



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Viticultura e Enologia

Dissertação

Definição de zonas homogéneas de gestão na vinha baseada na medição expedita da condutividade eléctrica aparente e da compactação do solo: estudo de caso

Vasco Miguel Tenório Mau

Orientador(es) | João Manuel Serrano

Évora 2023



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Viticultura e Enologia

Dissertação

Definição de zonas homogéneas de gestão na vinha baseada na medição expedita da condutividade eléctrica aparente e da compactação do solo: estudo de caso

Vasco Miguel Tenório Mau

Orientador(es) | João Manuel Serrano

Évora 2023



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Maria João Cabrita (Universidade de Évora)

Vogais | José Rafael Silva (Universidade de Évora) (Arguente)
João Manuel Serrano (Universidade de Évora) (Orientador)

Dedicatória

Em memória dos meus avós,

Jacinto e Mariana

“Não sou nada.

Nunca serei nada.

Não posso querer ser nada.

À parte isso, tenho em mim todos os sonhos do mundo.”

(Álvaro de Campos)

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu agradecimento a todas as pessoas e instituições que de alguma forma contribuíram directa ou indirectamente para a realização desta dissertação.

Em primeiro lugar, um enorme agradecimento à minha família, principalmente aos meus pais, Leonor e Rui, por me terem apoiado ao longo do meu percurso académico, mas também ao meu irmão, André, por todos os conselhos. Também à minha avó, Inácia, por todos os ensinamentos, pelas demonstrações de esperança e de perseverança em todos os momentos mais difíceis.

Ao Professor Doutor João Manuel Pereira Ramalho Serrano, meu orientador, e professor nesta instituição, pelo aconselhamento no tema deste trabalho, pela disponibilidade, paciência e ajuda, bem como a sua motivação e simpatia.

Ao meu tio António, pelo seu contributo e aconselhamento através da sua longa experiência na viticultura.

À minha namorada, Patrícia, por todo o apoio, paciência e ajuda ao longo de toda esta minha caminhada.

Ao Engenheiro Rodrigo Rodrigues e ao senhor Custódio Alves por toda a disponibilidade e ajuda prestada nos trabalhos de campo realizados.

À Universidade de Évora, não só por acolher de braços abertos a realização deste trabalho num dos seus terrenos, como também pelas tecnologias emprestadas.

À Z.E.A – Sociedade Agrícola, Unipessoal Lda, nomeadamente ao professor Augusto Peixe e ao Engenheiro Bruno Rentes por toda a informação disponibilizada sobre a vinha em estudo e pelo empréstimo de meios, e de equipamentos aquando da recolha de dados.

Quero agradecer ao Professor José Rafael pela sua disponibilidade ao responder às minhas dúvidas ao longo da elaboração dos mapas temáticos para este trabalho.

Quero também agradecer ao Professor Francisco Moral pelo seu contributo neste trabalho.

Resumo

Este trabalho teve por objectivo definir zonas homogéneas de gestão numa vinha (ZHG), com recurso à medição expedita da condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a), perspectivando uma gestão diferenciada. Para a realização deste trabalho foi utilizado um sensor de contacto “Veris 2000XA”.

O levantamento da variabilidade espacial do solo, permitiu definir ZHG, as quais foram validadas pelos resultados de análises de solo, nomeadamente o teor em humidade, a matéria orgânica (MO), a capacidade de troca catiónica (CTC), a argila e também pelas determinações de compactação realizadas com um cone penetrómetro electrónico “SC-900FieldScout”.

A definição de ZHG representa uma etapa prévia, essencial na implementação prática da viticultura de precisão (VP), com potencial para a aplicação de inputs e gestão das práticas culturais, com impacto na sustentabilidade económica e ambiental da actividade agrícola.

Palavras-chave: solo, vinha, condutividade eléctrica, zonas homogéneas de gestão, compactação.

Definition of homogeneous management zones based on expeditious measurement of the apparent electrical conductivity of soil compaction: case study

Abstract

The objective of this work was to define homogeneous management zones in a vineyard, using the expeditious measurement of the soil apparent electrical conductivity and envisaging a differentiated management. To carry out this work, a contact sensor, the “Veris 2000XA”, was used.

The survey of the soil spatial variability allowed to define homogeneous management zones, which were validated by the results of soil quimical analysis, namely the moisture content, organic matter, cation exchange capacity, clay and also by compaction determinations carried out with the electronic cone penetrometer, “SC-900FieldScout”.

The definition of homogeneous management zones represents a previous step, essential in the practical implementation of precision viticulture, optimizing the application of inputs and cultural practices management, with impact on economic and environmental sustainability.

Keywords: soil, vineyard, electric conductivity, homogeneous management zones, compaction.

Índice geral

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Definition of homogeneous management zones based on expeditious measurement of the apparent electrical conductivity of soil compaction: case study	iv
Abstract	iv
Índice de figuras	vii
Índice de quadros	ix
Lista de abreviaturas	x
1 – Introdução	1
1.1 – Objectivos	2
2 – Revisão bibliográfica.....	2
2.1 – Solo	2
2.2 – Videira.....	8
2.3 - Clima	9
2.4 – Viticultura de precisão (VP).....	11
2.4.1 – Condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a).....	15
2.4.2 – Definição e validação de zonas homogéneas de gestão (ZHG)	17
2.5 – Compactação do solo	19
3 – Materiais e métodos	21
3.1 – Local do estudo.....	21
3.2 – Caracterização edafo-climática	23
3.3 – Metodologia do ensaio	24
3.3.1 – Levantamento da CE_a do solo	25
3.3.2 – Levantamento altimétrico da parcela	28
3.3.3 – Recolha e análise de amostras de solo para validação das ZHG	28
3.3.4 – Medição da compactação do solo para validação das ZHG	32
3.3.5 – Tratamento dos dados.....	32
4 – Resultados.....	34
4.1 – Variabilidade do solo e definição das ZHG	34
4.2 – Validação das ZHG.....	37
5 – Discussão dos resultados	43

5.1 – Variabilidade espacial.....	43
5.2 – Validação de ZHG.....	44
5 – Conclusões.....	48
6 – Referências bibliográficas	49

Índice de figuras

Figura 1- Diagrama de Truog (Adaptado de: LQARS, 2006).....	5
Figura 2 – Família das Vitáceas: representação esquemática desde o género até às variedades (Adaptado de Reynier, 1986).	9
Figura 3 – Ciclo vegetativo e principais estados fenológicos da videira (Adaptado de Santos, 2020).	11
Figura 4 - Diagrama representativo de um ciclo da viticultura de precisão (Adaptado de Proffitt et al., 2006) (GIS – “geographic information system”).	12
Figura 5 - Ilustração de tecnologias com potencial de utilização na VP (Adaptado de Mylonas et al., 2019) (VRT – “Variable rate technology”).	13
Figura 6 – Sensores de medição da CE_a (A – Veris 2000XA; B – Dualem 1S; C – EM38-MK2) (Adaptado de Serrano et al., 2014; Söderström et al., 2016).	16
Figura 7 – Fotografia aérea da localização da vinha em estudo (Herdade da Mitra, Évora).	21
Figura 8 – Distribuição espacial das diferentes variedades presentes na vinha em estudo..	22
Figura 9 – Diagrama termopluiométrico do trinténio 1981-2010 da Estação Meteorológica de Évora.....	24
Figura 10 - Representação esquemática e cronológica da metodologia utilizada neste estudo.	25
Figura 11 – Sensor de condutividade eléctrica por contacto Veris 2000XA (A – Sensor rebocado; B – Antena receptora de sinal GPS; C – Consola de comando do sensor).	26
Figura 12 – Sonda “meia-cana” e maço (à esquerda); caixa de metal com amostra de solo recolhida (à direita).	27
Figura 13 – Receptor GPS Trimble GEO XH.	27
Figura 14 – Receptor GPS RTK Spectra Eposch 50 utilizado nos ensaios de campo (A – Consola de comando do GPS; B – Antena receptora do sinal GPS; C- Equipamento montado numa “moto-quatro”).....	28
Figura 15 – Esquema representativo da recolha das amostras compósitas de solo georreferenciadas (CI – cone index).	29
Figura 16 – Crivagem das amostras de solo para separação da terra fina (A – Crivo de 2 mm; B – Crivo de 2 mm com a amostra de solo; C – Amostra de solo crivada).....	30

Figura 17 – Diagrama para classificação textural do solo (Adaptado de: Gomes & Silva, 1962).	31
Figura 18 – Cone penetrómetro electrónico “SC-900 FieldScout” utilizado nos ensaios de campo.	32
Figura 19 – Mapa da condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a).	35
Figura 20 – Mapa altimétrico da vinha da Herdade da Mitra (a azul encontra-se marcada a linha de água que separa as parcelas).	36
Figura 21 – Mapa das zonas homogéneas de gestão (ZHG) com indicação da localização dos vinte pontos de amostragem (A – Parcela das variedades tintas; B – Parcela das variedades brancas).	37
Figura 22 – Perfil médio do cone índice (CI) em função da profundidade do solo (0–0,45m), para cada zona homogénea de gestão (ZHG) (“-”, menor, “int”, intermédio, “+”, maior potencial produtivo), nas parcelas das variedades brancas (A) e tintas (B) da vinha.	40
Figura 23 – Cone índice (CI) médio: valores médios em cada zona homogénea de gestão (ZHG) (“-”, menor, “int”, intermédio, “+”, maior potencial produtivo) e classes de profundidade (0–15, 15–30 e 30–45 cm), nas parcelas das variedades brancas (A) e tintas (B). As letras (a, b e c) ao lado dos valores médios indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) de acordo com o teste de “Dunn”.	41
Figura 24 – Cone índice (CI) médio na camada superficial do solo (0–0,30 m), em cada zona homogénea de gestão (ZHG) (“-”, menor, “int”, intermédio, “+”, maior potencial produtivo) em cada parcela (“Branças” – branco; “Tintas” – vermelho), em função do teor médio de humidade do solo.	42

Índice de quadros

Quadro 1 - Diferentes categorias de terra fina consoante as dimensões das partículas (Adaptado de: Veloso et al., 2022).	3
Quadro 2 – Principais diferenças entre o subgénero Euvitis e o subgénero Muscadinia (Adaptado de Reynier, 1986).	8
Quadro 3 – Variedades presentes na vinha da Mitra e área correspondente.	23
Quadro 4 – Condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a) e teor de humidade na camada superficial do solo da vinha (0–0,30 m) em 24 de Outubro de 2022.	34
Quadro 5 – Características do solo da vinha (0–0,30 m) na amostragem realizada em 25 Janeiro de 2023.	38
Quadro 6 – Validação das zonas homogéneas de gestão (ZHG): valores médios de cada propriedade do solo para as ZHG (zona de menor, intermédio e maior potencial produtivo).	39
Quadro 7 – Cone índice (em kPa) do solo na vinha em estudo em 3 intervalos de profundidade (0–15, 15–30 e 30–45 cm) em 25 Janeiro de 2023.	39

Lista de abreviaturas

- AP – Agricultura de precisão
- CE_a – Condutividade eléctrica aparente do solo
- CTC – Capacidade de troca catiónica
- CI – Cone index
- CV – Coeficiente de variação
- DP – Desvio padrão
- EAA – Espectrometria de absorção atómica
- GIS – “Geographic information system”
- GNSS – “Global navigation satellite system”
- GPS – “Global position system”
- GSB – Grau de saturação de bases
- ha – hectare
- MO – Matéria orgânica
- NDVI – “Normalized difference vegetation index”
- NDWI – “Normalized difference water index”
- SBT – Soma de bases de troca
- SIG – Sistema de informação geográfica
- TIN – “Triangulated irregular network”
- UV-Vis – Radiação ultravioleta visível
- VP – Viticultura de precisão
- VRT – “Variable rate technology”
- VRA – “Variable rate application”

1 – Introdução

Actualmente, a mensagem principal na agricultura prende-se com o facto de se pretender obter uma maior produtividade, agregada a uma boa qualidade com uma menor utilização de recursos e menores perdas ao longo do ciclo produtivo.

A agricultura de precisão (AP) é uma abordagem de interesse crescente, que combina conjuntos de dados georreferenciados, incorporação de tecnologia em equipamentos agrícolas, sistemas de informação geográfica (SIG), e receptores de sinal para sistemas globais de navegação por satélite (GNSS), para apoiar a gestão espacialmente variável da aplicação de factores de produção (fertilizantes, correctivos ou pesticidas).

A viticultura de precisão (VP) procura descrever a variabilidade espacial da vinha com elevada precisão e através desta aconselhar técnicas e doses para melhorar a eficiência da gestão em termos de qualidade, produção e sustentabilidade (Matese & Di Gennaro, 2015).

A variabilidade inerente à vinha está associada ao conceito francês de “terroir” (Van Leeuwen et al., 2004), uma vez que as uvas para vinho integram muitas influências, edáficas (Bramley et al., 2011), biológicas, climáticas, topográficas e antropogénicas (Córdoba et al., 2013). Através da tecnologia pode-se conhecer o “terroir” de cada região e posteriormente, fazer uma melhor gestão da vinha pela aplicação do conceito de VP.

O levantamento da variabilidade espacial do terreno constitui a base para identificar ZHG e, a partir destas, recomendar uma gestão diferenciada das práticas culturais.

A ideia de encarar o terreno de forma igual e uniforme está ultrapassada, pelo facto de se recolherem dados georreferenciados. A VP pode apresentar variadíssimas vantagens para os agricultores tais como: maximizar os rendimentos da colheita, minimizar os encargos com os inputs, permitindo que o terreno agrícola seja fraccionado em diferentes formas de gestão, tendo como objectivo geral otimizar os benefícios económicos e a protecção ambiental (Martini et al., 2013).

Assim, este estudo ganha especial relevância numa conjuntura em que, por um lado os recursos escasseiam e, por outro, os custos dos factores de produção e as preocupações com as alterações climáticas aumentam.

1.1 – Objectivos

O principal objectivo deste estudo foi definir ZHG numa vinha, com base na medição expedita da CE_a , perspectivando uma gestão diferenciada. As tecnologias utilizadas neste estudo incluíram um sensor para medição da CE_a , um cone penetrómetro electrónico e receptores GNSS.

2 – Revisão bibliográfica

2.1 – Solo

O solo é a camada superficial da crosta terrestre, constituída por partículas minerais, matéria orgânica (MO), água, ar e organismos vivos. Mas o solo também é um ecossistema onde vivem microrganismos, bem como animais e plantas, sendo o resultado de diversas interacções com a atmosfera, a hidrosfera, a litosfera e a biosfera (ISO 11074-1, 1996). O solo alberga centenas de milhar de espécies/m², sendo que muitas delas são ainda desconhecidas.

O solo é um recurso natural que engloba outros recursos naturais. Este é um recurso renovável, mas a uma escala de tempo muito longa. E é, por isso, dever de todos, preservá-lo e usá-lo da melhor maneira, com o menor número de perdas.

O solo sustenta 99% da produção de biomassa para a alimentação humana e animal, produção de madeira e outras fibras. Também possui a funcionalidade de ser um regulador ambiental, isto é, intervém no ciclo hidrológico e noutros ciclos como acumulador, filtro e transformador. Este também é uma reserva de biodiversidade, como habitat e como banco de genes.

A topografia do terreno, por exemplo, tem uma influência importante nos processos de formação do solo e, conseqüentemente, no movimento da água no solo e na distribuição da salinidade, redistribuição das partículas minerais do solo, MO e no crescimento e desenvolvimento das culturas (Fraisse et al., 2001; Corwin & Lesch, 2005).

O conhecimento da textura de um solo é de fundamental importância, já que a retenção de água, bem como dos nutrientes no solo estão dependentes desta. Os solos que apresentam uma textura fina, ou seja, em que os teores de argila ou limo são elevados, retêm com mais facilidade os nutrientes e a água. Pelo contrário, os solos de textura ligeira

apresentam uma maior drenagem ao longo do perfil do solo, podendo transportar nutrientes em solução (lixiviação) e originar poluição em águas subterrâneas (Veloso et al., 2022).

A textura é definida pelos teores de areia, limo e de argila. Para a sua determinação analítica, recorre-se à terra fina, que pode ser dividida em diferentes categorias consoante as suas dimensões (Quadro 1).

Quadro 1 - Diferentes categorias de terra fina consoante as dimensões das partículas (Adaptado de: Veloso et al., 2022).

Categorias de terra fina	Diâmetro das partículas
Areia grossa	2 mm – 200µm
Areia fina	200 µm – 20 µm
Areia	2 mm – 20 µm
Limo	20 µm – 2 µm
Argila	< 2 µm

A proporção relativa de areia e argila são das características que mais influenciam a fertilidade do solo (Moral et al., 2019).

Segundo Quelhas dos Santos (2015) o conhecimento da textura apresenta interesse no domínio da fertilização, sobretudo pelas implicações que poderá ter na qualidade, tipo e época de aplicação dos fertilizantes.

As propriedades coloidais presentes na argila e no húmus, são de elevada importância na constituição do solo. Os coloides presentes no solo possuem cargas eléctricas, permitindo-lhes atrair, reter e trocar elementos que também apresentam cargas eléctricas. Os iões que maioritariamente ficam retidos ou trocados são catiões, uma vez que a carga eléctrica da argila e do húmus é maioritariamente negativa. Assim, pode-se designar complexo de troca do solo o conjunto de substâncias coloidais do solo, ou seja, as substâncias de origem mineral, como a argila, e as substâncias de origem orgânica, como o húmus. É neste complexo de troca que se processam fenómenos de troca ou permuta de iões (Veloso et al., 2022).

A capacidade de troca cationica (CTC) do solo está dependente da quantidade de MO e de argila presente no solo, bem como do tipo de argila. O solo possui uma capacidade máxima de adsorver catiões, designada CTC potencial (a pH 7,0). Dá-se o nome de “troca” a este processo, pelo facto de haver a possibilidade dos iões poderem ser trocados por outros, mas com cargas eléctricas do mesmo sinal. Isto acontece de forma natural, em que os iões que estão presentes na solução do solo, estão em equilíbrio com aqueles que se encontram adsorvidos à superfície dos coloides. A CTC, varia frequentemente entre 2 e 50 cmol(+)/kg de solo, em que os valores mais baixos

correspondem a solos arenosos e os valores mais altos correspondem a solos com elevados teores em argila e MO. Ao exprimir a soma dos catiões de troca em percentagem da CTC potencial, é possível obter o grau de saturação do complexo de troca. Quando os valores do grau de saturação são inferiores a 100, significa que uma parte da capacidade de troca não é ocupada pelos catiões de troca, estando ocupada por iões de hidrogénio (H^+), de alumínio (Al^{3+}) e por catiões, estando na presença de um solo mais ou menos ácido. Quanto mais baixo for o valor do grau de saturação do complexo de troca, menor será o valor do pH, embora este esteja dependente do tipo de argila e quantidade de MO presentes no solo (Velooso et al., 2022).

Os valores da capacidade de troca ocupada pelos catiões Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ são um sinónimo de avaliação da fertilidade do solo, no sentido em que o cálcio deve ocupar 60% a 80%, o magnésio 10% a 20 % e o potássio 1% a 5%. Os principais iões retidos no complexo de troca são nutrientes minerais para as plantas como o cálcio, o magnésio e o potássio (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+). A estes três catiões e ao sódio (Na^+) dá-se o nome de catiões de troca e à soma das suas quantidades dá-se o nome de soma de catiões de troca (Velooso et al., 2022).

Também o pH é uma propriedade importante do solo, uma vez que este influencia a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, mas também a actividade microbiana (Serrano et al., 2010). Através da figura 1 é possível observar a disponibilidade dos nutrientes presentes no solo para as plantas em função do pH: quanto maior é a largura das faixas, maior será a disponibilidade dos nutrientes.

A quantidade assimilável, disponível ou extraível de um determinado nutriente pelas plantas é deveras importante. É através desta quantidade que se podem avaliar as necessidades de fertilização de um solo, para uma determinada cultura.

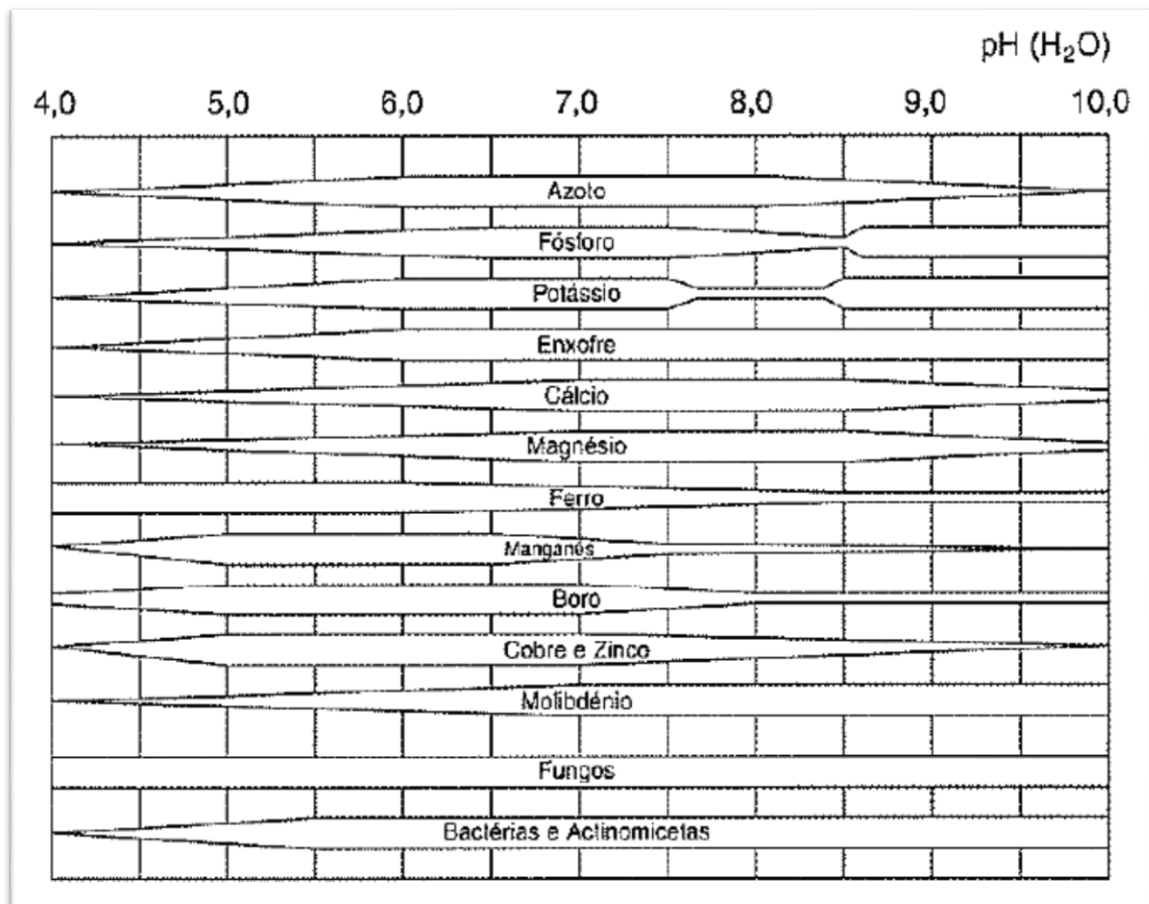


Figura 1- Diagrama de Truog (Adaptado de: LQARS, 2006).

São chamados macronutrientes principais os nutrientes que são absorvidos pelas plantas, de um modo geral, em elevadas quantidades. Destes macronutrientes principais fazem parte o azoto, o fósforo e o potássio.

O azoto dentro dos macronutrientes principais, é considerado como o mais importante, pelo facto de ser o principal elemento limitante das produções vegetais. A capacidade de um solo fornecer azoto às plantas está muito relacionado com o teor de MO (Veloso et al., 2022). No que à videira diz respeito, o excesso de azoto poderá influenciar negativamente as uvas, como por exemplo, diminuição do grau alcoólico (já que o excesso de vegetação provoca o sombreamento dos cachos), atrasos de maturação, e até uma maior incidência de pragas e doenças pelo microclima mais húmido (Quelhas dos Santos, 2015).

O fósforo é, dos três macronutrientes principais, aquele que as plantas absorvem em menor quantidade. O teor em fósforo presente no solo pode atingir por vezes valores elevados principalmente quando existe aplicação de fertilizantes, mas na grande maioria das vezes o fósforo encontra-se em fórmulas químicas que não são absorvidas pelas plantas, podendo este facto tornar-se um factor limitante da produção (Veloso et al., 2022).

A absorção deste nutriente por parte das videiras, pode significar o avançar da maturação e também o desenvolvimento do sistema radicular da planta, permitindo que esta consiga explorar um maior volume de solo na obtenção de água e nutrientes (Quelhas dos Santos, 2015).

No que se refere ao potássio, a maioria dos solos possui quantidades elevadas deste nutriente. Ainda assim, a maior parte do potássio presente no solo encontra-se em formas que também não estão disponíveis para as plantas. A compactação e o excesso de água no solo podem prejudicar a absorção deste nutriente (Velooso et al., 2022). A absorção do potássio por parte das videiras é de grande interesse para a qualidade das uvas e do vinho, já que tem influência no aumento da fotossíntese e, como consequência, no teor de açúcar das uvas (Quelhas dos santos, 2015).

Os solos ácidos habitualmente possuem uma produtividade baixa, que pode ser explicada pela reduzida disponibilidade de alguns nutrientes, ou pela toxicidade de outros nutrientes, tais como o manganês e o alumínio (Velooso et al., 2022).

Considerando que os valores de pH são estáveis ao longo do tempo (Peralta & Costa, 2013) em muito graças ao poder tampão do solo, esta é uma das propriedades do solo de extrema importância e a qual pode servir de suporte para a definição e/ou validação de ZHG.

A MO no solo é constituída por restos de seres vivos como animais, plantas e até mesmo microrganismos. A parte mais decomposta é chamada de húmus ou MO estável e é nesta parte que se encontram as propriedades coloidais, o poder de complexação de elementos e também a retenção de água. A MO tem especial importância na capacidade de retenção de água do solo (Gregorich et al., 1994). A presença de MO no solo, apresenta diversas vantagens, entre elas uma melhor estrutura, permitindo melhor drenagem da água, evitando a asfixia radicular, o maior poder tampão do solo, o que faz com que a libertação de nutrientes seja realizada de forma gradual, como a consequentemente gradual absorção pelas plantas. Existe assim um menor risco de alguns micronutrientes e o alumínio se tornarem tóxicos para as plantas. Devido à sua acção complexante, na decomposição da MO disponibiliza-se fósforo, são libertadas hormonas, vitaminas e outras substâncias importantes não só para as plantas, mas também para outros organismos vivos no solo. Os solos que possuem uma maior percentagem de MO, apresentam elevada capacidade de hidratação e de CTC, ou seja, uma maior retenção de água e de nutrientes.

À semelhança do pH, também o teor em MO é relativamente estável ao longo do tempo (Shaner et al., 2008), pelo que esta é também uma propriedade do solo de especial importância e com potencial de suporte à definição e/ou validação de ZHG.

Muitas são as práticas culturais que podem ser adoptadas na gestão do solo, entre elas a opção pela não mobilização e pela cobertura do solo com resíduos. Esta diminui as perdas de solo na água de escoamento superficial, por vezes em mais de 90%, o que beneficia a qualidade da água comparativamente com o sistema de mobilização convencional. O recurso à mobilização do solo, leva os cursos e reservatórios de água a receberem não só as partículas arrastadas, mas também os produtos resultantes da degradação dos fertilizantes e pesticidas utilizados nas culturas. O aumento da taxa de infiltração dos solos provoca não só uma menor erosão, como também menores riscos de encharcamento da superfície, principalmente nas zonas mais baixas e de topografia menos favorável. A não mobilização do solo também diminui a mineralização da MO, além de aumentar a incorporação de resíduos, contribuindo assim para o aumento do teor em MO e consequente melhoria da estrutura do solo.

Muitos são os viticultores que optam pelo semear de culturas na entrelinha, pelos seus múltiplos benefícios, tais como a redução da erosão, o aumento da infiltração, a redução da evaporação da água no solo, uma melhoria das condições edáficas (MO, estrutura, nutrientes), resultando numa redução dos custos de manejo do solo, uma melhoria na transitabilidade, a redução da lixiviação de nutrientes, a redução do transporte de agro-químicos, a supressão de infestantes, a redução dos riscos de compactação do solo, a diminuição de pragas, e o aumento da actividade microbológica e da biodiversidade (Jordão, 2007; Griffiths-Lee et al., 2022). Estas culturas, no entanto, podem tornar-se infestantes ao competirem com a videira, quando esta se encontra em crescimento vegetativo. Deste modo é recorrente os viticultores realizarem o controlo da vegetação quer na linha, que na entrelinha, seja através do controlo mecânico, seja através do controlo químico, ou até mesmo com recursos a animais (ovinos). Embora o uso de cortamatos, de trituradores (controlo mecânico) e de pulverizadores (controlo químico) não prejudiquem o solo em relação à mobilização, estes possuem a desvantagem de causar compactação pelo rodado do tractor durante as suas passagens.

Outra forma de cobertura do solo, principalmente na linha, é através do “mulching”. Este consiste em cobrir o solo através de diferentes materiais como por exemplo: palha, restos de vegetação seca, folhas, cascas de árvore, pedras, entre outros. Esta técnica tem como vantagens manter a humidade do solo, a incorporação de MO no

caso de utilização de material orgânico, de proteger o solo da erosão e de diminuir a competição da cultura com as infestantes por água, nutrientes e volume de solo. Ainda assim, esta técnica também possui a desvantagem de necessitar de mão-de-obra.

Quando é realizado o controlo de infestantes através da mobilização do solo com recurso a charruas vinhateiras, fresas, grades de discos e escarificadores na entrelinha da cultura, a grande desvantagem é a da não protecção do solo contra a erosão causada pelas chuvas, mas também estas operações implicam custos económicos elevados com a consequente necessidade de maquinaria e de mão-de-obra.

2.2 – Videira

A videira está inserida na grande família das Vitáceas, pertencendo à mesma família que as lianas e arbustos de caule herbáceo ou sarmentoso, por vezes de cepa tuberosa, possuindo gavinhas opostas às folhas (Reynier, 1986). As gavinhas são órgãos filamentosos e compridos que se enrolam na extremidade, permitindo que as plantas se fixem aos tutores ou suportes (Samouco, 1998).

A videira pertence ao género *Vitis* sendo que esta se divide em dois subgéneros: o subgénero *Muscadinia* e o subgénero *Euvitis*, cada um com diferentes características (Quadro 2).

Quadro 2 – Principais diferenças entre o subgénero *Euvitis* e o subgénero *Muscadinia* (Adaptado de Reynier, 1986).

Características	Subgéneros	
	<i>Euvitis</i>	<i>Muscadinia</i>
gavinhas	Bifurcadas	simples
Casca	Não aderente	Aderente, com lenticúlas ausente
Diafragma	Presente	Ausente
2n	2n=38	2n=40

No subgénero *Muscadinia* estão inseridas 3 espécies originárias do Sudoeste dos Estados Unidos da América e do México. Uma delas, a *Vitis rotundifolia*, utilizada nestas regiões para a produção de uvas para compota, para consumo em fresco, para geleia e para vinho. Esta espécie é de especial importância, nomeadamente para o melhoramento varietal, uma vez que é resistente a algumas doenças e à filoxera (Reynier, 1986).

No que diz respeito ao subgénero *Euvitis*, este ainda se divide em três grupos, o Grupo Americano (35 espécies), o Grupo Asiático Oriental (40 espécies) e o Grupo Euro-

Asiático (1 espécie – *Vitis vinífera*). O Grupo Americano teve especial importância aquando da grande crise provocada pela filoxera na segunda metade do século XIX, quando as três espécies mais importantes deste Grupo, a *Vitis riparia*, a *Vitis rupestris* e a *Vitis berlandieri*, serviram como porta-enxertos à *Vitis vinífera* conseguindo assim afastar o flagelo da filoxera. No que toca ao Grupo Euro-Asiático, somente a espécie *Vitis vinífera* apresenta grandes e excepcionais qualidades para a produção de vinho, bem como para uvas de mesa e passas. Nesta espécie ainda estão inseridas milhares de variedades, as conhecidas castas, que não são mais do que o resultado de cruzamentos naturais (Reynier, 1986) (Figura 2).

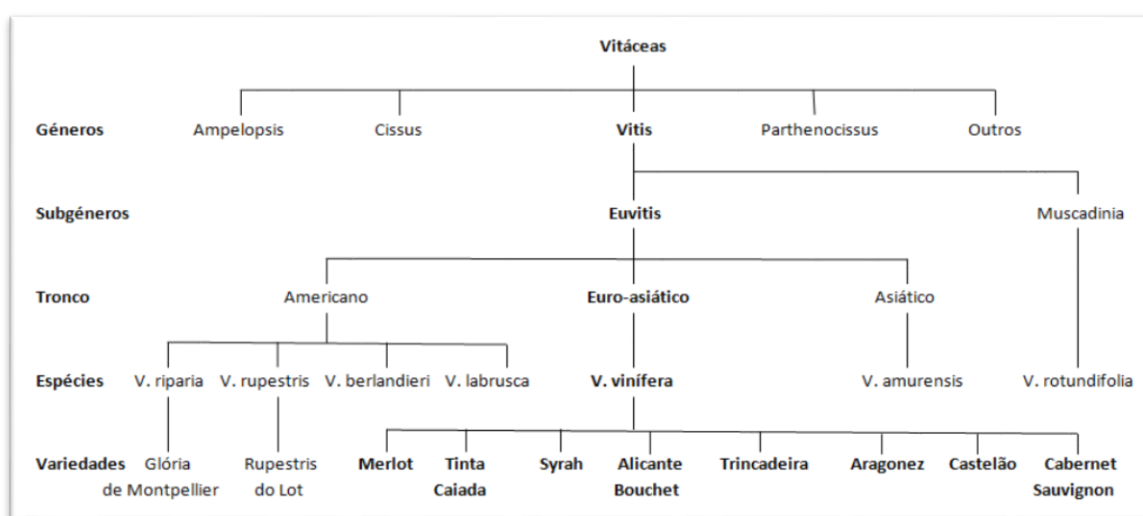


Figura 2 – Família das Vitáceas: representação esquemática desde o género até às variedades (Adaptado de Reynier, 1986).

Na figura 2 apenas são apresentadas algumas das muitas variedades existentes da *Vitis vinífera*.

A vinha ganhou um estatuto superior a outras culturas pelo facto de o vinho ser uma das bebidas alcoólicas mais consumidas no Mundo, em especial nos países Mediterrânicos. O vinho ganhou vantagem em relação a outras bebidas pelas suas propriedades, tais como a riqueza em polifenóis, efeitos antioxidantes, antimutagénicos e neuroprotectores na saúde humana (Rouxinol et al., 2023).

2.3 - Clima

As regiões vinícolas são caracterizadas pelo seu ambiente natural onde são influenciadas por factores específicos relacionados como o solo, a topografia, a paisagem,

a biodiversidade, a acção humana e também o clima (Santos et al., 2020). Pode afirmar-se que o solo e o clima representam os principais elementos para um ecossistema vitícola funcional e equilibrado, sendo que alterações no seu padrão afectam a qualidade e o rendimento das videiras (Santos et al., 2020).

O clima é um influenciador do “terroir” a vários níveis, (macro, meso e microclima) (Stefanis et al., 2023). Ainda assim, a definição de “terroir” só pode estar completa quando se consideram em simultâneo as características do território e a qualidade do vinho, ou seja, uma mesma zona aparentemente homogénea pode gerar “terroirs” diferentes, uma vez que o processamento das uvas e o microclima a que estão sujeitas podem diferenciar a qualidade do vinho (Leeuwen & Seguin, 2006; Priori et al., 2014; Leeuwen et al., 2018; Ghilardi et al., 2023). Os macroclimas têm importância na distribuição geográfica do tipo de vinhos e na distribuição das castas, enquanto os mesoclimas e os microclimas promovem diferentes “terroirs”, com identidade, expressando uma diversidade vitivinícola (White et al., 2009). O microclima da copa é influenciado, por exemplo, pela topografia do terreno devido à exposição solar, pela erosão do solo, pela drenagem da água, entre outros (Karapetsas et al., 2023).

Daqui se depreende que o clima é um dos factores mais importantes do “terroir”. Este tem influência não só na formação e no crescimento da videira durante o seu período vegetativo (Abril a Setembro), mas também durante o amadurecimento e no desenvolvimento das uvas, interferindo ao nível do teor de açúcar e da época de colheita (Karapetsas et al., 2023).

O ciclo vegetativo da videira é caracterizado por diversos estados fenológicos, sendo estes directamente influenciados pelas condições atmosféricas das diferentes estações do ano (Figura 3).

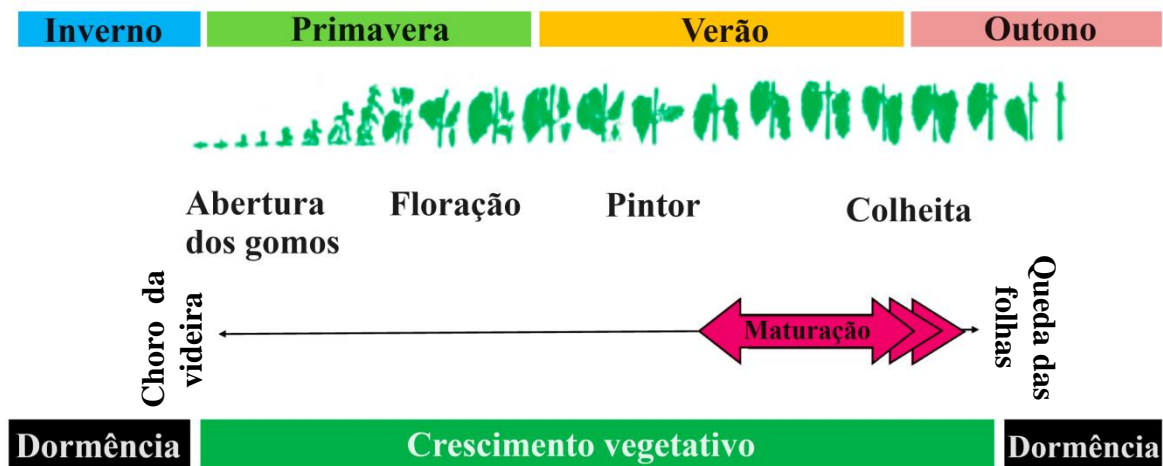


Figura 3 – Ciclo vegetativo e principais estados fenológicos da videira (Adaptado de Santos, 2020).

As vinhas requerem condições específicas em termos de radiação, temperatura e precipitação a fim de obter uma actividade fotossintética ideal (Santos et al., 2020). A temperatura do ar é o factor que mais influência tem no crescimento e desenvolvimento da videira (Fraga et al., 2007), quando as necessidades de água, radiação e nutrientes são atendidas (Webb et al., 2007; Gladstones, J. 2011). Em relação à precipitação, esta é uma variável atmosférica que influencia o equilíbrio hídrico do solo e como consequência a disponibilidade de água para a planta. O stress hídrico leva a uma ampla gama de efeitos que também dependem do estado fenológico da videira (Austin & Bondari, 1988). No caso da radiação, por exemplo, a síntese e a acumulação de açúcar, compostos fenólicos e aromáticos durante a maturação são favorecidos por altos níveis de radiação solar (Riou et al., 1994). Nas regiões mais a Sul da Europa, as vinhas estão normalmente expostas a elevados níveis de radiação, a altas temperaturas e a stress hídrico, o que pode afectar a produtividade da videira (Moutinho-Pereira et al., 2004).

2.4 – Viticultura de precisão (VP)

Tal como os agricultores, também os viticultores estão familiarizados com a variabilidade presente na vinha, mas devido à falta de ferramentas, nomeadamente da tecnologia para avaliar e gerir esta variabilidade, as vinhas tem sido maioritariamente geridas de forma uniforme (Bramley, 2010). O método tradicional de gestão agrícola está cimentado na herança de técnicas culturais, a maioria destas infundadas em métodos

científicos e que em nada ajudam o agricultor a médio e a longo prazo, quer em termos económicos, quer em termos sociais, mas também ambientais.

A AP, e consequentemente a VP, são consideradas as abordagens mais viáveis para alcançar uma agricultura sustentável (Bullock et al., 2007). A VP tem em especial atenção as necessidades de cada zona do terreno, tendo como objectivo fazer uma gestão diferenciada (Matese & Gennaro, 2015). Este conceito, surgiu há sensivelmente 40 anos com o intuito de tornar mais eficiente todas as práticas agrícolas com base em tecnologias que suportam e apoiam as operações culturais aconselhadas. A VP é uma abordagem exigente, no sentido em que requer uma monitorização objectiva e contínua dos parâmetros fundamentais para uma tomada de decisão racional, fundamentada e diferenciada na vinha. A concretização desta abordagem para a gestão da vinha é um ciclo contínuo (Bramley, 2001), que pode ser resumido em 3 etapas fundamentais: 1) observação e recolha de dados; 2) interpretação e avaliação dos dados; 3) implementação do plano de gestão diferenciada (Proffitt et al., 2006) (Figura 4).



Figura 4 - Diagrama representativo de um ciclo da viticultura de precisão (Adaptado de Proffitt et al., 2006) (GIS – “geographic information system”).

As práticas culturais com potencial para uma gestão diferenciada incluem a desfolha, a despampa, a aplicação de factores de produção (como adubos, correctivos, ou água) e incluem ainda a colheita segmentada. Esta, por exemplo, pode ser realizada em talhões com base na análise da qualidade das uvas, a fim de promover a criação de um produto final (o vinho) com valor acrescentado e podendo mesmo produzir diferentes tipos de vinho a partir da mesma variedade e na mesma vinha (Jelušić et al., 2022).

É através das máquinas equipadas com tecnologia de aplicação variável (VRT) que se podem realizar operações de campo mais precisas e automáticas apoiadas em mapas de prescrição, os quais expressam as quantidades de fertilizantes, água ou pesticidas a aplicar em cada zona da vinha (Ammoniacci et al., 2021).

São diversas as tecnologias à disposição do viticultor de forma a pôr em prática a VP. A figura 5 mostra alguns exemplos, tais como os sistemas de georreferenciação por satélite (GNSS), os sistemas de informação geográfica (SIG), os veículos aéreos não tripulados, as estações meteorológicas, os sensores electrónicos e os actuadores, onde se enquadram as tecnologias de taxa variável.

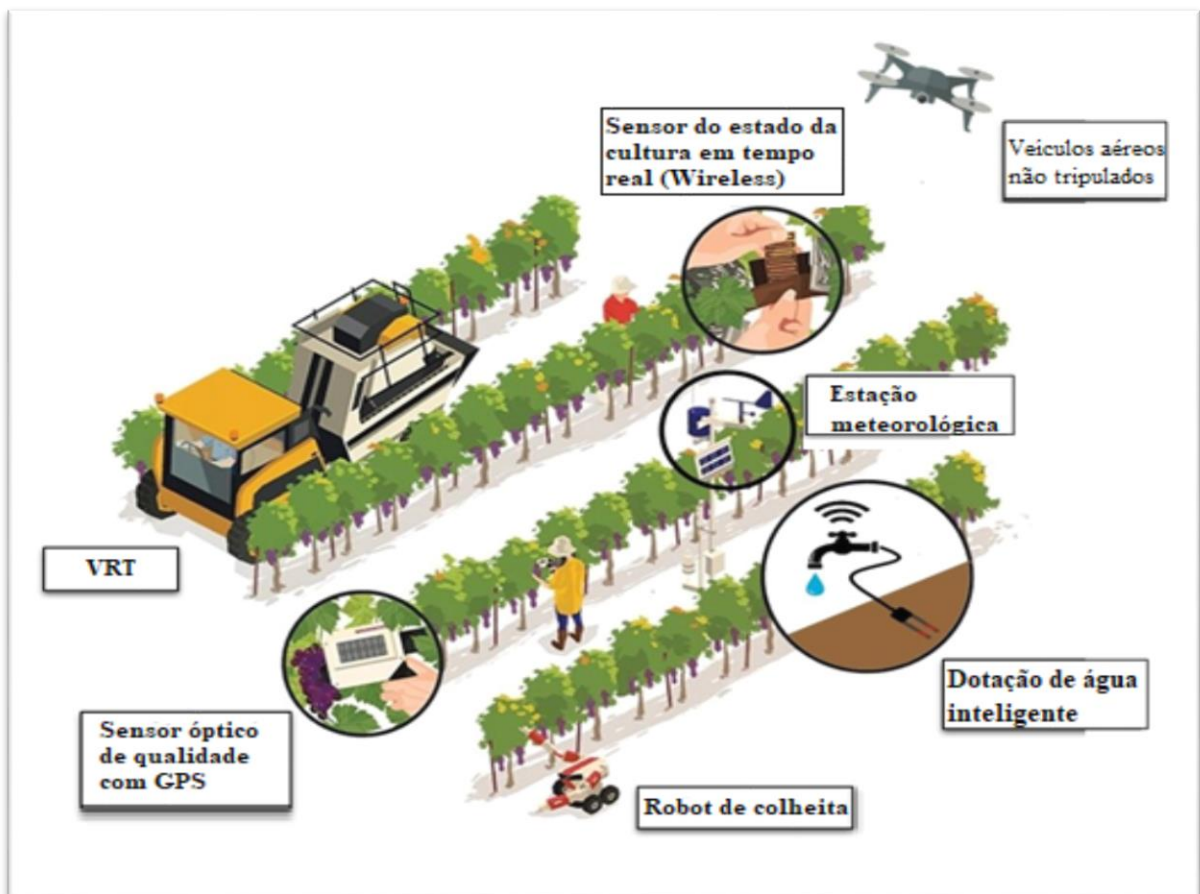


Figura 5 - Ilustração de tecnologias com potencial de utilização na VP (Adaptado de Mylonas et al., 2019) (VRT – “Variable rate technology”).

As principais vantagens da VP concentram-se principalmente na melhoria do rendimento das vinhas, na optimização de inputs e na melhoria da gestão e da qualidade do trabalho realizado em campo (Jelušić et al., 2022).

A aplicação de nutrientes, por exemplo, não pode continuar a ser realizada de forma uniforme em toda a vinha, com base na falta de informação ou com base na tradição. A aplicação de fertilizantes tem que ter um suporte científico que apoie uma melhor decisão e gestão, sendo que só assim poderão ser retirados benefícios quer económicos, quer ambientais. Para esta aplicação de fertilizantes, a grande maioria dos viticultores recorre à fertirrigação. Esta prática possui como vantagens: (i) proporcionar uma irrigação de precisão, ou seja, a água e os nutrientes ficam perfeitamente localizados na zona onde as raízes os vão absorver, diminuindo assim as perdas; (ii) ao conhecer as necessidades de nutrientes da vinha em cada estado fenológico, é possível estabelecer uma dosagem semanal ou até mesmo diária em conformidade com esse estado; (iii) ao distribuir os nutrientes de forma líquida, a videira poderá imediatamente absorvê-los o que melhora a eficiência de aplicação; (iv) permite rapidamente corrigir qualquer deficiência nutricional das plantas de forma localizada.

O uso eficiente da água da rega, por exemplo, é tão mais preciso quanto maior for a monitorização solo-planta-ambiente, permitindo que esteja enquadrada com as necessidades hídricas reais da cultura e em função do seu estado fenológico (Velooso et al., 2022). A dosagem da rega ganha especial importância pela frequência com que sucedem os anos de seca.

A rega da vinha, conhecida como “rega deficitária” ainda é um desafio, ao tentar gerir o défice hídrico tolerado pela planta de modo a manter os níveis de actividade fotossintética compatíveis com uma produção de qualidade. A rega gota-a-gota é o sistema que se revela mais adequado nesta cultura. Uma incorrecta gestão da rega pode originar lixiviação de nutrientes, escoamento superficial, excesso de vigor, solos salinos, podendo até prejudicar a qualidade das uvas (Cavaco et al., 2005).

A qualidade da água da rega também é um factor a ter em conta, sendo necessário proceder à análise da água a regar, a fim de saber não só se esta possui qualidade para fins agrícolas, mas também para averiguar o seu teor em nutrientes, para depois apoiar a decisão do adubo a escolher e a quantidade a aplicar, no caso de existir tal necessidade. Outro factor a ter em conta é a própria manutenção e conservação do sistema de rega, uma

vez que, por exemplo, é frequente a ocorrência de entupimentos, podendo até mesmo ocorrer rupturas.

Para conseguir uma gestão eficiente do uso da água da rega é necessário definir um horário óptimo de rega para cada zona homogénea de gestão. Tal pode ser conseguido, por exemplo, com o apoio de sensores ou modelos hidrológicos incluídos em sistemas de apoio à decisão, como sensores de humidade do solo ou até mesmo estações meteorológicas. Criada esta estrutura de apoio à tomada de decisão, será possível fazer uso de sistemas de irrigação capazes de distribuir inputs de rega espacialmente variáveis nas diferentes zonas homogéneas de gestão (Ortuani et al., 2019). Num tempo em que a água escasseia a cada ano que passa, estudos deste género ganham especial importância na dosagem inteligente da água.

2.4.1 – Condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a)

A medição da CE_a do solo é considerada o método geofísico de maior sucesso no levantamento das propriedades do solo, ao fornecer uma distribuição espacial para possíveis interpretações agronómicas baseadas nas ZHG.

Segundo Rabello (2009), a CE_a reflecte a capacidade do solo para variar a condução de corrente eléctrica conforme as suas propriedades físicas e químicas, pelo que é considerada uma das técnicas que mais se adaptou por ser um método rápido e barato para uma pré-avaliação das propriedades físicas e químicas do solo (Rabello, 2009).

Segundo Martini et al. (2013), os métodos baseados nas propriedades eléctricas têm-se mostrado particularmente promissores porque as propriedades físicas importantes do solo estão fortemente relacionadas com a CE_a e podem, por isso, ser potencialmente estimadas indirectamente a partir deste parâmetro. A medição tem como vantagens poder ser não evasiva (é o caso dos sistemas sem contacto, baseados na indução electromagnética), relativamente barata e representa uma ferramenta muito útil para identificar unidades de solo e propriedades do solo, por exemplo, em relação ao teor de argila (Morari et al., 2009), profundidade do solo (Saey et al., 2009), teor de humidade (Davies, 2004; Cousin et al., 2009; Luck et al., 2009; Tromp-van Meerveld & McDonnell, 2009) e salinidade da água (Doolittle et al., 2001).

Vários são os factores que podem influenciar a CE_a , tais como o teor de humidade do solo, a concentração de electrólitos, a concentração de sais, a porosidade, o teor de argila, a composição de coloides do solo (Matese & Di Gennaro, 2015). De uma forma

geral, solos com mais sais, apresentam CE_a mais elevada. Normalmente os valores inferiores a 2 ou 3 mS/m caracterizam um substrato rochoso, já a areia possui valores entre 1 e 10 mS/m, enquanto a argila possui valores entre 25 e 100 mS/m (Ammoniaci et al., 2021).

Os solos formados por partículas de menores dimensões (solos argilosos) conduzem melhor a corrente eléctrica do que os solos formados por partículas de maiores dimensões (solos arenosos), tal como é referido em Moral et al., (2010). A condução de electricidade nos solos ocorre através de poros cheios de humidade entre as partículas do solo. Assim sendo, os solos com maior teor em argila têm poros cheios de água de forma mais contínua pelo que tendem a conduzir electricidade mais facilmente do que os solos arenosos (Rhoades et al., 1989).

Presentemente, existem no mercado diversos tipos de sensores para a medição da CE_a , tais como os sensores de contacto, como o “Veris”, e os sensores por indução electromagnética, como o “Dualem” ou o “EM38-MK2” (Figura 6). Os sensores podem ser rebocados ou, nalguns casos, portáteis e, por isso, transportados pelo próprio operador. O “Veris” (Figura 6A) é composto por quatro eléctrodos de metal alinhados sequencialmente com espaçamentos conhecidos. No momento em que existe contacto com o solo, o equipamento injecta uma corrente eléctrica, e desta forma mede-se a resistividade do solo, propriedade inversa da CE_a .

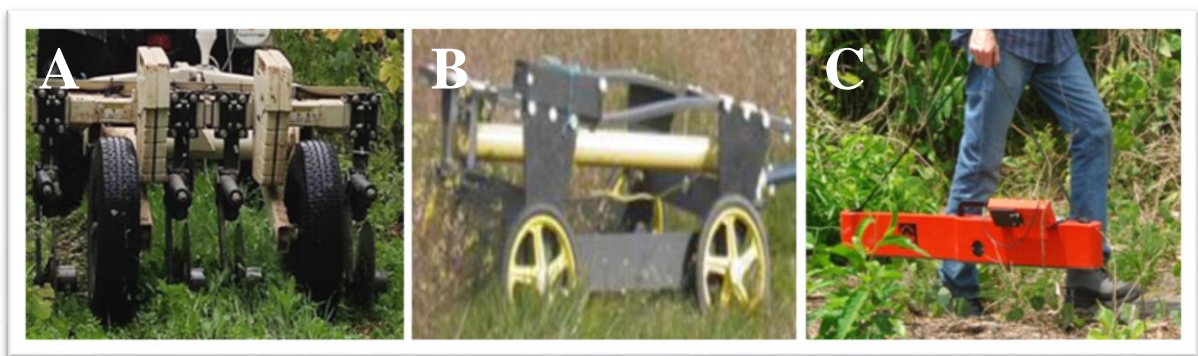


Figura 6 – Sensores de medição da CE_a (A – Veris 2000XA; B – Dualem 1S; C – EM38-MK2) (Adaptado de Serrano et al., 2014; Söderström et al., 2016).

No que diz respeito ao “Dualem” (Figura 6B) e ao “EM38-MK2” (Figura 6C), um transmissor incorporado nos sensores envia um sinal de corrente alterna, gerando um campo electromagnético (campo magnético primário) que penetra no solo e que varia com o tempo. Este campo magnético tem como objectivo induzir pequenas correntes eléctricas no solo, de forma a criar um segundo campo magnético que vai ser detectado pelo

receptor. O receptor detecta ambos os campos magnéticos e a sua relação depende da condutividade diferencial do subsolo (Serrano et al., 2010). Os sensores de CE_a do solo estão equipados com uma antena GPS para associar a medição da CE_a do solo às coordenadas geográficas e, posteriormente, permitir a elaboração de mapas temáticos.

O “Veris” tem como desvantagens ser pesado, pelo que requer um tractor ou alguma viatura todo-o-terreno para o rebocar pelo campo, limitando assim o seu uso em algumas condições do solo. Este tipo de equipamento (de contacto) requer um bom contacto dos eléctrodos inseridos no solo, sendo que produz medições menos confiáveis em solos secos e pedregosos.

O “Dualem” e o “EM38” apresentam a vantagem de serem leves e fáceis de transportar, permitindo assim recolher dados em quaisquer que sejam as condições de humidade do solo (Serrano et al., 2014b).

Segundo Corwin & Lesch (2005), o uso destes equipamentos sem contacto, como o “Dualem” para além de permitirem medições em solos secos e pedregosos, também são passíveis de utilização com culturas em crescimento e de campos com canteiros e sulcos.

2.4.2 – Definição e validação de zonas homogéneas de gestão (ZHG)

Em geral, uma parcela de terreno não é igual em toda a sua extensão e, por não ser igual, deve ser tratada como tal, de forma diferenciada. No entanto, a gestão convencional de fertilizantes nas vinhas baseia-se em amostras compósitas de solo, que não têm em conta a variabilidade espacial da fertilidade do solo. O conhecimento detalhado sobre a variabilidade espacial das propriedades químicas e físicas do solo é essencial para uma gestão mais adequada da viticultura (Rodríguez-Pérez, 2011; Unamunzaga et al., 2014). Contudo, este é um processo exigente em tempo e em mão-de-obra, atendendo ao elevado número de amostras necessárias para caracterizar a variabilidade de extensas áreas (Serrano et al., 2014a; Barreto, 2015). Deste modo, a definição e validação de ZHG surge como alternativa, sendo uma etapa da VP, através da qual as decisões na aplicação de inputs e de práticas culturais são melhoradas, para melhor corresponder às necessidades do solo e da vinha (Peralta & Costa, 2013). As ZHG permitem a identificação de zonas dentro das parcelas que possuem características estáveis e semelhantes, como por exemplo, a topografia, o teor de humidade, o teor de MO, o teor em nutrientes, entre outros (Kitchen et al., 2005; Moral et al., 2010; Moral et al., 2011).

A área mínima sugerida para a implementação de ZHG é de aproximadamente 500 m², isto porque pode não ser prático gerir secções demasiado pequenas, devido às limitações da maquinaria e à incerteza do retorno económico, já que poderá não representar uma vantagem em relação à gestão tradicional de forma uniforme (Bullock et al., 2007).

As ZHG podem ser delineadas utilizando tecnologias electrónicas que recolhem informações rapidamente, permitindo uma caracterização das variações espaciais (Peralta et al., 2013). A forma expedita mais utilizada recorre à medição da CE_a. A definição e validação de ZHG é a etapa intermédia entre o levantamento da variabilidade do solo e o fechar do ciclo, com a aplicação diferenciada de inputs. A validação das ZHG, realiza-se através da amostragem inteligente do solo nas ZHG, efectuando análises laboratoriais para determinação de diferentes propriedades. É através da relação entre a CE_a e estas propriedades, como por exemplo, o teor de humidade, o teor de MO, a CTC ou o teor em argila, que é possível validar as ZHG, tal como foi realizado e comprovado em diversos estudos (Moral et al., 2010; Peralta et al., 2013; Peralta & Costa, 2013; Moral & Serrano, 2019; Serrano et al., 2023a).

Depois de definidas e validadas as ZHG é possível estabelecer mapas de prescrição e fechar o ciclo da VP, de forma variável no espaço (“Variable Rate Application”, VRA). Através desta, é possível realizar uma gestão diferenciada no terreno, com a aplicação doseada dos inputs no espaço. Evoluiu assim, a aplicação dos inputs agronómicos, passando de quantidades médias por hectare em todo-o-terreno para inputs com base nas reais necessidades do solo e das plantas.

Segundo Friedman (2005), o principal factor que afecta a CE_a de solos não saturados é a humidade. Outros factores que são relativamente invariáveis no tempo são quantificadores de partículas sólidas, que incluem a textura e a CTC (Moral & Serrano, 2019). Logicamente as variáveis do solo que afectam a CE_a não agem de forma independente e a influência mais importante da humidade pode camuflar os efeitos de outras variáveis (Moral & Serrano, 2019).

O ideal é agregar ao estudo da variabilidade do solo, informação do vigor vegetativo das plantas, por exemplo, através de índices de vegetação com a utilização de sensores ópticos próximos, como o “OptRx” ou remotos. A partir dos mapas de vigor, é possível identificar questões relacionadas com as necessidades de rega, situações de stress hídrico ou até mesmo verificar o estado nutritivo das plantas.

No que à fertilização diz respeito, por exemplo, a estratégia diferenciada pode ser apoiada por mapas de variabilidade espacial e estabilidade temporal do solo, utilizando

técnicas descritas por vários autores (Xu et al., 2006; Shi et al., 2002). Deste modo, num único mapa de classes, são combinados efeitos espaciais e temporais.

2.5 – Compactação do solo

A compactação do solo pode ser medida, por exemplo, com o cone penetrómetro electrónico “FieldScout SC 900”, sendo um método relativamente expedito quando comparado com a determinação, por exemplo, da porosidade ou da densidade aparente.

A compactação do solo é um factor a ter em conta já que esta tem efeitos na produtividade, nos custos de produção, no crescimento da cultura, no rendimento e na qualidade do produto final (Fountas et al., 2013).

A principal causa da compactação do solo resulta da movimentação de maquinaria agrícola, mas esta também pode ser resultado da acção do pisoteio animal.

A compactação aumenta com a intensidade da pressão dos veículos, dos animais e com a humidade do solo. A movimentação das máquinas agrícolas, desde a preparação da plantação, a aplicação de fertilizantes, de produtos químicos, as intervenções em verde e finalmente a colheita causam compactação na camada superior do solo (Usovics & Lipiec, 2009). A compactação nas vinhas é mais nítida nas faixas do tráfego dos tractores do que nas áreas adjacentes (Dijck & Asch, 2002).

A compactação limita o crescimento das raízes na entrelinha, impede a utilização óptima do volume do solo, reduz a taxa de infiltração da água prejudicando a drenagem, causa um deficiente arejamento do solo e também a emergência das plantas é prejudicada (Grismer et al., 1994). A compactação do solo produz efeitos negativos tanto na absorção de água como de nutrientes por parte das plantas, já que a expansão das raízes fica limitada a uma determinada faixa, não conseguindo explorar uma maior quantidade de volume de solo. A compactação do solo é conhecida por reduzir a proporção dos poros maiores no solo (Assouline et al., 1997).

De forma a contrariar a compactação e melhorar a estrutura do solo, é fundamental deixar crescer a vegetação na linha e na entrelinha ao máximo possível, quando a videira não se encontra em crescimento vegetativo, para que as suas raízes penetrem no solo, descompactando-o de forma natural e criando assim canais para a água passar, levando a um aumento da taxa de infiltração e do arejamento do solo.

Ao nível do subsolo, a compactação também pode ser atenuada ao aplicar técnicas especiais de lavoura como a subsolagem ou a lavoura profunda. Mas a compactação do

subsolo também pode desaparecer ao longo do tempo por processos naturais, envolvendo a regeneração dos poros do solo através de rachas durante a humidificação do solo com a consequente secagem do mesmo e também através da criação de poros novos pelas raízes (Kay, 1990) e minhocas (Whalley & Dexter, 1994).

3 – Materiais e métodos

3.1 – Local do estudo

A vinha em estudo (Figura 7) está inserida na Herdade da Mitra, pertencente à Universidade de Évora, no Concelho de Évora, junto à aldeia de Valverde (Sul de Portugal) (38°32'01.2''N; 8°00'57.7''W).

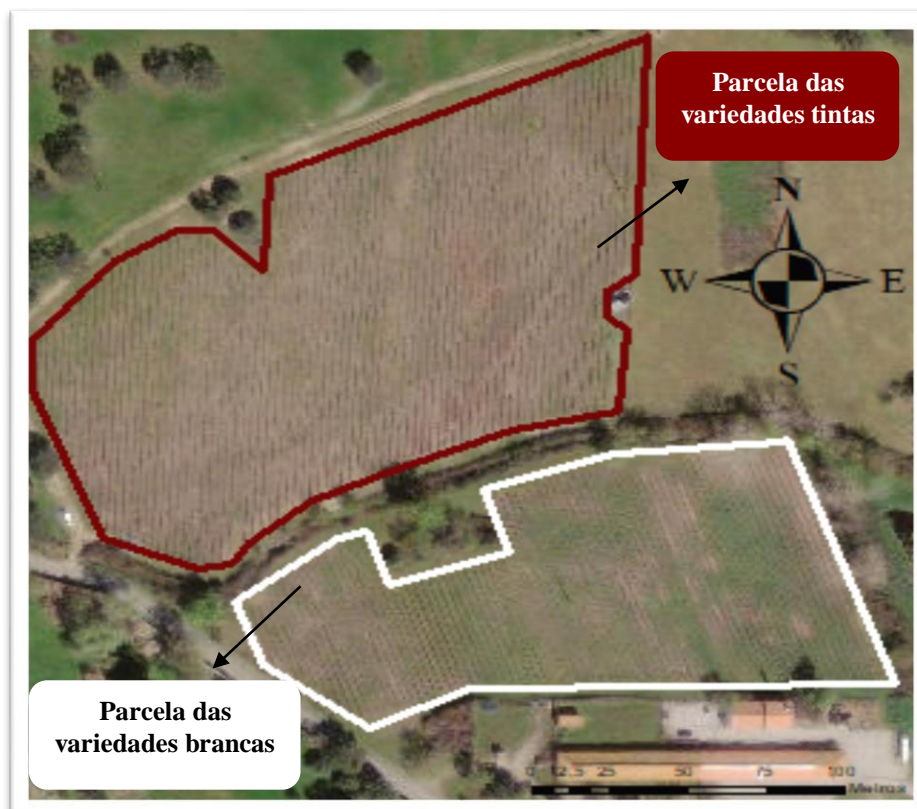


Figura 7 – Fotografia aérea da localização da vinha em estudo (Herdade da Mitra, Évora).

A vinha ocupa uma área de 3,5 ha, tendo sido instalada no ano de 2000. Esta possui um compasso de 2,5m × 1,0m, perfazendo uma densidade de plantação de 4000 plantas/ha. A vinha é conduzida em cordão bilateral sendo realizada anualmente a pré-poda mecânica seguida da poda manual em talão. A rega da vinha está dependente das condições climáticas de cada ano. Tomando como exemplo, o ano de 2022, a vinha foi regada entre os meses de Junho e Setembro até duas a três semanas antes do início da vindima, com uma dotação de 3 litros/planta, onde numa fase inicial se regou 1,5h/dia e mais tarde, durante o pico máximo de maturação, foi regada 4h/dia, de forma homogénea em toda a vinha. Com recurso à fertirrigação, no ano de 2022, na altura da maturação da

uva, foram aplicados 20kg/ha de fertilizante “7-14-20”, também de forma homogénea ao longo de toda a vinha. Para além da adubação e da rega também a poda, os tratamentos fitossanitários e as restantes operações culturais são realizadas de forma homogénea em toda a vinha.

As variedades brancas presentes na vinha da Mitra são “Verdelho”, “Antão Vaz”, “Arinto”, “Chardonnay” e “Síria” (Figura 8), ocupando uma área total de 1,3 ha (Quadro 3). No que diz respeito às variedades tintas estão representadas as variedades “Tinta barroca”, “Merlot”, “Syrah”, “Alicante Bouchet”, “Trincadeira, Aragonez”, “Castelão”, “Cabernet Sauvignon”, “Touriga Nacional” e “Alfrocheiro” (Figura 8), ocupando 2,2 ha (Quadro 3). As parcelas das variedades brancas e tintas são separadas por uma linha de água.

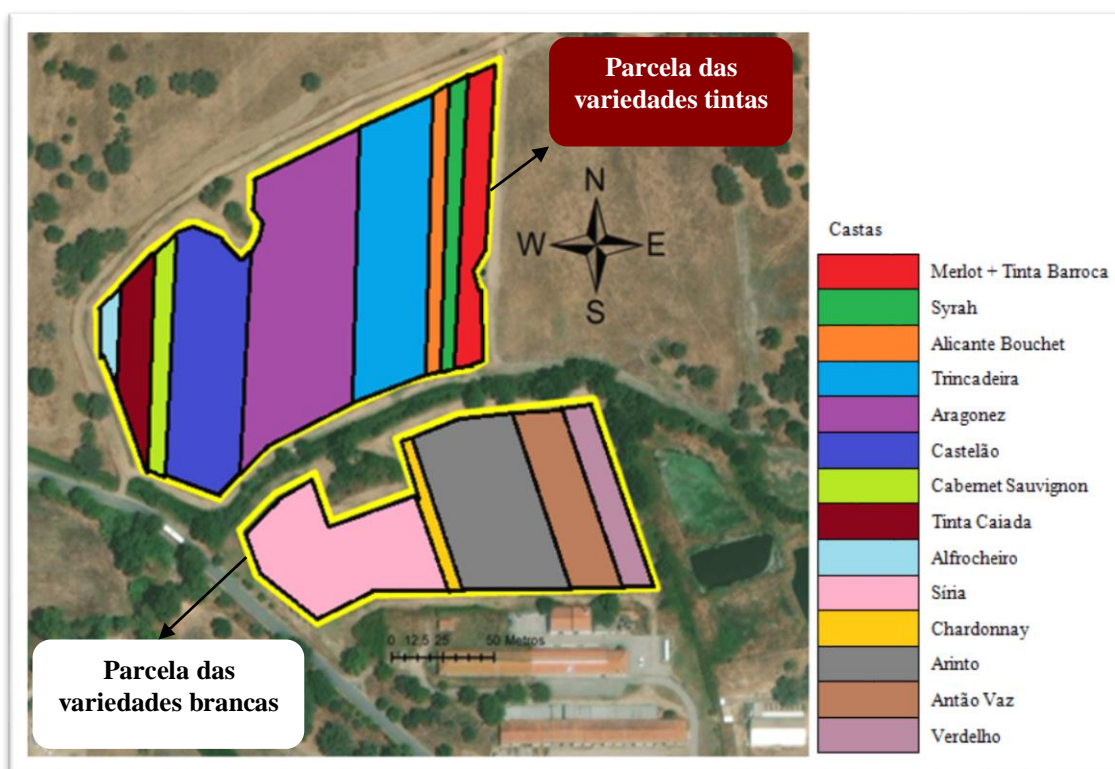


Figura 8 – Distribuição espacial das diferentes variedades presentes na vinha em estudo.

Quadro 3 – Variedades presentes na vinha da Mitra e área correspondente.

Variedades Tintas		Variedades Brancas	
	Área, m²		Área, m²
Tinta barroca	79	Verdelho	1474
Merlot	49	Antão Vaz	2285
Syrah	1112	Arinto	4582
Alicante Bouchet	999	Chardonnay	412
Trincadeira	4746	Síria	4256
Aragonez	6931		
Castelão	4576		
Cabernet Sauvignon	1060		
Alfrocheiro	143		
Tinta Caiada	1590		
Touriga Nacional	1112		

Na entrelinha foi escolhida a opção de enrelvamento com diversas espécies botânicas tais como “Medicado Santiago”, “Serradella”, “Biserula”, vegetação espontânea, “2Dáctilus”, “Mistura Fertiprado” e “Medicago Orion”.

Durante o período vegetativo da vinha (normalmente entre Abril e Setembro) é realizada a monda química na linha, enquanto na entrelinha é realizado o corte da vegetação, ou seja, quando existe concorrência da vegetação com a vinha por água, nutrientes e volume de solo ocupado. O corte da vegetação na entrelinha é realizado com recurso a um corta-matos ou a um triturador quando existem restos de poda no centro da entrelinha.

3.2 – Caracterização edafo-climática

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, a região em estudo está inserida num clima Mediterrânico de verão seco, “Csa”, caracterizado pela temperatura do mês mais frio (inferior a 18°C, mas superior a -3°C), com pelo menos um mês onde a temperatura média é superior a 10°C e verão como estação seca. A precipitação média anual entre os anos 1981-2010 foi de 586,8 mm segundo os dados da estação meteorológica de Évora, estando concentrada entre o inverno e a primavera e praticamente sem expressão no verão.

A figura 9 mostra o diagrama termopluviométrico (temperatura média e precipitação média mensal) do trinténio 1981-2010.

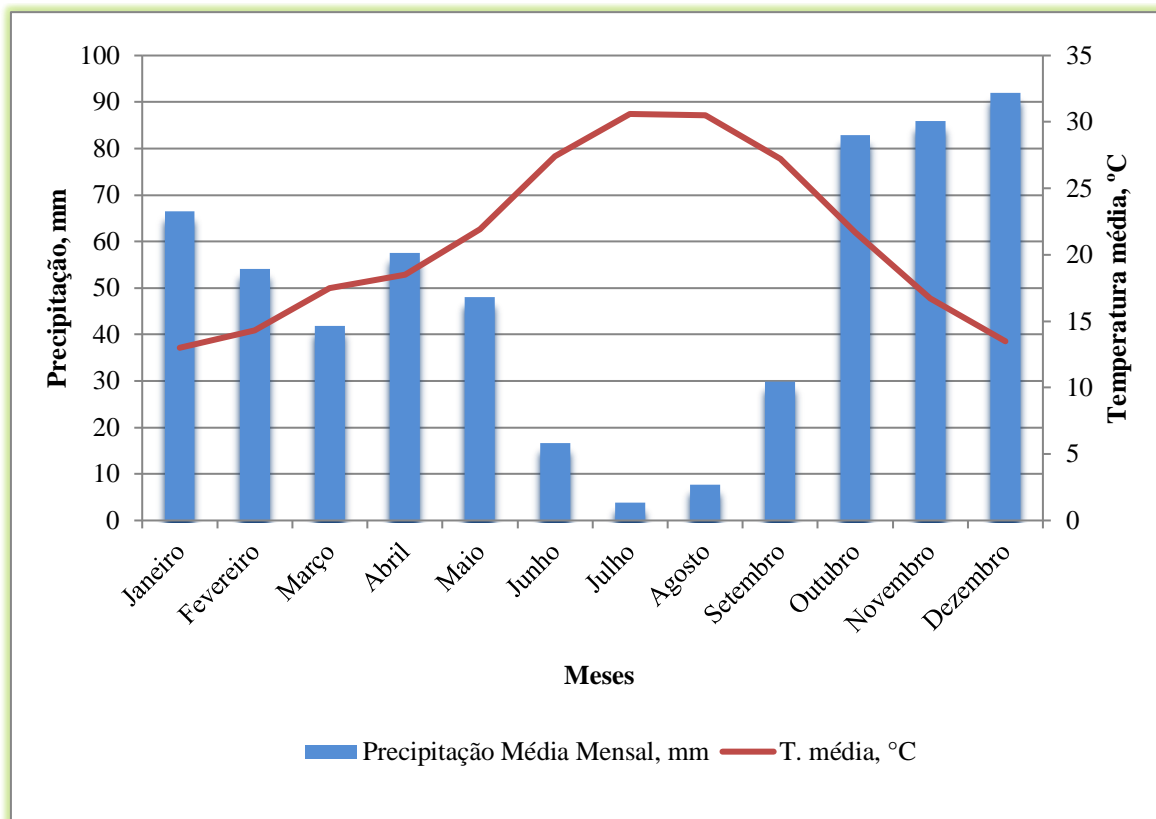


Figura 9 – Diagrama termopluiométrico do trinténio 1981-2010 da Estação Meteorológica de Évora.

Para a agricultura em geral, este clima traz alguns inconvenientes, como a falta de chuva no verão e o facto de não haver um equilíbrio entre calor e humidade, sendo este um dos principais factores de crescimento das plantas.

Relativamente à caracterização edáfica do local em estudo, o tipo de solo dominante é o Cambissolo de origem granítica, apresentando pouca ou nenhuma diferenciação de perfil, leve ou moderado intemperismo do material de origem e ausência de quantidades apreciáveis de argila iluviada e MO. Estes solos são pouco férteis e estão inseridos principalmente em sistemas agro-silvo-pastoris mistos. A área em estudo também inclui solos hidromórficos e luvisolos.

3.3 – Metodologia do ensaio

A figura 10 sintetiza de forma esquemática e cronológica a metodologia utilizada neste estudo para monitorizar a variabilidade espacial da vinha e definir e validar ZHG. O estudo foi realizado entre Outubro de 2022 e Abril de 2023.

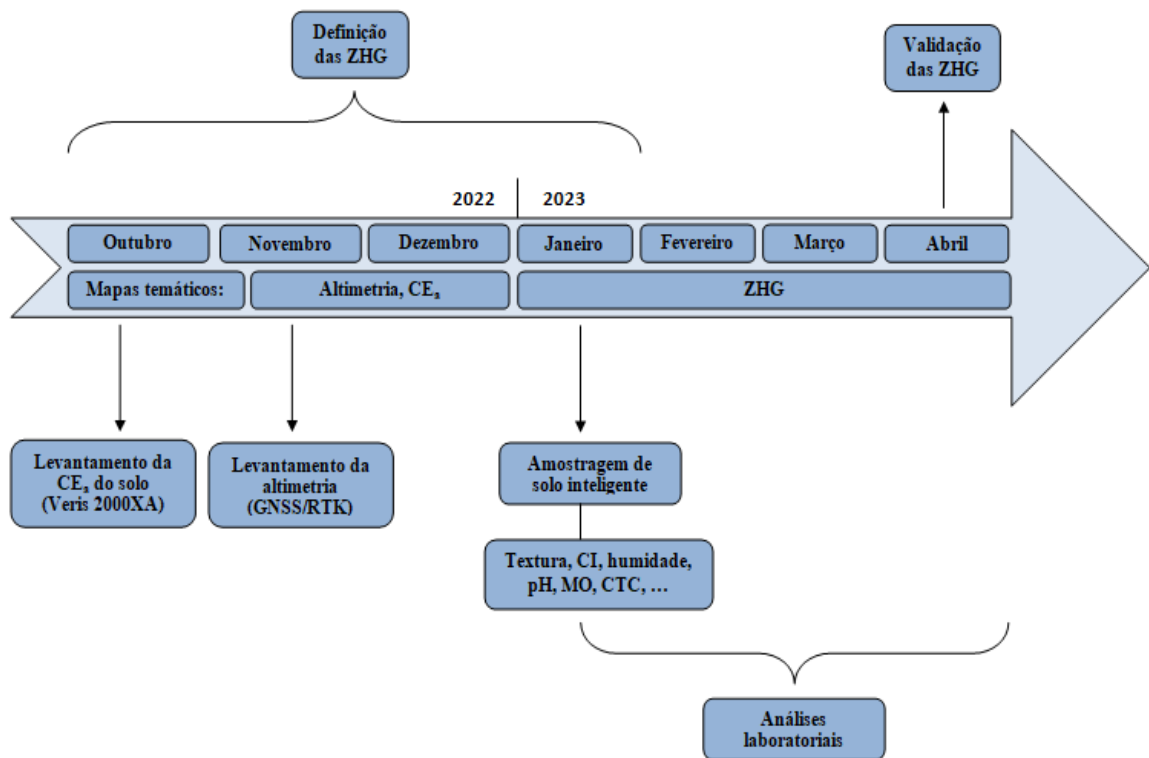


Figura 10 - Representação esquemática e cronológica da metodologia utilizada neste estudo.

3.3.1 – Levantamento da CE_a do solo

No dia 24 de Outubro de 2022 deu-se início à primeira fase deste ensaio, com o levantamento da variabilidade do solo ao realizar o levantamento da CE_a com o sensor “Veris – 2000XA” (Figura 11A). O sensor foi rebocado por uma “moto-quatro” a uma velocidade média de 5 km/h. O sensor foi regulado de maneira a medir a CE_a na camada superficial do solo (0–0,30m).

Uma antena GPS (GARMIN; Figura 11B) foi instalada no sensor, para associar as coordenadas geográficas às medições da CE_a . Os valores da CE_a e respectivas coordenadas geográficas foram registados com uma periodicidade de 1 segundo, previamente programada na consola do sensor (Figura 11C).

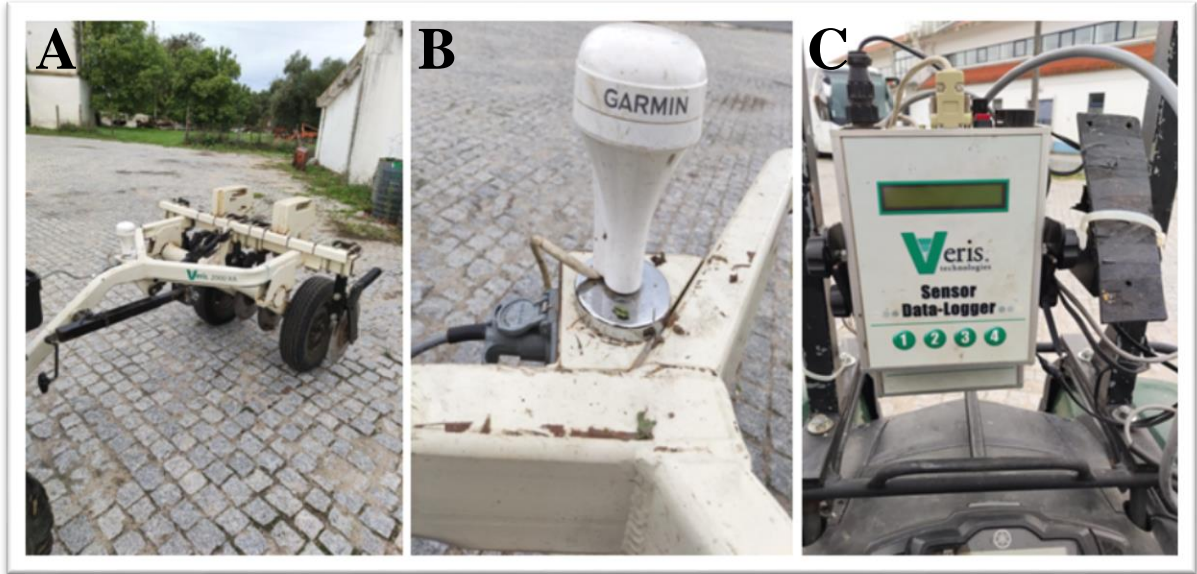


Figura 11 – Sensor de condutividade eléctrica por contacto Veris 2000XA (A – Sensor rebocado; B – Antena receptora de sinal GPS; C – Consola de comando do sensor).

Uma vez que está comprovada a influência do teor de humidade do solo sobre a CE_a (Brevik et al., 2006), em simultâneo com a medição da CE_a foi realizada a recolha de amostras de solo a 30 cm de profundidade para determinação do teor de humidade do solo. Foram recolhidas vinte amostras em cada parcela (das variedades tintas e das variedades brancas). Para esta recolha de amostras utilizaram-se caixas identificadas com números, uma sonda “meia-cana” e um maço para enterrar a sonda (Figura 12). Estas amostras foram georreferenciadas com um receptor GPS Trimble GEO XH (Figura 13). A estratégia utilizada consistiu em proceder à recolha no início, mais ou menos a meio e no final de entrelinhas aleatórias, para que a recolha fosse o mais representativa possível do terreno.



Figura 12 – Sonda “meia-cana” e maço (à esquerda); caixa de metal com amostra de solo recolhida (à direita).



Figura 13 – Receptor GPS Trimble GEO XH.

Para a determinação do teor de humidade, as amostras foram levadas para o laboratório, pesadas e submetidas numa estufa a 110°C até peso constante (normalmente durante 48 a 72 horas). A diferença entre a pesagem inicial e a pesagem final (peso seco) permitiu o cálculo do teor deste parâmetro, expresso em percentagem.

3.3.2 – Levantamento altimétrico da parcela

No dia 30 de Novembro de 2022 foi realizado um levantamento altimétrico da zona de estudo com um GPS RTK Spectra Epoch 50 (Figuras 14A e 14B) montado numa “moto-quatro” (Figura 14C). O levantamento foi realizado percorrendo todas as entrelinhas da vinha em estudo, sendo o registo das coordenadas e da respectiva cota, realizados em intervalos programados de 3 segundos.



Figura 14 – Receptor GPS RTK Spectra Epoch 50 utilizado nos ensaios de campo (A – Consola de comando do GPS; B – Antena receptora do sinal GPS; C- Equipamento montado numa “moto-quatro”).

3.3.3 – Recolha e análise de amostras de solo para validação das ZHG

Em 25 de Janeiro de 2023, depois de processada a informação recolhida pelo sensor “Veris 2000XA”, a partir do mapa da CE_a , foram definidas 3 zonas: $CE_a < 3$ mS/m; CE_a entre 3 e 6 mS/m e $CE_a > 6$ mS/m, tendo por base estudos anteriores, em diversos solos, que sugerem o uso de 3 zonas de CE_a (Moral et al., 2010; Peralta et al., 2013).

Um programa de geoestatística converteu o mapa de CE_a em mapa de ZHG (menor potencial, potencial intermédio e maior potencial produtivo).

Por cada ZHG, de cada parcela (brancas e tintas) foram georreferenciadas e seguidamente recolhidas 4 amostras compósitas de solo à profundidade de 30cm. Foi usada

novamente uma sonda “meia-cana” e um maço. Cada amostra compósita resultou de 5 sub-amostras recolhidas em cruz numa área aproximada de 4m²: duas retiradas junto das cepas e outras três no centro da entrelinha (Figura 15), procurando assim uma recolha de amostras representativa. Posteriormente, já com as cinco amostras retiradas e colocadas num saco numerado com o número do ponto de amostragem, retirou-se uma pequena porção de amostra do saco para o interior de uma caixa metálica numerada, para posterior determinação do teor de humidade do solo.

As áreas compósitas de amostragem foram geolocalizadas com recurso ao já referenciado receptor GPS Trimble GEO XH.

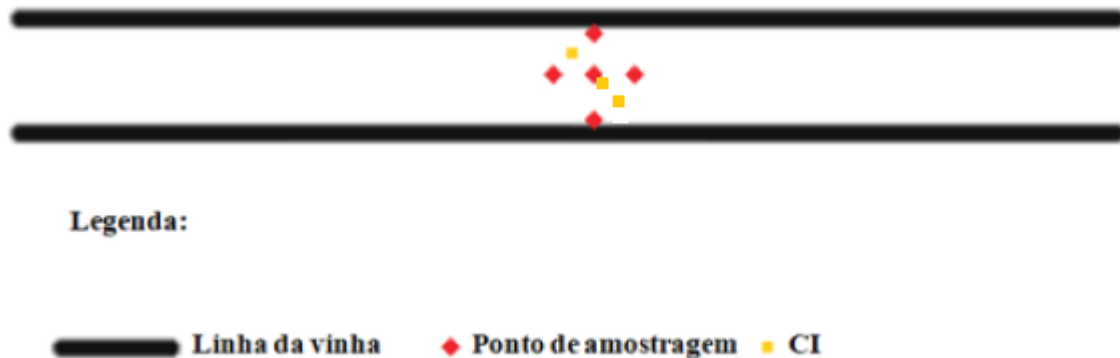


Figura 15 – Esquema representativo da recolha das amostras compósitas de solo georreferenciadas (CI – cone index).

No tratamento das amostras de solo, as destinadas à determinação da humidade, seguiram o mesmo protocolo anteriormente descrito.

As amostras compósitas de solo, foram transportadas para o laboratório e colocadas a secar ao ar, até se encontrarem prontas para serem crivadas. Foi utilizado um crivo de 2 mm (Figura 16).

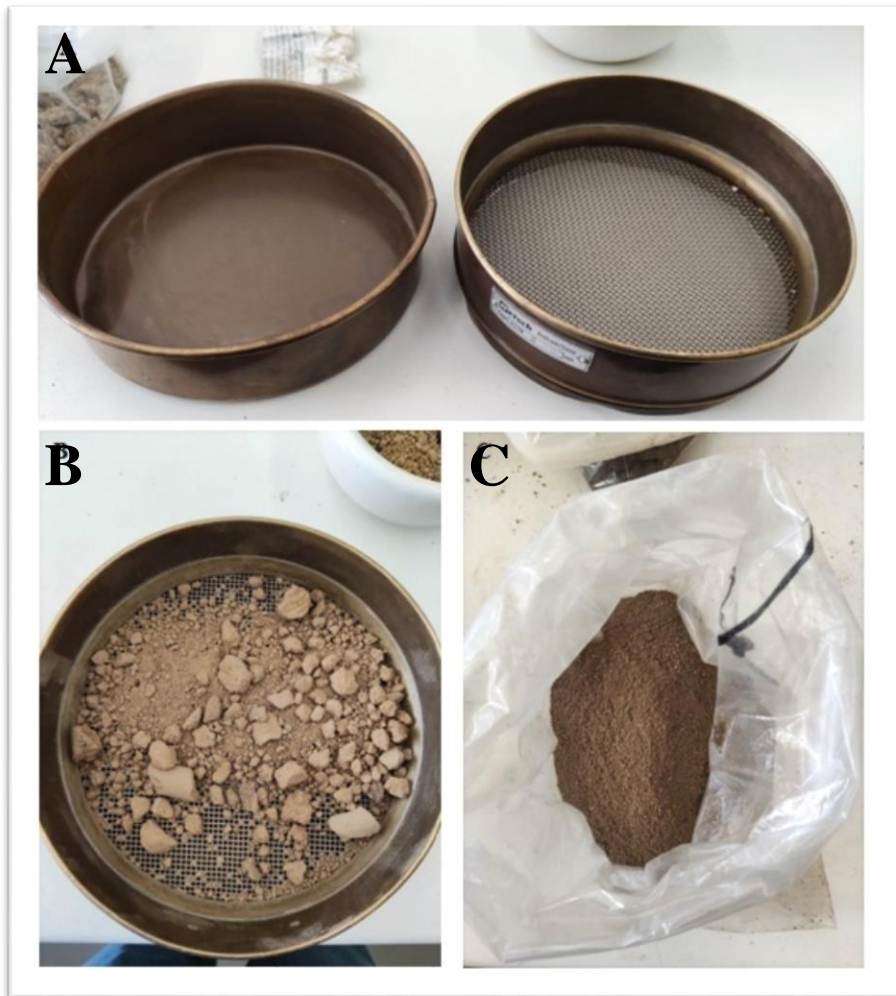


Figura 16 – Crivagem das amostras de solo para separação da terra fina (A – Crivo de 2 mm; B – Crivo de 2 mm com a amostra de solo; C – Amostra de solo crivada).

Depois de crivadas, as amostras, foram transportadas para o Laboratório Ambiterro da Universidade de Évora, para efectuar as seguintes análises: textura, pH, MO, fósforo, potássio, CTC e bases de troca.

As análises seguiram protocolos standard (AOAC, 2005), que se descrevem resumidamente:

- Para a análise da granulometria e classificação textural, utilizou-se a detecção de concentração de massa por Raios-X (sedimentógrafo) e para a classificação textural foi utilizado o diagrama da figura 17;

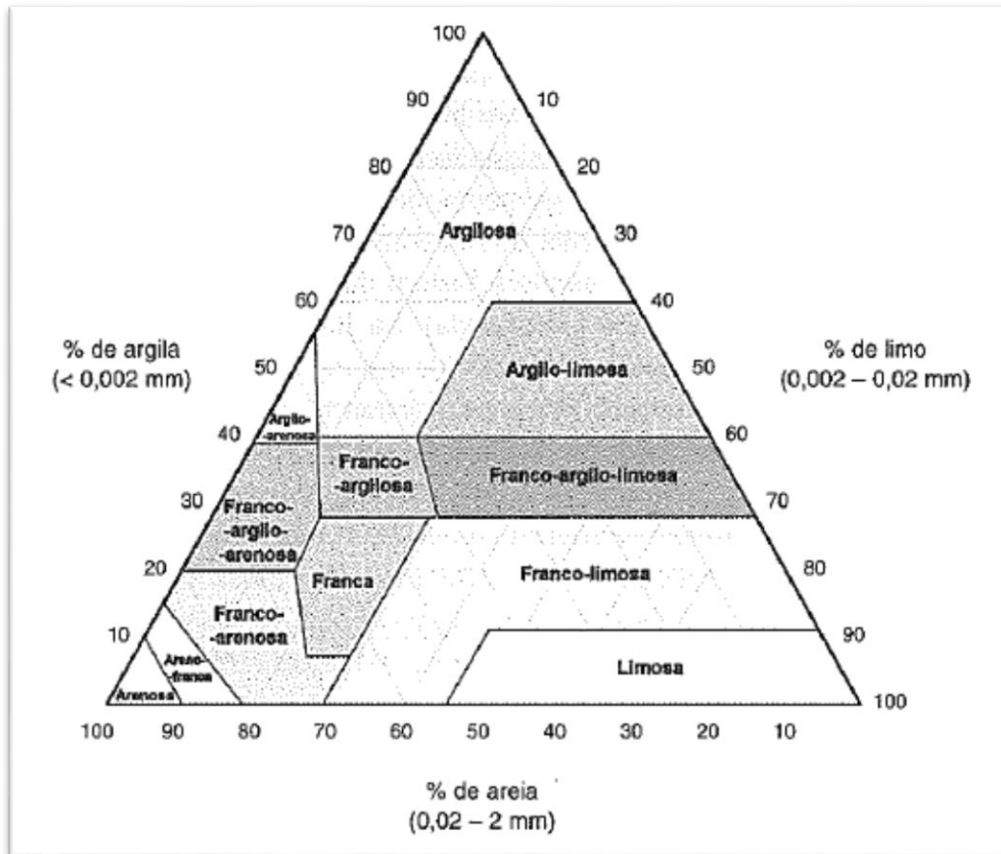


Figura 17 – Diagrama para classificação textural do solo (Adaptado de: Gomes & Silva, 1962).

- Em relação à análise do pH, a sua extracção foi realizada através da agitação em água e a sua determinação foi realizada com base na Norma 4500H+B por potenciometria;
- Para a determinação do fósforo (P) e potássio (K) assimiláveis a extracção foi feita pelo método de Egner Riehm. No caso da determinação do K foi utilizada a “espectrometria de absorção atômica” (EAA) e no caso da determinação do P foi utilizado o “método de ácido ascórbico” por espectrofotometria de absorção molecular (UV-Vis);
- A determinação da MO foi realizada através de combustão seca por análise elementar (LECO);
- No que se refere às bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) foi utilizado o método de acetato de amónio “1N pH7” e na sua determinação foi utilizada a EAA;
- Para a CTC foi utilizado o método de acetato de amónio “1N pH7” e a sua determinação foi realizada através de titulação.

3.3.4 – Medição da compactação do solo para validação das ZHG

Para além das análises de solo, a validação das ZHG foi também realizada pela medição do cone índice (resistência à penetração do cone penetrómetro electrónico; CI, em kPa). Foi utilizado o cone penetrómetro “SC-900 FieldScout” (Figura 18), nas mesmas áreas de amostragem. Esta medição foi realizada até 45 cm de profundidade, com intervalos de 2,5 cm.

Foram realizadas 3 medições da compactação em cada uma das áreas de amostragem (Figura 15). Todas as medições foram efectuadas no mesmo dia, de forma a evitar a variabilidade do teor de humidade do solo, pois pode afectar a medição da resistência à penetração (Serrano et al., 2023a).



Figura 18 – Cone penetrómetro electrónico “SC-900 FieldScout” utilizado nos ensaios de campo.

3.3.5 – Tratamento dos dados

Os dados relativos à CE_a e à altimetria foram filtrados, isto é, foram eliminados os registos anómalos, por exemplo, devido a falhas de posicionamento, ou registos com códigos de erro.

Os dados obtidos pelo sensor “SC-900 FieldScout” foram também previamente analisados, para remover registos com erros, por exemplo, resultante da variação da velocidade de penetração da sonda no solo ou da aplicação de força excessiva (devido à presença de pedras).

Com o levantamento da CE_a e da altimetria conseguiu-se obter o modelo digital do terreno, através do software ArcGIS (versão 10.8.2, ESRI, Inc., Redlands, Califórnia, USA). Obteve-se também, a área das parcelas em estudo e a área correspondente a cada variedade.

O modelo digital do terreno referente à altimetria foi criado, usando a ferramenta de interpolação de cotas “TIN” (“Triangulated Irregular Network”) do ArcGIS. O algoritmo “TIN” usa pontos de amostragem para criar uma superfície formada por triângulos com base nas informações do ponto vizinho mais próximo. Essas informações vectoriais foram convertidas numa superfície em grelha usando a ferramenta “Spatial Analyst Tools”.

Para definir as ZHG através do mapa da CE_a, foi utilizado o software “MZ Analyst (MZA)” (Microsoft Corp., Redmond, WA, EUA).

Para realizar a análise descritiva de cada uma das propriedades do solo analisadas, foram realizados os cálculos da média, do desvio padrão (DP), do coeficiente de variação (CV) e do intervalo de variação.

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) com um grau de significância de 95% ($p < 0,05$). Para separação de médias das propriedades do solo entre ZHG foram utilizados os testes não paramétricos de “Kruskal-wallis” e o teste “Dunn post hoc”.

4 – Resultados

4.1 – Variabilidade do solo e definição das ZHG

A CE_a é uma propriedade do solo relativamente estável no tempo, tal como comprovado por Serrano et al., (2023a), daí a sua importância na delimitação das ZHG.

O quadro 4 apresenta o resultado da análise descritiva referente ao levantamento da CE_a e da humidade do solo.

A CE_a da vinha em estudo apresentou um CV de 65% na parcela das variedades brancas e 56% na parcela das variedades tintas. Este é um excelente indicador do potencial desta ferramenta na identificação de ZHG e, posteriormente na gestão diferenciada. O teor de humidade do solo, por outro lado, apresentou uma menor variabilidade espacial, com um CV de 29% na parcela das variedades brancas e 8% na parcela das variedades tintas.

Quadro 4 – Condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a) e teor de humidade na camada superficial do solo da vinha (0–0,30 m) em 24 de Outubro de 2022.

Parâmetros	Parcela das variedades brancas			Parcela das variedades tintas		
	Média ± DP	CV (%)	Intervalo de variação	Média ± DP	CV (%)	Intervalo de variação
CE_a (mS/m)	5,3 ± 3,4	64,9	0,8–17,8	4,6 ± 2,6	55,8	0,3–17,1
Teor de Humidade (%)	17,7 ± 5,2	29,2	14,5–38,8	16,2 ± 1,3	8,1	14,0–18,7

DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação; CE_a – condutividade eléctrica aparente do solo.

A figura 19, ilustra o mapa temático da CE_a na vinha em estudo, obtido a partir dos dados recolhidos em Outubro de 2022 com o sensor Veris-2000XA.

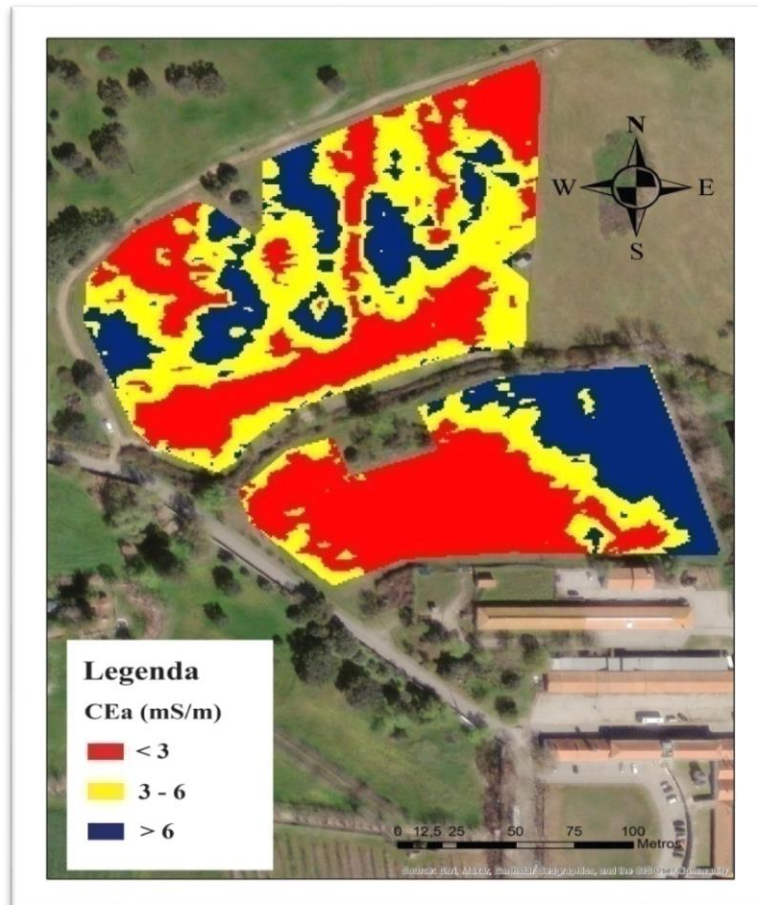


Figura 19 – Mapa da condutividade eléctrica aparente do solo (CE_a).

A figura 20 representa o mapa altimétrico da vinha em estudo, estabelecido a partir do levantamento realizado com o receptor GPS RTK Spectra Eposch 50.

Ambas as parcelas apresentam um declive gradual (de Norte para Sul na parcela das variedades tintas e de Sul para Norte na parcela das variedades brancas) e suave, convergindo para a linha de água que as separa, sendo nesta zona onde se situa naturalmente a cota mais baixa. A zona em estudo apresenta uma amplitude de cotas entre 206 e 212 metros.

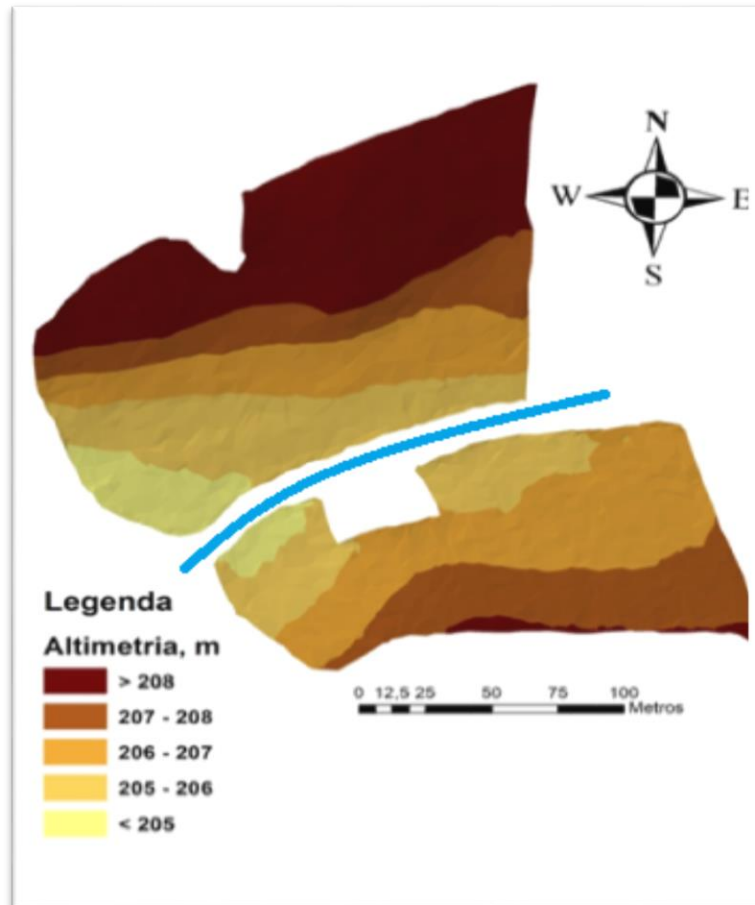


Figura 20 – Mapa altimétrico da vinha da Herdade da Mitra (a azul encontra-se marcada a linha de água que separa as parcelas).

A aplicação de um algoritmo geoestatístico permitiu transformar os mapas de CE_a e altimétrico num mapa de ZHG (Figura 21). Desta forma, foram definidas 2 ZHG (menor potencial e maior potencial produtivo) na parcela das variedades tintas (Figura 21A), enquanto na parcela das variedades brancas foram definidas 3 ZHG (Figura 21B; menor potencial, potencial intermédio e maior potencial produtivo).



Figura 21 – Mapa das zonas homogéneas de gestão (ZHG) com indicação da localização dos vinte pontos de amostragem (A – Parcela das variedades tintas; B – Parcela das variedades brancas).

4.2 – Validação das ZHG

O quadro 5 apresenta as características do solo da vinha (0–0,30 m) na amostragem realizada em 25 de Janeiro de 2023. É possível afirmar que o solo da vinha em estudo pode ser classificado de textura grosseira a média (teor de argila de aproximadamente 15%; classificação textural entre franco arenoso e franco-argilo-arenoso), com baixo teor de MO (principalmente na parcela das variedades tintas, com valor médio de 1%), pH próximo do

neutro (principalmente na parcela das variedades brancas, com pH de 6,5). Verifica-se também uma elevada discrepância em relação à disponibilidade de fósforo e potássio nas duas parcelas (elevada disponibilidade na parcela das variedades brancas e baixa disponibilidade na parcela das variedades tintas). É evidente a variabilidade espacial de praticamente todos os parâmetros do solo (CV superior a 20–30%), com exceção do pH (CV de 7–9%) e do teor de areia (CV de 11%).

Quadro 5 – Características do solo da vinha (0–0,30 m) na amostragem realizada em 25 Janeiro de 2023.

Propriedades do solo	Parcela das variedades brancas			Parcela das variedades tintas		
	Média ± DP	CV (%)	Intervalo de variação	Média ± DP	CV (%)	Intervalo de variação
Argila (%)	14,9 ± 4,8	32,2	10,4–23,9	14,6 ± 6,0	41,2	7,4–26,5
Limo (%)	13,6 ± 3,0	22,4	10,6–19,0	11,3 ± 2,4	20,9	7,8–15,4
Areia (%)	71,5 ± 7,6	10,7	58,4–78,7	74,0 ± 7,9	10,7	61,1–84,9
Teor de humidade (%)	17,6 ± 4,4	25,0	11,2–27,5	14,6 ± 3,7	25,2	7,2–18,5
MO (%)	1,7 ± 0,5	30,7	1,0–2,5	1,0 ± 0,2	23,6	0,7–1,5
pH	6,5 ± 0,5	7,0	5,8–7,1	6,1 ± 0,5	8,8	5,6–7,0
P ₂ O ₅ (mg.kg ⁻¹)	350,7 ± 209,1	59,6	101,4–722,6	28,9 ± 12,4	42,9	16,3–53,1
K ₂ O (mg.kg ⁻¹)	118,7 ± 44,5	37,5	44,0–201,0	40,0 ± 24,7	61,8	10,0–78,2
GSB (%)	61,1 ± 33,6	55,0	13,5–121,9	61,4 ± 42,3	69,0	15,5–118,0
SBT (cmol.kg ⁻¹)	8,2 ± 5,4	65,0	3,3–18,0	8,7 ± 7,1	81,1	2,0–19,7
CTC (cmol.kg ⁻¹)	14,9 ± 5,9	39,5	8,2–28,0	18,2 ± 11,1	61,0	8,3–41,8

DP – Desvio padrão ; CV – Coeficiente de variação; MO – Matéria orgânica; GSB – Grau de saturação de bases; SBT – Soma de bases de troca; CTC – Capacidade de troca catiónica.

A validação das ZHG em cada parcela (variedades brancas e tintas) foi realizada com base na comparação de médias das propriedades do solo analisadas. O quadro 6 apresenta os valores médios de cada propriedade do solo para as diferentes ZHG (zona de menor, intermédio e maior potencial produtivo). Este demonstra um aumento nos valores de argila, limo, teor de humidade, MO, pH, GSB, SBT e CTC das zonas de menor potencial para as zonas de maior potencial e uma diminuição significativa dos valores de areia nas zonas de menor potencial para as zonas de maior potencial.

Quadro 6 – Validação das zonas homogêneas de gestão (ZHG): valores médios de cada propriedade do solo para as ZHG (zona de menor, intermédio e maior potencial produtivo).

ZHG	Argila (%)	Limo (%)	Areia (%)	Teor de humidade(%)	MO (%)	pH	P ₂ O ₅ (mg.kg ⁻¹)	K ₂ O (mg.kg ⁻¹)	GSB (%)	SBT (cmol.kg ⁻¹)	CTC (cmol.kg ⁻¹)
Parcela das variedades brancas											
Menor potencial	12,2 a	11,3 a	76,5 a	14,7 a	1,2 a	6,0 a	204,7 a	113,8 a	34,0 a	3,7 a	14,2 a
Potencial intermédio	11,7 a	12,2 a	76,2 a	18,2 b	1,6 b	6,6 b	341,2 b	134,5 b	46,4 b	5,9 b	16,7 b
Maior potencial	20,9 b	17,4 b	61,8 b	19,8 c	2,2 c	7,0 c	506,1 c	107,8 a	103,0 c	15,1 c	18,0 c
Parcela das variedades tintas											
Menor potencial	10,8 a	9,6 a	79,6 a	12,1 a	0,9 a	5,7 a	38,0 a	47,8 a	23,2 a	2,5 a	15,1 a
Maior potencial	18,5 b	13,1 b	68,5 b	17,0 b	1,2 b	6,6 b	19,9 b	33,0 b	99,5 b	15,0 b	21,3 b

MO – Matéria orgânica; GSB – Grau de saturação de bases; SBT – Soma de bases de troca; CTC – Capacidade de troca catiônica; ZHG – Zonas homogêneas de gestão; as letras (a, b e c) ao lado dos valores médios indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) de acordo com o teste de “Dunn”.

O quadro 7 apresenta os resultados da análise descritiva das medições do CI. Neste é possível constatar que: (i) existe uma tendência para valores mais elevados na parcela das variedades tintas do que na parcela das variedades brancas; (ii) os valores mais elevados de CI estão associados às zonas de menor potencial produtivo; (iii) maiores valores do CI são registados à medida que aumenta a profundidade; (iv) o CV é maior na camada superficial do solo (0–0,30 m) em cada ZHG, em função do teor de humidade médio, confirmando a relação inversa entre o CI e a humidade do solo.

Quadro 7 – Cone índice (em kPa) do solo na vinha em estudo em 3 intervalos de profundidade (0–15, 15–30 e 30–45 cm) em 25 Janeiro de 2023.

ZHG – Profundidade (cm)	Parcela das variedades brancas		Parcela das variedades tintas	
	Média ± DP	Intervalo de variação	Média ± DP	Intervalo de variação
Menor potencial				
0–15	1278 ± 632	440–2091	1872 ± 511	1169–2467
15–30	2502 ± 184	2256–2673	2513 ± 183	2283–2730
30–45	2550 ± 308	2078–2928	3316 ± 340	2973–3967
Potencial intermédio				
0–15	916 ± 639	172–1768	–	–
15–30	2072 ± 151	1941–2355	–	–
30–45	1698 ± 338	1265–2070	–	–
Maior potencial				
0–15	902 ± 281	405–1143	1081 ± 274	677–1393
15–30	1139 ± 98	1030–1298	1802 ± 224	1587–2199
30–45	1122 ± 92	970–1220	2240 ± 302	1759–2557

CI – Cone índice; DP – Desvio padrão; ZHG – Zonas homogêneas de gestão.

A figura 22 mostra o perfil médio do CI em função da profundidade de medição, o que comprova e salienta graficamente as evidências referidas.

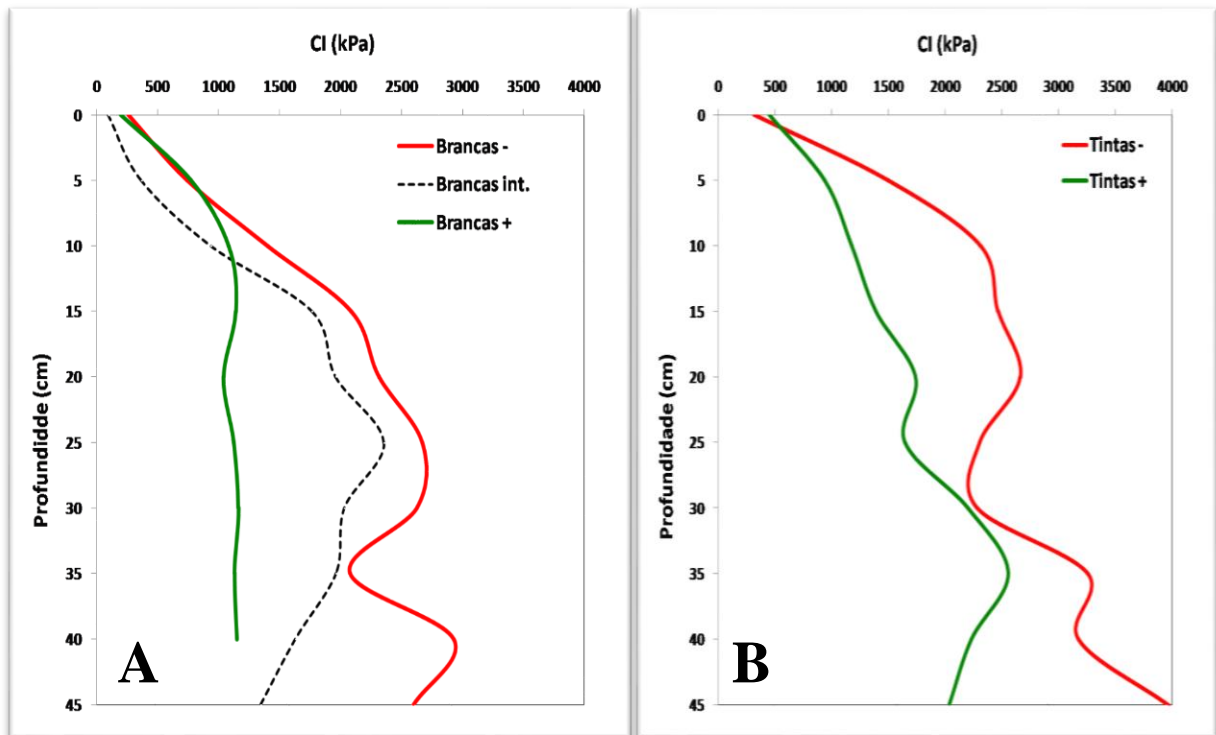


Figura 22 – Perfil médio do cone índice (CI) em função da profundidade do solo (0–0,45m), para cada zona homogénea de gestão (ZHG) (“-”, menor, “int”, intermédio, “+”, maior potencial produtivo), nas parcelas das variedades brancas (A) e tintas (B) da vinha.

A figura 23 mostra graficamente os valores médios do CI em cada parcela (A – parcela das variedades brancas; B – parcela das variedades tintas), por zona de potencial produtivo e por intervalo de profundidade de medição.

A figura 24 confirma a relação inversa entre o CI e o teor de humidade do solo.

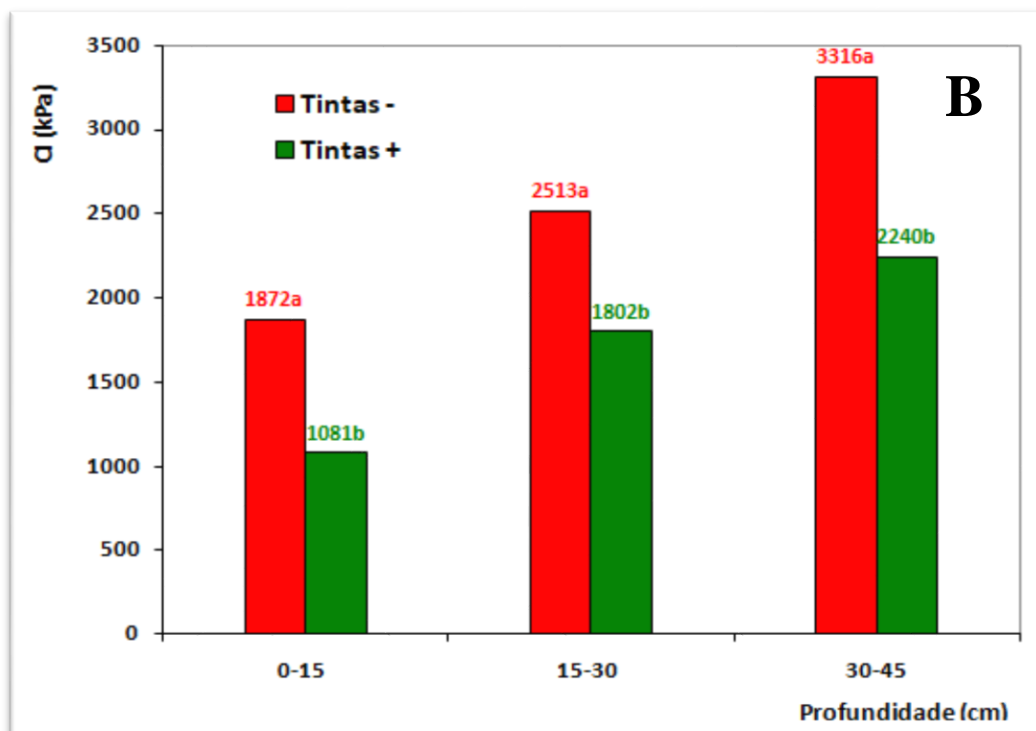
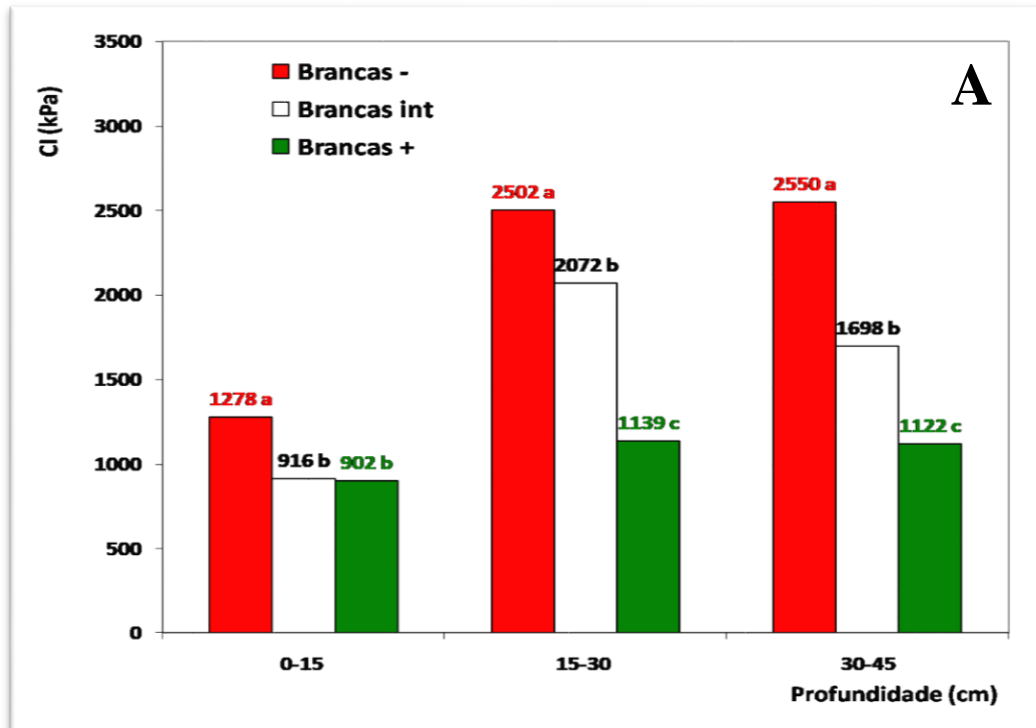


Figura 23 – Cone índice (CI) médio: valores médios em cada zona homogénea de gestão (ZHG) (“-”, menor, “int”, intermédio, “+”, maior potencial produtivo) e classes de profundidade (0–15, 15–30 e 30–45 cm), nas parcelas das variedades brancas (A) e tintas (B). As letras (a, b e c) ao lado dos valores médios indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) de acordo com o teste de “Dunn”.

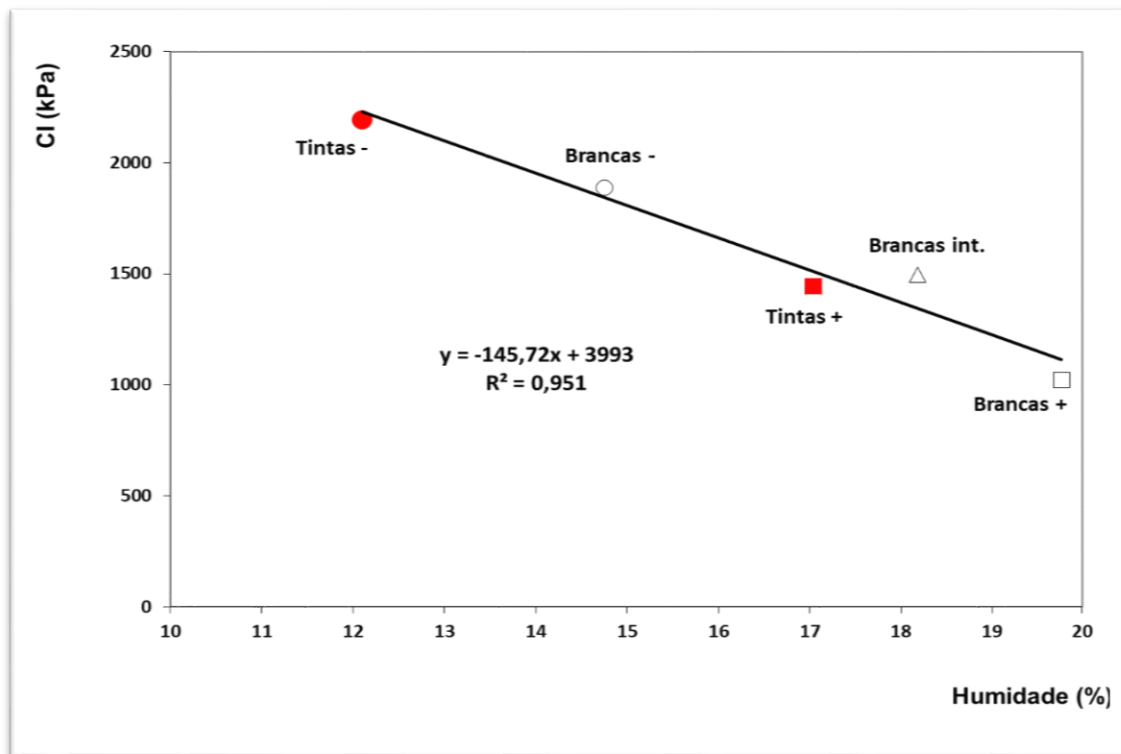


Figura 24 – Cone índice (CI) médio na camada superficial do solo (0–0,30 m), em cada zona homogénea de gestão (ZHG) (“-”, menor, “int”, intermédio, “+”, maior potencial produtivo) em cada parcela (“Brancas” – branco; “Tintas” – vermelho), em função do teor médio de humidade do solo.

5 – Discussão dos resultados

A VP evoluiu rapidamente na última década, reflectindo principalmente a evolução da capacidade dos sistemas informáticos, onde se integram os SIG. Estes permitem ler, analisar e processar um grande volume de dados georreferenciados fornecendo aos viticultores sistemas de apoio à decisão, o que conduzirá a uma melhor gestão no tempo e no espaço.

O interesse pela VP, por isso, tem crescido naturalmente ao longo dos últimos anos, como mostram vários estudos publicados (Ammoniaci et al., 2021; Barriguinha et al., 2021; Cataldo et al., 2021; Tardaguila et al., 2022). A VP de forma genérica integra 4 etapas: (i) avaliação da variabilidade espacial; (ii) delimitação de ZHG; (iii) definição de planos de intervenção espacialmente variável; e (iv) implementação de gestão diferenciada da vinha. Este trabalho centra-se nas duas primeiras etapas.

5.1 – Variabilidade espacial

O levantamento da variabilidade espacial, através da medição da CE_a do solo, serviu como primeira etapa neste estudo, para definir as ZHG, com vista a uma potencial gestão diferenciada. Esta potencial gestão diferenciada resulta da relação entre a CE_a e diversas propriedades do solo, tais como a textura, a profundidade, o teor de humidade (Rodríguez-Pérez et al., 2011; Serrano et al., 2013), o teor de MO (Ammoniaci et al., 2021), a CTC, o pH, em diferentes tipos de solo (Sudduth et al., 2003). A medição da CE_a é considerada de forma praticamente unânime como uma das formas mais eficientes de mapear rapidamente a variabilidade espacial do solo (Moral et al., 2010; Hubbard et al., 2021), permitindo poupar recursos no planeamento da instalação de novas vinhas e na gestão de vinhas já instaladas (Serrano et al., 2023a).

O CV referente à CE_a determinada neste estudo foi em termos médios no conjunto das duas parcelas de 60%, o que traduz uma elevada variabilidade espacial (Unamunzaga, et al., 2014), indicador da variabilidade das características do solo e, sugere o interesse em definir ZHG (Moral et al., 2010).

Neste estudo, a altimetria foi considerada no algoritmo geoestatístico utilizado para a definição de ZHG devido à sua influência no transporte e armazenamento de água, bem como na redistribuição de partículas minerais do solo e da MO e, conseqüentemente no crescimento e desenvolvimento das culturas (Córdoba et al., 2013; Verdugo-Vásquez et al.,

2022). Outros trabalhos têm sido desenvolvidos e apresentados cuja abordagem inclui outros parâmetros, nomeadamente relacionados com o vigor vegetativo da cultura. Esteves et al. (2022), por exemplo, para definição das ZHG associaram à CE_a a medição do NDVI, obtido a partir das imagens do satélite Sentinel-2. Serrano et al. (2019; 2023a) na definição de ZHG associaram à medição de CE_a e da altimetria, as medições dos índices NDVI e NDWI, também obtidos a partir das imagens do Sentinel-2.

Esta complementariedade de informação, reflectindo não só a variabilidade do solo, mas também a resposta da cultura, poderá afinar a definição das ZHG e, com esta, melhorar o rigor dos mapas de prescrição variável (Serrano et al., 2023b).

Importa deixar uma nota sobre a importância da estabilidade temporal associada à variabilidade espacial. A estabilidade temporal das propriedades do solo, por exemplo, permitirá uma intervenção (adubação espacialmente variável) a médio prazo (Serrano et al., 2013).

Vários estudos demonstram possíveis mudanças significativas nos parâmetros medidos ao longo do tempo, mas com representações na estrutura espacial relativamente estáveis (Su & Adamchuk, 2023). Uma das grandes vantagens atribuídas ao levantamento da CE_a é a sua estabilidade temporal, mantendo o padrão espacial ao longo do tempo, pelo que a sua medição tem aplicação a médio e longo prazo (Serrano et al., 2022). Essa estabilidade temporal da CE_a foi demonstrada neste estudo, aspecto apresentado por Serrano et al. (2023c).

5.2 – Validação de ZHG

A segunda etapa deste estudo consistiu na validação de ZHG com recurso à amostragem inteligente de diversas propriedades do solo (textura, teor de humidade, MO, fósforo, potássio, GSB, SBT, CTC e CI, esta última propriedade em todas as classes de profundidade consideradas: 0–15, 15–30 e 30–45 cm). A CE_a pode ajudar a orientar a amostragem a fim de caracterizar a variabilidade espacial (Bottega et al., 2023). Por exemplo, a CE_a correlaciona-se positivamente com a componente fina da textura, a argila, e correlaciona-se negativamente com a componente mais grosseira do solo, aspecto comprovado por várias equipas de investigação (Moral et al., 2010; Barriguinha et al., 2021; Hubbard et al., 2021), sendo mesmo apresentados valores de referência de CE_a para determinadas características do solo (substrato rochoso, areia, argila, água, entre outros) (Ammoniaci et al., 2021).

Foi através dos resultados laboratoriais das amostras do solo e das medições do CI que se realizou a validação das ZHG.

É possível constatar que as zonas com maior potencial produtivo apresentaram maiores teores em argila, MO, pH, GSB, SBT e CTC e menores teores em areia. Da mesma forma, os valores mais baixos de CI (em todas as classes de profundidade consideradas: 0–15, 15–30 e 30–45 cm) coincidiram com zonas de maior potencial e vice-versa. A proporção relativa de areia e argila são das características do solo mais importantes, pois são as que mais influenciam a fertilidade do solo (Moral et al., 2019). A relação significativa entre a CE_a e a textura do solo é documentada em diversos estudos (Corwin & Lesch, 2005; Moral & Silva, 2010; Amoniaci et al., 2021; Hubbard et al., 2021; Esteves et al., 2022; Bottega et al., 2023), correlacionando-se positivamente com a argila e negativamente com a areia (Moral & Silva, 2010; Barriguinha et al., 2021; Hubbard et al., 2021). Neste estudo a CE_a média de 3–6 mS/m classifica o solo desta vinha como um solo de textura grosseira (Serrano et al., 2023c), classificação típica dos solos da região onde o estudo foi realizado.

A relação entre a CE_a e outras propriedades do solo analisadas, nomeadamente o teor de MO (Amoniaci et al., 2021), o teor de humidade (Rodríguez-Pérez et al., 2011; Serrano et al., 2013; Hubbard et al., 2021), a CTC, o pH, o magnésio e outros nutrientes do solo (Esteves et al., 2022), foram demonstrados numa ampla variedade de tipos e condições de solos (Sudduth et al., 2003). Em regiões áridas ou semiáridas, por exemplo, o teor em humidade é o principal factor que controla a produtividade das culturas de sequeiro, portanto este deve ser considerado um dos principais factores para validar ZHG, até pela relativa estabilidade temporal do seu padrão espacial, tal como comprovado em Serrano et al. (2023a). O teor de humidade do solo está dependente da topografia do terreno (Farrel et al., 2023), aspecto considerado neste estudo ao nível da definição das ZHG.

Em relação aos macronutrientes principais, fósforo e potássio (P_2O_5 e K_2O , respectivamente), na parcela das variedades de uvas brancas obtiveram-se valores médios anormalmente elevados na zona de potencial intermédio. Simultaneamente é possível constatar que o valor médio do teor de MO é também significativamente mais elevado na parcela das variedades brancas, (1,7%) do que na parcela das variedades tintas (1,0%). Este facto pode estar relacionado com a proximidade de uma pocilga (a montante da parcela das variedades brancas), e com eventual drenagem involuntária de efluentes de produção pecuária intensiva (dejectos animais). A parcela das variedades brancas apresenta um

declive gradual e suave (de Sul para Norte), o que pode ajudar a explicar este padrão espacial anormal do fósforo e do potássio e do teor em MO, aspecto confirmado em alguns estudos (Fraisse et al., 2001; Corwin & Lesch, 2005). Segundo estes, a topografia do terreno tem uma influência importante nos processos de formação do solo e, conseqüentemente na redistribuição das partículas minerais do solo e da MO, afectando o crescimento e desenvolvimento das culturas.

A CTC, por outro lado, está relacionada com o teor em argila, pelo que nas zonas de maior potencial produtivo (e de teores mais elevados de argila), são aquelas onde se verificam maiores valores de CTC. Em contraste, as zonas de menor potencial produtivo (e de teores mais elevados de areia), são aquelas que apresentam menores valores de CTC, aspecto demonstrado noutros estudos (Peralta & Costa, 2013).

O interesse pela definição (e validação) de ZHG sobressai quando se reflecte sobre os resultados deste estudo. Caso a fertilização fosse realizada com base na amostragem tradicional compósita de toda a área da vinha, os valores médios de fósforo e de potássio revelar-se-iam adequados, pelo que não se justificaria a necessidade de fertilização. No entanto, a amostragem inteligente (por zonas) realizada demonstra que a parcela das variedades tintas possui valores baixos de fósforo e de potássio (entre 30–40 mg.kg⁻¹), o que justifica a necessidade de adubação para ambos os nutrientes. A definição de ZHG permite, por isso, melhorar a eficácia do uso dos recursos, com impacto positivo, tanto económico como ambiental, em contraste com a gestão convencional e uniforme (Van Alphen & Stoorvogel, 2000; Balafoutis et al., 2017; Nawar et al., 2017). Esta estratégia (e a VP em geral) representa uma oportunidade para a agricultura no combate às alterações climáticas, através da redução das quantidades de factores de produção responsáveis pelas emissões de gases com efeito de estufa (por exemplo, fertilizantes, pesticidas) (Balafoutis et al., 2017).

A correlação entre a CE_a e a compactação do solo revelou uma relação inversa entre estes parâmetros (zonas de maior potencial produtivo apresentaram valores de CI mais baixos e vice-versa), comprovada em diversos estudos (Krajco et al., 2007; Rodríguez-Pérez et al., 2011; Pentos et al., 2021; Serrano et al., 2023a; Serrano et al., 2023b), onde alguns deles sugerem a utilização da CE_a como uma alternativa válida e rápida, para avaliar a compactação do solo (Krajco et al., 2007; Pentos et al., 2021).

As diferenças dignificativas entre as médias dos parâmetros do solo avaliados sugerem diferenças de potencial entre zonas, o que demonstra o interesse da CE_a na selecção de diferentes zonas de gestão dentro da vinha (Esteves et al., 2021).

No âmbito desta dissertação apenas foram utilizados parâmetros do solo na validação das ZHG. Contudo, este processo poderá e deverá ser complementado por informação expedita referente à cultura, nomeadamente através de leitura e cálculo de índices de vegetação como o NDVI. A definição de zonas de alto, intermédio e baixo potencial baseada na conjugação da informação da CE_a do solo e do NDVI foi demonstrada por Ferrer et al. (2020), Comparetti & Silva (2022) e Serrano et al. (2023a;2023c).

Comparetti & Silva (2022) concretizaram o uso destas ferramentas e da definição das respectivas ZHG para elaboração de mapas de prescrição de fertilizantes com tecnologia de taxa variável (VRT). Este é, no entanto, um desafio para a VP, que exige estabelecer correlações entre o vigor vegetativo das plantas, o rendimento de produção da cultura, a qualidade do vinho e as propriedades do solo, com o fim de produzir mapas de prescrição de inputs a taxa variável (Comparetti & Silva, 2022).

5 – Conclusões

Este trabalho teve como objectivo definir ZHG numa vinha, com recurso à medição expedita da CE_a do solo e validar estas ZHG, perspectivando uma gestão diferenciada.

Os resultados obtidos demonstraram que é possível através do mapa da CE_a identificar a variabilidade espacial do solo, definir e validar ZHG através de diversas propriedades físicas do solo, como a textura, a compactação ou o teor de humidade, mas também por propriedades químicas do solo, como o pH, o GSB, a SBT ou a CTC. Fica evidente o potencial destas ferramentas tecnológicas (sensores medidores de CE_a associados a receptores GPS) e da informação que disponibilizam com vista à modernização da viticultura.

As ZHG podem ser relevantes na instalação de novas vinhas, na gestão de vinhas plantadas ou na replantação de vinhas existentes, por exemplo, para a selecção de variedades mais adaptadas, ou para a orientação da vinha (tendo em conta a exposição solar, a drenagem, entre outros). Estas constituem a base para a gestão diferenciada da aplicação de fertilizantes, da rega ou das diversas técnicas culturais. Procura-se através desta gestão reduzir a aplicação de substâncias químicas, contribuindo para a diminuição dos custos e do impacto ambiental, tornando esta actividade mais sustentável, com maior produtividade e melhor qualidade. Esta gestão diferenciada pode ainda ser complementada com outras tecnologias, tais como sondas de humidade no solo, estações meteorológicas, ou imagens de satélite, entre outras.

Atendendo à reduzida área que envolveu este estudo exploratório (apenas 3,5ha), será importante em futuros trabalhos alargar esta abordagem metodológica a outros solos e a outras regiões. Por outro lado, será interessante associar também a resposta das plantas, por exemplo, com mapas de vigor vegetativo, de forma a integrar simultaneamente o binómio solo-planta. Na mesma perspectiva enquadra-se a avaliação da produtividade da cultura, neste caso através da vindima segmentada, para validar as ZHG definidas com base na CE_a do solo.

6 – Referências bibliográficas

- Ammoniaci, M., Kartsiotis, S., Perria, R., Storchi, P. (2021). State of the art of monitoring technologies and data processing for precision viticulture. *Agriculture*, 11(3), 1–20.
- Antunes, M., Lehmann, J., Eiras Dias, J., Böhm, J. (2011). Atlas das castas da Península Ibérica. Dinalivro, 320p.
- AOAC international: Arlington, TX, USA, 2005.
- Austin, M.E., Bondari, K. (1988). A study of cultural and environmental factors on the yield of *vitis rotundifolia*. *Scientia Horticulturae*, 34, 219–227.
- Assouline, S., Tessier, D., Filho, J.T. (1997). Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modeling. *Soil Science of America Journal*, 61(2), 390–398.
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Van Der Wal, T., Soto, L., Gómez-Barbero, M., Barnes, A.P., Eory, V. (2017). Precision agriculture technologies positively contributing to ghg emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability*, 9, 1339p.
- Barreto, S. (2015). Avaliação da variabilidade espacial numa pastagem permanente: novas tecnologias de apoio à gestão do ecossistema solo-planta-animal. Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora, 58p.
- Barriguinha, A., de Castro Neto, M., Gil, A. (2021). Vineyard yield estimation, prediction, and forecasting: A systematic literature review. *Agronomy*, 11, 1789.
- Batey, T. (2009). Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use and Management*, 25(4), 335–345.
- Bramley, R.G.V. (2001). Progress in the development of precision viticulture – variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards. In: Precision tools for improving land management, Eds. L.D. Currie and P. Loganathan (Massey University, New Zealand), 14, 25–43.
- Bramley, R., Ouzman, J., Boss, P. (2011). Variation in vine vigour, grape yield and vineyard soils and topography as indicators of variation in the chemical composition

of grapes, wine and wine sensory attributes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(2), 217–229.

Brevik, E.C., Fenton, T.E., Lazari, A. (2006). Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. *Precision Agriculture*, 7(6), 393–404.

Bottega, E.L., Marina, C.K., Oliveira, Z.B., Cordeiro, C.D.C., Amado, T.J.C. (2023). Soil density characterization in management zones based on apparent soil electrical conductivity in two field systems: rainfed and center-pivot irrigation. *AgriEngineering*, 5, 460–472.

Bullock, D.S., Kitchen, N., Bullock, D.G. (2007). Multidisciplinary teams: a necessity for research in precision agriculture systems. *Crop Science*, 47, 1765–1769.

Cataldo, E., Fucile, M., Mattii, G.B. (2021). A review: Soil management, sustainable strategies and approaches to improve the quality of modern viticulture. *Agronomy*, 11, 2359.

Cavaco, M., Calouro, F., Clímaco, P. (2005). *Produção integrada da cultura da vinha*. Direcção-Geral de Protecção das Culturas, MADRP/DGPC, 146p.

Comparetti, A., Silva, J.M. (2022). Use of sentinel-2 satellite for spatially variable rate fertiliser management in a Sicilian vineyard. *Sustainability*, 14, 1688.

Córdoba, M., Bruno, C., Costa, J., Balzarini, M. (2013). Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97, 6–14.

Corwin, D., Lesch, S. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, 11–43.

Cousin, I., Besson, A., Bourenname, H., Pasquier C., Nicoullaud, B., King, D., Richard, G. (2009). From spatial-continuous electrical resistivity measurements to the soil hydraulic functioning at the field scale. *Comptes Rendus Geoscience*, 341, 859–867.

Davies, R. (2004). Mapping soil properties for irrigation development in the Riverland of south Australia using EM38 In: Proc. 3rd Australian New Zealand Soils Conference. University of Sydney, Australia, 8p.

- Dijck, S., Asch, T. (2002). Compaction of loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France. *Soil and Tillage Research*, 63, 141–153.
- Doolittle, J., Petersen, M., Wheeler, T. (2001). Comparison of two electromagnetic induction tools in salinity appraisals. *Journal of Soil Water Conservation*, 56(3), 257–262.
- Esteves, C., Fangueiro, D., Braga, R.P., Martins, M., Botelho, M., Ribeiro, H. (2022). Assessing the contribution of ECa and NDVI in the delineation of management zones in a vineyard. *Agronomy*, 12, 1331.
- FAO. World Reference Base for Soil Resources; Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Soil Resources Reports N 103; FAO: Rome, Italy, 2006.
- Farrel, M., Leizica, E., Gili, A., Noellemeyer, E. (2023). Identification of management zones with different potential moisture availability for sustainable intensification of dryland agriculture. *Precision Agriculture*, 11, 114.
- Fraga, H., Pinto, J.G., Santos, J.A. (2019). Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: a multi-model assessment. *Climatic change*, 152, 179–193.
- Friedman, S.P. (2005). Soil properties influencing apparent electrical conductivity: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, 45–70.
- Fountas, A., Paraforos, D., Cavalaris, C., Karamoutis, C., Gemtos, T. A., Abu-Khalaf, N., Tagarakis, A. (2013). A five-point penetrometer with GPS for measuring soil compaction variability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 96, 109–116.
- Fraisse, C., Sudduth, K.A., Kitchen, N.R. (2001). Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. *Transactions of the ASAE*, 44(1), 155–166.
- Freixial, R. M.C., Barros, J. F.C. (2011). Agricultura de conservação. Texto de apoio para as unidades curriculares de “Sistemas e tecnologias agro-pecuários”, “Tecnologia do solo e das culturas e noções básicas da agricultura”. Departamento de Fitotecnia, Évora, 26p.

- Ghilardi, F., Virano, A., Prandi, M., Borgogno-Mondino, E. (2023). Zonation of a viticultural territorial context in Piemonte (NW Italy) to support terroir identification: the role of pedological, topographical and climatic factors. *Land*, 12(3), 647.
- Gladstones, J. (2011). *Wine, terroir and climate change*. Wakefield Press: Kent Town, South Australia, 93p.
- Gregorich, E.G., Carter, M. R., Angers, D. A., Monreal, C. M., Ellert, B.H. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 74, 367–385.
- Griffiths-Lee, J., Davenport, B., Foster, B., Nicholls, E., Goulson, D. (2022). Sown wildflowers between vines increase beneficial insect abundance and richness in a British vineyard. *Agricultural and Forest Entomology*, 25, 139–151.
- Grismer, M.R., Orang, M.N., Clausnitzer, V., Kinney, K. (1994). Effects of air compression and counterflow on infiltration into soil. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120, 11p.
- Hubbard, S.S., Schmutz, M., Balde, A., Falco, N., Peruzzo, L., Dafon, B., Léger, E., Wu, Y. (2021) Estimation of soil classes and their relationship to grapevine vigor in a Bordeaux vineyard: Advancing the practical joint use of electromagnetic induction (EMI) and NDVI datasets for precision viticulture. *Precision Agriculture*, 22, 1353–1376.
- Jelušić, I. R., Bonić, B. Š., Grgić, Z., Žiković, S., Osrečak, M., Puhelek, I., Anić, M., Karoglan, M. (2022). Grape quality zoning and selective harvesting in small vineyards – to adopt or not to adopt. *Agriculture*, 12(6), 1–22.
- Jordão, A. J. (2007). *Gestão do solo na vinha*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 9p.
- Karapetsas, N., Alexandridis, T.K., Bilas, G., Theocharis, S., Koundouras, S. (2023). Delineating Natural Terroir units in wine regions using geoinformatics. *Agriculture*, 13(3), 629.
- Katz, L., Bem-Gal, A., Litaor, M.I., Naor, A., Peres, M., Bahat, I., Netzer, Y., Peeters, A., Alchanatis, V., Cohen, Y. (2022). Spatiotemporal normalized ratio methodology to

- evaluate the impact of field-scale variable rate application. *Precision Agriculture*, 23, 1125–1152.
- Kay, B.D (1990). Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science*, 12, 1–52.
- Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Myers, D.B., Drummond, S.T., Hong, S.Y. (2005). Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, 285–308.
- Krajco, J. Detection of Soil Compaction Using Soil Electrical Conductivity. Master's Thesis, Cranfield University, Silsoe, UK, 2007, 3–92.
- Leeuwen, C., Friant, F., Choné, X. (2004). Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American journal of Enology and Viticulture*, 55(3), 207–217.
- Luck, E., Gebbers, R., Ruehlmann, J., Spangenberg, U. (2009). Electrical conductivity technology for precision farming. *Near Surf Geophys*, 7, 15–25.
- Magalhães, Nuno. (2015). *Tratado de Viticultura*. Esfera Poética, 608p.
- Martini, E., Comina, C., Priori, S., Costantini E. (2013). A combined geophysical-pedological approach for precision viticulture in the Chianti hills. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 54(2), 165–181.
- Matese, A., Di Gennaro, S.F. (2015). Technology in precision viticulture: a state of the art review. *International Journal of Wine*, 7, 69–81.
- Meerveld, T., McDonnell J. (2009). Assessment of multi-frequency electromagnetic induction for determining soil moisture patterns at hillslope scale. *Journal of Hydrology*, 368, 56–67.
- Moral, F.J., Terrón, J., Silva, J.M. (2010). Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil Tillage Research*, 106, 335–343.
- Moral, F.J., Terrón, J.M., Rebollo, F.J. (2011). Site-specific management zones based on the rasch model and geostatistical techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75, 223–230.

- Moral, F.J., Rebollo, F. J., Serrano, J. M. (2019). Estimating and mapping pasture soil fertility in the portuguese montado based on a objective model and geostatistical techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 500–508.
- Moral, F., Serrano, J. (2019). Using low-cost geophysical survey to map soil properties and delineate management zones on grazed permanent pastures. *Precision Agriculture*, 20, 1000-1014.
- Morari, F., Castrignanò, A., Pagliarin, C. (2009). Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard usig geo-electrical sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68(1), 97–107.
- Moutinho-Pereira, J.M., Correia, C.M., Gonçalves, B.M., Bacelar, E.A., Torres-Pereira, J.M. (2004). Leaf gás Exchange and water relations of grapevines grown in three different conditions. *Photosynthetica*, 42, 81–86.
- Mylonas, P., Voutos, Y., Sofou, A. (2019). A collaborative pilot platform for data annotation and enrichment in viticulture. *Information*, 10(4), 149.
- Nawaz, M.F., Bourrié, G., Trolard, F. (2012). Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 391–309.
- Nawar, S., Corstange, R., Halcro, G., Mulla, D., Mouazen, A.M. (2017). Delineation of soil management zones for variable-rate fertilization: a review. *Advances in Agronomy*, 1st ed, 143, 245p.
- Ortuani, B., Facchi, A., Mayer, A., Bianchi, D., Bianchi, A., Brancadoro, L. (2019). Assessing the effectiveness of variable-rate drip irrigation on water use efficiency in the vineyard in northern italy. *Water*, 11(10), 1–18.
- Pentos, K., Pieczarka, K., Serwata, K. (2021). The relationship between soil electrical parameters and compaction of sandy clay loam soil. *Agriculture*, 11, 114.
- Peralta, N.R., Costa, J.L. (2013). Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99, 218–226.
- Peralta, N. R., Costa, J. L., Balzarini, M., Angelini, H. (2013). Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas. *Canadian Journal of Soil Science*, 93(2), 205–218.

- Priori, S., Barbetti, R., L'Abate, G., Bucelli, P., Storchi, P., Constantini, E. (2014). Natural terroir units, Siena province, Tuscany. *Journal of Maps*, 10, 466–477.
- Proffitt, T., Bramley, R.G.V., Lamb, D.W., Winter, E. (2006). Precision viticulture: a new era in vineyard management and wine production, 1, 90p.
- Quelhas dos Santos, J. (2015). Fertilização – fundamentos agroambientais da utilização dos adubos e correctivos. *Publindústria, Edições Técnicas*, 537p.
- Rabello, L.M (2009). Condutividade eléctrica do solo, tópicos e equipamentos. *Embrapa Instrumentação Agropecuária*, 19p.
- Reynier, A. (1986). Manual de viticultura. *Publicações Europa-América*, 423p.
- Rhoades, J.D., Manteghi, N.A., Shouse, P.J., Alves, W.J. (1989). Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibrations. *Soil Science Society of America Journal*, 53, 433–439.
- Riou, C., Carboneau, A., Becker, N., Caló, A., Costacurta, A., Castro, R., Pinto, P.A., Carneiro, L.C., Lopes, C., Clímaco, P. (1994). Le determinisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. *Office des Publications Officielles des Communautés Européennes: Luxembourg*, 319p.
- Rodríguez-Pérez, J.R., Plant, R.E., Lambert, J.-J., Smart, D.R. (2011). Using apparent soil electrical conductivity (ECa) to characterize vineyard soils of high clay content. *Precision Agriculture*, 12, 775–794.
- Rouxinol, M.I., Martins, M.R., Salgueiro, V., Costa, M.J., Barroso, J.M., Rato, E.A., (2023). Climate effect on morphological traits and polyphenolic composition of red wine grapes of *vitis vinífera*. *Phenolic Compounds in Wine*, 9(1), 1–17.
- Saey, T., Meirvenne, M.V., Vermeersch, H., Ameloot, N., Cockx, L. (2009). A pedotransfer function to evaluate the soil profile textural heterogeneity using proximally sensed apparent electrical conductivity. *Geoderma*, 150, 389–395.
- Santos, J.A., Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M., Schultz, H. (2020). A review of the potencial

climate change impacts and adaptation options for european viticulture. *Applied Sciences*, 10(9), 3092.

Samouco, R. (1998). *Dicionário de Agronomia*. Plátano Edições Técnicas. Lisboa, 363p.

Serrano, J.M., Peça, J.O., Silva, J.R., Shahidian, S. (2010). Measurement and mapping the apparent soil electrical conductivity in pastures. *Revista de Ciências Agrárias*, 33(2), 5–14.

Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J.M. (2013). Apparent electrical conductivity in dry versus wet soil conditions in a shallow soil. *Precision Agriculture*, 14, 99–114.

Serrano, J., Peça, J., Silva, J.M., Shahidian, S. (2014a). Aplicação de fertilizantes: tecnologia, eficiência energética e ambiente. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(3), 270–279.

Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J.M. (2014b). Spatial and temporal patterns of apparent electrical conductivity: dual vs. single sensors for monitoring soil properties. *Sensors*, 14(6), 10024–10041.

Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J.M., Paixão, L., Calado, J., De carvalho, M. (2019). Integration of soil electrical conductivity and indices obtained through satellite imagery for differential management of pasture fertilization. *AgriEngineering*, 1, 567–585.

Serrano, J., Shahidian, S., Paixão, L., Silva, J.M., Moral, F. (2022). Management zones in pastures based on soil apparent electrical conductivity and altitude: NDVI, soil and biomass sampling validation. *Agronomy*, 12, 778.

Serrano, J., Mau, V., Rodrigues, R., Paixão, L., Shahidian, S., Silva, J.M., Paniagua, L., Moral, F. (2023a). Definition and validation of vineyard management zones based on soil apparent electrical conductivity and altimetric survey. *Environments*, 10(7), 2–22.

Serrano, J., Marques, J.M., Shahidian, S., Carreira, E., Silva, J.M., Paixão, L., Paniagua, L.L., Moral, F., Ferraz de Oliveira, I., Sales-Baptista, E. (2023b). Sensing and mapping the effects of cow trampling on the soil compaction of the montado Mediterranean ecosystem. *Sensors*, 23, 888.

- Serrano, J., Carreira, E., Shahidian, S., de Carvalho, M., Silva, J.M., Paniagua, L.L., Moral, F., Pereira, A. (2023c). Impact of deferred versus continuous sheep grazing on soil compaction in the Mediterranean Montado ecosystem. *AgriEngineering*, 5, 761–776.
- Shaner, D.L., Khosla, R., Brodahl, M.K., Buchleiter, G.W., Faraham, H.J. (2008). How well does zone sampling based on soil electrical conductivity maps represent soil variability. *Agronomy Journal*, 100(5), 1472–1480.
- Shi, Z., Wang, K., Bailey, J.S., Jordan, C., Higgins, A.H. (2002) Temporal changes in the spatial distributions of some soil properties on a temperate grassland site. *Soil Use and management*, 18, 353–362.
- Söderström, M., Eriksson, J., Isendahl, C. (2016). Sensor mapping of amazonian dark earths in deforested croplands. *Geoderma*, 281, 58–68.
- Stefanis, C., Giorgi, E., Tselemonis, G., Voidarou, C., Skoufos, I., Tzora, A., Tsigalou, C., Kourkoutas, Y., Constantinidis, T.C., Bezirtzoglou, E. (2023). Terroir in view of bibliometrics. *Stats*, 6(4), 956–979.
- Su, A.S.M., Adamchuk, V.I. (2023). Temporal and operation-induced instability of apparent soil electrical conductivity measurements. *Frontiers in Soil Science*, 3, 1137731.
- Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Bollero, G.A., Bullock, D.G., Wiebold, W.J. (2003). Comparison of electromagnetic induction and direct sensing of soil electrical conductivity. *Agronomy Journal*, 95, 472–482.
- Tardaguila, J., Stoll, M., Gutierrez, S., Proffitt, T., Diago, M. (2021). Smart applications and digital Technologies in viticulture: a review. *Smart Agricultural Technology*, 1, 100005.
- Unamunzaga, O., Besga, G., Castellón, A., Usón, M.A., Chéry, P., Gallejones, P., Aizpurua, A. (2014). Spatial and vertical analysis of soil properties in a Mediterranean vineyard soil. *Soil Use Management*, 30, 285–296.
- Usowicz, B., Lipiec, J. (2009). Spatial distribution of soil penetration resistance as affected by soil compaction: The fractal approach. *Ecological Complexity*, 6, 263–271.

- Van Alphen, B.J., Stoorvogel, J.J. (2000). A methodology for precision nitrogen fertilization in high-input farming systems. *Precision Agriculture*, 2, 319–332.
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Choné, X., Tregoat, O., Kounduras, S., Dubourdiou, D. (2004). Influence of climate, soil and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55, 207–217.
- Van Leeuwen, C., Seguin, G. (2006). The concept of terroir in viticulture. *Journal of wine research*. 17, 1–10.
- Van Leeuwen, C., Roby, J.P., De Resseguir, L. (2018). Soil-related terroir factors: a review. *OENO One*, 52, 173–188.
- Veloso, A., Sempiterno, C. Calouro, F., Rebelo, F., Pedra, F., Isabel, V.C., Gonçalves, M.C., Marcelo, M.E., Pereira, P., Fareleira, P., Jordão, P., Mano, R., Fernandes, R. (2022). *Manual de fertilização das culturas*. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, 469p.
- Verdugo-Vásquez, N., Acevedo-Opazo, C., Valdés-Gómez, H., Pañitru-De la Fuente, C., Ingram, B., Garcá de Cortázar-Atauri, I., Tisseyre, B. (2021). Identification of main factors affecting the within-field spatial variability of grapevine phenology and total soluble solids accumulation: Towards the vineyard zoning using auxiliary information. *Precision Agriculture*, 23, 253–277.
- Webb, L., Whelton, P., Barlow, E. (2007). Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13, 165–175.
- Whalley, W.R., Dexter, A.R. (1994). Root development and earthworm movement in relation to soil strength and structure. *Agronomy and Soil Science*, 38, 1–40.
- White, M., Whalen, P., Jones, G.V. (2009). Land and Wine. *Nature Geoscience*, 2, 82–84.
- Xu, H.W., Wang, K., Bailey, J., Jordan, C., Withers, A. (2006). Temporal stability of sward dry matter and nitrogen yield patterns in a temperate grassland. *Pedosphere*, 16, 735–744.

