

Viticultura de precisão e enologia de precisão: ferramentas e principais parâmetros para a produção de uvas, elaboração e valorização de vinhos com tipicidades distintas em cada “terroir”

Precision viticulture and precision enology: tools and main parameters to produce grapes, winemaking, and promotion of wines with different typicalities in each “terroir”

Giuliano Elias Pereira¹, Henrique Pessoa dos Santos², George Wellington Bastos de Melo³, Luciano Gebler⁴, Flávio Bello Fialho⁵, Celito Crivellaro Guerra⁶, Mauro Celso Zanus⁷, Juliane Barreto de Oliveira⁸, Thor Vinicius Martins Fajardo⁹, Lucas da Ressurreição Garrido¹⁰, Marcos Botton¹¹ e Rosemary Hoff¹²

¹ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, giuliano.pereira@embrapa.br

² Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, henrique.p.santos@embrapa.br

³ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, wellington.melo@embrapa.br

⁴ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, luciano.gebler@embrapa.br

⁵ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, flavio.bello@embrapa.br

⁶ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, celito.guerra@embrapa.br

⁷ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, mauro.zanus@embrapa.br

⁸ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, juliane.barreto.oliver@gmail.com

⁹ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, thor.fajardo@embrapa.br

¹⁰ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, lucas.garrido@embrapa.br


¹¹ Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, marcos.botton@embrapa.br

¹² Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, rose.hoff@embrapa.br

RESUMO

Vinhos são produzidos nas mais diversas regiões do mundo, influenciados por climas e solos como fatores naturais, e pela ação do homem, com técnicas de manejo da videira e vinificação. O conjunto de interações entre os fatores naturais e humanos da viticultura e da enologia formam o “terroir”. Cada parcela vitícola, em qualquer região do mundo, possui uma especificidade, devendo ser trabalhada e manejada individualmente. Entretanto, existem variações dentro da mesma parcela que são impostas por distintos fatores, tais como manchas e variações na composição físico-química, mineralogia, profundidade e água disponível no solo, além de outras características, como altitude e relevo, posição e orientação do vinhedo, exposição solar, sombreamento, proximidade a matas, dentre outros fatores. Por isso, recomenda-se a adoção da viticultura de precisão e da enologia de precisão, caracterizando-se os contrastes de potencial enológico das uvas para se obter vinhos com tipicidades, estilos e valores agregados distintos. Devido à sua posição geográfica, o Brasil é o único país do mundo com três tipos de viticulturas e produções de vinhos. A primeira é a viticultura para os vinhos tradicionais, no Sul e Sudeste do Brasil, a segunda é a produção de uvas para os vinhos tropicais, no Nordeste, e a terceira, mais recente, é a viticultura para os vinhos de inverno, nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. Na viticultura de precisão, são considerados diferentes fatores, parâmetros e ferramentas para identificar as zonas homogêneas e heterogêneas nos vinhedos, visando adotar manejos específicos em cada subparcela ou colher as uvas de forma seletiva. Após a colheita, a enologia de precisão busca valorizar o potencial enológico das uvas de cada subparcela, no intuito de elaborar vinhos com diferentes características e tipicidades, entre vinhos jovens, de guarda, rosés, brancos, tintos, dentre outros. O objetivo é classificar e segmentar as uvas de parcelas ou subparcelas contrastantes, elaborando diferentes vinhos. Em áreas com videiras equilibradas em vigor, produtividade controlada e vinificações específicas, pode-

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000035>

 Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

se agregar valor aos vinhos de guarda. Em contrapartida, nas áreas com videiras vigorosas e com maior produtividade, pode-se associar tecnologias de elaboração mais rápida e de baixo custo, obtendo-se vinhos mais jovens e competitivos nos valores de mercado. Este capítulo aborda os principais fatores e ferramentas necessários para a adoção da viticultura de precisão nos vinhedos e da enologia de precisão nas vinícolas. São apresentadas, como base, características vitícolas e enológicas para auxiliar produtores de uva, enólogos e vinícolas nas tomadas de decisão sobre quais ferramentas e parâmetros devem ser utilizados, na segmentação dos vinhedos em subparcelas, na colheita de uvas e na elaboração dos vinhos destas subáreas, valorizando as tipicidades e potenciais de mercado.

Palavras-chave: *Vitis*; uvas; vinhos; potencial enológico; perfil metabólico; avaliação sensorial.

ABSTRACT

Wines are produced in various regions of the world, influenced by climates and soils, as natural factors, and by human action, with management and vinification techniques. The set of interactions between the natural and human factors of viticulture and enology form the “terroir”. Each vineyard plot in any region of the world has a specificity, and must be worked and managed individually. However, there are variations within the same plot that are imposed by different factors, such as soil spots and variations in the physical-chemical composition, mineralogy, depth, and available water in the soil, in addition to other characteristics, such as altitude and relief, location and orientation of the vineyard, sun exposure, shading, proximity to woods, among other factors. Therefore, the adoption of precision viticulture and precision enology is recommended, to characterize the contrasts in the enological potential of the grapes, obtaining wines with distinct typicalities, styles and benefits. Due to its geographical position, Brazil is the only country in the world with three types of viticulture and wine production: the first is viticulture for traditional wines, in the South and Southeast of Brazil; the second is the production of grapes for tropical wines in the Northeast; the third, more recent, is viticulture for winter wines, in the Southeast, Central and Northeast regions. Although the natural factors (climate and soil) are restricted to changes, with few corrections and adjustments to the soils, the human factor allows several choices and variations in management. In precision viticulture, several factors, parameters, and tools are considered to identify homogeneous and heterogeneous zones in the vineyards, aiming to adopt specific managements in each sub-plot or to selectively harvest the grapes. After harvest, precision enology seeks to value the enological potential of grapes of each sub-plot, to produce wines with different characteristics and typicalities, young or aged, pinks, whites, reds, among others. The objective is to classify and segment the grapes from contrasting plots or sub-plots in vigor and production, making different wines. In areas with balanced vines in vigor, controlled productivity and specific vinifications, value can be added for premium wines. On the other hand, in areas with vigorous vines and with higher productivity, technologies of faster and lower cost production can be associated, obtaining younger and more competitive wines at market prices. This chapter addresses the main factors and tools needed for adoption of precision viticulture in vineyards and precision enology in wineries. As a basis, viticultural and enological characteristics are presented to assist grape producers, enologists and wineries in decision making on which tools and parameters should be used in the segmentation of vineyards into sub-plots for the harvesting of grapes and for the elaboration of wines from these sub-areas, valuing the characteristics and potential of the market.

Keywords: *Vitis*; grapes; wines; enological potential; metabolic profile; sensorial evaluation.

1 INTRODUÇÃO

Vinhos de “*terroir*” começaram a ser elaborados, primeiramente, nos países do Velho Mundo, principalmente na França (Van Leeuwen et al., 2004; Van Leeuwen; Seguin, 2006; Carbonneau et al., 2015). Atualmente, diversos países vitivinícolas adotam este conceito para valorizar os efeitos dos fatores naturais (clima e solo) e humanos sobre a qualidade, tipicidade e o estilo de vinhos. O fator humano influencia na viticultura, em função do manejo e parâmetros implementados, como clone de variedade, porta-enxerto, sistema de condução, densidade e sentido de plantio, fertilização, irrigação, tipos de poda e condução, número de gemas/produtividade, tratamentos fitossanitários, data de colheita das uvas, dentre outros. Da

mesma forma, o homem influencia a tipicidade de vinhos com escolhas e parâmetros enológicos, durante a vinificação, como variações no tempo de maceração, temperaturas de fermentação, tipos de leveduras, insumos enológicos, filtrações, uso de barricas, adoção de *blends/cortes*, dentre outros fatores (Peynaud, 1997; Reynier, 2007).

A valorização do “*terroir*” vai ao encontro do manejo específico e variado a ser adotado dentro de cada parcela vitícola. Em cada vinhedo, os fatores bióticos e abióticos influenciam o desenvolvimento fisiológico das videiras, bem como a composição físico-química e o potencial enológico de uvas, assim como a composição metabólica, as características físico-químicas e sensoriais, que expressam a tipici-

dade e identidade regional dos vinhos (Fiehn, 2002; Keller, 2015; Leeuwen et al., 2022). E essas variações, mesmo que sutis, ocorrem a partir de heterogeneidades intraparcelsares, que devem ser identificadas e manejadas diferentemente, de acordo com o objetivo da produção. Este é o conceito da viticultura de precisão, que se integra ao conceito de enologia de precisão (Van Leeuwen et al., 2004; Bramley; Hamilton, 2007; Brillante et al., 2017; Fernández-Navales et al., 2019; Yu et al., 2021). Um vinho comercial de determinado “*terroir*” é obtido a partir de *blends*/cortes de diversos vinhos elaborados a partir de uvas, sejam das diferentes subparcelas de vinhedos, sejam de outras parcelas. A receita e a metodologia são definidas por cada enólogo de cada empresa, cujos detalhes são particulares e únicos.

A viticultura de precisão apresenta diferentes abordagens quando comparada à agricultura de precisão. Na agricultura de precisão, representada e aplicada sobretudo nos cultivos de soja, milho, algodão, trigo, tem como foco identificar as subparcelas homogêneas quanto a um ou mais atributos, realizando manejos específicos para elevar a produtividade e otimizar a rentabilidade da atividade (Amado et al., 2007). Entretanto, na viticultura de precisão, que não tem como foco aumentar a produtividade, a identificação das subparcelas heterogêneas visa à implementação de manejos vitícolas específicos, respeitando os limites de cada subárea e, principalmente, a adoção da enologia de precisão para elaborar vinhos distintos e compatíveis com cada subparcela. Ou seja, são elaborados vinhos jovens ou de guarda, brancos, rosés ou tintos, a partir dos diferentes potenciais enológicos das uvas que são obtidas e identificadas nas subparcelas. É uma estratégia que valoriza o potencial enológico de cada subparcela do vinhedo, evitando um produto médio, se essa estratificação não fosse respeitada, e valorizando o potencial e a tipicidade que pode ser atingida nos vinhos de determinada parcela ou região, com diferentes valores agregados, entre jovens e/ou de guarda, ampliando a gama de produtos e potencializando os valores de mercado.

A partir da implementação das Indicações Geográficas (IG) e Denominação de Origem (DO) para vinhos no Brasil, no início dos anos 2000, observou-se uma melhoria significativa da tipicidade, notoriedade, do reconhecimento e do valor agregado dos produtos brasileiros pelos consumidores (Tonietto et al., 2022). O regulamento das IGs impõe delimitações, envolvendo as condições climáticas, as características pedológicas, as respostas das videiras na região de cultivo, bem como as características físico-químicas e sensoriais das uvas e dos vinhos. Apesar desse avanço, as áreas dos

vinhedos da maioria das vinícolas no Brasil ainda não são monitoradas em detalhes, considerando em conjunto os contrastes de solo, mesoclima, microclima e respostas das plantas, características das uvas, para serem subclassificadas em áreas uniformes. Ou seja, na colheita as plantas de cada talhão são consideradas homogêneas, e as uvas com potencial enológico distinto são normalmente agrupadas, gerando produtos com potenciais e tipicidades médias. Portanto, a caracterização e a segregação das variações no espaço e no tempo das condições edafoclimáticas e das respostas das videiras em crescimento, da produção, do potencial enológico das uvas se tornam ferramentas essenciais para a valorização dos diferentes tipos de vinhos a serem elaborados em cada “*terroir*”, a partir dos conceitos de vitivinicultura de precisão e enologia de precisão.

A adoção dos conceitos de viticultura de precisão e de enologia de precisão já é uma realidade de impacto nos países do Velho Mundo e de algumas regiões do Novo Mundo vitivinícola (Van Leeuwen et al., 2004; Brillante et al., 2017). Nos estudos realizados em Saint-Emilion (França), o conceito de identificação da variabilidade de solos em uma propriedade, aliado a diferentes variedades implantadas nesses solos, em safras distintas, foi pioneiro na questão do “*terroir*” vitivinícola, que está inteiramente conectado à questão da viticultura de precisão. Nos estudos, os autores mostraram a importância de estudar cada parcela vitícola isoladamente, buscando valorizar o potencial enológico das uvas e dos vinhos, obtidos nessas diferentes condições de solos, das subparcelas (Van Leeuwen et al., 2004; Pereira et al., 2007). Alguns trabalhos pioneiros foram realizados na Serra Gaúcha (RS), confirmando a importância de se identificar a variabilidade dos solos em uma parcela vitícola, influenciando significativamente a composição físico-química de vinhos (Miele et al., 2011; Filippini Alba et al., 2011; Miele et al., 2014; Filippini Alba et al., 2014). Contudo, este conceito ainda é muito preliminar e desconhecido pela grande maioria das vinícolas, nas diferentes regiões vitivinícolas do Brasil. Por isso, neste documento foram reunidas as principais ferramentas e parâmetros que são necessários para a adoção e divulgação desses conceitos, destacando a importância e estimulando as vinícolas do Brasil a avaliar, conhecer e valorizar cada vez mais os vinhos de seus “*terroirs*”. Estão expostos temas ligados ao clima, características e manejo dos solos e das plantas, desenvolvimento vegetativo, sanidade e respostas fisiológicas das videiras, datas de colheita, protocolos de vinificação específicos, bem como as características físico-químicas e sensoriais de vinhos. Alguns

trabalhos de identificação de zonas homogêneas e índices de vegetação foram realizados em vinhedos de São Paulo, com a produção de vinhos de inverno, através da técnica da dupla poda (Oldoni et al., 2021; Costa et al., 2019a, 2019b; Costa et al., 2023).

O Brasil é o único país do mundo onde temos três tipos de viticulturas e três tipos de vinhos (Pereira et al., 2020). A primeira e mais antiga, centenária (desde os anos 1875), é a viticultura para a produção de uvas para os vinhos tradicionais, no Sul e Sudeste do Brasil, em climas temperado e subtropical úmido. A segunda, que começou em meados dos anos 1980, é a produção de uvas para os vinhos tropicais, no Nordeste, em clima tropical semiárido. E a terceira, mais recente, tendo iniciado no início dos anos 2000, é a viticultura para a produção de uvas destinadas aos vinhos de inverno, nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, entre 600 m-1.300 m de altitude, em climas subtropical e tropical de altitude (Pereira et al., 2020; Tonietto et al., 2020).

A cadeia produtiva da uva e seus derivados é de grande importância socioeconômica para o Brasil, comprovados pelos dados apresentados em detalhes por Mello e Machado (2020), relativos a 2019. Trata-se de uma publicação única, pois mostra o Valor Bruto da Produção-VBP do setor vitivinícola brasileiro. A cadeia produtiva vitivinícola brasileira (uvas, vinhos, espumantes, sucos e derivados) movimentou cerca de R\$ 11,0 bilhões em 2019, considerando os diferentes canais de distribuição e o enoturismo, enquanto que o segmento de uvas de mesa, para o consumo in natura, movimentou aproximadamente R\$ 9,3 bilhões. O país despendeu cerca de R\$ 5,50 bilhões com a importação de vinhos e espumantes, nos diversos canais de distribuição incluindo supermercados, lojas especializadas e restaurantes. O setor como um todo, teve um VBP de aproximadamente R\$ 26,5 bilhões, em 75.731 hectares de vinhedos (Mello; Machado, 2020).

2 VITICULTURA DE PRECISÃO. PARÂMETROS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

2.1 Sensoriamento remoto

Para a adoção da vitivinicultura de precisão, com o objetivo de identificar zonas homogêneas nos vinhedos, diversas ferramentas e tecnologias estão disponíveis, com custos de obtenção variados. Dentre elas, está o sensoriamento remoto, a partir de Sistema de Informações Geográficas (SIG), para análises de variações do relevo e das parcelas vitícolas. A obtenção de imagens pode ser através de satélites, aeronave remotamente tripulada (ARP) e sensores de campo,

como medidores da umidade do solo, radiação solar, temperatura máxima e mínima no solo e na zona dos cachos, dentre outras alternativas (Hoff et al., 2017). As informações são obtidas por meio da interpretação de imagens de alta resolução associada ao trabalho de campo, bem como são gerados modelos digitais de elevação e seus derivados de altimetria, declividade e exposição solar em diferentes pontos da parcela vitícola. Os equipamentos usados geram resultados a partir da espectrorradiometria de reflectância e gamaespectrometria terrestre, além de câmeras com sensores térmicos, de infravermelho próximo, que podem identificar diferenças tanto na vegetação dos vinhedos (folhas), quanto na região dos cachos de uvas.

Alguns estudos de sensoriamento remoto foram realizados em vinhedos do Rio Grande do Sul, seja em áreas de indicações geográficas, seja em parcelas de vinhedos, para analisar os aspectos do relevo, principalmente altimetria, declividade e exposição solar, como na Serra Gaúcha, Serra do Sudeste e Campanha (Hoff et al., 2009, 2017). O satélite ALOS tem modelo digital de elevação (MDE) com resolução de 12,5 m, e as imagens podem ser obtidas gratuitamente pelo site Alaska Satellite Facility (ASF), gerado a partir de dados de radar com correção radiométrica de terreno. O MDE pode ser interpolado por krigagem, seguindo as etapas de vetorização em pontos (12,5 m em 12,5 m), a fim de gerar uma imagem de um metro de resolução, visando melhorias na visualização dos vinhedos, não alterando os valores originais da imagem do terreno (Hoff et al., 2017; Junges et al., 2017). Assim, podem ser gerados os parâmetros altimetria de 5 m em 5 metros; classes de declividade 0-3, 3-8, 8-13, 13-20, 20-30, 30-45, >45%; exposição solar nos quatro quadrantes (Norte, Leste, Sul e Oeste), ou em oito quadrantes (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste). Os trabalhos de viticultura de precisão estão sendo estudados em projeto de pesquisa em execução, em vinícola parceira em Encruzilhada do Sul-RS (Figura 1). Os dados sendo explorados e trabalhados, esperando-se colher uvas e vinificar de zonas diferentes, em função das identificações realizadas por imagens.

A fim de sugerir o monitoramento de áreas críticas, terrenos com as seguintes características devem ser observados: i) declividade plana (0 – 3%), pois podem acumular maior volume de água no solo e gerar problemas para o desenvolvimento das raízes das plantas; ii) declividade maior do que 30%, que é uma condição de maior suscetibilidade à erosão; iii) faces do relevo orientadas para o sul, as quais restringem a exposição solar e podem retardar o amadurecimento das uvas e potencializar doenças, devido à umidade do ar.

Outra ferramenta importante no monitoramento e avaliação de variações intraparcelsares de vinhedos é a determinação dos índices de vegetação por imagens orbitais, bem como imagens suborbitais, e mesmo sensores proximais. No Rio Grande do Sul já foram feitos estudos para analisar os aspectos do vigor de planta e condições de água no solo nas regiões vitivinícolas da Serra Gaúcha, Serra do Sudeste e Campanha; Miele et al., 2011; Filippini Alba et al., 2011; Miele et al., 2014; Filippini Alba et al., 2014; Junges et al., 2017; Santos et al., 2022). Os índices de vegetação são comumente utilizados a partir de imagens orbitais, podendo também ser obtidos por aeronaves, ARP e sensores de campo, captando diferentes regiões do espectro eletromagnético, principalmente nas regiões do visível e infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é o mais conhecido, indicando a biomassa fotossinteticamente ativa, podendo inferir sobre o crescimento e a sanidade da vegetação em um vinhedo. O NDVI diferencia a vegetação de outros tipos de cobertura do solo, bem como determina o seu estado de vigor, detectando alterações no processo de crescimento e evidenciando variações entre as plantas ou subparcelas. As imagens do satélite Sentinel-2, com frequência de cinco dias, permitem o mapeamento espacial e temporal/sazo-

nal das variações de crescimento das culturas naturais e plantadas. As imagens são disponibilizadas gratuitamente. Três índices de vegetação foram testados e usados em vinhedos no Rio Grande do Sul para a safra 2021/2022, sendo o índice de vegetação normalizado da água-NDWI, o Soil-Adjusted Vegetative Index-SAVI e o Índice Red Edge por Diferença Normalizada-NDRE (Figura 2). O NDRE foi mais adequado para a identificação de diferenças em ramos de videiras em São Paulo (Costa et al., 2023).

O sensoriamento remoto também pode ser utilizado para determinar a variação das propriedades dos solos, do estado nutricional do vinhedo, do índice de área foliar, da sanidade das videiras quanto às pragas e doenças, do *status* hídrico das plantas, assim como na previsão da produtividade e do potencial enológico das uvas ao longo das parcelas (Tardaguila et al., 2021; Yu et al., 2021; Ammoniacci et al., 2021; Palacios et al., 2023; Santos et al., 2022).

A viticultura de precisão também pode ser adotada por produtores, sem a necessidade de investimentos elevados, com a implantação de sensores, conforme descrito acima. A simples observação e identificação visual do desenvolvimento vegetativo das plantas no campo, bem como a localização das parcelas de vinhedos, principalmente em regiões declivosas, pode também contribuir com esta identificação de

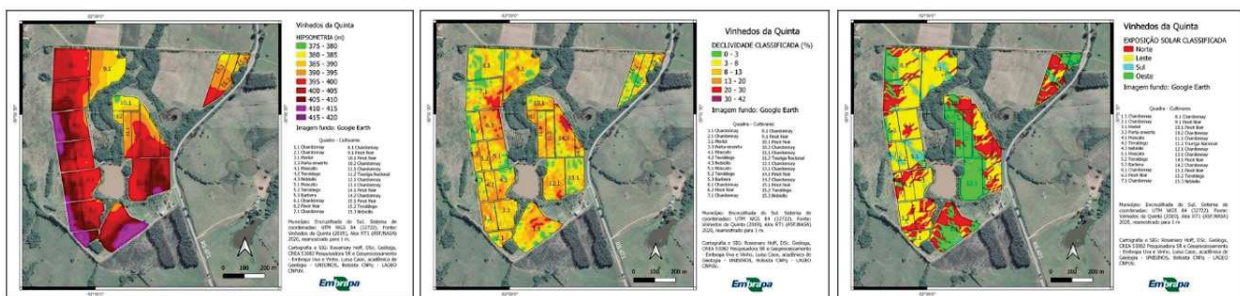


Figura 1. Aspectos do relevo de um vinhedo, na propriedade Vinhedos da Quinta, Encruzilhada do Sul (RS), Brasil: altimetria classificada de 5 m em 5 m (esquerda), declividade classificada (centro) e exposição solar em quatro quadrantes (direita). Fonte: Hoff (2021a).

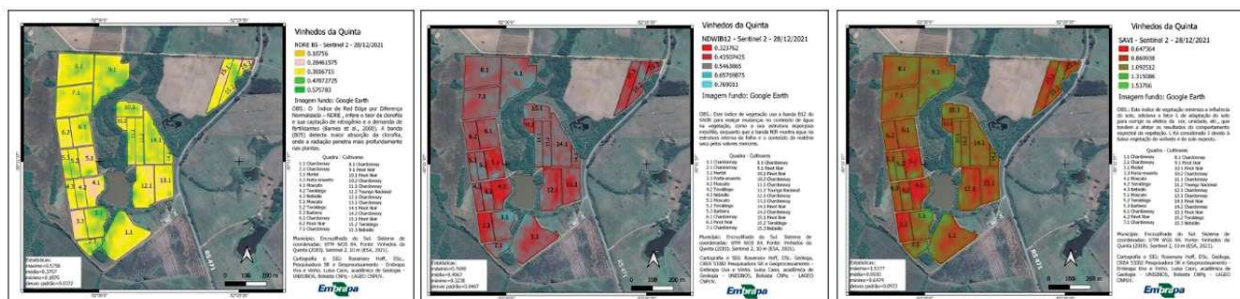


Figura 2. Índices de vegetação a partir de imagem do satélite Sentinel 2, em 28/12/2021, em vinhedos da vinícola Vinhedos da Quinta, em Encruzilhada do Sul (RS), Brasil. Os índices de vegetação são o NDRE banda 5 (esquerda), NDWI banda 12 (centro) e o SAVI (direita). Fonte: Hoff (2021b).

subparcelas. O objetivo é identificar zonas heterogêneas, no intuito de realizar colheitas seletivas, das diferentes subparcelas. Por exemplo, caso se identifique uma parte do vinhedo onde as plantas estão menos vigorosas, com folhas amareladas, podem sugerir manchas de solos com carência nutricional, ou mesmo pela presença de rochas no subsolo, que limitam o desenvolvimento radicular das videiras. Outra parte do vinhedo, com vigor mais elevado, deve ser colhida separadamente. Dessa forma, estas áreas devem ser colhidas e vinificadas individualmente, em tanques específicos, de maneira a explorar o potencial enológico distinto das uvas e dos vinhos. Não existe melhor ou pior vinho em razão dessas diferenças observadas em campo, mas existem diferenças quanto ao potencial enológico e ao valor agregado que poderá ser obtido entre a decisão de se elaborar vinhos jovens, com uvas de potencial enológico limitado (baixo teor de sólidos solúveis totais, de compostos fenólicos, elevada acidez, dentre outros parâmetros), até vinhos de guarda, a partir de uvas mais concentradas, em termos de açúcares, compostos fenólicos, compostos voláteis, dentre outros. Esta separação pode acarretar em aumento dos custos de produção, com a necessidade de tanques de fermentação menores, mas esses custos serão recuperados pela valorização dos vinhos mais concentrados, de maior valor agregado.

2.2 Condições climáticas

O clima é um dos principais fatores que compõem o “*terroir*” para a vitivinicultura, influenciando o desenvolvimento, a fisiologia e a sanidade das plantas, assim como o potencial enológico das uvas e a tipicidade dos vinhos, com variações de acordo com as diferentes safras, sejam anuais ou intra- anuais (Van Leeuwen et al., 2004; Pereira et al.; 2006a, 2018; Keller, 2015). Interfere em primeiro lugar na adaptação e na capacidade de produção comercial de variedades, entre americanas, europeias e híbridas, em um determinado local. Os principais fatores do clima são pluviosidade, umidade relativa do ar, temperaturas máximas, médias e mínimas, insolação/radiação solar e velocidade do vento (Reynier, 2007; Van Leeuwen et al., 2004). A variabilidade de climas, inter ou intra- anual, pode ser considerada uma variabilidade temporal que influenciará o potencial enológico das uvas e dos vinhos.

Dentro de uma parcela vitícola, o mesoclima pode apresentar variações, em função do tamanho da parcela, relevo, presença de mata ao redor, incidência dos ventos, incidência solar, dentre outros fatores. Por isso, deve-se fazer um trabalho de levantamento, observação e monitoramento das possíveis desuniformidades

em cada parcela, as quais podem contribuir para diferenças significativas no desenvolvimento das videiras, no potencial enológico das uvas e, conseqüentemente, na tipicidade dos vinhos (Falcão et al., 2010). O mesoclima é um dos fatores que deve ser mais aprofundado e conhecido dentro de uma parcela vitícola, para a aplicação da viticultura de precisão. Já o microclima, no nível da planta e dos cachos, pode ser manipulado/ otimizado, pois apresenta diferenças significativas em relação à posição dos ramos e dos cachos, proporcionando impactos nas respostas fisiológicas das videiras, no metabolismo das bagas, no potencial enológico das uvas e na tipicidade dos vinhos (Pereira et al., 2006a; Hunter et al., 2021). De maneira geral, como normalmente a colheita não é realizada de modo seletivo por planta, o microclima deve ser otimizado em cada vinhedo por meio da adequação da poda, do sistema de condução, do espaçamento entre plantas, da orientação da linha de plantio, exposição solar, realização de desfolhas no vinhedo, melhorando a exposição dos cachos (principalmente em sistema de condução em espaldeira), dentre outros parâmetros. Ou seja, a partir do conhecimento das variações meso e microclimáticas intraparcelsares, pode-se ajustar o manejo para explorar as variações das uvas, aprimorar e valorizar os produtos obtidos, integrando os conceitos de viticultura de precisão e de enologia de precisão. Alguns trabalhos realizados no Sudeste brasileiro demonstraram a variação intraparcelsar, que pode influenciar o desenvolvimento das videiras, bem como o potencial enológico das uvas e dos vinhos (Oldoni et al., 2021; Costa et al. 2019a, 2019b; Costa et al., 2023).

2.3 Características pedológicas

Os solos são considerados o segundo fator componente do “*terroir*” que, juntamente com o clima, podem influenciar de forma muito significativa o desenvolvimento das videiras, as características fisiológicas das plantas, o metabolismo durante a maturação das uvas, chegando à data de colheita com variações importantes em termos de compostos metabólicos essenciais que expressam e contribuem com a tipicidade dos vinhos. A videira é uma planta que se adapta aos mais diversos tipos de solos, desde arenosos, argilosos e mesmo pedregosos (Van Leeuwen et al., 2004; Van Leeuwen; Seguin, 2006). Contudo, não se adapta aos solos rasos, que impossibilitam o desenvolvimento radicular, assim como aos solos alagadiços, que são impróprios e não recomendados para o cultivo comercial de videiras.

Normalmente, os solos são muito variados e desuniformes e se apresentam como mosaicos. No mundo vitícola, na parcela de um hectare, por exemplo,

sempre haverá manchas de solo com contrastes em composição físico-química e mineralógica, variando a profundidade, nutrição, disponibilidade de água, entre outros fatores. Podemos afirmar que sempre haverá condições para se dispor de variabilidade no desenvolvimento das videiras, independentemente do tamanho da parcela vitícola. Portanto, recomenda-se um levantamento do solo para identificar as zonas homogêneas entre parcelas ou subparcelas, visando aos ajustes adequados e possíveis. O manejo diferencial pode ser em relação à fertilização, irrigação, drenagem, tratamentos culturais, manejo das plantas, no intuito de segmentar as subparcelas para uma colheita diferencial das uvas, pois apresentarão, em função das manchas de solo, características enológicas distintas. Alguns trabalhos foram realizados em vinhedos do Sudeste e Sul do Brasil, comprovando as variações de solos em parcelas vitícolas, que influenciaram o desenvolvimento das videiras, bem como o potencial enológico das uvas e as características físico-químicas dos vinhos (Miele et al., 2011; Filippini Alba et al., 2011, 2014; Miele et al., 2014; Costa et al. 2019a, 2019b; Oldoni et al., 2021; Silva-Sangoi et al., 2022; Santos et al., 2022; Costa et al., 2023). Vale destacar que cada parcela vitícola deve ser analisada quanto às manchas de solos individualmente, pois existe uma grande variação dos solos no Brasil e no mundo.

Além da caracterização e ajuste do solo, recomenda-se também considerar alguns fatores da uva para a definição das subparcelas de plantas que serão agrupadas ou segregadas na colheita, como teor de sólidos solúveis totais, acidez total, pH, compostos fenólicos, dentre outros parâmetros, que serão abordados mais adiante. Desta forma, procura-se colher uvas distintas, bem como elaborar vinhos com diferentes protocolos, com foco em valorização da tipicidade dos produtos, em função do potencial enológico das uvas na colheita (Pereira et al., 2005, 2006b, 2007; Chavarria et al., 2011; Miele et al., 2014).

2.4 Produtividade, vigor de crescimento por planta e por subparcela

Na escala da propriedade, o viticultor deve ter consciência de que existem variações entre plantas e entre subáreas dentro de cada vinhedo. Ou seja, quando se emprega um manejo convencional e uniforme em toda área, normalmente ocorrem variações de rendimento e de potencial enológico das uvas entre plantas do mesmo talhão (Bonilla et al., 2015). Contudo, antes dos avanços da agricultura de precisão, essas variações intrínsecas de cada vinhedo sempre foram tratadas como ruído e, portanto, desprezadas ou ignoradas no mundo vitivinícola (Cooks; Bramley, 1998).

Apartir de levantamentos em vinhedos da França (Van Leeuwen et al., 2004; Tisseyre et al., 2008), Espanha (Bonilla et al., 2015), Nova Zelândia (King et al., 2014), Estados Unidos (Sams et al., 2022) e Brasil (Miele et al., 2014; Hoff, 2021a; Santos et al., 2021; Oldoni et al., 2021; Santos et al., 2022; Costa et al., 2023).), percebe-se que essa variabilidade intrínseca e espacial de videiras é comum e pode ocorrer em qualquer região vitivinícola do Brasil e do mundo. A visão tradicional do “*terroir*”, que reflete na qualidade e tipicidade do produto, o conjunto do saber fazer e das influências do local de cultivo, é apropriada, mas qual deve ser a escala mais adequada? A escala regional (exemplo, Vale dos Vinhedos)? A escala do vinhedo? A escala de subáreas homogêneas em cada vinhedo? Ou o conjunto delas, obtidas a partir de cortes/misturas/*blends* entre vinhos das diferentes subparcelas? Todas essas questões devem ser avaliadas, pois as variações deverão estar em todos esses diferentes parâmetros, que precisam ser levados em conta e individualmente avaliados.

No desempenho vitivinícola, as variáveis do crescimento vegetativo (vigor) e a produção (kg de uva) por planta tendem a ser mais estáveis entre ciclos quando se analisa o contraste entre áreas ou subáreas. A caracterização da homogeneidade ou heterogeneidade espacial entre videiras ou entre subáreas de vinhedos tem estabelecido associações significativas e consistentes entre os parâmetros de vigor e produção com os parâmetros do solo e do potencial de qualidade enológica da uva (King et al., 2014; Costa et al., 2019a; Santesteban, 2019; Oldoni et al., 2021; Santos et al., 2021, 2022).

Dentre os parâmetros para caracterização de vigor, destaca-se que, em áreas com manejo uniforme de carga de gemas por planta, o diâmetro de tronco (avaliado a 30 cm da superfície do solo) e o peso de poda por planta são variáveis sensíveis e com associação direta com a capacidade de crescimento vegetativo (King et al., 2014). Em geral, quando há excesso de vigor imposto pelo local (nutrição, topografia, disponibilidade hídrica, etc.) ou pela carga restrita de gemas por planta, observa-se uma limitação no potencial enológico dos vinhos (King et al., 2014; Santos et al., 2021). Esse impacto do vigor sobre a qualidade e tipicidade ocorre porque, mesmo adotando podas verdes frequentes para manter as plantas com uma razão foliar adequada (1,5 m²/kg fruto) e um microclima nos cachos sem sombreamento, as videiras com vigor excessivo não dispõem da mesma capacidade bioquímica para síntese de compostos associados ao potencial enológico das uvas (Keller, 2015; Costa et al. 2019b). Portanto, a carga de gemas por planta, além de exer-

cer um impacto direto na produção por planta, por que afeta o número de ramos produtivos, modula de modo indireto a fisiologia de maturação e o potencial de qualidade enológica da uva nos locais em que o vigor é mais expressivo (Santos et al., 2021). Contudo, apesar da relação direta entre carga de gemas e ramos produtivos, para atingir a produção desejada por planta é necessário que todas as gemas deixadas na poda atinjam a brotação plena. Isso pode variar entre ciclos e locais porque a brotação é influenciada, principalmente, pelo tipo de poda (vara ou esporão) e pela combinação das condições locais de frio e exigência térmicas de cada genótipo (Anzanello et al., 2018).

Diante do exposto, destaca-se que a variabilidade intrínseca dos vinhedos é uma realidade e não se recomenda um manejo uniforme em subáreas que apresentam vigor distinto. Com base na variabilidade de crescimento de plantas, deve-se ajustar uma maior carga de gemas nas plantas mais vigorosas, buscando elevar a produção por planta e controlar o vigor de crescimento dos sarmentos e folhas. Com essa estratégia de equilíbrio entre vigor vegetativo e produção, pode-se garantir um maior fluxo de fotoassimilados para os cachos, em detrimento de ramos e folhas, favorecendo o microclima e estimulando a síntese de compostos que agregam qualidade enológica nas uvas (Keller, 2015; Santos, 2015). A partir dessa estratégia de carga de gemas em função do vigor específico de cada local, pode-se minimizar os contrastes entre plantas de um mesmo vinhedo e explorar o máximo do potencial enológico que cada combinação ‘cultivar X local’ pode oferecer, fortalecendo a escala de representação do “*terroir*” local.

2.5 Presença de viroses

A presença de viroses em vinhedos, muito comum e que afeta todos os países, também é um parâmetro para ser levado em conta dentro do conceito de viticultura de precisão e de enologia de precisão. Após o plantio de um vinhedo, mesmo partindo-se de materiais isentos de viroses, com certificado de sanidade, reinfecções por vírus acontecem em vinhedos do mundo todo. Por isso, em muitas situações, é preciso conviver com os problemas de viroses em vinhedos. Atualmente são conhecidos cerca de 86 patógenos virais associados à videira no mundo (Fuchs, 2020), os quais constituem importante ameaça à vitivinicultura. Estas viroses causam expressivos impactos negativos no desempenho das videiras, reduzindo o crescimento da planta, a produção e o potencial enológico das uvas (Naidu et al., 2015; Pereira et al., 2021). A definição de zonas homogêneas de atributos da planta (ex.: uvas colhidas de plantas com ou sem viroses) pa-

ra um manejo diferenciado do vinhedo (ex.: colheita e processamento seletivos), constituiria zonas de manejo (subparcelas homogêneas em relação à variável considerada, por ex., virose). Isto poderia subsidiar o responsável pela tomada de decisão ou o assessor técnico para a elaboração de lotes específicos, visando à obtenção de produtos (vinhos e derivados) com qualidades distintas e diferentes valores de mercado.

Em 2021, foi realizado um monitoramento em campo de plantas com ou sem viroses como ferramenta exploratória para adotar a viticultura, aliada à enologia, de precisão. Videiras selecionadas em vinhedos na Serra Gaúcha, com base na manifestação, ou não, de sintomas de viroses na copa das plantas, foram indexadas com o teste RT-PCR em tempo real (RT-qPCR) (Dubiel et al., 2013) para três dos principais vírus da cultura, grapevine leafroll-associated virus 3 (GLRaV-3), grapevine virus A (GVA) e grapevine virus B (GVB), agentes causais das viroses do enrolamento da folha e do lenho rugoso. Isto foi realizado para comprovar a infecção viral em plantas sintomáticas (30 plantas/vinhedo) ou a ausência desses vírus em plantas assintomáticas (40 plantas/vinhedo), em três vinhedos comerciais (Bento Gonçalves, RS e Pinto Bandeira, RS) da cv. Cabernet Sauvignon com 16 a 23 anos de plantio, totalizando-se 210 plantas indexadas. Foram observadas incidências de 24,3-38,6% (GLRaV-3), 7,1-30% (GVA) e 12,8-45,7% (GVB). Cerca da metade das plantas avaliadas (50,5%) estavam sadias (para os três vírus) e, em relação ao tipo de infecção, foram observadas 27,6%, 17,1% e 4,8% de plantas infectadas com um, dois ou três vírus, respectivamente (Fajardo et al., 2021; Fajardo et al., 2024). Ao final dessa etapa, foram selecionadas, para a colheita das uvas, apenas plantas sintomáticas, com infecção comprovada, com ao menos um vírus, no teste diagnóstico, e plantas assintomáticas, sem infecção viral comprovada. A composição físico-química das uvas e dos vinhos, obtidos a partir dos ensaios com e sem viroses, apresentou diferenças significativas (dados não mostrados). A presença de virose comprometeu a maturação das uvas, reduzindo o potencial enológico das uvas, bem como a tipicidade dos vinhos. Estes resultados comprovam a importância da identificação da presença de viroses em vinhedos, bem como realizar colheitas seletivas para a elaboração de diferentes vinhos.

Vários estudos comparativos entre videiras infectadas por vírus e sadias, ou entre plantas sintomáticas e assintomáticas, foram conduzidos e, na maioria dos casos, houve diferenças em favor das plantas sadias, quando se consideram variáveis agrônomicas e enológicas (Zanus et al., 1993; Mannini; Digiaro, 2017;

Girardello et al., 2020; Pereira et al., 2021). Os principais prejuízos causados pelas viroses estão relacionados à queda acentuada da produção, decréscimo no rendimento, número de cachos/planta e peso de bagas, atraso na maturação das uvas, diminuição do teor de açúcares, menor concentração de compostos fenólicos em uvas tintas, diminuições da longevidade, do vigor e do crescimento vegetativo, podendo levar à morte de plantas. Como consequência, uvas produzidas por plantas infectadas podem resultar na elaboração de produtos enológicos (vinhos) de menor valor agregado, justificando-se a adoção da enologia de precisão. Normalmente, uvas de videiras com viroses são indicadas para a elaboração de vinhos jovens (Pereira et al., 2021). De modo geral, as viroses também podem afetar alguns compostos aromáticos da videira, o que compromete diretamente a sua tipicidade (Girardello et al., 2019). Os efeitos da virose sobre o desempenho agrônômico da videira são dependentes da cultivar, do tempo de infecção viral, da virulência do patógeno e das condições ambientais. No campo, a planta infectada por vírus permanecerá doente e é irrecuperável. O único controle eficiente de doenças causadas por vírus, perpetuados e acumulados em materiais propagativos como estacas e transmitidos pela enxertia, é o uso de plantas livres de vírus na formação de um novo vinhedo (Fajardo; Nickel, 2019). Alguns trabalhos demonstraram que o uso de ferramentas de imagens e sensoriamento remoto pode ser usado como alternativa para detectar plantas infectadas por viroses, num contexto de viticultura de precisão (MacDonald et al., 2016; Bendel et al., 2020; Junges et al., 2020). Assim, em vinhedos infectados, a adoção da viticultura de precisão possibilitará separar as subparcelas, para elaboração de vinhos jovens e de guarda, a partir de plantas sintomáticas ou assintomáticas, respectivamente. Portanto, a identificação da presença de viroses em vinhedos alia a viticultura de precisão com a necessidade de adoção da enologia de precisão.

2.6 Pragas e doenças fúngicas

A sanidade das videiras, mediante o controle de pragas e doenças fúngicas, é de suma importância para garantir o desenvolvimento adequado, nível de maturação e produção de uvas sadias para a obtenção de vinhos com elevada tipicidade e sem resíduos de produtos. O conceito de viticultura de precisão também leva em conta o modelo de distribuição das pragas e doenças fúngicas no vinhedo, o seu monitoramento ao longo do tempo, a detecção precoce de infecções e o consequente controle racional (Embrapa Uva e Vinho, 2021; Pithan et al., 2019, 2021). Além dis-

so, os danos provocados por pragas e doenças em um vinhedo podem ocorrer de modo generalizado em toda a área, ou podem ser localizados. Em ambos os casos, é realizada uma seleção de cachos no momento da colheita, e os cachos afetados por pragas e/ou doenças são descartados. Deve ser adotado o mesmo conceito de separação de uvas, conforme descrito acima, para as doenças virais.

Como exemplo de praga que compromete o potencial enológico das uvas e dos vinhos, está a traça-dos-cachos (*Criptoblabe gnidiella*), causada por uma mariposa que coloca os ovos no interior dos cachos ainda em formação, cujas larvas que eclodem causam enormes danos vitícolas e enológicos (Botton et al., 2013). Em relação às doenças, podemos citar o míldio (*Plasmopara viticola*), o oídio (*Uncinula necator*), a antracnose (*Elsinoë ampelina*), escoriose (*Phomopsis viticola*), a podridão-da-uva-madura (*Glomerella cingulata*), a podridão-cinzenta (*Botrytis cinerea*), a podridão-amarga (*Greeneria uvicola*), a podridão-ácida (complexo de fungos e bactérias), a podridão-descendente (*Botryosphaeria* spp. e *Eutypa lata*), declínio da videira, dentre outras (Garrido; Gava, 2014). Estas doenças, em função da sua intensidade e momento da ocorrência, também podem comprometer toda a safra, em termos de produtividade e potencial enológico das uvas e dos vinhos, além outros problemas como o declínio e morte de plantas, causadas por nematoides e fungos de solo. Estudos mostraram que abordagens espectrais poderiam ser úteis para promover análises quantitativas e qualitativas da distribuição espaço-temporal de videiras afetadas por pragas e doenças, em um contexto de viticultura de precisão, ou mesmo o monitoramento de doenças e mapas do vinhedo, através de sensores remotos (Junges et al., 2020). Por isso, é imprescindível o conhecimento do histórico dos problemas fitossanitários do vinhedo e o seu manejo integrado como ferramentas dentro da viticultura de precisão.

3 ENOLOGIA DE PRECISÃO. PARÂMETROS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

3.1 Composição metabólica das uvas. Composição físico-química e sensorial dos vinhos

A enologia de precisão está integrada à viticultura de precisão, cujos conceitos se complementam e buscam identificar as semelhanças e diferenças encontradas em uma parcela vitícola, no intuito de elaborar vinhos que possam expressar o seu potencial, de acordo com as variações dentro do mesmo “terroir”. A adoção da enologia de precisão leva a ajustes

finos, adotados em determinados processos ou protocolos de vinificação, em decorrência das variabilidades das uvas encontradas no campo, no momento da colheita. A partir das variações identificadas nas parcelas, são inúmeros os parâmetros enológicos utilizados para a tomada de decisão da data de colheita, bem como sobre quais tipos de vinhos elaborar, com distintos protocolos de vinificação. Dentre eles, podemos citar a determinação da composição físico-química das uvas, como os sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix), a acidez total titulável, o pH, bem como outras análises, destrutivas ou não destrutivas, que permitem determinar os compostos fenólicos ou outros compostos metabólicos de suma importância enológica, presentes nos diferentes tecidos das uvas (Fiehn, 2002; Ammoniaci et al., 2021; Fredes et al., 2021). O estudo do metaboloma em uvas permite conhecer e descrever o conjunto das medidas quantitativas dos metabólitos, relativas às respostas multiparamétricas dinâmicas das plantas (metabolismo das videiras), influenciadas pelos estímulos ambientais ou modificações genéticas (Holmes et al., 2019).

Da mesma forma que o fator humano influencia as características das uvas em campo, compondo o

“terroir” juntamente com os fatores clima e solo, as tomadas de decisão ainda em campo, como a data de colheita das uvas, bem como na vinícola, durante a vinificação, tornam o papel do homem essencial para a valorização dos produtos comerciais. A enologia de precisão busca extrair seletivamente, ao máximo, as potencialidades das uvas para elaborar vinhos a partir das subparcelas identificadas, buscando distinguir e valorizar os produtos, de acordo com o potencial mercadológico de cada lote de uvas das subparcelas.

Com o sensoriamento remoto também é possível elaborar mapas com as variáveis enológicas. Na Espanha, Fernández-Novales et al. (2019) demonstraram ao longo da evolução da maturação da uva o contraste intraparcels quanto aos valores de sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix), antocianinas e fenólicos totais (Figura 3).

Nos mapas, pode-se identificar que, onde os valores de $^{\circ}$ Brix são superiores, também são maiores os níveis de antocianinas e fenólicos totais. Dessa forma, seguindo uma colheita seletiva, pode-se elaborar vinhos com maior tempo de maceração das cascas e das sementes com as uvas dessas zonas com maior grau de maturação, bem como utilizar barri-

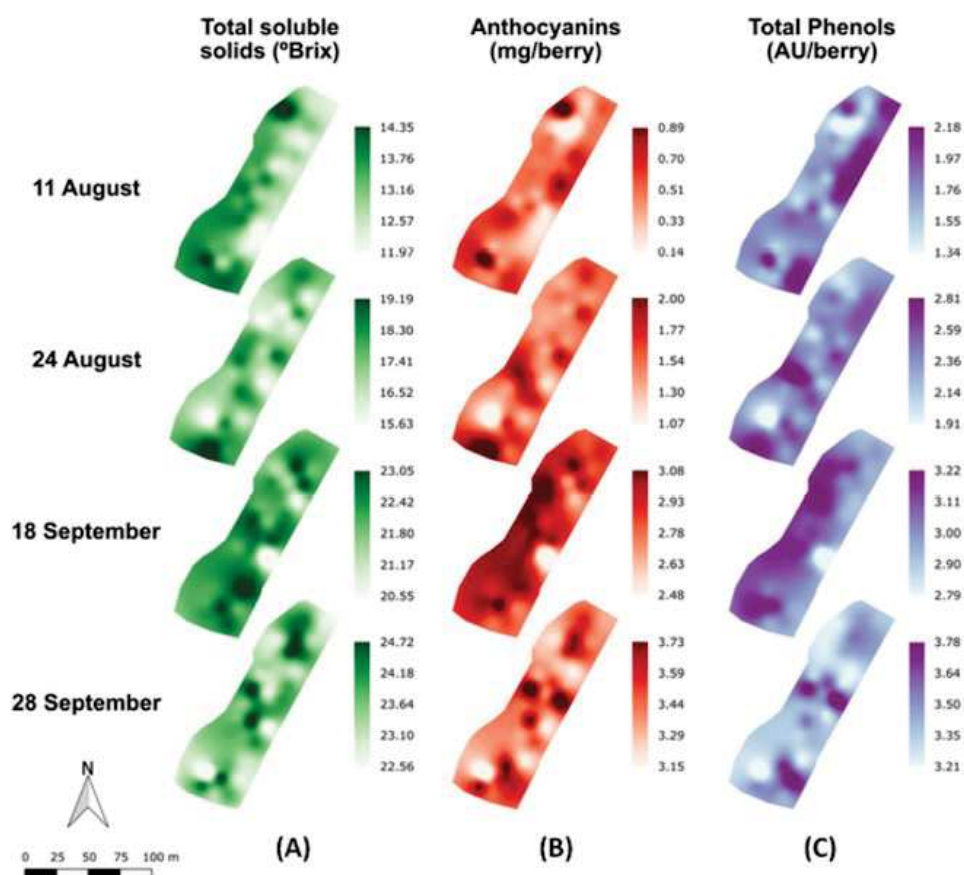


Figura 3. Mapas preditivos da variação espacial dos sólidos solúveis totais (A), antocianinas (B) e fenólicos totais (C) durante a maturação de uvas Tempranillo em La Rioja, Espanha, entre 11/08 e 28/09/2017. Fonte: Fernández-Novales et al. (2019).

cas de carvalho para vinhos de guarda. Por outro lado, nas uvas das zonas mais claras dos mapas (menor °Brix, antocianinas e fenólicos totais), sugere-se a elaboração de vinhos jovens, com pouco tempo de maceração, sem uso de carvalho, por exemplo. Nas uvas colhidas das zonas intermediárias, em maturação, pode-se elaborar outros tipos de vinhos, com diferentes protocolos de vinificação. Ou seja, o conceito de enologia de precisão segue exatamente essa adequação do processamento em função do nível de maturação/potencial enológico da uva que pode ser obtido em cada subparcela do vinhedo.

Diversos trabalhos científicos foram publicados mostrando resultados com a variabilidade do potencial enológico das uvas e, conseqüentemente, dos vinhos, em função das subparcelas em vinhedos. Os parâmetros que comprovam a variabilidade vão desde o pH, °Brix e acidez das uvas (Ammoniacci et al., 2021; Fredes et al., 2021), passando pela produtividade e tamanho dos cachos (Brillante et al., 2017; Bramley et al., 2020), composição físico-química e compostos fenólicos, tais como antocianinas, flavonóis, procianidinas e fenólicos totais, bem como aminoácidos (Miele et al., 2014; Fernández-Novales et al., 2019; Jasse et al., 2021; Yu et al., 2021). Por outro lado, são escassos os trabalhos de pesquisas desenvolvidos para mostrar também a variabilidade dos compostos aromáticos nas subparcelas, mesmo estes sendo de suma importância para a expressão da tipicidade dos vinhos de “*terroir*” (Miele et al., 2014; Scarlett et al., 2014; Alessandrini et al., 2017; Van Leeuwen et al., 2022).

Outros parâmetros podem ser usados para caracterizar a variabilidade enológica intraparcelar quanto à composição físico-química e sensorial dos vinhos. Esses descritores estão associados com a complexa interação entre fatores naturais (clima e solo), humanos e genéticos, de cada variedade, em um determinado “*terroir*” e, portanto, podem confirmar as variações de compostos do metabolismo primário e secundário da videira (Falcão et al., 2010; Miele et al., 2014; Herderich et al., 2015; Van Leeuwen et al., 2022).

Um fato importante a ser levado em conta é a amostragem por parcela e subparcela vitícola para definição da variabilidade de maturação e definição do ponto de colheita. O número amostrado de bagas deve levar em conta o número de plantas por subparcela. O número mínimo recomendado é de 20 plantas amostradas por hectare, que pode ser proporcional à área, como 0,25. Combinando os dois fatores, o número de plantas amostradas pode ser obtido pela fórmula $N = 20 A^{0,25}$, em que A é a área em hectares. Portanto, com base nessa fórmula, deve-se amostrar bagas de 11 videiras em 0,1 ha ou 36 videiras em 10 ha.

A partir das variações intraparcelares obtidas com as amostragens, definem-se as particularidades que devem ser trabalhadas/manejadas, tanto em termos vitícolas quanto enológicos. Isso reforça a ideia de que os conceitos de viticultura de precisão e de enologia de precisão são integrados e indissociáveis. E cada parcela vitícola, cada vinhedo, em qualquer lugar do Brasil ou do mundo, apresentará variações específicas e únicas, que devem ser estudadas, identificadas e trabalhadas de formas distintas.

A enologia de precisão tem por objetivo eleger as práticas, processos e protocolos de vinificação, como extração e preparo do mosto, temperaturas das fermentações (alcoólica e malolática), estabilização e envelhecimento, mais sintonizadas com a composição das uvas e com os objetivos que se deseja alcançar no produto final. Nesse sentido, para colocar em prática uma enologia de precisão, é preciso dispor de tanques e vasilhames menores, para as fermentações e guarda dos vinhos, que permitam a separação de lotes homogêneos das diferentes subparcelas. Na maioria das vinícolas brasileiras, ainda é comum, por essa inadequação, misturar mostos e vinhos das diferentes subparcelas em tanques maiores, reduzindo dessa forma a qualidade e a tipicidade como um todo após a mistura. Conforme dito anteriormente, esta separação de diferentes lotes das subparcelas pode elevar os custos, pela necessidade de tanques menores. Mas os valores comerciais dos produtos obtidos para venda compensarão os investimentos iniciais. Além disso, a precisão das práticas de elaboração com as especificidades de composição das uvas também é fundamental. Assim, por exemplo, os níveis de SO₂ a serem adicionados devem observar rigorosamente as variações do pH do mosto, e não ser estabelecidos de forma geral para as categorias dos vinhos. Os processos de maceração, antes de seguir rigorosos protocolos-padrão, devem observar as diferenças de composição das uvas (em maturação, riqueza de compostos e sanidade) determinadas e variáveis pelo efeito safra. Outro exemplo de prática importante de enologia de precisão é o corte (*blend*) de vinhos-base para a elaboração de espumantes, para adequar ao processo de tomada de espuma (Charmat ou método tradicional) e à constância do estilo desejado, em cor, aroma e sabor. Os cortes também são usados em vinhos brancos e tintos tranquilos. Para valorizar a tipicidade dos vinhos, vinculada ao efeito “*terroir*”, o enólogo pode eleger práticas enológicas de menor intervenção, por exemplo, a fermentação com leveduras indígenas, ou ausência de adição de SO₂, muito usado atualmente com os vinhos chamados “naturais”, com mínimas intervenções enológicas. Mas, nesses

casos, os riscos de contaminação e evolução precoces são elevados, devendo-se atentar muito para a higie-
ne do processo. Outros parâmetros usados por enó-
logos são extração de cor e compostos fenólicos com
maceração clássica, bem como evitar o uso excessivo
de insumos, clarificantes e estabilizantes e filtração.
Em suma, no mundo do vinho, uma ampla diversidade
de tipos e estilos de produtos podem ser alcançados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção da viticultura de precisão e da enologia de
precisão pode contribuir para uma melhoria do poten-
cial enológico das uvas, bem como para a qualidade e
tipicidade dos vinhos de um “terroir” ou de uma região.
Da mesma forma, poderá incrementar a rentabilidade
das vinícolas, através do manejo vitícola específico nas
parcelas, bem como da adoção de práticas enológicas
seletivas e individuais, de acordo com os lotes de uvas,
no sentido de valorizar os diferentes produtos com dis-
tintos potenciais mercadológicos e valores agregados,
buscando agradar diferentes perfis de consumidores,
em termos de paladar e de valor de mercado.

REFERÊNCIAS

- ALESSANDRINI, M.; GAIOTTI, F.; BELFIORE, N.; MATARESE, F.; D'ONOFRIO, C.; TOMASI, D. Influence of vineyard alti-
tude on Glera grape ripening (*Vitis vinifera* L.): effects on
aroma evolution and wine sensory profile. **Journal of the
Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 9, p. 2695-2705,
2017. DOI: <http://doi.org/10.1002/jsfa.8093>.
- AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.;
SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da pro-
dutividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa
Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.
DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000800006>.
- AMMONIACI, M.; KARTSIOTIS, S.; PERRIA, R.; STORCHI, P.
State of the art of monitoring technologies and data pro-
cessing for precision viticulture. **Agriculture**, v. 11, n. 3, p.
201, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3390/agriculture11030201>.
- ANZANELLO, R.; FIALHO, F. B.; SANTOS, H. P. Chilling require-
ments and dormancy evolution in grapevine buds. **Ciência
e Agrotecnologia**, v. 42, n. 4, p. 364-371, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/1413-70542018424014618>.
- BENDEL, N.; KICHERER, A.; BACKHAUS, A.; KÖCKERLING,
J.; MAIXNER, M.; BLESER, E.; KLÜCK, H.-C.; SEIFFERT, U.;
VOEGELE, R. T.; TÖPFER, R. Detection of Grapevine Leafroll-
Associated virus 1 and 3 in white and red grapevine culti-
vars using hyperspectral imaging. **Remote Sensing**, 2020,
12, 1693. <https://doi.org/10.3390/rs12101693>.
- BONILLA, I.; TODA, F. M.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.
Vine vigor, yield and grape quality assessment by airbor-
ne remote sensing over three years: analysis of unexpect-
ed relationships in cv. Tempranillo. **Spanish Journal of
Agricultural Research**, v. 13 n. 2, p. e0903, 2015. DOI: <http://doi.org/10.5424/sjar/2015132-7809>.
- BOTTON, M.; OLIVEIRA, J. E. de M.; RINGENBER, R.; CARVALHO,
A. N. M.; FERNANDES, M. H. A. **Biologia, monitoramen-
to e controle da Traça-dos-cachos da videira**. Bento
Gonçalves: Embrapa, 2013. (Circular Técnica 99).
- BRAMLEY, R. G., OUZMAN, J., TROUGHT, M. C. Making sen-
se of a sense of place: precision viticulture approaches to
the analysis of terroir at different scales. **OENO One**, v. 54,
n. 4, p. 903-917, 2020. DOI: [http://doi.org/10.20870/oeno-
one.2020.54.4.3858](http://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.4.3858).
- BRAMLEY, R.G.V.; HAMILTON R.P. Terroir and precision viti-
culture: are they compatible? **Journal International des
Sciences de la Vigne et du Vin**, v. 41, n. 1, p. 1-8. 2007. DOI:
<http://doi.org/10.20870/oeno-one.2007.41.1.855>.
- BRILLANTE, L., MARTÍNEZ-LUSCHER, J., YU, R., PLANK, C. M.,
SANCHEZ, L., BATES, T. L., BRENNEMAN, C., OBERHOLSTER,
A., KURTURAL, S. Assessing spatial variability of grape skin
flavonoids at the vineyard scale based on plant water status
mapping. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,
v. 65, p. 5255-5265, 2017. DOI: [http://doi.org/10.1021/acs.
jafc.7b01749](http://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01749).
- CARBONNEAU, A.; DELOIRE, A.; TORREGROSA, L.; JAILLARD,
B.; PELLEGRINO, A.; MÉTAY, A.; OJEDA, H.; LEBON, E.;
ABBAL, P. **Traité de la Vigne: Physiologie, Terroir, Culture**.
2. éd. Paris: Dunod, 2015. 592 p.
- CHAVARRIA, G.; BERGAMASCHI, H.; SILVA, L. C.; SANTOS, H.
P.; MANDELLI, F.; GUERRA, C. C.; FLORES, C. A.; TONIETTO,
J. Relações hídricas, rendimento e compostos fenólicos de
uvas Cabernet Sauvignon em três tipos de solo. **Bragantia**,
v. 70, p. 481-487, 2011. DOI: [http://doi.org/10.1590/S0006-
87052011005000004](http://doi.org/10.1590/S0006-87052011005000004).
- COOKS, E.; BRAMLEY, R. G. V. Precision agriculture: op-
portunities, benefits and pitfalls. **Australian Journal of
Experimental Agriculture**, v. 38, n. 7, pp. 753-763, 1998.
DOI: <http://doi.org/10.1071/EA97156>
- COSTA, B. R. S.; OLDONI, H.; SILVA, T. M. M.; FARINASSI, L. G.;
BOGNOLA, I. A.; BASSOI, L. H. How similar is the zoning
of diferente vegetation índices: defining the optimal fra-
mework for monitoring grapevines' growth within vigo-
rous vineyards. **Scientia Horticulturae**, v. 322, p. 112404,
2023. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112404>
- COSTA, B. R. S., OLDONI, H., ROCHA JUNIOR, R., BASSOI,
L. H. Delimitation of homogeneous zones in vineyards
using geostatistics and multivariate analysis of different
vegetation indices. **Engenharia Agrícola**, v. 39, pp. 13-22,
2019a. DOI: [http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.
v39nep13-22/2019](http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep13-22/2019).
- COSTA, B. R. S., OLDONI, H., SILVA, W. A., MARTINS, R. L.,
BASSOI, L. H. Temporal variation and spatial distribu-
tion of relative indices of leaf chlorophyll in grapevine
cv. Chardonnay. **Engenharia Agrícola**, v. 39, pp. 74-84,
2019b. DOI: [http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.
v39nep74-84/2019](http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep74-84/2019).

- DUBIELA, C. R.; FAJARDO, T. V. M.; SOUTO, E. R.; NICKEL, O.; EIRAS, M.; REVERS, L. F. Simultaneous detection of Brazilian isolates of grapevine viroses by TaqMan real-time RT-PCR. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, p. 158-165, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1982-56762013000200011>.
- EMBRAPA UVA E VINHO. **Crops monitoramento de doenças: uma nova ferramenta para o manejo de míldio na cultura da videira**. Bento Gonçalves, 2021.
- FAJARDO, T. V. M.; DA RÉ, I.; PEREIRA, G. E.; DE OLIVEIRA, J. B.; NICKEL, O. Relationship between symptom expression and viral infection in grapevines cv. Cabernet Sauvignon. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 52., 2021. **Anais [...]**. Brasília, DF: SBF, 2021. p. 195.
- FAJARDO, T. V. M.; NICKEL, O. **Transmissão de vírus e controle de viroses em plantas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2019. 25 p. (Embrapa Uva e Vinho, Documentos 110).
- FAJARDO, T. V. M.; PEREIRA, G. E.; NICKEL, O. **Incidência e prevalência de vírus relacionadas à sintomatologia em videiras 'Cabernet Sauvignon'**. 2024. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 27.
- FALCÃO, L. D.; BURIN, V. M.; CHAVES, E. S.; VIEIRA, H. J.; BRIGHENTI, E.; ROSIER, J.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Vineyard altitude and mesoclimate influences on the phenology and maturation of Cabernet-Sauvignon grapes from Santa Catarina state. **Journal International des Sciences de la Vigne et Du Vin**, v. 44, n. 3, p. 135-150, 2010. DOI: <http://doi.org/10.20870/oeno-one.2010.44.3.1470>.
- FERNÁNDEZ-NOVALES, J.; TARDÁGUILA, J.; GUTIÉRREZ, S.; DIAGO, M. P. On-The-Go VIS + SW - NIR spectroscopy as a reliable monitoring tool for grape composition within the vineyard. **Molecules**, v. 24, p. 2795, 2019. DOI: <http://doi.org/10.3390/molecules24152795>.
- FIEHN, O. Metabolomics-the link between genotypes and phenotypes. **Plant Molecular Biology**, v. 48, p. 155-171, 2002. DOI: <http://doi.org/10.1023/A:1013713905833>.
- FILIPPINI ALBA, J. M.; FLORES, C. A.; MIELE, A.; VILLANI, L. M. SIG para a gestão vitivinícola no Vale dos Vinhedos, RS. In: BERNARDI, A. V. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (eds.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 368-373.
- FILIPPINI ALBA, J. M.; MIELE, A.; FLORES, C. A.; PAVAN, C.; FOCESATO, M. L.; LEVIEN, H. F.; ZARNOTT, D. H. Viabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de solo e planta na UP Uva para Vinho, Bento Gonçalves, RS. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (eds.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 277-281.
- FREDES, S. N.; RUIZ, L. A.; RECIO, J. A. Modeling °brix and pH in wine grapes from satellite images in Colchagua Valley, Chile. **Agriculture**, v. 11, n. 8, p. 697, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3390/agriculture11080697>.
- FUCHS, M. Grapevine viruses: a multitude of diverse species with simple but overall poorly adopted management solutions in the vineyard. **Journal of Plant Pathology**, v. 102, p. 643-653, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1007/s42161-020-00579-2>.
- GARRIDO, L. da R.; GAVA, R. **Manual de doenças fúngicas da videira**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2014, 101 p.
- GIRARDELLO, R. C.; COOPER, M. L.; LERNO, L. A.; BRENNEMAN, C.; ERIDON, S.; SOKOLOWSKY, M.; OBERHOLSTER, A. Impact of grapevine red blotch disease on Cabernet Sauvignon and Merlot wine composition and sensory attributes. **Molecules**, v. 25, p. 3299, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/molecules25143299>.
- GIRARDELLO, R. C.; COOPER, M. L.; SMITH, R. J.; LERNO, L.; BRUCE, R. C.; ERIDON, S.; OBERHOLSTER, A. Impact of Grapevine Red Blotch disease on grape composition of Vitis vinifera Cabernet Sauvignon, Merlot and Chardonnay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, p. 5496-5511, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01125>.
- HERDERICH, M.; BARTER, S.; BLACK, C. A.; BRAMLEY, R.; CAPONE, D.; DRY, P.; SIEBERT, T.; ZHANG, P. Terroir effects on grape and wine aroma compounds. In: EBELER, S. E. (ed.). **Advances in wine research**. Washington, DC: American Chemical Society, 2015. p. 131-146. DOI: <http://doi.org/10.1021/bk-2015-1203.ch009>.
- HOFF, R. **Análise qualitativa e quantitativa do relevo de vinhedos a partir de imagem ALOS em Encruzilhada do Sul, Brasil**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2021a. 14 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228324/1/Projeto-Encruzilhada-do-Sul-Nota-Tecnica-analise-do-relevo-04nov2021.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.
- HOFF, R. **Investigação de índices de vegetação de vinhedos a partir de imagens Sentinel-2 em Encruzilhada do Sul, Brasil**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, dez. 2021b. 39 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228323/1/Projeto-Encruzilhada-do-Sul-Nota-Tecnica-indices-de-vegetacao-04nov2021.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.
- HOFF, R.; DUCATI, J. R.; FARIAS, A. R. GIS and remote sensing to support precision viticulture for analysis of vineyards in the Campanha Wine Region, Brazil. **Journal of Environmental & Agricultural Sciences**, v. 10, p. 20-32, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161041/1/GIS-RemoteSensing-Precision-Viticulture-2016-1.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.
- HOFF, R.; DUCATI, J. R.; BERGMANN, M. Comparação de dados de modelo digital de elevação - MDE: ASTER e SRTM por processamento digital de imagem para identificação de terroir vitivinícola na Folha Encruzilhada do Sul, RS, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 14., 2009. Santos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 215-222. Disponível em: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.00.46>. Acesso em: 01 out. 2024.
- HOLMES, E.; WILSON, I. D.; LINDON, J. C. An overview of metabolic phenotyping and its role in systems biology. In: LINDON, J. C.; NICHOLSON, J. K.; HOLMES, E. (eds.). **The Handbook of Metabolic Phenotyping**. Oxford: Elsevier,

2019. p. 1-51. DOI: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-812293-8.00001-3>.
- HUNTER, J. J.; VOLSCHENK, C. G.; MANIA, E.; VICENTE CASTRO, A.; BOOYSE, M.; GUIDONI, S.; PISCIOTTA, A.; LORENZO, R.; NOVELLO, V.; ZORER, R. Grapevine row orientation mediated temporal and cumulative microclimatic effects on grape berry temperature and composition. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 310, p. 108660, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108660>.
- JASSE, A.; BERRY, A.; ALEIXANDRE-TUDO, J. L.; POBLETE-ECHEVERRÍA, C. Intra-block spatial and temporal variability of plant water status and its effect on grape and wine parameters. **Agricultural Water Management**, v. 246, p. 106696, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106696>.
- JUNGES, A. H.; PAULETTO, H.; ALBERTI, R.; H.; HOFF, R.; DUCATI, J. R. **Orbital remote sensing to monitoring vine cycle using vegetation index in “Campanha Region”, Rio Grande do Sul State, Brazil**. 2017. Disponível em: <https://www.giesco.org/article-orbital-remote-sensing-to-monitoring-vine-cycle-using-vegetation-index-in-%E2%80%9Ccampanha-region%E2%80%9D-riogrande-do-sul-state-brazil-teledetection-orbital-pour-la-surveillance-du-cycle-de-la-vignepar-859.html>. Acesso em: 01 out. 2024.
- KELLER, M. **The science of grapevines: anatomy and physiology**. 2nd ed. New York: Academic Press, 2015.
- KING, P. D.; SMART, R. E.; McCLELLAN, D. J. Within-vineyard variability in vine vegetative growth, yield, and fruit and wine composition of Cabernet Sauvignon in Hawke’s Bay, New Zealand. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 20, 2014, p. 234-246. DOI: <http://doi.org/10.1111/ajgw.12080>.
- MACDONALD, S. L.; STAID, M.; STAID, M.; COOPER, M. L. Remote hyperspectral imaging of grapevine leafroll-associated virus 3 in Cabernet Sauvignon vineyards. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 130, p. 109-117, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.10.003>.
- MANNINI, F.; DIGIARO, M. The effects of viruses and viral diseases on grapes and wine. In: MENG, B.; MARTELLI, G. P.; GOLINO, D. A.; FUCHS, M. (eds.). **Grapevine viruses: molecular biology, diagnostics and management**. Cham: Springer, 2017. p. 453-482. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-319-57706-7_23.
- MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. A. E. **Viticultura brasileira: panorama 2019**. Beto Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2020. (Comunicado Técnico, 214). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124189>. Acesso em: 01 out. 2024.
- MIELE, A.; FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M. Status atual da pesquisa de viticultura de precisão no Rio Grande do Sul: primeiros resultados da UP Uva para Vinho. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (eds.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 267-272.
- MIELE, A.; FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M. Efeito da variabilidade espacial de solos no Vale dos Vinhedos na composição do vinho Merlot - Safra 2012. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; NAMASU, R. Y. (eds.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 361-367.
- NAIDU, R. A.; MAREE, H. J.; BURGER, J. T. Grapevine leafroll disease and associated viruses: a unique pathosystem. **Annual Review of Phytopathology**, v. 53, p. 613-634, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1146/annurev-phyto-102313-045946>.
- OLDONI, H.; COSTA, B. R. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUZA, C. R.; BASSOI, L. H. Homogeneous zones of vegetation index for characterizing variability and site-specific management in vineyards. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 4, p. 1-11, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0243>.
- PALACIOS, F.; DIAGO, M. P.; MELOPINTO, M.; TARDAGUILA, J. Early yield prediction in different grapevine varieties using computer vision and machine learning. **Precision Agriculture**, v. 24, pp. 407-435, 2023. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11119-022-09950-y>.
- PEREIRA, G. E.; GAUDILLERE, J.; HILBERT, G.; SOYER, J.; VAN LEEUWEN, C.; LAVIALLE, O.; MOING, A.; DEBORDE, C.; MAUCOURT, M.; ROLIN, D. 1H NMR metabolic fingerprints of grape berries produced in different plots in Bordeaux-France. **Acta Horticulturae**, v. 689, p. 257-263, 2005. DOI: <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.689.30>.
- PEREIRA, G. E.; GAUDILLERE, J.; VAN LEEUWEN, C.; HILBERT, G.; MAUCOURT, M.; DEBORDE, C.; MOING, A.; ROLIN, D. Microclimate influence on mineral and metabolic profiles of grape berries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 6765-7-6775, 2006a.
- PEREIRA, G. E.; GAUDILLERE, J.; VAN LEEUWEN, C.; HILBERT, G.; MAUCOURT, M.; DEBORDE, C.; MOING, A.; ROLIN, D. 1H NMR metabolite fingerprintings of grape berry: Comparison of vintage and soil effects in Bordeaux grapevine growing areas. **Analytica Chimica Acta**, v. 563, p. 346-352, 2006b. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.aca.2005.11.007>.
- PEREIRA, G. E.; GAUDILLERE, J.; VAN LEEUWEN, C.; HILBERT, G.; MAUCOURT, M.; DEBORDE, C.; MOING, A.; ROLIN, D. 1H NMR metabolic profile of wines from three cultivars, three soil types and two contrasting vintages. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v. 41, n. 2, p. 103-109, 2007.
- PEREIRA, G. E.; GUERRA, C. C.; AMORIM, F. F. de; NASCIMENTO, A. M. de S.; SOUZA, J. F. de; LIMA, L. L. de A.; LIMA, M. dos S.; PADILHA, C. V. da S.; PROTAS, J. F. da S.; ZANUS, M. C.; TONIETTO, J. Vinhos tropicais do semiárido do Brasil: desvendando o potencial vitivinícola desta nova fronteira geográfica do vinho. **Territoires du Vin**, v. 9, p. 1-13, 2018.
- PEREIRA, G. E.; PADHI, E. M. T.; SUDARSHANA, M. R.; FIALHO, F. B.; MEDINA-PLAZA, C.; GIRARDELLO, R. C.; TSENG, D.; BRUCE, R. C.; ERDMANN, J. N.; SLUPSKY, C. M.; OBERHOLSTER, A. Impact of grapevine red blotch disease on primary and secondary metabolites in ‘Cabernet Sauvignon’ grape tissues. **Food Chemistry**, v. 342, pp. 128312, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128312>.
- PEREIRA, G. E.; TONIETTO, J.; ZANUS, M. C.; SANTOS, H. P. dos; PROTAS, J. F. S.; MELLO, L. M. R. **Vinhos no Brasil: contrastes**

- tes na geografia e no manejo das videiras nas três viticulturas do país. 2020. (Documentos 121). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219851/1/Doc121-21.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.
- PEYNAUD, E. **Connaissance et travail du vin**. Paris: Editora Dunod, 1997. 341 p.
- PITHAN, P.; DUCATI, J.; GARRIDO, L. da; ARRUDA, D. C.; THUM, A.; HOFF, R. Spectral characterization of fungal diseases downy mildew, powdery mildew, black-foot and Petri disease on *Vitis vinifera* leaves. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, p. 5680-5697, 2021.
- PITHAN, P.; GARRIDO, L.; ARRUDA, D.; THUM, A.; HOFF, R.; DUCATI, J. Disease-induced alterations in the reflectance spectrum of grape leaves. In: CONGRESS OF GROUP OF INTERNATIONAL EXPERTS OF VITIVINICULTURAL SYSTEMS FOR CO-OPERATION, 21., 2019, Tessalônica. **Proceedings** [...]. Tessalônica: Aristotle University of Thessaloniki, 2019. p. 602-605.
- REYNIER, A. **Manuel de viticulture**. 10. ed. Paris: Lavoisier, 2007. 532 p.
- SAMS B.; BRAMLEY, R.G.V.; SANCHEZ, L.; DOKOOZLIAN, N.; FORD, C.; PAGAY, V. Remote sensing, yield, physical characteristics, and fruit composition variability in Cabernet Sauvignon vineyards. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 73, n. 2, p. 93-105, 2022. DOI: <http://doi.org/10.5344/ajev.2021.21038>.
- SANTESTEBAN, L.G. Precision viticulture and advanced analytics: a short review. **Food Chemistry**, v. 279, p. 58-62, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.140>.
- SANTOS, H. P.; SOUZA, P. V. D.; MARODIN, G. A. B.; ZINI, C. A. Manejo fitotécnico da videira, visando aprimorar produção e qualidade enológica da uva na Campanha Gaúcha. In: SILVEIRA, S. V. da; PROTAS, J. F. da S. (eds.). **Vinhos finos da região da Campanha gaúcha: tecnologias para a vitivinicultura e para a estruturação de Indicação Geográfica**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2021. p. 81-116. (Documentos, 130). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1142104/1/DOC-130-online-Cap3.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.
- SANTOS, H. P. Aspectos ecofisiológicos no manejo da videira. In: SILVEIRA, S. V. da; HOFFMANN, A.; GARRIDO, L. da R. (eds.). **Produção integrada de uva para processamento: implantação do vinhedo, cultivares e manejo da planta**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 54-72. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/152932/1/Manual-3-Capitulo-5.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.
- SANTOS, M. S.; GEBLER, L.; SEBEM, E. Correlation between vegetation indexes generated at *Vitis Vinifera* L. and soil, plant and production parameters for emergency application in decision making. **Ciência Rural**, v. 52, n. 2, p. e20201037, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20201037>.
- SCARLETT, N. J.; BRAMLEY, R. G. V.; SIEBERT, T. E. Within-vineyard variation in the “pepper” compound rotundone is spatially structured and related to variation in the land underlying the vineyard. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 20, n. 2, p. 214-222, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1111/ajgw.12075>.
- SILVA-SANGOI, D. V.; HORST, T. Z.; MOURA-BUENO, J. M.; DALMOLIN, R. S. D.; SEBEM, E.; GEBLER, L.; SANTOS, M. S. Soil organic matter and clay predictions by laboratory spectroscopy: data spatial correlation. **Geoderma Regional**, v. 28, p. e00486, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.geoder.2022.e00486>.
- TARDAGUILA, J.; STOLL, M.; GUTIÉRREZ, S.; PROFFITT, T.; DIAGO, M. P. Smart applications and digital technologies in viticulture: a review. **Smart Agricultural Technology**, v. 1, p. 100005, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100005>.
- TISSEYRE, B.; MAZZONI, C.; FONTA, H. Within-field temporal stability of some parameters in viticulture: Potential toward a site-specific management. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v. 42, n. 1, p. 27-39, 2008.
- TONIETTO, J.; FALCADE, I.; GUERRA, C. C.; ZANUS, M. C. As indicações geográficas de vinhos do Rio Grande do Sul. In: FERRONATTO, E. M. de O. (ed.). **Indicações Geográficas do Rio Grande do Sul registradas até março de 2021**. Brasília: MAPA/AECS, 2022. cap. 5, p. 71-94. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1142177/1/IGs-RS-Cap5.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.
- TONIETTO, J.; PEREIRA, G. E.; PEREGRINO, I.; REGINA, M. A. Potencial para a construção de Indicações Geográficas de vinhos de inverno do sudeste brasileiro. **Informe Agropecuário**, v. 41, p. 00, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219233/1/Art-9-IA-312-25-nov-2020.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.
- VAN LEEUWEN, C.; BARBE, J.; DARRIET, P.; DESTRAK-IRVINE, A.; GOWDY, M.; LYTRA, G.; MARCHAL, M.; MARCHAND, S.; PLANTEVIN, M.; POITOU, X.; PONS, A.; THIBON, C. Aromatic maturity is a cornerstone of terroir expression in red wine. **OENO One**, v. 56, n. 2, p. 5441, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.2.5441>
- VAN LEEUWEN, C.; FRIANT, P.; CHONE, X.; TREGOAT, O.; KOUNDOURAS, S.; DUBOURDIEU, D. Influence of climate, soil and cultivar on terroir. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 55, n. 3, p. 207-217, 2004. DOI: <http://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.3.207>.
- VAN LEEUWEN, C.; SEGUIN, G. The concept of terroir in viticulture. **Journal of Wine Research**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2006.
- YU, R.; BRILLANTE, L.; TORRES, N.; KURTURAL, S. K. Proximal sensing of vineyard soil and canopy vegetation for determining vineyard spatial variability in plant physiology and berry chemistry. **OENO One**, v. 2, p. 315-333, 2021. DOI: <http://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.2.4598>.
- ZANUS, M. C.; RIZZON, L. A.; KHUN, G. B. **Efeito da virose do enrolamento da folha na composição química do vinho Cabernet Franc**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 1993. (Comunicado Técnico, 11). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/220935/1/Zanus-1992-219-226.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.