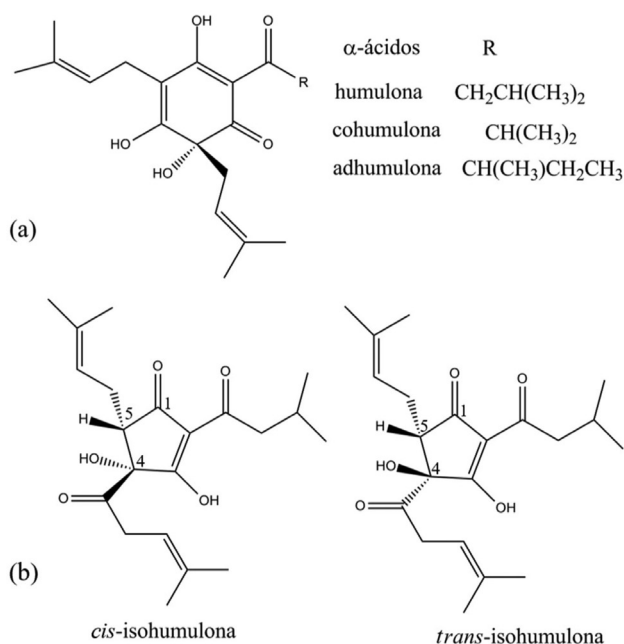


Figura 4. (a) Estrutura dos principais α -ácidos encontrados no lúpulo; (b) estruturas dos isômeros *cis* e *trans* da humulona (*cis*-isohumulona e *trans*-isohumulona), formados durante a etapa de fervura (adaptada das referências 24 e 36)

Em 275 nm ambas as espécies têm baixa absorbância, mas o produto da degradação possui alta absorvidade.³⁷ Na etapa de fervura, o aumento da temperatura proporciona a contração do anel dos α -ácidos, resultando na formação de isômeros *cis* e *trans*, transformando-os em iso- α -ácidos, que conferem o amargor à cerveja.

A Figura 4b apresenta o resultado da conversão de um α -ácido, a humulona, nos isômeros *cis* e *trans* isohumulona, cuja denominação se refere aos grupamentos OH e isoprenil dos carbonos 4 e 5, respectivamente, do anel de cinco membros. A *cis*-isohumulona é mais amarga que a *trans*-isohumulona, sendo a principal molécula responsável pelo amargor da cerveja.²⁴

Os iso- α -ácidos possuem ação anti-microbiana para bactérias gram-positivas, inibe a osteoporose e previne contra o Alzheimer.⁶ As estruturas dos principais iso- α -ácidos presentes na cerveja e de seus substituintes estão disponíveis na literatura.⁶

A partir da estrutura dos iso- α -ácidos (ver Figura 4b) é possível compreender porque a adição de ácido clorídrico é essencial no método de determinação do amargor das cervejas. A amostra de cerveja fica com pH em torno de 1; nesse pH a solubilidade dos iso- α -ácidos aumenta, porque os iso- α -ácidos são protonados e, portanto, se tornam mais solúveis na fase orgânica (iso-octano) do que na fase aquosa (cerveja).

Essa extração é muito eficiente, com um coeficiente de partição >10 quando a fase aquosa tem um pH < 3 e é misturada com iso-octano por 10 min. Para uma extração líquido-líquido eficiente dos iso- α -ácidos das cervejas é

importante que o pH das amostras de cerveja esteja abaixo do pK_a dos iso- α -ácidos. Por exemplo, o pK_a da *trans*-isohumulona é 3,1.²³

A partir da Figura 5 pode-se visualizar a fase orgânica, que contém o iso-octano com os iso- α -ácidos e seus derivados, na parte superior incolor, e a fase inorgânica na parte inferior, cuja cor refere-se à cor da cerveja em si. A camada de emulsão que se desenvolveu entre as fases orgânica e aquosa durante a extração dos iso- α -ácidos foi comprimida durante a centrifugação, facilitando a remoção do iso-octano, sem perturbá-la. A fase orgânica de iso-octano (superior) foi removida cuidadosamente para determinação do amargor da cerveja, evitando-se a remoção conjunta da camada intermediária de espuma, entre as fases aquosa e orgânica.²³

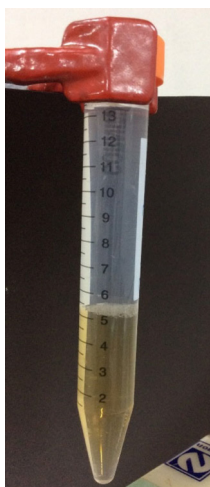


Figura 5. Fase orgânica (superior) separada da fase aquosa (inferior) da amostra de cerveja CPM1, com camada intermediária de espuma

A Figura 6 apresenta os espectros de absorção da fase orgânica da extração líquido-líquido das cervejas analisadas. Observa-se as bandas com comprimentos de onda de máxima absorção, $\lambda_{\text{máx}}$, localizados em torno de 275 nm, confirmando a extração dos iso- α -ácidos das cervejas.

Conforme mostrado na Figura 3d e na Tabela S2, o amargor das cervejas analisadas apresentou valores entre 6,83 e 15,20 IBU. A legislação brasileira não estabelece valores mínimos ou máximos para este parâmetro.¹²

Segundo Coelho Neto e colaboradores,⁶ a faixa de amargor de cervejas estilo pilsen, as quais apresentam baixo amargor com sabor e aroma que lembram o lúpulo, é de 6 a 12 IBU. De acordo com Kutkoski e colaboradores,⁷ cervejas estilo pilsen produzidas no Brasil possuem valores entre 8 e 20 IBU, normalmente. Silva e Faria¹¹ determinaram o amargor de cervejas estilo pilsen, e obtiveram valores de 11 a 15 IBU.

A faixa de amargor obtida nesse trabalho encontra-se dentro da faixa de amargor reportada na literatura.^{6,7,11}

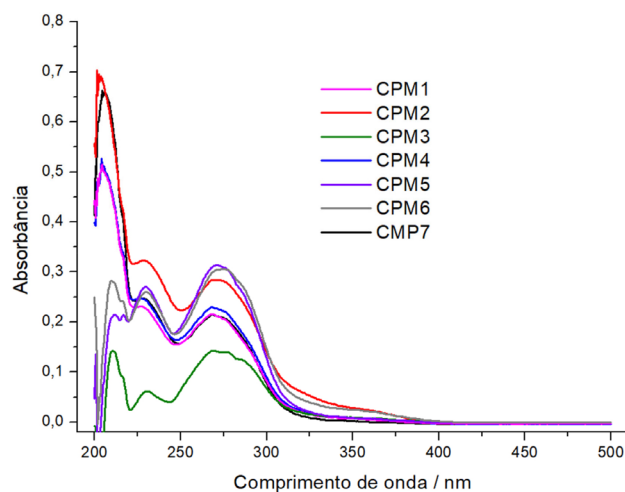


Figura 6. Espectros de absorção dos iso- α -ácidos extraídos das cervejas analisadas

A cerveja estilo *munich helles* apresentou um amargor mais acentuado (15,20 IBU). Esse comportamento está de acordo com Kutkoski e colaboradores,⁷ que menciona que o estilo da cerveja tem influência no seu amargor. De acordo com esses autores,⁷ o pH da etapa de fervura influencia fortemente no amargor das cervejas *lager*.

Cerveja estilo *american ligh lager*, representativa da maioria das cervejas comerciais no Brasil, normalmente possui amargor na faixa de 8 a 12 IBU, o que é muito próximo do limiar de percepção do gosto amargo das isohumulonas nesta bebida; por outro lado, cervejas estilo *Indian Pale Ale* podem apresentar amargor acima de 45 IBU.²⁴

Os valores de amargor obtidos para as cervejas analisadas apresentaram-se concordantes com os valores informados na embalagem (cervejas CPM5 e CPM6) ou na internet (cerveja CPM1), e/ou com dados da literatura. Os métodos analíticos baseados na técnica de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) para determinação do amargor são mais seletivos; o método espectrofotométrico é adequado para fins comparativos e didáticos, mas não substitui os métodos de referência.

4. Conclusão

Empregou-se metodologias analíticas instrumentais baseadas nas técnicas potenciométrica e espectrofotométrica para a realização da caracterização físico-química de sete cervejas industriais de três cervejarias diferentes, de dois estilos (pilsen e *munich helles*), onde os seguintes parâmetros foram avaliados: pH, acidez total, cor e amargor. O controle físico-químico dos parâmetros analisados tem grande impacto na produção de cerveja, sendo de fundamental importância para garantir a qualidade esperada do produto final.

Em geral, os valores de pH e acidez total obtidos no presente trabalho mostraram-se coerentes com os valores reportados na literatura, para cervejas industriais. Todas as cervejas analisadas foram classificadas como claras, pois apresentaram valores de cor até 20 EBC. O amargor das cervejas analisadas ficou dentro da faixa de amargor esperada.

Este trabalho abordou um número limitado de amostras de cervejas industriais, não tendo sido realizada análise microbiológica, possuindo portanto um caráter exploratório no que se refere à análise química desta bebida.

Contudo, apresentou ineditismo no que diz respeito à aplicação de técnicas analíticas instrumentais na análise química de cervejas. A titulação potenciométrica mostrou-se adequada para determinação da acidez total, enquanto a titulação condutimétrica evidenciou a formação de sistemas tampão no meio reacional.

Informações Suplementares

As informações suplementares deste trabalho estão disponíveis gratuitamente em <https://rvq.sbq.org.br/pdf/AR2026-5062-MS>.

Agradecimentos

Os autores agradecem às servidoras Ana Cristina Ferreira e Paula Cordeiro Rodrigues da Cunha, do Multilab Univerde III/PROPPG/UFTM, pelo auxílio no registro dos espectros de absorção, ao Prof. Dr. Geoffrey Roger Pointer Malpass, do DEQ/ICTE/UFTM, e ao Gustavo Magrin, pela revisão do *Abstract*.

Referências Bibliográficas

1. Siqueira, J. H.; Santana, N. M. T.; Pereira, T. S. S.; Moreira, A. D.; Benseñor, I. M.; Barreto, S. M.; Velasquez-Melendez, G.; Molina, M. del C. B.; Consumo de bebidas alcoólicas e não alcoólicas: Resultados do ELSA-Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva* **2021**, *26*, 3825. [Crossref]
2. Hamper, B. C.; Meisel, J. W.; Introducing Nonscience Majors to Science Literacy via a Laboratory and Lecture Beer Brewing Course. *Journal of Chemical Education* **2020**, *97*, 1289. [Crossref]
3. Korolija, J. N.; Plavsic, J. V.; Marinkovic, D.; Mandic, L. M.; Beer as a Teaching Aid in the Classroom and Laboratory. *Journal of Chemical Education* **2012**, *89*, 605. [Crossref]
4. Site Ministério da Agricultura e Pecuária. Anuário da Cerveja 2024: ano de referência 2023, 1a. ed., Ministério da Agricultura e Pecuária. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/dipov-1/conteudo-da-inspecao-vegetal/anuarios-pov/anuario-da-cerveja-2024-ano-referencia-2023/view>>. Acesso em 25 março 2026.
5. Site Ministério da Agricultura e Pecuária. Consolidação das Normas de Bebidas, Fermentado Acético, Vinho e Derivados da Uva e do Vinho. Disponível em: <www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-programas-nacionais-e-seguranca-dos-alimentos-1/legislacao/compendios/Anexo_Instrucao_Normativa_140_2024_6Edicao.pdf>. Acesso em 25 março 2026.
6. Coelho Neto, D. M.; Ferreira, L. L. P.; Sad, C. M. S.; Castro, E. V. R.; Borges, W. S.; Filgueiras, P. R.; Lacerda Junior, V.; Conceitos Químicos Envolvidos na Produção da Cerveja: Uma Revisão. *Revista Virtual de Química* **2020**, *12*, 120. [Crossref]
7. Kutkoski, R. F.; Cabrera, L. C.; Rosa, M. R.; Felsner, M. L.; Influência do Processamento e da Matéria Prima nas Características Físico-Químicas de Cerveja Lager Produzida em uma Microcervejaria. *Revista Virtual de Química* **2019**, *11*, 720. [Crossref]
8. Rosa, N. A.; Afonso, J. C.; A Química da Cerveja. *Química Nova na Escola* **2015**, *37*, 98. [Crossref]
9. Almeida, V. S.; Paula, B. M. D.; Hornink, G. G.; Cerveja com Ciência: integrando conhecimentos. *EntreAções: diálogos em extensão* **2023**, *4*, 31. [Link]
10. Hornink, G. G.; Galembeck, G.; *Glossário Cervejeiro: Da Cultura à Ciência*, 1a. ed., Universidade Federal de Alfenas: Alfenas, 2019. [Link]
11. Silva, P. H. A.; Faria, F. C.; Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **2008**, *28*, 902. [Link]
12. Site Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 65, de 10 de dezembro de 2019 estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/2022/instrucao-normativa-estabelece-padrao-de-qualidade-e-identidade-para-cerveja>>. Acesso em 25 março 2026.
13. Programa de Juízes de Cerveja (*Beer Judge Certification Program*, BJCP), 2021. [Link]
14. Sousa, A. G.; Chagas, F. W. M.; Gois, L. C.; Silva, J. G.; Determinação Condutimétrica e Potenciométrica de Ácido Acetilsalicílico em Aspirina®: Uma Sugestão de Prática para a Análise Instrumental. *Revista Virtual de Química* **2018**, *10*, 502. [Crossref]
15. Gomes, L. H.; Cruz, C. R. da; Rocha, N. T.; Castilho, B. P. de; Lima, P. H. M. P.; Silva, L. A. da; Alves, V. A.; Determinação Potenciométrica e Condutimétrica de Carbonato de Lítio em Comprimido Antidepressivo: Uma Sugestão de Prática Para o Ensino de Química Analítica Instrumental. *Revista Virtual de Química* **2023**, *16*, 351. [Crossref]
16. Coelho Neto, D. M.; Moreira, L. L. P. F.; Castro, E. V. R. DE.; Souza, W. B.; Filgueiras, P. R.; Romão, W.; Folli, G. S.; Jr., V. L.; Estudo do perfil químico de cervejas brasileiras: uma avaliação entre as bebidas artesanais e industriais. *Química Nova* **2022**, *45*, 518. [Crossref]

17. Oliveira, E. A.; Desenvolvimento de duas formulações base de cerveja estilo sour empregando *kefir* e *kombuchana* fermentação. *Brazilian Journal of Development* **2021**, *7*, 5616. [Crossref]
18. Zenebon, O.; Pascuet, N. S.; Tiglea, P.; *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*, 4a. ed. e 1a. ed. digital, Instituto Adolfo Lutz: São Paulo, 2008. [Link]
19. Pierini M. F.; Rocha, N. C.; Silva Filho, M. V.; Castro, H. C.; Lopes, R. M.; Aprendizagem Baseada em Casos Investigativos e a Formação de Professores: O Potencial de Uma Aula Prática de Volumetria para Promover o Ensino Interdisciplinar. *Química Nova na Escola* **2015**, *37*, 112. [Crossref]
20. Alves, L. M. F.; Análise físico-química de cervejas tipo *pilsen* comercializadas em Campina Grande na Paraíba. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.
21. Barros, I. L.; Elaboração de cerveja artesanal no estilo saison com limão siciliano e pimenta rosa. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019. [Link]
22. Hooker, P. D.; Deutschman, W. A.; Avery, B. J.; The Biology and Chemistry of Brewing: An Interdisciplinary Course. *Journal of Chemical Education* **2014**, *91*, 336. [Crossref]
23. Hunter, R. A.; Dompkowski, E. J.; Quantifying Beer Bitterness: An Investigation of the Impact of Sample Preparation. *Journal of Chemical Education* **2018**, *95*, 2009. [Crossref]
24. Durello, R. S.; Silva, L. M.; Bogusz, S; Química do lúpulo. *Química Nova* **2019**, *42*, 900. [Crossref]
25. Gutz, I. G. R.; Programa CurTiPot: pH e Curvas de Titulação Potenciométrica: Análise e Simulação, versão 4.3.1. Disponível em: <<https://www.iq.usp.br/gutz/Curtipot.html>>. Acesso em 25 março 2026.
26. Martins, J. V.; Souza, A. P. R.; Salles, M. O.; Serrano, S. H. P.; Determinação de ácido acético em amostra de vinagre adulterada com ácido clorídrico - um experimento integrado de titulação potenciométrica e condutométrica. *Química Nova* **2010**, *33*, 755. [Crossref]
27. Singer, J. D.; Lunkes, A. M.; Steinheusen, G.; Heckler, P. L.; Drun, B. H.; Determinação de acidez total em cervejas industriais. XI Seminário de Extensão e Inovação da UTFPR, XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Guarapuava: Guarapuava, 2021. [Link]
28. Oliveira, N. A. M.; Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja. *Trabalho de Conclusão de Especialização*, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. [Link]
29. Cruz, W. F.; Avaliação do perfil dos consumidores e das características físico-químicas de cervejas artesanais e industriais. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Farmácia, Universidade de Uberaba, Uberaba, 2020. [Link]
30. Goiana, M. L.; Pinto, L. Í. F.; Zambelli, R. A.; Miranda, K. W. E.; Pontes, D. F.; Análises físico-químicas de cervejas artesanais Pale Ale comercializadas em Fortaleza, Ceará. XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, FAURGS: Gramado, 2016. [Link]
31. Sousa, V. M.; Fogaça, L. C. S.; Perfil Físico-Químico de Cervejas Artesanais e Industriais e Adequação dos Rótulos Quanto à sua Graduação Alcoólica. *Id on Line: Revista Multidisciplinar e de Psicologia* **2019**, *13*, 440. [Link]
32. Hanna Instruments. *Influência do pH e da Acidez Titulável em Cervejas Sour*. Disponível em: <<https://hannainst.com.br/ph-e-acidez-titulavel-em-cervejas-sour/>>. Acesso em 26 março 2026.
33. Schwartz, A. *Treansferência de cor e aroma do malte para cerveja*. Disponível em <<https://engarrafadormoderno.com.br/processos/transferencia-de-cor-e-aroma-do-malte-para-cerveja#:~:text=O%20fator%20mais%20importante%20que>>. Acesso em 26 de março 2026.
34. Bering C. L.; The biochemistry of brewing. *Journal of Chemical Education* **1988**, *65*, 519. [Crossref]
35. Beer Color Converter. Disponível em <<https://www.brewersfriend.com/color-calculator/#>>. Acesso em 10 agosto 2025.
36. Egts, H.; Durben, D. J.; Dixon, J. A.; Zehfus, M. H.; A Multicomponent UV Analysis of α - and β -Acids in Hops. *Journal of Chemical Education* **2012**, *89*, 117. [Crossref]
37. McClure, D. W.; The chemistry of winemaking and brewing. *Journal of Chemical Education* **1976**, *53*, 70. [Crossref]