

LARISSA GODARELLI FARINASSI

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL EM VINHEDO IRRIGADO NA
QUALIDADE DA UVA E DO VINHO "SYRAH" DE INVERNO**

Botucatu

2022

LARISSA GODARELLI FARINASSI

**INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL EM VINHEDO IRRIGADO NA
QUALIDADE DA UVA E DO VINHO “SYRAH” DE INVERNO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Luís Henrique Bassoi

Botucatu

2022

F225i	<p>Farinassi, Larissa Godarelli</p> <p>Influência da variabilidade espacial em vinhedo irrigado na qualidade da uva e do vinho "Syrah" de inverno / Larissa Godarelli Farinassi. – Botucatu, 2022</p> <p>134 p. : il., tabs., fotos, mapas</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Luis Henrique Basso</p> <p>1. Viticultura de precisão. 2. Umidade do solo. 3. Condutividade elétrica aparente do solo. 4. Índice de vegetação. 5. Vinho de inverno.</p> <p>I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

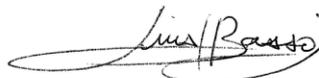
TÍTULO DA TESE: INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL EM VINHEDO IRRIGADO NA QUALIDADE DA UVA E DO VINHO "SYRAH" DE INVERNO

AUTORA: LARISSA GODARELLI FARINASSI

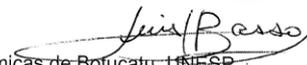
ORIENTADOR: LUÍS HENRIQUE BASSOI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Pesquisador Dr. LUÍS HENRIQUE BASSOI (Participação Virtual)
Embrapa Instrumentação / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



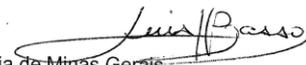
P/Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP



P/Prof. Dr. MARCO ANTONIO TECCHIO (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP



P/Pesquisadora Dr.ª RENATA VIEIRA DA MOTA (Participação Virtual)
Centro Tecnológico de Uva e Vinho / Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais



P/Prof. Dr. MARCEL BELLATO SPÓSITO (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz



Botucatu, 19 de julho de 2022

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o professor doutor Luís Henrique Bassoi, pela confiança no trabalho desenvolvido e pela autonomia que me foi concedida para realização desse estudo.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) / Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), campus de Botucatu, pela oportunidade de ter sido aluna dessa instituição, e por ter feito parte da história do Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Embrapa Instrumentação e à Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, pela disponibilidade de equipamentos e de infraestrutura necessária para a realização desse estudo.

Aos analistas, técnicos de laboratório e funcionários da Embrapa Instrumentação em especial a Silviane Zanni Hubinger e a Joana Dias Bresolin que me ajudaram e auxiliaram em muitas etapas importantes dessa jornada.

À Vinícola Terras Altas, pela concessão das áreas experimentais, e à equipe técnica composta pelos profissionais Ricardo Baldo, Fabiano Batistel e Luisa Tannure pelo apoio na realização da pesquisa.

Ao Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho, em Caldas - MG, que foi parceira no processo de microvinificação dos vinhos.

Aos meus amigos mais antigos que inúmeras vezes compreenderam a minha ausência pela distância, pelos compromissos indispensáveis que assumir durante o doutorado e mesmo assim sempre apoiaram a minha decisão de continuar a estudar. Um forte abraço Heloisa Formiga de Santana Bonfim, Michel Lima Bonfim, Lumena Charise Besson Rodrigues, Marcus Pignatari, Paloma Borges, Driéli Caroline

Pedrobon, Daiani Cris Pedrobon, Tatiany Aparecida Teixeira Soratto, Rayssa Teubner, Adriéli Pereira Oliveira, Maicon Rafael Apolonio, Gilmar Queiroz, Cleber Queiro, Diego Erpidio Maestrello, Isabele Silva, Juciéli Brito e Ricardo Ginez.

Aos amigos recentes quero agradecer a companhia nessa jornada, apoio e motivação para não desistir. Em especial ao meu companheiro de trabalho e amigo pessoal Bruno Ricardo da Silva Costa que me transmitiu muita sabedoria nos momentos de caos me ajudando a superar a saudade de casa, o medo, a frustração de não conseguir e me dando apoio para continuar um dia de cada vez. Aos amigos que fiz em São Carlos um abraço especial Anielle Coelho Ranulfi, Denise Parizotto, Liliane Samara Ferreira Leite e aos amigos que fiz no Edifício Residencial Jardim de Sevilha.

Aos meus pais Nelson Aparecido Farinassi e Fátima Terezinha Godarelli Farinassi, que me deram a vida e os princípios que me proporcionaram chegar onde estou hoje. Sabíamos que ia ser difícil fazer o doutorado longe de casa, que a saudade ia apertar, mais que sempre estaríamos juntos. A pandemia de covid 19 tornou as coisas ainda mais difíceis, a saudade que era grande ficou ainda maior. Foram inúmeras ligações por dia, muitas vezes felizes, muitas só querendo ouvir se eles estavam bem e pedir benção.

Por fim, agradeço a Deus, que me ouviu muitas vezes rezando, pedindo que tudo desse certo, que eu conseguisse passar por mais esse ciclo, que me desse saúde, não só a mim como a meus familiares e amigos.

RESUMO

A prática da agricultura de precisão na produção de uvas para elaboração de vinhos (vitivinicultura de precisão) permite ou requer a avaliação da variabilidade espacial de atributos do solo e da planta e a sua possível influência sobre as uvas e os vinhos. Esta avaliação pode ser utilizada para orientar práticas de manejo sítio-específico, visando a obtenção de vinhos com propriedades diferentes, mas provenientes de um mesmo vinhedo. Dessa forma, este estudo teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial de um vinhedo comercial e delimitar zonas de manejo com base em atributos do solo (condutividade elétrica aparente e umidade) e da planta (índices de vegetação). O estudo também avaliou se as zonas de manejo diferenciam-se entre si quanto aos atributos químicos e físico-hídricos do solo, bem como quanto aos atributos ecofisiológicos da videira, aos atributos quantitativos e qualitativos das uvas e à composição dos vinhos, em dois ciclos de produção subsequentes (2020 e 2021). O vinhedo objeto de estudo tem 1,1 ha e pertence à Vinícola Terras Altas, localizada em Ribeirão Preto, SP (21° 17' 24,53" S, 47° 50' 46,83" O, 730 m). A videira 'Syrah' (*Vitis vinifera* L.) foi enxertada sobre os porta-enxertos 'Paulsen 1103' e 'IAC 572', e plantada em 2017 no espaçamento de 1 x 2,8 m entre plantas e fileira, respectivamente. As plantas foram sustentadas pelo sistema de espaldeiras, conduzidas com cordão Royat bilateral, e irrigadas por gotejamento, com 1 emissor por planta. O manejo da dupla-poda da videira foi adotado para a realização da colheita de uvas no período de inverno (julho). Duas zonas de manejo (Z1 e Z2) foram delimitadas e orientaram a colheita diferenciada ou seletiva de uvas. A comparação entre as zonas de manejo foi feita considerando a discretização da área ocupada por cada porta-enxerto, isoladamente, e considerando também a área do vinhedo como um todo. Diferenças significativas entre as zonas de manejo foram observadas quanto aos atributos químicos e físico-hídricos do solo, com maiores valores das frações granulométricas areia e argila, respectivamente, em Z2 e Z1, e maiores valores de umidade e susceptibilidade magnética do solo em Z2. Não ocorreram diferenças entre zonas de manejo quanto à abertura estomática nas folhas de videira. As videiras em Z2 apresentaram maiores valores de massa total de cachos por planta, massa média de cachos, acidez titulável e pH, enquanto as plantas em Z1 foram associadas a maior razão sólidos solúveis / acidez titulável, teor de ácido tartárico e atividade antioxidante. Os vinhos oriundos de uvas de cada zona de manejo foram diferenciados conforme a

análise multivariada de suas características. A variabilidade espacial do vinhedo expressa por duas zonas de manejo tornou possível a implementação da colheita seletiva de uvas e elaboração de vinhos de inverno 'Syrah' com características distintas.

Palavras-chave: viticultura de precisão; umidade do solo; condutividade elétrica aparente do solo; índice de vegetação; vinho de inverno.

ABSTRACT

The practice of precision agriculture in the production of grapes for winemaking (precision vitiviniculture) requires the evaluation of the spatial variability of soil and plant attributes and their possible influence on grapes and wines. This evaluation can be used to guide site-specific agricultural practices for obtaining wine with differentiated properties and originated from the same vineyard. Thus, this study aimed to characterize the spatial variability of a commercial vineyard and the delimitation of management zones based on attributes from soil (apparent electrical conductivity and water content) and plant (vegetation indices). The study is also evaluated if management zones were different among themselves regarding the soil chemical and physical-hydric attributes, as well as in relation to the ecophysiological behavior, grape's quantitative and qualitative attributes, and wine properties, in two subsequent growing seasons (2020 and 2021). The vineyard evaluated has 1.1 ha and belongs to Terras Altas Winery, located in Ribeirão Preto, state of São Paulo, Brazil (21° 17' 24.53" S, 47° 50' 46.83" W, 730 m). Grapevine 'Syrah' (*Vitis vinifera* L.) was grafted onto 'Paulsen 1103' and 'IAC 572' rootstocks, and planted in 2017 at a spacing of 1 x 2.8 m between plants and rows, respectively. A vertical trellis system was used and plants were trained by a bilateral Royat cordon. A drip irrigation system with one emitter per plant was installed since planting. The double-pruned vine management was adopted for harvesting set up in the winter season (July). Two management zones (Z1 and Z2) were delimited and guided the performance of a differentiated or selective grape harvesting. The comparison between management zones was made considering the discretization of the area occupied by each rootstock, separately, and also the vineyard area as a whole. Significant differences between both management zones were observed regarding the soil chemical and physical-hydric attributes (higher values of sand and clay granulometric fractions, respectively, in Z2 and Z1; higher values of water content and magnetic susceptibility in Z2). No differences were observed regarding to grapevine's stomatal conductance. Grapevines in Z2 presented higher total bunch mass per plant, average bunch mass, titratable acidity and pH, while plants in Z1 was presented higher contents of soluble solids and tartaric acid and antioxidant activity. Wines from grapes from each management zone were differentiated according to a multivariate analysis of their characteristics. The

vineyard's spatial variability represented by two management zones makes possible the selective harvesting and the making of winter wines with distinct characteristics.

Keywords: precision viticulture; soil water content; apparent soil electrical conductivity; vegetation index; winter wine.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Panorama da vitivinicultura.....	15
2.2	Vitivinicultura de precisão	18
2.3	Cultivar.....	20
2.4	Porta-enxerto	20
2.5	Poda	21
2.6	Hipótese e objetivo.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	Caracterização da área experimental.....	23
3.2	Sistema e manejo de irrigação	25
3.2.1	Avaliação do sistema de irrigação	25
3.3	Monitoramento de atributos do solo.....	28
3.4	Monitoramento de atributos da planta.....	29
3.4.1	Índices de vegetação	29
3.4.2	Número de cachos por planta, pH, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e razão sólidos solúveis / acidez titulável	31
3.5	Georreferenciamento dos dados.....	34
3.6	Predição espacial de atributos do solo e da planta	34
3.7	Predição espacial do vigor vegetativo.....	35
3.8	Delimitação de zonas de manejo com base em atributos do solo e da planta.....	38
3.8.1	Calibração do sensor de umidade para as zonas de manejo.....	39
3.9	Validação das zonas de manejo	41
3.9.1	Atributos físicos, hídricos e químicos solo.....	41
3.9.2	Medidas de condutância estomática, teor relativo de clorofila e índice de área foliar	46
3.9.3	Atributos de produção e qualidade de bagas	48
3.9.4	Ácidos orgânicos	49
3.9.5	Compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante.....	49
3.9.6	Procedimento de microvinificação.....	50
3.9.7	Análises dos vinhos.....	51

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1	Predição espacial de atributos do solo e da planta	52
4.1.1	Mapeamento da condutividade elétrica aparente e da umidade do solo	52
4.1.2	Mapeamento do número de cachos por plantas , pH e sólidos solúveis	59
4.2	Predição espacial do vigor vegetativo	65
4.3	Delimitação de zonas de manejo com base em atributos do solo e da planta	73
4.4	Validação das zonas de manejo	74
4.4.1	Atributos físicos, hídrico e químicos do solo	74
4.4.2	Atributos climáticos	97
4.4.3	Medidas de condutância estomática, teor relativo de clorofila e índice de área foliar	99
4.4.4	Atributos de produção e qualidade de bagas	102
4.4.5	Ácidos orgânicos.....	109
4.4.6	Compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante	117
4.4.7	Análises dos vinhos	119
5	CONCLUSÕES	123
	REFERÊNCIAS	125

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, em função de sua dimensão territorial e das diferentes condições climáticas e geográficas, apresenta um fato único no mundo, que é a produção vitivinícola em três diferentes macrorregiões, cada uma com características próprias e vinhos com tipicidade específica. A primeira, chamada de viticultura tradicional, ocorre em condições de clima temperado e subtropical, no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo, onde a videira é podada uma vez ao ano. A segunda macrorregião situa-se no Vale do Rio São Francisco, no Nordeste do Brasil, de clima semiárido, e desde os anos de 1980 são produzidos os vinhos tropicais. Podem ser feitas duas podas e duas colheitas por ano, em diferentes épocas, e o escalonamento dos vinhedos possibilita a colheita ao longo do ano. A terceira macrorregião é recente, com a adoção do sistema de dupla poda da videira e realização de colheitas entre junho e agosto em Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Bahia, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Mato Grosso e Tocantins. Assim, são produzidos os vinhos de colheita de inverno, em clima subtropical e tropical de altitude, em vinhedos localizados entre altitudes de 600 a 1.200 m (PEREIRA et al., 2020).

No entanto, as condições climáticas das principais regiões vitícolas são inadequadas para a maturação das uvas e, em consequência, muitas vezes não é possível atingir o ponto de maturação tecnológica (açúcar e acidez) e/ou fenólica (antocianinas e taninos). Porém, em algumas localidades da região Sudeste, o outono/inverno apresenta as condições ideais para a maturação da uva destinada à produção de vinhos finos de alta qualidade: dias ensolarados, temperaturas amenas e noites frias (amplitude térmica) e clima seco (ausência de chuvas) (GALAZ et al., 2020). Isso contribui para a produção de aromas mais complexos e diferenciados; para a diminuição de problemas fitossanitários nas videiras; e para a evolução da maturação fenólica dos frutos.

A partir de 2001, a realização de um segundo ciclo da videira mediante duas podas anuais foi avaliada pelo Núcleo Tecnológico Uva e Vinho, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em Caldas, para que o período de maturação e colheita da uva coincidissem com o período de outono e inverno. Videiras 'Syrah' podadas em janeiro manifestaram um novo ciclo de vegetação e produção, com índices de brotação, fertilidade de gemas, maturação e sanidade superiores aos observados durante o verão (AMORIM et al., 2005; FAVERO et al.

2008). Assim, a prática da dupla poda consiste basicamente na realização de uma poda entre julho e agosto, após a colheita, para o ciclo de formação de ramos (segundo semestre do ano) com a remoção dos cachos e, cinco a seis meses após, uma poda para o ciclo de produção (primeiro semestre do ano). Com isso, há a mudança do período do ano em que se realiza a colheita da uva, ou seja, do verão para o inverno - junho e julho (REGINA et al., 2006; FAVERO et al., 2011; SOUZA et al., 2015).

A prática da dupla poda também permitiu a expansão da vitivinicultura a locais antes não considerados aptos ao cultivo de uvas viníferas, como é o caso da Vinícola Terras Altas, de Ribeirão Preto, SP, implantada em 2017 com a cultivar 'Syrah' e com a realização primeira colheita em julho de 2019. No entanto, para aumentar a competitividade do vinho fino, inclusive dessas novas áreas produtoras, deve-se buscar continuamente a melhoria no sistema de produção e o emprego de tecnologias, que possam contribuir para a redução de custos e aumento da qualidade da produção. Neste contexto, a vitivinicultura de precisão (VP), que busca a avaliação de dados e observações que caracterizam a variabilidade do vinhedo no espaço e no tempo, é a ferramenta que pode fornecer informações (subsídios) para a tomada de decisão pelo viticultor quanto à realização de uma prática de manejo de modo diferenciado ou em taxa variável.

Assim sendo, este estudo teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial em um vinhedo 'Syrah' em Ribeirão Preto - SP, irrigado por gotejamento e com sistema de sustentação de plantas em espaldeira, cuja produção de uvas é destinada para a obtenção de vinho de inverno. Duas zonas de manejo delimitadas, considerando-se atributos do solo e da planta, foram avaliadas quanto às diferenças entre si em relação aos atributos químicos e físico-hídricos do solo, aos aspectos produtivos e qualitativos das uvas e à composição dos vinhos, ao longo de dois ciclos de produção de uvas subsequentes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama da vitivinicultura

A vitivinicultura brasileira tem demonstrado expressivo crescimento, decorrente da expansão de novas áreas cultivadas em todo território brasileiro e das suas tecnologias empregadas na produção de uvas e elaboração de vinhos. Isso somente foi possível devido a variabilidade de solos e clima que o Brasil apresenta em seu vasto território apresenta, proporcionando assim um enorme potencial para obtenção de produtos com características distintas, e condições de agradar os diferentes paladares dos consumidores (GUERRA et al., 2009; especialmente NASCIMENTO, 2013).

Itália, França e Espanha produzem 53% do vinho consumido em todo o mundo, considerando os números referentes a 2020. Considerando toda a União Europeia, este número chega a 63% do volume de vinho em todo mundo. Estima-se que o vinho seja consumido em 200 países. Os cinco primeiros do ranking de consumo representam cerca de 50% do total: Estados Unidos, França, Itália, Alemanha e Reino Unido (OIV, 2021).

Em compensação tem-se notado aumentos na produção de uva de vinho em países como China, Nova Zelândia, África do Sul, Chile, Argentina e Brasil, os chamados países do “novo mundo vitícola” (PIMENTEL JUNIOR et al., 2019).

A tradicional produção de vinhos no mundo está situada em regiões de clima temperado, localizadas entre os paralelos 30 - 45° no hemisfério Norte e entre 29 - 42° no hemisfério Sul. A viticultura de clima temperado caracteriza-se por um ciclo anual, seguido de um período de dormência induzido pelas baixas temperaturas do inverno. É a viticultura tradicional no Sul e em regiões de altitude do Sudeste do Brasil, nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais (CAMARGO et al., 2011).

A viticultura brasileira exerce importante papel econômico no contexto de pequenas propriedades, bem como representa uma fonte de empregos e renda resultante do investimento de empresas privadas (MELLO, 2019). Na safra de 2020, a viticultura brasileira apresentou uma área colhida de 73557 ha, e uma área plantada de 74840 ha, com uma produtividade de 19602 kg ha⁻¹ (IBGE, 2020). Ainda segundo as informações do IBGE, a região Sul representou 73,28% do total da área cultivada,

com 59,25% da produção; seguida pela região Nordeste do país com (13,88%) de área e 28,73% de produção, e por último a região Sudeste com 12,53% do total da área cultivada do país, representando 11,68% da produção total.

O Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, aumentou em 4,9% a projeção para a safra de uva de 2021. Foram 78,4 mil toneladas a mais que o ano anterior, somando 1,7 milhão de toneladas. No Rio Grande do Sul, maior produtor (56,5% do total), a produção foi reavaliada com crescimento 8,5%, alcançando 950,2 mil toneladas. Boas condições climáticas e a introdução de variedades mais produtivas favoreceram a safra (IBGE 2021).

Outras regiões produtoras de uva também apresentaram crescimento da produção em relação a 2020, como Pernambuco (15,3%) e Bahia (8,9%), estados em que se localiza o Vale do São Francisco e que, junto com o Rio Grande do Sul, respondem por 82,6% da produção nacional de uva. Enquanto no Sul a produção de uvas destina-se principalmente a produção de vinhos e sucos, no Nordeste, a maior parte da produção de uvas destina-se para o consumo para mesa (IBGE 2021).

A vitivinicultura brasileira é uma atividade historicamente recente em comparação ao cultivo em tradicionais países produtores de vinhos, tais como França, Itália e Espanha que ocupam as primeiras posições mundiais em área cultivada e na produção de vinho (MARIN et al., 2008).

O cultivo de videiras no estado de São Paulo, desde o final do século XIX até a primeira metade do século XX, possui características importantes que permitiram o desenvolvimento da atividade na região, como a associação de condições climáticas e relevo favoráveis, as políticas de imigração e colonização, as possibilidades da diversificação agrícola a partir de 1930 e o papel da pesquisa e da assistência agrícola por parte dos órgãos estatais (ROMERO, 2004).

A produção de uvas no estado de São Paulo teve sua origem na região Leste, no entorno da capital e do município de Campinas, expandindo-se para o município de São Roque e posteriormente para a região de Jundiaí nas primeiras décadas do século XX, e ganhou expressão no Noroeste do estado, na década de 1980. Na região Leste, a atividade desenvolveu-se mediante o sistema tradicional de cultivo de uvas para mesa, cuja a variedade predominante é Niágara Rosada (*Vitis labrusca*), enquanto a produção de uvas finas para mesa, como as cultivares Itália, Rubi e Benitaka (*Vitis vinifera L.*), concentra-se nos municípios de São Miguel Arcanjo e Pilar

do Sul. Outro polo vitícola do estado de São Paulo está localizado na região Noroeste, em Jales e município vizinhos, tendo destaque a produção de uva para mesa. Observa-se a recente expansão da viticultura pelo estado em razão do cultivo de variedades de videiras destinadas a elaboração de vinhos finos, estabelecendo-se em municípios como Espírito Santo do Pinhal, Itobi e Divinolândia (PROTAS & CAMARGO, 2011). Em 2020 e 2021, foram produzidos, respectivamente, 1164 e 1958 ton. de uva para a indústria (IEA, 2022).

De acordo com o zoneamento pedoclimático realizado por Marin et al. (2008), mais de 70% do estado de São Paulo apresenta aptidão edáfica para o cultivo da videira, porém o potencial vitícola regional é mais proeminente nas estações de outono e inverno, pois estas estações apresentam condições climáticas favoráveis a maturação das uvas. Nesse contexto, uma das opções para remanejamento da safra para o período outono/inverno diz respeito a adoção de práticas de manejo, como o sistema de dupla poda, empregada para produção de uvas para vinhos finos no estado de Minas Gerais (MOTA et al., 2010) e na região de Jales para a produção de uva para mesa.

O manejo de dupla poda é baseado na realização de uma poda de formação dos ramos produtivos em meados de agosto, seguida de uma poda de produção dos ramos lignificados em janeiro, podendo-se estender a fevereiro, o que possibilita o início da maturação em abril e a colheita em junho e julho (REGINA et al., 2006). Desta forma, o manejo de dupla poda pode representar uma nova perspectiva para o desenvolvimento da vitivinicultura paulista (COSTA, 2021).

Outras práticas de manejo consorciadas ao sistema de dupla poda podem auxiliar na expansão da vitivinicultura pelo estado, sendo uma delas o uso da irrigação. A água é um dos fatores limitantes para a produtividade agrícola, principalmente devido à sua essencialidade nos processos metabólicos, fisiológicos e morfogênicos que ocorrem nas plantas.

No entanto, a irrigação deve ser realizada de forma criteriosa, pois, dependendo do volume de água aplicada, pode-se provocar distúrbios no crescimento das plantas. Em videiras sob níveis não restritivos de água no solo, o crescimento vegetativo é excessivo e compete com as bagas por fotoassimilados (DOKOOZLIAN & KLIEWER, 1996); por outro lado, um déficit hídrico muito severo pode causar redução de assimilados e afetar negativamente a produtividade e a qualidade dos

frutos, notadamente pela limitação fotossintética e/ou excessiva exposição dos cachos à radiação solar (TEIXEIRA et al., 2002).

A adaptação da videira às condições de estresse hídrico resulta em grande parte da sua capacidade de controlar a perda de água via transpiração, através do fechamento estomático, sendo este o único processo de resposta instantânea no contínuo solo-planta-atmosfera (LAWLOR & CORNIC, 2002). Este mecanismo de controle está diretamente ligado ao suprimento de gás carbônico para a folha e consequente diminuição da fotossíntese.

A disponibilidade hídrica também pode alterar a produção de ácidos orgânicos, pois videiras sem a imposição de déficit hídrico possuem um crescimento vegetativo maior e este pode influenciar a produção de ácidos orgânicos, como o ácido málico e tartárico (HEPNER et al., 1985). Por outro lado, esse mesmo crescimento proporciona um efeito de sombra na região dos cachos, mantendo-os mais protegidos do excesso de sol e sob menor temperatura, diminuindo a taxa de degradação do ácido málico na respiração, pois a mesma aumenta com temperaturas elevadas (KOUNDOURAS et al., 2006). Segundo Freeman & Kliewer (1983), o estresse hídrico poder causar incremento de até 44% no teor de antocianinas nas bagas. Alguns trabalhos destacam que o incremento de antocianinas por restrição hídrica ocorre pela redução no tamanho da baga, aumentando a proporção de película (OJEDA et al., 2005).

2.2 Vitivinicultura de precisão

Para o sucesso da vitivinicultura, torna-se importante a obtenção de informações sobre os fatores que interagem com os vinhedos, propiciando dessa forma o desenvolvimento de novas tecnologias que possam minimizar as perdas de produtividade e melhorar a qualidade das uvas.

Neste cenário, surge o conceito de agricultura de precisão (AP) que utiliza um conjunto de tecnologias que possibilitam o gerenciamento das culturas, levando em consideração a variabilidade espacial e temporal, visando a otimização da produção agrícola e a minimização do impacto ambiental (TERRA, 2012). A AP caracteriza-se pela adoção ou adaptação de práticas de manejo de acordo com as características específicas da área em questão, e faz com que a variabilidade dos atributos encontrados no solo e na planta seja considerada como elemento chave para a realização do manejo (VERHAGEN & BOUMA, 1997; ROBERT, 1999).

Para o uso da AP, de maneira eficiente e correta, deve-se, primeiramente, integrar as medidas e a compreensão de sua variabilidade e, posteriormente, usar as informações para manejar a variabilidade, associando a aplicação de insumos, usando o conceito de manejo localizado, e utilizando as máquinas e os equipamentos para a correta aplicação dos insumos a serem manejados. Apesar das tecnologias impulsionarem o desenvolvimento da AP, o conhecimento e o entendimento da variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo e das plantas e suas relações, aliado à possibilidade de manejar tal variabilidade, é que viabilizam a aplicação dos conceitos de AP (COELHO, 2003).

O emprego da AP é uma tecnologia relativamente recente no cultivo de videira, denominada de viticultura de precisão (VP), destacando-se os trabalhos pioneiros conduzidos nos Estados Unidos (WAMPLE et al., 1999) e na Austrália (BRAMLEY & PROFFITT, 1999). Portanto, a utilização de tecnologias de VP constitui-se em importante ferramenta para melhorar a qualidade e a competitividade dos vinhos brasileiros, no mercado interno e externo (MIELE et al., 2014).

A VP busca o levantamento de uma grande quantidade de informações disponíveis para caracterizar a variabilidade espacial do vinhedo e assim aconselhar recomendações para aprimorar a eficiência do manejo para progressos qualitativos, quantitativos e sustentáveis (MATESE & DI GENNARO, 2015). De acordo com Bramley et al. (2001), para atingir esse objetivo, há equipamentos e ferramentas que proporcionam aos vitivinicultores oportunidades de direcionar a produção de uva e de vinho de acordo com o desempenho do vinhedo para harmonizar sua produtividade e causar os menores danos ao meio ambiente.

Dentro do vinhedo é possível realizar o levantamento de inúmeras informações, a partir de amostras de solo, como atributos físicos e químicos, dados medidos diretamente em campo, como a condutividade elétrica aparente do solo (CEa), umidade do solo, índices de vegetação, teor de clorofila e dados laboratoriais como sólidos solúveis, pH, acidez titulável e ácidos orgânicos. As tecnologias utilizadas na VP para a aquisição de informações e tomada de decisão seguem em constante desenvolvimento durante os últimos anos, porém ainda são utilizadas em escala limitada devido à falta de capacitação de técnicos para que utilizem e entendam essa tecnologia em grande escala no setor vitícola (MATESE & DI GENNARO, 2015).

2.3 Cultivar

A 'Syrah' é originária do Vale do rio Rhône, na França, e apresenta porte semi-ereto, sendo facilmente identificada devido à presença abundante de tricomas de coloração branca na extremidade do ramo (FAVERO, 2007). É uma uva tinta adaptada a climas quentes, como o sul da França e Austrália, e apresenta grande importância para a vitivinicultura do novo mundo, com bom vigor vegetativo, produção regular, mas susceptível à podridão dos cachos (SOUZA & MARTINS, 2002).

A 'Syrah' apresenta folhas jovens de coloração verde clara e folhas adultas penta lobadas, com seio peciolar aberto. Seus ramos são frágeis, de coloração verde clara e entrenós longos. Seus cachos são longos, medianamente compactos e as bagas de coloração negra e de forma elíptica (DIAS, 2011) Trata-se de uma cultivar muito vigorosa, produtiva, respondendo bem à poda curta em regiões quentes. Possui um curto período de maturação e revela-se bastante sensível à podridão no final da maturação. Origina vinhos de coloração intensa, aromáticos, finos e complexos, aptos ao envelhecimento e de grande qualidade. Na França é a principal cultivar das denominações de origem Cotes Rôtie, Hermitage & Tain Hermitage (ENTAV, 1995).

2.4 Porta-enxerto

Em vitivinicultura voltada à obtenção de vinhos de qualidade, a escolha do porta-enxerto tem uma importância particular, em razão da sua influência direta sobre o rendimento e a qualidade da produção. O volume de produção alcançada, a cultivar, a densidade de plantio, o sistema de condução, o manejo do cultivo, juntamente com as condições de solo e clima, soma-se às vantagens alcançadas pelo porta-enxerto com destaque a sua adaptação (POUGET & DELAS, 1989; ALVARENGA, 2001).

A escolha do porta-enxerto ideal para determinado vinhedo deve ser precedida de uma análise físico-química do solo, o que permitirá adequar o porta-enxerto às características do solo, bem como do tipo de produto que se quer obter (POUGET & DELAS, 1989). Dentre as características do solo a serem observadas destacam-se a profundidade, a disponibilidade de água e a reação química do solo.

O porta-enxerto 'Paulsen 1103' (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*) destacou-se em solos secos de regiões italianas, e apresenta boa afinidade com as variedades europeias (*Vitis vinífera*) e resistência à fusariose (DIAS 2011). Possui facilidade para

enraizamento e bom pegamento na enxertia, sendo um dos porta-enxertos mais utilizados no Brasil, mas não é recomendado para regiões com pouca ventilação e com ocorrência de geadas frequentes durante a primavera (RIAZ et al., 2007).

O porta-enxerto 'IAC 572 Jales' (*Vitis caribaea* x 101-14 MGT *Vitis ripária* x *Vitis rupestris*), conhecido popularmente como 'Tropical sem vírus', é um dos mais utilizados nas principais regiões tropicais produtoras de uvas para mesa. É um porta-enxerto vigoroso, de fácil enraizamento e apresenta bom índice de sobrevivência quando transplantado para o campo, adaptando-se a solos argilosos, arenosos e ácidos (NACHTIGAL, 2003).

2.5 Poda

Na maioria das regiões vitícolas do mundo, a poda de frutificação é realizada anualmente e ao final do inverno, quando a planta está em repouso vegetativo, objetivando que a brotação coincida com o aumento da temperatura, que se inicia na primavera (REGINA et al., 2006b).

Ao contrário das regiões temperadas, as tropicais caracterizam-se por possuírem temperaturas sempre elevadas, não havendo frio suficiente para paralisarem a atividade vegetativa da videira, desde que haja disponibilidade hídrica para a planta. Nessas regiões, as plantas só entram em repouso vegetativo parcial, que é imposto por uma deficiência hídrica. Com isso, torna-se possível a produção de duas safras por ano e a variação do período de colheita por meio de duas podas de produção ao ano e manejo da irrigação.

Em estudos realizados na região Sul do estado de Minas Gerais, Amorim et al. (2005) observaram que através da técnica da dupla poda foi possível alterar o ciclo da videira 'Syrah', coincidindo o período de colheita com uma época em que as condições climáticas são mais favoráveis à maturação das uvas.

2.6 Hipótese e objetivo

A hipótese deste trabalho é que a variabilidade de atributos do solo e da videira em um mesmo vinhedo podem conferir características diferentes nas uvas e nos vinhos delas produzidos.

Assim sendo, este estudo teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial de um vinhedo comercial a partir da delimitação de duas zonas de manejo (Z1 e Z2) que englobam atributos do solo (condutividade elétrica aparente e umidade) e da planta (índices de vegetação). Além disso, a proposta do estudo foi avaliar se as zonas de manejo diferenciam-se entre si quanto aos atributos químicos e físico-hídricos do solo, bem como em relação aos aspectos produtivos e qualitativos das uvas e, conseqüentemente, à composição dos vinhos, ao longo de dois ciclos de produção subsequentes (2020 e 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi realizado em um vinhedo comercial no ciclo de produção de 2020 e 2021. O vinhedo está localizado em Bonfim Paulista, distrito do município de Ribeirão Preto - SP, na vinícola Terras Altas, contendo 1,1 ha, situado nas coordenadas geográficas 21° 17' 24,53" S e 47° 50' 46,83" O, e a uma altitude média de 730 m. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico nitossólico, textura argilosa (Santos et al., 2018). Segundo a classificação de Köeppen, o clima da região onde está localizado o vinhedo é Cwa, clima subtropical úmido, com inverno seco e verão quente, com índice pluviométrico entre 1300 e 1600 mm, e temperatura do ar média anual entre 20 e 22°C (ALVARES et al., 2013). Segundo os mesmos autores, janeiro é o mês mais quente e julho é o mês mais frio.

O vinhedo foi implantado em 2017 com a cultivar 'Syrah', sustentada no sistema de espaldeira e conduzida por cordão Royat bilateral, com quatro fios de arame - (primeiro fio de arame simples, estando posicionado a 80 cm do solo, segundo e terceiro fio de arame duplo 1,10 e 1,50 cm respectivamente e quarto fio de arame 1,85 cm), com uma altura total da espaldeira de 2 m. O espaçamento de 2,8 m entre fileiras e 1 m entre plantas. O vinhedo contém 24 fileiras, sendo 14 fileiras com as videiras enxertadas no porta-enxerto 'Paulsen 1103' (parte de baixo da Figura 1) e 10 fileiras com no porta-enxerto 'IAC 572' (parte de cima da Figura 1). Sendo as videiras cultivadas na fase norte do terreno na orientação norte sul.

Figura 1 - Imagem aérea do vinhedo, com as divisões dos dois porta-enxertos 'IAC 572' e 'Paulsen 1103'



Fonte: Google Earth website, 2021.

O controle de doenças, pragas e plantas invasoras foi realizado durante ambos os ciclos de produção de acordo com os procedimentos adotados pela vinícola. O desponte dos ramos foi realizado a uma altura de 10 cm acima do último fio, e no início da maturação das uvas de cada ciclo de produção uma tela de proteção aos cachos foi instalada em toda a extensão das espaldeiras, para minimizar os danos causados pelo ataque de pássaros e insetos (Figura 2).

Figura 2 - Tela para proteção dos cachos



Foto: Larissa Godarelli Farinassi - 2021



Foto: Larissa Godarelli Farinassi - 2021

A poda de produção do ciclo de 2020 foi realizada no dia 25 de janeiro, e a do ciclo de 2021 foi realizada no dia 02 de fevereiro. Nos dois ciclos foram mantidas a

gema da base e mais três gemas apicais. Foi realizada a aplicação de cianamida hidrogenada (Dormex® 5% v/v, 520 g i.a./l) para a superação da dormência das gemas. O desponte dos ramos foi feito mecanicamente e a desfolha na região dos cachos foi realizada manualmente para uma maior entrada de luz no interior do dossel no ciclo de 2020 e 2021.

3.2 Sistema e manejo de irrigação

O vinhedo é irrigado por um sistema de gotejamento, com vazão de projeto de 4 L h^{-1} à pressão de serviço de 100 KPa, com uma linha lateral para cada fileira de plantas, instalada a 0,5 m de altura do solo e sustentada por um fio de arame, contendo emissores (tipo orifício, online) espaçados em 1 m, para que cada planta tenha um gotejador (Figura 3).

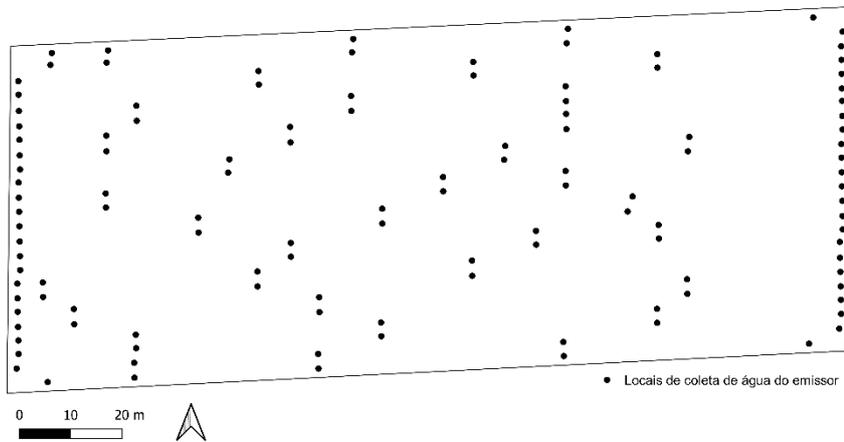
Figura 3 - Linha lateral do sistema de irrigação por gotejamento instalado no vinhedo



3.2.1 Avaliação do sistema de irrigação

A determinação da uniformidade de distribuição de água do sistema de gotejamento foi feita segundo a metodologia de Keller & Karmeli (1974). As vazões de 120 gotejadores foram coletadas, considerando todas as linhas laterais, incluindo o primeiro e último emissores, e mais três emissores intermediários ao longo da fileira (Figura 4).

Figura 4 - Malha utilizada para realização do teste de vazão no sistema de irrigação por gotejamento no vinhedo



A determinação da vazão foi realizada por meio da coleta com recipientes do volume de água aplicado pelo emissor durante o período de trinta segundos, e medição do volume por meio de uma proveta graduada. Posteriormente, foi determinado o coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD, segundo Criddle et al. (1956), (Equação 1); e o coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC, segundo Christiansen (1942), (Equação 2)

$$CUD = 100 * \frac{X_{25}}{X} \quad (1)$$

Onde:

CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição;

X_{25} : Média das 25% menores descargas dos emissores, em $L h^{-1}$;

X : Média das descargas de todos os emissores, em $L h^{-1}$.

$$CUC = 100 * \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X|}{n * X} \right] \quad (2)$$

Onde:

CUC: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen;

n : Número de observações;

X_i : Lâmina de água coletada no i -ésimo ponto sobre a superfície do solo;
 X : Lâmina média aplicada.

A Tabela 1 apresenta a classificação dos valores de CUD e CUC.

Tabela 1 - Classificação do CUD (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição), CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen) para sistemas de irrigação por gotejamento

Classificação	CUD (%)	CUC (%)
Excelente	>90	90 – 100
Bom	80 - 90	80 – 90
Razoável	70 - 80	70 – 80
Ruim	< 70	60 – 70
Inaceitável	-	-

Fonte: Adaptado de Mantovani (2001), Frizzone et al. (2012) e Borssoi et al. (2012).

O manejo de irrigação por gotejamento foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ET_c mm dia⁻¹), obtida pela evapotranspiração de referência (ET_o mm dia⁻¹), determinada por meio de estação agrometeorológica localizada no município de Pradópolis - SP, pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), que realiza leitura e coleta de dados horários. A partir desses dados calculou-se a ET_o , pelo método de Penman-Monteith FAO (ALLEN et al., 1998), utilizando o software SMAI 2.0 copyrights© desenvolvido pela Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP – Ilha Solteira. O coeficiente de cultura (K_c) para cada fase de desenvolvimento da videira de vinho conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente de cultura (k_c) para os diferentes estádios fenológicos da videira de vinho

Fase	k_c
Brotação ao início do florescimento	0,3
Início de florescimento até o início da maturação	0,7
Início da maturação até a colheita	0,4

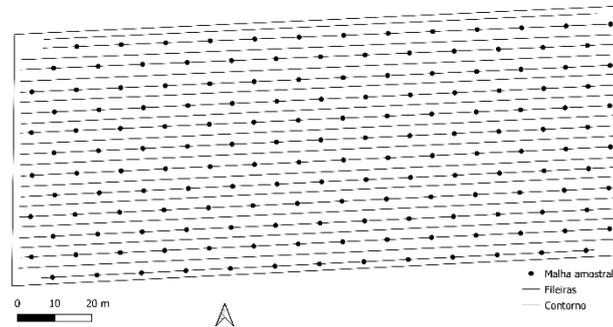
3.3 Monitoramento de atributos do solo

Medidas de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foram realizadas em 07 e 24 outubro 2019, no ciclo de formação de plantas (vegetativo), nas camadas de solo de 0,0 - 0,2 m e 0,0 - 0,4 m, com o auxílio de um medidor portátil que utiliza como processador central um microprocessador de fabricação da *Microchip Technology* (RABELLO et al., 2011) desenvolvido pela Embrapa Instrumentação, Figura 5 (B). Os dados foram coletados em fileiras de plantas intercaladas, a cada 6 plantas, resultando em uma grade amostral de aproximadamente 5,0 x 6,0 m, Figura 5 (A), a qual totalizou 321 pontos. As medidas de CEa foram novamente realizadas no ciclo de produção de uvas de 2021 (5 de maio).

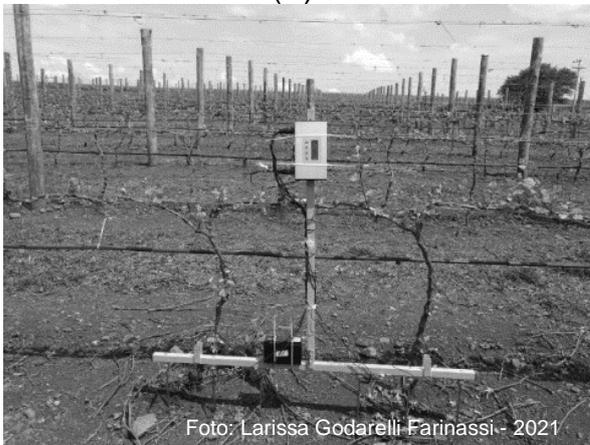
Leituras de umidade volumétrica do solo (θ) foram realizadas indiretamente com auxílio de um medidor HS2 (*Campbell Scientific, Inc.*) Figura 4 (C), utilizando haste de 0,2 m. O procedimento realizado consistiu em inserir a haste na posição vertical até todo seu comprimento atingir o interior do solo para a leitura de θ . As medidas de θ foram repetidas no decorrer do vinhedo com a mesma grade amostral utilizada na leitura da CEa, no mesmo dia e horário. As medidas de θ foram novamente realizadas nos ciclos de produção de uvas de 2020 (30 de junho e 7 de julho) e de 2021 (5 e 11 de maio e 9 de junho).

Figura 5 - Localização dos pontos de amostragem dos dados (A), medidor portátil da condutividade elétrica aparente do solo (B) e medidor portátil da umidade volumétrica do solo (C)

(A)



(B)



(C)



3.4 Monitoramento de atributos da planta

3.4.1 Índices de vegetação

Os dados de índice de vegetação por diferença normalizada (*normalized difference vegetation index* - NDVI) e índice de vegetação por diferença normalizada no vermelho limítrofe (*normalized difference red edge* - NDRE) foram medidos para identificar a variabilidade espaço-temporal do vigor vegetativo no vinhedo. Ambos os índices foram adquiridos por meio de um sensor ativo Crop Circle ACS-430 (*Holland Scientific*, Lincoln, NE, EUA) o qual incorporou três canais de medidas ópticas, fornecendo medidas simultâneas da reflectância espectral da cultura a nível de dossel

a 670 nm (ρ_R , vermelho), 730 nm (ρ_{RE} , vermelho limítrofe) e 780 nm (ρ_{NIR} , infravermelho próximo), a partir dos valores de reflectância medidos, (Tabela 3).

Tabela 3 - Índices de vegetação (IV) calculados a partir das medidas de reflectância fornecidas pelo sensor ACS – 430

Fórmula	Índice de Vegetação
$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)$	<i>normalized difference vegetation index</i> (índice de vegetação por diferença normalizada)
$NDRE = (\rho_{NIR} - \rho_{RE}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RE})$	<i>normalized difference red edge</i> (diferença normalizada do vermelho limítrofe)

ρ_R - reflectância no vermelho; ρ_{RE} - reflectância no vermelho limítrofe; ρ_{NIR} - reflectância no infravermelho próximo.

As medidas foram realizadas por meio de caminhamentos em todas as fileiras de plantas. Durante os caminhamentos, o sensor foi posicionado na parte superior do dossel das videiras (NDVI topo e NDRE topo), a uma distância de aproximadamente 0,3 m do mesmo, e configurado para 10 leituras por segundo. Também foi realizada leituras com o sensor posicionado na lateral do dossel das videiras (NDVI lateral e NDRE lateral), com aproximadamente 0,30 de distância da fileira (Figura 6).

Figura 6 - Sensor posicionado no topo do dossel da videira (esquerdo) e sensor posicionado na lateral do dossel da videira (direito)



As medidas de NDVI e NDRE foram realizadas durante o ciclo de produção de 2020 e 2021, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Datas e dias após a poda de produção (dap) das medidas do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e do índice de vegetação por diferença normalizada no vermelho limítrofe (NDRE), no ciclo de produção da videira 'Syrah' de 2020 e 2021

Estádio fenológico	Medidas - sensor Crop Circle ACS-430			
	2020		2021	
	Data	dap	Data	dap
Início da floração	03/mar	40	10/mar	37
Bagas em tamanho de "ervilha"	12/mar	49	24/mar	51
Cacho fechado	04/abr	70	21/abr	79
Após o início de maturação (pintor)	06/mai	104	11/mai	99
Amolecimento/maturação de bagas	04/jun	133	15/jun	134

No ciclo de 2020 foram realizadas medidas em cinco datas diferentes (Tabela 4), sendo cinco medidas no topo e quatro medidas na lateral, pois na primeira medida a cultura ainda estava em estágio inicial de desenvolvimento e os ramos não haviam alcançado o segundo arame de sustentação da videira. No ciclo de 2021, foram realizadas também em cinco datas diferentes (Tabela 4), sendo cinco medidas no topo e quatro medidas na lateral do dossel vegetativo.

3.4.2 Número de cachos por planta, pH, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e razão sólidos solúveis / acidez titulável

O número de cachos por planta (NC) é um indicativo de produção, e para a sua quantificação foi escolhida uma malha amostral de 321 plantas (Figura 7). Realizou-se a contagem de cachos por planta após o início da maturação (pintor), quando a visualização dos cachos era mais fácil. A mesma grade amostral foi mantida no ciclo de 2020 (aos 92 dap, 28 de abril) e 2021 (aos 98 dap, 10 de maio).

O mapeamento do pH, sólidos solúveis (SS), acidez total (AT) e a relação SS/AT foi realizado aos 115 dap (dias após a poda), após o início da maturação (25 de maio de 2020) e aos 133 dap quando a uva já encontrava-se em maturação plena (8 de junho de 2020), com uma malha amostral de 176 plantas (Figura 8). No ciclo de 2021 o mapeamento das variáveis que indicam o nível de maturação das uvas foi realizado em 145 dap (26 de junho de 2021), em maturação plena, com a mesma malha amostral da safra anterior com 176 plantas.

Figura 7 - Locais de contagem de número de cachos por planta

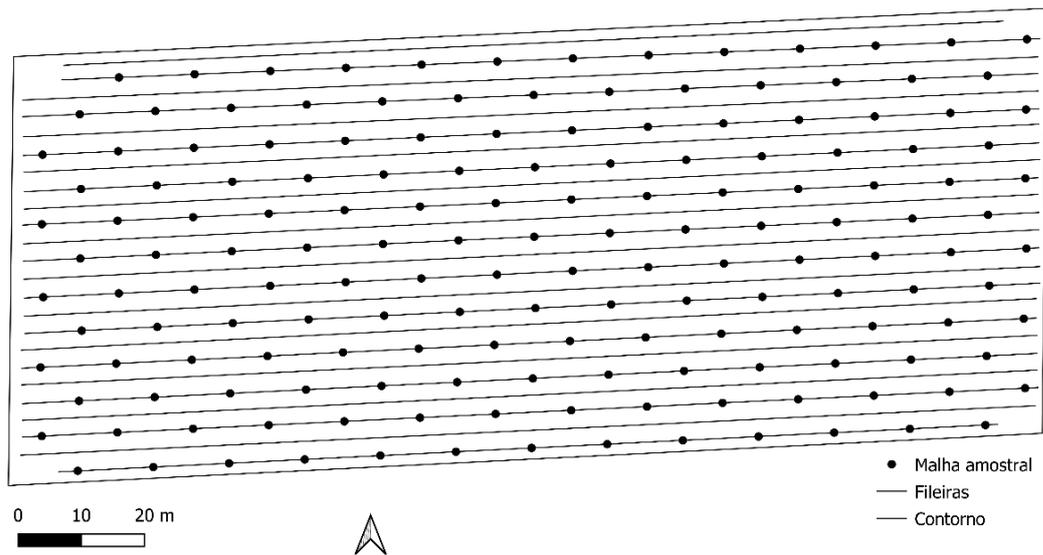
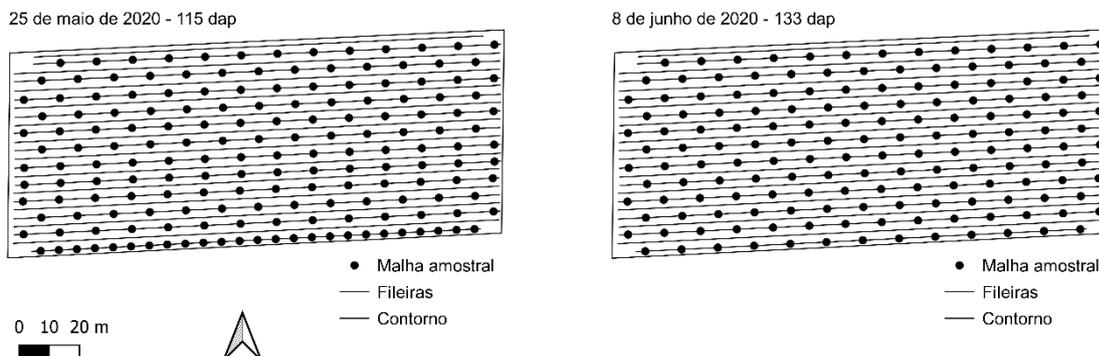


Figura 8 - Malha amostral para mapeamento de pH e sólidos solúveis nas uvas



As amostras foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos, refrigeradas imediatamente e transportadas ao Laboratório de Tecnologia de Pós Colheita na Embrapa Instrumentação, em São Carlos - SP, onde foram maceradas. O mosto obtido foi transferido para tubos Falcon de 50 ml.

Para a realização da leitura do pH, o peagâmetro foi inicialmente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0. Posteriormente, o pH do mosto de uva foi medido, com três leituras por amostras para o cálculo da média.

O teor de sólidos solúveis (°Brix) foi medido por um refratômetro de bancada Atago RX-5000cx (Figura 9), a temperatura 20 °C. Com o auxílio de uma pipeta descartável, o teor de sólidos solúveis foi quantificado inserindo-se alíquota de 2 - 3 ml de mosto na parte superior do prisma efetuando para a realização da leitura em

cada amostra, repetindo-se o processo por três vezes para cálculo dos valores médios.

Para a determinação da acidez titulável, 5 ml de mosto foi diluído em 25 ml de água destilada, e três gotas da solução de fenolftaleína foram adicionadas em um béquer de 50 ml. A titulação foi feita com a solução de hidróxido de sódio 0,1 N até o pH 8,20. Foram realizadas três repetições por amostra e após feito o cálculo do valor médio. A acidez total (g L^{-1}) foi calculada pela seguinte Equação 3:

$$\text{Acidez total} = \frac{n \cdot N \cdot 1000}{v} \quad (3)$$

Onde:

n: quantidade (ml) de solução de hidróxido de sódio gasta na titulação;

N: normalidade da solução de hidróxido de sódio;

V: volume da amostra em (ml).

Para a determinação da razão sólidos solúveis/acidez titulável, foi utilizado a média dos valores obtidos ($^{\circ}\text{Brix}$) e acidez.

Figura 9 - Peagômetro e refratômetro de bancada utilizados, respectivamente, para a medida de pH e sólidos solúveis nas uvas 'Syrah'



3.5 Georreferenciamento dos dados

O georreferenciamento dos dados de solo (CEa e θ) e da planta (IV, número de cachos por planta, pH e sólidos solúveis), coletados no vinhedo nos ciclos de produção de 2020 e 2021, foi realizado com o auxílio de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*; HiPer® GGD, TOPCON- base e *rover*), os quais permitem o aumento da precisão do posicionamento em tempo real por meio do método RTK (*Real Time Kinematic*). Para isso, durante a obtenção dos dados de solo ou da planta por meio de equipamentos eletrônicos compatíveis ao sistema de navegação, o receptor *rover* foi acoplado aos equipamentos para que o georreferenciamento dos mesmos fosse realizado.

3.6 Predição espacial de atributos do solo e da planta

A análise geoestatística dos dados coletados em ambos os ciclos de produção de uvas foi realizada inicialmente com base na verificação da dependência espacial dos dados por meio de semivariogramas experimentais isotrópicos e ajuste de modelos de semivariogramas teóricos (gaussiano, esférico e exponencial). Para o cálculo de semivariogramas experimentais de atributos com um número de pontos amostrais ≤ 500 , foi adotado o método do semivariograma local (SL) (HAAS, 1990).

Para os semivariogramas que apresentaram dependência espacial dos dados, o melhor modelo de ajuste foi adotado com base no menor valor obtido da raiz quadrada do erro médio (RMSE). Além disso, foram obtidos os parâmetros dos semivariogramas (efeito pepita, patamar, alcance da dependência espacial) e a força da dependência espacial dos dados foi classificada com base no grau de dependência espacial (GDE, %), sugerido por Zimback (2001), como fraca dependência para $GDE \leq 25\%$, moderada para $25\% < GDE \leq 75\%$ e forte dependência para $GDE > 75\%$.

A partir dos semivariogramas ajustados, a krigagem ordinária (WEBSTER; OLIVER, 2007) foi utilizada para a interpolação dos dados nos locais não amostrados do vinhedo. Por fim, mapas de zonas homogêneas foram gerados para cada atributo. O programa Vesper 1,62 (MINASNY et al., 2005) foi utilizado para o cálculo dos semivariogramas experimentais, ajuste dos modelos e interpolação dos dados.

A construção dos mapas para ambos os ciclos de produção foi realizada com auxílio do programa QGIS 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015). A delimitação

de zonas homogêneas (ZH) de todas as variáveis interpoladas foi realizada pelo método de Otimização de Jenks (JENKS, 1963), o qual permite minimizar a diferença intrazonas e maximizar a diferença entre zonas homogêneas. Para as variáveis CEa e θ , um número de duas ZH foi adotado, enquanto para as variáveis número de cachos por planta, pH, sólidos solúveis, acidez titulável e razão sólidos solúveis / acidez titulável em duas ZH foram utilizadas como padrão para representação dos mapas.

3.7 Predição espacial do vigor vegetativo

Para o tratamento dos dados de ambos os ciclos de produção foi utilizada a análise exploratória para orientar a distinção e remoção de valores discrepantes, denominados *outliers*, anteriormente ao procedimento de predição espacial, assumindo-se a regra de Chebyshev para esse fim, uma vez que se desconhecia o formato original da distribuição dos dados coletados. O percentual de valores incluídos no intervalo delimitado por k desvios padrões da sua distância em relação à média, foi calculado segundo a Equação 4.

$$\left[1 - \left(\frac{1}{k^2}\right)\right] * 100 \quad (4)$$

Desta forma, assumiu-se os valores da média ± 3 desvios padrões ($k = 3$) como os limites para a identificação de *outliers* o que assegurou uma porcentagem mínima de 88,89% dos dados dos IV distribuídos em torno da medida de tendência central mencionada.

A partir dos valores médios de cada IV correspondentes a cada época de monitoramento do ciclo de produção, analisou-se a relação entre a variação do vigor vegetativo e o avanço do ciclo da cultura, denotado pela contabilização dos dap. Isso se deu pelo cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson (r) e da análise de regressão, adotada para o ajuste de funções representativas da relação entre as variáveis citadas.

Em seguida, fez-se a avaliação da dependência espacial de ambos os IV a partir da análise geoestatística para posterior delimitação de zonas homogêneas (ZH) do vigor vegetativo das videiras. Essa análise compreendeu as etapas de ajuste de semivariogramas e de predição espacial e foi realizada utilizando-se o *software*

Vesper 1,6 *Variogram Estimation and Spatial Prediction plus Error* (MINANSY et al., 2005). Inicialmente, ajustou-se os semivariogramas teóricos aos semivariogramas experimentais utilizando-se o modo local disponibilizado no *software* mencionado, uma vez que a quantidade de observações de ρ e das posteriores estimativas do NDRE e NDVI em todas as avaliações ultrapassou 5000 pontos (OLIVEIRA, 2015).

Em virtude desta densidade amostral, o ajuste dos semivariogramas teóricos foi feito de forma automática, a partir da predefinição do modelo teórico exponencial, seguida da delimitação dessas funções por uma janela móvel (HAAS, 1990), durante a etapa seguinte de predição espacial. Ainda neste processo, considerou-se a razão do número de pares pelo desvio padrão da semivariância de cada *lag* específica como ponderador no ajuste dos modelos teóricos aos empíricos, conforme o método de regressão não-linear ponderada (JIAN et al., 1996). De acordo com Oliveira (2015), essa opção de ajuste é a mais utilizada nas análises realizadas a partir de conjuntos de dados provindos de monitoramento intensivo.

Diferentemente dos métodos globais utilizados para a descrição de uma variável regionalizada, o método local adotado para a caracterização da dependência espacial do NDRE e NDVI considerou apenas as observações distribuídas nas proximidades predefinidas de cada posição da grade de interpolação. Segundo Oliveira (2015), o ajuste local é capaz de registrar a variação em torno dos pontos interpolados de uma forma mais apurada, dada a redução da escala de abrangência da predição. Logo, isso resulta em incremento na precisão da inferência espacial realizada a partir de dados oriundos de monitoramento intensivo, a exemplo do que ocorreu no presente estudo. O modelo exponencial adotado para ajuste dos semivariogramas teóricos foi descrito pela Equação 5.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right] \quad 0 < h < d \quad (5)$$

Onde:

$\gamma(h)$: semivariância;

C_0 : efeito pepita;

C_1 : patamar;

a : alcance;

h : distância;

d: distância máxima na qual o semivariograma foi definido.

É recomendada a utilização do modelo exponencial ou esférico no ajuste automático realizado no Vesper em detrimento daqueles de maior complexidade, uma vez que os mesmos se tornam instáveis neste processo (OLIVEIRA, 2015). Contudo, dado o grande número de semivariogramas teóricos oriundos do método citado, não foi possível destacar os parâmetros individuais destes ou os seus indicadores de qualidade do ajuste nos resultados. Destaca-se ainda que foi desconsiderada a análise da anisotropia no estudo da dependência espacial dos IV nos vinhedos, uma vez que foi possível apenas o ajuste de semivariogramas isotrópicos a partir do *software* utilizado, o qual não dispunha de funções destinadas à avaliação dessa propriedade.

A segunda etapa da análise geoestatística consistiu na predição espacial realizada pelo método de krigagem ordinária, adotado para estimativa de valores do NDRE e NDVI em posições não abrangidas pela amostragem. Desta forma, definiu-se os contornos dos vinhedos como limites para elaboração das grades regulares utilizadas na interpolação, estabelecidas conforme uma resolução espacial de 0,50 m.

Na sequência, escolheu-se o método de krigagem em blocos de 25 m² (5 x 5 m) para dimensionamento espacial das estimativas dos IV. Assumiu-se ainda um número mínimo e máximo, respectivamente, de 90 e 200 pontos requeridos para compor a vizinhança considerada na execução da krigagem efetuada com ajuste local de semivariogramas. Por fim, os resultados interpolados foram exportados em arquivos de formato matricial (*raster*) e constituíram os mapas temáticos do vigor vegetativo, os quais foram importados em SIG (Sistema de Informações Geográficas) para posterior processamento dos dados. O mesmo método de quebras naturais mencionado no item 2.6 foi utilizado para categorização dos dados interpolados dos IV em duas ZH.

Foi realizado uma análise de regressão para descrever a relação entre os valores médios de NDVI e NDRE obtidos para cada posição do sensor (topo e lateral) e data de medida em ambos os ciclos de produção de uvas.

3.8 Delimitação de zonas de manejo com base em atributos do solo e da planta

Os atributos georreferenciados do solo (CEa e umidade), juntamente com a medida de NDVI realizada aos 104 dap (2020) e aos 99 dap (2021), quando a cultura se encontrava no início da maturação das uvas (Tabela 4), foram submetidos à procedimentos estatísticos e geoestatísticos para a caracterização da distribuição espacial e determinação de zonas manejo (ZM) para o vinhedo em estudo.

Duas diferentes metodologias foram adotadas para obtenção das ZM: a transformação de dados, por meio da normalização e padronização dos resultados interpolados; e a análise estatística multivariada. A normalização (Equação 6) dos valores das predições de cada variável resultou em um conjunto de dados com amplitude entre 0 (zero) e 1 (um), enquanto a padronização (Equação 7) originou um conjunto de dados dos escores padrão (z), com média equivalente a 0 (zero) e desvio padrão igual a 1 (um).

$$x_{ijnorm} = (x_{ij} - x_{jmin}) / (x_{jmax} - x_{jmin}) \quad (6)$$

$$z_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / s_j \quad (7)$$

Onde:

x_{ijnorm} : valor normalizado correspondente ao i-ésimo ponto do mapa interpolado da j-ésima variável;

x_{ij} : valor correspondente ao i-ésimo ponto do mapa interpolado da j-ésima variável;

x_{jmin} e x_{jmax} : valor mínimo e máximo correspondente a j-ésima variável;

z_{ij} : escore padrão correspondente ao i-ésimo ponto do mapa interpolado j-variável;

\bar{x}_j : valor médio pertinente a j-ésima variável;

s_j : desvio padrão da j-ésima variável.

Em seguida, foi feito o cálculo da média dos valores transformados de todos os mapas e a sua classificação em duas categorias, equivalentes a duas ZM, conforme o método de quebras naturais, de forma semelhante ao descrito no item 2.6 Assim, pelo método de transformação de dados, foram gerados dois mapas de ZM.

Para obtenção das ZM por análise multivariada, uma sequência de duas etapas foi realizada: a análise de componentes principais espacial (MULTISPATI-PCA) e a

classificação dos dados por análise de agrupamento utilizando o algoritmo fuzzy k-means, conforme o protocolo descrito por Córdoba et al. (2016).

Foram definidas duas ZM para a área de 1,1 ha, pois seria operacionalmente inviável um maior número de ZM para a realização de práticas agrícolas de modo diferenciado. Em cada ZM e em cada ciclo de produção, foram realizadas a caracterização quantitativa e qualitativa das uvas, a colheita e a vinificação.

3.8.1 Calibração do sensor de umidade para as zonas de manejo

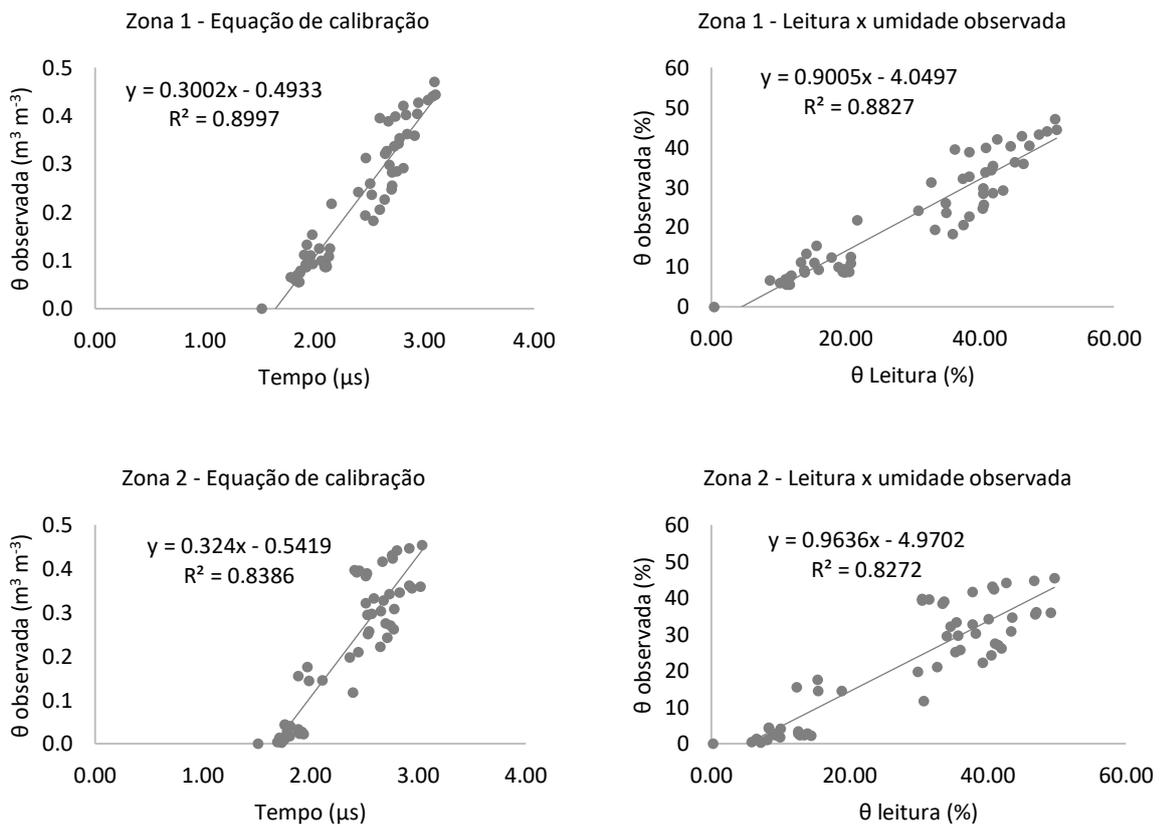
O sensor para a medida da umidade do solo HS2 foi calibrado a partir de amostras deformadas de solo de cada zona de manejo determinada. As amostras foram depositadas em recipientes de volume conhecido e submetidas a saturação por capilaridade e, posteriormente, a secagem para obtenção de uma amplitude de valores de umidade do solo, conforme metodologia adotada por Costa (2014). A secagem foi obtida por meio de estufa circulação de ar forçada 100°C. Neste procedimento, a massa de solo inserida no volume definido pelo tubo de PVC procurou reproduzir a densidade do solo em condições de campo. Todos os componentes (tubo de PVC, grelha e papel filtro) tiveram suas massas previamente determinadas, de modo que na determinação da massa do conjunto, a massa de água foi obtida pela subtração desses valores (solo, tubo de PVC, grelha e papel filtro) do valor total (Figura 10).

Desta forma, a calibração do equipamento se deu a partir do ajuste 57 de funções de regressão linear representativas da relação entre a resposta do sensor (período, μs) e a umidade volumétrica do solo (θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

Figura 10 - Conjunto de tubo de PVC, massa de solo, grelha e papel filtro utilizado na calibração do sensor de umidade do solo HS2



Figura 11 - Equações de calibração do sensor para a medida de umidade do solo pelo sensor HS2 para as duas zonas de manejo determinadas



3.9 Validação das zonas de manejo

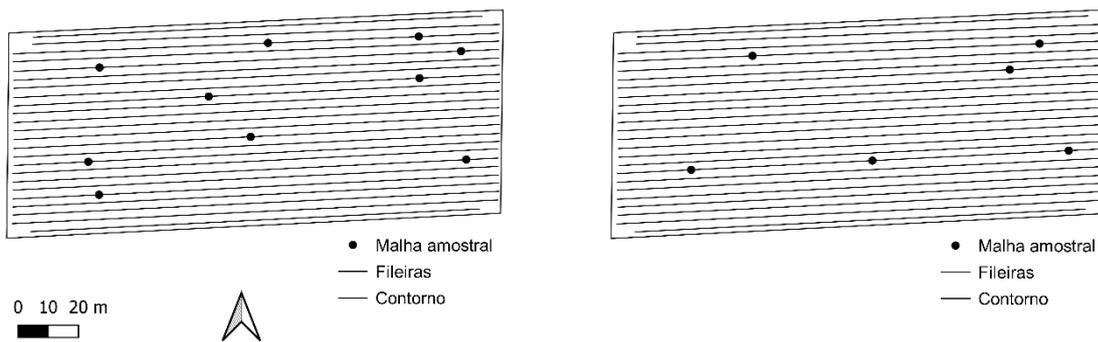
As diferenças entre ZM em 2020 e 2021, com base nos atributos do solo e da planta, foram verificadas a partir da aplicação de testes paramétricos ou não paramétricos, conforme o caso, admitindo-se os níveis nominais de significância de 1% ($\alpha = 0,01$), 5% ($\alpha = 0,05$) e 10% ($\alpha = 0,10$). Para a escolha do teste estatístico adequado considerou-se a avaliação dos pressupostos de normalidade da distribuição dos dados e homocedasticidade de variâncias. Para esta finalidade foram adotados o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e o teste F pra comparação entre duas variâncias. Nos casos em que ambas as suposições foram atendidas, adotou-se o teste t de Student para comparação entre as médias no que diz respeito aos atributos de cada camada. Por sua vez, nos casos em que apenas a suposição da normalidade foi satisfeita, utilizou-se o teste de t de Welch para comparação entre as médias dos atributos pertinentes a cada um dos intervalos de profundidade considerados. No entanto, quando o pressuposto da normalidade não foi atendido, procedeu-se com o teste não paramétrico da soma dos postos de Wilcoxon-Mann-Whitney, executado no intuito de realizar comparações entre as distribuições dos dados referentes a cada atributo, de modo a identificar diferenças significativas em relação as suas medianas.

3.9.1 Atributos físicos, hídricos e químicos solo

A comprovação da eficiência da aplicação das análises multivariadas para definição de ZM foi feita utilizando-se os atributos de solo (densidade de partículas solidas, densidade do solo, porosidade total, granulometria – areia, silte e argila) em diferentes profundidades.

Baseado nos mapas de zonas homogêneas gerados a partir de medidas de CEa e θ realizadas no ciclo de formação de plantas em 2019, foram determinados dez pontos para coleta de amostras deformadas de solo profundidades de 0,2 e 0,4 m, para a realização de análises em laboratório. Nesses mesmos pontos, também foram coletadas duas amostras de solo indeformadas por meio de cilindros de aço inox, com volume conhecido. Também foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo em outros seis pontos utilizados para a instalação das baterias de tensiômetros, nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60, 0,80 e 1,0 m (Figura 12).

Figura 12 - Localização dos pontos de amostragem de solo para análises em laboratório (esquerdo) e para instalação das baterias de tensiômetros (direito)



A densidade de partículas sólidas (d_p) e do solo (d_s) e a porosidade total (α) foram determinadas por meio de relações área-massa-volume (PREVEDELLO, 1996).

Para a determinação da d_p , utilizou-se uma alíquota de 0,02 kg de solo (m_s) seco em estufa (105°C , ~ 48 horas), depositada em um volume inicial de $2,00 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ de álcool etílico (v_1), contido em uma proveta graduada de $5,00 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ e registrou-se a medida do volume deslocado (v_2) pela massa de partículas em questão. Na sequência, a d_p (kg m^{-3}) foi calculada de acordo a Equação 8.

$$d_p = \frac{m_s}{\Delta_v} = \frac{m_s}{v_2 - v_1} \quad (8)$$

As estimativas da d_s (kg m^{-3}) e da α (%) foram obtidas a partir de amostras indeformadas obtidas na profundidade média dos dois intervalos considerados na amostragem, utilizando-se anéis volumétricos de dimensões conhecidas (v_t , $9,82 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$). Essas amostras foram submetidas a secagem em estufa (105°C , 48 horas) para posterior obtenção da massa de solo seco (m_s). Por fim, o cálculo dos atributos mencionados se deu conforme as Equações 9 e 10.

$$d_s = m_s * V_t \quad (9)$$

$$\alpha \approx 1 - d_s * d_p \quad (10)$$

A quantificação das proporções correspondentes a cada fração granulométrica do solo foi realizada conforme o método descrito por Vaz et al. (1992) e Naime et al. (2001), utilizando-se um analisador automático de raios gama. Assim, com base nas

porcentagens de partículas sólidas de diferentes diâmetros, a distribuição do tamanho das mesmas foi determinada segundo o ajuste da equação unimodal proposta por Fredlund et al. (2000), e modificada a partir do modelo original descrito por Fredlund & Xing (1994). Por sua vez, as curvas características do solo foram obtidas com base nos resultados da distribuição cumulativa de partículas sólidas, por meio de ajustes da função simplificada desenvolvida por Pham & Fredlund (2008). Tal Equação foi fundamentada na relação entre o conteúdo volumétrico de água (θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e o potencial matricial (ψ_m , kPa), estimada segundo o método proposto por Arya & Paris (1981), conforme descrito por Vaz et al. (2005).

Para cada profundidade, foram geradas curvas de retenção de água pelo solo, a partir dos dados das frações granulométricas e posterior cálculo da umidade do solo pelo do modelo de VAN GENUCHTEN (1980), cuja expressão permite a conversão do potencial mátrico em umidade volumétrica (Equação 11).

$$\theta_a = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\Psi_m|)^n]^m} \quad (11)$$

Onde:

θ_a : umidade atual do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_s : umidade de saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_r : umidade residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

Ψ_m : potencial matricial da água no solo (m^{-1});

α : parâmetro recíproco da pressão de entrada de ar (m^{-1});

θ_r : umidade residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

m e n : parâmetros recíprocos ($m = 1 - 1/n$) gerados pelo modelo.

Tabela 5 - Curvas de retenção para as cinco camadas de solo, em cada uma das seis baterias de tensiômetros

Bateria 1	θ_s	α	θ_r	m	n	Ψ_m	RMSE
0,0-0,20	0,6307	0,0572	0,3083	1460,1611	1,2262	855,9733	0,0004
0,20-0,40	0,6116	0,1101	0,2355	115787,6535	1,5897	2861,6537	0,0027
0,40-0,60	0,6116	0,1101	0,2355	115787,6535	1,5897	2861,6537	0,0027
0,60-0,80	0,5478	0,0954	0,2128	63908,7033	1,3954	5663,3360	0,0020
0,80-1,0	0,6035	0,1146	0,1992	9960,3496	1,2182	4328,4512	0,0023
Média	0,5984	0,0924	0,2499	75769,5814	1,4550	2988,8086	0,0018
Bateria 2							
0,0-0,20	0,5523	0,0254	0,3132	1052,9459	1,1534	987,3249	0,0001
0,20-0,40	0,5188	0,0028	0,3610	94531,6942	1,8968	708,7517	0,0001
0,40-0,60	0,5188	0,0028	0,3610	94531,6942	1,8968	708,7517	0,0001
0,60-0,80	0,6516	0,0583	0,3814	18181,8691	1,6181	792,6662	0,0007
0,80-1,0	0,6098	0,0312	0,3621	3014,9261	1,3321	862,2017	0,0001
Média	0,5710	0,0261	0,3440	23598,1496	1,4300	897,7863	0,0002
Bateria 3							
0,0-0,20	0,5315	0,0221	0,2942	680,4549	1,1125	858,9643	0,0002
0,20-0,40	0,6164	0,0140	0,3278	650,4580	1,1609	623,6416	0,0002
0,40-0,60	0,6164	0,0140	0,3278	650,4580	1,1609	623,6416	0,0002
0,60-0,80	0,5728	0,0212	0,2995	764,8729	1,1353	831,5556	0,0002
0,80-1,0	0,6056	0,0348	0,3723	6480,8762	1,4627	795,7759	0,0002
Média	0,5955	0,0214	0,3200	1844,4039	1,2033	757,2329	0,0002
Bateria 4							
0,0-0,20	0,5625	0,0266	0,3225	175,0194	1,0752	307,2009	0,0006
0,20-0,40	0,5689	0,0182	0,2217	20,5047	0,9409	71,2387	0,0012
0,40-0,60	0,5689	0,0182	0,2217	20,5047	0,9409	71,2387	0,0012
0,60-0,80	0,5630	0,0166	0,2235	12,6594	0,8559	61,9387	0,0012
0,80-1,0	0,4391	0,0396	0,1811	44,6988	1,0128	113,6043	0,0015
Média	0,5418	0,0254	0,2459	59,5384	0,9753	135,9955	0,0011
Bateria 5							
0,0-0,20	0,5651	0,0265	0,2836	631,5447	1,0958	889,8665	0,0002
0,20-0,40	0,4663	0,0348	0,2599	1524,1151	1,2037	1006,3232	0,0005
0,40-0,60	0,4663	0,0348	0,2599	1524,1151	1,2037	1006,3232	0,0005
0,60-0,80	0,4767	0,0707	0,1986	7755,8612	1,2232	3407,2926	0,0010
0,80-1,0	0,5110	0,0810	0,2081	19777,9846	1,3286	3616,6793	0,0012
Média	0,5257	0,0504	0,2505	6044,1192	1,1907	1930,1858	0,0006
Bateria 6							
0,0-0,20	0,4980	0,0123	0,2836	1300,2262	1,1616	1127,6864	0,0002
0,20-0,40	0,5146	0,0124	0,3227	1019,1904	1,2215	654,4104	0,0003
0,40-0,60	0,5146	0,0124	0,3227	1019,1904	1,2215	654,4104	0,0003
0,60-0,80	0,5692	0,0463	0,2994	1899,8498	1,2428	966,5147	0,0003
0,80-1,0	0,5638	0,0461	0,2957	2095,6491	1,2618	941,9335	0,0003
Média	0,5444	0,0301	0,3049	1521,8711	1,2156	928,0814	0,0002

θ_s - umidade de saturação ($m^3 m^{-3}$); α - parâmetro recíproco da pressão de entrada de ar (m^{-1}); θ_r - umidade residual ($m^3 m^{-3}$); m e n - parâmetros de ajuste da curva; Ψ_m - potencial matricial da água no solo (m^{-1}) e RMSE - erro médio quadrático do resíduo (PHAM & FREDLUND 2008).

A análise de dados dos atributos físico-hídricos do solo pertinentes a cada intervalo de profundidade considerado consistiu, primeiramente, na estimativa de estatísticas numéricas descritivas correspondentes ao cálculo de medidas de tendência central (média e mediana), dispersão (desvio padrão, erro padrão da média, variabilidade relativa em torno da média ou coeficiente de variação e amplitude entre valores interquartis) e formato (assimetria e curtose).

Para complementar a caracterização da variabilidade das duas ZM, avaliou-se a fertilidade do solo. Para isso, foram realizadas análises químicas de amostras de solo coletadas nos dez pontos amostrais, representados na Figura 12, em duas profundidades diferentes 0,0 - 0,2 e 0,2 - 0,4 e nos seis locais ao lado das baterias de tensiômetro em cinco profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,8 e 1,0 m. As análises químicas foram realizadas no Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP em Piracicaba, seguindo metodologias definidas pelo Manual de análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais (RAIJ et al., 2001). Também de modo complementar, as mesmas amostras de solo foram analisadas quanto a susceptibilidade magnética (SM), conforme descrito por Siqueira et al. 2010 e Marques et al. 2014.

O critério do local de instalação das baterias foi baseado nos mapas de zonas homogêneas gerados a partir nas medidas de CEA e θ realizados durante o ciclo de formação de plantas de 2019, sendo o critério, de instalação de três baterias em cada classificação dos mapas. Cada bateria contém cinco tensiômetros nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,8 e 1,0 m (Figura 13).

Os sensores de umidade foram instalados em profundidades diferentes para acompanhar a umidade ao longo do perfil do solo durante o ciclo de produção de 2020 e 2021. As leituras tensiométricas foram realizadas semanalmente com um tensímetro punção digital.

Figura 13 - Local de instalação dos tensiômetros para o monitoramento da umidade do solo (esquerdo). Bateria de tensiômetros instalados a 0,2; 0,4; 0,6 0,8 e 1,0 m de profundidade (direito)



3.9.2 Medidas de condutância estomática, teor relativo de clorofila e índice de área foliar

A condutância estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foi medida utilizando-se o porômetro de folha SC^{-1} (METER Group) em quatro datas no ciclo de produção de 2020 (143, 157, 164 e 171 dap), em seis plantas, durante a maturação das uvas, e em quatro datas no ciclo de produção de 2021 (86, 107, 114 e 121 dap), durante a fase de cacho fechado e maturação das uvas. Todas as medidas foram realizadas no período da manhã, com início às 9 horas, sempre na mesma orientação. As plantas monitoradas foram aquelas onde as baterias de tensiômetro foram instaladas. Desse modo procedeu-se o monitoramento da condutância estomática em videiras em ambas as ZM e em ambos porta-enxertos.

As medidas dos índices relativos de clorofila A (ICA), B (ICB) e A+B ou total (ICT) foram realizados em plantas georreferenciadas, em um total de 32 plantas, em ambos os porta-enxertos, utilizando-se o medidor portátil ClorofiLOG modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, RS, Brasil). As medidas dos índices relativos de clorofila foram feitas em quatro folhas por planta, sendo estas na porção intermediária do dossel vegetativo, completamente expandidas e com bom aspecto

fitossanitário. Para obtenção dos índices, o medidor utiliza fotodiodos para emissão de três comprimentos de onda: 635 e 660 nm (vermelho próximo) e 880 nm (infravermelho próximo). O sensor recebe a radiação transmitida através da folha, resultando em medidas proporcionais à absorvância das clorofilas (BARBIERI JÚNIOR et al., 2012). Essas leituras são expressas em unidade arbitrária adimensional (COSTA et al., 2019).

Para a medida da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), a qual corresponde a faixa entre os comprimentos de onda de 400 a 700 nm, utilizou-se um ceptômetro portátil modelo AccuPAR LP-80 (Meter Group Inc., Washington, EUA), o qual foi inserido no interior do dossel das plantas em três posições distintas em relação à altura do mesmo (topo, meio e fundo). Também foi utilizado outra metodologia, na qual realiza-se o posicionamento no sensor de modo que a haste fique na vertical, da planta, com aproximadamente 1,2 m de altura do chão a 0,30 m da planta, realizando três leituras; depois, afastando-se a 0,60 m da planta, realizando três leituras; e por último afastando-se a 0,9 m da planta, realizando três leituras. As medidas foram realizadas considerando-se também os dois porta-enxertos.

Essas medidas foram tomadas simultaneamente a RAF incidente acima das videiras, utilizando-se um sensor externo conectado ao ceptômetro. A fração de interceptação da RFA foi estimada conforme a razão entre as medidas obtidas em cada posição abaixo do dossel e àquelas tomadas acima do mesmo, segundo as Equações 12 e 13.

$$f \approx 1 - t \quad (12)$$

$$f = T/S \quad (13)$$

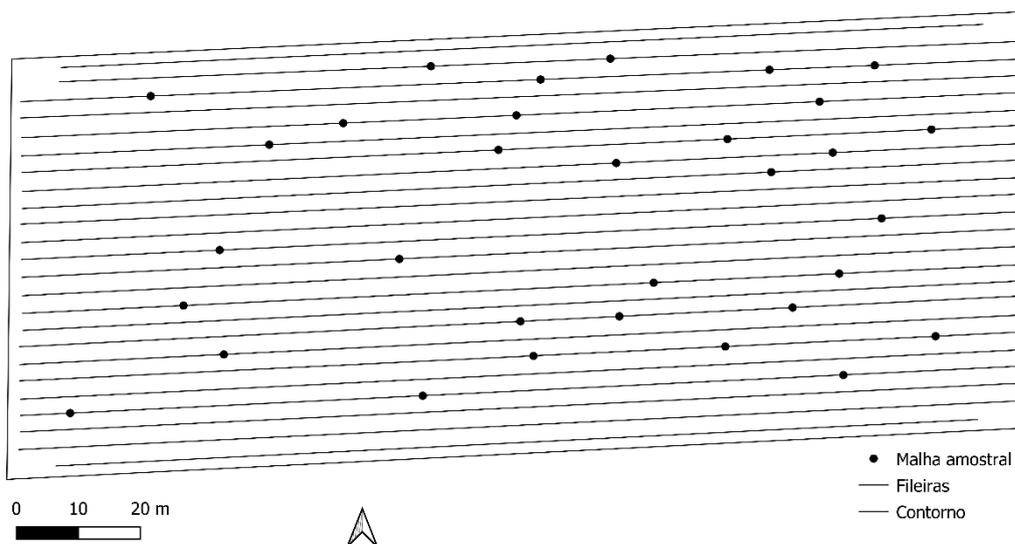
Onde:

f: fração de interceptação da RFA, adimensional;

T: medida da RFA tomada em uma determinada posição abaixo do dossel, $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$;

S: medida da RFA tomada acima do dossel, $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$.

Figura 14 - Locais de medida com o clorofilômetro e com o ceptômetro portátil (32 plantas), divididos igualmente pelos dois porta-enxertos presentes na área, a 73 dias após a poda de produção



A análise estatística utilizada foi o teste de comparação de médias, já descrito anteriormente para a análise dos atributos do solo.

3.9.3 Atributos de produção e qualidade de bagas

Para a validação das ZM em ambos os ciclos de produção de uvas, também foram utilizados atributos da planta (produção por planta, PD; massa média de cachos, MC; e número de cachos por planta, NC) de 40 plantas distribuídas ao longo das duas ZM, sendo 20 plantas em cada uma. Além disso, foram utilizadas as 24 parcelas com as variáveis de composição das bagas (sólidos solúveis, pH, acidez titulável, parâmetros do mosto e cascas e ácidos orgânicos).

Os métodos de determinação de pH, sólidos solúveis, acidez titulável e a relação sólidos solúveis /acidez titulável, adotados nessa análise foram descritos no item 2.4.2.

No dia da colheita (20 de julho de 2020 - 175 dap) e (19 de julho de 2021 - 168 dap), foram coletados 10 cachos em cada parcela para as análises de qualidade de baga, realizadas no Laboratório de Tecnologia de Pós Colheita da Embrapa Instrumentação, em São Carlos – SP. Foram retiradas 10 bagas de cada cacho (parte superior, média e baixa), totalizando 100 bagas por amostra. Foi determinada a

massa de 100 bagas (mg) de cada parcela e, posteriormente, as mesmas foram esmagadas para obtenção do mosto, que foi filtrado antes da quantificação de seu volume (ml). O mosto foi utilizado para as análises de pH, sólidos solúveis (°Brix) em refratômetro de bancada ATAGO e acidez total titulável (g.L^{-1}) pela titulação com NaOH 0,1N, utilizando a fenolftaleína como indicador (AOAC, 1995). Essas análises foram feitas em triplicada e seus valores médios foram calculados.

3.9.4 Ácidos orgânicos

Para a identificação e quantificação de ácidos orgânicos (tartárico, málico e gálico), foi utilizado o método da cromatografia líquida de alta eficiência (*high performance liquid chromatography* - HPLC), por meio do cromatógrafo líquida marca Perkin-Elmer equipado com um injetor Rheodyne de 20 μl , que funcionou em condições isocráticas.

Para a identificação dos ácidos, o mosto filtrado foi injetado no aparelho com coluna de Aminex HPX 87H, na fase móvel de H_2SO_4 5 mM, a temperatura de 50 graus, com fluxo de 0,6 ml/min, com as amostras diluídas 1:10 e filtradas em 0,45 μm nylon, com tempo de corrida de 18 minutos (para saída de todos os compostos), e com um tempo de equilíbrio de 10 minutos. A determinação da concentração do teor dos ácidos tartárico, málico e gálico (g L^{-1}) e a relação tartárico/málico foi obtida por meio da comparação da área do pico do ácido analisado no mosto com a superfície do pico do mesmo ácido das soluções padrões.

3.9.5 Compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante

Na colheita das uvas em 2020 e 2021, amostras de 100 bagas de cada parcela foram utilizadas para a análise de compostos fenólicos nas cascas e sementes, e da atividade antioxidante e de antocianinas nas cascas. As cascas e sementes de 100 bagas por parcela foram separadas, pesadas, congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas a $-20\text{ }^\circ\text{C}$ para determinação do teor de antocianinas e fenólicos totais.

As sementes foram imersas na solução alcoólica (metanol HCl 1%) em proporção correspondente ao volume de mosto das bagas. O volume do mosto foi determinado pela diferença entre a massa da baga e a massa das cascas + sementes. As sementes ficaram imersas por 48 h à temperatura ambiente e ao abrigo da luz com

agitações periódicas para a extração dos compostos fenólicos solúveis, que foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu (AMERINE & OUGH, 1980)

A determinação das antocianinas foi realizada pelo método da captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) por antioxidantes, produzindo um decréscimo da absorbância a 515 nm. Método proposto por (BRAND-WILIAMS et al., 1995; SÁNCHEZ-MORENO 2002; RUFINO et al., 2007; DU et al., 2011).

3.9.6 Procedimento de microvinificação

Na Vinícola Experimental do Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho, em Caldas – MG, as uvas colhidas em 2020 foram microvinificadas em função das ZM e dos dois porta-enxertos considerados, 'Paulsen 1103' e 'IAC 572'. As uvas colhidas em 2021 foram microvinificadas em função das ZM, sem distinção dos porta-enxertos.

As uvas colhidas ficaram armazenadas por 24 horas em câmara fria a 5°C, para reduzir o calor do transporte e evitar possíveis oxidações indesejáveis.

Os cachos foram desengaçados, as bagas esmagadas e colocadas em tanques de aço inox de 10 L de capacidade. Foi acrescentado anidrido sulfuroso (SO₂), na forma de metabissulfito de potássio, na dosagem de 50 mg L⁻¹ e 2 g hL⁻¹ de enzima pectinolítica. Os mostos foram inoculados com 20 g h L⁻¹ de levedura Maurivin AWRI 796 e ficam em contato com as cascas (maceração) por dez dias, sendo homogeneizados (remontados) uma vez por dia. Completado o período de maceração, foi feita a retirada do vinho, a prensagem manual do bagaço e a transferência do vinho para recipiente de vidro de 4,5 L de capacidade. Os vinhos passaram por fermentação malolática espontânea. Finalizada a fermentação malolática (detectada através de cromatografia em papel), os vinhos foram trasfegados para retirada das borras grossas e receberam adição de 100 mg L⁻¹ de metabissulfito de potássio e, em seguida, foram colocados em câmara fria a -2 °C para estabilização tartárica por quinze dias. Após trasfega adicional para a retirada da borra fina e cristais, os vinhos receberam nova adição de metabissulfito de potássio, de forma a corrigir os valores de SO₂ livre para 35 mg L⁻¹, e envasados em garrafas de 750 ml para acondicionamento na cave.

3.9.7 Análises dos vinhos

As determinações de pH, acidez total, acidez volátil, açúcar, álcool, extrato seco, índice de polifenóis totais (IPT), fenólicos, flavonoides, antocianinas, cor, cinzas e alcalinidade das cinzas foram realizadas no Laboratório de Enoquímica do Núcleo Tecnológico EPAMIG Uva e Vinho, em Caldas – MG. As metodologias de análises seguiram o procedimento operacional padrão (POP) descritos em EPAMIG (2013).

As análises de componentes principais (PCA) foram realizadas na composição dos vinhos produzidos nas safras de 2020 e 2021 (pH, acidez total, acidez volátil, açúcar, álcool, extrato seco, índice de polifenóis totais (IPT), fenólicos, flavonoides, antocianinas, cor, cinzas e alcalinidade das cinzas) por meio do software R para explorar as tendências ou grupos de formações dos compostos dos vinhos. Nessas mesmas amostras de vinho foram realizadas análises de agrupamentos hierárquicos aglomerativos (*bottom up*), para identificar a magnitude da similaridade, conforme a distância euclidiana, entre as amostras dos vinhos no que dizem respeito os porta-enxertos ‘Paulsen 1103’, ‘IAC 572’ e as zonas de manejo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Predição espacial de atributos do solo e da planta

4.1.1 Mapeamento da condutividade elétrica aparente e da umidade do solo

Na Tabela 6, podem ser observados os modelos teóricos dos semivariogramas ajustados com base nos dados conjuntamente coletados de CEa, nas camadas de solo de 0,0 - 0,2 m e 0,0 - 0,4 m, e de umidade do solo na camada de 0,0 - 0,2 m, em duas datas de mapeamento (7 e 24 de outubro de 2019). Todos os atributos apresentaram dependência espacial dos dados com base nos semivariogramas ajustados. Os modelos exponencial e esférico foram os que melhor se ajustaram para CEa, mas não mantiveram um padrão. No primeiro mapeamento (CEa_1) a 0,0 - 0,2 m, o modelo que melhor se ajustou foi o exponencial, e a 0,0 - 0,4 m, o melhor modelo foi o esférico, com valores de alcance da dependência espacial de 64,499 m e 52,077 m, respectivamente. A CEa nas duas camadas apresentou moderada dependência espacial dos dados (GDE < 75%), conforme classificação proposta por Zimback (2001) e um RMSE (erro médio quadrático do resíduo) de 0,028 para ambos ajustes. Para o mapeamento de umidade do solo a 0,0 - 0,2 m, o modelo que melhor se ajustou foi o gaussiano, com um alcance de 64,442 m, com uma dependência espacial moderada (GDE <75%), conforme Zimback (2001), e um RMSE de 0,014.

Tabela 6 - Modelos teóricos dos semivariogramas da condutividade elétrica aparente e umidade do solo do vinhedo e seus respectivos parâmetros de ajuste, nos dois mapeamentos realizados durante o ciclo de formação de plantas (7 e 24 de outubro de 2019)

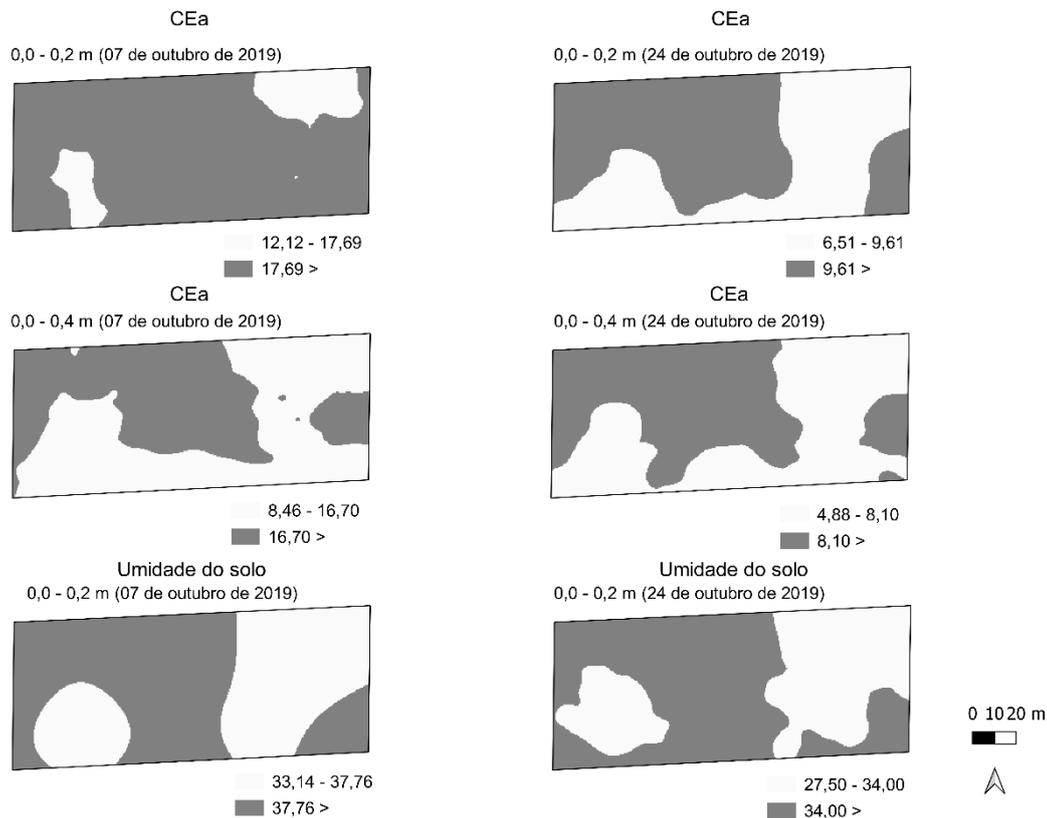
Atributo	Camada (m)	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	GDE ^(a) (%)	RMSE ^(b)
CEa_1	0,0 - 0,2	Exponencial	7,955	13,141	64,499	62,289	0,028
	0,0 - 0,4	Esférico	7,358	11,968	52,077	61,926	0,028
Umidade_1	0,0 - 0,2	Gaussiano	11,968	4,764	64,442	28,473	0,014
CEa_2	0,0 - 0,2	Esférico	12,879	4,483	91,406	25,822	1,536
	0,0 - 0,4	Exponencial	1,613	4,207	136,169	72,281	0,005
Umidade_2	0,0 - 0,2	Esférico	8,391	11,702	91,753	58,238	0,013

CEa: condutividade elétrica aparente do solo; (a) GDE: grau de dependência espacial de acordo com Zimback (2001); (b) RMSE: erro médio quadrático do resíduo.

No segundo mapeamento de CEa realizado nas duas camadas de solo, os ajustes dos semivariogramas foram inversos ao do primeiro mapeamento, sendo os melhores modelos o esférico para a camada de 0,0 - 0,2 m e o exponencial para a camada de 0,0 - 0,4 m, com alcances de 91,406 m e 136,169 m, respectivamente. A dependência espacial para ambos os ajustes ($GDE < 75\%$) foi moderada (Zimback, 2001), enquanto o RMSE foi de 1,536 e 0,005, respectivamente, para as camadas de 0,0 - 0,2 m e 0,0 - 0,4 m. Para o mapeamento da umidade do solo, o melhor modelo de ajuste de semivariograma foi o esférico, com alcance de 91,753 m, dependência espacial ($GDE < 75\%$) moderada (Zimback, 2001), e o RMSE é igual a 0,013.

Os mapas de CEa a 0,0 - 0,2 m (Figura 15) apresentaram um padrão semelhante na distribuição dos dados. Anteriormente a realização do primeiro mapeamento de CEa, ocorreu uma chuva (40 mm), contribuindo para medidas de CEa com maior homogeneidade em quase toda a área e com valores mais elevados em comparação ao segundo mapeamento. No primeiro, foram encontrados valores de CEa que variam entre 12,12 e 17,69 $dS\ m^{-1}$ na zona de menor CEa, e valores superiores a 17,89 $dS\ m^{-1}$ na zona de maior CEa. No segundo mapeamento nessa mesma camada, foram encontrados valores inferiores ao do primeiro, pois não ocorreram chuvas nos dias que antecederam a coleta de dados. Os valores variaram de 6,51 e 9,61 $dS\ m^{-1}$ na zona de menor CEa (parte dessa zona possuiu um aumento expressivo em área em relação ao primeiro mapeamento), enquanto que na zona de maior CEa foram encontrados valores $> 9,61\ dS\ m^{-1}$.

Figura 15 - Mapas de condutividade elétrica aparente do solo (dS m^{-1}) do vinhedo nos dois mapeamentos realizados na área durante o ciclo de formação de plantas (7 e 24 de outubro de 2019).



Os mapas de CEa na camada de solo de 0,0 - 0,4 m (Figura 15) apresentaram padrões semelhantes em ambos as datas. A magnitude da chuva ocorrida antes do primeiro mapeamento não foi suficiente para influenciar as medidas de CEa nessa camada. No primeiro mapeamento os valores da zona de menor CEa ficaram entre 8,46 e 16,7 dS m^{-1} , e a zona de maior CEa apresentou valores maiores que 16,7 dS m^{-1} ; no segundo mapeamento, os valores foram de 4,88 a 8,1 dS m^{-1} e maiores que 8,7 dS m^{-1} na zona de menor e maior CEa, respectivamente.

Os valores de umidade do solo a 0,0 - 0,2 m no primeiro mapeamento foram superiores aos obtidos no segundo (Figura 15), podendo estar relacionado com a chuva que antecedeu a primeira coleta de dados. Os padrões das zonas de menor e maior umidade foram semelhantes aos mapas de CEa, com valores entre 33,14 e 37,76 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (primeiro mapeamento) e entre 27,50 e 34,0 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (segundo mapeamento) na zona de menor umidade, e valores maiores que 37,76 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (primeiro mapeamento) e 34,00 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (segundo mapeamento) na zona de maior umidade.

Comparando visualmente os mapas de CEa (Figura 15) e de umidade (Figura 16), notamos o mesmo padrão em todos, com as delimitações de zonas de menor e maior CEa coincidindo, respectivamente, com as zonas de menor e maior umidade do solo.

No ciclo de produção de uvas de 2020, foram realizados o terceiro e quarto mapeamento de umidade solo, ambos durante a fase reprodutiva da videira, os quais apresentaram dependência espacial, sendo possível realizar o ajuste do semivariograma. Os modelos esférico e exponencial foram os que melhor se ajustaram, com alcances de 28,79 m e 93,63 m, com dependências fraca (GDE < 25%) e moderada (GDE > 75%) conforme Zimback (2001), e RMSE de 0,375 e 0,532, respectivamente (Tabela 7).

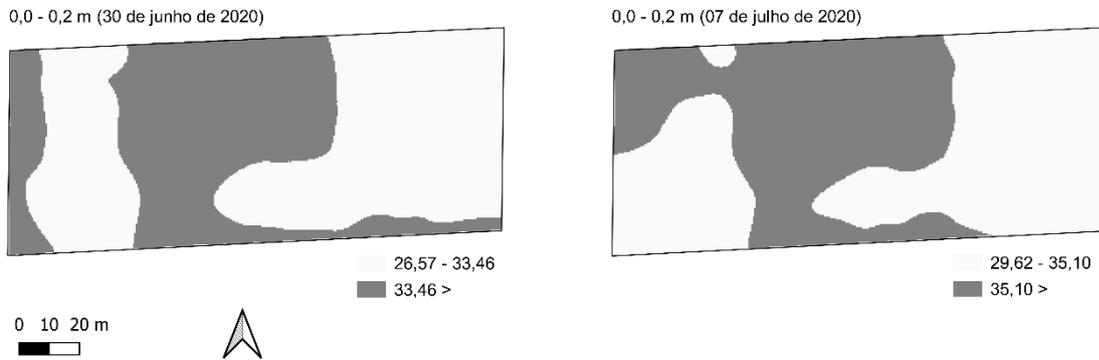
Tabela 7 - Modelos teóricos dos semivariogramas da umidade do solo do vinhedo e seus respectivos parâmetros de ajuste, dois mapeamentos realizados durante o ciclo de produção de uvas de 2020 (30 de junho e 14 de julho de 2020)

Atributo	Camada (m)	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	GDE ^(a) (%)	RMSE ^(b)
Umidade_3	0,0 - 0,2	Esférico	2,961	0,375	28,790	11,254	0,375
Umidade_4	0,0 - 0,2	Exponencial	24,060	35,390	93,630	59,529	0,532

(a) GDE: grau de dependência espacial de acordo com Zimback (2001); (b) RMSE: erro médio quadrático do resíduo.

O terceiro e quarto mapeamentos (Figura 16) apresentaram padrões semelhantes aos dois primeiros realizados no ciclo de formação em 2019 (Figura 15). Valores de umidade bem próximos foram encontrados em ambos os mapas do ciclo de produção de 2020 (entre 26,57 e 33,46 m³ m⁻³ e 29,62 e 35,1 m³ m⁻³ na zona de menor umidade, e maiores que 33,46 e 35,1 m³ m⁻³ na zona de maior umidade, respectivamente, no terceiro e quarto mapeamentos). Houve dependência espacial para ambos os ajustes dos semivariogramas, foram esférico e exponencial para o terceiro e quarto mapeamento, respectivamente. O grau de dependência espacial foi fraco (GDE < 25%) e moderado (GDE > 75%), respectivamente, segundo Zimback (2001), enquanto o RMSE foi de 0,375 e 0,532, respectivamente, com um alcance de 28,79 e 93,63 m.

Figura 16 - Mapas de umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) do vinhedo nos dois mapeamentos realizados na área durante o ciclo de produção de uvas de 2020 (30 de junho e 7 de julho de 2020).



No ciclo de produção de uvas de 2021, foram realizados novamente os mapeamentos de CE, com os ajustes esféricos dos semivariogramas para ambas camadas 0,0 - 0,2 e 0,0 - 0,4 m, com alcances de 13,380 m e 43,250 m, respectivamente. A dependência espacial na camada de 0,0 - 0,2 m obteve (GDE < 75%) considerada moderada e na segunda camada 0,0 - 0,4 m obteve (GDE < 25%) considerada fraca (Zimback, 2001), enquanto o RMSE foi de 3,405 e 7,038.

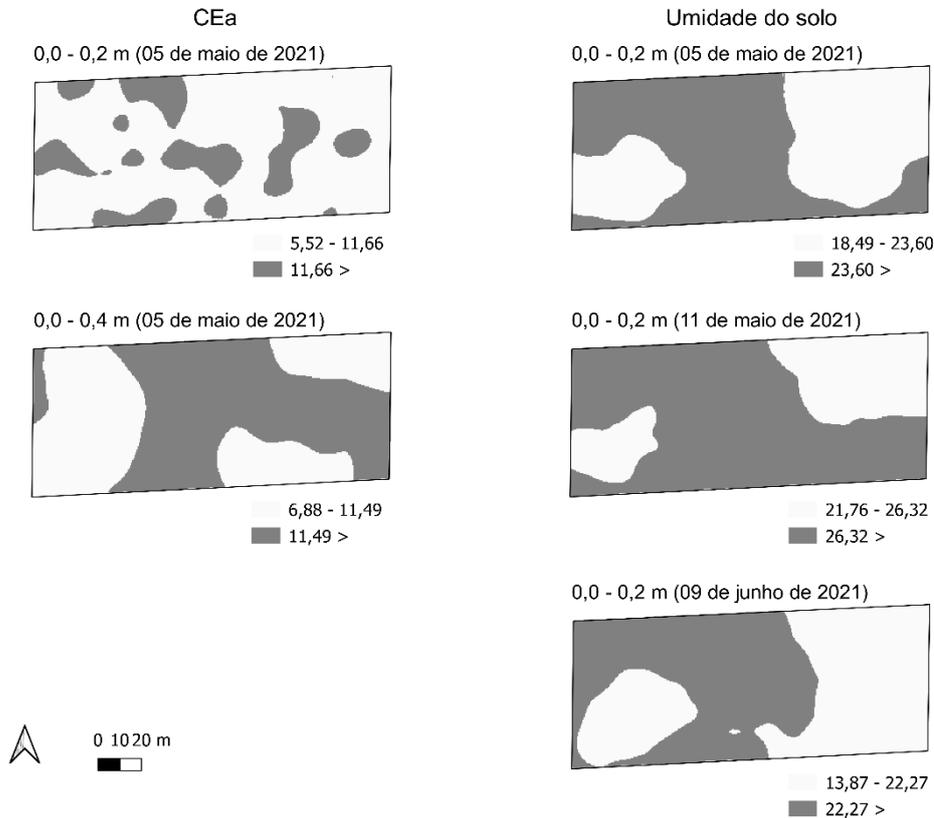
Tabela 8 - Modelos teóricos dos semivariogramas da condutividade elétrica aparente e umidade do solo do vinhedo e seus respectivos parâmetros de ajuste, dos mapeamentos realizados durante o ciclo de produção de uvas de 2021

Atributo	Camada (m)	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	GDE ^(a) (%)	RMSE ^(b)
CEa_1	0,2	Esférico	45,140	35,610	13,380	44,099	3,405
	0,4	Esférico	40,100	11,570	43,250	22,392	7,038
Umidade_1	0,2	Esférico	8,264	6,916	73,170	45,560	0,221
Umidade_2	0,2	Exponencial	12,240	8,663	48,300	41,444	0,313
Umidade_3	0,2	Exponencial	16,570	20,420	59,070	55,204	1,101

(a) GDE: grau de dependência espacial de acordo com Zimback (2001); (b) RMSE: erro médio quadrático do resíduo.

Os mapas de CEa a 0,0 - 0,2 m (Figura 17) não apresentou o mesmo padrão de distribuição dos dados como os mapeamentos realizados no ciclo de formação de 2019 (Figura 15), pois ocorreram medidas com valores negativos, em decorrência do mal contato entre as hastes do equipamento e o solo. Tais medidas foram descartadas. Os valores variaram entre 5,52 e 11,66 dS m⁻¹ na zona de menor CEa, e foram superiores a 11,66 dS m⁻¹ na zona de maior CEa.

Figura 17 - Mapas de condutividade elétrica aparente (dS m^{-1}) e umidade do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) do vinhedo no ciclo de produção de 2021 realizados na área durante o ciclo de produção de uvas de 2021 (05, 11 de maio e 9 de junho de 2021)



O mapeamento de CEa 0,0 - 0,4 m (Figura 17) apresentou padrão semelhante ao mapeamento realizado na mesma camada no ciclo de formação de 2019 (Figura 15). Os valores de CEa encontrados variaram entre 6,88 e 11,49 dS m^{-1} na zona homogênea de menor CEa, e foram superiores a 11,49 dS m^{-1} na zona homogênea de maior CEa.

No ciclo de produção de 2021 também foram realizados três mapeamentos de umidade do solo utilizando o sensor portátil HS2. O primeiro mapeamento foi realizado no mesmo dia que o mapeamento de CEa, e obteve um modelo de ajuste de semivariograma esférico, com alcances de 73,170 m, com grau de dependência espacial moderado ($\text{GDE} > 75\%$) conforme Zimback (2001), e RMSE de 0,221 (Tabela 8). Nesse mapeamento nota-se uma semelhança com os mapeamentos de umidade do solo realizados nos ciclos de formação de 2019 e de produção de 2020 (Figuras 15 e 16). Os valores de umidade do solo encontrados variaram entre 18,49 e 23,60

$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na zona homogênea com menor umidade, e foram superiores a $23,60 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ na zona homogênea com maior umidade.

No segundo e no terceiro mapeamentos de umidade do solo realizado no ciclo de produção de 2021, os ajustes dos semivariogramas foram iguais (exponencial), tanto para o segundo como para o terceiro mapeamento na camada de 0,0 - 0,2 m, com alcances de 48,300 m e 59,070 m, respectivamente. A dependência espacial para ambos os ajustes ($\text{GDE} < 75\%$) foi moderada (Zimback, 2001), enquanto o RMSE foi de 0,313 e 1,101 (Tabela 8). Os padrões das zonas de menor e maior umidade foram semelhantes aos mapas de CEa, tanto para o ciclo de formação de 2019, como para o ciclo de produção de 2021 (Figuras 14 e 16), com valores entre 21,76 e $26,32 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (segundo mapeamento) e entre 13,87 e $22,27 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (terceiro mapeamento) na zona de menor umidade, e valores maiores que $26,32 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (segundo mapeamento) e $22,27 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ (terceiro mapeamento) na zona de maior umidade (Figura 17).

4.1.2 Mapeamento do número de cachos por plantas, pH e sólidos solúveis

Foi elaborado o mapa do número de cachos por planta (NC) do ciclo de produção de 2020, que apresentou dependência espacial, com ajuste do semivariograma pelo modelo esférico, alcance de 18,87 m e fraca dependência espacial dos dados ($\text{GDE} < 25\%$) conforme Zimback (2001), e um RMSE de 1,157 (Tabela 9).

No ciclo de produção de uvas de 2021, foi respeitada a mesma grade amostral do ciclo de produção de 2020 (321 plantas) Foi gerado um mapa com o número de cachos por planta, com um ajuste do modelo do semivariograma exponencial, alcance de 4,479 m, com um grau de dependência espacial moderado ($\text{GDE} > 25\%$) segundo Zimback (2001), e um RMSE de 0,842 (Tabela 9).

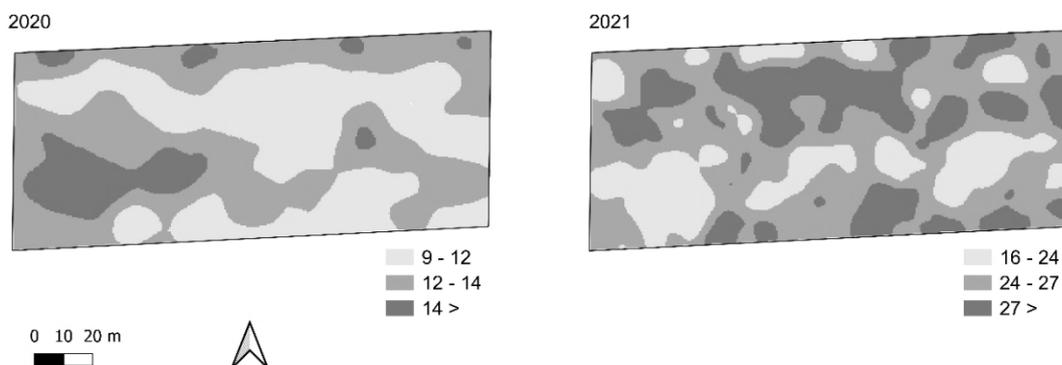
Tabela 9 - Modelos teóricos dos semivariogramas de número de cachos por planta e seus respectivos parâmetros de ajuste para o ciclo de produção de uvas de 2020 e 2021

Atributo	dap	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	GDE ^(a) (%)	RMSE ^(b)
nº de cachos 2020	92	Esférico	27,400	8,335	18,870	23,324	1,157
nº de cachos 2021	98	Exponencial	20,790	24,100	4,479	23,324	0,842

(a) GDE: grau de dependência espacial de acordo com Zimback (2001); (b)RMSE: erro médio quadrático do resíduo.

Posteriormente, foram gerados mapas de número de cachos por planta para ambos os ciclos de produção, com três classes ou intervalos de valores (Figura 20). No ano de 2020, a área onde a concentração de número de cachos por planta foi maior correspondeu aos menores valores de CEa e umidade do solo. Em 2021, esse padrão de distribuição não se repetiu, pois houve o desbaste de cachos aos 93 dap (05 de maio de 2021), devido ao elevado número de cachos observados por planta. Mesmo com essa prática, o NC de 2021 foi superior ao do ano anterior.

Figura 20 - Mapeamento realizado a partir da contagem dos cachos em 321 plantas do vinhedo, em três intervalos de número de cachos por planta no ciclo de produção de uvas de 2020 e 2021



No ciclo de produção de 2020, ambos os mapeamentos de SS apresentaram dependência espacial moderada (GDE < 75%) conforme Zimback (2001), com ajuste

do semivariograma pelo modelo esférico para ambos, com alcance de 14,33 e 98,15 m e RMSE de 0,039 e 0,042, respectivamente (Tabela 10).

Tabela 10 - Modelos teóricos dos semivariogramas dos atributos da planta e das bagas, e seus respectivos parâmetros de ajuste para o ciclo de produção de uvas de 2020

Atributo	dap	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	GDE ^(a) (%)	RMSE ^(b)
SS	115	Esférico	0,295	0,388	14,330	56,827	0,039
pH	115	-	-	-	-	-	-
AT	115	Exponencial	0,002	0,003	66,400	52,988	0,000
SS/TA	115	Exponencial	103,100	50,130	53,470	32,716	8,070
SS	133	Esférico	1,106	0,470	98,150	29,813	0,042
pH	133	Exponencial	0,005	0,011	14,280	68,953	0,000
AT	133	Exponencial	0,001	0,000	14,210	11,238	0,000
SS/TA	133	Esférico	60,210	12,910	106,400	17,656	1,960

(a) GDE: grau de dependência espacial de acordo com Zimback (2001); (b) RMSE: erro médio quadrático do resíduo.

No ciclo de produção de 2020 aos 115 dap, a representação do mapa de pH foi feita utilizando o método de interpolação pelo inverso do quadrado da distância, devido à falta de dependência espacial dos dados (Figura 21). A partir do método de quebras naturais foram elaborados os mapas com duas classes de valores de pH. No segundo mapeamento realizado aos 133 dap (Figura 22), o atributo apresentou dependência espacial e assim foi possível realizar o ajuste do semivariograma com o modelo exponencial, com um alcance de 14,280 m, grau de dependência espacial moderada (GDE < 75%) segundo Zimback (2001) e um erro de 0,000 (Tabela 10).

Os valores encontrados no segundo mapeamento de pH foram superiores ao primeiro, devido ao processo de maturação e diminuição da acidez, fator importante para a elaboração de vinhos tintos finos. Como o segundo mapeamento de pH apresentou dependência espacial dos dados, os mapas deixaram de apresentar a característica de “olho de boi” encontrada no primeiro (Figura 21).

Figura 21 – Mapeamento de sólidos solúveis, pH, acidez titulável e razão SS/TA realizados aos 115 dap (21 de maio de 2020), durante a maturação das uvas, em duas classes ou intervalo de valores

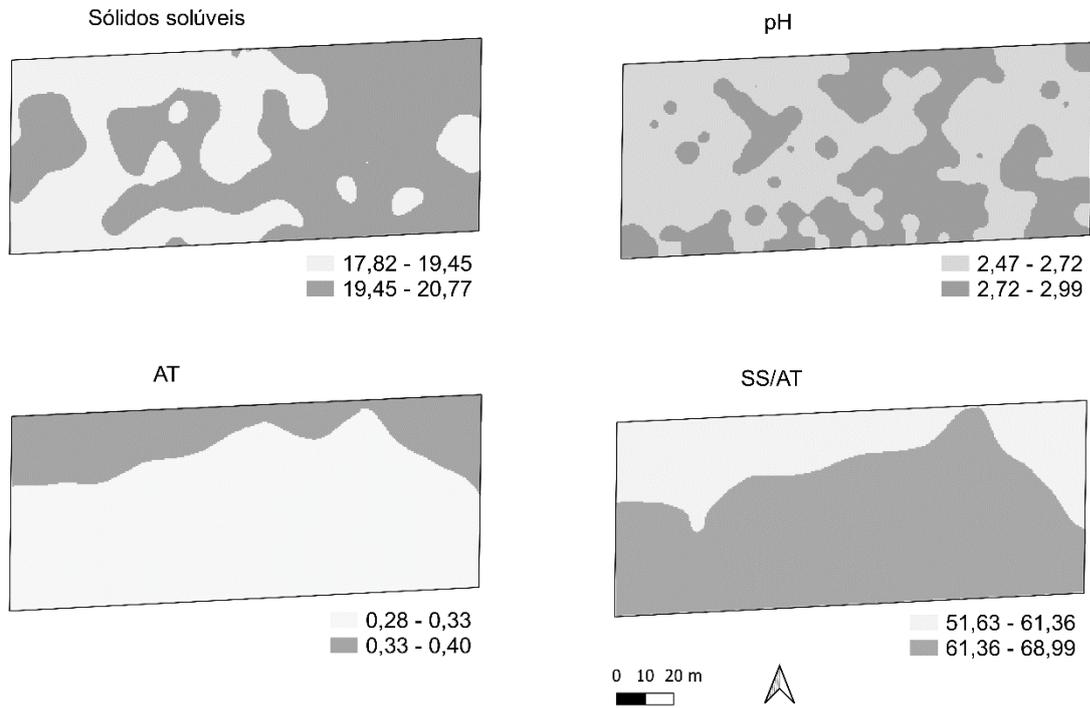
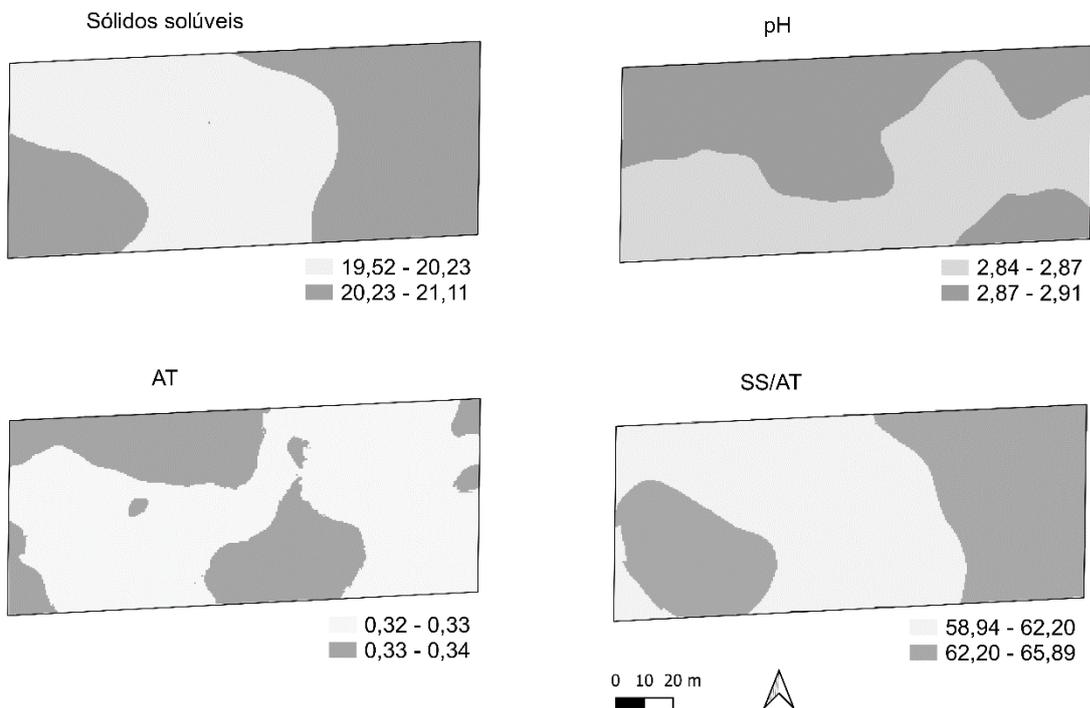


Figura 22 – Mapeamento de sólidos solúveis, pH, acidez titulável e razão SS/TA realizados aos 133 dap (8 de junho de 2020), durante a maturação das uvas, em duas classes ou intervalo de valores

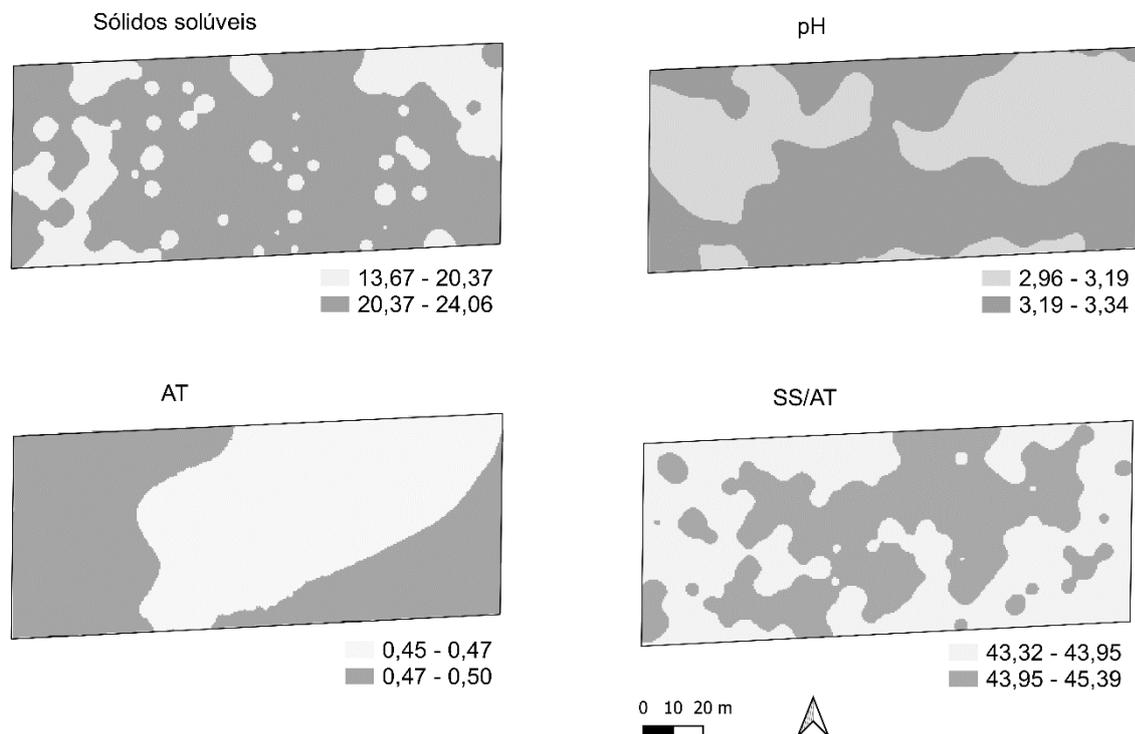


A acidez titulável (AT) realizada nos dois mapeamentos do ciclo de produção de 2020 apresentou dependência espacial dos dados e ambos os semivariogramas foram ajustados com o modelo exponencial, alcance de 66,400 e 14,210 m, com grau de dependência espacial moderado e fraco segundo Zimback (2001), e RMSE de 0,000 e 0,000, respectivamente (Tabela 10). Nos mapas de AT (Figuras 20 e 21) é possível verificar a evolução na maturação das uvas no vinhedo e o aumento da área com menor acidez. No mapeamento realizado aos 115 dap, havia uma maior área no mapa com maior acidez somente na faixa superior do mapa (Figura 21). No segundo mapeamento realizado aos 133 dap, a área com acidez menor apresentou um aumento e uma maior distribuição ao longo do vinhedo (Figura 22).

Para as duas datas de mapeamentos realizadas na safra de produção de uvas de 2020 (115 e 133 dap), os mapas da razão sólidos solúveis e acidez titulável foram elaborados. O primeiro mapeamento de SS/TA apresentou dependência espacial moderada ($GDE < 75\%$) conforme Zimback (2001), e o segundo mapeamento apresentou dependência espacial fraca ($GDE < 25\%$) segundo Zimback (2001), com ajustes do semivariograma pelos modelos exponencial e esférico, alcance de 53,470 e 106,400 m, e erro médio quadrático do resíduo (RMSE) de 8,070 e 1,960, respectivamente (Tabela 10).

No ciclo de produção de uvas de 2021, foi realizado apenas um mapeamento para acompanhamento da maturação das uvas, aos 145 dap (23 de junho de 2021). A representação dos mapas de SS e SS/TA foi feita utilizando-se o método de interpolação pelo inverso do quadrado da distância, devido à falta de dependência espacial dos dados (Figura 23). A partir do método de quebras naturais foram elaborados os mapas com duas classes de valores de SS e SS/TA.

Figura 23 – Mapeamento de sólidos solúveis e pH, acidez titulável e razão SS/TA realizados aos 145 dap, 23 de junho de 2021), durante a maturação das uvas, em duas classes ou intervalo de valores



Os mapeamentos de pH e AT apresentaram dependência espacial, sendo assim foi possível realizar o ajuste do semivariograma pelo modelo exponencial para ambos, com um alcance de 10,960 e 50000 m, grau de dependência espacial moderada ($GDE < 75\%$) e forte ($GDE > 75\%$) segundo Zimback (2001) e um RMSE de 0,002 e 0,000, respectivamente (Tabela 11).

Tabela 11 - Modelos teóricos dos semivariogramas dos atributos da planta e das bagas, e seus respectivos parâmetros de ajuste para o ciclo de produção de uvas de 2021

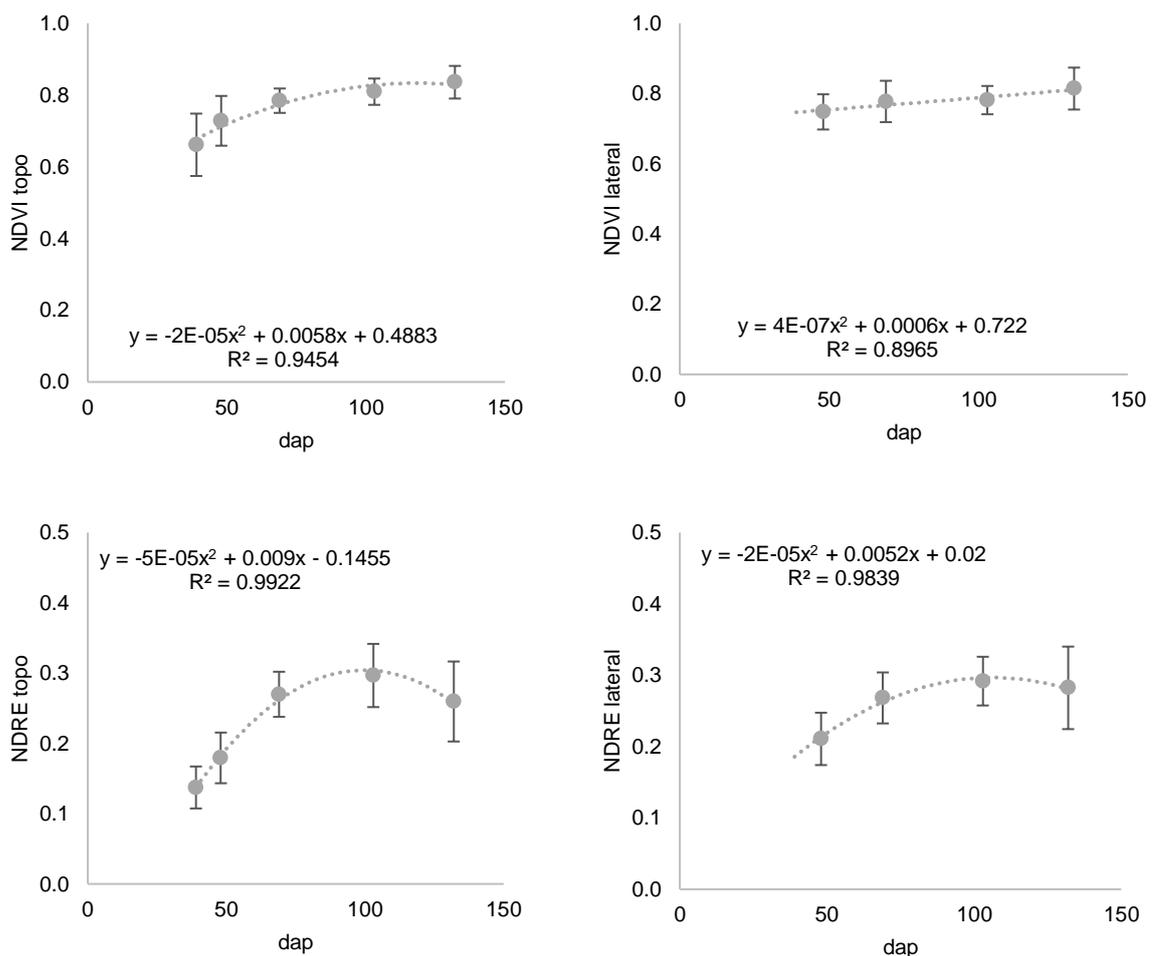
Atributo ^(a)	dap	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	GDE ^(b) (%)	RMSE ^(c)
SS	145	-	-	-	-	-	-
pH	145	Exponencial	0,010	0,023	10,960	69,530	0,002
AT	145	Exponencial	0,003	0,291	50000,000	98,967	0,000
SS/AT	145	-	-	-	-	-	-

b GDE: grau de dependência espacial de acordo com Zimback (2001); c RMSE: erro médio quadrático do resíduo.

4.2 Predição espacial do vigor vegetativo

Na evolução do vigor vegetativo das videiras, com base nos IV e para o ciclo de produção de 2020 (Figura 24), verifica-se que o valor de R^2 do NDRE topo ($R^2 = 0,9922$) foi maior, seguido pelo NDRE lateral ($R^2 = 0,9839$), NDVI topo ($R^2 = 0,9454$) e NDVI lateral ($R^2 = 0,8965$).

Figura 24 - Evolução dos índices de vegetação (IV), NDVI topo, NDVI lateral, NDRE topo e NDRE lateral em função do número de dias após a poda (dap) no ciclo de produção de uvas de 2020



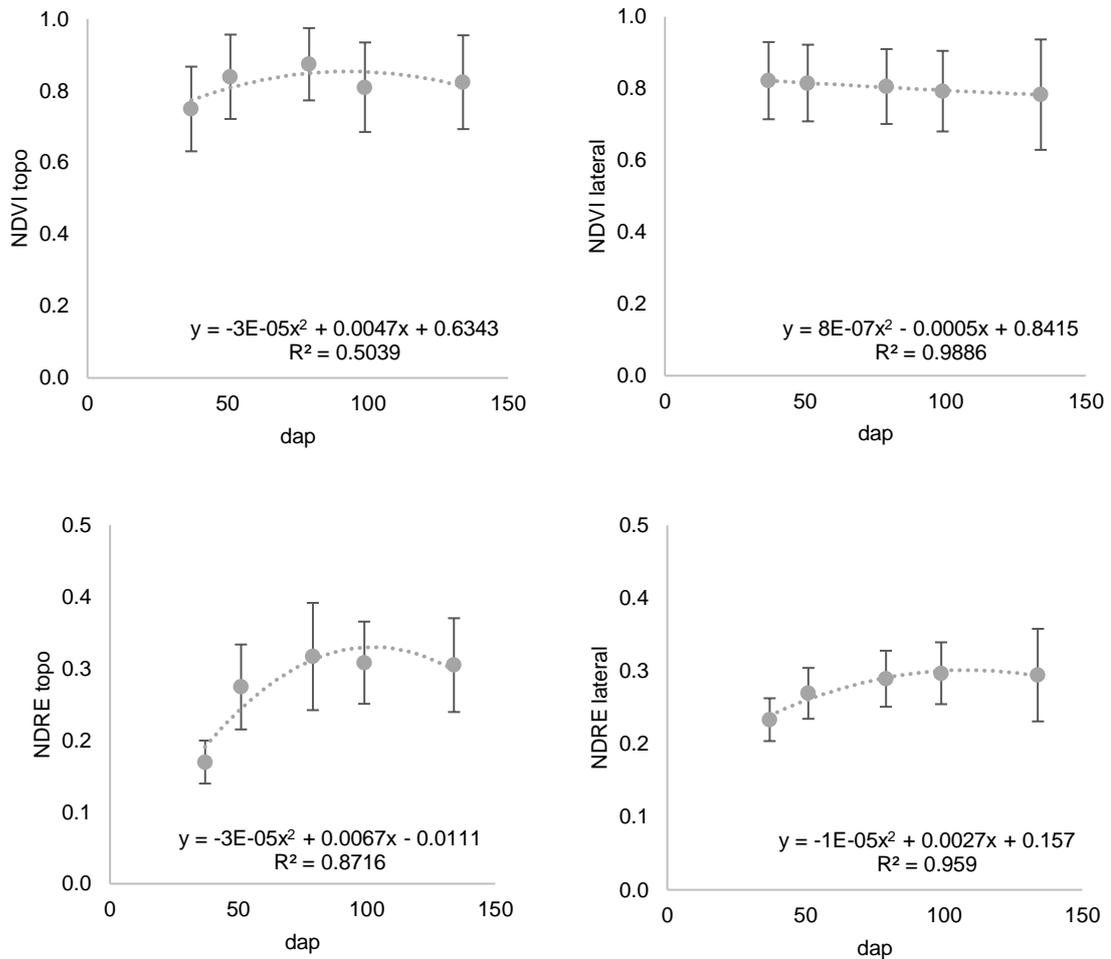
No ciclo de produção de uvas de 2020 os maiores valores de NDVI foram encontrados aos 104 dap (início de maturação das uvas) com índice igual ou maior que 0,843 na classe de maiores valores com o sensor posicionado no topo. Logo após o início da maturação, esse IV apresentou uma queda o vinhedo já se encontrava na fase de amolecimento/maturação de bagas.

A combinação das refletâncias no infravermelho e no vermelho para o cálculo de IV é uma boa ferramenta para estimar o vigor da planta ou a densidade foliar que estão normalmente relacionados. Segundo Lamb (2001), mapeamentos de NDVI de vinhedos permitem detectar diferenças de densidade de vegetação, na produtividade e possivelmente na qualidade das uvas. Geralmente videiras mais vigorosas apresentam uma maior reflectância na banda do infravermelho próximo, indicando que há uma maior área foliar e maior concentração de água das folhas, e uma menor reflectância na faixa do vermelho, atribuído a clorofila que absorve parte dessa radiação, o que resulta em valores de NDVI mais próximos de 1 (DIAS, 2009).

No ciclo de produção de uvas de 2021 as medidas de IV foram realizadas levando em consideração o mesmo estágio fenológico das medidas realizadas no ciclo anterior.

Na Figura 25 observa-se que o NDVI lateral apresentou maior valor ($R^2 = 0,9886$), seguido pelo NDRE lateral ($R^2 = 0,959$), NDRE topo ($R^2 = 0,8716$) e NDVI topo ($R^2 = 0,5039$).

Figura 25 - Evolução dos índices de vegetação (IV), NDVI topo, NDVI lateral, NDRE topo e NDRE lateral em função do número de dias após a poda (dap) no ciclo de produção de 2021



No ciclo de produção de uvas de 2021 os maiores valores de NDVI foram encontrados aos 79 dap, quando a cultura encontrava - se com os cachos fechados com índices iguais ou superiores a 0,874 no intervalo de maiores valores, com o sensor posicionado no topo.

A Tabela 12 apresenta os dados coletados para os diferentes índices de vegetação no ciclo de 2020 e 2021 (NDVI topo, NDVI lateral, NDRE topo e NDRE lateral), em duas classes ou intervalos de valores, as fases fenológicas que cada medida dos IV foi realizada e os dap respectivos de cada ciclo.

Tabela 12 – Valores dos índices de vegetação (IV), NDVI topo, NDVI lateral, NDRE topo e NDRE lateral, em duas classes e em função do número de dias após a poda (dap) nos ciclos de produção de uvas de 2020 e 2021

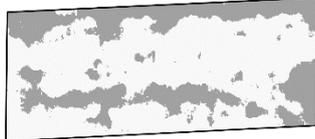
2020					
Fase fenológica	Início da floração	Bagas em Tamanho "ervilha"	Cacho fechado	Após início de Maturação (pintor)	Amolecimento/ maturação de bagas
dap	40	49	70	104	133
NDVI Topo					
Baixo	0,546 - 0,665	0,566 - 0,721	0,737 - 0,840	0,786 - 0,843	0,675 - 0,786
Alto	0,665 >	0,721 >	0,840 >	0,843 >	0,786 >
NDVI Lateral					
Baixo	-	0,691 - 0,751	0,623 - 0,779	0,715 - 0,776	0,647 - 0,765
Alto	-	0,751 >	0,779 >	0,776 >	0,765 >
NDRE Topo					
Baixo	0,105 - 0,143	0,126 - 0,182	0,244 - 0,290	0,240 - 0,298	0,160 - 0,260
Alto	0,143 >	0,182 >	0,290 >	0,298 >	0,260 >
NDRE Lateral					
Baixo	-	0,169 - 0,215	0,217 - 0,279	0,224 - 0,289	0,195 - 0,272
Alto	-	0,215 >	0,279 >	0,289 >	0,272 >
2021					
dap	37	51	79	99	134
NDVI Topo					
Baixo	0,646 - 0,743	0,785 - 0,842	0,825 - 0,874	0,730 - 0,806	0,755 - 0,815
Alto	0,743 >	0,842 >	0,874 >	0,806 >	0,815 >
NDVI Lateral					
Baixo	0,748 - 0,820	0,750 - 0,826	0,745 - 0,803	0,717 - 0,788	0,671 - 0,763
Alto	0,820 >	0,826 >	0,803 >	0,788 >	0,763 >
NDRE Topo					
Baixo	0,123 - 0,177	0,223 - 0,273	0,245 - 0,324	0,241 - 0,314	0,222 - 0,302
Alto	0,177 >	0,273 >	0,324 >	0,314 >	0,302 >
NDRE Lateral					
Baixo	0,207 - 0,237	0,217 - 0,279	0,237 - 0,286	0,240 - 0,291	0,201 - 0,285
Alto	0,237 >	0,279 >	0,286 >	0,291 >	0,285 >

As Figuras 26, 27, 28 e 29 apresentam os mapas de distribuição espacial dos IV ao longo dos dois ciclos de produção.

Figura 26 - Mapas de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da videira 'Syrah', em diferentes fases fenológicas (dias após a poda - dap) do ciclo de produção de uvas de 2020 e com o posicionamento do sensor Crop Circle ACS430 no topo e na lateral do dossel

NDVI Topo

03/03/20 - 40 DAP - Início da floração



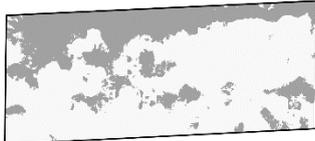
0,546 - 0,665
0,665>

12/03/20 - 49 DAP - Bagas em tamanho "ervilha"



0,546 - 0,665
0,665>

04/04/20 - 70 DAP - Cacho fechado



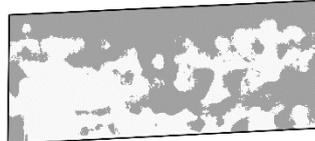
0,566 - 0,721
0,721>

06/05/20 - 104 DAP - Após início de maturação



0,786 - 0,843
0,843>

04/06/20 - 133 DAP - Amolecimento / maturação de bagas

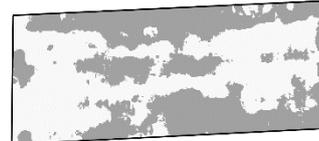


0,675 - 0,786
0,786>

NDVI Lateral



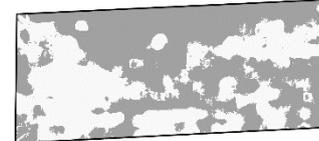
0,691 - 0,751
0,751>



0,623 - 0,779
0,779>



0,715 - 0,776
0,776>



0,647 - 0,765
0,765>

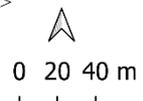


Figura 27 - Mapas de índice de vegetação por diferença normalizada no vermelho limítrofe (NDRE) da videira 'Syrah', em diferentes fases fenológicas (dias após a poda - dap) do ciclo de produção de uvas de 2020 e com o posicionamento do sensor Crop Circle ACS 430 no topo e na lateral do dossel

NDRE Topo

03/03/20 - 40 DAP - Início da floração



0,105 - 0,143
0,143 >

12/03/20 - 49 DAP - Bagas em tamanho "ervilha"



0,126 - 0,182
0,182 >

04/04/20 - 70 DAP - Cacho fechado



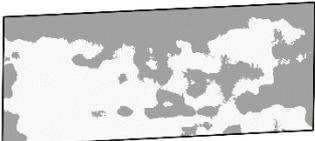
0,244 - 0,290
0,290 >

06/05/20 - 104 DAP - Após início de maturação



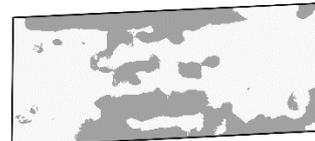
0,240 - 0,298
0,298 >

04/06/20 - 133 DAP - Amolecimento / maturação de bagas



0,160 - 0,260
0,260 >

NDRE Lateral



0,169 - 0,215
0,215 >



0,217 - 0,279
0,279 >



0,224 - 0,289
0,289 >



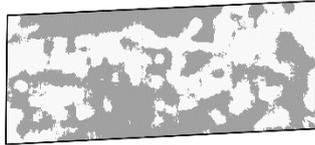
0,195 - 0,272
0,272 >



Figura 28 - Mapas de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da videira 'Syrah', em diferentes fases fenológicas (dias após a poda - dap) do ciclo de produção de uvas de 2021 e com o posicionamento do sensor Crop Circle ACS 430 no topo e na lateral do dossel

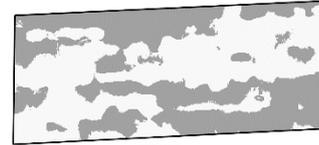
NDVI Topo

10/03/21 - 37 DAP - Início da floração



0,646 - 0,743
0,743 >

NDVI Lateral



0,748 - 0,820
0,820 >

24/03/21 - 51 DAP - Bagas em tamanho "ervilha"



0,785 - 0,842
0,842 >

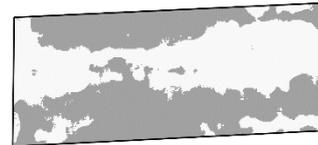


0,750 - 0,826
0,826 >

21/04/21 - 79 DAP - Cacho fechado



0,825 - 0,874
0,874 >

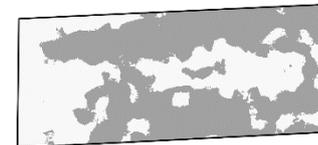


0,745 - 0,803
0,803 >

11/05/21 - 99 DAP - Após início de maturação

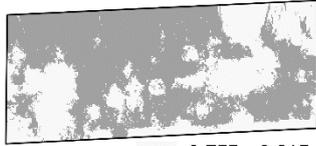


0,730 - 0,806
0,806 >



0,717 - 0,788
0,788 >

15/06/21 - 134 DAP - Amolecimento / maturação de bagas



0,755 - 0,815
0,815 >



0,671 - 0,763
0,763 >



Figura 29 - Mapas de índice de vegetação por diferença normalizada no vermelho limítrofe (NDRE) da videira 'Syrah', em diferentes fases fenológicas (dias após a poda - dap) do ciclo de produção de uvas de 2021 e com o posicionamento do sensor Crop Circle ACS 430 no topo e na lateral do dossel

NDRE Topo

10/03/21 - 37 DAP - Início da floração



0,123 - 0,177

0,177 >

NDRE Lateral



0,207 - 0,237

0,237 >

24/03/21 - 51 DAP - Bagas em tamanho "ervilha"



0,223 - 0,273

0,273 >



0,237 - 0,286

0,286 >

21/04/21 - 79 DAP - Cacho fechado



0,245 - 0,342

0,342 >



0,237 - 0,286

0,286 >

11/05/21 - 99 DAP - Após início de maturação



0,241 - 0,314

0,314 >



0,240 - 0,291

0,291 >

15/06/21 - 134 DAP - Amolecimento / maturação de bagas



0,222 - 0,302

0,302 >



0,201 - 0,285

0,285 >

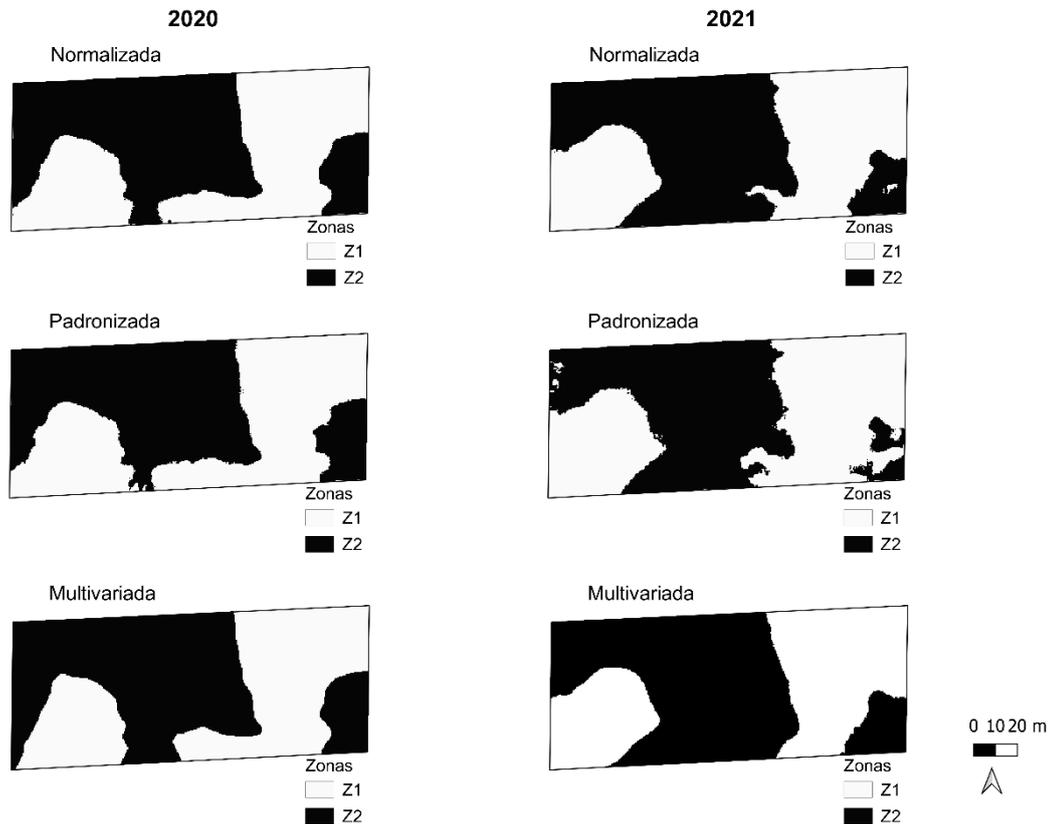


4.3 Delimitação de zonas de manejo com base em atributos do solo e da planta

No ciclo de produção de 2020 as zonas de manejo foram delimitadas com base em dados de CEa e de umidade do solo, respeitando a mesma grade amostral, e em dados de NDVI realizado aos 104 dap no topo, quando a planta se encontrava no início da maturação, com os maiores valores de IV. No ciclo de 2021 as zonas de manejo foram delimitadas baseadas nos mesmos critérios utilizando os dados de CEa e de umidade do solo, coletados no ciclo de 2021 respeitando a mesma grade amostral, nos dados de NDVI realizado aos 99 dap no topo.

A título de comparação de metodologias, foram confeccionados em ambos os anos três mapas de zonas de manejo. O primeiro utilizou a normalização dos dados; o segundo, a padronização; e o terceiro, a análise multivariada. A análise de dados mais robusta é a análise multivariada, havendo uma diferença muito sutil no formato das zonas de manejo apresentadas nos mapas, devido a alteração de alguns pixels na extremidade dessas zonas (entre Z1 e a Z2), no canto direito inferior (Figura 30).

Figura 30 - Mapas de zonas de manejo, obtidos por meio de duas metodologias (normalização dos dados e padronização) e análise multivariada, do ciclo de produção de uvas de 2020 e 2021



Em relação as plantas e as parcelas selecionadas para a colheita e amostragem de bagas, não há alteração da classificação de zona de manejo, ou seja, as plantas e parcelas que estão em Z1 permanecem em Z1 e as plantas e parcelas que estão em Z2 permanecem em Z2 para ambos os ciclos de produção.

4.4 Validação das zonas de manejo

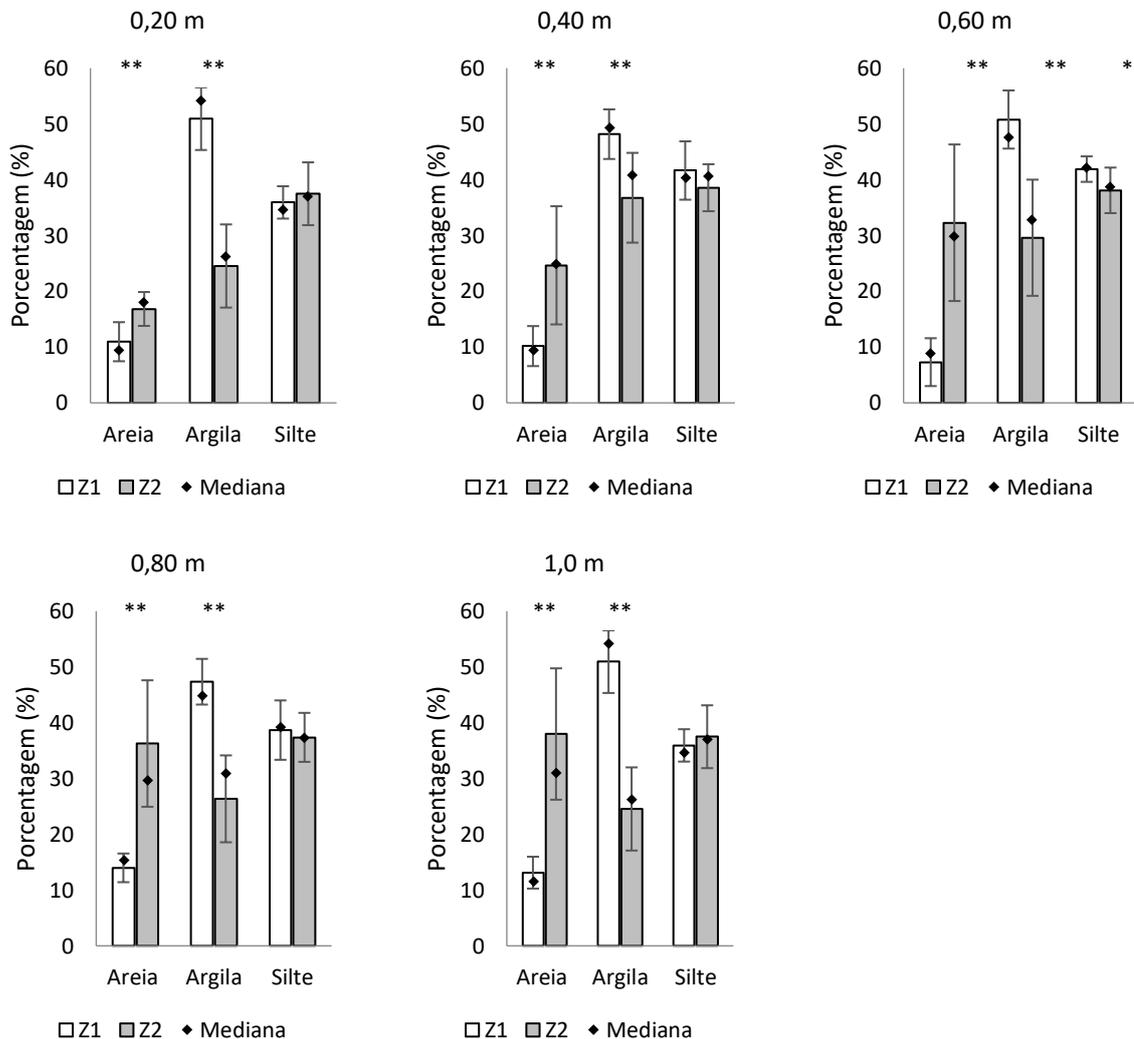
4.4.1 Atributos físicos, hídrico e químicos do solo

Nos ciclos de produção de 2020 e 2021 duas zonas de manejo foram definidas, com base na CEa e umidade do solo e no NDVI topo, sendo Z1 e Z2.

Na Figura 31, são apresentadas as frações granulométricas (areia, argila e silte), do solo nos pontos de instalação das seis baterias de tensiômetros. Houve diferença significativa ($p < 0,01\%$) em relação a areia, com maiores valores em Z2 em todas as profundidades. A fração argila também apresentou diferença significativa (p

< 0,01%), com maiores valores em Z1 em todas as profundidades. Para o silte, a única profundidade que apresentou diferença significativa ($p < 0,05\%$) foi a de 0,60 m, com maior valor em Z1.

Figura 31 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) das frações granulométricas (porcentagens de areia, argila e silte) do solo nos locais de instalação das baterias de tensiômetros nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,0 m

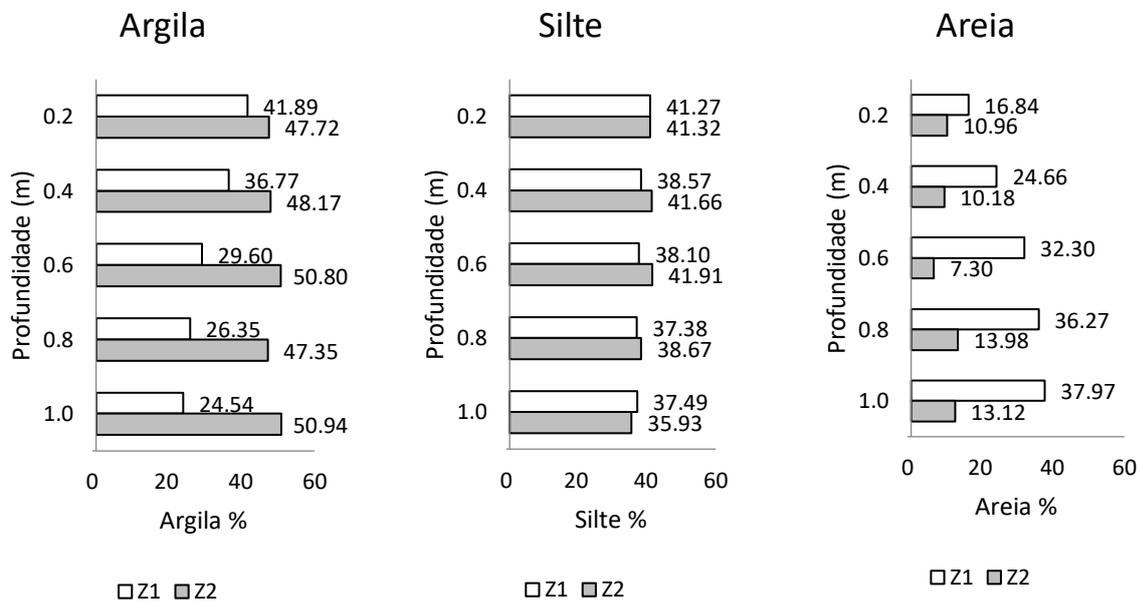


** , * , #: significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Conforme pode ser visto na Figura 32, teores de argila superiores a 47% foram identificados em todas as profundidades de instalação das baterias de tensiômetros em Z2. Nessa mesma zona, também foi identificado teores de silte acima de 41,32% a 0,20 m de profundidade, com diminuição de seus valores até a profundidade 1,0 m

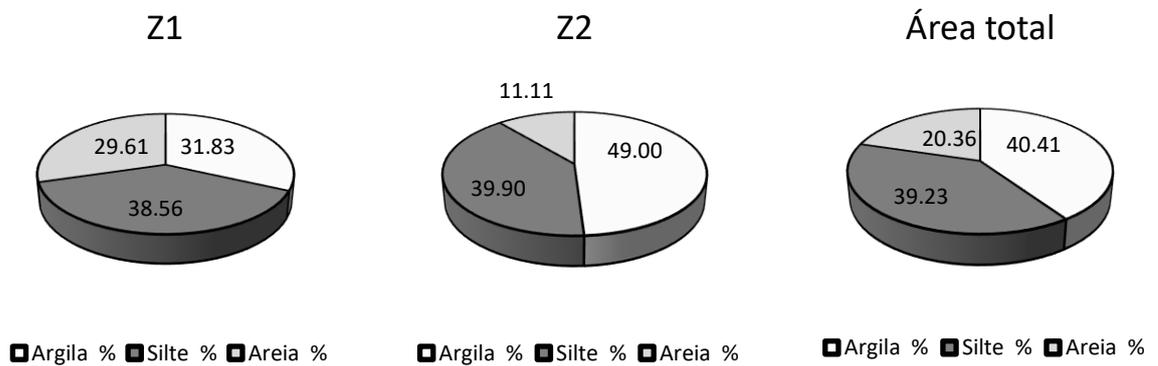
(35,93%). As porcentagens de areia variaram ao longo do perfil do solo, sendo o menor (7,30%) a 0,60 m de profundidade e maior (13,98%) a 0,80 m de profundidade.

Figura 32 - Valores médios das frações granulométricas (porcentagens de argila, silte e areia) do solo nos locais de instalação das baterias de tensiômetros nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,0 m



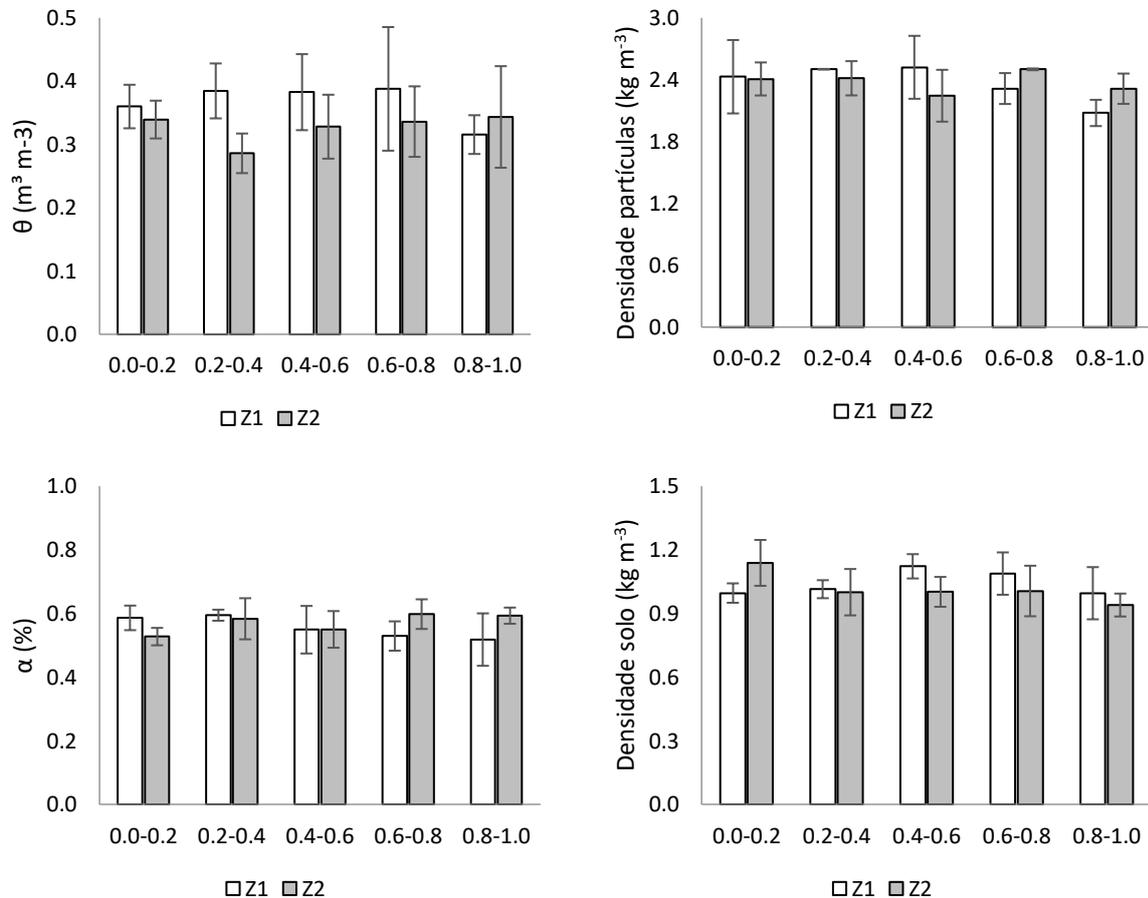
Na Z1, a porcentagem de argila decresceu ao longo do perfil do solo, tendo 41,89% de argila na profundidade de 0,20 m e 24,54% na profundidade de 1,0 m; entretanto, em Z2, seus valores tiveram um pequeno incremento em profundidade (47,72 a 50,94%). As porcentagens de silte tiveram uma menor variação ao longo do perfil em ambas as zonas (41,27 a 37,38% em Z1 e 41,91 a 35,93% em Z2). As porcentagens de areia em Z1 foram crescentes com a profundidade (16,84 a 37,97%), enquanto uma menor variação foi observada em Z2 (7,30 a 13,98%). A textura do solo do vinhedo foi classificada com argilosa (SANTOS et al., 2018), independente da consideração da área dividida em duas zonas ou como área única (Figura 33).

Figura 33 - Valores médios das frações granulométricas (porcentagens de areia, silte e argila) do solo nas duas zonas homogêneas Z1 e Z2 e em área total, utilizados para a classificação textural do solo



Os atributos umidade do solo (na coleta das amostras), densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total não apresentaram diferença significativa entre as camadas de solo nos locais de instalação das baterias de tensiômetros (Figura 34).

Figura 34 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes a umidade do solo (θ), porosidade total (α), densidade de partículas sólidas e densidade do solo, em diferentes camadas nas baterias de tensiômetros

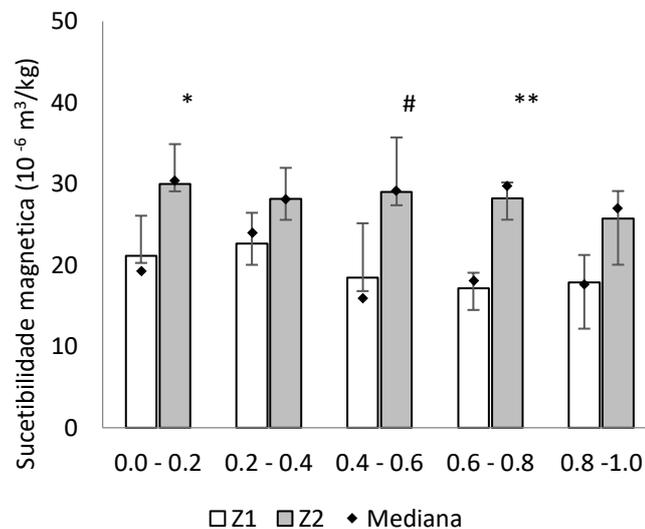


** , * , #: significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Os valores de susceptibilidade magnética do solo (SM) apresentaram diferença significativa na camada de 0,0 - 0,20 m ($p < 0,05\%$) em Z2, na camada de 0,4 - 0,6 m ($p < 0,10\%$) em Z2 e na camada de 0,6 - 0,8 m ($p < 0,05\%$) em Z2. A SM apresenta maiores valores em Z2, para todas as profundidades analisadas (Figura 35). Levando em consideração que o local de instalação das baterias de tensiômetro levou em consideração os mapas de zonas homogêneas de CEa e umidade do solo, os maiores valores de SM coincidiram com as zonas homogêneas de maior valor para CEa e umidade. As relações entre SM e outros atributos do solo são sítio-específicas (SIQUEIRA et al., 2010). Peluco et al. (2013) encontraram relações lineares e positivas entre a SM e CTC, teor de matéria orgânica e porcentagem de argila em Latossolo Vermelho distrófico, textura média, Latossolo Vermelho distroférico, textura

argilosa, Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média.

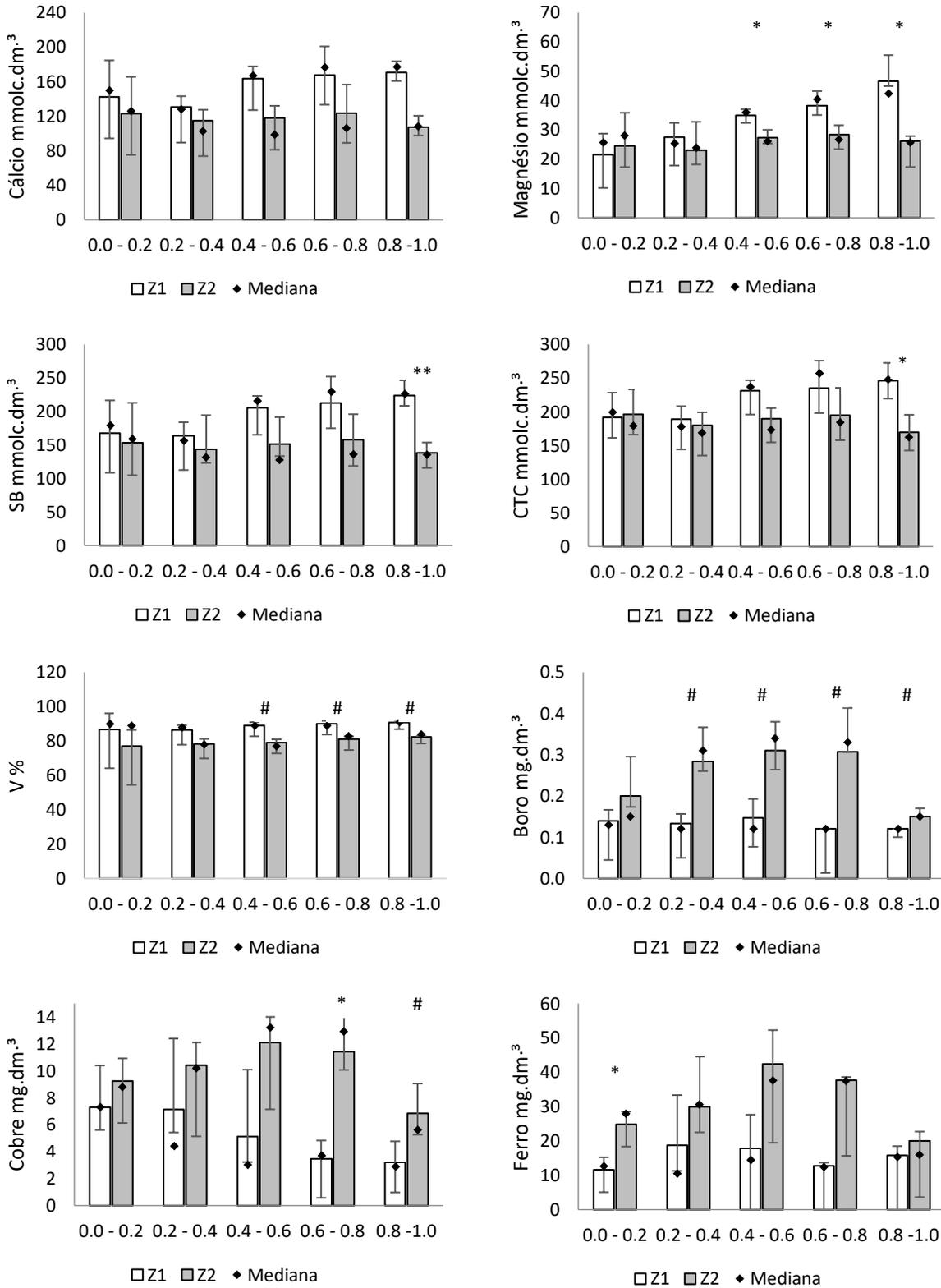
Figura 35 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes a susceptibilidade magnética do solo, em diferentes camadas nas baterias de tensiômetros



** , * , #: significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

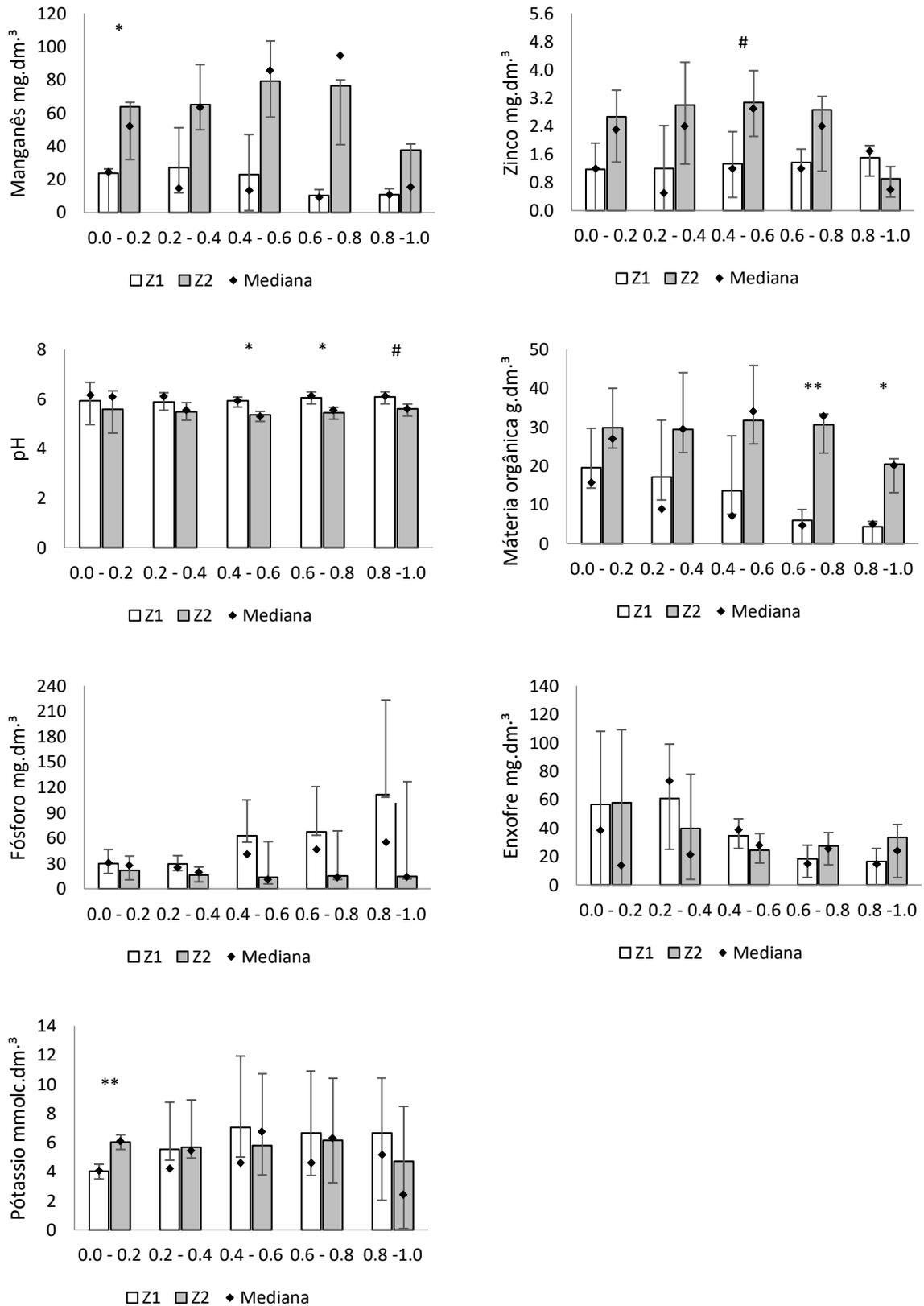
Análises de fertilidade do solo foram realizadas com as mesmas amostras de solos colhidas para as análises físico hídricas do solo. Para o nutriente cálcio não houve diferença significativa em nenhuma profundidade (Figura 36). O magnésio apresentou diferença significativa ($p < 0,05\%$), nas camadas 0,4 - 0,6; 0,6 - 0,8 e 0,8 - 1,0 m em Z1 (Figura 36). A soma de base (SB) e a capacidade de troca catiônica (CTC) apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01\%$ e $p < 0,05\%$, respectivamente) na camada 0,8 - 1,0 m em Z1 (Figura 36). Saturação de bases (V%) apresentou diferença significativa ($p < 0,10\%$), nas camadas de 0,4 - 0,6; 0,6 - 0,8 e 0,8 - 1,0 m em Z1 (Figura 36). O micronutriente boro apresentou diferença significativa em Z2 ($p < 0,10\%$) em todas as camadas de solo exceto 0,0 - 0,2 m (Figura 35). O cobre apresentou diferença significativa nas camadas de 0,6 - 0,8 e 0,8 - 1,0 m ($p < 0,05\%$ e $p < 0,10\%$, respectivamente) em Z2 (Figura 36). O ferro apresentou diferença significativa ($p < 0,05\%$) em Z2 somente na camada de 0,0 - 0,2 m (Figura 36).

Figura 36 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes ao cálcio, magnésio, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V), boro, cobre e ferro nas zonas de manejo Z1 e Z2



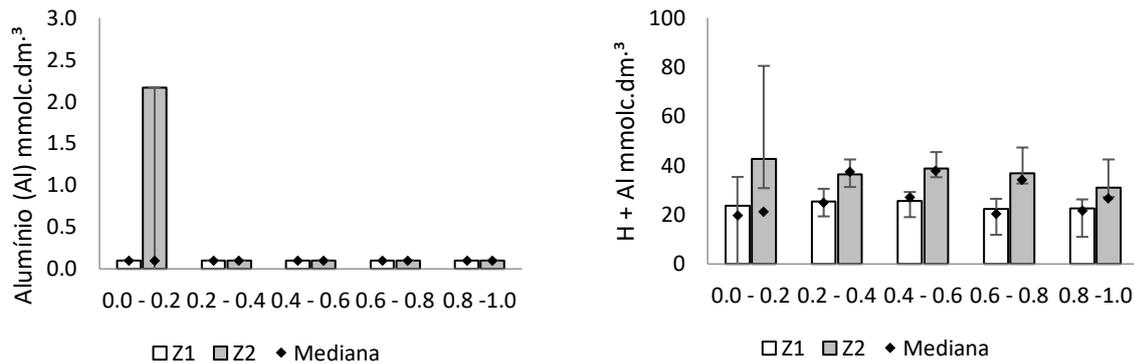
** , * , # : significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Figura 37 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes à manganês, zinco, pH, matéria orgânica, fósforo, enxofre e potássio nas zonas de manejo Z1 e Z2



** , * , # : significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Figura 38 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes à alumínio e hidrogênio + alumínio nas zonas de manejo Z1 e Z2



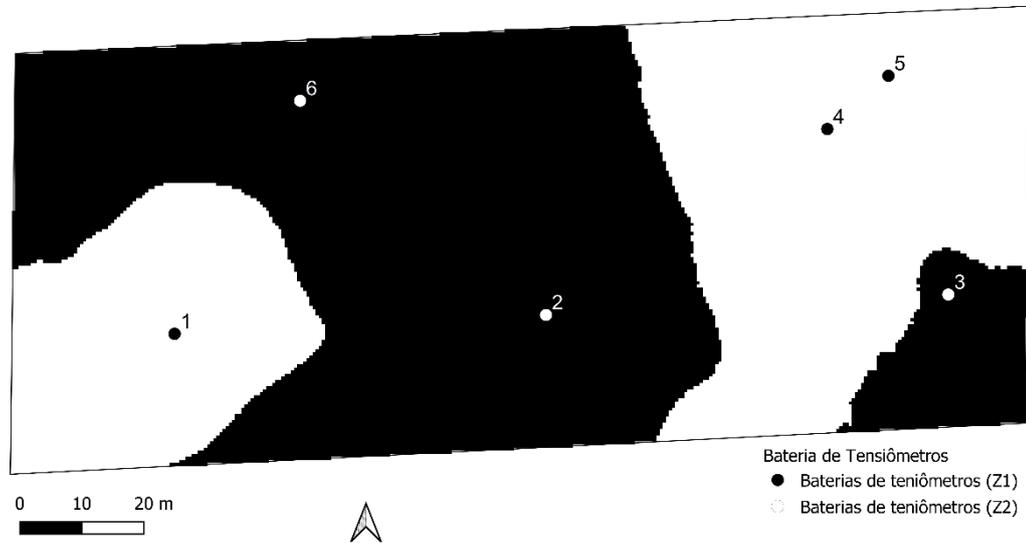
, *, #: significância estatística ao nível de 1% (= 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

O manganês apresentou diferença significativa ($p < 0,05\%$) nas camadas de 0,0 - 0,2 e 0,6 - 0,8 m em Z2 (Figura 37). O zinco na camada de solo de 0,4 - 0,6 m obteve diferença significativa ($p < 0,10\%$) em Z2 (Figura 37). O pH apresentou diferença significativa nas camadas de solo 0,4 - 0,6; 0,6 - 0,8 e 0,8 - 1,0 m, ($p < 0,05\%$, $p < 0,05\%$ e $p < 0,10\%$, respectivamente) em Z1 (Figura 37). A matéria orgânica do solo apresentou diferença significativa na camada de 0,6 - 0,8 m e ($p < 0,01\%$) e na camada de 0,8 - 1,0 m ($p < 0,05\%$) em Z2 (Figura 37). Os nutrientes fósforo e enxofre não apresentaram diferenças entre as camadas do solo (Figura 36). O potássio apresentou significância somente na camada de solo de 0,0 - 0,2 m ($p < 0,01\%$) em Z2 (Figura 37). O alumínio e o hidrogênio + alumínio não apresentaram diferenças significativas entre as camadas do solo (Figura 38).

Dessa forma, não foi evidenciada uma grande variabilidade de atributos químicos medidos nas amostras de solo de diferentes camadas, coletadas ao lado dos locais de instalação de tensiômetros em Z1 e Z2.

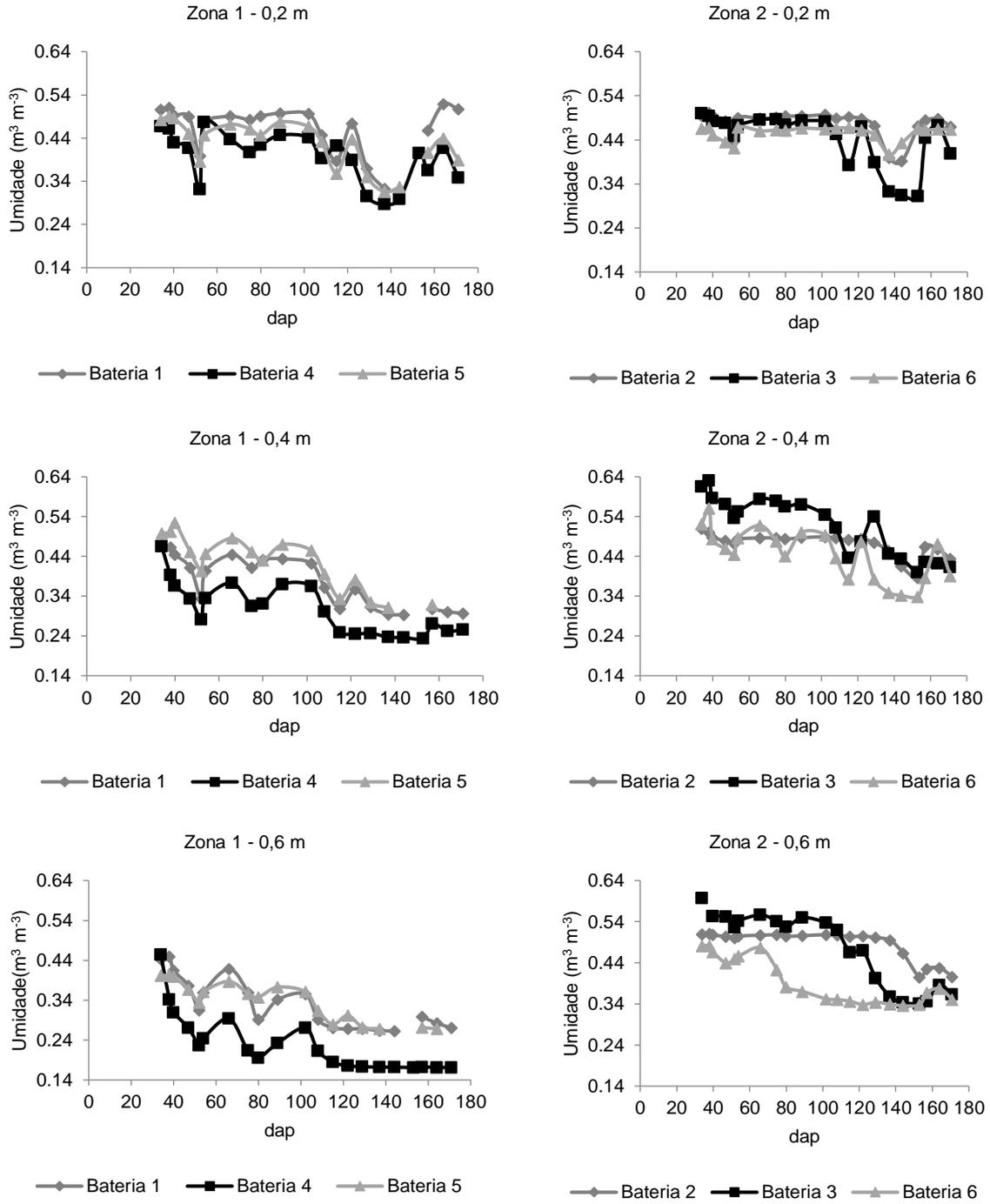
As baterias de tensiômetros instaladas para acompanhamento da umidade do solo ficaram dispostas sendo a 1, 4 e 5 foram instaladas na Z1, enquanto que as baterias 2, 3 e 6 foram instaladas na Z2 (Figura 39).

Figura 39 - Mapa com as zonas de manejo Z1 e Z2, com as respectivas baterias de tensiômetros

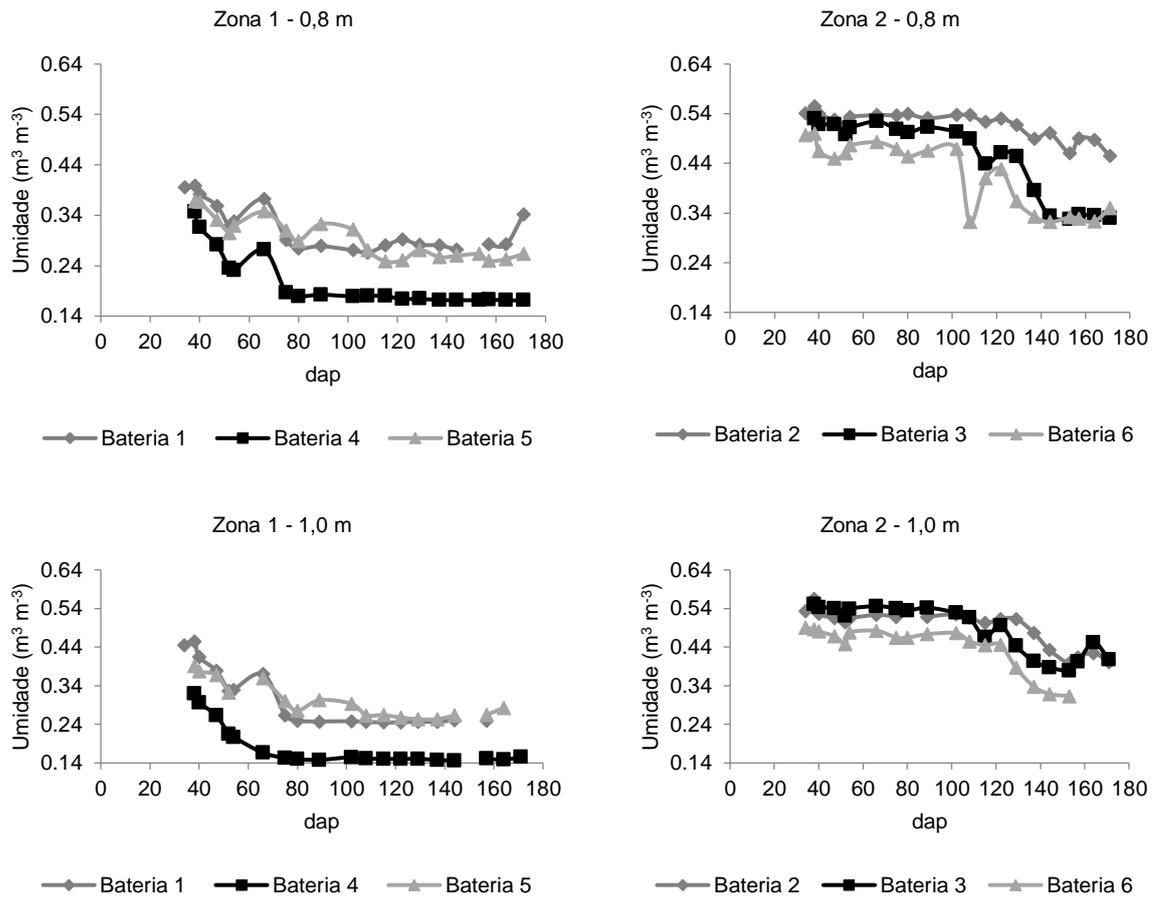


No ciclo de produção de uvas de 2020 é possível observar que os valores de θ a 0,20 m de profundidade, em ambas ZM, são próximos, com maior redução de umidade na Zona 1 ao redor de 52 dap e 129 dap. A partir da profundidade de 0,40 m, os valores de θ foram menores em Z1 e tais diferença de comportamento aumentam até a profundidade de 1,0 m (Figura 40).

Figura 40 - Umidade do solo às profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,0 m nas baterias de tensiômetros instaladas nas zonas de manejo (Z1 e Z2) 2020

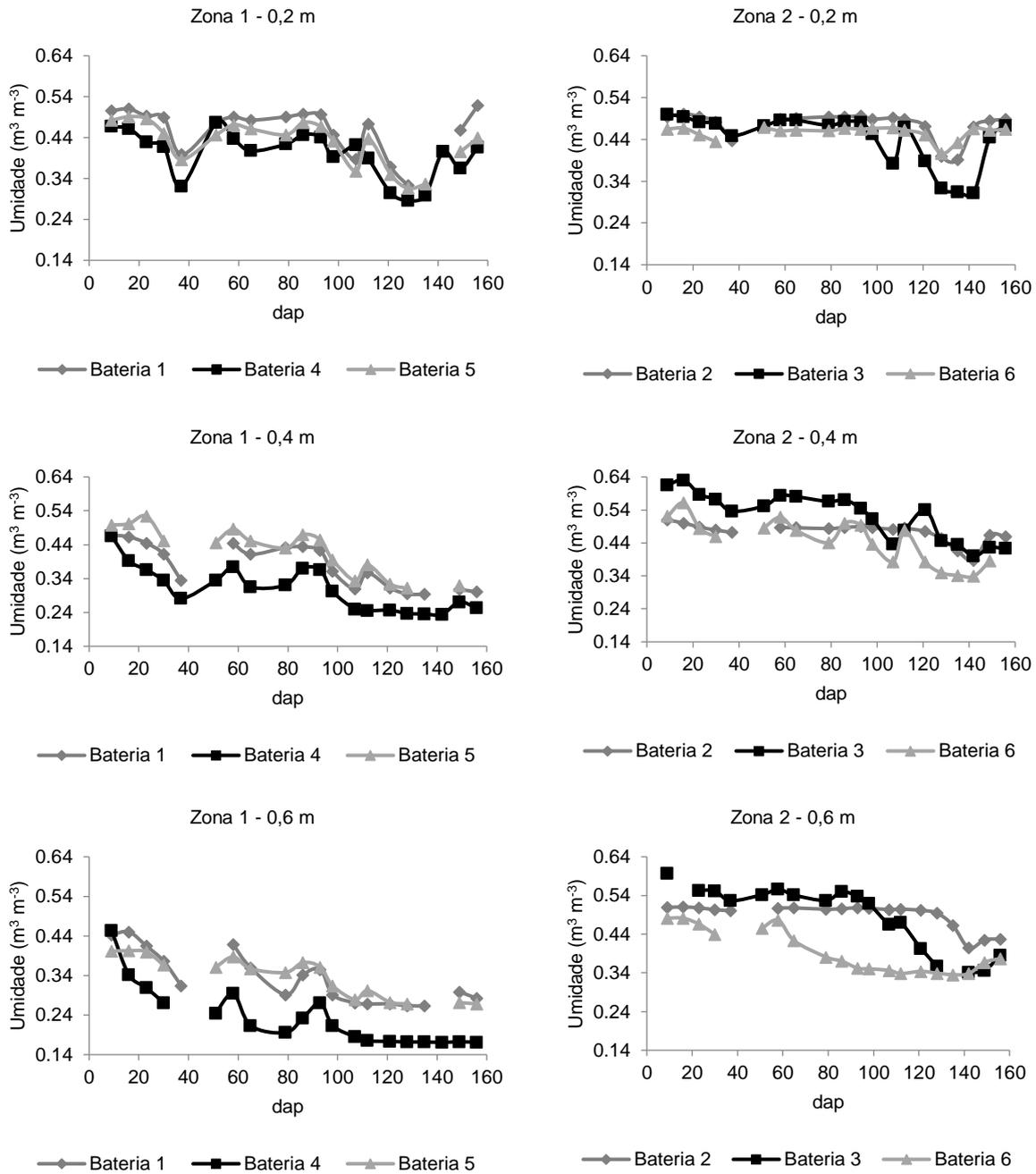


Continuação da Figura 40 ...

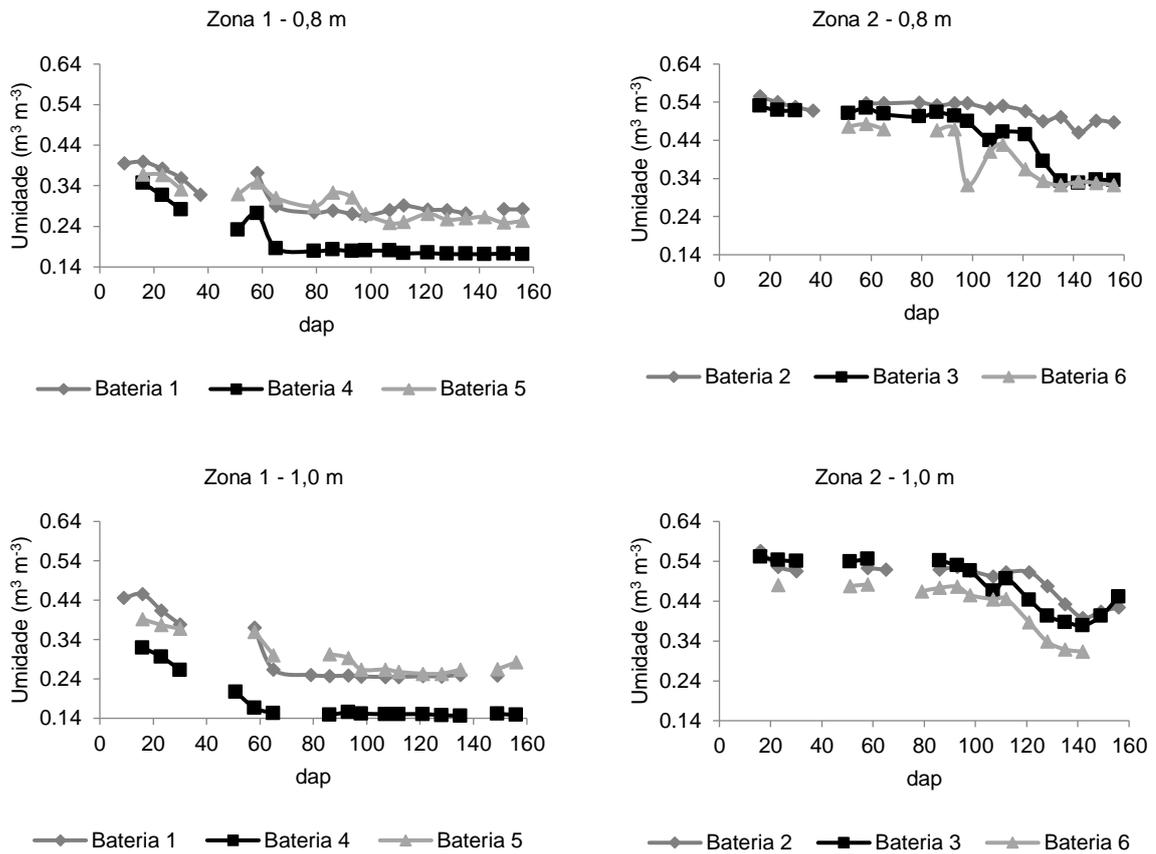


Em 2021, o mesmo comportamento de θ foram observados em todas as profundidades, ou seja, os valores de umidade do solo a 0,2 m em ambas as ZM foram próximos, enquanto que nas demais profundidades foram menores em Z1.

Figura 41 - Umidade do solo às profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e 1,0 m nas baterias de tensiômetros instaladas nas zonas de manejo (Z1 e Z2) 2021

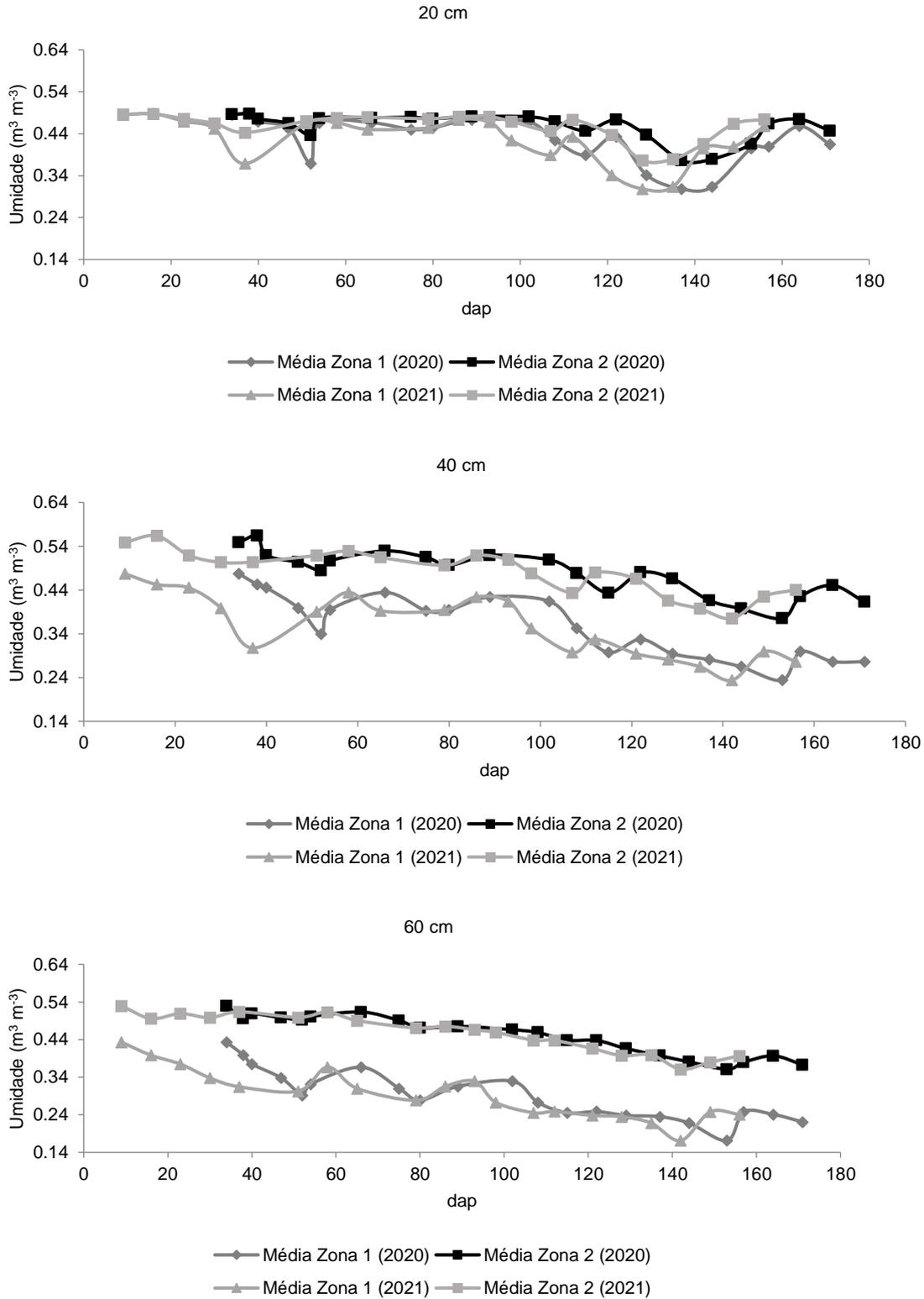


Continuação da Figura 41 ...

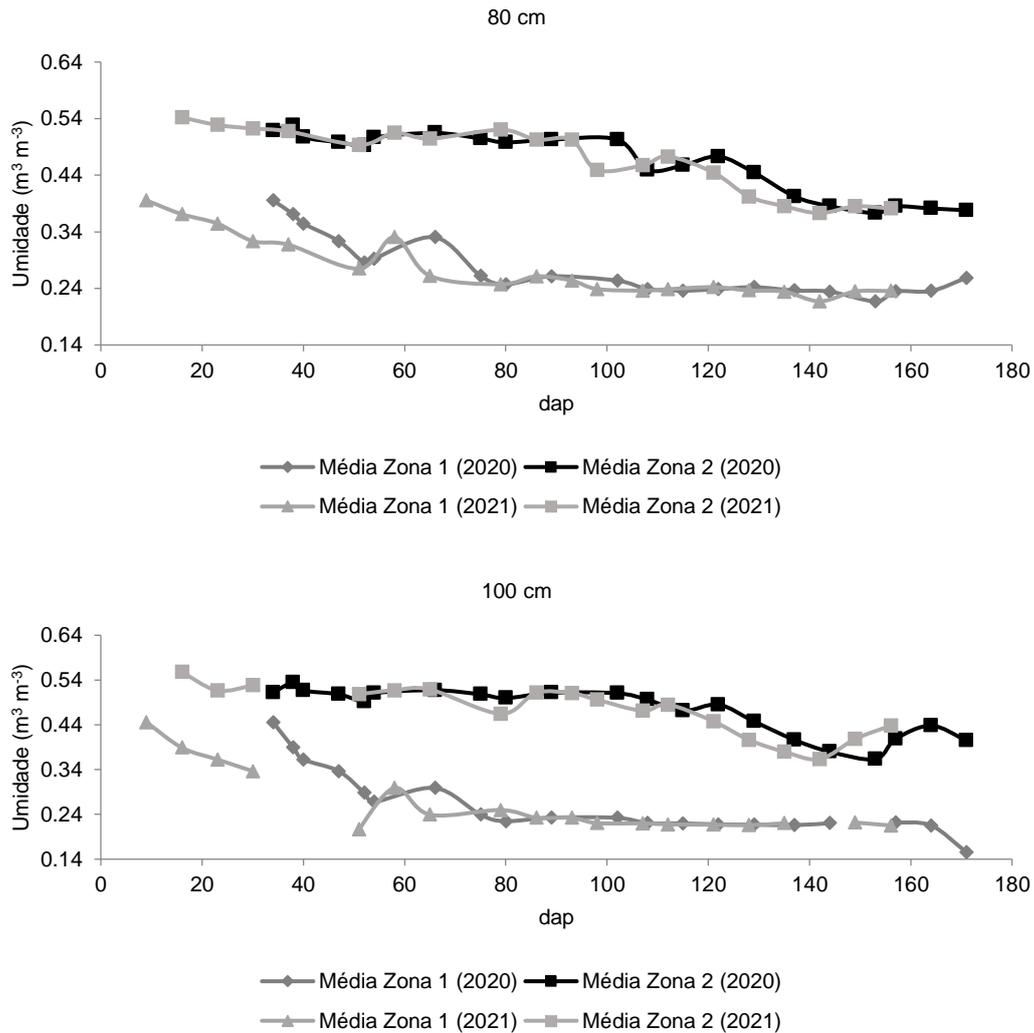


Na Figura 42, pode-se visualizar que os valores médios de umidade em todas as profundidades do solo apresentam diferenças entre as ZM, sendo que uma menor umidade foi determinada em Zona 1, e esta diferença em relação com Zona 2 aumentou com a profundidade.

Figura 42 - Valores médios de umidade contidos em cada profundidade, na Zona 1 e Zona 2, nos anos de 2020 e 2021 na fase de produção



Continuação da Figura 42 ...



O mapeamento do teste de vazão (Figura 43) mostrou que o atributo apresentou dependência espacial; assim foi possível realizar o ajuste do semivariograma com o modelo esférico, com um alcance de 48,680 m, grau de dependência espacial moderada ($GDE < 75\%$) segundo Zimback (2001), e um erro de 0,007 (Tabela 13).

Figura 43 - Mapeamento de vazão ($L h^{-1}$) no sistema de irrigação por gotejamento em funcionamento no vinhedo

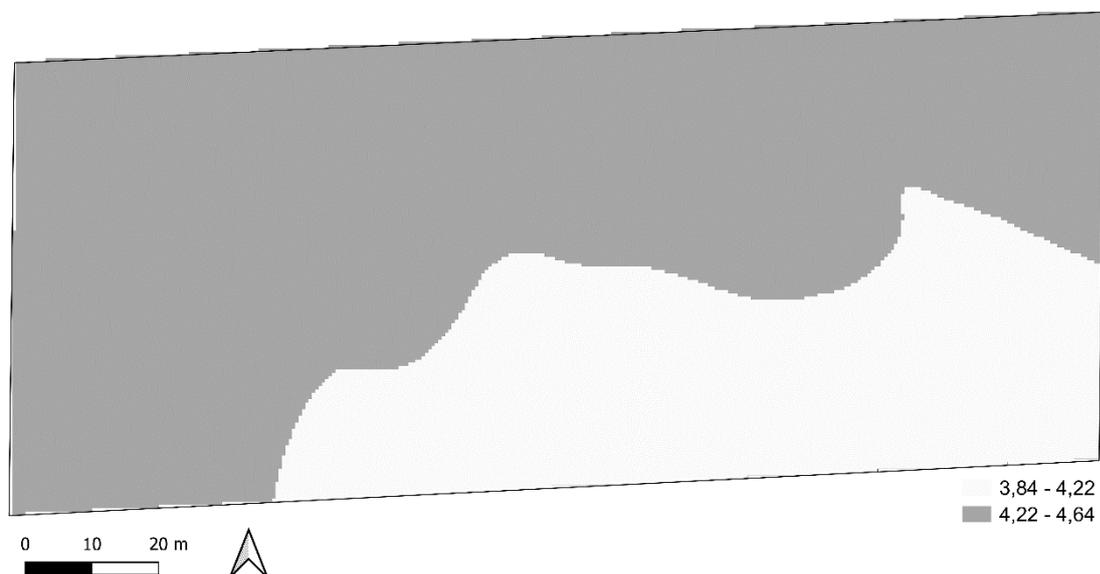


Tabela 13 - Modelos teóricos dos semivariogramas do teste de vazão em sistema de irrigação por gotejamento, e seus respectivos parâmetros de ajuste para o ciclo de produção de uvas de 2021

Atributo ^(a)	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)	GDE ^(b) (%)	RMSE ^(c)
Teste de vazão	Esférico	0,082	0,061	48,680	42,811	0,007

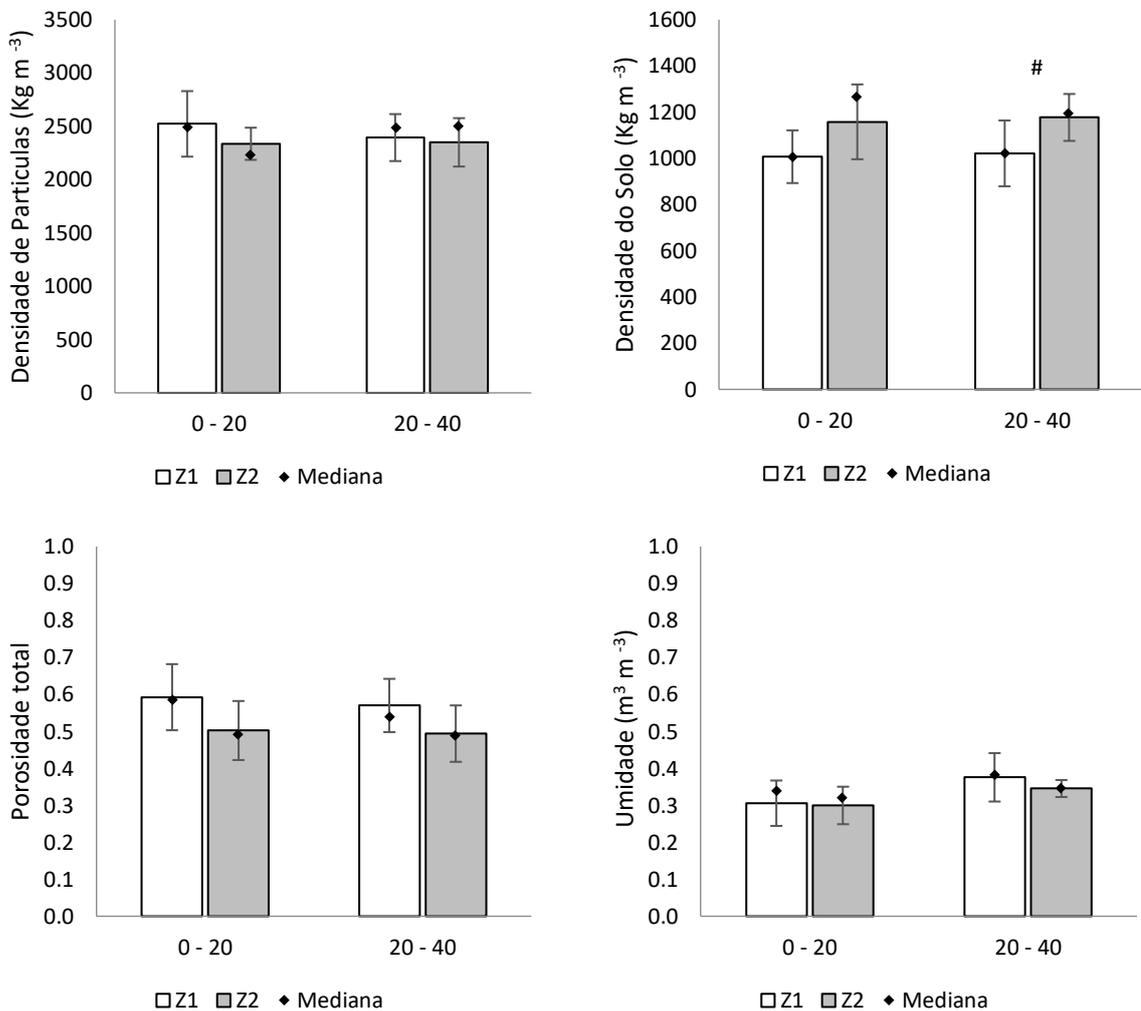
b GDE: grau de dependência espacial de acordo com Zimback (2001); c RMSE: erro médio quadrático do resíduo.

O sistema de irrigação por gotejamento avaliado apresentou vazão média aferida de $4,3 L h^{-1}$, com desempenho satisfatório, conforme a classificação dos indicadores de uniformidade de distribuição de água considerados. Os valores do CUD e CUC foram iguais a 89,41 e 93,64%, respectivamente, sendo classificados como “bom” e “excelente”.

As amostras de solo coletadas nas camadas de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, em dez pontos (cinco pontos em Z1 e cinco pontos em Z2), não apresentaram diferenças significativas quanto a densidade de partículas, porosidade total e umidade. Porém, a

densidade do solo a 0,20 - 0,40 m apresentou significância ($p < 0,10\%$), sendo maior em Z2, (Figura 44).

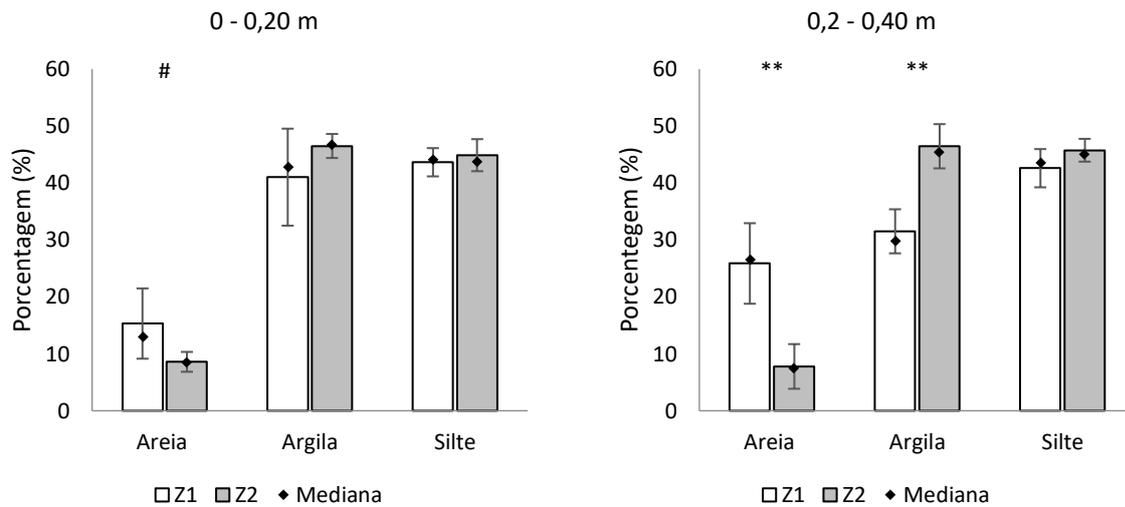
Figura 44 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes a umidade, porosidade total, densidade de partículas sólidas e densidade do solo, em amostras de solo coletadas em dez pontos e em duas camadas de solo



** , * , #: significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância.

Nos mesmos dez pontos, a fração areia na camada de solo 0,0 - 0,20 m apresentou diferença significativa ($p < 0,10\%$) em Z1, as demais frações nesta camada não obtiveram diferença significativa, porém as frações obtiveram maiores valores com tendência a maiores valores de argila e silte em Z2. A camada de solo 0,2 - 0,40 m apresentou diferença significativa ($p < 0,01\%$) para a fração de área e argila, em Z1 e Z2, respectivamente. O silte não obteve diferença significativa.

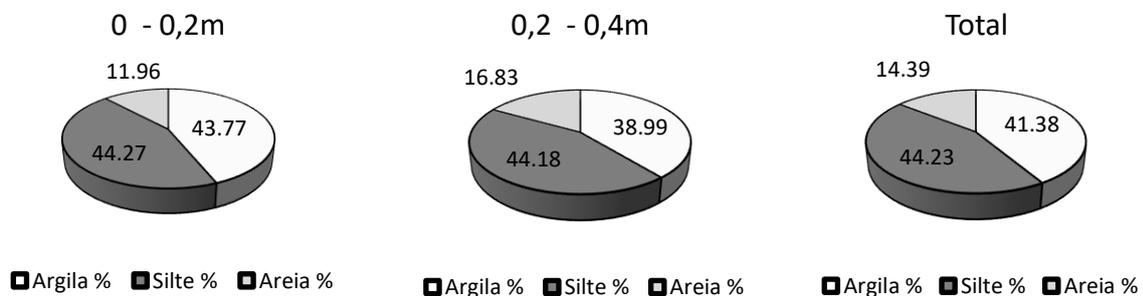
Figura 45 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes as frações granulométricas (porcentagem de areia, argila e silte) em amostras de solo coletadas em dez pontos e em duas camadas de solo



, *, #: significância estatística ao nível de 1% (= 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

A Figura 46 apresenta as frações granulométricas de ambas as camadas de solo em cada uma das ZM e em área total. Segundo a classificação textural proposta por Santos et al. (2018), tanto as zonas de manejo como a área como um todo são classificadas como um solo argiloso.

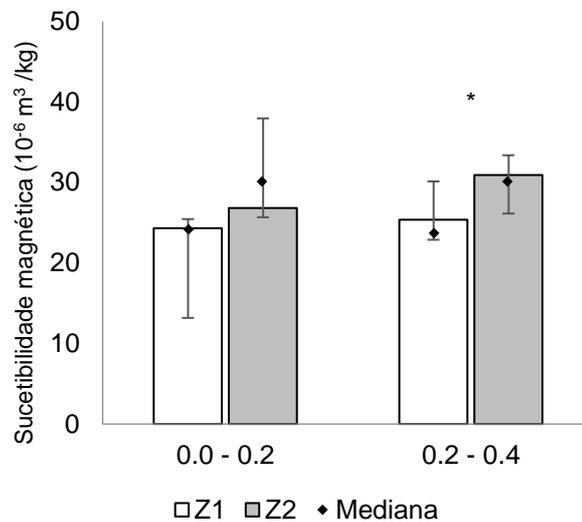
Figura 46 - Valores médios das frações granulométricas (porcentagens de areia, silte e argila) do solo nas duas profundidades (0,0 - 0,2 e 0,2 - 0,4 m) e em área total em amostras de solo coletadas em dez pontos e em duas camadas de solo



Os valores de susceptibilidade magnética do solo não apresentaram diferença significativa na camada de 0,0 - 0,20 m (Figura 47), mas na camada de solo de 0,2 - 0,4 m o seu valor foi maior em Z2 ($p < 0,05\%$). Como os dez pontos escolhidos para a coleta dos solos levaram em consideração os mapas de zonas homogêneas de CEa

e umidade do solo, os maiores valores de susceptibilidade magnética coincidiram com as zonas homogêneas de maior valor.

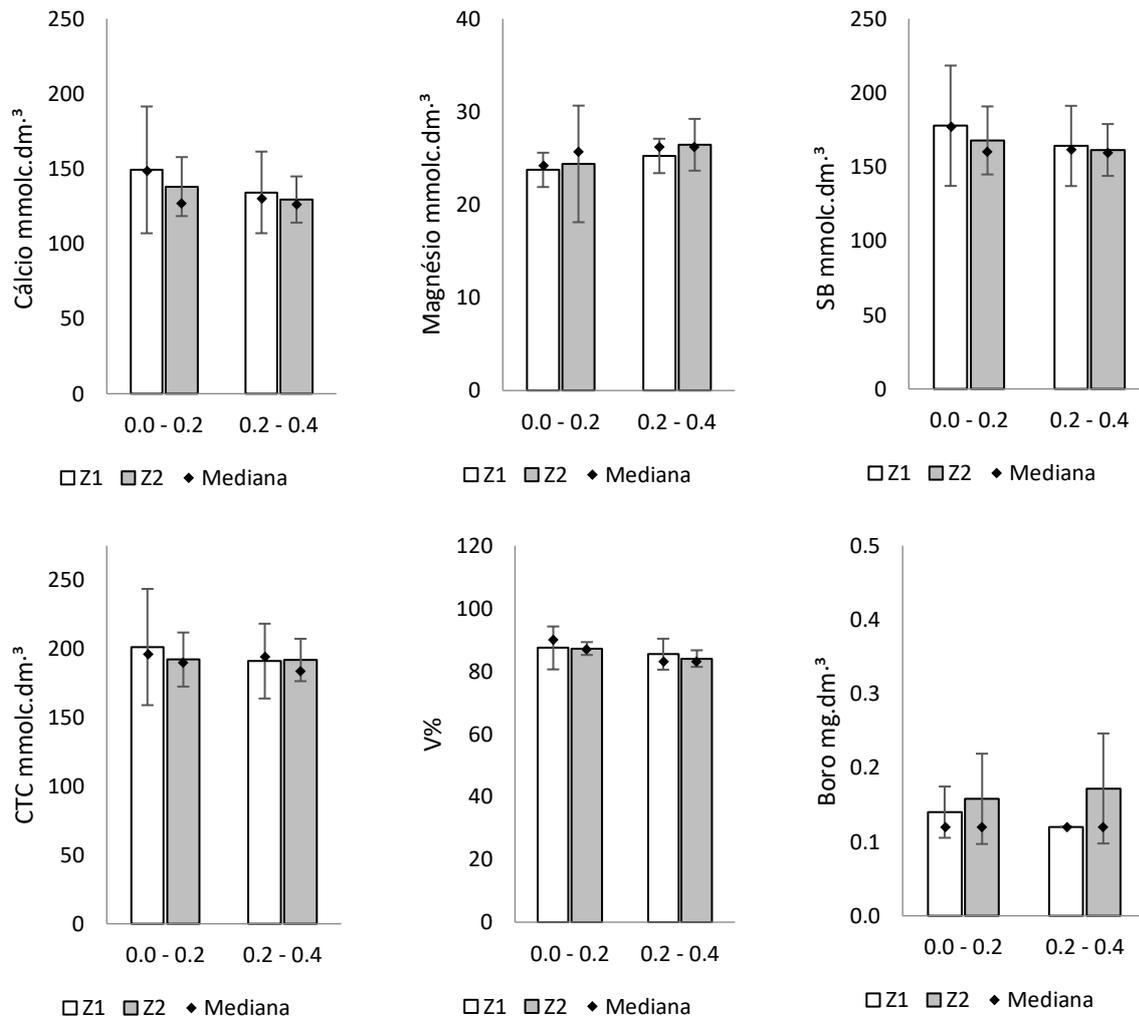
Figura 47 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes a susceptibilidade magnética do solo, nas duas profundidades (0 - 0,2 e 0,2 0,4 m) e em área total em amostras de solo coletadas em dez pontos e em duas camadas de solo



** , * , #: significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Nas análises químicas realizadas nos dez pontos de coleta de solo, os teores de boro, cálcio e magnésio, a soma de base, a capacidade de troca catiônica e saturação de bases não apresentaram diferenças significativas entre as duas camadas (Figura 48).

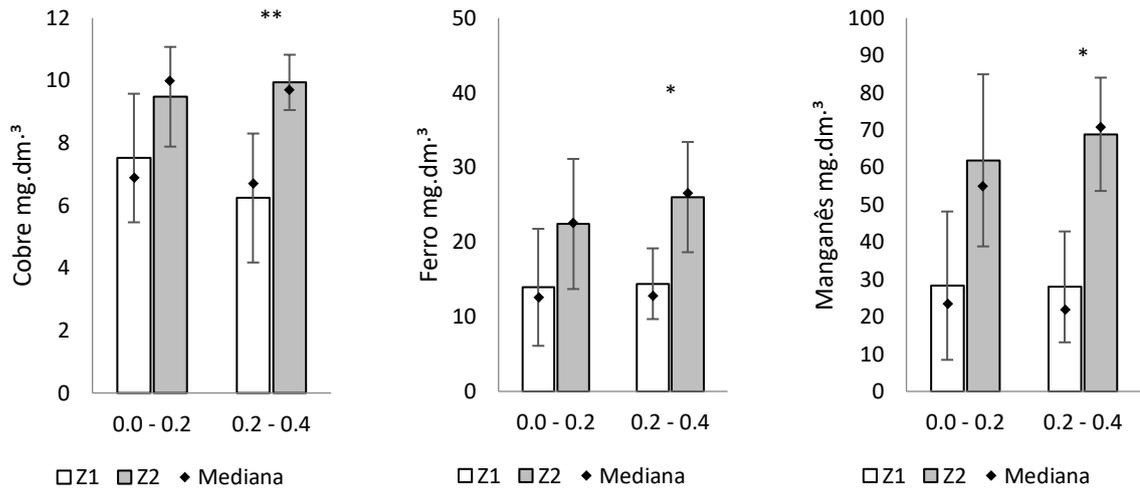
Figura 48 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes ao cálcio, magnésio, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V), boro, nas zonas de manejo Z1 e Z2



, *, #: significância estatística ao nível de 1% (= 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Os teores de cobre, ferro e manganês não apresentaram diferenças significativas na primeira camada do solo. Na camada de solo subsequente, ocorreram diferenças significativas ($p < 0,01\%$, $p < 0,05\%$ e $p < 0,05\%$, respectivamente) em Z2 (Figura 49).

Figura 49 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes ao cobre, ferro e manganês, nas zonas de manejo Z1 e Z2

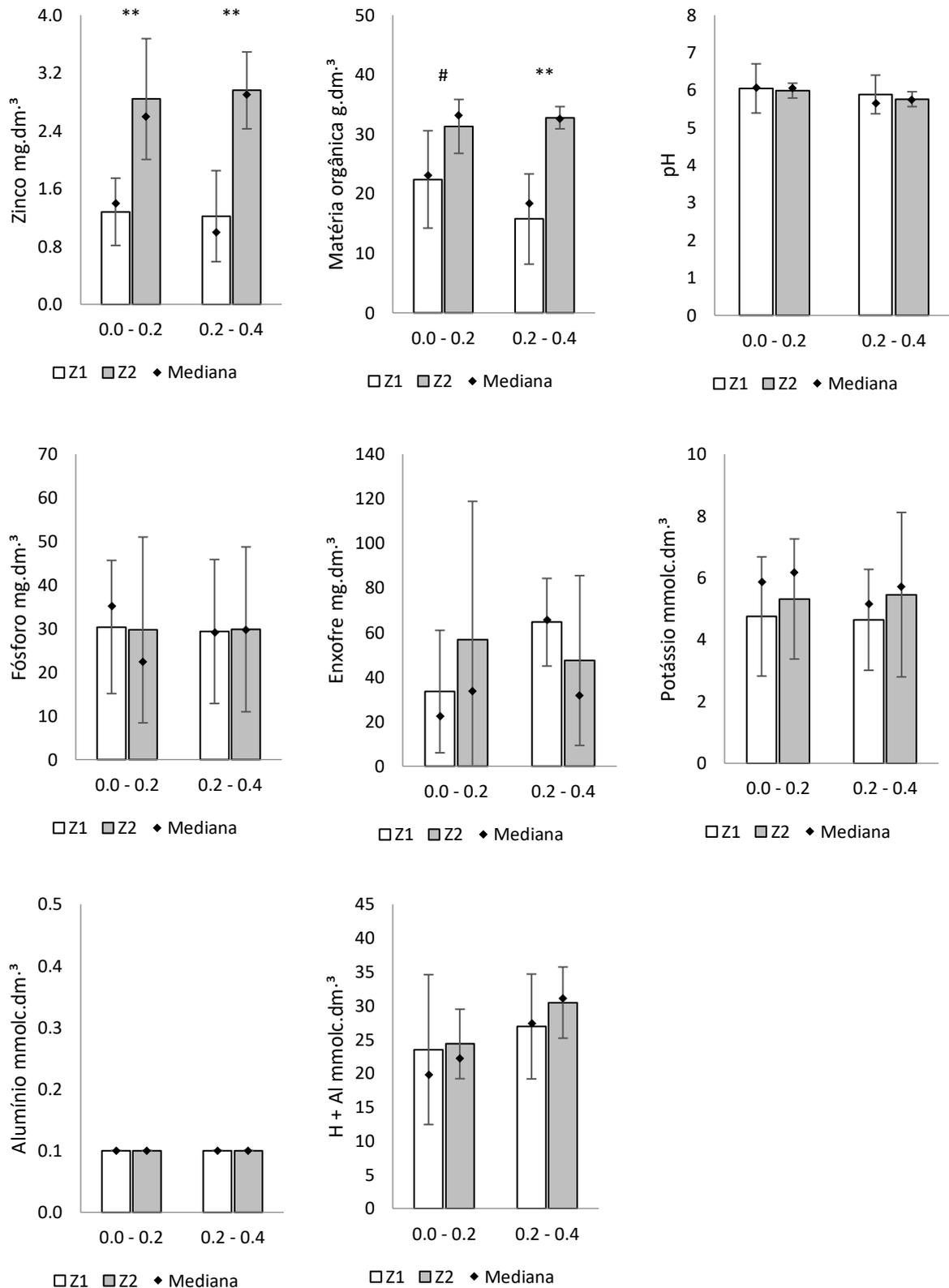


** , * , # : significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Em Z2, o teor de zinco foi maior em ambas as camadas ($p < 0,01\%$). O mesmo ocorreu para o teor de matéria orgânica ($p < 0,10\%$ a 0,0 - 0,2 m e $p < 0,01\%$ a 0,2 - 0,4 m). O pH, fósforo, enxofre, potássio, alumínio e hidrogênio + alumínio não apresentaram diferenças significativas entre as camadas do solo (Figura 50).

Dessa forma, não foi evidenciada uma grande variabilidade de atributos químicos medidos nas amostras de solo de diferentes camadas, coletadas nos dez pontos ao longo do vinhedo em Z1 e Z2.

Figura 50 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes à zinco, pH, matéria orgânica, fósforo, enxofre, potássio, alumínio e hidrogênio + alumínio nas zonas de manejo Z1 e Z2

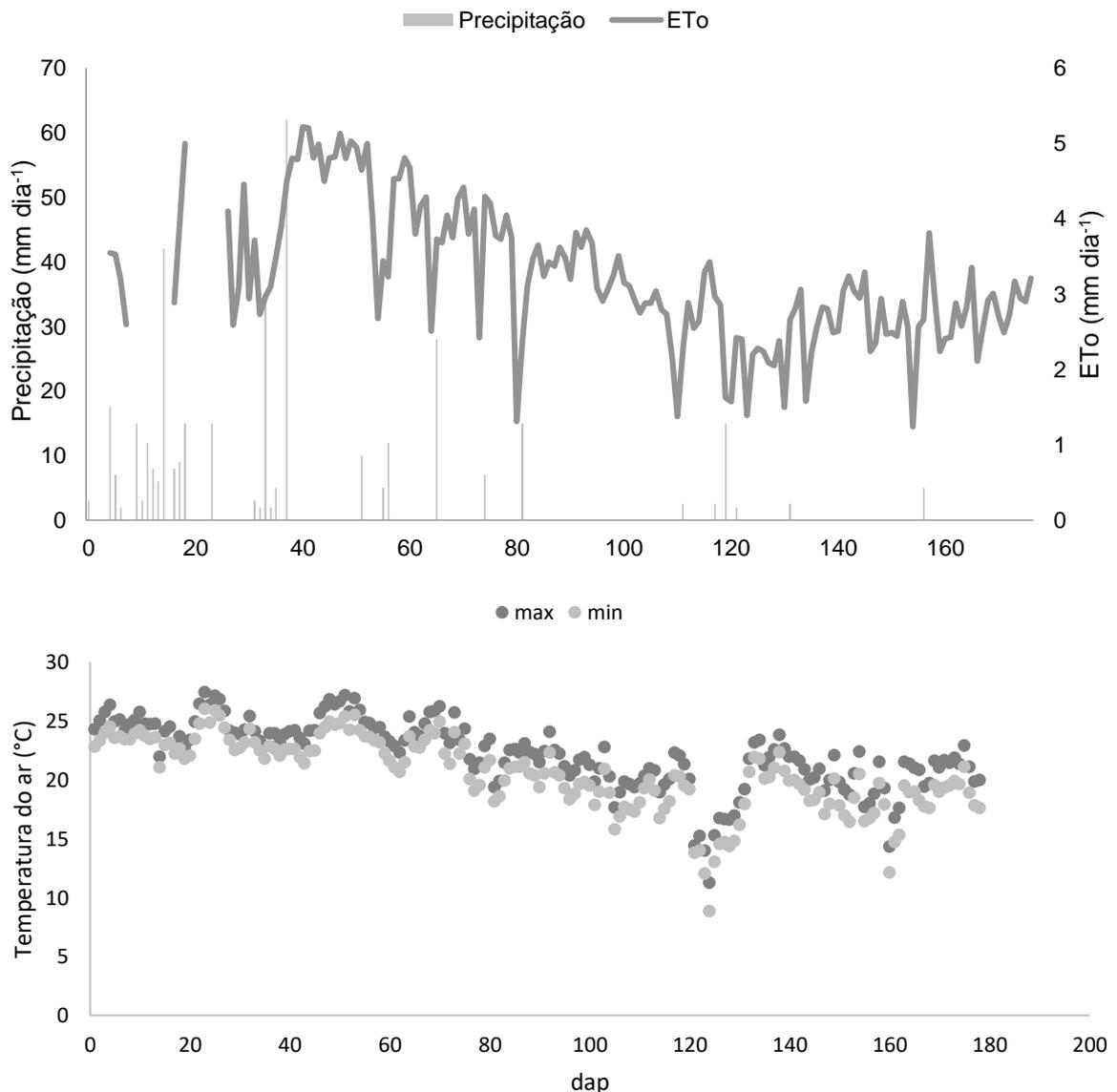


** , * , # : significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

4.4.2 Atributos climáticos

Os dados referentes à lâmina de irrigação aplicada e precipitação, evapotranspiração de referência e temperatura do ar ocorrida nos ciclos de produção de uva de 2020 e 2021 estão apresentados nas Figuras 51 e 52, respectivamente. No primeiro ciclo, os registros da lâmina de irrigação aplicada foram perdidos por problema irreparável no notebook onde os dados estavam armazenados, e por isso essa informação não está apresentada.

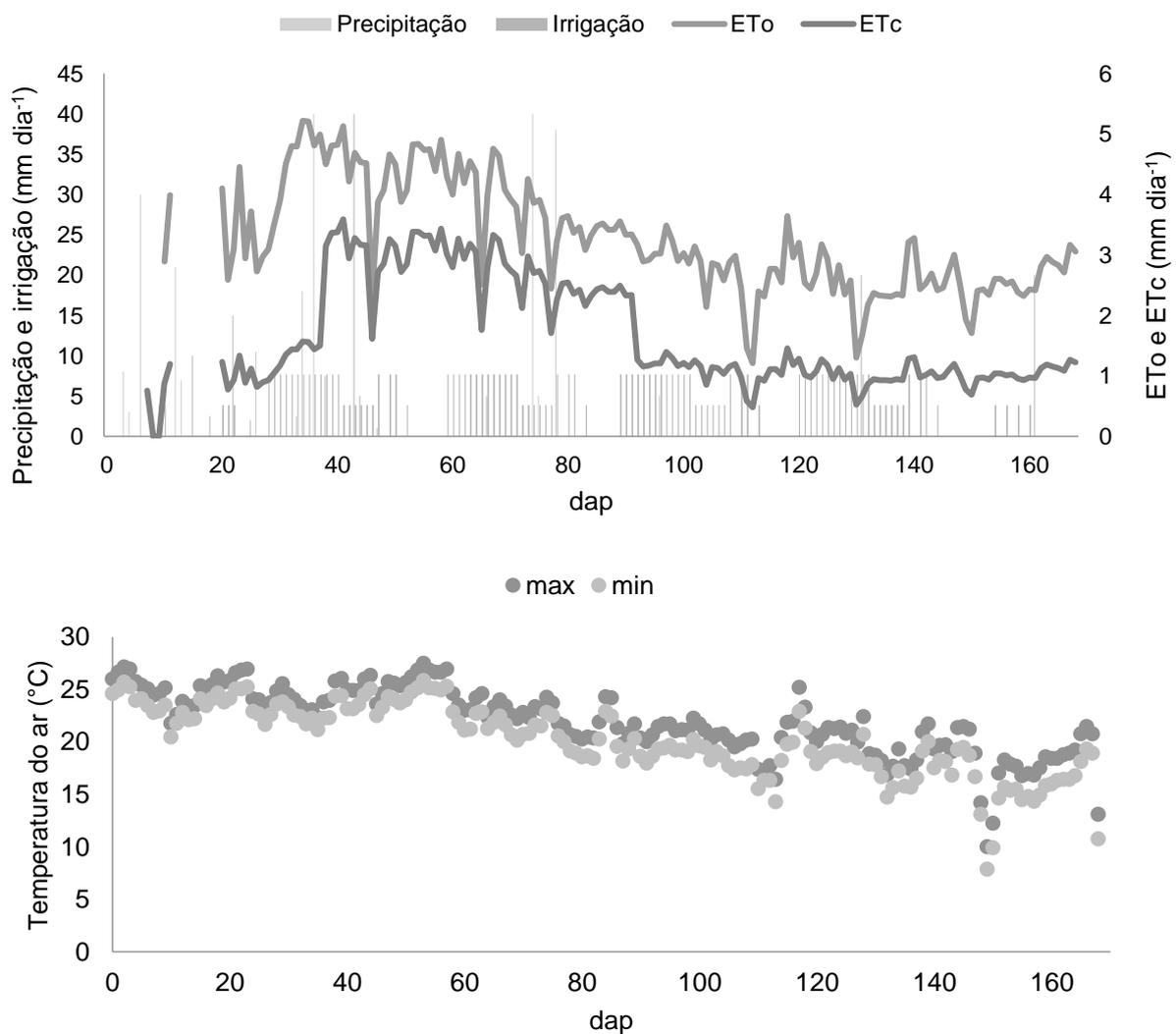
Figura 51 - Precipitação, temperaturas máxima e mínima do ar e evapotranspiração de referência no ciclo de produção de uvas de 2020



No ciclo de produção de uvas de 2020, os valores totais de precipitação e ETo foram de 375 e 516,4 mm, respectivamente, sendo os maiores valores ocorridos ao

12 dap e 35 dap, respectivamente. A ETo média foi de $3,2 \text{ mm dia}^{-1}$. No ciclo posterior, os valores totais de precipitação, irrigação e ETo foram de 356, 633 e 501 mm, respectivamente, sendo os maiores valores ocorridos ao 36 dap, 43 dap e 74 dap, respectivamente. Os valores médios de lâmina aplicada e de ETo foram $3,7$ e $3,3 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente. Em ambos os ciclos, a maior parte das precipitações ocorreu no período vegetativo da videira, da brotação de gemas até o florescimento.

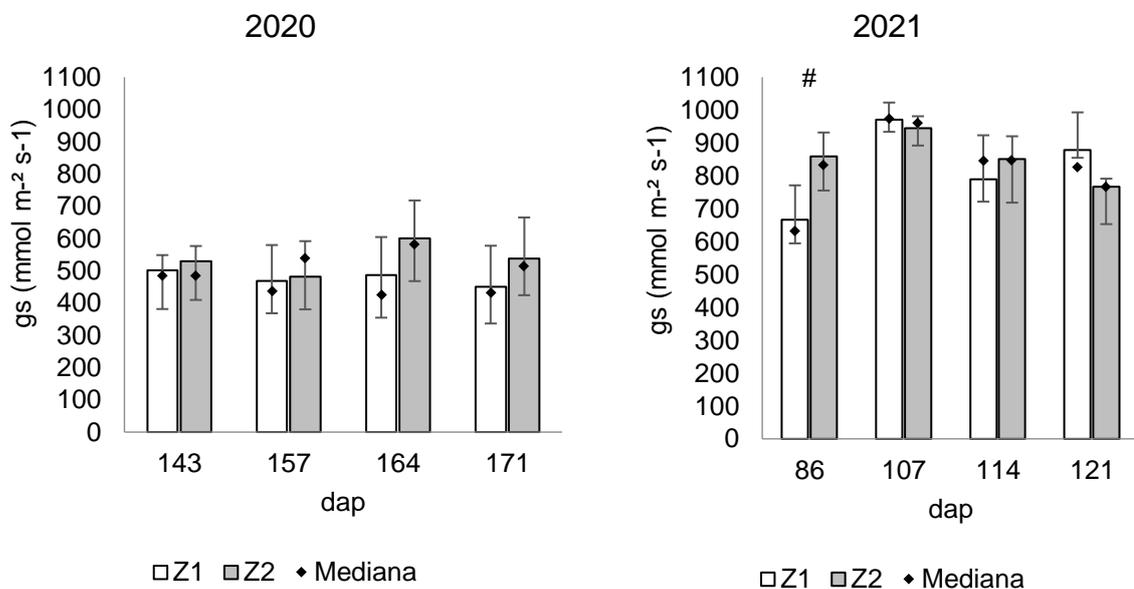
Figura 52 - Precipitação, temperaturas máxima e mínima do ar e evapotranspiração de referência no ciclo de produção de uvas de 2021



4.4.3 Medidas de condutância estomática, teor relativo de clorofila e índice de área foliar

A condutância estomática (g_s) foi medida no ciclo de produção de uvas de 2020 e 2021, nas plantas vizinhas às baterias de tensiômetros instaladas. Considerando-se as zonas de manejo Z1 e Z2, g_s não apresentou diferença estatística no ciclo de 2020 (Figura 53), enquanto que no ciclo de 2021 os valores de condutância estomática apresentaram diferença significativa ($p < 0,10\%$) somente aos 86 dap, com maior valor em Z2 (Figura 53).

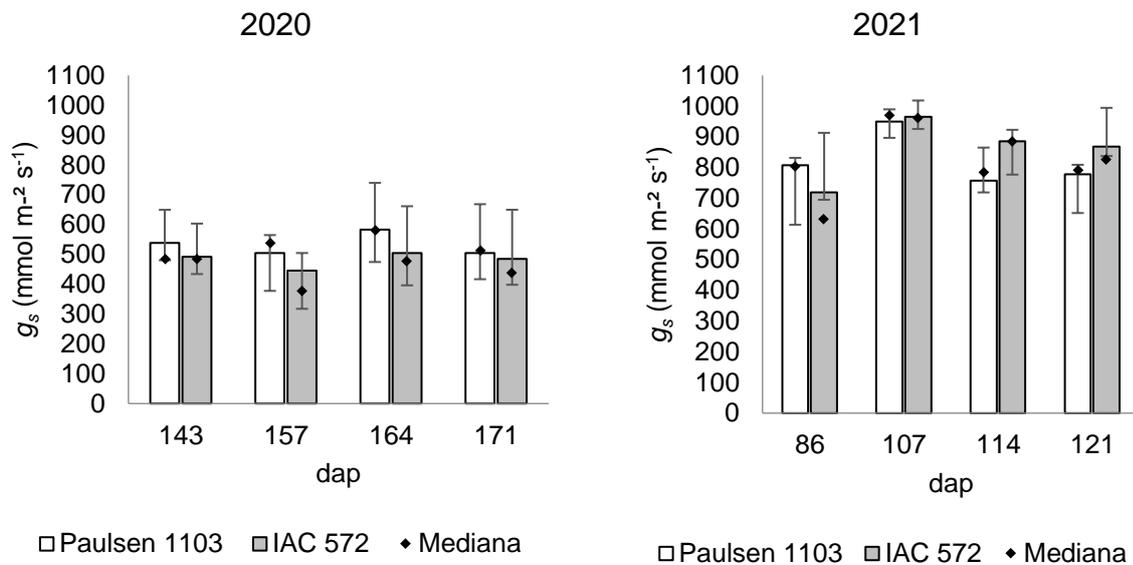
Figura 53 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) da condutância estomática (g_s) medida na videira 'Syrah' nos ciclos de produção de uvas de 2020 e 2021, em função da zona de manejo



** , * , #: significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Quando a g_s foi analisada em função dos porta-enxertos presentes no vinhedo ('Paulsen 1103' e 'IAC 572'), também não foi observada diferença significativa em ambos os ciclos analisados. Em 2020 o porta-enxerto 'Paulsen 1103' obteve maiores valores de g_s em Z1, enquanto que em 2021 o porta-enxerto 'IAC 572' apresentou maiores valores de g_s em todos os dias, exceto aos 86 dap em Z1 (Figura 54).

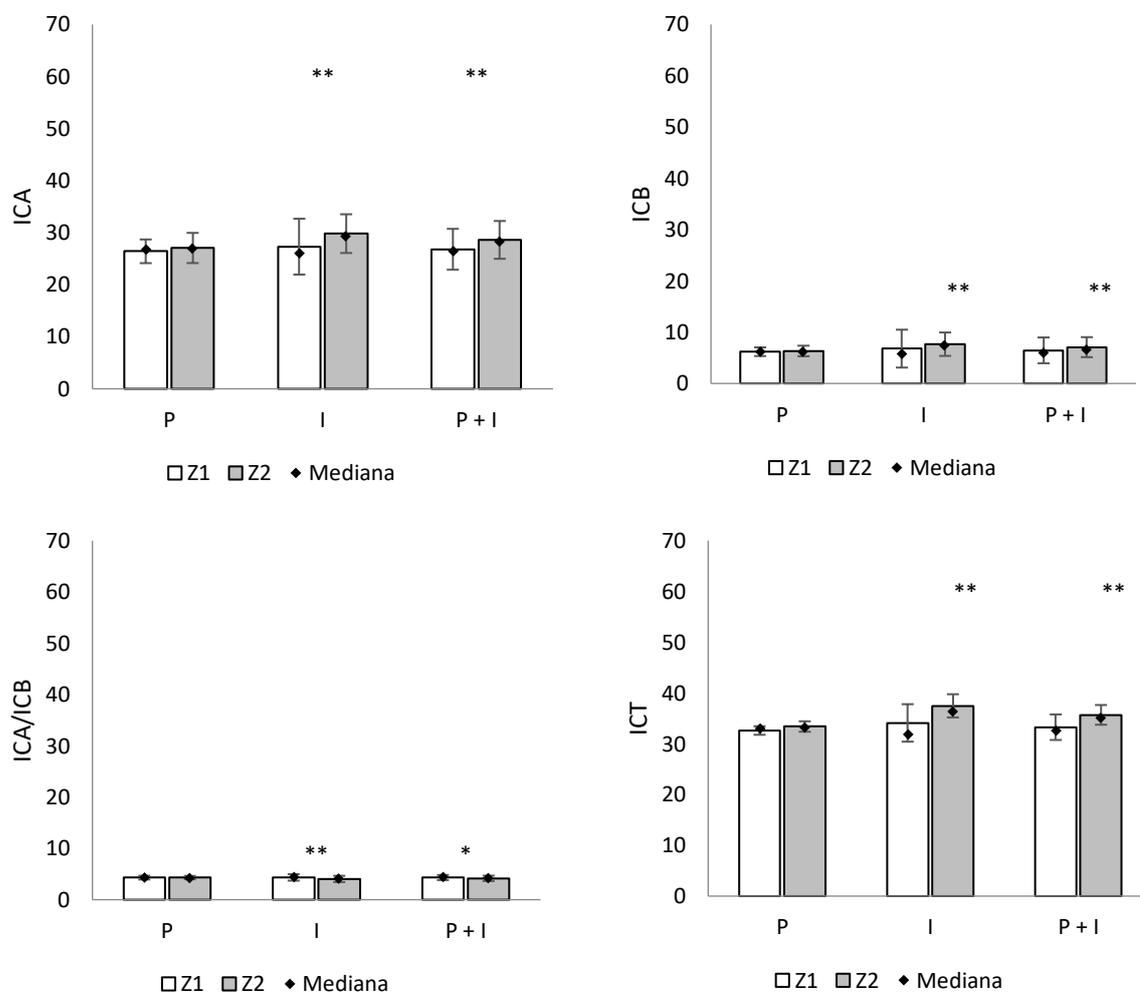
Figura 54 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) da condutância estomática (g_s) medida na videira 'Syrah' nos ciclos de produção de uvas de 2020 e 2021, em função do porta-enxerto utilizado



** , * , #: significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Os teores de relativos de clorofila não apresentaram diferenças estatísticas entre as zonas Z1 e Z2 para as videiras enxertadas no porta-enxerto 'Paulsen 1103', enquanto que no porta-enxerto 'IAC 572' e em área total (P+I), o ICA, ICB e ICT e a razão ICA/ICB apresentam diferenças significativas. ICA e ICB foram maiores em Z2 ($p < 0,01\%$), enquanto que a relação entre ambos foi maior em Z1 (Figura 55). Estes resultados corroboram com Taiz & Zeiger (2004) que afirmaram que os teores de clorofilas não sofrem alterações ambientais (como o estresse hídrico), a não ser com o efeito da luz e da temperatura, pois são determinados geneticamente.

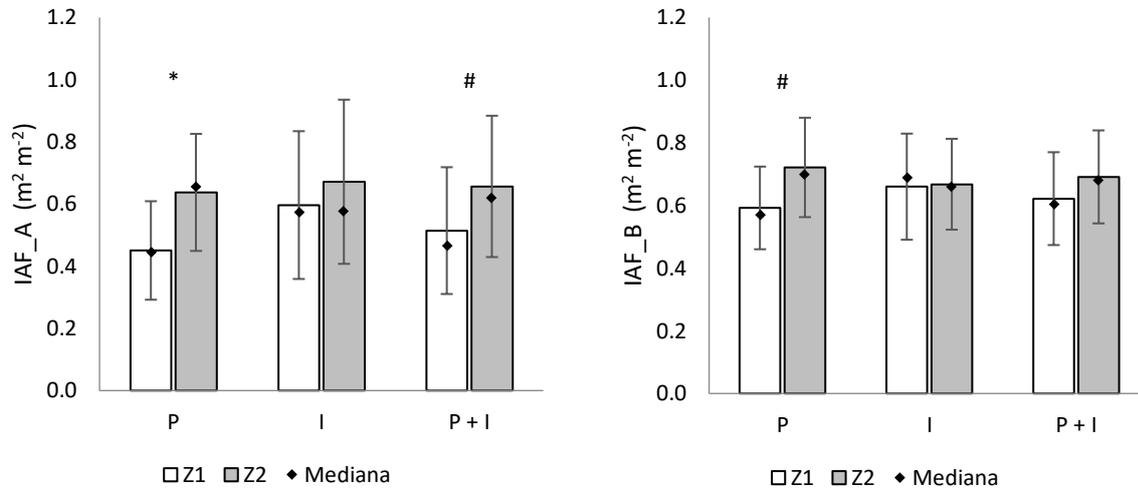
Figura 55 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes as medidas dos índices relativos de clorofila A (ICA), B (ICB), relação A/B e clorofila total (ICT), em função dos porta-enxertos ('Paulsen 1103' - P e 'IAC 572' - I), em área total (P+I)



** , * , # : significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

O IAF determinado aos 73 dap (fase de cacho fechado) conforme a metodologia A foi significativamente maior em Z2 para quando se considerou o porta-enxerto 'Paulsen 1103' ($p < 0,05\%$) e a área total ($p < 0,10\%$). O IAF determinado conforme a metodologia B apresentou maiores valores em Z2 ($p < 0,10\%$) somente para o porta-enxerto 'Paulsen 1103' (Figura 56).

Figura 56 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) do índice de área foliar (IAF) conforme as metodologias A (IAF_A) e B (IAF_B), em função dos porta-enxertos ('Paulsen 1103' - P e 'IAC 572' - I) e em área total (P+I).



, *, #: significância estatística ao nível de 1% (= 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

No Vale do São Francisco, Pereira et al. (2016) utilizaram o mesmo tipo de equipamento e relataram valores médios de IAF da videira 'Syrah' enxertadas sobre o porta-enxerto IAC 766 conduzida em espaldeira de 1,1 m² m⁻² e 2,5 m² m⁻², entre 10 e 30 dap (brotação-floração) e 31 a 55 dap (floração-maturação), respectivamente. Tais valores são superiores aos encontrados neste estudo para as duas metodologias de estimativa de IAF.

Vale (2016) obteve em Petrolina - PE os valores máximos de IAF de 3,74 e 3,24 m² m⁻² aos 108 dap, nos sistemas de condução de lira e espaldeira, respectivamente. Os valores máximos do IAF da 'Syrah' sobre os porta-enxertos 'IAC 313' (3,76 m² m⁻²) e 'IAC 572' (3,72 m² m⁻²) foram maiores que os apresentados pela mesma cultivar sobre o 'Paulsen 1103' (3,20 m² m⁻²) e o 'SO4' (3,27 m² m⁻²). Souza et al. (2009) encontraram valores de IAF da videira 'Syrah' enxertada sobre os porta-enxertos 'IAC 572' e 'Paulsen 1103' próximos aos relatados neste trabalho, com o valor do IAF do 'IAC 572' superior ao do 'Paulsen 1103'.

4.4.4 Atributos de produção e qualidade de bagas

A avaliação do desempenho produtivo das videiras ocorreu na colheita de ambos os ciclos de produção de uvas, realizada aos 175 dap (20 de julho de 2020) e

aos 168 dap (19 de julho de 2021). No ciclo de produção de 2021 foram colhidas as mesmas plantas do ciclo anterior, pois mesmo com a elaboração de uma nova zona de manejo no segundo ciclo de produção, as ZM foram similares. Assim, as plantas de colheita foram as mesmas em ambos os anos. (Figuras 57 e 58).

Figura 57 - Localização das videiras 'Syrah' para quantificação de atributos na colheita de uvas em 2020, em função dos porta-enxertos e zonas de manejo

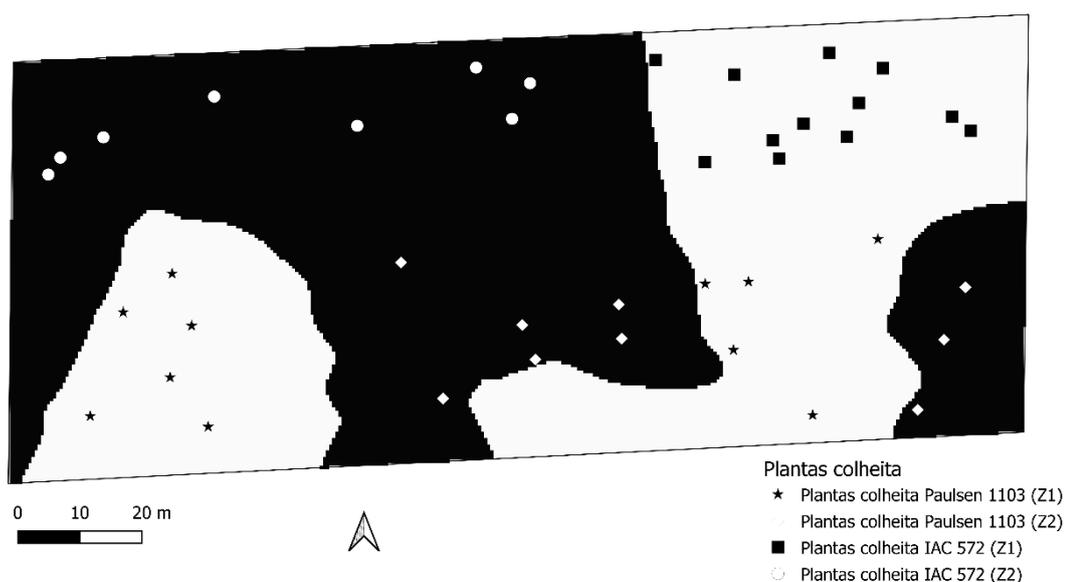
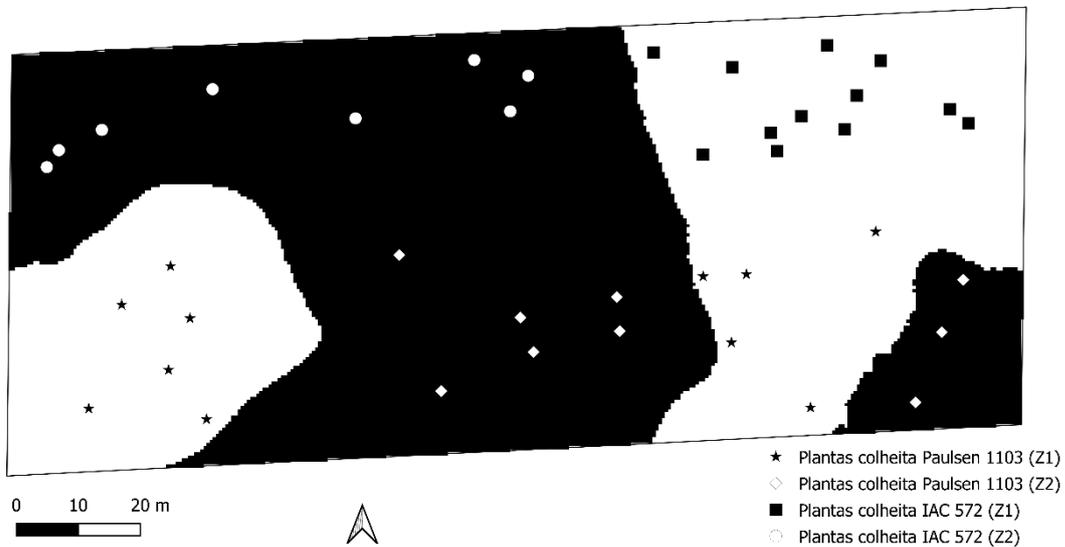
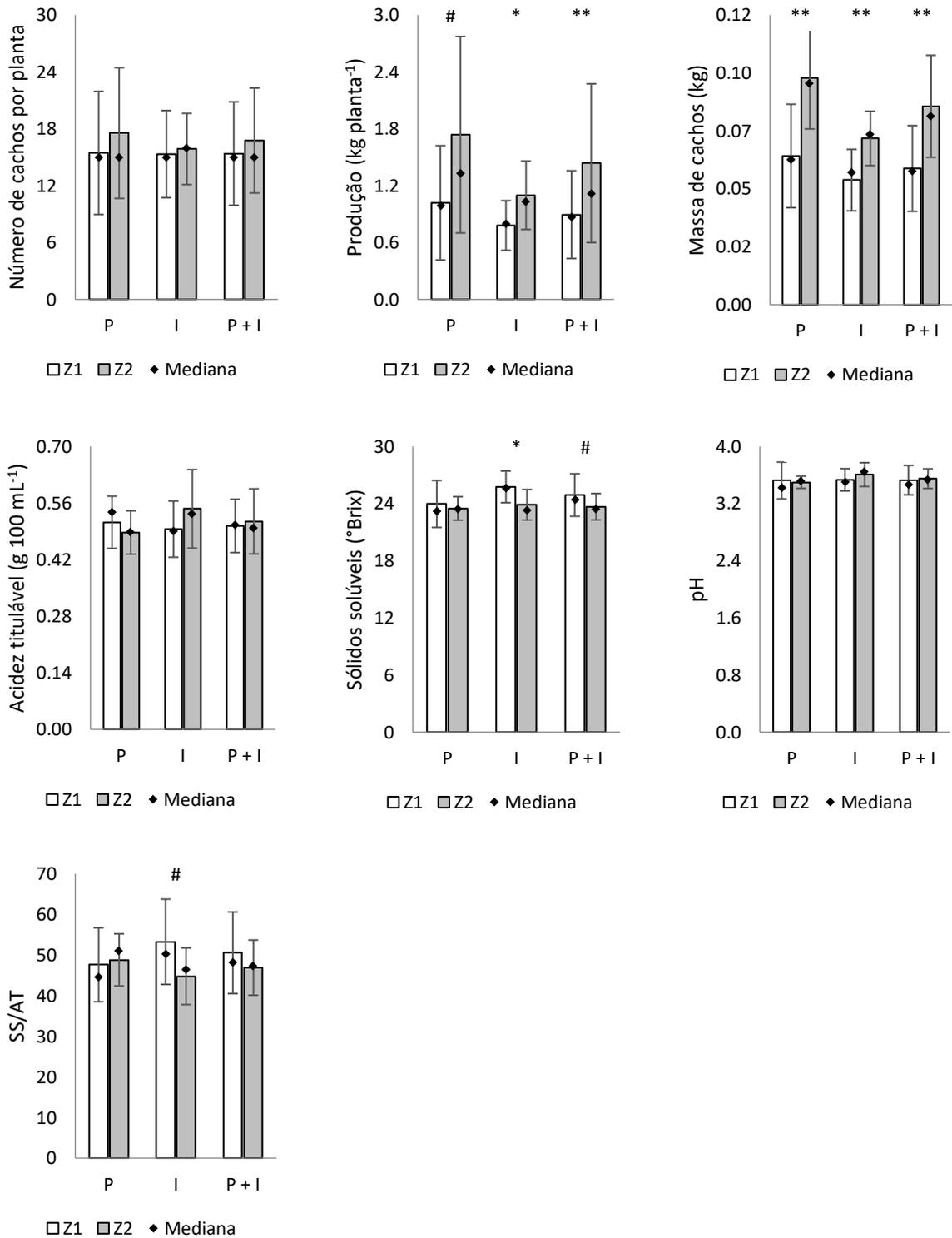


Figura 58 - Localização das videiras 'Syrah' para quantificação de atributos na colheita de uvas em 2021, em função dos porta-enxertos e zonas de manejo.



Em 2020, o NC não apresentou diferença significativa entre os porta-enxertos, zonas de manejo e área total. O valor médio de cachos por planta foi de 15,39 em Z1 e 16,76 em Z2 (Figura 59). Tais valores são menores que os observados por Fávero (2008), nas safras de inverno em 2005 (20,75) e 2006 (20,25), mas próximo aos 19,83 cachos por planta relatados por Amorim et al. (2005) para a safra de inverno em 2003, para a mesma cultivar, porém com o porta-enxerto '3309 C'.

Figura 59 - Valores médios ± desvio padrão e mediana (ponto em destaque) do número de cachos por planta (NC), produção por planta (PD), massa média de cachos (MC), acidez total (AT), sólidos solúveis (SS), pH e relação SS/AT das uvas cv. 'Syrah' sobre 'Paulsen 1103' (P) e 'IAC 572' (I) e em zonas de manejo (Z1 e Z2) em 2020



** , * , # : significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Em 2020 (Figura 59), a PD apresentou diferenças estatísticas, sendo maior na Z2 tanto com o porta-enxerto 'Paulsen 1103', com 1,73 kg planta⁻¹ ($p < 0,10$) como com o porta-enxerto 'IAC 572', com 1,09 kg planta⁻¹ ($p < 0,01$); o mesmo correu em área total, com 1,43 kg planta⁻¹ ($p < 0,05$). Como a área cultivada com o porta-enxerto 'Paulsen 1103' possui 2256 plantas (Tabela 14) e uma produção média de 1,34 kg planta⁻¹, a produção total estimada com este porta-enxerto foi de 3028,00 kg; a área de 'IAC 572' contém 1,602 plantas e uma produção média de 0,907 kg planta⁻¹, o que resulta em uma estimativa de produção total de 1454,00 kg. Na área de todo o vinhedo, a produção total estimada foi então de 4340,00 kg. Para a MC, foram encontrados valores médios de 0,094 Kg, 0,068 Kg e 0,082 Kg nos porta-enxertos 'Paulsen 1103', 'IAC 572' e área total, respectivamente, sendo todos maiores em Z2 que Z1 ($p < 0,01$). Tais valores estão abaixo do valor de 160 g observados por Dias (2011), na cultivar 'Syrah' com o porta-enxerto '3309 C'. Valores de massa média de cachos de 147,6 g e 127,8 g foram encontrados por Pedro Junior et al. (2019) em condições de sombreamento e céu aberto, respectivamente, cultivadas sob porta-enxerto '1103 Paulsen' em Louveira-SP.

Tabela 14 - Número de plantas no vinhedo 'Syrah' sobre os porta-enxertos 'Paulsen 1103' e 'IAC 572', número de cachos por planta (NC), produção (PD), massa média de cachos (MC), acidez total (AT), sólidos solúveis (SS), pH e a relação entre SS/AT no ciclo de produção de uvas de 2020

	Plantas	NC	PD kg planta ⁻¹	MC kg	AT g 100 ml ⁻¹	SS °Brix	pH	SS/AT
P 1103	2256	16,40	1,342	0,076	0,501	23,75	3,51	48,14
'IAC 572'	1602	15,55	0,907	0,059	0,516	25,01	3,56	49,86
Total	3858	15,98	1,125	0,067	0,508	24,38	3,54	49,00

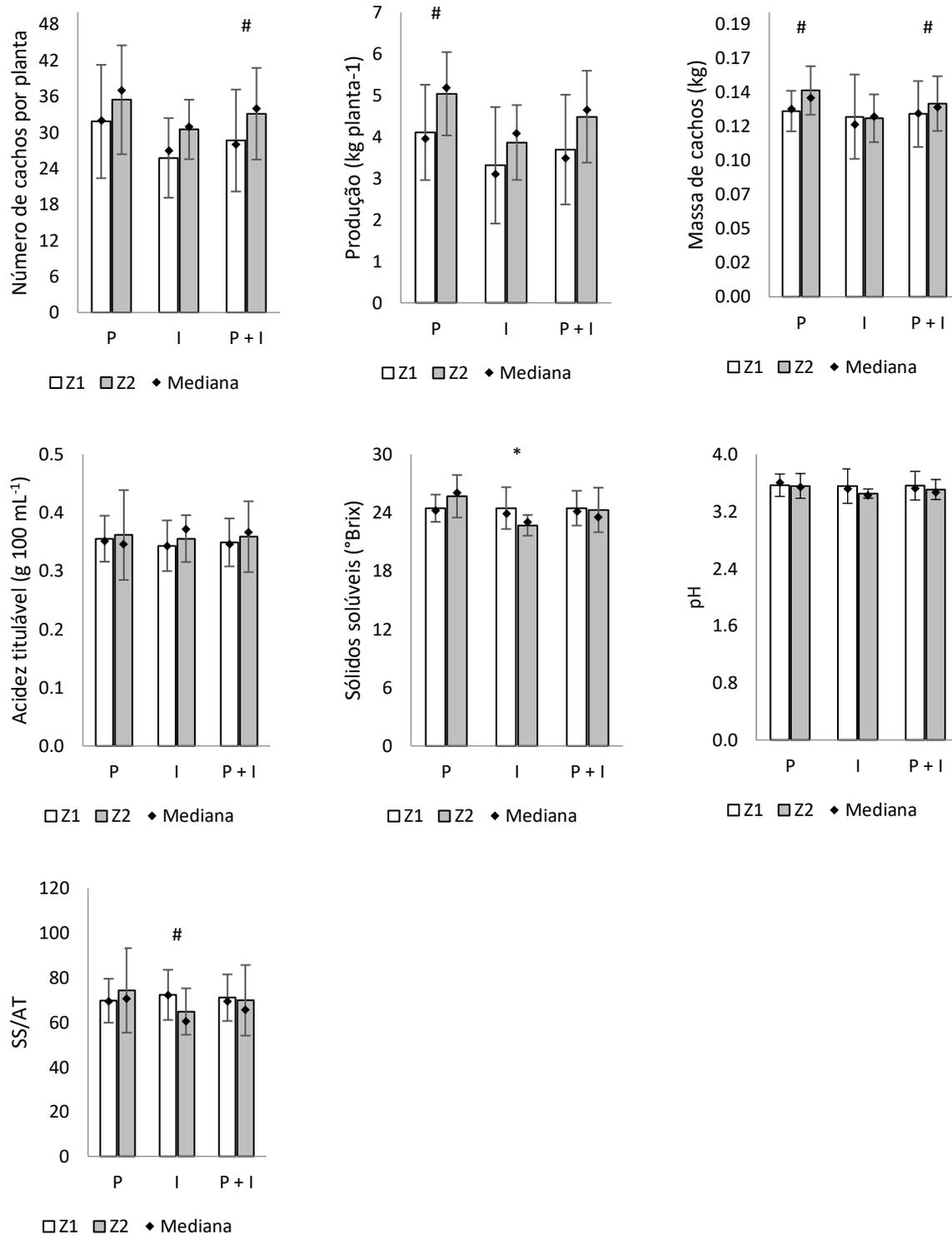
Ainda pela Figura 59, observa-se que a AT não diferiu estatisticamente em função do porta-enxerto e da zona de manejo, sendo seus valores inferiores aos relatados para a 'Syrah' no sul de Minas Gerais (FAVERO et al., 2008, MOTA et al., 2010) e para a 'Syrah' na região de Louveira - SP (PEDRO JÚNIOR & HERNANDES 2017). Os valores de SS foram maiores em Z1 para o porta-enxerto 'IAC 572' ($p < 0,05$) e em área total ($p < 0,10$). Os valores são superiores ao 18,2 °Brix relatados por Mota et al. (2010), na safra de inverno no sul de Minas Gerais e por Sato et al. (2012) em Maringá (PR); próximos aos obtidos por Fávero et al. (2011) também no sul de

Minas Gerais; e inferiores aos 26,9 °Brix observado no nordeste de São Paulo (REGINA et al., 2011).

Os valores de pH não apresentaram diferenças em função do porta-enxerto e das zonas de manejo. Valores entre 3,30 e 3,45 foram encontrados por Pedro Júnior & Hernandez (2017), inferiores aos encontrados neste trabalho. De acordo com Rizzon & Miele (2002), esses valores podem ser considerados adequados para a vinificação. Segundo Jackson & Lombard (1993), noites frias, associadas a elevada temperatura durante o dia, reduzem o pH e a degradação dos ácidos orgânicos quando comparada a regiões de cultivo com dias e noites quentes. A relação SS/AT foi maior em Z1 ($p < 0,10$) somente para o porta-enxerto 'IAC 572' (Figura 58).

Em 2021 (Figura 60), NC em área total foi maior em Z2 ($p < 0,10$). Mesmo tendo ocorrido o manejo de desbaste de cachos durante a safra, a média de cachos por planta foi de 28,65 e de 33,11 em Z1 e Z2, respectivamente. Estes valores são superiores aos NC da safra de 2020, que foi de 15,39 em Z1 e 16,76 em Z2. O NC ficou acima do observado por Fávero (2008), nas safras de inverno em 2005 (20,75) e em 2006 (20,25) e acima dos valores relatados por Amorim et al. (2005) 19,83 cachos planta⁻¹ na safra de inverno em 2003, para a mesma cultivar, porém com o porta-enxerto '3309 C'. A PD apresentou diferença estatística somente para porta-enxerto 'Paulsen 1103' sendo maior em Z2 ($p < 0,10$).

Figura 60 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) do número de cachos por planta (NC), produção por planta (PD), massa média de cachos (MC), acidez total (AT), sólidos solúveis (SS), pH e relação SS/AT das uvas 'Syrah' sobre 'Paulsen 1103' (P) e 'IAC 572' (I) e em zonas de manejo (Z1 e Z2) em 2021



, *, #: significância estatística ao nível de 1% (= 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

As videiras enxertadas no porta-enxerto 'Paulsen 1103' possuem 2,256 plantas (Tabela 15) e uma produção média de 4,527 kg planta⁻¹, o que resulta em uma estimativa de produção total de 10212,00 kg; a área com o porta-enxerto IAC 672 contém 1,602 plantas e uma produção média de 3,535 kg planta⁻¹, o que resulta em uma estimativa de produção total de 5663,00 kg. Na área de todo o vinhedo, a produção total estimada foi então de 15550,00 kg. A MC foi maior em Z2 ($p < 0,10$) para 'Paulsen 1103' e em área total (Figura 60). Os valores encontrados estão abaixo dos 160 g observados por Dias (2011), na cultivar 'Syrah' com o porta-enxerto '3309 C'. Os valores de MC na colheita de 2021 estão próximos aos valores encontrados por Pedro Junior et al. (2019) em condições de sombreamento e céu aberto, cultivadas sobre o porta-enxerto 'Paulsen 1103' em Louveira - SP (147,6 g e 127,8 g, respectivamente).

Tabela 15 – Número de plantas no vinhedo 'Syrah' sobre os porta-enxertos 'Paulsen 1103' e 'IAC 572', número de cachos por planta (NC), produção (PD), massa média de cachos (MC), acidez total (AT), sólidos solúveis (SS), pH e a relação entre SS/AT no ciclo de produção de uvas de 2021

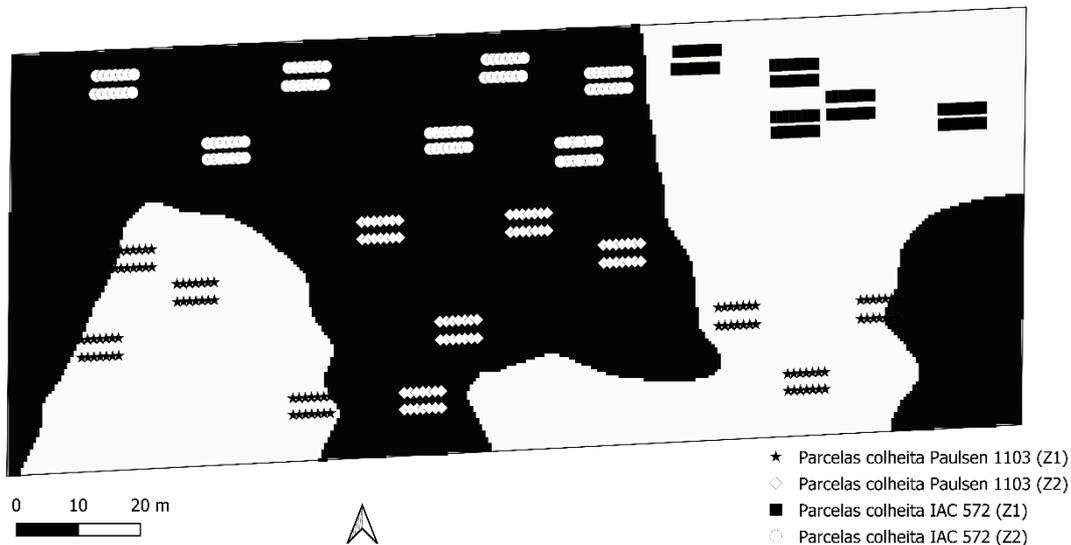
	Plantas	NC	PD kg planta ⁻¹	MC kg	AT g 100 ml ⁻¹	SS °Brix	pH	SS/AT
P 1103	2256	33,45	4,527	0,137	0,358	25,00	3,56	71,77
'IAC 572'	1602	27,65	3,535	0,126	0,348	23,75	3,51	69,30
Total	3858	30,55	4,031	0,132	0,353	24,37	3,53	70,54

A AT e o pH não apresentaram diferenças significativas em função dos porta-enxertos e das zonas de manejo (Figura 60). SS e a relação SS/AT apresentaram diferenças significativas em função do porta-enxerto 'IAC 572', sendo maior ($p < 0,05$) em Z1.

4.4.5 Ácidos orgânicos

No primeiro ciclo de produção de uvas avaliado, a coleta de cachos ocorreu na colheita, realizada em 20 de julho 2020 (175 dap), considerando-se as zonas de manejo e os porta-enxertos (Figura 61). As uvas foram analisadas quanto à presença de ácidos orgânicos utilizando o método da cromatografia líquida de alta eficiência.

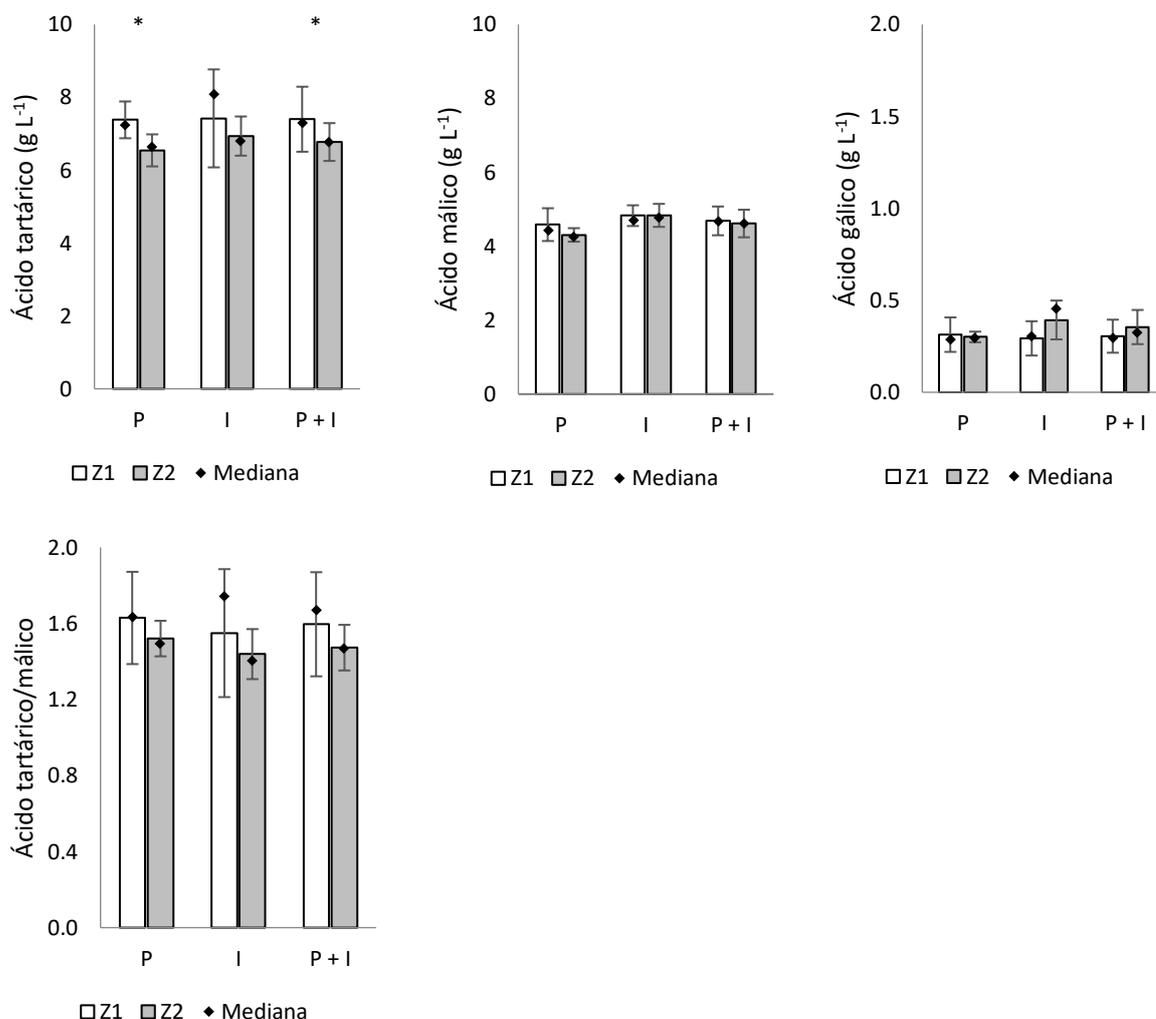
Figura 61 - Localização das parcelas para colheita de uvas 'Syrah', em função dos porta-enxertos 'Paulsen 1103' e 'IAC 572' e das zonas de manejo Z1 e Z2 no ciclo de produção de 2020



Os principais ácidos orgânicos das uvas são os ácidos tartárico e málico, que juntos representam mais de 90% da acidez total; o ácido cítrico corresponde entre 5 e 10 % e em menor escala os ácidos ascórbico, fosfórico, succínico, fumárico, acético, glicólico, láctico, aconítico, quinico, shiquímico e mandélico (KANELLIS & ROUBELAKIS-ANGELAKIS, 1993).

O ácido tartárico foi maior ($p < 0,5\%$) em Z1 para as videiras enxertadas no porta-enxerto 'Paulsen 1103' e em área total. No entanto, as quantidades de ácido gálico e de ácido málico e a relação ácido tartárico/ácido málico não diferiram estatisticamente em função do porta-enxerto e das zonas de manejo (área total) (Figura 62).

Figura 62 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes ao teor de ácidos orgânicos no mosto de uvas ‘Syrah’ colhidas em função dos porta-enxertos (‘Paulsen 1103’ - P e ‘IAC 572’ - I), em área total (P+I) e em função das zonas de manejo (Z1 e Z2 de 2020)



** , * , #: significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

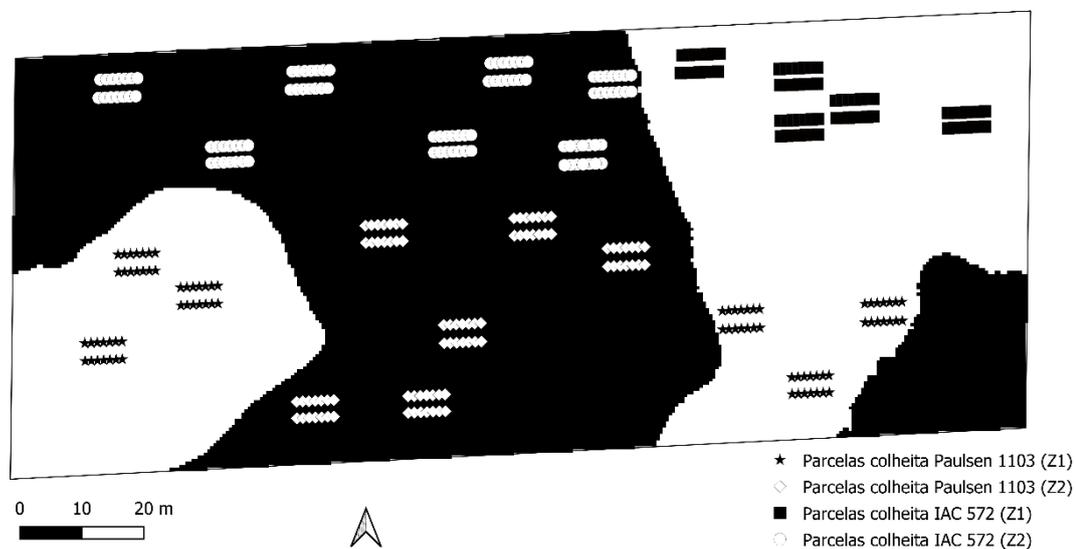
O teor de ácido tartárico no mosto da uva ‘Syrah’ enxertada no porta-enxerto ‘Paulsen 1103’ foi 7,38 g.L⁻¹ Z1 e 6,54 g.L⁻¹ Z2 (Figura 62). Pedro Júnior et al. (2019) encontrou valores entre 0,68 e 0,69 % para a ‘Syrah’, os quais foram inferiores aos obtidos para a mesma cultivar no Paraná, cujo valor médio foi 2,4% (SATO et al., 2012). No sul de Minas Gerais, o teor de ácido tartárico variou entre 5,29 e 6,36 g.L⁻¹ (DIAS et al., 2012), enquanto Mota et al. (2010) encontraram um valor de 5,6 g.L⁻¹ para a ‘Syrah’. Pedro Júnior & Hernandez (2017) relataram teores de ácido tartárico entre 0,74 e 0,87 g.100 ml⁻¹, os quais foram superiores aos relatados por Regina et al. (2011), que obtiveram 4,8 g.L⁻¹ na região nordeste do estado de São Paulo.

A quantidade de ácido málico do mosto das videiras enxertadas no porta-enxerto 'Paulsen 1103' foi de 4,58 g.L⁻¹ Z1 e 4,30 g.L⁻¹ Z2; no 'IAC 572', 4,82 g.L⁻¹ Z1 e 4,83 g.L⁻¹ Z2; e em área total, 4,68 g.L⁻¹ Z1 e 4,61 g.L⁻¹ Z2. O ácido málico é considerado agressivo, pois pode desequilibrar degustativamente os vinhos, e por ser microbiologicamente instável, é mais susceptível à degradação por leveduras contaminantes formando compostos responsáveis por defeitos em vinhos (USSEGLIO & TOMASSETI, 1995). Os valores de ácido gálico foram inferiores a 0,40 g.L⁻¹ (Figura 61).

A relação ácido tartárico/ácido málico (Figura 62) é um dos índices que avalia o grau de maturação da uva, contribuindo para definir o momento da sua colheita (RIZZON & SGANZERLA 2007). No entanto, considerando que o ácido málico diminui de forma constante e de modo mais rápido que o tartárico, a determinação exclusiva do ácido málico fornece informações importantes para a maturação da uva de uma determinada região. Embora o teor de ácido málico seja uma característica varietal, ele é influenciado pelos fatores naturais, especialmente a insolação e o calor do período de maturação da uva (KLEWER et al., 1967; RIBÉREAU-GAYON, 1968; CHAMPAGNOL, 1984; BLOUIN & GUIMBERTEAU, 2000). Em princípio, um período de maturação mais ensolarado e com temperaturas mais elevadas determinam maior degradação do ácido málico, por meio da combustão respiratória e, por conseguinte, uvas menos ácidas e mais maduras. Os teores de ácido tartárico e málico do mosto da uva fornecem informações importantes para a condução do processo fermentativo e para a caracterização dos vinhos de uma região vitícola (RIZZON & SGANZERLA 2007).

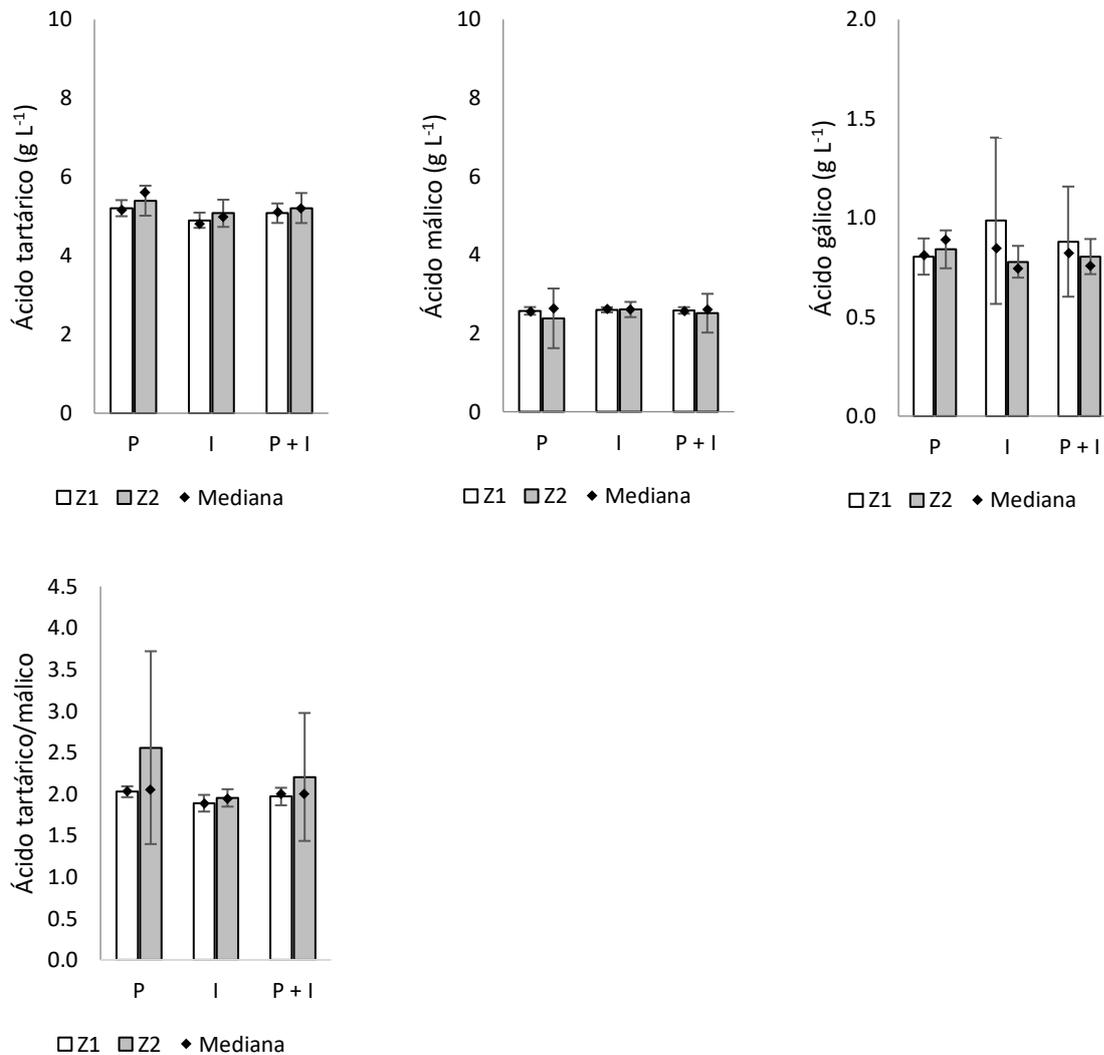
No segundo o ciclo de produção avaliado, o procedimento de coleta de cachos de uvas foi novamente realizado na colheita, em 19 de julho de 2021, aos 168 dap. Somente uma parcela pertencente a 'Paulsen 1103' que na safra anterior encontrava-se em Z1, passou a pertencer a Z2 (Figura 63).

Figura 63 - Localização das parcelas para colheita de uvas 'Syrah', em função dos porta-enxertos 'Paulsen 1103' e 'IAC 572' e das zonas de manejo Z1 e Z2 no ciclo de produção de 2021



Não houve diferenças significativas entre os teores de ácidos orgânicos tartárico, málico e gálico, e da relação ácido tartárico / ácido málico, em função dos porta-enxertos e das zonas de manejo (área total). (Figura 64).

Figura 64 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes ao teor de ácidos orgânicos no mosto de uvas 'Syrah' colhidas em função dos porta-enxertos ('Paulsen 1103' - P e 'IAC 572' - I), em área total (P+I) e em função das zonas de manejo (Z1 e Z2 de 2021)



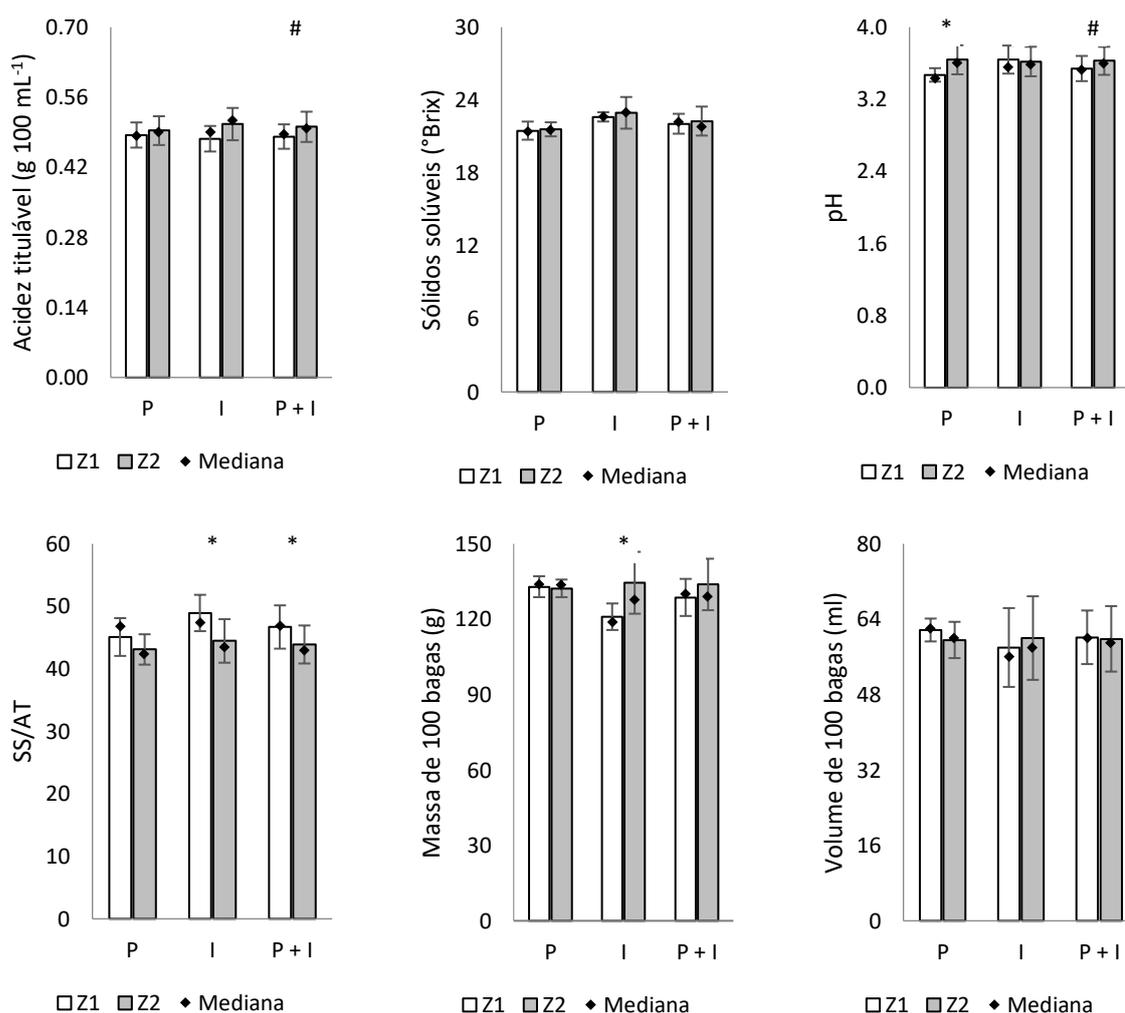
, *, #: significância estatística ao nível de 1% (= 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Os ácidos analisados em questão obtiveram de maneira geral menores valores de concentração do que na safra anterior, porém a relação ácido tartárico / ácido málico foi maior e essa informação, segundo Rizzon & Sganzerla (2007), se torna importante para a condução do processo fermentativo e para a caracterização dos vinhos de uma região vitícola.

Pela Figura 65, observa-se que no ciclo de produção de 2020, a acidez titulável apresentou significância estatística ($p < 0,10\%$) somente em área total (P+I), sendo o maior valor na zona de manejo Z2. Os valores de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) não apresentaram diferenças estatísticas em função dos porta-enxertos e zonas de

manejo. Estes teores são semelhantes e próximo à faixa de 22 - 24 °Brix observada para esta cultivar na Austrália (GINESTAR et al., 1998; ILAND & COOMBE, 1988) e de 23,4 a 25,2 °Brix obtida na Espanha (ORTEGA-REGULES et al., 2008; MONTEALEGRE et al., 2006).

Figura 65 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes à acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), pH, relação SS/AT, massa de 100 bagas e volume do mosto de 100 bagas 'Syrah' em função dos porta-enxertos ('Paulsen 1103' - P e 'IAC 572' - I) e das zonas de manejo (Z1 e Z2) no ciclo de produção de uvas de 2020

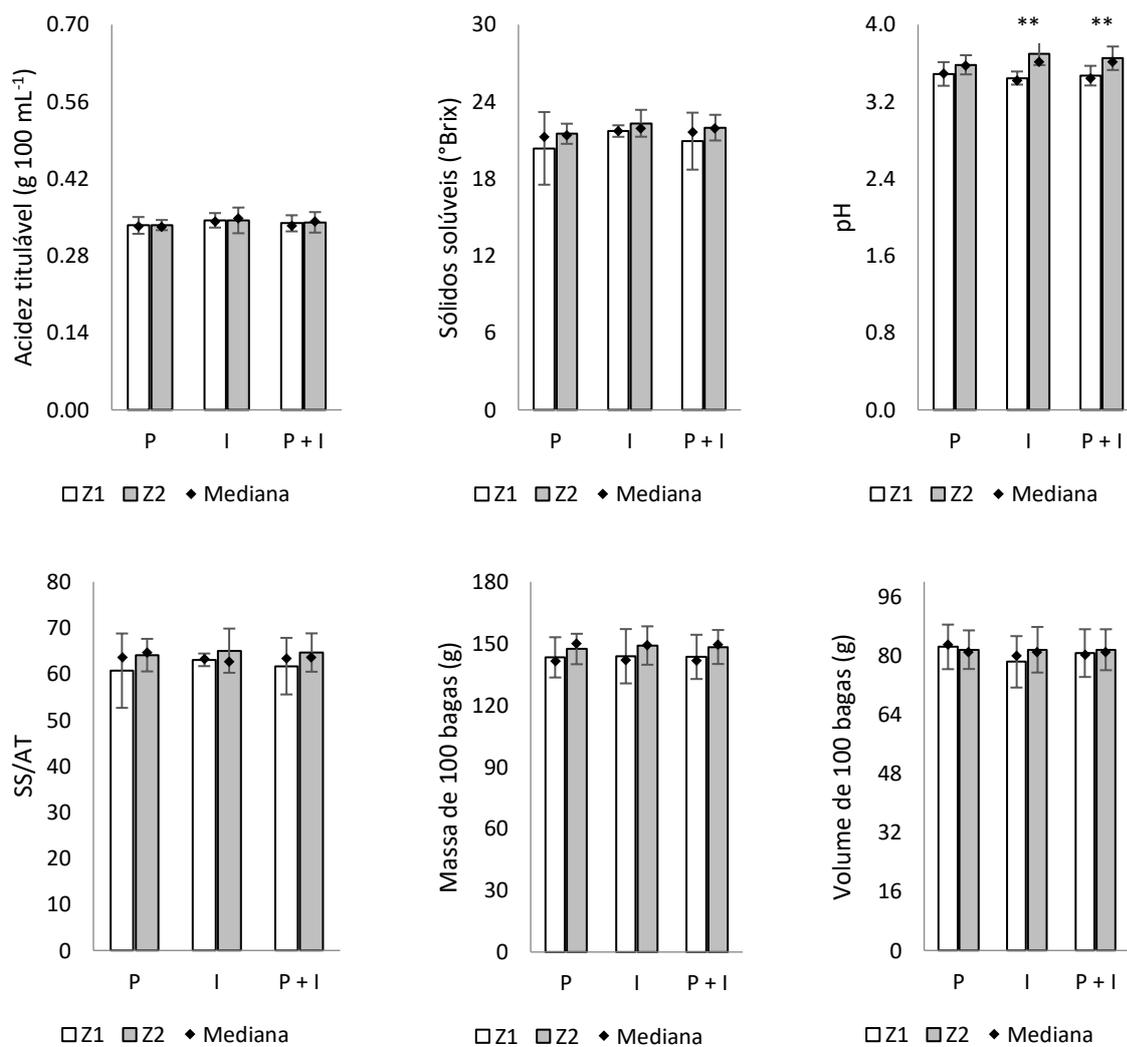


** , * , #: significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Ainda pela Figura 65, o teor de pH foi maior com o porta-enxerto 'Paulsen 1103' ($p < 0,05\%$) e em Z2 ($p < 0,10\%$) quando se considerou a área total. A relação SS/AT foi maior ($p < 0,05\%$) com o 'IAC 572' e em Z1. A massa e o volume de mosto de 100 bagas não apresentaram diferenças estatísticas em função dos porta-enxertos e zonas de manejo.

No ciclo de produção de uvas de 2021, apenas o pH apresentou diferença significativa ($p < 0,01\%$), sendo maior no porta-enxerto 'Paulsen 1103' e em Z2 quando se considerou a área total (Figura 66). Os demais atributos (AT, SS, relação SS/AT, massa e volume de mosto 100 bagas) não apresentaram diferenças significativas em função dos porta-enxertos e das zonas de manejo.

Figura 66 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes à acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), pH, relação SS/AT, massa de 100 bagas e volume do mosto de 100 bagas 'Syrah' em função dos porta-enxertos ('Paulsen 1103' - P e 'IAC 572' - I) e das zonas de manejo (Z1 e Z2) no ciclo de produção de 2021 nas cascas

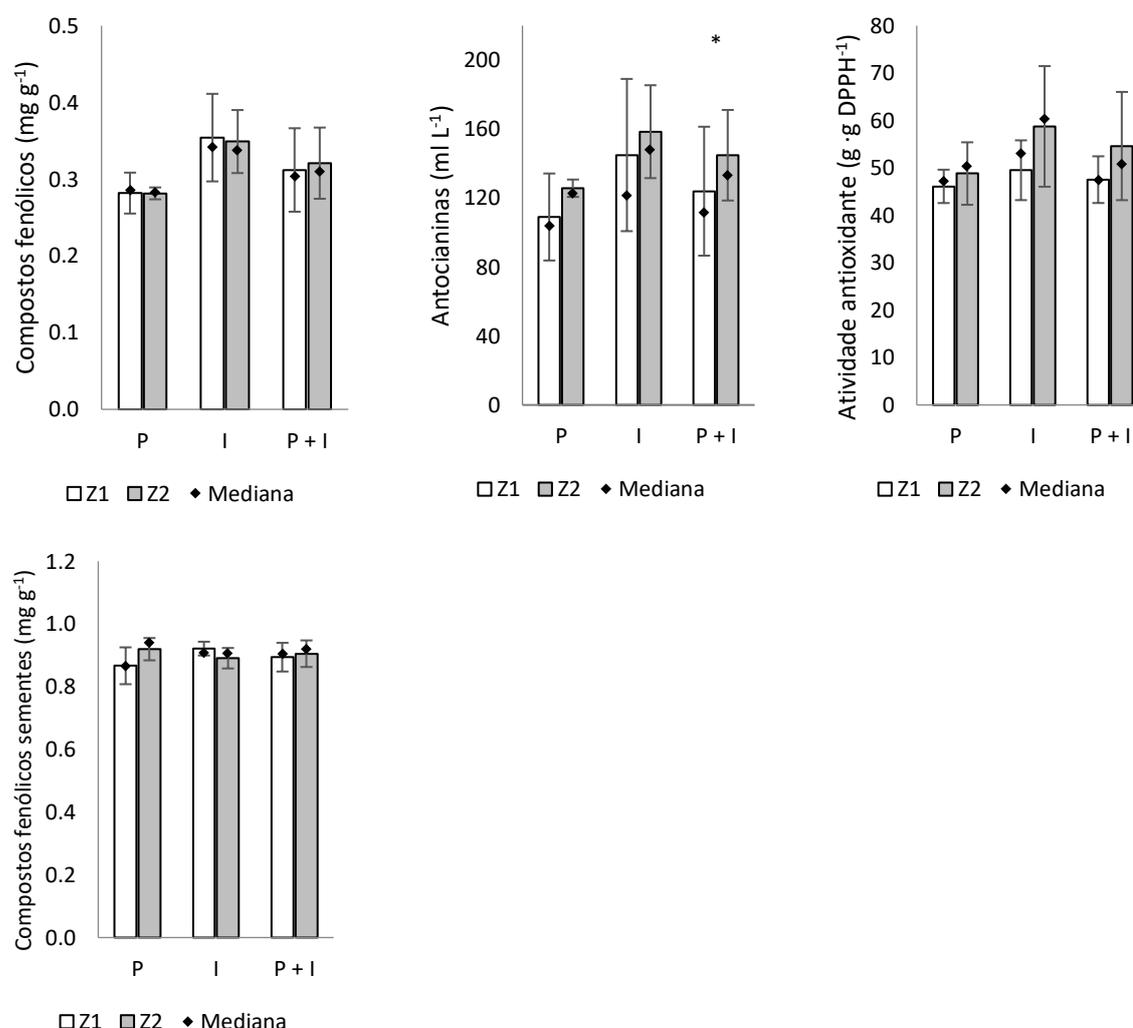


** , * , # : significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

4.4.6 Compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante

A Figura 67 apresenta os resultados de compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante em cascas referentes ao ciclo de produção de uvas de 2020. O único composto a apresentar diferença estatística ($p < 0,05\%$) ocorreu em área total, com maior valor de atividade antioxidante em Z1.

Figura 67 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes ao conteúdo de compostos fenólicos totais (cascas e sementes), antocianinas e atividade antioxidante das cascas de uvas 'Syrah' em função dos porta-enxertos ('Paulsen 1103' - P e 'IAC 572' - I) e das zonas de manejo (Z1 e Z2) no ciclo de produção de 2020



** , * , # : significância estatística ao nível de 1% (** = 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

Dias et al. (2012) relataram valores de antocianinas e de compostos fenólicos nas bagas de 'Syrah' sobre três porta-enxertos ('Paulsen 1103', Richter 110 e 'SO4')

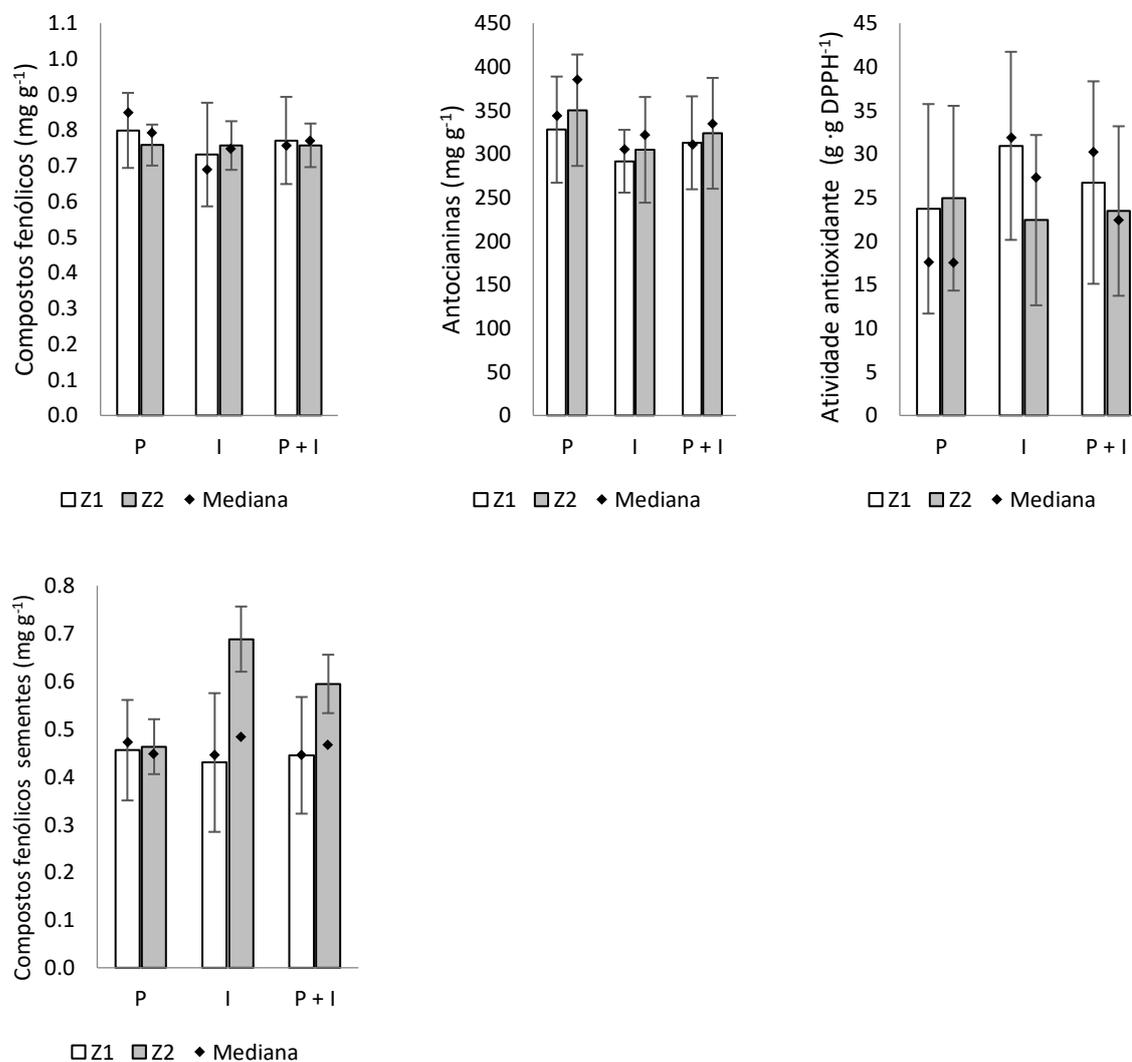
entre 30 a 750 mg por 100 g e 260 a 900 mg por 100 g, respectivamente. Conforme Mazza & Miniati (1993), esses valores são indicativos de bons índices de maturação fenólica para a produção de vinhos tintos finos.

Mota et al. (2010) encontrou no município de Cordislândia - MG, teores de compostos fenólicos nas bagas colhidas no inverno para a 'Syrah' de 24 mg g⁻¹, inferior ao valor encontrado nesse estudo. Pedro Junior et al. (2019) obtiveram no município de Louveira - SP, em safra de inverno com a 'Syrah' cultivada com o porta-enxerto 'Paulsen 1103', valores de antocianinas de 1,90 e 1,98 mg g⁻¹ com e sem sombreamento, respectivamente, os quais foram superiores aos encontrados neste estudo.

Nas sementes das uvas 'Syrah' não houve diferença estatística entre os valores de compostos fenólicos em função dos porta-enxertos e das zonas de manejos (Figura 67). Mota et al. (2010) encontrou no município de Cordislândia - MG, valor de compostos fenólicos de 70,3 mg g⁻¹ em sementes de uva 'Syrah', inferior ao encontrado neste estudo.

No ciclo de produção de uvas de 2021, nenhum dos compostos analisados na casca e na semente das uvas 'Syrah' apresentou diferença significativa (Figura 68). Os valores de compostos fenólicos, antocianinas nas cascas das uvas 'Syrah' foram maiores na safra de 2021 do que na safra de 2020 (Figura 67).

Figura 68 - Valores médios \pm desvio padrão e mediana (ponto em destaque) referentes ao conteúdo de compostos fenólicos totais (cascas e sementes), antocianinas e atividade antioxidante das cascas de uvas ‘Syrah’ em função dos porta-enxertos (‘Paulsen 1103’ - P e ‘IAC 572’ - I) e das zonas de manejo (Z1 e Z2) na safra de produção de 2021

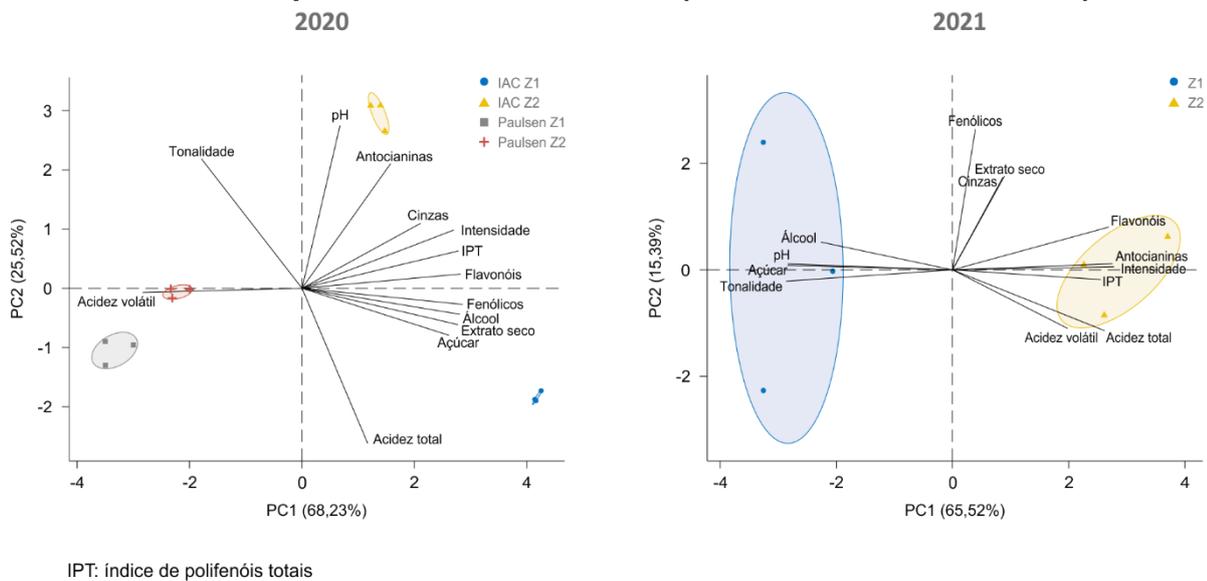


, *, #: significância estatística ao nível de 1% (= 0,01), 5% (* = 0,05) e 10% (# = 0,10), respectivamente; ns: ausência de significância estatística.

4.4.7 Análises dos vinhos

Os gráficos de escores apresentados na Figura 69 resultaram da análise de componentes principais (PCA) adotada para representar a composição dos vinhos elaborados nos ciclos de 2020 e 2021, a partir da colheita seletiva orientada pela delimitação de zonas de manejo (ZM).

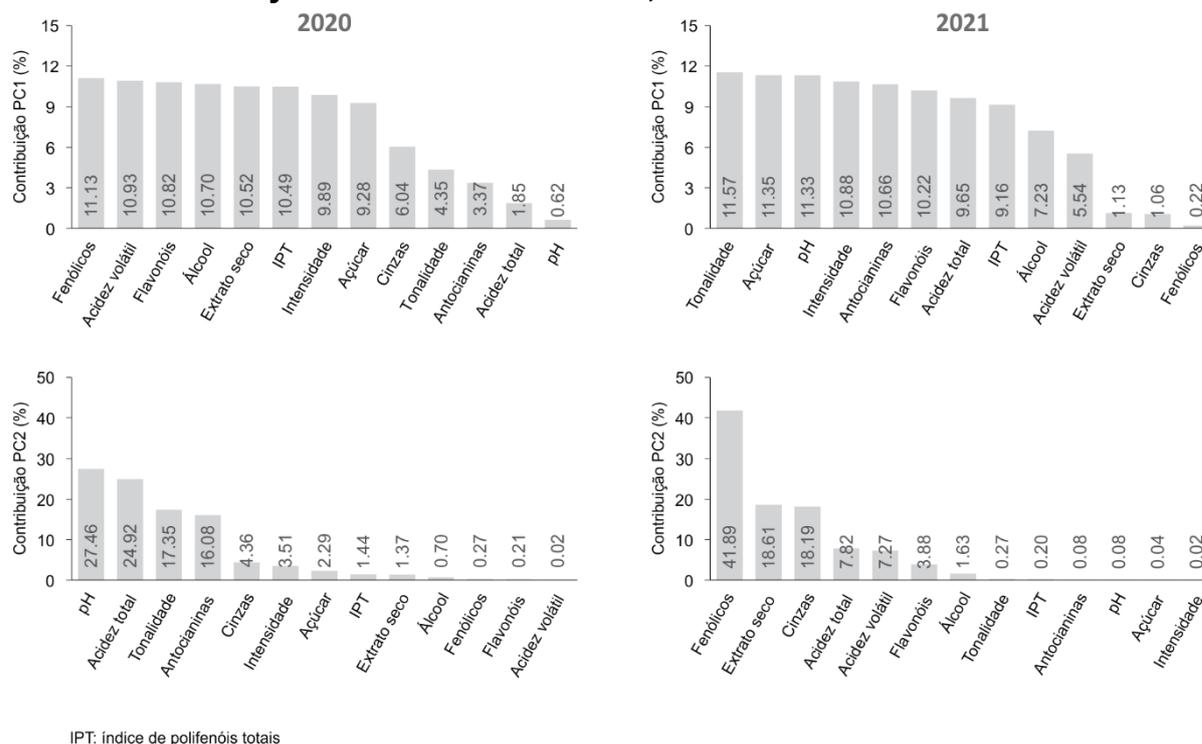
Figura 69 - Análise de componentes principais (PCA) referente a composição dos vinhos 'Syrah' colheita de inverno, produzidos nos ciclos de 2020 e 2021 conforme a definição de zonas de manejo (Z1 e Z2), considerando os diferentes porta-enxertos adotados ('IAC 572' e 'Paulsen 1103')



De acordo com a porcentagem da variância correspondente aos autovalores, foi observado que a variação total dos dados explicada pelas componentes principais 1 (PC1) e 2 (PC2) foi de 68,23 e 25,52% (ciclo de 2020) e 65,52 e 15,39% (ciclo de 2021), respectivamente. Logo, as duas primeiras PCs caracterizaram 93,75 (ciclo de 2020) e 80,91% (ciclo de 2021) da variação total referente aos dados de composição dos vinhos. Dessa forma, a variância acumulada representada pelas duas primeiras PCs foi considerada o suficiente para explicar a variação total do conjunto de dados e estas mantidas na análise.

Na Figura 70 foi destacada a contribuição de cada variável nas respectivas PC1 e PC2. Conforme os a composição do vinho elaborado em 2020, os compostos fenólicos (11,13%) e o pH (27,46%) apresentaram uma maior contribuição para as duas primeiras PCs. No ciclo seguinte, as variáveis mais importantes para a PC1 e PC2, nesta ordem, foram a tonalidade (11,57%) e os compostos fenólicos (41,89%).

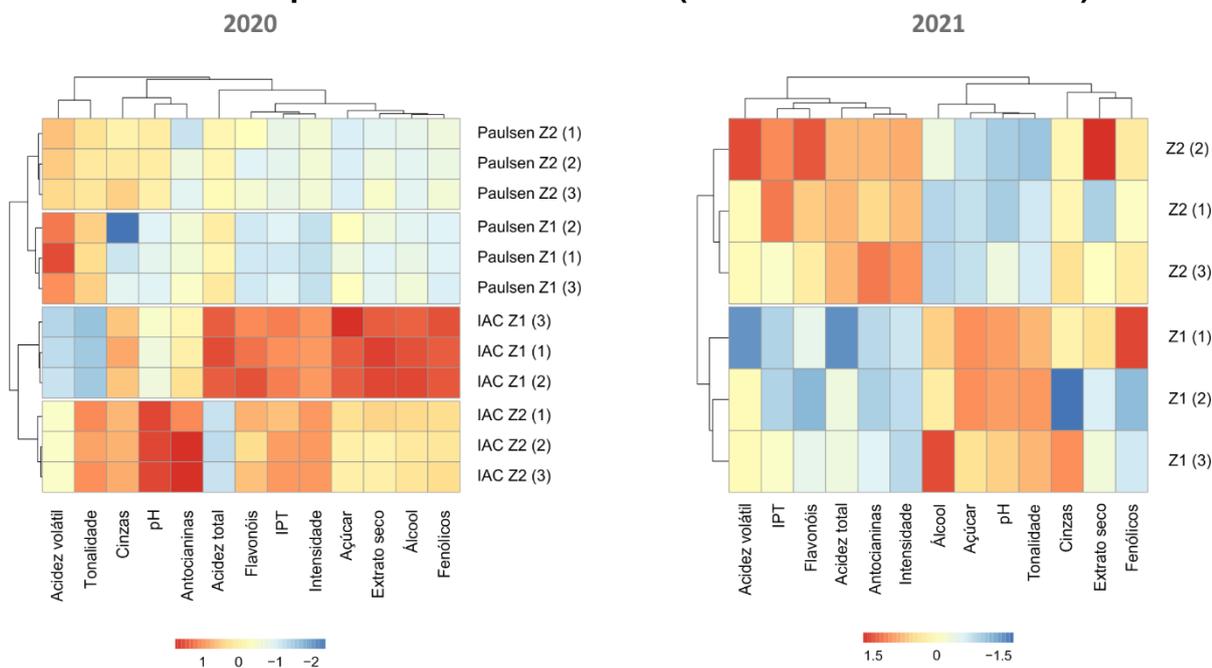
Figura 70 - Porcentagem de contribuição de cada variável em relação as componentes principais 1 e 2 (PC1 e PC2), na elaboração dos vinhos de 'Syrah' colheita de inverno, ciclos de 2020 e 2021



De acordo com a representação das amostras individuais nos gráficos dos escores em função das duas primeiras PCs, apresentados na Figura 69, foi possível discernir os agrupamentos distintos quanto a composição dos vinhos correspondentes a cada ZM. No ciclo de 2020, o posicionamento das amostras de vinhos elaborados a partir de videiras localizadas na Z1 e Z2 e cultivadas sobre o porta-enxerto 'Paulsen 1103' foi determinado pela maior acidez volátil. Nesse mesmo ciclo, foi possível diferenciar a composição dos vinhos da Z1 e Z2 correspondentes ao porta-enxerto 'IAC 572' em relação ao pH e ao teor de antocianinas. Por sua vez, no ciclo de produção de 2021, a análise independente do porta-enxerto mostrou que a composição do vinho proveniente da Z1 apresentou maior teor de álcool e açúcar, maior pH e tonalidade. De outro modo, o vinho correspondente a Z2 apresentou maior concentração de antocianinas, maior índice de polifenóis totais e maior intensidade.

Conforme a análise de agrupamentos hierárquicos aglomerativos foi possível novamente separar os grupos distintos a partir da identificação da similaridade entre as amostras de vinhos correspondentes aos porta-enxertos ('Paulsen 1103' e 'IAC 572') e as zonas de manejo (Z1 e Z2) (Figura 71).

Figura 71 - Análise de agrupamentos hierárquicos referente a composição dos vinhos 'Syrah' colheita de inverno, produzidos nos ciclos de 2020 e 2021 conforme a definição de zonas de manejo (Z1 e Z2), considerando os diferentes porta-enxertos adotados ('IAC 572' e 'Paulsen 1103')



IPT: índice de polifenóis totais

Segundo os atributos de composição, as amostras provenientes dos vinhos de uvas 'Syrah' colheita de inverno produzidos sobre o porta-enxertos 'Paulsen 1103' na Z1 foram organizadas separadamente da 'Paulsen 1103' na Z2 no ciclo de produção de 2020 (Figura 71). O mesmo ocorreu com as amostras dos vinhos de colheita de inverno produzidos em 2020 a partir no porta-enxerto 'IAC 572', agrupando - se em relação as zonas de manejo. No ciclo de produção de uvas de 2021, a microvinificação não levou em consideração os porta-enxertos para a elaboração dos vinhos, somente as zonas de manejo. Os vinhos produzidos nesta safra separaram-se em dois agrupamentos, na qual cada microvinificação referente a zona de manejo pertenceu a um grupo (Figura 71).

5 CONCLUSÕES

Em Ribeirão Preto – SP, em uma área de 1,1 ha com a videira ‘Syrah’, conduzida no sistema de dupla poda, irrigada por gotejamento e enxertada sobre os porta-enxertos ‘IAC 572” e ‘Paulsen ‘1103’, o delineamento de duas zonas de manejo com base na condutividade elétrica aparente do solo, umidade do solo e índice de vegetação por diferença normalizada, possibilitou a determinação de diferentes características das uvas em dois ciclos de produção consecutivos. Os porta enxertos, independentemente da divisão da área em zonas de manejo, também influenciaram nas características das uvas produzidas. Essas zonas de manejo também foram utilizadas para que a colheita das uvas no período de inverno fosse feita na mesma data, mas em separado, assim como a sua vinificação. Em ambos os anos, os vinhos de inverno apresentaram características distintas em função das zonas de manejo estabelecidas. Assim, com base nas condições específicas do vinhedo, a vitivinicultura de precisão possibilitou a obtenção de vinhos com características diferenciadas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 56. Rome: **FAO**, 300p, 1998.
- ALVARENGA, A. A. **Avaliação de cultivares porta-enxertos e produtoras de videira (*Vitis spp.*) em condições de solos ácidos e alumínio**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 153 p, 2001.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013.
- AMERINE, M.A.; OUGH, C.S. **Methods for analysis of musts and wines**. New York: John Wiley and Sons, 1980. 341p.
- AMORIM, D. A.; FAVERO, A. C.; REGINA, M. A. Produção extemporânea da videira, cv. 'Syrah', nas condições do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 327-331, ago. 2005.
- ARYA, L.M.; PARIS, J.F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, p.1023-1030, 1981.
- BARBIERI JÚNIOR, E.; ROSSIELLO, R.O.P.; SILVA, R.V.M.M.; RIBEIRO, R.C.; MORENZ, M.J.F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, v.42, n.12, dez, 2012.
- BRAMLEY, R.G.V.; PROFFITT, A.P.B. Managing variability in viticultural production. **The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker**, v. 427, p. 11-16, 1999.
- BRAMLEY, R.; PROFFITT, T.; HAMILTON, R.; SHEARER, J.; OR MESHER, D.; LAMB, D.; TAYLOR, J. Precision viticulture: principles, opportunities and application. In: AUSTRALIAN WINE INDUSTRY TECHNICAL CONFERENCE, 11., 2001, Adelaide, Austrália. **Proceedings...** Adelaide: WITC, 2001. Workshop 14, p. 3-7.
- BRAND-WILIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v.28, p. 25-30. 1995.
- BLOUIN, J.; GUIMBERTEAU, G. Maturation et maturité des raisins. **Bordeaux**: Éditions Féret, 2000. 151p.
- BORSSOI, A. L., VILAS BOAS, M. A., REISDÖRFER, M., HERNÁNDEZ, R. H., FOLLADOR, F. A. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.

CAMARGO, U.A.; TONIETTO, J.; HOFFMANN, A. Progressos na viticultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 144-149, 2011.

CHAMPAGNOL, F. Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture generale. **Montpellier**: DEHAN, p.351, 1984.

CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkler. **Berkeley**: California Agricultural Station, p.212p, 1942.

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKELEY, D.G. Methods for evaluating irrigation systems. **Washington**: SCS-USDA, p.24, 1956.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVARES, V.H. (eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.249-290, 2003.

CÓRDOBA, M.A.; BRUNO, C.I.; COSTA, J.L. PERALTA, N.R.; BALZARINI, M.G. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. **Biosystem Engineering**, [s. l.], v. 143, p.95-107, 2016.

COSTA, B.R.S. **Calibração de sensor de capacitância para medida da umidade em solos do semiárido**. 2014. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro.

COSTA, B. R.; OLDONI, H.; SILVA, W. A.; MARTINS, R. L.; BASSOI, L. H. Temporal variation and spatial distribution of relative indices of leaf chlorophyll in grapevine cv. Chardonnay. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. SPE, p. 74-84, set. 2019.

COSTA, R.S. **Zonas de vigor vegetativo para colheita seletiva em viticultura irrigada com base em sensoriamento proximal**. 2021. 228f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

DIAS, F.A.N.; **Desempenho da videira 'Syrah' sobre diferentes porta -enxertos em ciclo de inverno no sul de Minas Gerais**. 2011. 74f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras.

DIAS, F.A.N.; MOTA, R.V.; FÁVERO, A.C.; PURGATTO, E.; SHIGA, T.M.; SOUZA, C.R.; PIMENTEL, R.M.A.; REGINA, M.A. Videira 'Syrah' sobre diferentes porta-enxertos em ciclo de inverno no sul de Minas Gerais. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.47, n.2, p.208-215, fev. 2012.

DOKOOZLIAN, N.K.; KLEWER, W.M. Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development. **Journal of American Society of Horticultural Science**, v.121, p.869-874, 1996.

DU, W.X.; OLSEN, C.D.; AVENA-BUSTILLOS, R.J.; FRIEDMAN, M.; MCHUGH, T.H. Physical and antibacterial properties of edible films formulated with apple skin polyphenols. **Journal of Food Science**, v. 76, p. M149-M155. 2011.

ENTAV - Etablissement National Technique pour l'Amélioration de la Viticulture. **Catalogue des Variétés et Clones de Vigne Cultivées en France**. Le Grau du Roi: ENTAV, 357 p, 1995.

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. **Procedimento Operacional Padrão (POP) Metodologias de Análise** Laboratório de Enoquímica. Caldas: EPAMIG, 50 p, 2013.

FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008. 33p.

FAVERO, A.C. **Viabilidade de produção da videira 'Syrah' em ciclos de verão e inverno no sul de Minas Gerais**. 2007. 112f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras.

FAVERO, A.C.; AMORIM, D.A.; MOTA, R.V.; SOARES, A.M.; REGINA, M.A. Viabilidade de produção da videira 'Syrah', em ciclo de outono inverno, na região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 685-690, 2008.

FAVERO, A. C.; AMORIM, D. A.; MOTA, R. V.; SOARES, A. M.; SOUZA, C. R.; REGINA, M. A. Double-pruning of 'Syrah' grapevines: a management strategy to harvest wine grapes during the winter in the Brazilian Southeast. **Vitis**, Siebeldingen, v.50, n.4, p.151–158, 2011.

FREDLUND, D.G.; XING, A. Equations for the soil-water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**, v.31, p.521- 532, 1994.

FREDLUND, M.D.; WILSON, G.W.; FREDLUND, D.G. An equation to represent grain size distribution. **Canadian Geotechnical Journal**, v.37, p.817–827, 2000.

FREEMAN, B.M.; KLIEWER, W.M. Effect of Irrigation, Crop Level and Potassium Fertilization on Carignane Vines. II: Grape and wine quality. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.34, p.197-207, 1983.

FRIZZONE, J.A.; FREITAS, P.D.; REZENDE, R.; FARIA, M.D. Microirrigação: gotejamento e microaspersão. **Maringá: Eduem**, 2012.

GALAZ, B.; REGINA, M. A.; CÂMARA, F. M. M.; LUCA, O. F. Histórico e situação atual da produção de vinho de inverno. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.41, n.312, p.,7-13, 2020.

GINESTAR, C. et al. Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation: II effects of post-veraison water deficits on composition of Shiraz grapes. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 49, n. 4, p. 421-428, Dec. 1998.

GIUSTI, M.M.; WROSLTAD, R.E. **Characterization and measurement of anthocyanins by uv-visible spectroscopy**. New York: John Willey & Sons, 2000.

(Current Protocols in Food Analytical Chemistry). Available at: <<http://www.does.org/masterli/facsample.htm>>. Accessed on: 20 Mar. 2010.

GONZÁLEZ-NEVES, G.; CHARAMELO, D.; BALADO, J.; BARREIRO, L.; BOCHICCHIO, R.; GATTO, G.; GIL, G.; TESSORE, A.; CARBONNEAU, A.; MOUTOUNET, M. Phenolic potential of Tannat, Cabernet Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition. **Analytica Chimica Acta**, v.513, p.191-196, 2004.

Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2021.

GUERRA, C.G.; MANDELLI, F.; TONIETTO, J.; ZANUS, M.C.; CAMARGO, U.A. **Conhecendo o essencial sobre uvas e vinhos.** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 69p, 2009.

HAAS, T.C. Kriging and automated variogram modeling within a moving window. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, v.24, n.7, p. 1759-1769, 1990.

HEPNER, Y., BRAVDO, B., LOINGER, C., COHEN, S., TABACMAN, H. Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. **American Journal Enology and Viticulture**, v. 36, p.77-85, 1985.

ILAND, P. G.; COOMBE, B. G. Malate, tartrate, potassium, and sodium in flesh and skin of Shiraz Grapes during ripening: concentration and compartmentation. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 39, n. 1, p. 71-76, Mar. 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF VINE AND WINE - (OIV). **Conheça mais sobre os principais países produtores de vinho do mundo 2021.** Disponível em: <https://www.wine.com.br/winepedia/enoturismo/produtores-de-vinho-mundo/>. Acesso em jun de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – (IBGE). **Censo agropecuário 2020.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em jun de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – (IBGE). **Censo agropecuário 2021.** Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/2012-agencia-de-noticias/noticias/30470-com-264-9-milhoes-de-toneladas-safra-2021-pode-superar-recorde-em-4-2.html>. Acesso em mai de 2021.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – (IEA). Estatísticas da Produção Paulista. Disponível em http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1. Acesso em nov 2022.

JACKSON, D.I.; LOMBARD, P.B. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: a review. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.44, n.4, p.409 - 430, 1993.

JENKS, G.F. Generalization in statistical mapping. **Annals of the Association of American Geographers**, v.53, n.1 p.15 - 26, 1963.

JIAN, X.; OLEA, R.A.; YU, Y.S. Semivariogram modeling by weighted least squares. **Computer & Geosciences**, [s. l.], v. 22, n.4, p. 387-397, 1996.

KANELLIS, A. K.; ROUBELAKIS-ANGELAKIS, K. A. Grape. In: SEGMOUR, G.; TAYLOR, J. TUCKER, G. **Biochemistry of fruit ripening**. London: Chapman & Hall, cap. 6. p. 189-234, 1993.

KELLER, J. & KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, v. 17, n. 4, p. 678-0684, 1974.

KLIEWER, W.M. et al. Concentrations of tartaric acid, malic acid and their salts in *Vitis vinifera* grapes. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.18, n.1, p.42-54, 1967.

KOUNDOURAS, S.; MARINOS, V.; GKOUOLIOTI, A., KOTSERIDIS, Y.; VAN LEEUWEN, C. Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on wine phenolic and- aroma components. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, 5077-5086, 2006.

LAMB, D.; Remoting sensing – a tool for vineyard managers? **Australian Wine Industry Technical Conference Adelaide**, October, 2001.

LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plants, Cell and Environment**, v.25, p 275-294, 2002.

MARIANO, J.C.Q.; SANTOS, G.O.; FEITOSA, D.G.; HERNANDEZ, F.B.T. Sistema para Manejo da Agricultura Irrigada - SMAI versão 2.0 copyrights © **UNESP Ilha Solteira**. Disponível em: < <https://clima.feis.unesp.br/smai.php>> Acesso em: 2021.

MARQUES, J., SIQUEIRA, D.S., CAMARGO, L.A., TEIXEIRA, D.D.B., BARRON, V. & TORRENT, J. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. *Geoderma*, v.219–220, p.63–71, 2014.

MARIN, F.R., ASSAD, M.L.L., PACHECO, L.R.F., PILAU, F.G., CONCEIÇÃO, M.A.F., TONIETTO, J., MANDELLI, F. Potencial de clima e solo para a viticultura no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [s. l.], v.16, p.141-152, 2008.

MATESE, A.; DI GENNARO. S.F. Technology in precision viticulture: a state of the art review. **International Journal of Wine Research**, v.7, p.69–81, 2015.

MAZZA, G.; MINIATI, E. **Anthocyanins in fruits, vegetables and grains**. Boca Raton: CRC Press, 1993. 191p.

- MELLO, L.M.R. Vitivinicultura brasileira: panorama 2018. **Comunicado Técnico 210**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho; 2019, 12p.
- MIELE, A.; FLORES, C. A.; FILIPPINI, J. M. Efeito da variabilidade espacial de solos do Vale dos Vinhedos na composição do vinho Merlot - Safra 2012. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 361-367.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **Vesper version 1,62**. Sydney: Australian Centre for Precision Agriculture. 2005.
- MONTEALEGRE, R. R. et al. Phenolic compounds in skins and seeds of ten grape *Vitis vinifera* varieties grown in a warm climate. **Journal of Food Composition and Analysis**, Amsterdam, v. 19, n. 6/7, p. 687-693, Sept./Nov.2006.
- MANTOVANI, E. C. AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. **Viçosa**, MG: UFV, 2001.
- MOTA, R. V.; SILVA, C.P.C.; FAVERO, A. C. ; PURGATTO, E.; SHIGA, T.M.; REGINA, M. A.. Composição físico-química de uvas para vinho fino em ciclos de verão e inverno. **Revista Brasileira de Fruticultura (Impresso)**, v. 32, p. 1127-1137, 2010.
- NACHTIGAL, J. C. **Produção de mudas de videira em regiões tropicais e subtropicais do Brasil**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2003. 23 p. (Circular Técnica, 46).
- NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, A. Automated soil particle size analyzer based on gamma-ray attenuation. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 295–304, 2001.
- NASCIMENTO, R.L. **Comportamento fisiológico da videira cv. 'Syrah' (*Vitis vinifera* L.) e composição química dos vinhos em função de estratégias de irrigação**, 2013. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro.
- OJEDA, H.; CARILLO, N.; DEIS, L.; TISSEYRE, B.; HEYWANG, M.; CARBONNEAU, A. Viticulture de précision et état hydrique. II: Comportement quantitatif et qualitatif de zones intraparcélaires définies à partir de la cartographie des potentiels hydriques. In: **Journées GESCO**, 24., 2005, Geisenheim, Allemagne. Annales... Geisenheim; p.741-748, 2005.
- OLIVEIRA, R.O., GREGO, C.R. Adoção da Agricultura de Precisão. In: OLIVEIRA, R.O., GREGO, C.R., BRANDÃO, Z.N. (Ed). **Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando o Vesper**. Brasília: Embrapa, 2015, cap.1, p.19-28.
- OLIVEIRA, R.P. Modelagem de variogramas. In: OLIVEIRA, R.O., GREGO, C.R., BRANDÃO, Z.N. (Ed). **Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando o Vesper**. Brasília: Embrapa, 2015, cap.5, p.83-92.

ORTEGA - REGULES, A.; ROMERO - CASCALES, I.; ROS-GARCÍA, J.M.; BAUTISTA-ORTÍN, A.B.; LÓPEZ-ROCA, J.M.; FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, J.I.; GÓMEZ-PLAZA, E. Anthocyanins and tannins in four grape varieties (*Vitis vinifera* L.): evolution of their content and extractability. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v.42, n.3, p.147-156, juil/sept. 2008.

PEDRO JÚNIOR M.J.; HERNANDES J.L. Produtividade e características físico-químicas da 'Syrah' sustentada em Y durante safra de inverno. **Revista Brasileira de Viticultura e Enologia** v9. p. 34-41. 2017.

PEDRO JUNIOR, M.J.; HERNANDES, J.L.; SANTOS, A.O.; LOIREIRO, A.C. Microclima, produção e composição do mosto da 'Syrah' cultivada sob cobertura de plástico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, SC, Brasil, p18. v3, 2019.

PELUCO, R. G.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T.; BARBOSA, R. S.; TEIXEIRA, D. B.; ADAME, C. R.; CORTEZ, L. A. Suscetibilidade magnética do solo e estimação da capacidade de suporte à aplicação de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.6, p.661-672, 2013.

PEREIRA. V.C.; SEDIYAMA. G.C.; MOURA. M.B.M.; SILVA. T.G.F.; SOUZA. L.S.B. Eficiência do uso da água em videira 'Syrah' irrigada no submédio do Vale São Francisco. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 269-283, maio - junho, 2016.

PEREIRA, G. E.; TONIETTO, J.; ZANUS, M. C.; SANTOS, H. P.; PROTAS, J. F. S.; MELLO, L. M. R. **Vinhos no Brasil: contrastes na geografia e no manejo das videiras nas três viticulturas do país**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2020. 22 p. (Documentos online, 121).

PHAM, H.Q.; FREDLUND, D.G. Equations for the entire soil-water characteristic curve of a volume change soil. **Canadian Geotechnical Journal**, [s. l.], v. 45, p. 443-453, 2008.

PIMENTEL JUNIOR, A.; DOMINGUES NETO. F.J.; DA SILVA, M.J.R; TECCHIO, M.A. Produção, qualidade e maturação da uva 'Syrah' em condição subtropical do Brasil **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13(1):72-79, 2019.

PREVEDELLO, C.L. O solo como um sistema multicomponente e suas relações massa-área-volume. In: **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Salesward-Discovery, 1996, cap.1, p.8-50.

PROTAS, J.F.S.; CAMARGO, U.A. Vitivinicultura brasileira: panorama setorial em 2010. Brasília, DF: SEBRAE; Bento Gonçalves: **IBRAVIN**: Embrapa Uva e Vinho; 2011, 110 p.

POUGET, R.; DELAS, J. Le choix des porte-greffes de la vigne pour une production de qualité. **Journal International des Science de la Vigne et Du Vin**, Bordeaux, v. 23, n. 1, p.27-31, 1989.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**: Open Source Geospatial Foundation Project. 2015.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. **Campinas**, Instituto Agrônomo, 285p. 2001

RABELLO, L.M.; INAMASU, R.Y.; BERNARDI, A.C.C; NAIME, J.M.; MOLIN, J.P. **Mapeamento da condutividade elétrica do solo – sistema protótipo**. In. INAMASU, R.Y.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; BERNARDI, A.C.C ed. Agricultura de precisão: Um Novo Olhar. São Carlos, SP, Embrapa Instrumentação, p.41-45, 2011.

REGINA, M. A.; AMORIM, D. A.; FAVERO, A. C.; MOTA, R. V.; RODRIGUES, D. J. Novos polos vitícolas para produção de vinhos finos em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte: EPAMIG; v. 27, n.234, p.111-118, 2006

REGINA, M. A.; FRÁGUAS, J. C.; ALVARENGA, A. A.; SOUZA, C. R.; AMORIM, D. A.; MOTA, R. V.; FÁVERO, A. C. Implantação e manejo do vinhedo para produção de vinhos de qualidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 234, p. 16-31, set/out. 2006b.

REGINA, M. A.; MOTA, R. S.; FÁVERO, A. C.; SHIGA, T.M.; SILVA, L.H.J.; SOUZA, W.C.; NOVELLI, F.A.D.; SOUZA, C.R. Caracterização físico-química de uvas viníferas cultivadas em dupla poddo no nordeste de São Paulo. **Revista Brasileira de viticultura e Enologia**, v.3, n.3, p.84-92. 2011.

RIAZ, S. DOLIGEZ, A.; HENRY, R.J.; WALKER, MA. **Genoma mapping and molecular breeding in plants: Fruits and Nuts**. Califórnia: Springer Berlin Heidelberg, v. 4, p. 63-100, 2007

RIZZON. L.A.; MIELE, A. Avaliação de cv. Caberner Sauvignon para elaboração de vinho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.2, p.192-198, 2002

RIZZON, L.A.; SGANZERLAI, V.M.A. Ácidos tartárico e málico no mosto de uva em Bento Gonçalves-RS **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.3, p.911-914, mai-jun, 2007.

RIBÉREAU-GAYON, G. Étude des mecanismes de synthese et de transformation de l'acide malique, de l'acide tartrique et de l'acide citrique chez Vitis vinifera. **Phytochemistry**, Elmsford, v.7, n.9, p.1471-1482, 1968.

ROBERT, P.C. Precision agriculture: research needs and status in USA. In: European Conference on Precision Agriculture, 2nd. J. V. Stafford (ed.). **Proceedings...** Sheffield Academic Press, p.19-33, 1999.

ROMERO, L.A.B. **A vitivinicultura no Estado de São Paulo (1880 - 1950)**. 2004. 233f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Embrapa, Comunicado Técnico**, Fortaleza, CE, julho, 2007.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. Brasília: **Embrapa**, 2018.

SÁNCHEZ-MORENO, C. Review: methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. **Food Science and Technology International**, v.8, p 121-137, 2002.

SATO, A.J.; ROSA, C.I.L.F.; MENEZES, D. KWIATKOWSK, A.; CLEMENTE, E.; ROBERTO, S. R. Caracterização fenólica de uvas 'Alicante' e 'Syrah' cultivadas em safra fora de época. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n.1, p116-1233, 2012.

SIQUEIRA, D.S., MARQUES JR., J., MATIAS, S.S.R., BARRON, V., TORRENT, J., BAFFA, O. & OLIVEIRA, L.C. 2010. Correlation of properties of Brazilian HaplustalFs withmagnetic susceptibility measurements. **Soil Use and Management**, 26, 425–431.

SOUSA, J. S. I.; MARTINS, F. P. Viticultura brasileira: principais variedades e suas características. Piracicaba: **FEALQ**, 2002. 368 p.

SOUZA, C. R.; BASSOI, L. H.; LIMA FILHO, J. M. P.; SILVA, F. F. S.; VIANA, L. H.; DANTAS, B. F.; PEREIRA, M. S.; RIBEIRO, P. R. A. Water relations of field-grown grapevines in the são francisco valley, brazil, under different rootstocks and irrigation strategies. **Scientia Agricola**, Piracicaba - SP, Brazil, v. 66, n. 4, p. 436 - 446, 2009.

SOUZA, C. R.; MOTA, R. V.; DIAS, F. A. N.; MELO, E. T.; SOUZA, L. C.; SOUZA, A. L.; PIMENTEL, R. M. A.; REGINA, M. A. Starch accumulation and agronomical performance of 'Syrah' under winter cycle: responses to pruning and ethephon management. **Vitis**, Siebeldingen, v.54, n.4, p.195–201, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, p. 719, 2004.

TEIXEIRA, A. H. C.; SOUZA, R. A.; RIBEIRO, P. H. B.; REIS, V. C. S.; SANTOS, M. G. L. Aptidão agroclimática da cultura da videira no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p. 107-111, 2002.

TERRA, V.S.S. Variabilidade espacial e temporal de atributos agronômicos em pomar de pessegueiro. Tese de Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 103p, 2012.

USSEGLIO-TOMASSET, L. Chimie oenologique, 2nd 127 edition, **Technique & Documentation**, p.387, 1995.

VALE, C.N.C. **Microclima, umidade do solo, produção e qualidade da uva 'Syrah' sob diferentes sistemas de condução e porta-enxertos na safra do segundo semestre de 2015**. 2016. 110f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). Mossoró.

VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 41, p.892-898, 1980.

VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; MACEDO, A. Soil particle size fractions determined by gamma-ray attenuation. **Soil Science**, Baltimore, v.164, n.6, p.403-410, 1992.

VAZ, C.M.P.; IOSSI, M.F.; NAIME, J.M.; MACEDO, A.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; COOPER, M. Validation of the Arya and Paris Water Retention Model for Brazilian Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, n.3, p.577-583, 2005.

VERHAGEN, J.; BOUMA, J. Modeling soil variability. In: **The state of site specific management for agriculture**. PIERCE, F.J.; SADLER, E.J. (eds). Madison: ASA, 1997. p.55-67.

WAMPLE, R. L.; MILLS, L.; DAVENPORT, J. R. Use of precision farming practices in grape production. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 4., 1998, Saint Paul, Estados Unidos. **Proceedings...** Minneapolis, University of Minnesota, 1999. p. 897-905.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. 2. ed. Chichester: Wiley and Sons, 2007. 315p.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise especial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo**. (Tese de livre docência) Faculdade de