

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,*} 

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

*valeria.alves@uftm.edu.br

1. Metodologias empregadas para determinação do pH e da acidez total das cervejas

A solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L⁻¹, utilizada nos experimentos de titulação das cervejas, foi preparada e padronizada contra o biftalato de potássio, HK(C₈H₄O₄), conforme procedimento já descrito na literatura.¹

Transferiu-se 30,00 mL de cerveja, usando-se uma bureta de 50 mL, para um béquer de 50 mL de forma alta, onde acrescentou-se uma barra de agitação magnética e mergulhou-se o eletrodo de vidro combinado (EVC), calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0; a cela condutimétrica, calibrada com uma solução padrão de condutividade 146,9 µS cm⁻¹; e os sensores de temperatura.

Colocou-se o titulante, solução padrão de NaOH 0,1 mol L⁻¹, numa bureta digital de 50 mL e titulou-se a amostra. Mediu-se o pH e a condutividade inicial ($V_{\text{titulante}}=0$) e adicionou-se o titulante de 0,50 em 0,50 mL, procedendo sempre à leitura e anotação dos valores do pH e da condutividade

registrados no medidor de pH e no condutivímetro, respectivamente, após a estabilização dos mesmos.

Nas imediações do ponto final o volume do titulante foi adicionado em intervalos de 0,25 mL. Continuou-se a titulação até os valores de pH e de condutividade atingirem um “patamar”. A titulação foi realizada em triplicata.

Tabelou-se os dados e construiu-se as curvas pH *versus* Volume de titulante (mL); dpH/dV *versus* Volume de titulante (mL), d²pH/dV² *versus* Volume de titulante (mL), Condutividade (μS cm⁻¹) *versus* Volume de titulante (mL) e Condutividade corrigida (μS cm⁻¹) *versus* Volume de titulante (mL), utilizando o programa de computador CurTiPot-Cond (Versão 4.3.1, maio/2021) para Microsoft Excel[®].²

Determinou-se o volume no ponto final (V_{PF}) e, a partir disso, determinou-se a acidez total da cerveja em g/100 mL de amostra,³ e em mEq L⁻¹. O cálculo de acidez total, expressa em termos do ácido acético, foi realizado de acordo com a Equação (S1):³

$$\frac{n.C.f.MM}{10.V} = \text{ácidos totais, em g de ácido acético por 100 mL de amostra (S1)}$$

Onde:

n = volume gasto na titulação da solução de hidróxido de sódio, em mL

C = concentração da solução de hidróxido de sódio, em mol L⁻¹ (= 0,1 mol L⁻¹)

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio. $f = C_{\text{obtida}}/C_{\text{nominal}}$

MM = massa molar do ácido acético (60 g mol⁻¹)

V = volume tomado da amostra, em mL (= 30,00 mL)

2. Metodologias empregadas para determinação da cor e do amargor das cervejas

Utilizou-se o método 8.5 espectrofotométrico da Analytica – EBC para determinação da cor das cervejas;⁴ para realizá-lo, procedeu-se às leituras das absorbâncias das amostras de cerveja a 430 nm (A_{430nm}), em cubeta de quartzo com 1,0 cm de caminho ótico, usando água como branco. A cor das cervejas analisadas foi determinada a partir da Equação (S2):

$$Cor (EBC) = A_{430nm} \times 25 \quad (S2)$$

Onde:

EBC: representa o valor da cor da bebida

Cervejas claras apresentam valores de cor até 20 EBC; valores acima de 20 EBC correspondem às cervejas escuras.⁴ Há uma calculadora⁵ para converter o valor de cor EBC em cor da cerveja, que pode ser usada para verificar se o valor de cor EBC obtido pelo método usado está coerente com a cor real da bebida. Essa calculadora também foi utilizada no presente trabalho.

Utilizou-se o método 8.8 espectrofotométrico da Analytica – EBC para determinação do amargor das cervejas,⁶ o qual consistiu na adição de 0,25 mL de ácido clorídrico 6 mol·L⁻¹ a 5,00 mL de cerveja, seguida da adição de 10,00 mL de iso-octano. Em seguida, a mistura foi agitada durante 15 minutos, em agitador magnético, e centrifugada a 1000 rotações por minuto (rpm), por 3 minutos. O sobrenadante (iso- α -ácidos) foi removido e a absorbância medida a 275 nm (região do ultravioleta), usando iso-octano como branco.⁴

Os volumes das amostras de cerveja e de reagentes utilizados foram reduzidos pela metade, em relação ao método 8.8 espectrofotométrico da Analytica – EBC. Além da economia de reagentes e de menor geração de resíduos, isso permitiu centrifugar a mistura reacional em tubos Falcon de 15 mL, que foram usados na centrifuga disponível no laboratório de química.

O amargor das cervejas analisadas foi calculado a partir da Equação (S3):^{4,6}

$$IBU = A_{275nm} \times 50 \quad (S3)$$

Onde:

A: é a absorbância medida em comprimento de onda de 275 nm

IBU: *International Bitterness Units*

Na Equação (S3) a absorbância é multiplicada por um fator de conversão de 50, que assume que ~70% da absorbância medida é devida aos iso- α -ácidos,⁷ o que quer dizer que esses são responsáveis por mais de 70% do amargor identificado de forma sensorial nas cervejas.⁸

Este método é considerado simplificado, e fornece uma análise rápida do amargor, que permite aos cervejeiros fazer comparações do amargor de cervejas a um custo muito baixo. No entanto, para uma quantificação mais exata dos iso- α -ácidos, a *American Society of Brewing Chemists* (ASBC) e a *European Brewery Convention* (EBC) têm trabalhado para desenvolver métodos que utilizam a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência, HPLC.⁷

Os espectros de absorção da fase orgânica das cervejas, que contém os iso- α -ácidos, foram registrados na faixa de comprimento de onda de 200 a 500 nm, em cubeta de quartzo de 1,0 cm de caminho ótico. Utilizou-se como branco o iso-octano.

Tabela S1. Dados obtidos experimentalmente das cervejas analisadas

Fabricante da Cerveja Puro Malte	pH _{sem diluir}	Titulação C _{NaOH} = 0,09695 mol L ⁻¹	V _{amostra} / mL	V _{NaOH gasto} / mL*	V _{NaOH gasto} / mL**	A ₄₃₀	A ₂₇₅
(CPM1)	3,69	1	30,00	9,0727	6,31	0,411	0,207
	3,71	2		10,2694	6,23	0,417	0,218
	3,72	3		8,8908	6,14	0,423	0,215
(CPM2)	3,87	1	30,00	10,7938	7,52	0,384	0,282
	3,87	2		10,3698	7,31	0,404	0,293
	3,89	3		9,6188	7,47	0,393	0,293
(CPM3)	3,55	1	30,00	10,8738	5,51	0,382	0,140
	3,56	2		10,8392	4,67	0,388	0,139
	3,57	3		9,2988	5,04	0,389	0,131
(CPM4)	3,79	1	30,00	10,3838	7,61	0,435	0,222
	3,80	2		9,6848	7,43	0,434	0,218
	3,79	3		8,2062	6,85	0,440	0,209
(CPM5)	3,46	1	30,00	11,3673	5,65	0,286	0,309
	3,48	2		9,6608	5,38	0,288	0,287
	3,50	3		10,4188	4,67	0,289	0,306
(CPM6)	4,01	1	30,00	8,2234	4,47	0,336	0,306
	4,03	2		7,3709	4,30	0,339	0,307
	4,04	3		7,4132	4,61	0,340	0,299
(CPM7)	4,01	1	30,00	9,2470	6,09	0,319	0,208
	4,02	2		8,0838	6,28	0,326	0,202
	4,06	3		7,1948	5,64	0,332	0,208

*Titulação potenciométrica.

**Titulação condutimétrica.



Tabela S2. Resultados das análises físico-químicas das cervejas

Fabricante da Cerveja Puro Malte	pH	Acidez Total / g/100 mL	Acidez Total* / mEq L ⁻¹	Cor / EBC	Amargor / IBU
(CPM1)	3,69	0,1759	29,32	10,28	10,35
	3,71	0,1991	33,19	10,42	10,90
	3,72	0,1724	28,73	10,58	10,75
Média	3,71	0,1825	30,41	10,42	10,67 (11)**
(CPM2)	3,87	0,2093	34,88	9,60	14,10
	3,87	0,2011	33,51	10,10	14,65
	3,89	0,1865	31,08	9,82	14,65
Média	3,88	0,1990	33,16	9,84	14,47
(CPM3)	3,55	0,2108	35,14	9,55	7,00
	3,56	0,2102	35,03	9,70	6,95
	3,57	0,1803	30,05	9,72	6,55
Média	3,56	0,2004	33,41	9,66	6,83
(CPM4)	3,79	0,2013	33,56	10,88	11,10
	3,80	0,1878	31,30	10,85	10,90
	3,79	0,1591	26,52	11,00	10,45
Média	3,79	0,1828	30,46	10,91	10,82
(CPM5)	3,46	0,2204	36,74	7,15	15,45
	3,48	0,1873	31,22	7,20	14,35
	3,50	0,2020	33,67	7,22	15,30
Média	3,48	0,2032	33,88	7,19	15,03 (16)**

*A acidez total, em g/100 mL de amostra, foi convertida em mEq L⁻¹ para facilitar a comparação com dados da literatura, cujos autores⁶ usaram essa última unidade de concentração para expressar a acidez total de cervejas. Para isso, dividiu-se a massa de ácido acético, em g, pelo produto dado pela massa molar do ácido acético (60 g) multiplicado pelo volume em L (0,1 L). Obteve-se a concentração em mol L⁻¹, que foi convertida em mmol L⁻¹ e é equivalente a mEq L⁻¹.

**O valor entre parênteses refere-se ao amargor (IBU), informado pelo fabricante na embalagem da cerveja.

Tabela S2. Resultados das análises físico-químicas das cervejas (cont.)

Fabricante da Cerveja Puro Malte	pH	Acidez Total / g/100 mL	Acidez Total* / mEq L ⁻¹	Cor / EBC	Amargor / IBU
(CPM6)	4,01	0,1594	26,58	8,40	15,30
	4,03	0,1429	23,82	8,48	15,35
	4,04	0,1437	23,96	8,50	14,95
Média	4,03	0,1487	24,78	8,46	15,20 (16)**
(CPM7)	4,01	0,1793	29,88	7,98	10,40
	4,02	0,1567	26,12	8,15	10,10
	4,06	0,1395	23,25	8,30	10,40
Média	4,03	0,1585	26,42	8,14	10,30

*A acidez total, em g/100 mL de amostra, foi convertida em mEq L⁻¹ para facilitar a comparação com dados da literatura, cujos autores⁶ usaram essa última unidade de concentração para expressar a acidez total de cervejas. Para isso, dividiu-se a massa de ácido acético, em g, pelo produto dado pela massa molar do ácido acético (60 g) multiplicado pelo volume em L (0,1 L). Obteve-se a concentração em mol L⁻¹, que foi convertida em mmol L⁻¹ e é equivalente a mEq L⁻¹.

**O valor entre parênteses refere-se ao amargor (IBU), informado pelo fabricante na embalagem da cerveja.

Tabela S3. Conversão da cor EBC em cor real da cerveja, usando a calculadora⁵

Fabricante da Cerveja Puro Malte	Cor / EBC	Cor obtida na calculadora		Cor real
CPM1	10,42	EBC: 10,42 HTML Hex: #F8B123 Color:		
CPM2	9,84	EBC: 9,84 HTML Hex: #F8B123 Color:		
CPM3	9,66	EBC: 9,66 HTML Hex: #F8B123 Color:		
CPM4	10,91	EBC: 10,91 HTML Hex: #F8A600 Color:		
CPM5	7,19	EBC: 7,19 HTML Hex: #FFBF42 Color:		
CPM6	8,46	EBC: 8,46 HTML Hex: #FFBF42 Color:		
CPM7	8,14	EBC: 8,14 HTML Hex: #FFBF42 Color:		

Fotografias obtidas pelos autores.

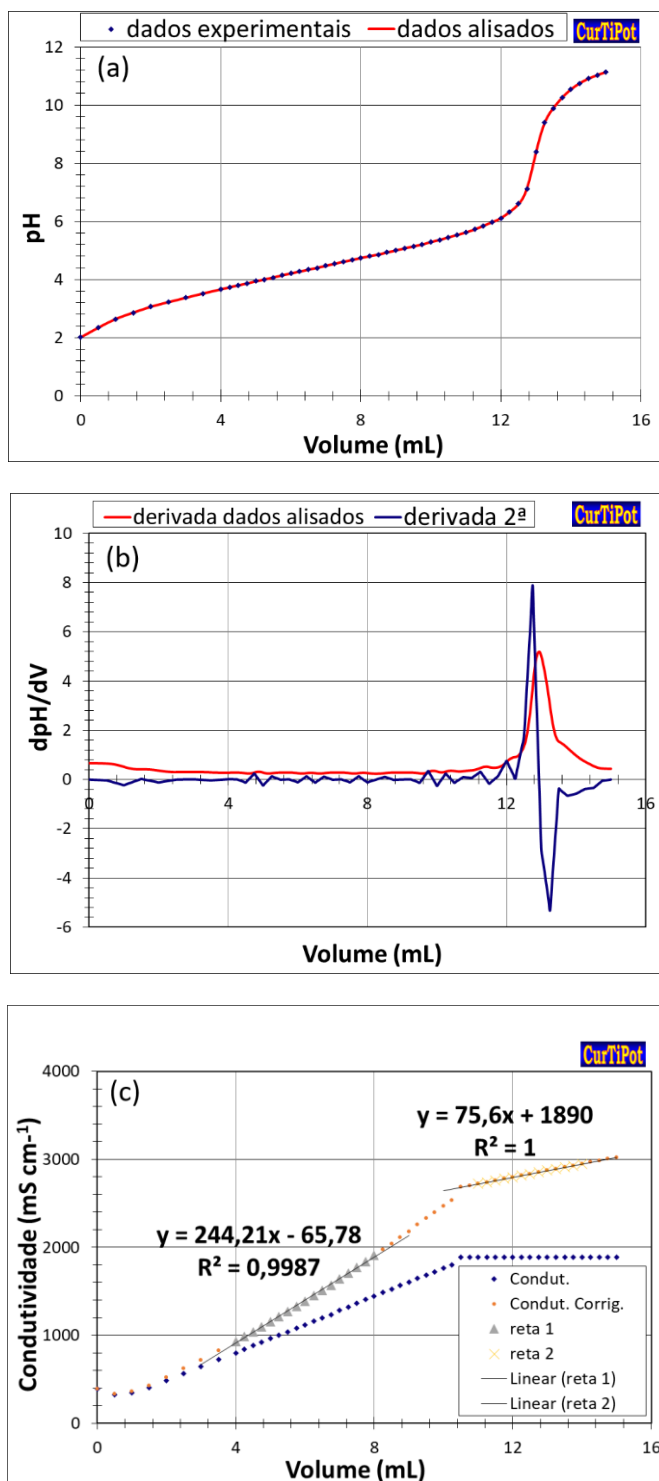


Figura S1. (a) Curva de titulação potenciométrica (sigmoidal); (b) curvas da 1ª e da 2ª derivadas da curva de titulação potenciométrica; (c) curva de titulação condutimétrica, mostrando a condutividade e a condutividade corrigida. Solução de ácido succínico $0,020 \text{ mol L}^{-1}$ e solução padrão de NaOH $0,09479 \text{ mol L}^{-1}$ como titulante

Referências Bibliográficas

1. Baccan, N.; Andrade, J. C.; Godinho, O. E. S.; Barone, J. S.; *Química Analítica Quantitativa Elementar*, 3ª. ed., Blucher: São Paulo, 2001.
2. 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.
3. 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]
4. 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]
5. Beer Color Converter. Disponível em <<https://www.brewersfriend.com/color-calculator/#>>. Acesso em 10 agosto 2025.
6. 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]
7. 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]
8. 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]

