IVES Technical Reviews
vinha & vinho

https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2023.7742

A discriminação isotópica de carbono (os chamados $\delta^{13}C$), medidos no mosto de uva, é uma ferramenta acessível para monitorizar o estado hídrico da videira em condições de produção

Cornelis van Leeuwen[1*], Benjamin Bois[2], Luca Brillante[3], Agnès Destrac-Irvine[1], Mark Gowdy[1], Damian Martin[4], Marc Plantevin[1,5], Laure de Rességuier[1], Luis G. Santesteban[6], Vivian Zufferey[7]

[1] EGFV, Univ. Bordeaux, Bordeaux Sciences Agro, INRAE, ISVV, Villenave d'Ornon, France
[2] Biogéosciences UMR 6282 CNRS uB, Univ. Bourgogne, 6 Boulevard Gabriel, Dijon, France
[3] Department of viticulture and Enology, California State University Fresno, 2360 E Barstow Ave, Fresno, CA, 93740, USA
[4] The New Zealand Institute for Plant and Food Research Limited, Blenheim 7021, New Zealand
[5] Château La Tour Carnet, 33112 Saint-Laurent-Médoc, France
[6] Department of Agronomy, Biotechnology and Food Science, Public University of Navarra (UPNA), Campus Arrosadia, Pamplona, Spain
[7] Agroscope, Centre de recherches de Pully, CH-1009, Suisse

É necessária uma avaliação do estado hídrico da videira para compreender o efeito dos fatores ambientais e das práticas de gestão nas vinhas de sequeiro e irrigadas. Entre os indicadores de base vegetal, a discriminação isotópica de carbono ($\delta^{13}C$) é facilmente acessível, confiável e barata. Uma vez que fornece uma avaliação *post-hoc* do estado hídrico da videira durante o período de maturação dos bagos, pode ser útil para avaliar os resultados das práticas de gestão da vinha durante a época, e para mapear o estado hídrico na vinha de forma a ajudar na futura gestão de precisão. As possíveis aplicações e limitações desta técnica para a gestão prática da vinha são discutidas neste artigo.

Avaliação do estado hídrico da videira

O estado hídrico da videira é um parâmetro chave no cultivo da uva, afetando tanto o rendimento como a composição do bago. Por sua vez, o estado hídrico da videira é impulsionado pela disponibilidade de água no solo (dependente da capacidade de retenção de água no solo), parâmetros climáticos (precipitação e evapotranspiração), sistema de condução (área foliar por hectare), genótipo (porta-enxerto e cultivo) e práticas de gestão (gestão do solo da vinha e irrigação).

Muitos métodos para avaliar o estado hídrico da videira foram desenvolvidos e podem ser agrupados em: (1) medições baseadas no solo, (2) modelos de balanço hídrico e (3) medições de base vegetal. A precisão das abordagens baseadas no solo e na modelação é limitada por pressupostos relativos à capacidade de retenção hídrica no solo (CRHS) da zona radicular da videira, que é altamente dependente da profundidade do enraizamento e do funcionamento radicular, um parâmetro que não pode ser avaliado com precisão em condições de campo. Os indicadores de base vegetal, no entanto, integram naturalmente a CRHS da zona radicular da videira e, portanto, fornecem resultados mais confiáveis. Entre as medições de base vegetal, o potencial hídrico por câmara de pressão é amplamente utilizado. A discriminação isotópica de carbono (δ^{13C}) medida no sumo dos bagos é outro indicador vegetal do défice hídrico da vinha com um enorme potencial de aplicação na gestão da vinha. Embora os primeiros artigos sobre esta técnica tenham sido publicados há mais de 20 anos[1], ela ainda não é amplamente adotada pelos viticultores.

O princípio da discriminação isotópica de carbono

Os isótopos de um elemento têm o mesmo número de protões e eletrões, mas números diferentes de neutrões e, portanto, uma massa atómica diferente. Existem três isótopos de carbono, mas apenas ^{12}C e ^{13}C são estáveis no ambiente, tornando-os úteis para o estudo dos chamados processos de discriminação isotópica na natureza. O ^{12}C é de longe o isótopo de carbono mais abundante na natureza, com uma proporção de aproximadamente 99:1 em comparação com ^{13}C.

Durante a fotossíntese, há discriminação a favor de moléculas de CO_2 contendo isótopos ^{12}C, devido à sua maior reatividade com as enzimas na reação fotossintética e uma melhor difusão através dos estomas e do mesófilo. Assim, as relações $^{13}C/^{12}C$ nos açúcares produzidos são menores quando comparadas com o CO_2 atmosférico.

Quando as plantas apresentam défice hídrico, essas relações isotópicas $^{13}C/^{12}C$ são modificadas à medida que se fecham os estomas e bloqueiam a difusão de CO_2 no espaço intercelular das folhas. Isto faz com que a concentração relativa de $^{13}CO_2$ a $^{12}CO_2$ aumente no espaço intercelular e, portanto, nos açúcares produzidos. Durante a maturação, estes açúcares são acumulados no sumo dos bagos, com a relação de medida de $^{13}C/^{12}C$ neste sumo a fornecer uma indicação sobre se as videiras estavam sujeitas a défice hídrico e, em caso afirmativo, da sua gravidade[2].

A relação $^{13}C/^{12}C$ pode ser medida por espectrometria de massa isotópica com grande precisão. O $\delta^{13}C$ é então obtido comparando os resultados com um padrão com uma relação conhecida de $^{13}C/^{12}C$.

TABELA 1. Potencial hídrico e valores de $\delta^{13}C$ relativamente aos limiares de défice hídrico da videira. Os limiares do potencial hídrico referem-se aos valores mais baixos registados durante o período de maturação da uva.

	$\delta^{13}C$ em mosto de uva (‰)	$\delta^{13}C$ em vinho ou aguardente (‰)	Potencial hídrico do pâmpano ao meio-dia (MPa)	Potencial hídrico da folha antes do amanhecer (MPa)
Sem déficit hídrico	< -26	< -27.7	> -0.6	> -0.2
Défice hídrico fraco	-25 to -26	-26.7 to -27.7	-0.6 to -0.9	-0.2 to -0.3
Défice hídrico moderado	-24 to -25	-25.7 to -26.7	-0.9 to -1.1	-0.3 to -0.5
Defice hídrico moderado a grave	-23 to -24	-24.7 to -25.7	-1.1 to -1.4	-0.5 to -0.8
Déficit hídrico severo	> -23	> -24.7	< -1.4	< -0.8

Classificação dos níveis de stress hídrico

O $\delta^{13}C$ medido em açúcares do mosto de uva varia entre -28‰ em videiras sem défice hídrico, até -20‰ em videiras que sofrem de défice hídrico severo. A classificação da intensidade do défice hídrico neste intervalo difere ligeiramente entre as publicações. As diferenças nos limiares de resposta podem resultar, em parte, do fato de que os valores de $\delta^{13}C$ também são influenciados pela variedade da videira[3], e a variação diurna do potencial hídrico da planta ao meio-dia pode ser significativamente diferente nas condições de cultivo. Os limiares da Tabela 1 são calculados a partir de van Leeuwen *et al.*, 2009[2] e Santesteban *et al.*, 2015[4] e aplicam-se a regiões com condições climáticas temperadas. Valores de limite específicos de local e variedade mais precisos podem ser definidos localmente combinando $\delta^{13}C$ e medições do potencial hídrico. Alternativamente, uma comparação relativa também pode ser obtida: uma variação de 1‰ em $\delta^{13}C$ corresponde a uma diferença de ~0.2 MPa no potencial hídrico do pâmpano ao meio-dia durante o período de maturação da uva[5].

A tradução deste artigo para português foi-lhe oferecida pela Sogrape. Consulte https://sogrape.com/pt/sustentabilidade

Implementação prática da avaliação do estado da hídrico da videira com $\delta^{13}C$

A mensuração de $\delta^{13}C$ é realizada em amostras de mosto de uva recolhidas entre três semanas após o meio da fase do pintor e a colheita. As amostras são enviadas para um laboratório equipado com um espectrómetro de massa isotópico. Alguns laboratórios estimam δ^{13C} usando espectroscopia de infravermelhos com transformação de *Fourier-transform* (FTIRS), embora este método não possa ser recomendado por ser impreciso. Uma limitação atual para a implementação da mensuração de $\delta^{13}C$ é o pequeno, mas crescente número de laboratórios que oferecem a análise. Apenas uma pequena quantidade de sumo (+/- 5µL) é necessária para as análises e pode ser obtida a partir de amostras colhidas para controlo regular da maturidade no final da época. Estas amostras, no entanto, têm de ser representativas das videiras ou vinhas que estão a ser investigadas.

A assinatura $\delta^{13}C$ no açúcar da uva é conservada no etanol de vinho, embora a fermentação induza uma mudança de -1,7‰ (Tabela 1[6]). Assim, a análise $\delta^{13}C$ também pode ser realizada no vinho, de forma a investigar o estado hídrico correspondente das videiras durante a maturação dos bagos[7,8].

Aplicações da monitorização do estado hídrico com $\delta^{13}C$

O $\delta^{13}C$ fornece informações sobre o estado hídrico experimentado pelas videiras durante o período de maturação dos bagos das uvas, que se estende aproximadamente de uma semana antes do meio da fase do pintor até três semanas após o meio da fase pintor. Isto corresponde, na maioria dos casos, ao mês de agosto no Hemisfério Norte e fevereiro no Hemisfério Sul, um período-chave durante o qual o estado da videira pode afetar o rendimento e o potencial de qualidade do vinho.

O $\delta^{13}C$ pode ser uma ferramenta útil para avaliar estratégias de irrigação no final da época com o estado hídrico da videira, sendo afetado pela quantidade e tempo de água aplicada. De forma a otimizar a qualidade do vinho para a produção de vinho tinto, é desejável o cultivo de videiras com um ligeiro défice hídrico, com valores de $\delta^{13}C$ entre -24‰ e -25‰ indicando que as videiras não foram irrigadas em excesso. Esta pode ser uma informação importante quando as uvas são compradas aos produtores, uma vez que fornece uma ferramenta para verificar a gestão da irrigação *post-hoc*. O $\delta^{13}C$ também pode ser usado para avaliar facilmente o impacto de qualquer prática de gestão da vinha (cobertura vegetal, lavoura, remoção de folhas...) no estado hídrico da videira.

Uma vez que o $\delta^{13}C$ é um indicador altamente acessível (fácil de medir e não dispendioso), também pode ser utilizado para mapear o estado hídrico da videira num talhão ou numa propriedade vitícolas (Figura 1A[2]). O $\delta^{13}C$ pode ser uma ferramenta útil em estudos de *terroir* devinhas de sequeiro, onde o estado hídrico da vinha depende em grande medida da capacidade de retenção de água do solo (figura 1B) e do clima, ambos parâmetros importantes do *terroir*[2,9].

Estes mapas do estado hídrico das videiras são muito úteis para ajustar as escolhas de materiais vegetais e das estratégias de gestão.

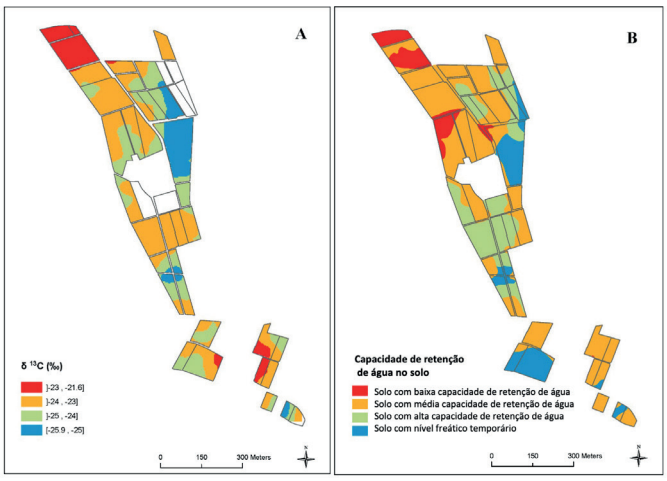


FIGURA 1. A - Estado hídrico da videira medido numa propriedade vitícola de sequeiro em Saint-Emilion (região de Bordéus, 2022). Foram colhidas 172 amostras nos 23 hectares. B - Mapa da capacidade de retenção de água no solo elaborado a partir do mapa de solos da propriedade.

Em áreas secas da propriedade, porta-enxertos resistentes à seca devem ser usados para evitar o stress hídrico severo. Nas zonas húmidas, a qualidade do vinho pode ser afetada pela disponibilidade excessiva de água, que pode ser melhorada através do estabelecimento de uma cultura de cobertura vegetal competitiva.

Ao nível Intra parcelar, mapear o estado hídrico da videira com $\delta^{13}C$ é uma ferramenta para a viticultura de precisão, tal como explicar a variabilidade espacial nos compostos fenólicos da uva[5]. Quando medido no vinho (ver limiares de interpretação específicos, tabela 1), o $\delta^{13}C$ permite traçar o estado hídrico das videiras que produziram o vinho. Isto pode ser usado para explicar o efeito do estado hídrico da videira em parâmetros relacionados com a qualidade, como aromas[7].

Limitações da monitorização do estado hídrico com $\delta^{13}C$

Uma vez que $\delta^{13}C$ é medido no final da época, não é útil para a gestão operacional da irrigação no dia-a-dia. Para este efeito, é preferível a câmara de pressão. Outra limitação é que representa o défice hídrico da videira durante o período de acumulação de açúcar nos bagos de uva. Portanto, não fornece um registo dos défices hídricos iniciais da videira, nem dá conta de os défices de água sentidos após o aumento de açúcar dos bagos ser alcançado. Há também diferenças específicas na eficiência geral do uso da água que devem ser consideradas ao avaliar as respostas $\delta^{13}C$ aos défices hídricos entre as variedades[3]. A análise de $\delta^{13}C$ é atualmente oferecida por apenas um número limitado de laboratórios comerciais, mas estará mais amplamente disponível à medida que a procura aumentar.

Conclusões

Ser capaz de caracterizar o estado hídrico da videira é fundamental para compreender como os fatores ambientais e as práticas de gestão podem afetar o rendimento e o potencial de qualidade do vinho. As medições de $\delta^{13}C$ em mosto de uva ou vinho são um indicador facilmente obtido e barato do estado hídrico da videira durante o período de maturação dos bagos e podem ser úteis para a gestão de vinhas de sequeiro e irrigadas. ■

1 Gaudillère, J. P., van Leeuwen, C., & Ollat, N. (2002). Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. Journal of Experimental Botany, 53(369), 757-763. https://doi.org/10.1093/jexbot/53.369.757

2 van Leeuwen, C., Trégoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., & Gaudillère, J. P. (2009). Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 43(3), 121-134. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798

3 Plantevin, M., Gowdy, M., Destrac-Irvine, A., Marguerit, E., Gambetta, G., & van Leeuwen, C. (2022). Using δ13C and hydroscapes for discriminating cultivar specific drought responses. OENO One, 56(2), 239-250. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.2.5434

4 Santesteban, L. G., Miranda, C., Barbarin, I., & Royo, J. B. (2015). Application of the measurement of the natural abundance of stable isotopes in viticulture: a review. Australian journal of grape and wine research, 21(2), 157-167. https://doi.org/10.1111/ajgw.12124

5 Brillante, L., Martínez-Lüscher, J., Yu, R., & Kurtural, S. K. (2020). Carbon isotope discrimination (δ13C) of grape musts is a reliable tool for zoning and the physiological ground-truthing of sensor maps in precision viticulture. Frontiers in Environmental Science, 8, 561477. https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.561477

6 Gowdy, M., Julliard, S., Frouin, M., Poitou, X., Destrac Irvine, A., & van Leeuwen, C. (2022). Carbon isotope discrimination as an indicator of vine water status is comparable in grape must, wine, and distilled wine spirits. Frontiers in Food Science and Technology, 10. https://doi.org/10.3389/frfst.2022.936745

7 Picard, M., Van Leeuwen, C., Guyon, F., Gaillard, L., De Revel, G., & Marchand, S. (2017). Vine water deficit impacts aging bouquet in fine red Bordeaux wine. Frontiers in chemistry, 5, 56. https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00056

8 Martin, D., Grab, F., Grose, C., Stuart, L., Scofield, C., McLachlan, A., & Rutan, T. (2020). Vintage by vine interactions most strongly influence Pinot noir grape composition in New Zealand: OENO One, 54(4), 881-902. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.4.4021

9 Zufferey, V., Verdenal, T., Dienes, A., Belcher, S., Lorenzini, F., Koestel, C., Blackford, M., Bourdin, G., Gindro, K., Spangenberg, J., Rösti, J., Viret, O., Carlen, C. & Spring, J. L. (2020). The influence of vine water regime on the leaf gas exchange, berry composition and wine quality of Arvine grapes in Switzerland. OENO One, 54(3), 553-568. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.3.3106

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.