



Daniela Radavelli

Validação de metodologia analítica para a determinação de metanol e acetaldeído em vinhos e espumantes

Maria Gabriele Delagustin¹

Kélen Cristofoli¹

Placidina Aparecida Martins¹

Graciela Obes¹

Beatriz Galante Frare¹

Nereu Luiz Baldo Junior¹

Juliana Silveira de Quadros¹

Gregório Bircke Salton¹

¹Vinícola Salton S.A.
95710-000 - Bento Gonçalves, RS
Autor correspondente:
maria.delagustin@salton.com.br

Resumo



metanol e o acetaldeído são compostos voláteis produzidos no processo de vinificação da uva. A quantidade produzida pode variar dependendo do tipo de uva, do processo de vinificação, condições de armazenamento, entre outros fatores. O objetivo desse estudo foi validar uma metodologia analítica de quantificação de metanol e acetaldeído por GC-FID, além da determinação do teor desses compostos em vinhos, espumantes e frisantes elaborados no Rio Grande do Sul. O método validado para metanol e acetaldeído apresentou comportamento linear nas faixas de trabalho, 20 a 600 mg.L⁻¹ e 5 a 100 mg.L⁻¹, respectivamente. O ajuste foi realizado pelo método dos mínimos quadrados ponderados. Os parâmetros validados (linearidade, limites de quantificação e detecção e precisão) estão de acordo com os valores estipulados pelos guias de validação analítica. As 386 amostras analisadas foram divididas em sete classes de produtos. Todos os resultados de metanol ficaram dentro dos limites máximos estipulados pela legislação brasileira. Os espumantes apresentaram teores de metanol inferiores a 100 mg.L⁻¹. Os teores de metanol dos vinhos variaram entre as três variedades analisadas (vinhos tintos e brancos de variedades americanas e híbridas e vinho tinto fino). Poucas diferenças nos teores de acetaldeído foram identificadas entre os espumantes e entre os vinhos. Os resultados obtidos fazem parte das formas de controle da qualidade de vinhos e espumantes, quanto ao atendimento dos padrões de identidade e qualidade vigentes. Ainda, novos dados em relação ao teor desses compostos foram apresentados, sendo uma base de dados para futuras pesquisas.

Palavras-chave: cromatografia gasosa, validação, compostos voláteis, fermentação alcoólica.

Abstract

Validation of an analytical method for determining methanol and acetaldehyde in wines and sparkling wines

Methanol and acetaldehyde are volatile compounds produced during the grape winemaking process. Their concentrations can vary depending on the grape type, winemaking process, storage conditions, and other factors. The objective of this study was to validate an analytical methodology for quantifying methanol and acetaldehyde using GC-FID, as well as to determine the content of these compounds in wine, sparkling wines, and semi-sparkling wines produced in Rio Grande do Sul. The validated method for methanol and acetaldehyde exhibited linear behavior in the working ranges of 20-600 mg·L⁻¹ and 5-100 mg·L⁻¹, respectively. The adjustment was performed using the weighted least squares method. The validated parameters (linearity, limits of quantification and detection, and precision) were consistent with the values stipulated by analytical validation guidelines. The 386 samples analyzed were divided into seven product classes. All methanol results were within the maximum limits established by Brazilian legislation. The sparkling wines had methanol levels below 100 mg·L⁻¹. The methanol levels of the wines varied among the three categories analyzed (red and white wines from American and hybrid varieties, and fine red wines). Few differences in acetaldehyde levels were identified among the sparkling wines and among the wines. These results contribute to the quality control of wines and sparkling wines, ensuring compliance with current identity and quality standards. Furthermore, new data on the levels of these compounds were presented, serving as a database for future research.

Keywords: gas chromatography; validation; volatile compounds; alcoholic fermentation.

Introdução

De acordo com a legislação brasileira (Lei nº 7678, de 1988) vinho é uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto simples de uva sã, fresca e madura (Brasil, 1988). Na fermentação alcoólica, além do etanol, diversos compostos voláteis são formados, como por exemplo álcoois superiores (álcool isoamílico, isobutanol, propanol, entre outros), ácidos orgânicos (ácido acético, succínico e lático) e aldeídos (acetaldeído) (Rizzon, 1985; Rizzon; Miele, 2006; Hodson *et al.*, 2017).

O metanol também é produzido durante o processo de vinificação da uva pela quebra da pectina. A pectina é um heteropolissacarídeo presente em frutas e vegetais. Na uva, está presente em maior concentração na casca. A produção do metanol está diretamente ligada à quantidade de pectina e à ação das enzimas pectinases. As enzimas pectinases são as responsáveis pela hidrólise da pectina em unidades menores (ácido poligalacturônico), cuja reação também é responsável pela formação do metanol. Os fatores que influenciam no teor de metanol produzido são o tipo e variedade da uva, tempo de contato com as cascas (maceração), temperatura da fermentação, uso de enzimas e tipo de levedura. De forma geral, uvas com maiores teores de pectina (cascas mais espessas) e com processo de maceração mais prolongado, tendem a produzir vinhos com teores de metanol mais elevados. No processo de vinificação dos vinhos tintos, há um maior contato do mosto com as cascas, justificando maiores teores de metanol em relação aos brancos e rosados. Ainda, temperaturas mais altas durante a fermentação podem acelerar a atividade enzimática das pectinases e, consequentemente, a produção do metanol (Lee *et al.*, 1975; Blumenthal *et al.*, 2021; Hodson *et al.*, 2017; Shen *et al.*, 2024).

O metanol é considerado uma substância tóxica para o organismo humano devido a sua metabolização pelo fígado em formaldeído e ácido fórmico. O ácido fórmico é o responsável pela toxicidade devido à acumulação no organismo, podendo levar ao quadro de acidose metabólica e afetando o funcionamento de diversos órgãos (Pressman *et al.*, 2020). Portanto, a legislação brasileira, a OIV (Organização Internacional da

Vinha e do Vinho) e o Mercosul determinam limites máximos de metanol em bebidas derivadas da fermentação da uva (Brasil, 2018; Mercosul, 2020; OIV, 2024). A legislação brasileira determina o limite máximo de 400 mg.L⁻¹ para vinhos tintos e 300 mg.L⁻¹ para brancos e rosados. A OIV preconiza 400 mg.L⁻¹ para vinhos tintos e 250 mg.L⁻¹ para brancos e rosados. O regulamento vitivinícola do Mercosul determina o limite máximo de 300 mg.L⁻¹.

O acetaldeído é um produto intermediário da fermentação alcoólica. É produzido em concentrações variáveis (10 a 140 mg.L⁻¹) dependendo do tipo de uva e da levedura utilizada na produção do mosto. Também, é produzido em menores quantidades, pela oxidação do etanol em acetaldeído. Apresenta a característica de combinar com o SO₂ adicionado ao vinho, formando o SO₂ combinado. Quanto maior a quantidade de acetaldeído, maior a proporção de SO₂ combinado e, consequentemente, menor a proporção de SO₂ livre. Sendo assim, é necessário adicionar mais SO₂ para obter o mesmo efeito de antioxidante e conservante (Romano *et al.*, 2003; Azevêdo *et al.*, 2007; Coppola *et al.*, 2021).

A produção de acetaldeído durante a fermentação alcoólica é promovida por alguns fatores, como a temperatura muito baixa, deficiências nutricionais nas leveduras ou muito açúcar. O acetaldeído é uma molécula que reage com diversos compostos do vinho, resultando em produtos desejados, mas também em defeitos organolépticos (Romano *et al.*, 2003; Azevêdo *et al.*, 2007).

O acetaldeído está presente em pequenas quantidades nas bebidas fermentadas, sendo que a maior parte dos casos de toxicidade do acetaldeído são devido ao consumo excessivo de etanol. O etanol é metabolizado no fígado em acetaldeído. O acetaldeído é tóxico em doses elevadas e é classificado como carcinogênico. A legislação brasileira não determina um limite máximo de acetaldeído para vinhos, entretanto estabelece limites máximos para destilados, como aguardente de cana, conhaque, destilado simples de uva, grapa (Lachenmeier; Sohnius, 2009; IARC, 2025; Brasil, 2018; Brasil 2022).

Devido a importância e ocorrência do metanol e acetaldeído formados no processo de vinificação, este trabalho tem como objetivo validar uma metodologia analítica de identificação e quantificação de metanol e acetaldeído por GC-FID. Ainda, verificar o teor desses compostos em vinhos, espumantes e frisantes elaborados na Serra Gaúcha.

Material e Métodos

Cromatografia Gasosa com detector de ionização de chama (GC-FID)

As análises foram realizadas em um Cromatógrafo Gasoso GC-2010 (Shimadzu) com detector de ionização de chama (FID) e injetor automático AOC-20i. A separação cromatográfica foi obtida com a Coluna Shimadzu SH-Stabilwax (Crossbond Carbowax polyethylene glycol), 60 m, 0,32 mm ID, 0,5 um df. Faixa de temperatura: 250/260 °C.

O método utilizado seguiu as metodologias oficiais descritas com algumas modificações. Volume de injeção de amostra de 1 μ L, modo split e temperatura do split 260 °C. Temperatura inicial da coluna 35 °C, a rampa de aquecimento está descrita na Tabela 1 e com tempo de corrida de 10,99 min. Temperatura do FID de 250 °C, gás de arraste He em fluxo de 30 mL.min⁻¹. Fluxo de H2 de 30 mL.min⁻¹ e de Ar 400 mL.min⁻¹ (OIV, 2023b; OIV, 2023c).

Validação do método analítico

O método analítico foi desenvolvido para a quantificação de metanol e acetaldeído em vinhos e espumantes. O protocolo de validação foi baseado no Manual de garantia da qualidade analítica de resíduos e contaminantes em alimentos do MAPA (Brasil, 2011) e no documento de orientação sobre validação de métodos analíticos

do INMETRO (Brasil, 2020). Os parâmetros utilizados para a validação foram linearidade/ faixa de trabalho, limite de quantificação, limite de detecção e precisão (repetibilidade e precisão intermediária).

O método foi desenvolvido com adição do padrão interno 1-pentanol 100 mg.L⁻¹ (OIV, 2023d). A matriz utilizada no preparo da curva analítica foi uma solução aquosa de etanol 10% (v/v). Para avaliar a linearidade e a faixa de trabalho, foi construída uma curva analítica para cada composto, com sete concentrações crescentes. A faixa de trabalho do metanol foi de 20 a 600 mg.L⁻¹, e do acetaldeído 5 a 100 mg.L⁻¹. Todas as análises foram realizadas em triplicata. A presença de valores *outliers* foi determinado pelo Teste de Grubbs. O coeficiente de variação (CV %) foi calculado para cada nível de calibração. A partir da curva analítica foram calculados os coeficientes de correlação (r) e de determinação (r^2). Para verificar a homoscedasticidade ou heteroscedasticidade das respostas instrumentais da curva analítica, os resíduos foram calculados para cada nível de calibração e plotados em gráfico. O teste F foi aplicado para a maior e menor variância das respostas instrumentais.

Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram calculados a partir da curva analítica pelo método simplificado. Os valores de LQ e LD foram divididos pela concentração do padrão interno 1-pentanol (100 mg.L⁻¹) (Brasil, 2011; Brasil, 2020).

Os ensaios de precisão (repetibilidade e precisão intermediária) foram realizados fortificando a matriz em três níveis de concentração (baixo, médio e alto). Os valores de fortificação estão descritos na tabela 2.

No ensaio de repetibilidade, as amostras foram preparadas por um único operador e analisadas

Tabela 1. Rampa de aquecimento da coluna Shimadzu SH-Stabilwax.

	Rate	Temperatura	Tempo de espera
0	-	35	1,5
1	17	110	0,0
2	45	190	3,3

no mesmo dia. Para a análise da precisão intermediária, dois ensaios foram realizados: um variando o analista de preparo de amostra e o outro variando o dia de análise. Todas as análises de precisão foram realizadas no mesmo equipamento. Para cada nível, foram calculados as médias, os desvios-padrão e os coeficientes de variação de repetibilidade e precisão intermediária (intra e inter-dia) (Brasil, 2011; Brasil, 2020).

Preparo da amostra

Para a leitura no GC-FID, as amostras de vinhos, espumantes e vinhos frisantes foram destiladas conforme a metodologia OIV-MA-AS312-01 (OIV, 2023a). Em um vial, foram separados 900 μL do destilado e 100 μL do padrão interno 1-pentanol 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Diluição das amostras 1,1.

Resultados e Discussão

Validação do método analítico

O método analítico por GC-FID foi desenvolvido para a identificação e quantificação de metanol e acetaldeído em amostras de vinhos, espumantes e frisantes. Na figura 1 está demonstrado o cromatograma dos padrões analíticos e do padrão interno em matriz de solução aquosa 10% de etanol (v/v).

No cromatograma são identificados quatro picos. O metanol é identificado no tempo de retenção de 5,96 min, acetaldeído em 4,26 min, 1-pentanol em 9,22 min e etanol em 6,33 min. O etanol 10% (v/v) foi selecionado como matriz pois, nas amostras de vinhos, espumantes e frisantes, o teor de etanol fica próximo desse valor.

As respostas instrumentais (área dos picos) de cada nível de concentração da curva analítica não

Tabela 2. Níveis de concentração do metanol, acetaldeído e 1-pentanol para os ensaios de precisão.

Nível	Metanol $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Acetaldeído $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1-pentanol $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
Baixo	50	10	100
Médio	200	40	100
Alto	400	80	100

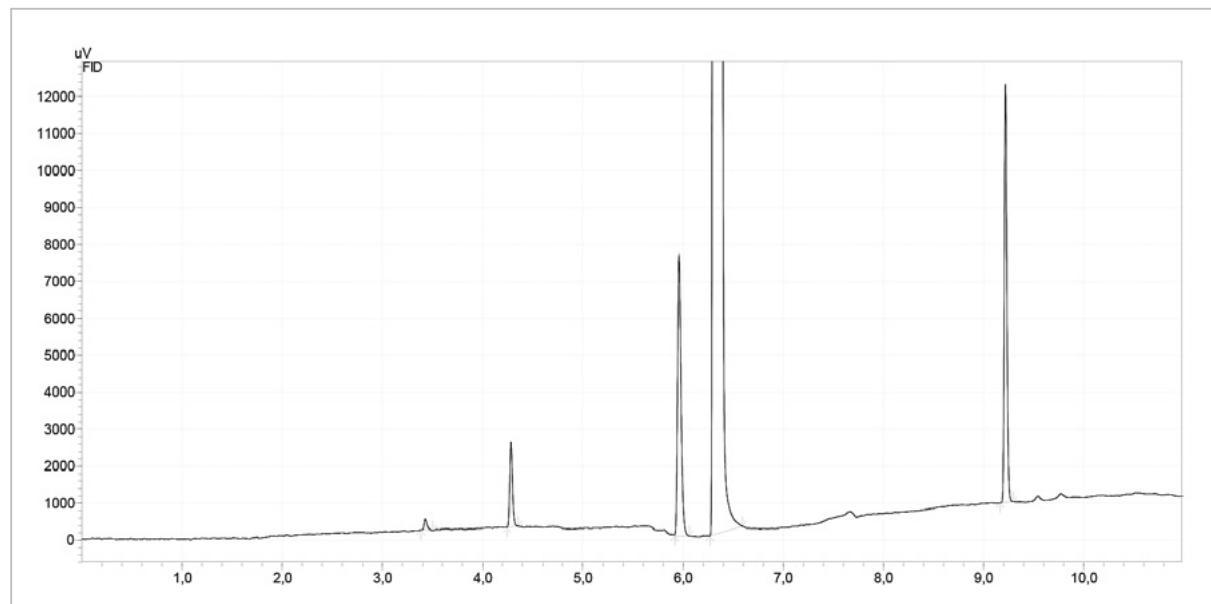


Figura 1. Cromatograma do metanol (200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), acetaldeído (40 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) e padrão interno 1-pentanol (100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) em matriz de solução aquosa de etanol 10% (v/v) obtido por GC-FID. Coluna Shimadzu SH-Stabilwax. Temperatura do split 260 °C. Tempo de corrida de 10,99 min. Temperatura do FID de 250 °C, gás de arraste He em fluxo de 30 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$.

apresentaram valor *outlier* e o CV calculado foi inferior a 10%. O comportamento homocedástico ou heterocedástico foi verificado. O teste F das variâncias resultou em F_{calc} maior que F_{tab} , ou seja, as variâncias das áreas são diferentes. O gráfico de resíduos versus a concentração apresentou comportamento crescente dos resíduos conforme o aumento da concentração. Os dois testes indicam a heterocedasticidade das respostas instrumentais, sendo necessário calcular a regressão linear pelo método dos mínimos quadrados ponderados (MMQP) (Brasil, 2011; Moosavi; Ghassabian, 2018; Brasil, 2020).

O ajuste da curva analítica foi realizado no software Browser LabSolutions (Shimadzu), utilizando a ponderação utilizada foi 1/A. Na faixa de concentração trabalhada, o ajuste da curva foi linear. Na tabela 3 estão descritos os resultados da curva analítica.

A legislação brasileira determina os limites máximos de metanol para vinhos e espumantes.

Para vinhos tintos, o limite máximo é de 400 mg.L⁻¹ e para vinhos e espumantes brancos e rosados é 300 mg.L⁻¹. Os limites ficam na área central a faixa de trabalho de 20 - 600 mg.L⁻¹. O Acetaldeído não tem limite estipulado na legislação. A faixa de trabalho foi determinada pela análise de diversos vinhos e espumantes, de modo que os resultados ficasse dentro dos limites (Brasil, 2018).

Os resultados dos coeficientes de determinação (r^2) e correlação (r) indicam a linearidade do ajuste proposto (Tabela 3). Os valores encontrados foram superiores ao critério de aceitação estabelecido pelo INMETRO ($r^2 > 0,9945$). Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) estão de acordo com as concentrações de metanol e acetaldeído detectadas em vinhos, espumantes e frisantes.

Na tabela 4 estão descritos os resultados da repetibilidade e precisão intermediária nos três níveis de concentração.

Tabela 3. Resultados das curvas analíticas de metanol e acetaldeído calculados pelo método dos mínimos quadrados ponderados (MMQP).

Parâmetro	Metanol	Acetaldeído
Faixa de trabalho (mg.L ⁻¹)	20- 600	5-100
Intercepto (coeficiente linear, a)	0,44065	0,55713
Inclinação (coeficiente angular, b)	0,00772	0,00667
Coeficiente de determinação (r^2)	0,9997	0,9996
Coeficiente de correlação (r)	0,9998	0,9998
Limite de Detecção- LD (mg.L ⁻¹)	4,8	1,4
Limite de Quantificação- LQ (mg.L ⁻¹)	14,5	4,3

Tabela 4. Resultados de precisão (repetibilidade e precisão intermediária) de metanol e acetaldeído em matriz de solução aquosa de etanol 10% (v/v).

Fortificação	mg.L ⁻¹	Metanol				Acetaldeído		
		50	200	400	10	40	80	
Repetibilidade (intra-dia) Dia 1; n=6	mg.L ⁻¹	49±2	206±2	407±3	9±0,4	39±0,6	79±0,8	
	CV %	4,9	0,7	0,8	4,6	1,5	1	
Precisão intermediária: dias diferentes mesmo operador (inter-dia); n=12	mg.L ⁻¹	52±3	212±6	417±11	9±0,4	39±0,7	80±1,5	
	CV %	6,1	2,9	2,7	4,8	1,9	1,9	
Precisão intermediária: operador diferente e dia diferente (inter-dia); n=18	mg.L ⁻¹	54±4	214±6	428±18	9±0,4	39±0,7	81±2,2	
	CV %	7,6	2,9	4,3	4,4	1,8	2,7	
Limite Horwitz	%	8,9	7,2	6,5	11,3	9,2	8,3	

CV (%): Coeficiente de variação.

Os resultados da repetibilidade e precisão intermediária do metanol e acetaldeído demonstram a precisão do método, já que os valores encontrados estão abaixo dos limites máximos estabelecidos pela legislação brasileira (Brasil, 2011; Brasil, 2020).

Os limites de coeficiente de variação (%) da precisão intermediária também podem ser avaliados pelo limite de Horwitz. O limite Horwitz é calculado para cada concentração e estão descritos na tabela 4. Os resultados de precisão intermediária estão de acordo com os valores calculados, indicando a precisão do método (Brasil, 2020).

Análise de vinhos, espumantes e frisantes

O perfil de metanol e acetaldeído foi avaliado em diversas variedades de espumantes, vinhos e frisantes. Os resultados estão descritos na tabela 5.

Foram analisadas 386 amostras de vinhos, espumantes e frisantes elaborados em 2024 e 2025. Os produtos foram agrupados em sete classes. Todas as amostras apresentaram valores de metanol dentro dos limites máximos preconizados (Brasil, 2018; Mercosul, 2020; OIV, 2024).

Analizando os resultados apresentados na tabela 5, observa-se a diferença no teor de metanol entre espumantes, vinhos e frisantes. No geral, os espumantes apresentaram valores de metanol na faixa de 35 a 55 mg.L⁻¹. O espumante moscatel apresentou maior variação de resultados, a

distribuição dos valores está descrita na figura 2.

Foi identificado que o teor de metanol nos espumantes moscatel apresentaram variabilidade maior em relação aos demais espumantes, sendo a mais baixa de 21 mg.L⁻¹ e a mais alta de 108 mg.L⁻¹.

Entre as variedades de espumantes, pouca variação foi observada de acetaldeído, em que todos apresentaram valores entre 30 e 40 mg.L⁻¹. O frisante apresentou valores de metanol e acetaldeído similares aos resultados dos espumantes.

Em relação ao metanol dos vinhos, observa-se diferenças entre as três variedades analisadas. Os vinhos tintos de variedades americanas e híbridas contêm os maiores teores de metanol, valor médio de 283 mg.L⁻¹. Vinhos tintos tendem a conter um teor de metanol mais elevado devido ao processo de vinificação. Um dos motivos é devido ao maior contato com a casca, a qual faz com que ocorra uma maior quebra da pectina, liberando metanol como subproduto (Lee *et al.*, 1975; Blumenthal *et al.*, 2021; Hodson *et al.*, 2017; Shen *et al.*, 2024).

Os vinhos tintos finos apresentaram teor médio de metanol de 189 mg.L⁻¹, valor médio inferior aos vinhos tintos de variedades americanas e híbridas. Na literatura há relatos de que vinhos produzidos a partir de uvas não *Vitis vinifera* tendem a conter mais metanol do que os vinhos produzidos a partir de uvas *Vitis vinifera* puras (Hodson *et al.*, 2017). Os vinhos brancos de variedades americanas e híbridas apresentaram teores médio de metanol

Tabela 5. Resultados de precisão (repetibilidade e precisão intermediária) de metanol e acetaldeído em matriz de solução aquosa de etanol 10% (v/v).

Descrição	Amostragem	Acetaldeído média±DP (mg.L ⁻¹)	Metanol média±DP (mg.L ⁻¹)
Espumante moscatel	69	35±10	59±22
Espumante branco	225	35±10	45±10
Espumante rosé	36	31±9	46±10
Vinho tinto de variedades americanas e híbridas	33	27±6	283±20
Vinho branco de variedades americanas e híbridas	13	41±5	215±20
Vinho tinto fino	6	15±3	189±16
Frisante	4	41±6	61±2

DP: Desvio padrão.

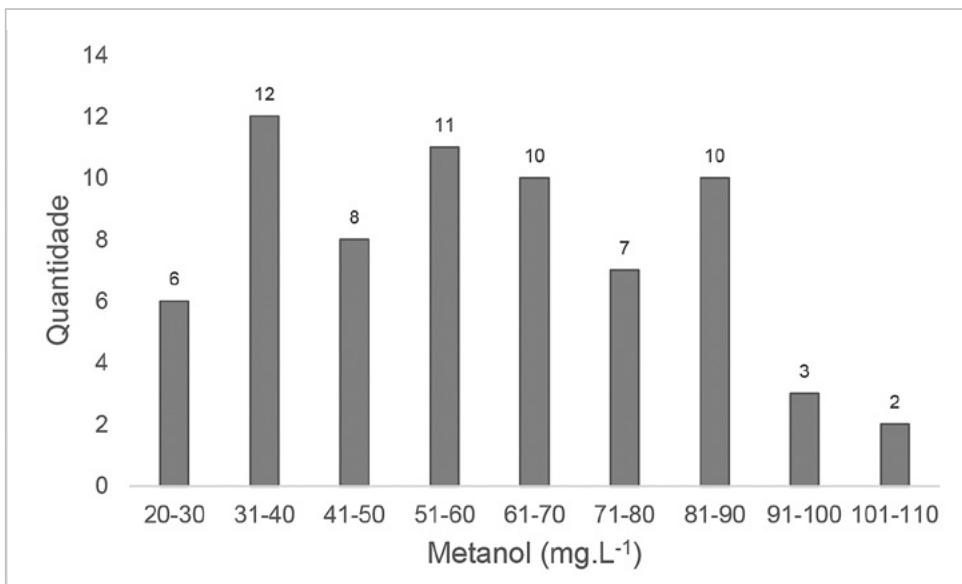


Figura 2. Resultados de metanol do espumante moscatel versus a quantidade de amostras analisadas.

de 215 mg.L⁻¹. Valores inferiores ao obtido para vinhos tintos de variedades americanas e híbridas. Na literatura são relatados maiores teores de metanol em vinhos tintos em relação aos brancos e rosados (Lee *et al.*, 1975; Blumenthal *et al.*, 2021; Hodson *et al.*, 2017; Shen *et al.*, 2024).

O acetaldeído apresentou menor concentração no vinho tinto fino 15 mg.L⁻¹ comparando com os vinhos de variedades americanas e híbridas.

Conclusão

O método de identificação e quantificação de metanol e acetaldeído em vinhos, espumantes e frisantes foi validado. Os resultados da validação foram satisfatórios para os parâmetros da linearidade, limite de detecção, limite de quantificação e precisão, para ambos analitos.

O teor de metanol e acetaldeído foi determinado em 386 amostras de vinhos, espumantes e frisantes e todas as amostras apresentaram valores de metanol dentro do estipulado pela legislação brasileira.

Referências

- AZEVÊDO, L. C. DE *et al.* Efeito da presença e concentração de compostos carbonílicos na qualidade de vinhos. **Química Nova**, [S.I.], v.30, n.8, p.1968-1975, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000800032>.
- BLUMENTHAL, P. *et al.* Methanol Mitigation during Manufacturing of Fruit Spirits with Special Consideration of Novel Coffee Cherry Spirits. **Molecules**, [S.I.], v.26, n.9, p.2585, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26092585>.
- BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Coordenação Geral de Acreditação. **Orientação sobre validação de métodos analíticos DOQ-CGCRC-008**. Brasília, DF: INMETRO, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 14, de 8 de fevereiro de 2018**. Padrões de identidade e qualidade do vinho e derivados da uva e do vinho. Brasília, DF: MAPA, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988**. Dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados da uva e do vinho, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de garantia da qualidade analítica: resíduos e contaminantes em alimentos**. Brasília, DF: MAPA, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 539, de 26 de dezembro de 2022.** Padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e cachaça. Brasília, DF: MAPA, 2022.

COPPOLA, F. et al. The impact of acetaldehyde on phenolic evolution of free-SO₂ wines. **Macrowine Virtual**, 23–30 jun. 2021. Università di Napoli Federico II, Avellino, Itália. Disponível em: <https://www.infowine.com/en/the-impact-of-acetaldehyde-on-phenolic-evolution-of-free-so2-wines/>. Acesso em: 9 set. 2025.

HODSON, G. et al. Methanol in wine. **BIO Web Conferences**, [S.I.], v.9, p.1-5, 04 jul. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20170902028>.

IARC. Monographs on the evaluation carcinogenic risks to humans. **International Agency for Research on Cancer**, 27 June 2025. Disponível em: <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc>. Acesso em: 01 jan. 2025.

LACHENMEIER, D. W.; SOHNIES, E.M. The role of acetaldehyde outside ethanol metabolism in the carcinogenicity of alcoholic beverages: Evidence from a large chemical survey. **Food and Chemical Toxicology**, United Kingdom, v.46, n.8, p.2903-2911, ago. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.05.034>.

LEE, C. Y. et al. Methanol in Wines in Relation to Processing and Variety. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.26, n.4, p.184-187, jan. 1975. DOI: 10.5344/ajev.1975.26.4.184.

MERCOSUL. **Regulamento vitivinícola do Mercosul:** modificação da resolução GMC n.º 45/96, resolução GMC n.º 22/20. Montevideu: Mecosul, 2021. Disponível em: https://normas.mercosur.int/simfiles/normativas/82565_RES_022-2020_ES_Modificacion%20Reglamento%20Vitivin%C3%ADcola.pdf. Acesso em: set. 2025.

MOOSAVI, S. M.; GHASSABIAN, S. Linearity of Calibration Curves for Analytical Methods: A Review of Criteria for Assessment of Method Reliability'. In: STAUFFER, M. **Calibration and Validation of Analytical Methods: A Sampling of Current Approaches**. United States: InTech, 2018. DOI:10.5772/intechopen.72932.

OIV. **Compendium of International Methods of analysis for spirituous beverages and alcohols**. OIV-MA-BS-14. Determination of the principal volatile substances of spirit drinks of viti-vinicultural origin. France: OIV, 2023d. Disponível em: <https://www.oiv.int/standards/compendium-of-international-methods-of-analysis-for-spirituous-beverages-and-alcohols/spirituous-beverages-and-alcohols/methods-of-analysis-for-spirituous-beverages-and-alcohols/density-%28type-iv%29>. Acesso em: 09 set. 2025

OIV. **Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis**. OIV-MA-AS312-01A e OIV-MA-AS312-01B. Alcoholic strength by volume. France: OIV, 2023a. Disponível em: <https://www.oiv.int/standards/annex-a-methods-of-analysis-of-wines-and-musts/section-3-chemical-analysis/section-3-1-organic-compounds/section-3-1-2-alcohols/alcoholic-strength-by-volume-%28type-i-and-iv%29>. Acesso em: 09 set. 2025.

OIV. **Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis**. OIV-MA-AS312-03A. Methanol. France: OIV, 2023b. Disponível em: <https://www.oiv.int/standards/annex-a-methods-of-analysis-of-wines-and-musts/section-3-chemical-analysis/section-3-1-organic-compounds/section-3-1-2-alcohols/methanol-%28gc%29-%28type-iv%29>. Acesso em: 09 set. 2025.

OIV. **Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis**. OIV-MA-AS315-27. Analysis of volatile compounds in wines by gas chromatography. France: OIV, 2023c. Disponível em: <https://www.oiv.int/standards/annex-a-methods-of-analysis-of-wines-and-musts/section-3-chemical-analysis/section-3-1-organic-compounds/section-3-1-5-other-organic-compounds/analysis-of-volatile-compounds-in-wines-by-gas-chromatography-%28type-iv%29>. Acesso em: 09 set. 2025.

OIV. **International code of oenological practices**. France: OIV, 2024. Disponível em: <https://www.oiv.int/standards/international-code-of-oenological-practices>. Acesso em: 09 set. 2025.

PRESSMAN, P. et al. A review of methanol poisoning: a crisis beyond ocular toxicology. **Cutaneous and Ocular Toxicology**, United Kingdom, v.39, n.3, p.173-179, 25 maio 2020. DOI: 10.1080/15569527.2020.1768402.

RIZZON, L. A. **Incidence de la macération sur la composition chimique des vins**. 1985. Dissertação (Docteur-Ingénieur en Oenologie-Ampélogie) - Université de Bordeaux II, Bordeaux, 1985.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Efeito da safra vitícola na composição da uva, do mosto e do vinho Isabel da Serra Gaúcha, Brasil. **Tecnologia de Alimentos. Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, Jun. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300036>.

ROMANO, P. et al. Function of yeast species and strains in wine flavour. **International Journal of Food Microbiology**, Netherlands, v.86, n.1-2, p.169-180, 1 set. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(03\)00290-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(03)00290-3).

SHEN, J. et al. Controlling strategies of methanol generation in fermented fruit wine: Pathways, advances, and applications. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, United States, v.23, n.6, p.e70048, nov. 2024. DOI: 10.1111/1541-4337.70048.