

HENRIQUE OLDONI

**ZONAS HOMOGÊNEAS DE ATRIBUTOS DE PLANTA E DO SOLO EM VINHEDO
IRRIGADO**

Botucatu

2019

HENRIQUE OLDONI

**ZONAS HOMOGÊNEAS DE ATRIBUTOS DE PLANTA E DO SOLO EM VINHEDO
IRRIGADO**

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

Orientador: Luís Henrique Basso

Botucatu

2019

O44z Oldoni, Henrique
Zonas homogêneas de atributos de planta e do solo em vinhedo irrigado / Henrique Oldoni. -- Botucatu, 2019
104 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Luís Henrique Bassoi

1. Viticultura de precisão. 2. Uva Cultivo. 3. Irrigação - Solos. 4. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.
I. Título.

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: "ZONAS HOMOGÊNEAS DE ATRIBUTOS DE PLANTA E DO SOLO EM VINHEDO IRRIGADO"

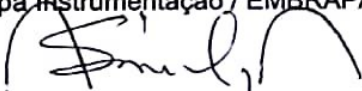
AUTOR: HENRIQUE OLDONI

ORIENTADOR: LUÍS HENRIQUE BASSOI

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



Prof. Dr. LUÍS HENRIQUE BASSOI
Embrapa Instrumentação / EMBRAPA



Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN
Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. MARCO ANTONIO TECCHIO
Horticultura / Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP - Botucatu/SP



Prof. Dr. LUCAS RIOS DO AMARAL
/ UNICAMP - Campinas, SP



Prof. Dr. LEANDRO MARIA GIMENEZ
Engenharia de Biosistemas / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)

Botucatu, 06 de maio de 2019.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar pelos melhores caminhos, sempre em prol de meu crescimento pessoal e espiritual.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), pela oportunidade e infraestrutura oferecida.

Ao Prof. Dr. Luís Henrique Bassoi, pela dedicação, confiança, motivação, ensinamentos e orientação oferecida no decorrer de toda esta jornada.

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa, pela disponibilização de recursos e materiais para a realização do presente estudo.

À Embrapa Instrumentação pela infraestrutura durante a realização desse trabalho.

À Vinícola Guaspari, pela concessão da área experimental, fornecimento de dados e aos seus funcionários, em especial à Aline, Ana Paula, Cristian e Otávio, por todo o apoio prestado.

Aos meus pais, Vitorino e Noeli pelo amparo, confiança e apoio prestado para que todo meu caminho fosse realmente concretizado, além do grande amor e carinho oferecido.

Aos meus irmãos, Mateus e Emanuela pela amizade, apoio e alegria transmitida.

À minha esposa Fernanda, por ser a maior motivação, sempre acreditar em mim, mesmo quando eu não acreditava, pelo amor, carinho e incentivo dedicado diariamente, por tornar toda esta jornada mais leve, alegre e alcançável.

A todos os amigos e colegas da Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem) – FCA/UNESP e demais instituições, em especial ao Bruno Ricardo, Cícero Manoel, Jannaylton, Marcello Henryque, Maurício Prado, Paulo Ferreira, Pedro, Roberto, Romero e Wendell, pelo apoio, amizade e companheirismo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem) – FCA/UNESP, pelos ensinamentos prestados e contribuição para minha qualificação profissional.

Aos Pesquisadores da Embrapa Instrumentação, Drs. André Torre Neto, Carlos Manoel Pedro Vaz, Ladislau Marcelino Rabello, Luiz Alberto Colnago e Ricardo Yassushi Inamasu, pelo apoio e ensinamentos prestados, e demais funcionários pelo apoio e paciência dedicada.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, da Biblioteca do Lageado e da Seção Técnica de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, pelo trabalho prestado.

A todos que, de alguma forma, contribuíram nesta jornada, meu muitíssimo obrigado.

RESUMO

A viticultura de precisão (VP) pode contribuir para um melhor manejo do sistema de produção de uvas para vinho. Há pouco mais de uma década, uma nova região produtora de vinhos no Brasil surgiu no nordeste do estado de São Paulo, a qual necessita de pesquisas relacionadas à VP. No município de Espírito Santo do Pinhal, SP, e em um vinhedo com a cultivar Chardonnay irrigada por gotejamento, realizou-se um experimento de dois anos (2017 e 2018) com os seguintes objetivos: i) avaliar se mapas de distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) podem auxiliar na identificação de diferentes padrões de vigor vegetativo, teor de água na planta, produção e maturação de uvas; ii) determinar zonas para o monitoramento da umidade do solo (θ) com base em atributos do solo em vinhedos. Amostras de solo foram coletadas para determinar as frações granulométricas (areia, silte e argila) e a água disponível no solo. Medidas da condutividade elétrica aparente do solo (CEa), θ e NDVI (em vários dias) foram realizadas. Os dados foram submetidos à análise geoestatística e interpolação por krigagem para geração de mapas de classes de valores. Dois procedimentos foram aplicados para a determinação de zonas homogêneas da granulometria do solo, CEa e θ . Mapas de zonas homogêneas de NDVI foram utilizados como referências para a escolha de plantas para determinação do vigor vegetativo, do potencial hídrico foliar e de atributos relacionados à maturação de bagas e à produção da videira. O NDVI representou o vigor vegetativo da videira, e teve relação direta com o seu potencial produtivo nos dois ciclos de produção, e relação indireta na maturação da baga em um dos anos no qual a precipitação pluvial foi menor durante o período de maturação. Mapas de distribuição espacial de NDVI podem ser utilizados como indicativo de pontos de monitoramento de índices de maturação e do potencial hídrico foliar e da estimativa de produtividade. A análise geoestatística e multivariada com base nos atributos do solo utilizados possibilitou a delimitação de zonas para o monitoramento de θ . Dados de CEa podem ser utilizados para a determinação destas zonas. Porém, o uso conjunto de θ não contribuiu para esta determinação.

Palavras-chave: *Vitis vinifera* L.. Viticultura de precisão. Conteúdo de água no solo. Vigor vegetativo. Sensoriamento proximal.

ABSTRACT

Precision viticulture (PV) can contribute for a better management of wine grape production system. A new wine production region emerged a little over a decade ago in the northeast of state of São Paulo, Brazil, where VP research should be addressed. In the municipality of Espírito Santo do Pinhal, a two years (2017-2018) experiment was carried out in a cv. Chardonnay vineyard irrigated by a drip system with the following objectives: i) to evaluate if maps of spatial distribution of normalized difference vegetation index (NDVI) can help for the identification of different patterns of vegetative vigor, plant water status, yield and berry maturation; ii) to determine zones based on soil attributes for help in the selection of soil water content (θ) monitoring sites. Soil samples were collected to determine the granulometric fractions (sand, silt, and clay) and the available soil water. Measurements of soil apparent electrical conductivity (ECa), soil moisture (θ) and NDVI (on several days) were performed. Data were submitted to geostatistical analysis and interpolation by kriging to generate maps of value intervals. Two procedures were applied to the determination of homogeneous zones of soil fractions, ECa, and θ . Maps of NDVI homogeneous zones were used as guidance for plant choosing to determine vegetative vigor, leaf water potential, berry characteristics and plant yield. NDVI represented the grapevine vegetative vigor and was directly related with its production potential in the two growing seasons and indirectly related with berry ripening in a year of lower rainfall in the maturation period. Maps of NDVI spatial distribution can be used as guidance of monitoring sites of maturation indices and leaf water potential and yield estimation. The geostatistical and multivariate analyses based on the soil attributes used allowed the delimitation of zones to the soil water content monitoring. ECa data can be used to the determination of those zones. But its use together the soil water content data did not contribute for this determination.

Keywords: *Vitis vinifera* L.. Precision viticulture. Soil water content. Vegetative vigor. Proximal sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

- Figura 1 - Localização do vinhedo em estudo no Brasil (A) e no estado de São Paulo (B) e mapa do vinhedo com indicação das áreas 1 e 2 (C)24
- Figura 2 - Precipitação mensal (P), médias mensais de temperatura do ar máxima (T max), média (T med) e mínima (T min) diária, evapotranspiração de referência (ETo) e umidade relativa do ar (UR), observados durante os meses correspondentes aos ciclos de produção de 2017 e 2018 e período entre os ciclos. Espírito Santo do Pinhal, SP25
- Figura 3 - Sensor Crop Circle ACS-430 (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, EUA) acoplado a um receptor GNSS HiPer® GGD (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA) (A) e aquisição de dados de reflectância do dossel de videiras por caminhamento (B).....29
- Figura 4 - Representação esquemática das parcelas de amostragem (A) e das etapas para seleção de plantas (B), cachos (C) e bagas (D).....34
- Figura 5 - Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medido em diferentes dias após a poda de produção (dapp) do ano de 2017 nas áreas 1 e 2 do vinhedo41
- Figura 6 - Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medido em diferentes dias após a poda de produção (dapp) do ano de 2018 nas áreas 1 e 2 do vinhedo42
- Figura 7 - Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) aos 99 dias após a poda de produção (dapp) de 2017 (A) e aos 103 dapp de 2018 (B) nas áreas 1 e 2 do vinhedo, com localização das parcelas de amostragem de bagas nas zonas de alto (retângulo preto) e baixo (retângulo vermelho) vigor vegetativo.....44
- Figura 8 - Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medido aos 120 dias após a poda de produção (dapp) de 2017 (A) e aos 124 dapp de 2018 (B) nas áreas 1 e 2 do vinhedo, com localização das plantas para determinação de parâmetros de produtividade nas zonas de alto (círculo branco) e baixo (círculo vermelho) vigor vegetativo45
- Figura 9 - Massa fresca dos ramos (MFR) de videiras 'Chardonnay' em zonas de alto e baixo vigor vegetativo, de poda curta de formação após os ciclos de produção de 2017 e 2018 nas áreas 1 (A1) e 2 (A2) do vinhedo. Diferentes letras representam diferença ao nível de significância de 10, 5 ou 1% ([‡], * e **, respectivamente) pelo teste F46
- Figura 10 - Potencial hídrico foliar (ψ) base e diurno de videiras 'Chardonnay' em zonas de alto e baixo vigor vegetativo, durante a fase de maturação de 2017 (A e B) e 2018 (C e D) nas áreas 1 e 2 do vinhedo. Diferentes letras representam diferença ao nível de significância de 10, 5 ou 1% ([‡], * e **, respectivamente) pelo teste F47

- Figura 11 - Valores de umidade volumétrica do solo (θ) em três profundidades, precipitação (P) e lâmina líquida irrigada (LL) nos dias após a poda de produção (dapp) dos ciclos de 2017 e 2018, nas áreas 1 e 2 do vinhedo. Intervalos entre pontilhados e entre tracejados representam a fase de maturação de 2017 e 2018, respectivamente..... 49
- Figura 12 - Variação da massa média de baga (A e B), volume do mosto de 100 bagas (C e D), conteúdo de sólidos solúveis (E e F), pH (G e H) e ácido málico (I e J) durante os dias após a poda de produção (dapp) do ano de 2017 (esquerda) e 2018 (direita), nas zonas de alto e baixo vigor vegetativo das áreas 1 (A1) e 2 (A2) do vinhedo..... 51

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Localização do vinhedo em estudo com indicação das áreas 1 e 2 e disposição do sistema de irrigação..... 68
- Figura 2 - Precipitação mensal (P), médias mensais de temperatura do ar máxima (T max), média (T med) e mínima (T min) diária, evapotranspiração de referência (ET_o) e umidade relativa do ar (UR), observados durante os meses correspondentes aos ciclos de produção de 2017 e 2018 e período entre os ciclos..... 69
- Figura 3 - Localização dos pontos de amostragem e de amostragem adicional do solo para determinação da fração granulométrica e conteúdo de água disponível, nas áreas 1 e 2 do vinhedo 71
- Figura 4 - Medidor manual portátil de condutividade elétrica aparente do solo para medidas pontuais..... 73
- Figura 5 - Localização dos pontos de medida da condutividade elétrica aparente (CE_a) e da umidade volumétrica do solo (θ) nas áreas 1 e 2 do vinhedo 73
- Figura 6 - Triângulo textural dos pontos de amostragem de solo das áreas 1 e 2 nas camadas de 0,0 – 0,2 m (A) e 0,2 – 0,4 m (B)..... 81
- Figura 7 - Distribuição espacial dos atributos areia (A e B), silte (C e D) e argila (E e F) nas camadas de solo de 0,0 – 0,2 m (A, C e E) e 0,2 – 0,4 m (B, D e F) das áreas 1 e 2 do vinhedo 84
- Figura 8 - Distribuição espacial dos atributos conteúdo de água disponível – AD (A e B) e umidade volumétrica do solo – θ (C) nas camadas 0,0 – 0,2 m (A e C) e 0,2 – 0,4 m (B) das áreas 1 e 2 do vinhedo 85
- Figura 9 - Distribuição espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) medida nas camadas 0,0 – 0,2 m (A) e 0,0 – 0,4 m (B) das áreas 1 e 2 do vinhedo 85
- Figura 10 - Variância total (s^2T) do conteúdo de água disponível do solo (AD) em relação ao número de zonas testadas com base nos atributos do solo das áreas 1 (A) e 2 (B) nas diferentes camadas de solo (entre parênteses)..... 89
- Figura 11 - Zonas para o monitoramento da umidade do solo geradas com base em diferentes atributos (entre parênteses) de diferentes camadas de solo nas áreas 1 e 2 do vinhedo 91

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1 - Datas e dias após a poda de produção (dapp) do início de estádios de desenvolvimento fenológico de vinhedo 'Chardonnay' durante os ciclos de produção de 2017 e 201826
- Tabela 2 - Coeficiente de cultura (kc) para os diferentes estádios fenológicos da videira de vinho. Espírito Santo do pinhal, 2017 e 201826
- Tabela 3 - Datas e dias após a poda de produção (dapp) das leituras do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em vinhedo 'Chardonnay' durante os ciclos de produção de 2017 e 2018, nos respectivos estádios fenológicos28
- Tabela 4 - Análise estatística descritiva e teste de normalidade dos dados do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medidos em diferentes dias após a poda de produção (dapp) do ano de 2017 e 2018 nas áreas 1 e 2 do vinhedo.....38
- Tabela 5 - Modelos teóricos dos semivariogramas e seus respectivos parâmetros de ajuste dos dados do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medidos aos 41 dias após a poda de produção do ano de 2017, nas áreas 1 e 2 do vinhedo39
- Tabela 6 - Valores médios (\pm erro padrão da média) e resultados da análise de variância da massa média de baga (MB), volume de 100 bagas (V100), conteúdo de sólidos solúveis (SS), pH e ácido málico (AM) das bagas 'Chardonnay' de cada zona de vigor vegetativo, determinados no dia da colheita de 2017 e 2018 nas áreas 1 e 2 do vinhedo53
- Tabela 7 - Valores médios (\pm erro padrão da média) e resultados da análise de variância do número de cachos por planta (NC), massa média de cachos (MC), produção por planta (PP) e produtividade estimada de videiras 'Chardonnay' em zonas de vigor vegetativo, nas áreas 1 e 2 do vinhedo dos ciclos de produção de 2017 e 2018.....57

CAPÍTULO 2

- Tabela 1 - Coeficiente de cultura (kc) para os diferentes estádios fenológicos da videira de vinho. Espírito Santo do pinhal, 2017 e 201870
- Tabela 2 - Procedimentos adotados para determinação de zonas para o monitoramento da umidade do solo com seus respectivos atributos nas diferentes camadas e análises utilizadas76
- Tabela 3 - Análise estatística descritiva e teste de normalidade dos atributos do solo das áreas 1 e 2 do vinhedo80
- Tabela 4 - Modelos teóricos dos semivariogramas dos dados de solo das áreas 1 e 2 do vinhedo e seus respectivos parâmetros de ajuste82

| | |
|--|----|
| Tabela 5 - Resultados da análise de componentes principais aplicada aos dados interpolados dos atributos do solo das camadas 0,0 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m nas áreas 1 e 2 do vinhedo | 87 |
| Tabela 6 - Cargas das componentes principais seleccionadas para cada atributo do solo das camadas 0,0 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m nas áreas 1 e 2 do vinhedo .. | 88 |
| Tabela 7 - Valores médios dos atributos areia, silte, argila, condutividade elétrica aparente (CEa) umidade volumétrica (θ) e conteúdo de água disponível do solo (AD) medidos nas zonas para o monitoramento da umidade do solo geradas a partir de diferentes combinações de atributos da área 1 do vinhedo | 93 |
| Tabela 8 - Valores médios dos atributos areia, silte, argila, condutividade elétrica aparente (CEa) umidade volumétrica (θ) e conteúdo de água disponível do solo (AD) medidos nas zonas para o monitoramento da umidade do solo geradas a partir de diferentes combinações de atributos da área 2 do vinhedo | 94 |
| Tabela 9 - Coeficiente de correlação entre dados interpolados do conteúdo de água disponível no solo (AD) e demais atributos utilizados na delimitação de zonas para o monitoramento da umidade do solo das áreas 1 e 2 do vinhedo | 95 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO GERAL | 17 |
| CAPÍTULO 1 – ZONAS HOMOGÊNEAS DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO COMO ESTRATÉGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE EM VINHEDOS | 20 |
| 1.1 INTRODUÇÃO | 20 |
| 1.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 23 |
| 1.2.1 Local e características da área experimental | 23 |
| 1.2.2 Fenologia e tratos culturais..... | 25 |
| 1.2.3 Monitoramento da umidade do solo | 27 |
| 1.2.4 Medidas do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) | 28 |
| 1.2.5 Georreferenciamento dos dados | 29 |
| 1.2.6 Análise estatística descritiva..... | 30 |
| 1.2.7 Análise geoestatística..... | 30 |
| 1.2.8 Coleta e determinação de atributos da planta e do fruto | 32 |
| 1.2.8.1 Maturação das bagas | 33 |
| 1.2.8.2 Potencial produtivo | 35 |
| 1.2.8.3 Estado hídrico da planta..... | 36 |
| 1.2.8.4 Vigor vegetativo | 36 |
| 1.2.9 Análise estatística dos atributos da planta e do fruto | 37 |
| 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 1.3.1 Delimitação de zonas homogêneas de NDVI | 37 |
| 1.3.1.1 Análise estatística descritiva..... | 37 |
| 1.3.1.2 Análise geoestatística e mapas de NDVI | 39 |
| 1.3.2 Locais de amostragem | 43 |
| 1.3.3 NDVI como indicativo do vigor vegetativo da videira | 45 |
| 1.3.4 Efeito do vigor vegetativo no estado hídrico da videira | 46 |
| 1.3.5 Efeito do vigor vegetativo na maturação | 50 |
| 1.3.6 Efeito do vigor vegetativo no potencial produtivo | 56 |
| 1.4 CONCLUSÕES | 58 |
| REFERÊNCIAS | 59 |

| | |
|---|---|
| CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE DO SOLO PARA O MONITORAMENTO DE SUA UMIDADE EM VINHEDO IRRIGADO | 65 |
| 2.1 | INTRODUÇÃO..... 65 |
| 2.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... 67 |
| 2.2.1 | Local e características da área experimental..... 67 |
| 2.2.2 | Manejo da irrigação..... 69 |
| 2.2.3 | Amostragem e determinação dos atributos do solo..... 70 |
| 2.2.3.1 | Atributos físico-hídricos do solo..... 70 |
| 2.2.3.2 | Condutividade elétrica aparente e umidade do solo..... 72 |
| 2.2.3.3 | Georreferenciamento dos pontos de amostragem..... 74 |
| 2.2.4 | Determinação de zonas homogêneas dos atributos do solo..... 74 |
| 2.2.4.1 | Análise estatística descritiva..... 74 |
| 2.2.4.2 | Análise geoestatística..... 75 |
| 2.2.5 | Determinação de zonas para o monitoramento de umidade do solo..... 75 |
| 2.2.5.1 | Análise de componentes principais..... 77 |
| 2.2.5.2 | Análise de agrupamento..... 77 |
| 2.2.6 | Número ideal e avaliação do desempenho de zonas para o monitoramento da umidade do solo..... 78 |
| 2.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 79 |
| 2.3.1 | Determinação de zonas homogêneas de atributos do solo..... 79 |
| 2.3.1.1 | Análise estatística descritiva..... 79 |
| 2.3.1.2 | Análise geoestatística..... 81 |
| 2.3.2 | Determinação de zonas para o monitoramento da umidade do solo..... 86 |
| 2.3.2.1 | Análise de componentes principais..... 86 |
| 2.3.2.2 | Análise de agrupamento e definição do número de zonas..... 88 |
| 2.3.3 | Validação das zonas para o monitoramento da umidade do solo..... 92 |
| 2.4 | CONCLUSÕES..... 96 |
| | REFERÊNCIAS..... 97 |
| | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 103 |
| | REFERÊNCIAS..... 104 |

INTRODUÇÃO GERAL

A produção de uvas para vinho no Brasil ainda é concentrada em alguns polos vitícolas, localizados principalmente em regiões dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e na região do Vale do Submédio São Francisco. Dentre as principais regiões, o Estado do Rio Grande do Sul é responsável por grande parte da elaboração de vinhos advindos de uvas viníferas, com 49,3 e 38,7 milhões de litros em 2017 e 2018, respectivamente (IBRAVIN, 2019), do qual o país ainda é dependente para o abastecimento do mercado interno e externo. Outras regiões do Brasil detêm pouco da parcela desta produção, concentrando-se na elaboração de vinhos para mesa, como é o caso do Estado de São Paulo, na região que abrange principalmente os municípios de São Roque, Jundiaí, Louveira e Vinhedo. Nesta região, grande parte da elaboração de vinhos é voltada apenas para consumo local, devido, principalmente, a fatores climáticos na safra primavera/verão, como o excesso de chuva na época de colheita e consequente redução da qualidade da produção, além de problemas com patógenos.

Por outro lado, devido a avanços tecnológicos voltados ao manejo e tratamentos culturais da videira, recentemente novas regiões brasileiras passaram a produzir uvas viníferas para elaboração de vinhos finos de excelente qualidade, como é o caso do nordeste do Estado de São Paulo e sul de Minas Gerais. Isso deriva da transferência da safra para o outono/inverno, quando o clima torna-se ideal para o cultivo, semelhante às grandes regiões vinícolas do mundo, com alta amplitude térmica, alta insolação e baixo índice pluviométrico na fase de maturação das bagas. A colheita no outono/inverno (entre maio e julho) é possível devido ao manejo de dupla poda, onde se realiza a poda de formação de ramos após a colheita (entre julho e setembro) e, em torno de cinco a seis meses após, uma poda de produção. Isso tornou a região um novo polo vitícola com valorização da produção dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, com destaque nacional e internacional.

Porém, ainda existem fatores limitantes à competitividade do vinho fino brasileiro devido à importação oriunda de outros países. Isso sugere a busca contínua por melhorias no sistema de produção e aumento de tecnologias na viticultura brasileira, tendo em vista a redução de custos e aumento da qualidade da produção. Para tal, tecnologias voltadas à viticultura de precisão (VP) tornaram-se importantes

neste quesito, visto que possibilitam a redução do uso de insumos como fertilizantes, água, pesticidas e o aumento da produção e qualidade das bagas.

A VP busca a exploração de uma grande quantidade de observações disponíveis para caracterizar a variabilidade espacial do vinhedo e com isso, melhorar a eficiência do manejo na busca de ganhos qualitativos, quantitativos e sustentáveis. O emprego da agricultura de precisão no cultivo da videira, então denominada de VP, é relativamente novo, destacando-se os trabalhos pioneiros conduzidos nos Estados Unidos (WAMPLE et al., 1999) e na Austrália (BRAMLEY; PROFFITT, 1999) e, mais recentemente, em diversas regiões produtoras (ACEVEDO-OPAZO et al., 2008; HALL et al., 2011; NASCIMENTO et al., 2014; MARCINIAK et al., 2015; URRETAVIZCAYA et al., 2017).

O sensoriamento remoto e proximal para a determinação do comportamento espacial e temporal de parâmetros da cultura e do solo, como a reflectância do dossel e a condutividade elétrica aparente do solo (CEa), vem sendo objeto de estudo com aplicação em diversas culturas, dentre elas a videira. Estes atributos tornam-se importantes por serem de fácil aquisição e em elevada resolução espacial, além de permitirem identificar indiretamente outros atributos importantes, como os relacionados às condições hídricas do solo e da planta, à produtividade e qualidade de produção. Isso facilita o conhecimento espacial destas condições e permite um manejo diferenciado do vinhedo.

Por outro lado, a utilização deste tipo de dado na VP pode apresentar problemas quanto à sua eficácia devido a fatores ambientais não controlados, como fatores climáticos e do solo. Um destes problemas, verificado em alguns casos, é a baixa eficiência na utilização de índices de vegetação para a caracterização da qualidade tecnológica de bagas e condições hídricas da videira. Além disso, a CEa é utilizada, muitas vezes, como auxiliar na determinação de zonas homogêneas para o manejo diferenciado da irrigação, no entanto ainda de maneira cautelosa em alguns casos.

Portanto, diante da importância na região em destaque e visto que a mesma carece de pesquisas voltadas à VP, um vinhedo comercial localizado no município de Espírito Santo do Pinhal – SP, irrigado por gotejamento, sob sistema de dupla poda e destinado à elaboração de vinho branco cv. Chardonnay, foi utilizado como objeto desse estudo para: i) avaliar se mapas de distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) podem auxiliar na identificação de

diferentes padrões de vigor vegetativo, déficit hídrico, produção e maturação de uvas 'Chardonnay' em vinhedo irrigado; ii) determinar zonas para o monitoramento da θ com base em atributos do solo em vinhedos.

CAPÍTULO 1 – ZONAS HOMOGÊNEAS DE ÍNDICE DE VEGETAÇÃO COMO ESTRATÉGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE EM VINHEDOS

RESUMO: Caracterizar a variabilidade espacial do vigor vegetativo em vinhedos pode auxiliar em seu manejo diferenciado. A utilização do sensoriamento proximal do dossel para auxiliar nesta caracterização vem sendo amplamente adotada, no entanto vinhedos com a colheita transferida para o período outono e inverno na região da Serra da Mantiqueira carecem de informações que sustentem seu uso. O objetivo deste estudo foi avaliar se mapas de distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) podem auxiliar na identificação de diferentes padrões de vigor vegetativo, potencial de água na folha, produção e maturação de uvas cv. Chardonnay em um vinhedo dividido em duas áreas, manejado com base na dupla poda anual e irrigado por gotejamento. Medidas de NDVI utilizando sensor proximal ativo foram realizadas durante dois ciclos de produção (2017 e 2018) e mapas de distribuição espacial foram gerados. Doze parcelas por área, com 14 plantas cada, foram selecionadas para quantificar atributos de maturação fisiológica e tecnológica das bagas, potencial hídrico foliar em ambos os ciclos e massa fresca dos ramos (MFR) no primeiro ciclo. Outras 20 plantas em cada área foram selecionadas para determinação de parâmetros de produção em ambos os ciclos e MFR no segundo ciclo. Foi verificado que mapas de NDVI permitem identificar a variabilidade do vigor vegetativo e da produção. Porém, precipitações pluviais de altas magnitudes durante a fase de maturação podem reduzir a relação entre zonas homogêneas do NDVI com os parâmetros de maturação da boga.

Palavras-chave: *Vitis vinifera* L.. Viticultura de precisão. Sensoriamento proximal. Vigor vegetativo. Qualidade da uva.

1.1 INTRODUÇÃO

Apesar do aumento do rendimento e qualidade de uvas para vinho já alcançado pelos viticultores por meio do manejo clássico ou tradicional do vinhedo, ainda existe a possibilidade de outro aumento por meio da viticultura de precisão

(VP), o que demanda o uso de novas tecnologias nos vinhedos (OZDEMIR et al., 2017). A obtenção remota de índices vegetativos da videira é uma das tecnologias que vem sendo amplamente estudadas por pesquisadores (LAMB et al., 2004; ACEVEDO-OPAZO et al., 2008; HALL et al., 2011; BONILLA et al., 2015; CANCELA et al., 2017; URRETAVIZCAYA et al., 2017; ROMERO et al., 2018), as quais possibilitam identificar a variabilidade no interior do vinhedo de diversos parâmetros da planta, possibilitando um manejo mais específico e detalhado para a redução do consumo de insumos e aumento de qualidade e produtividade dos vinhedos.

Estudos sugerem o índice de vegetação por diferença normalizada (*normalized difference vegetation index* - NDVI) como um bom indicador do desenvolvimento e vigor vegetativo da videira (ACEVEDO-OPAZO et al., 2008; BONILLA et al., 2015; JUNGES et al., 2017) e, muitas vezes, do estado hídrico da planta (ACEVEDO-OPAZO et al., 2008; BALUJA et al., 2012; GONZÁLEZ-FLOR et al., 2014; CANCELA et al., 2017), visto que o vigor das videiras e seu estado hídrico podem também estar relacionados (GONZÁLEZ-FLOR et al., 2014). Estes, por sua vez, refletem em outros fatores, como qualidade e produção de uva (LAMB et al., 2004; HALL et al., 2011; CANCELA et al., 2017), o que torna o NDVI indicador indireto de parâmetros da composição de bagas e da produção da videira. O NDVI relaciona a diferença entre os valores de reflectância nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho visível, com a soma dos mesmos. Quanto maior o acúmulo de biomassa verde da superfície avaliada, maior é a reflectância na faixa do infravermelho próximo e menor no vermelho visível, o que implica na relação direta entre o índice e o vigor vegetativo das culturas, e sua variação entre 0 e 1.

Alguns trabalhos sugerem a utilização de mais informações juntamente ao NDVI, visando ampliar a capacidade na estimativa da produção e qualidade das uvas (TAGARAKIS et al., 2013; CANCELA et al., 2017; URRETAVIZCAYA et al., 2017), como dados de condutividade elétrica aparente do solo, parâmetros topográficos e número de cachos. Urretavizcaya et al. (2017) chegaram a confirmação de que a utilização adicional do número de cachos (indicativo da demanda de fotossintetizados – “*sink-size*”) ajudou a elevar a significância da diferença da composição das bagas entre unidades de gerenciamento, mas destacaram que o NDVI foi a única variável que por si só possibilitou diferenciá-la. Tecnologias para medidas automatizadas de parâmetros relacionados ao *sink-size*, como o número de cachos por planta, já existem, mas ainda expõem dificuldades

(OZDEMIR et al., 2017). Além disso, Cancela et al. (2017) verificaram que a inclusão de dados referentes ao *sink-size* não resultou em melhorias na correspondência das zonas definidas com a composição das bagas.

Na VP, o NDVI ainda é uma das informações mais utilizadas diante da facilidade e disponibilidade de diversos meios e equipamentos para sua determinação. Segundo Junges et al. (2017), a determinação deste índice por meio de sensoriamento remoto de superfície ou proximal é uma maneira rápida e não destrutiva para monitorar e caracterizar o dossel em qualquer fase vegetativa da cultura. Portanto, a aquisição de dados de NDVI remotamente em vinhedos ainda é a maneira mais ágil e, muitas vezes, mais barata aos viticultores para o manejo da qualidade e produção da uva no contexto da VP.

Estudos voltados à utilização de zonas homogêneas de NDVI em vinhedos para distinguir parâmetros de qualidade das bagas (ACEVEDO-OPAZO et al., 2008; HALL et al., 2011; KING et al., 2014; BONILLA et al., 2015; MARCINIAC et al., 2015) ainda apresentam resultados contraditórios. Segundo González-Flor et al. (2014), o déficit hídrico é um dos fatores desta contradição. Acevedo-Opazo et al. (2008) verificaram que em vinhedos não irrigados em condições de déficit hídrico, o NDVI foi eficiente para avaliar a produção e o estado hídrico, porém, não para a caracterização da qualidade da uva. King et al. (2014), em estudo realizado em vinhedo irrigado sem a presença de estresse hídrico, verificaram que zonas de vigor vegetativo baseadas em dados de NDVI, permitiram distinguir diferentes padrões de produção e qualidade da uva. Além disso, em estudo realizado no Canadá, Marciniak et al. (2015) verificaram que a relação entre alguns índices de vegetação (dentre eles o NDVI) com os atributos de maturação da baga foi diferente dependendo das condições climáticas. Em anos menos chuvosos a maturação tecnológica foi maior em zonas de maior vigor vegetativo, diferentemente de anos mais chuvosos, onde resultados contrários ocorreram. Portanto, estudos adicionais ainda são necessários em vinhedos irrigados onde o déficit hídrico pode ser ou não controlado no período da maturação devido à sazonalidade das condições climáticas dentre os ciclos de produção, o que pode interferir na capacidade do NDVI de prever esses atributos (GONZÁLEZ-FLOR et al., 2014).

Nos últimos anos novas regiões produtoras de vinhos finos surgiram no Brasil, na Serra da Mantiqueira, entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo. A elaboração de vinhos de excelente qualidade, derivados de uvas viníferas tornou-se

possível na região devido ao manejo de dupla poda anual realizado nos vinhedos (FAVERO et al., 2011; SOUZA et al., 2015). O manejo consiste na transferência da colheita para o período de outono/inverno, quando o clima da região apresenta condições mais propícias durante a fase de maturação das bagas, caracterizadas pela alta insolação, baixo índice pluviométrico e elevada amplitude térmica. Este tipo de manejo pode modificar algumas condições da cultura, como no acúmulo de reservas da videira (SOUZA et al., 2015) e resultar em comportamentos distintos do crescimento vegetativo e da produção. Isso pode interferir nos índices de vegetação neste tipo de vinhedo.

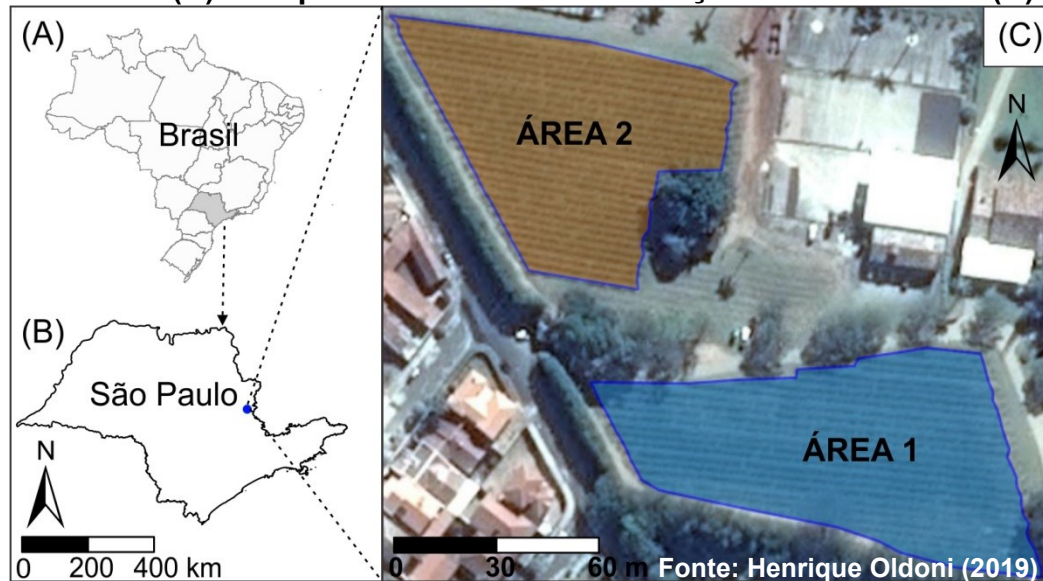
Vinhedos manejados em sistema de dupla poda diante das condições climáticas abordadas carecem de informações referentes à VP baseada na utilização de índices vegetativos. Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar se mapas de distribuição espacial do NDVI podem auxiliar na identificação de diferentes padrões de vigor vegetativo, déficit hídrico, produção e maturação de uvas cv. Chardonnay em vinhedo irrigado por gotejamento e sob sistema de dupla poda na região da Serra da Mantiqueira.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Local e características da área experimental

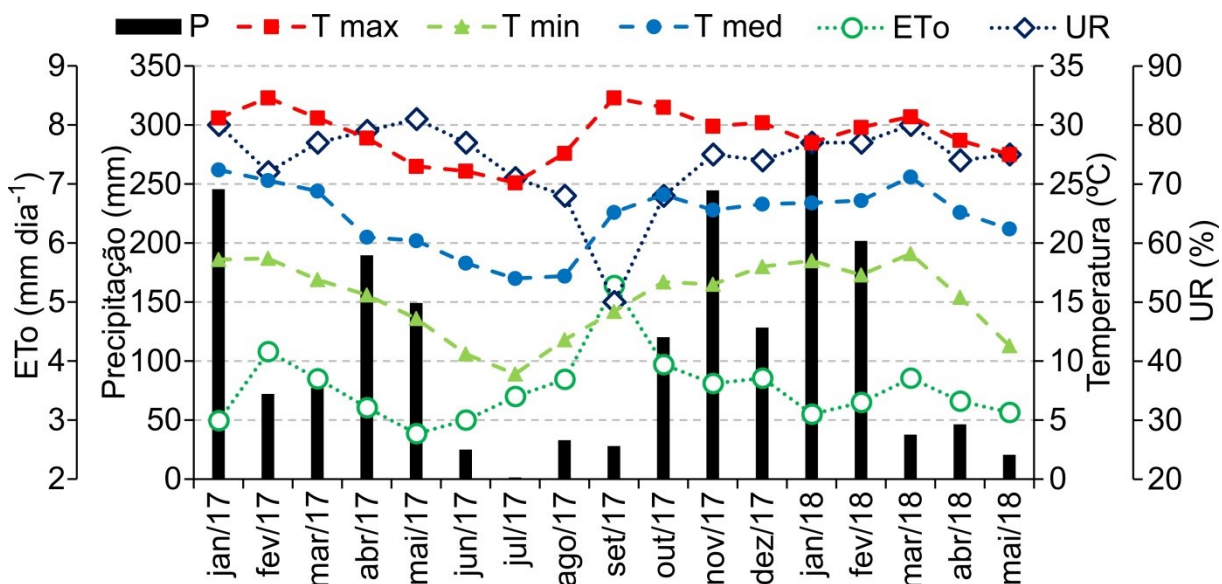
O ensaio foi realizado no município de Espírito Santo do Pinhal – SP, em um vinhedo comercial de 1,1 ha situado a 22° 10' 49,1" Sul e 46° 44' 28,4" Oeste e em uma altitude média de 875 m, durante dois ciclos de produção (2017 e 2018). O vinhedo foi implantado em 2008, onde as videiras *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay enxertadas sobre o porta-enxerto Paulsen 1103 foram plantadas no espaçamento de 2,5 entre fileiras e 1,0 m entre plantas (densidade de 4.000 plantas ha⁻¹), sustentadas em sistema de espaldeira e conduzidas em cordão Royat unilateral. As fileiras de plantas estavam orientadas na direção Leste-Oeste. O vinhedo encontrava-se dividido em duas áreas, as quais foram denominadas como área 1 e área 2 (Figura 1), sendo estas de 0,6 e 0,5 ha, respectivamente.

Figura 1 - Localização do vinhedo em estudo no Brasil (A) e no estado de São Paulo (B) e mapa do vinhedo com indicação das áreas 1 e 2 (C)



As videiras foram cultivadas em ambiente irrigado por meio de sistema de gotejamento, dotado de uma linha lateral para cada fileira de plantas, um emissor a cada 0,5 m (dois emissores por planta), com vazão média aferida de 1,83 e 1,99 l h⁻¹ nas áreas 1 e 2, respectivamente, e uma válvula de derivação de água para cada área. As linhas laterais de irrigação estavam instaladas a uma altura de 0,5 m do solo. O solo da área 1 do vinhedo foi classificado como um complexo de Cambissolo Háplico Tb, A moderado, e Neossolo Regolítico, A húmico, ambos eutróficos típicos, de textura argilosa com cascalho; e da área 2 como uma associação dos mesmos tipos de solo (SANTOS et al., 2018). O clima foi classificado como B3rB'3a' (ROLIM et al., 2007), correspondente a um clima úmido, com deficiência hídrica baixa, mesotérmico e com evapotranspiração de referência (ET_o) total anual entre 855 a 997 mm ano⁻¹ (THORNTHWAITE, 1948), com precipitação média anual de 1.500 mm ano⁻¹ (PINTO et al., 2011). A Figura 2 apresenta os valores de precipitação mensal (P, mm), médias mensais de temperatura do ar máxima, média e mínima diária (T max, T med e T min, respectivamente, °C), ET_o, em mm dia⁻¹, e umidade relativa do ar (UR, %), observados entre os meses de janeiro de 2017 (início do ciclo de produção de 2017) e maio de 2018 (fim do ciclo de produção de 2018), por meio de estação meteorológica automática (EMA) da marca DAVISTM, modelo Vantage Pro2 (Davis Instruments Corp., Hayward, CA, EUA), instalada nas proximidades do vinhedo em estudo.

Figura 2 - Precipitação mensal (P), médias mensais de temperatura do ar máxima (T max), média (T med) e mínima (T min) diária, evapotranspiração de referência (ETo) e umidade relativa do ar (UR), observados durante os meses correspondentes aos ciclos de produção de 2017 e 2018 e período entre os ciclos. Espírito Santo do Pinhal, SP



1.2.2 Fenologia e tratos culturais

A poda de produção foi realizada no dia 4 de janeiro em ambos os anos de avaliação (Tabela 1), onde foram mantidas duas e três gemas apicais por esporão nas áreas 1 e 2, respectivamente, no ano de 2017, e três gemas em ambas as áreas em 2018. Os despontes mecanizados dos ramos e a desfolha na região dos cachos das videiras foram realizados aos 76 dias após a poda de produção (dapp) em 2017 (10 dias após o início da fase de ervilha) e 64 dapp em 2018 (quatro dias antes da fase de ervilha). Telas de proteção dos cachos contra o ataque de pássaros foram instaladas no terço inferior da copa das videiras aos 91 e 105 dapp em 2017 e 2018, respectivamente, e retirados no dia da colheita de cada ciclo.

Tabela 1 - Datas e dias após a poda de produção (dapp) do início de estádios de desenvolvimento fenológico de vinhedo 'Chardonnay' durante os ciclos de produção de 2017 e 2018

| Estádio fenológico | Ciclo de 2017 | | Ciclo de 2018 | |
|--------------------|-----------------|------|-----------------|------|
| | data | dapp | data | dapp |
| Poda de produção | 04 de janeiro | 0 | 04 de janeiro | 0 |
| Brotação | 14 de janeiro | 10 | 19 de janeiro | 15 |
| Floração | 10 de fevereiro | 37 | 10 de fevereiro | 37 |
| Chumbinho | 25 de fevereiro | 52 | 26 de fevereiro | 53 |
| Ervilha | 11 de março | 66 | 13 de março | 68 |
| Maturação | 6 de abril | 92 | 15 de abril | 101 |
| Colheita | 16 de maio | 132 | 28 de maio | 144 |
| Poda de formação | 19 de julho | 196 | 7 de agosto | 215 |

Estádios fenológicos segundo a escala de Baggiolini (1952)

O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ET_c , mm dia^{-1}), obtida pelo produto entre a ET_o (em mm dia^{-1}) e o coeficiente de cultura (k_c) adotado pela vinícola (Tabela 2), para cada estágio fenológico da videira segundo a escala de Baggiolini (1952). A estimativa da ET_o foi realizada pelo método de Penman-Monteith FAO (ALLEN et al., 1998), utilizando os dados climatológicos oferecidos pela EMA. O manejo da irrigação foi realizado por turno de rega variável.

Tabela 2 - Coeficiente de cultura (k_c) para os diferentes estádios fenológicos da videira de vinho. Espírito Santo do pinhal, 2017 e 2018

| Estádio fenológico | k_c |
|---|-------|
| Poda até início da brotação | 0,3 |
| Início da brotação até brotação com 15 cm | 0,4 |
| Brotação com 15 cm até 30 cm | 0,5 |
| Brotação com 30 cm até início florescimento | 0,6 |
| Florescimento até início da maturação | 0,8 |
| Início da maturação até colheita | 0,6 |

Estádios fenológicos segundo a escala de Baggiolini (1952)

1.2.3 Monitoramento da umidade do solo

Duas baterias de tensiômetros foram instaladas em dois pontos distintos de cada área para realização do monitoramento da umidade do solo durante os ciclos de produção de 2017 e 2018. Cada bateria agrupava três tensiômetros digitais de punção, instalados nas profundidades de 0,2, 0,4 e 0,6 m com base na profundidade da maior parte do sistema radicular da videira (BASSOI et al., 2002). As leituras dos tensiômetros, dada em kPa, foram realizadas, geralmente, em intervalos semanais.

Os dados de leitura dos tensiômetros foram transformados para valores correspondentes ao potencial matricial do solo por meio da Equação 1.

$$\Psi_m = - Lt + \left(\frac{ht+hc}{10,2} \right) \quad (1)$$

onde: Ψ_m é o potencial matricial do solo, em kPa; Lt é a leitura do tensiômetro, em kPa; ht é a altura acima do solo do tubo tensiométrico, em cm; e hc é a profundidade de instalação do tensiômetro, em cm.

A partir disso, a umidade do solo foi determinada por meio da curva de retenção de água no solo (CAS) ajustada pela função matemática de Fredlund e Xing (1994). Foram utilizadas duas CAS para cada bateria de tensiômetros, sendo uma para o tensiômetro instalado a 0,2 m e outra para ambos os tensiômetros de 0,4 e 0,6 m de profundidade, visto que as características físicas do solo destas últimas eram semelhantes.

Para a determinação das CAS, amostras de solo deformadas e indeformadas foram coletadas próximas às baterias de tensiômetros nas profundidades de 0,2 e 0,4 m. As mesmas foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Embrapa Instrumentação, em São Carlos – SP, para determinação da distribuição do tamanho de partículas do solo (DTPS), pelo método do analisador granulométrico automático de raios gama (NAIME et al., 2001) e por meio de peneiramento da fração areia (50-100 μm , 100-250 μm , 250-500 μm , 500-1000 μm e 1000-2000 μm). Um modelo de DTPS foi ajustado por meio da função matemática unimodal de Fredlund et al. (2000). A CAS foi então adquirida por meio do método de Arya e Paris (1981), com o parâmetro α (fator de forma) ajustado para os solos tropicais brasileiros (VAZ et al., 2005).

1.2.4 Medidas do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

As medidas de NDVI do dossel foram realizadas no período entre os meses de janeiro (poda) e maio (colheita) de 2017 e 2018 (Tabela 3), inicialmente com o intuito de conhecer o comportamento espaço-temporal do índice durante os ciclos de produção e, posteriormente, utilizar estes mapas para classificar zonas de alto e baixo vigor vegetativo. Os dados de NDVI foram adquiridos com o uso de um sensor ativo Crop Circle ACS-430 (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, EUA) (Figura 3A) por meio de caminhamentos realizados em todas as fileiras de plantas (Figura 3B), com exceção apenas do primeiro dia de leitura (41 dapp de 2017), onde a mesma foi realizada pontualmente a cada 4 plantas no decorrer de fileiras intercaladas. Durante os caminhamentos e leituras pontuais, o sensor foi posicionado na parte superior do dossel das videiras para aquisição de dados de reflectância vertical, a uma altura de aproximadamente 0,3 m do topo (Figura 3B) e com 10 aquisições por segundo.

Tabela 3 - Datas e dias após a poda de produção (dapp) das leituras do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em vinhedo ‘Chardonnay’ durante os ciclos de produção de 2017 e 2018, nos respectivos estádios fenológicos

| Estádio fenológico | Leituras de NDVI | | | |
|--------------------------------------|------------------|------|-------------|------|
| | 2017 | | 2018 | |
| | data | dapp | data | dapp |
| Entre floração e chumbinho | 14 de fevereiro | 41 | - | - |
| Entre chumbinho e ervilha | 2 de março | 57 | 8 de março | 63 |
| | 9 de março | 64 | | |
| Entre ervilha e maturação | 23 de março | 78 | - | - |
| | 30 de março | 85 | | |
| Entre início da maturação e colheita | 13 de abril | 99 | 17 de abril | 103 |
| | 4 de maio | 120 | 8 de maio | 124 |

Estádios fenológicos segundo a escala de Baggiolini (1952)

Figura 3 - Sensor Crop Circle ACS-430 (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, EUA) acoplado a um receptor GNSS HiPer® GGD (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA) (A) e aquisição de dados de reflectância do dossel de videiras por caminhamento (B)



Os valores de NDVI são fornecidos diretamente pelo conjunto Crop Circle (sensor + *datalogger*) calculados a partir de dados de reflectância de dois comprimentos de onda (670 e 780 nm, correspondentes à faixa do vermelho visível e do infravermelho próximo, respectivamente), por meio da Equação 2.

$$NDVI = \frac{R_{780} - R_{670}}{R_{780} + R_{670}} \quad (2)$$

onde: R é a refletância e os subíndices são os respectivos comprimentos de onda, em nm.

1.2.5 Georreferenciamento dos dados

O georreferenciamento dos dados de NDVI coletados no vinhedo foi realizado com o auxílio de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) HiPer® GGD (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA) (Figura 3A), 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 aquisição dos dados o receptor *rover* foi acoplado ao datalogger do conjunto Corp Circle e o receptor base mantido na posição central da área. Além disso, as posições geográficas das primeiras e últimas

plantas de cada fileira do vinhedo foram coletadas utilizando sistema GNSS-RTK para posterior determinação do perímetro e a posição de cada uma das plantas de cada área do vinhedo.

1.2.6 Análise estatística descritiva

Inicialmente foram removidos os valores discrepantes (\pm três vezes o desvio padrão) do conjunto de dados de NDVI de cada medida realizada, e em seguida foram determinados os valores de média, mediana, desvio padrão, limites mínimo e máximo e coeficientes de variação (CV), curtose (Cur) e assimetria (Ass). A variação dos dados em torno da média foi classificada utilizando os valores de CV, segundo Wilding (1985), como de baixa variação para $CV \leq 15\%$, moderada para $15 < CV \leq 35\%$ e alta para $CV > 35\%$. Foi realizado o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (K-S) com correção de Lilliefors, ao nível de 5% de significância para cada um do conjunto de dados. A análise estatística descritiva e o teste de normalidade foram realizados utilizando o programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017), com auxílio do pacote “Rcmdr” 2.3-2 (FOX; BOUCHET-VALAT, 2017).

1.2.7 Análise geoestatística

Dois métodos de cálculo de semivariogramas experimentais foram adotados seguindo critério mencionado por Oliveira (2015). Para o conjunto de dados de NDVI com um número de pontos amostrais < 500 (leitura pontual – 41 dapp de 2017), o método do semivariograma global (SG) foi adotado, isto é, um único semivariograma foi calculado para toda a área utilizando todo o conjunto de dados. Para o número de pontos amostrais > 500 (demais leituras de NDVI realizadas por caminhamento), foi adotado o método do semivariograma local (SL) (HAAS, 1990), ou seja, um semivariograma para cada ponto interpolado utilizando uma janela de pontos vizinhos. Para o presente estudo, foi adotado um máximo de 200 pontos vizinhos.

Para o método de SG, foi realizada inicialmente a verificação da dependência espacial dos dados por meio de semivariograma experimental isotrópico, determinados por meio do estimador de Matheron (JOURNAL; HUIJBREGTS, 1978), e ajuste dos modelos de semivariogramas teóricos (gaussiano, esférico e exponencial). O melhor modelo de ajuste foi adotado com base no menor valor da

raiz do erro médio quadrático (RMSE) da validação cruzada correspondente. Em seguida, foram obtidos os parâmetros do modelo adotado (efeito pepita, patamar e alcance da dependência espacial) e a força da dependência espacial dos dados foi classificada conforme Seidel e Oliveira (2016) com base no índice de dependência espacial (IDE, %) proposto por Seidel e Oliveira (2014). Segundo Seidel e Oliveira (2016) o IDE é classificado da seguinte maneira:

- a) fraca dependência espacial para $IDE_{\text{Esférico}} \leq 7\%$, $IDE_{\text{Exponencial}} \leq 6\%$ e $IDE_{\text{Gaussiano}} \leq 9\%$;
- b) moderada dependência espacial para $7\% < IDE_{\text{Esférico}} \leq 15\%$, $6\% < IDE_{\text{Exponencial}} \leq 13\%$ e $9\% < IDE_{\text{Gaussiano}} \leq 20\%$;
- c) forte dependência espacial para $IDE_{\text{Esférico}} > 15\%$, $IDE_{\text{Exponencial}} > 13\%$ e $IDE_{\text{Gaussiano}} > 20\%$.

Em que, $IDE_{\text{Esférico}}$, $IDE_{\text{Exponencial}}$ e $IDE_{\text{Gaussiano}}$ são índices de dependência espacial determinados com base nos parâmetros dos semivariogramas teóricos ajustados pelos modelos esférico, exponencial e gaussiano, respectivamente.

No caso do método de SL, diante do grande número de semivariogramas, um único modelo foi adotado como padrão além de que não foi determinado e classificado o IDE.

Os modelos foram ajustados aos semivariogramas experimentais em ambos os métodos (SG e SL) de modo automatizado, utilizando o ponderador “No_pairs/std_dev”, o qual tem como base os pesos calculados na razão do número de pares pelo desvio padrão da semivariância específica de cada “lag” (OLIVEIRA, 2015). A partir dos semivariogramas ajustados, a krigagem ordinária (WEBSTER; OLIVER, 2007) e krigagem local (HAAS, 1990) foram utilizadas para a interpolação dos dados para SG e SL, respectivamente. Por fim, mapas de classes de NDVI foram gerados.

A delimitação das classes (zonas homogêneas) de NDVI foi realizada pelo método de Otimização de Jenks (quebras naturais) (JENKS, 1963), o qual permite minimizar a diferença intrazonas e maximizar a diferença entre zonas homogêneas. Um número de três classes foi adotado como padrão para representação dos mapas de zonas homogêneas.

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 validação cruzada e a Otimização de Jenks foram realizadas por meio do programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017) e a confecção dos mapas com auxílio do programa QGIS 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015).

1.2.8 Coleta e determinação de atributos da planta e do fruto

Com o intuito de verificar a potencialidade de zonas de vigor vegetativo, delimitadas com base em dados de NDVI, na identificação de diferentes padrões de maturação fisiológica e tecnológica da baga, produção e estado hídrico da planta em um mesmo vinhedo, atributos referentes a estes parâmetros foram amostrados e determinados durante os dois ciclos de produção (2017 e 2018). Para isso, plantas para amostragem foram selecionadas de modo a atender tanto regiões de alto como de baixo vigor vegetativo do vinhedo, com suporte nos mapas de zonas homogêneas gerados a partir de dados de NDVI medidos durante a fase de maturação da baga de ambos os ciclos de produção (99 e 120 dapp de 2017 e 103 e 124 dapp de 2018 – Tabela 3). Os mapas foram adotados neste período com base em estudos realizados por Lamb et al. (2004) e Hall et al. (2011), os quais identificaram maior correlação entre o NDVI da fase de maturação e atributos da baga, produção e massa dos ramos podados (variável da planta representativa ao vigor vegetativo), além de que, neste período as videiras encontram-se com a expansão total do dossel.

Para a seleção das plantas para amostragem, foram consideradas duas zonas de vigor vegetativo para cada área do vinhedo: zona de alto vigor e zona de baixo vigor vegetativo. Para isso, dentre as três classes de valores de NDVI determinadas pelo método de Otimização de Jenks (JENKS, 1963), a classe correspondente aos maiores valores de NDVI foi considerada como zona de alto vigor, enquanto a zona de baixo vigor abrangeu as outras duas classes de menores valores. A divisão das zonas de vigor foi realizada desta maneira devido aos seguintes motivos:

- a) ao classificar com apenas duas classes de valores de NDVI, a classe com os menores valores apresentou baixa extensão territorial (<20% do total da área do vinhedo), o que torna pouco viável a divisão do vinhedo para um manejo diferenciado;

- b) ao considerar uma zona de vigor vegetativo para cada uma das três classes de NDVI, novamente a classe de menor valor de NDVI apresentou baixa extensão territorial, o que mais uma vez torna pouco viável um manejo diferenciado desta classe separadamente das demais;
- c) o número de apenas duas zonas de vigor vegetativo pode ser considerado mais apropriado para áreas de pequeno porte (<1 ha), visto que um aumento demasiado do número de zonas torna o manejo mais complicado, demorado e de maior custo, sem um retorno garantido nas mesmas proporções.

1.2.8.1 Maturação das bagas

A avaliação da maturação fisiológica e tecnológica das bagas entre as zonas de vigor vegetativo foi realizada por meio de amostragens de bagas a partir de duas a três semanas após o início da maturação (monitoramento) até o dia da colheita de cada ciclo de produção. Esse monitoramento foi realizado inicialmente em intervalos semanais e em intervalos a cada três dias no período mais próximo da colheita, totalizando 6 e 7 dias de amostragem nos ciclos de 2017 e 2018, respectivamente. As coletas de bagas para análise em laboratório foram realizadas de duas maneiras:

- a) amostragem composta: uma amostra composta para cada zona de vigor vegetativo, totalizando duas amostras por área e quatro amostras em todo o vinhedo;
- b) amostragem detalhada: seis amostras por zona de vigor vegetativo, totalizando 12 amostras por área e 24 amostras em todo o vinhedo.

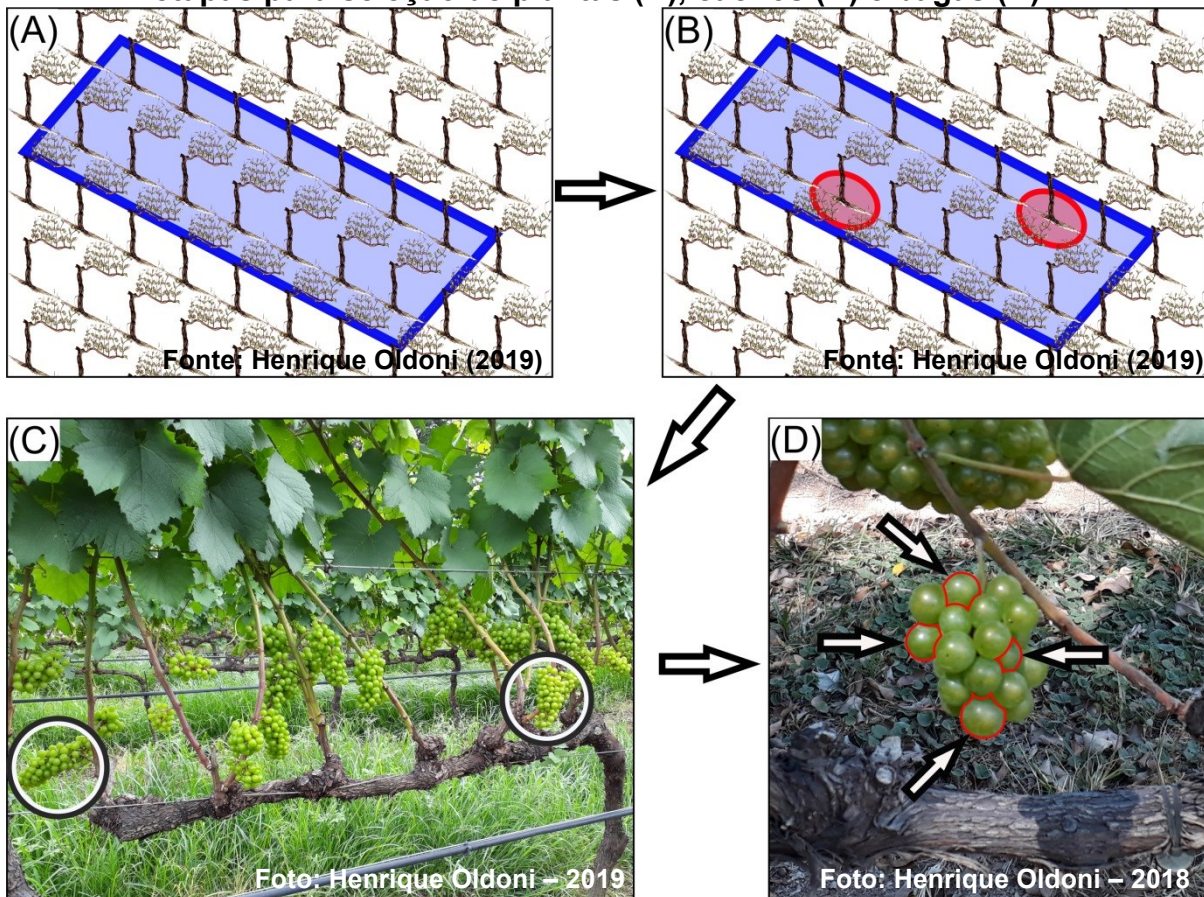
A amostragem detalhada foi realizada apenas no dia da colheita dos dois ciclos de produção, enquanto que a amostragem composta foi realizada nos demais dias durante a fase de maturação da baga.

Para ambos os tipos de amostragem foram utilizadas 24 parcelas de plantas, as quais foram distribuídas em todo o vinhedo, com 12 inseridas em cada área e seis em cada zona de vigor vegetativo. Neste caso, foram utilizadas as zonas de vigor baseadas nos mapas de NDVI medidos aos 99 dapp de 2017 e 103 dapp de 2018 para indicação das posições das parcelas para amostragem do respectivo ciclo de produção. Cada parcela foi constituída por 14 plantas pertencentes a duas fileiras vizinhas, sendo sete plantas em cada fileira como apresentado na Figura 4A. A

coleta de bagas dentro de cada parcela de plantas visando à amostragem composta de um dos dias, foi realizada da seguinte maneira:

- duas plantas de cada parcela foram selecionadas aleatoriamente (Figura 4B);
- dois cachos de cada planta foram selecionados em diferentes ramos (Figura 4C) e de lados opostos da planta (norte e sul), ou seja, cacho com incidência e não incidência direta dos raios solares;
- quatro bagas por cacho foram coletadas, uma no topo, outra na parte inferior e duas na região central do cacho (interna e externa) (Figura 4D), semelhante ao realizado por Trought e Bramley (2011).

Figura 4 - Representação esquemática das parcelas de amostragem (A) e das etapas para seleção de plantas (B), cachos (C) e bagas (D)



As 16 bagas coletadas em cada uma das seis parcelas de cada zona de vigor foram unidas em uma única amostra composta, totalizando 96 bagas por amostra, e duas amostras por área do vinhedo (amostra de alto vigor e de baixo vigor). Para cada dia de amostragem, novas plantas dentro da parcela eram selecionadas. A coleta de bagas para a amostragem detalhada foi realizada do mesmo modo, porém,

com 12 plantas selecionadas em cada parcela para a coleta de bagas, o que totalizou uma amostra de 96 bagas por parcela. O procedimento de amostragem visou minimizar o problema da variabilidade da maturação entre plantas, entre cachos de uma mesma planta e entre as bagas de um mesmo cacho.

As amostras de bagas coletadas foram encaminhadas para o laboratório de enologia da vinícola para avaliação da maturação fisiológica com base em dados da massa média de baga (MB, g) e do volume do mosto de 100 bagas (V100, ml) e avaliação da maturação tecnológica a partir de dados do conteúdo de sólidos solúveis (SS, °Brix), pH e ácido málico (AM, g L⁻¹). A MB foi obtida por meio da determinação da massa do montante total de bagas de cada amostra (96 bagas) em balança digital semianalítica e seu valor dividido pelo número total de bagas da respectiva amostra. O V100 foi obtido por meio da maceração manual das bagas de cada amostra para extração do mosto, onde o mesmo foi peneirado para posterior determinação do volume do mosto com o auxílio de uma proveta graduada e extrapolação deste valor para 100 bagas. O valor de SS foi determinado por meio de refratômetro digital, o pH por meio de pHmetro de bancada e AM por meio do método enzimático, utilizando-se o mosto advindo da maceração para estas três análises.

1.2.8.2 Potencial produtivo

O potencial produtivo das videiras foi avaliado no dia da colheita de cada ciclo de produção (132 dapp de 2017 e 144 dapp de 2018; 16 e 28 de maio, respectivamente) por meio de dados de produção por planta (PP, kg planta⁻¹), produtividade (t ha⁻¹), número de cachos por planta (NC) e massa média de cachos por planta (MC, g cacho⁻¹). Para isso, foram selecionadas aleatoriamente 20 plantas em cada área do vinhedo, sendo parte destas localizadas nas zonas de baixo vigor e outra parte nas zonas de alto vigor vegetativo. A seleção dessas plantas no ciclo de 2017 e 2018 foi realizada utilizando como base, respectivamente, os mapas de NDVI medido aos 120 dapp de 2017 e 124 dapp de 2018. Evitou-se selecionar plantas dentro das parcelas utilizadas na amostragem de bagas, para prevenir a redução nos valores de PP, produtividade, NC e MC devido à retirada de bagas utilizadas na avaliação dos atributos durante a fase de maturação.

Todos os cachos de cada planta foram colhidos e pesados em balança digital semianalítica, com precisão de 0,1 g, para a determinação da PP e estimativa da produtividade. O NC foi determinado por meio da simples contagem de todos os cachos pertencentes a cada videira e a MC foi determinada por meio da relação entre PP e NC.

1.2.8.3 Estado hídrico da planta

O estado hídrico da planta foi avaliado com base em dados de potencial hídrico foliar (ψ , MPa), medido em diferentes dias durante as fases de maturação dos dois ciclos de produção (106, 120 e 127 dapp de 2017 e 105-106, 120 e 126 dapp de 2018). O monitoramento do ψ foi realizado por meio de uma câmara de Scholander conforme método proposto por Scholander et al. (1965), com medidas no período da madrugada (ψ de base), entre as 03h30 e 05h00, e no período da manhã (ψ diurno), entre as 10h00 e 12h00. As medidas foram realizadas em uma das plantas, selecionada aleatoriamente, de cada parcela utilizada na amostragem de bagas (Figura 4A), totalizando seis plantas por zona de vigor vegetativo e 12 plantas por área, onde foi utilizada uma folha por planta, localizada no terço médio de ramos produtivos, em cada medida realizada.

1.2.8.4 Vigor vegetativo

O vigor vegetativo em cada zona delimitada foi avaliado com base na massa fresca dos ramos (MFR, kg planta⁻¹), determinada por meio da pesagem de ramos da poda de formação com auxílio de balança digital semianalítica. A poda foi realizada no final do período de descanso, após a colheita de cada ciclo de produção (196 dapp em 2017 e 215 dapp de 2018; 19 de julho e 7 de agosto, respectivamente). A poda de formação realizada em ambos os ciclos foi poda curta, com duas gemas por esporão.

As plantas adotadas para a pesagem dos ramos nos ciclos de produção de 2017 e 2018 foram, respectivamente, as mesmas utilizadas para determinação do ψ e do potencial produtivo.

1.2.9 Análise estatística dos atributos da planta e do fruto

As diferenças significativas dos atributos de planta e fruto entre zonas de vigor vegetativo foram avaliadas por meio análise de variância (ANOVA), com auxílio do programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Delimitação de zonas homogêneas de NDVI

1.3.1.1 Análise estatística descritiva

Uma taxa de crescimento mais expressiva dos valores de NDVI foi observada entre os 41 e 57 dapp de 2017 em ambas as áreas (Tabela 4), que corresponde ao período entre florescimento e logo após a fase de chumbinho, com crescimento vegetativo ainda intenso. Entre os 64 e 78 dapp de 2017 e entre os 63 e 103 dapp de 2018, uma redução mais acentuada do valor médio de NDVI foi identificada em ambas as áreas, que pode ser explicada pela redução do volume vegetativo ocasionada por meio do desponte dos ramos, somado à desfolha na região dos cachos realizados aos 76 e 69 dapp de 2017 e 2018, respectivamente. Junges et al. (2017), em estudo realizado em videiras ‘Chardonnay’ conduzidas por dois sistemas horizontais (latada e lira) na Serra Gaúcha, verificaram resultados semelhantes, com os maiores valores de NDVI na fase inicial da formação dos cachos e uma queda dos valores no período próximo ao início da maturação devido à poda de verão (correspondente às práticas de desponte e desfolha do presente estudo).

Tabela 4 - Análise estatística descritiva e teste de normalidade dos dados do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medidos em diferentes dias após a poda de produção (dapp) do ano de 2017 e 2018 nas áreas 1 e 2 do vinhedo

| dapp | n ^(a) | NDVI - Estatística descritiva ^(b) | | | | | | | | p ^(c) |
|---------------------|------------------|--|-------|-------|-------|-------|--------|------|-------|------------------|
| | | Média | Med | Mín | Máx | s | CV (%) | Cur | Ass | |
| Ciclo 2017 - Área 1 | | | | | | | | | | |
| 41 | 346 | 0,697 | 0,715 | 0,173 | 0,863 | 0,101 | 14,5 | 3,46 | -1,52 | <0,01 |
| 57 | 20624 | 0,804 | 0,826 | 0,515 | 0,918 | 0,068 | 8,5 | 2,86 | -1,68 | <0,01 |
| 64 | 21235 | 0,796 | 0,827 | 0,362 | 0,906 | 0,094 | 11,8 | 4,82 | -2,11 | <0,01 |
| 78 | 19020 | 0,760 | 0,793 | 0,337 | 0,905 | 0,101 | 13,3 | 2,29 | -1,56 | <0,01 |
| 85 | 16165 | 0,774 | 0,801 | 0,396 | 0,921 | 0,084 | 10,8 | 3,47 | -1,80 | <0,01 |
| 99 | 15967 | 0,772 | 0,804 | 0,353 | 0,901 | 0,096 | 12,4 | 3,82 | -1,92 | <0,01 |
| 120 | 15750 | 0,784 | 0,823 | 0,306 | 0,924 | 0,106 | 13,5 | 4,45 | -2,10 | <0,01 |
| Ciclo 2017 - Área 2 | | | | | | | | | | |
| 41 | 302 | 0,713 | 0,741 | 0,317 | 0,867 | 0,099 | 13,9 | 1,16 | -1,16 | <0,01 |
| 57 | 17116 | 0,819 | 0,840 | 0,527 | 0,912 | 0,066 | 8,1 | 3,67 | -1,86 | <0,01 |
| 64 | 20758 | 0,800 | 0,834 | 0,384 | 0,928 | 0,097 | 12,1 | 4,02 | -2,01 | <0,01 |
| 78 | 16630 | 0,724 | 0,779 | 0,300 | 0,921 | 0,143 | 19,8 | 0,45 | -1,19 | <0,01 |
| 85 | 15057 | 0,809 | 0,826 | 0,532 | 0,938 | 0,059 | 7,3 | 4,09 | -1,86 | <0,01 |
| 99 | 15340 | 0,791 | 0,813 | 0,466 | 0,911 | 0,072 | 9,1 | 3,85 | -1,87 | <0,01 |
| 120 | 14873 | 0,807 | 0,832 | 0,474 | 0,914 | 0,073 | 9,0 | 4,25 | -2,00 | <0,01 |
| Ciclo 2018 - Área 1 | | | | | | | | | | |
| 63 | 14100 | 0,834 | 0,845 | 0,574 | 0,917 | 0,046 | 5,5 | 6,21 | -2,09 | <0,01 |
| 103 | 12769 | 0,785 | 0,802 | 0,466 | 0,905 | 0,061 | 7,8 | 5,37 | -2,07 | <0,01 |
| 124 | 12977 | 0,767 | 0,789 | 0,406 | 0,887 | 0,075 | 9,8 | 4,25 | -1,91 | <0,01 |
| Ciclo 2018 - Área 2 | | | | | | | | | | |
| 63 | 13190 | 0,837 | 0,847 | 0,639 | 0,930 | 0,042 | 5,0 | 3,42 | -1,57 | <0,01 |
| 103 | 11978 | 0,809 | 0,822 | 0,552 | 0,929 | 0,055 | 6,8 | 3,29 | -1,59 | <0,01 |
| 124 | 11895 | 0,788 | 0,805 | 0,494 | 0,939 | 0,068 | 8,6 | 3,05 | -1,60 | <0,01 |

^a n: número de pontos medidos; ^b Med: mediana; Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Cur: coeficiente de curtose; Ass: coeficiente de assimetria; ^c p: valor de significância do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors), os dados seguem uma distribuição normal ao nível de 5% de significância quando p>0,05.

Uma moderada variação dos dados em torno da média ($15 < CV \leq 35\%$ (WILDING, 1985) foi verificada apenas para os dados de NDVI medidos aos 78 dapp do ciclo de 2017 na área 2 (Tabela 4), enquanto que os demais foram classificados como de baixa variação. Todos os valores de mediana estiveram acima dos valores de média, o que caracteriza uma cauda alongada à esquerda da distribuição dos dados de NDVI, resultado comprovado pelos valores negativos do coeficiente de

assimetria de todos os conjuntos de dados (Tabela 4). Isso resultou em uma não normalidade dos dados ao nível de 5% de significância pelo teste de K-S com correção de Lilliefors ($p < 0,05$). A normalidade dos dados é importante para assegurar a qualidade dos resultados da análise geoestatística; no entanto, apenas dados que apresentem assimetria positiva necessitam de transformação para a estimativa geoestatística (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Além disso, o procedimento de krigagem com base nos parâmetros de semivariogramas locais (HAAS, 1990) não considera o conjunto total de valores medidos de uma só vez, e sim apenas pequenos grupos de dados circunvizinhos, o que torna a não normalidade do conjunto total de dados irrelevante, neste caso.

1.3.1.2 Análise geoestatística e mapas de NDVI

Visto que apenas para os dados de NDVI medidos aos 41 dapp de 2017 adotou-se o procedimento de krigagem com base nos parâmetros de um semivariograma global, devido o número reduzido de pontos amostrais (<500; OLIVEIRA, 2015), os seus resultados da análise geoestatística foram apresentados em maiores detalhes (Tabela 5). Para cada área do vinhedo, o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou aos semivariogramas experimentais globais dos dados de NDVI medidos aos 41 dapp. O alcance da dependência espacial foi relativamente baixo para as duas áreas, o que caracteriza uma elevada variabilidade espacial dos dados. Isto indica elevada variabilidade do vigor vegetativo no decorrer das fileiras de plantas nesta fase inicial (após início do florescimento), período em que os ramos das videiras apresentam-se ainda com altura e volume de folhas desuniformes. A dependência espacial dos dados de NDVI medidos neste dia foi classificada como fraca para ambas as áreas ($IDE_{\text{Exponencial}} \leq 6\%$: SEIDEL; OLIVEIRA, 2016).

Tabela 5 - Modelos teóricos dos semivariogramas e seus respectivos parâmetros de ajuste dos dados do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medidos aos 41 dias após a poda de produção do ano de 2017, nas áreas 1 e 2 do vinhedo

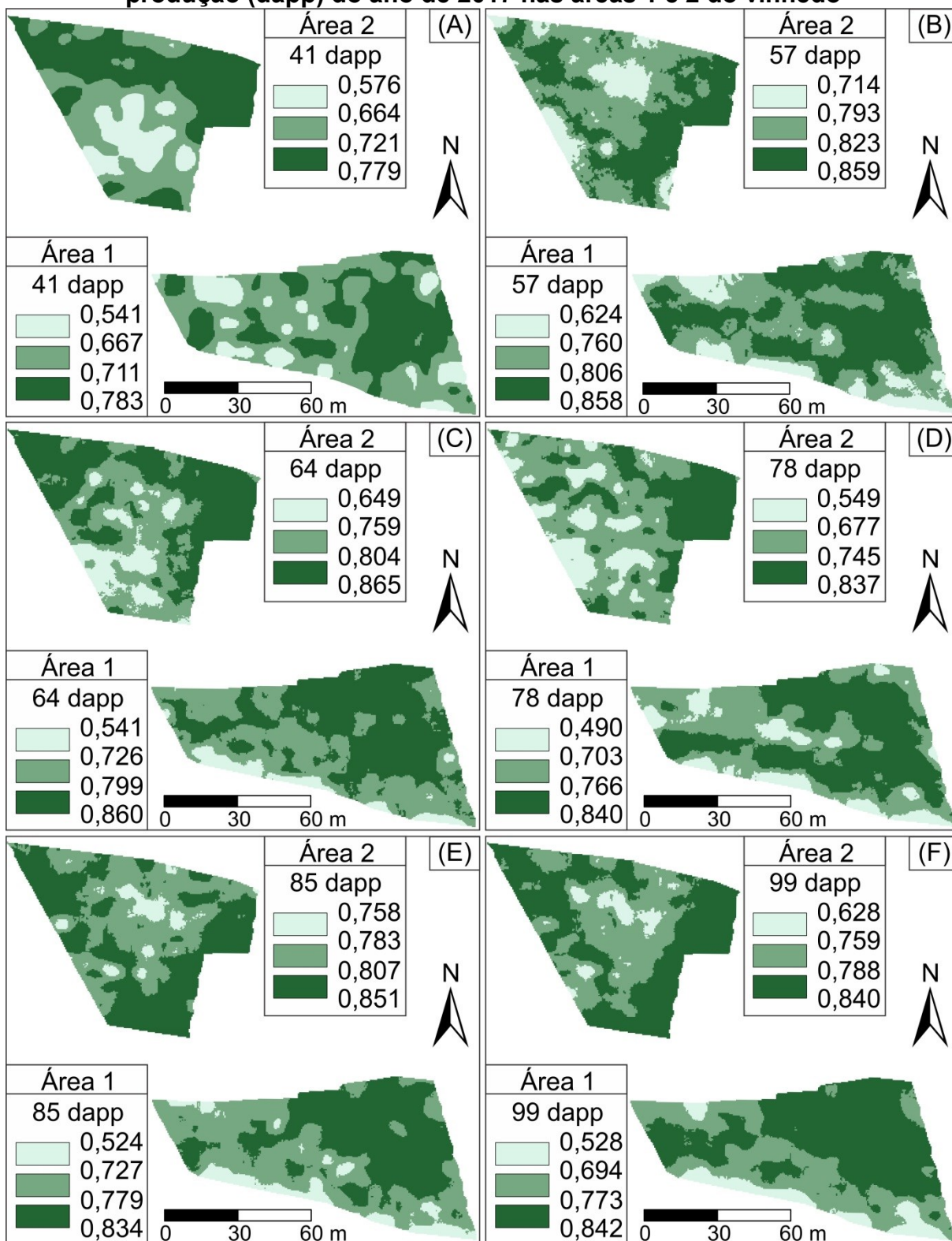
| Área | Modelo | Efeito pepita | Patamar | Alcance (m) | IDE ^(a) (%) | RMSE ^(b) |
|------|-------------|---------------|---------|-------------|------------------------|---------------------|
| 1 | Exponencial | 0,0035 | 0,0094 | 6,13 | 1,71 | 0,098 |
| 2 | Exponencial | 0,0049 | 0,0098 | 9,17 | 2,82 | 0,096 |

^a IDE: índice de dependência espacial, de acordo com Seidel e Oliveira (2014); ^b RMSE: raiz do erro médio quadrático da validação cruzada.

Para a análise geoestatística dos dados de NDVI coletados nos demais dias de avaliação, o modelo exponencial foi adotado como padrão para ajuste dos semivariogramas locais, utilizando como base o melhor modelo verificado para o semivariograma global dos dados coletados aos 41 dias de 2017. Neste caso, o teste do melhor modelo a ser adotado para cada semivariograma com base na validação cruzada não é praticável, visto que neste método interpola-se apenas um ponto por cada semivariograma gerado. Os parâmetros dos modelos teóricos ajustados não foram apresentados devido ao grande número de semivariogramas calculados.

Os mapas de distribuição espacial dos dados de NDVI dos diferentes dias durante os ciclos de produção de 2017 e 2018 são apresentados nas Figura 5 e Figura 6. As classes dos valores de NDVI dos mapas de 2017 foram determinadas separadamente em cada área do vinhedo, visto que, por decisão da vinícola, na poda de produção deste ciclo o número de gemas por esporão foi diferente entre as áreas (duas e três gemas para área 1 e 2, respectivamente). Para os mapas de NDVI do ciclo de 2018 (Figura 6), diferentemente dos mapas do ciclo de 2017, apenas uma classificação de valores foi realizada para todo vinhedo, visto que nesse ano foram mantidas três gemas por esporão em ambas as áreas. O número de gemas reflete diretamente no número de ramos por planta, e conseqüentemente nos valores de NDVI.

Figura 5 - Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medido em diferentes dias após a poda de produção (dapp) do ano de 2017 nas áreas 1 e 2 do vinhedo



continuação da Figura 5...

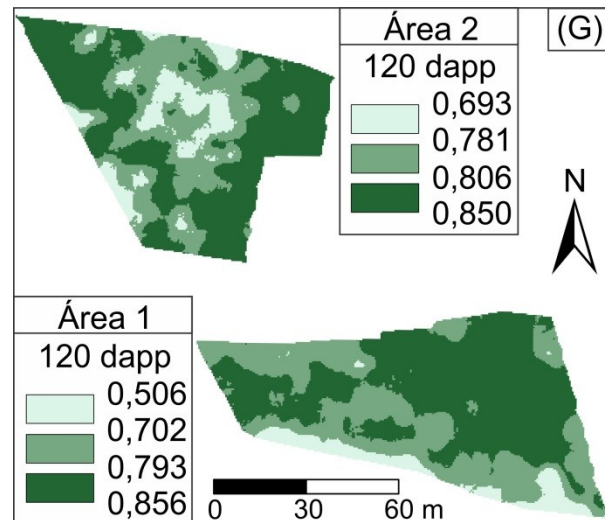
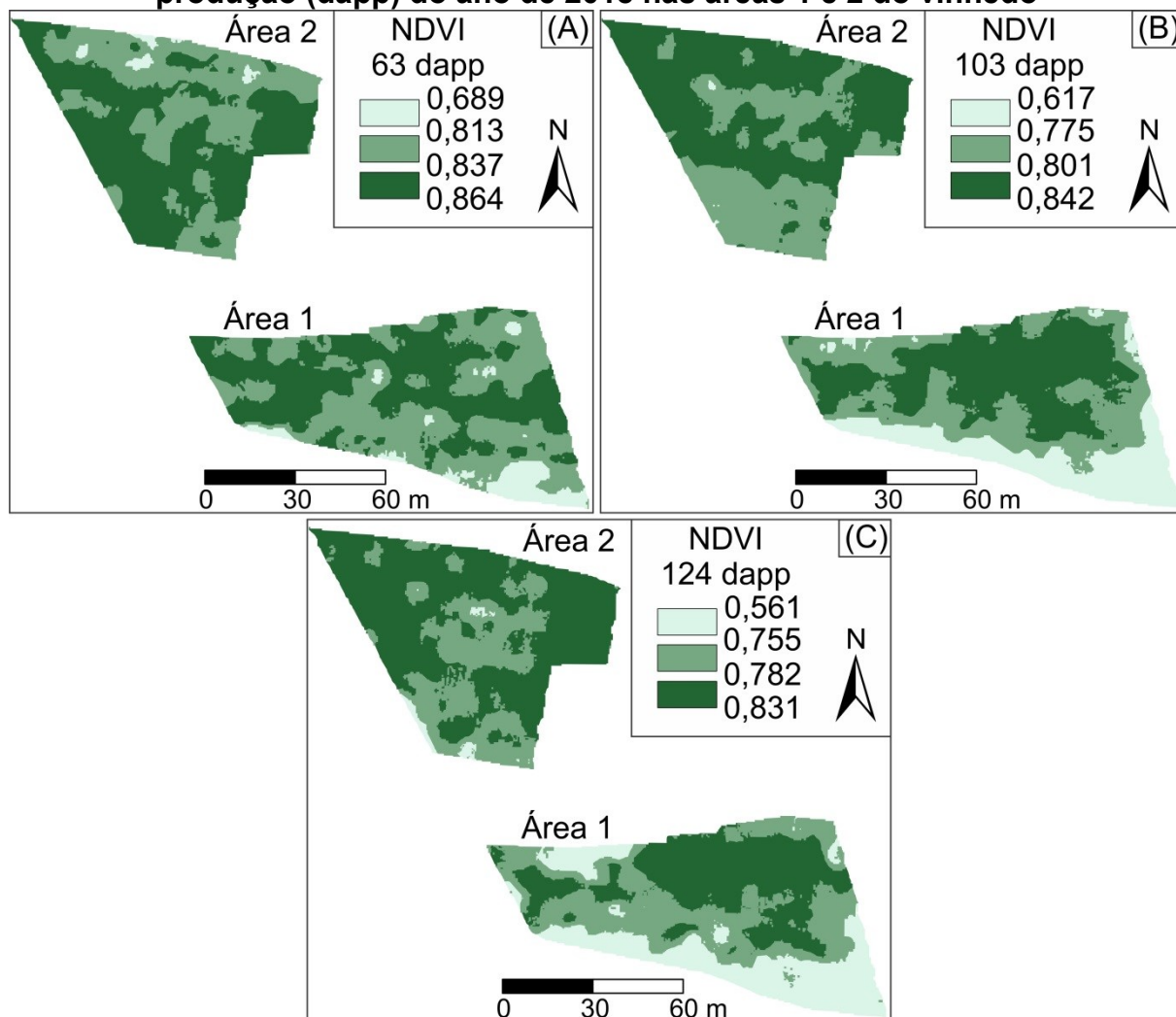


Figura 6 - Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medido em diferentes dias após a poda de produção (dapp) do ano de 2018 nas áreas 1 e 2 do vinhedo



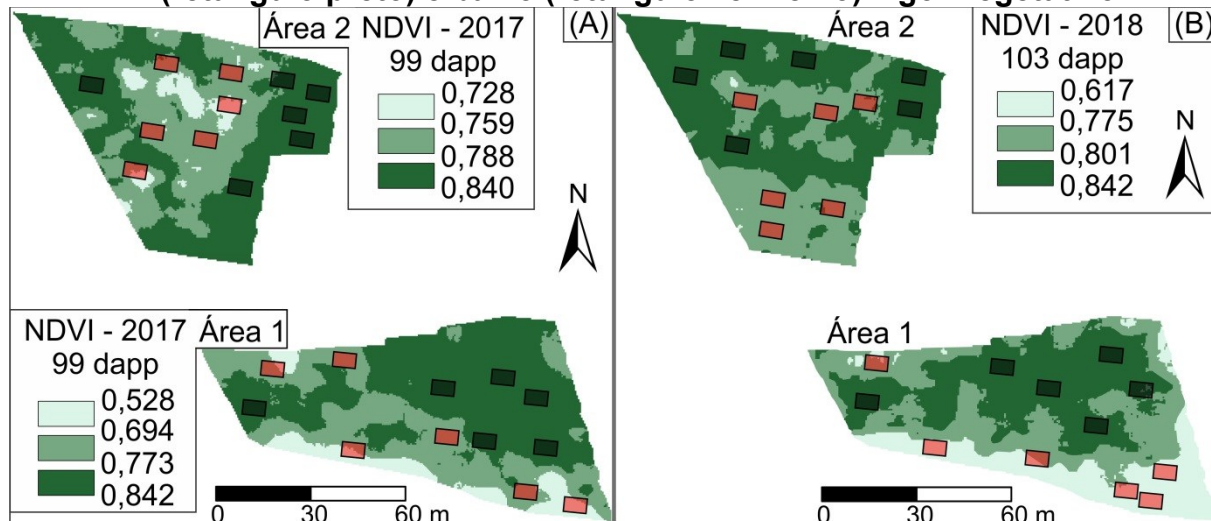
Por meio de análise visual dos mapas, foi possível constatar uma maior estabilidade temporal da distribuição espacial dos dados de NDVI, em ambas as áreas do vinhedo, a partir dos 85 dapp de 2017 (Figura 5E a Figura 5G) e a partir dos 103 dapp de 2018 (Figura 6B e Figura 6C). Nesses mapas, em geral, as classes de valores mais baixos de NDVI caracterizaram as regiões sul, sudoeste e noroeste da área 1 e regiões central e sudoeste da área 2. A estabilidade temporal do NDVI pouco expressiva verificada nas datas anteriores (Figura 5A a Figura 5D e Figura 6A), correspondentes ao período entre as fases de floração e de ervilha, deve-se ao desenvolvimento vegetativo mais acelerado neste intervalo de tempo em comparação àquele entre as fases finais do ciclo, além do efeito do desponte dos ramos e da desfolha na região do cacho realizados aos 76 dapp de 2017 e 69 dapp de 2018.

Ao comparar a distribuição espacial dos dados de NDVI entre os ciclos de produção, verificou-se, de certo modo, semelhança entre os dois ciclos, principalmente referentes às fases finais (Figura 5E a Figura 5G e Figura 6B a Figura 6C), com algumas disparidades nas regiões nordeste e leste da área 1 e norte e sul da área 2. Isso indica que para futuros ciclos de produção pode ser adotado um mapa padrão determinado com base nos mapas de NDVI de 2017 e 2018.

1.3.2 Locais de amostragem

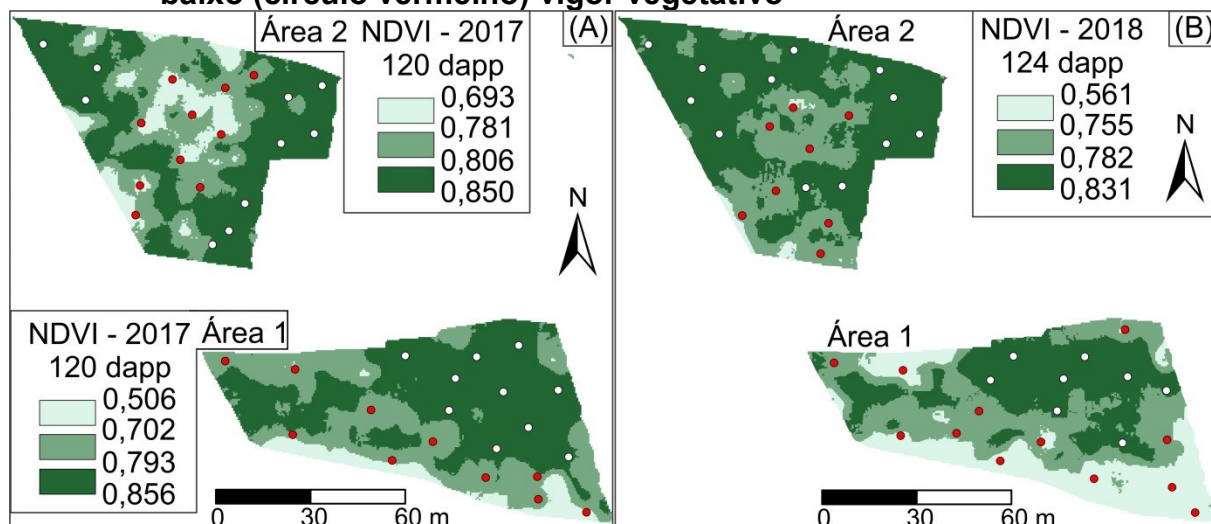
A Figura 7 apresenta os mapas de distribuição espacial dos dados de NDVI medidos aos 99 e 103 dapp de 2017 e 2018, respectivamente, e a posição das parcelas de plantas para as amostragens de bagas e monitoramento do ψ . Nas duas classes de menores valores de NDVI, representadas pelos dois tons de verde mais claro e consideradas como zona de baixo vigor, foram delimitadas as seis parcelas de baixo vigor vegetativo em cada área do vinhedo (retângulos em vermelho). Já na classe de maiores valores de NDVI (cor verde escuro), considerada como zona de alto vigor, as seis parcelas de alto vigor vegetativo foram delimitadas (retângulos em preto) em cada área do vinhedo.

Figura 7 - Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) aos 99 dias após a poda de produção (dapp) de 2017 (A) e aos 103 dapp de 2018 (B) nas áreas 1 e 2 do vinhedo, com localização das parcelas de amostragem de bagas nas zonas de alto (retângulo preto) e baixo (retângulo vermelho) vigor vegetativo



A Figura 8 apresenta os mapas de distribuição espacial dos dados de NDVI medidos aos 120 e 124 dapp do ciclo de 2017 e 2018, das áreas 1 e 2 e a posição das plantas para colheita e determinação de PP, NC e MC e estimativa da produtividade do respectivo ciclo de produção. Nas duas classes de menores valores de NDVI, consideradas como zona de baixo vigor, foram selecionadas as plantas de baixo vigor vegetativo em cada área do vinhedo (círculos em vermelho). Na classe de maiores valores de NDVI, considerada como zona de alto vigor vegetativo, as plantas de alto vigor vegetativo foram selecionadas (círculos brancos) em cada área do vinhedo.

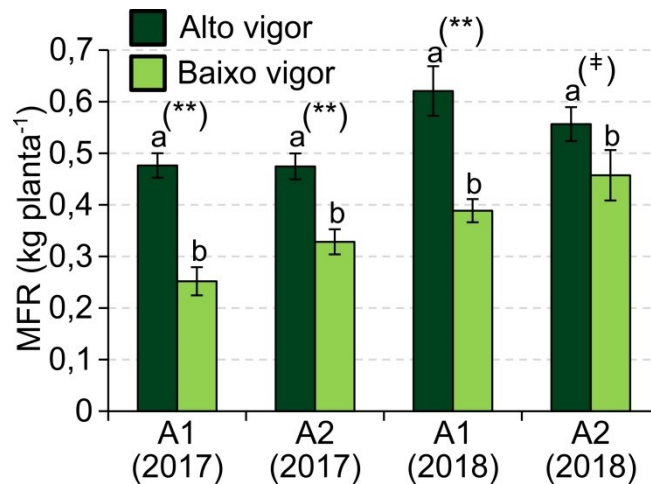
Figura 8 - Distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) medido aos 120 dias após a poda de produção (dapp) de 2017 (A) e aos 124 dapp de 2018 (B) nas áreas 1 e 2 do vinhedo, com localização das plantas para determinação de parâmetros de produtividade nas zonas de alto (círculo branco) e baixo (círculo vermelho) vigor vegetativo



1.3.3 NDVI como indicativo do vigor vegetativo da videira

O NDVI permitiu efetivamente diferenciar regiões de maior e menor vigor vegetativo, podendo ser utilizado em pomares de videira 'Chardonnay' para esse fim. Valores médios de MFR foram significativamente diferentes entre as zonas de vigor vegetativo em ambas as áreas e ciclos de produção (Figura 9). Como esperado, os maiores valores de MFR foram verificados nas zonas de alto vigor vegetativo e o contrário para as zonas de baixo vigor, visto que plantas mais vigorosas refletem mais na banda do infravermelho próximo e menos na banda do vermelho visível. Diversos trabalhos reconhecem mapas de NDVI condizentes com mapas de vigor vegetativo da videira (LAMB et al., 2004; HALL et al., 2011; PRIMICERIO et al., 2012; TAGARAKIS et al., 2013; BONILLA et al., 2015). Na região da Serra Gaúcha, Junges et al. (2017) também identificaram boa representatividade dos valores de NDVI com o vigor vegetativo em videiras 'Chardonnay', porém, em sistemas de condução horizontal das videiras. Ainda, em videiras de mesmo cultivar em sistema de condução vertical na região da Catalunha, Espanha, o NDVI também foi considerado conexo ao vigor vegetativo (GONZÁLEZ-FLOR et al., 2014).

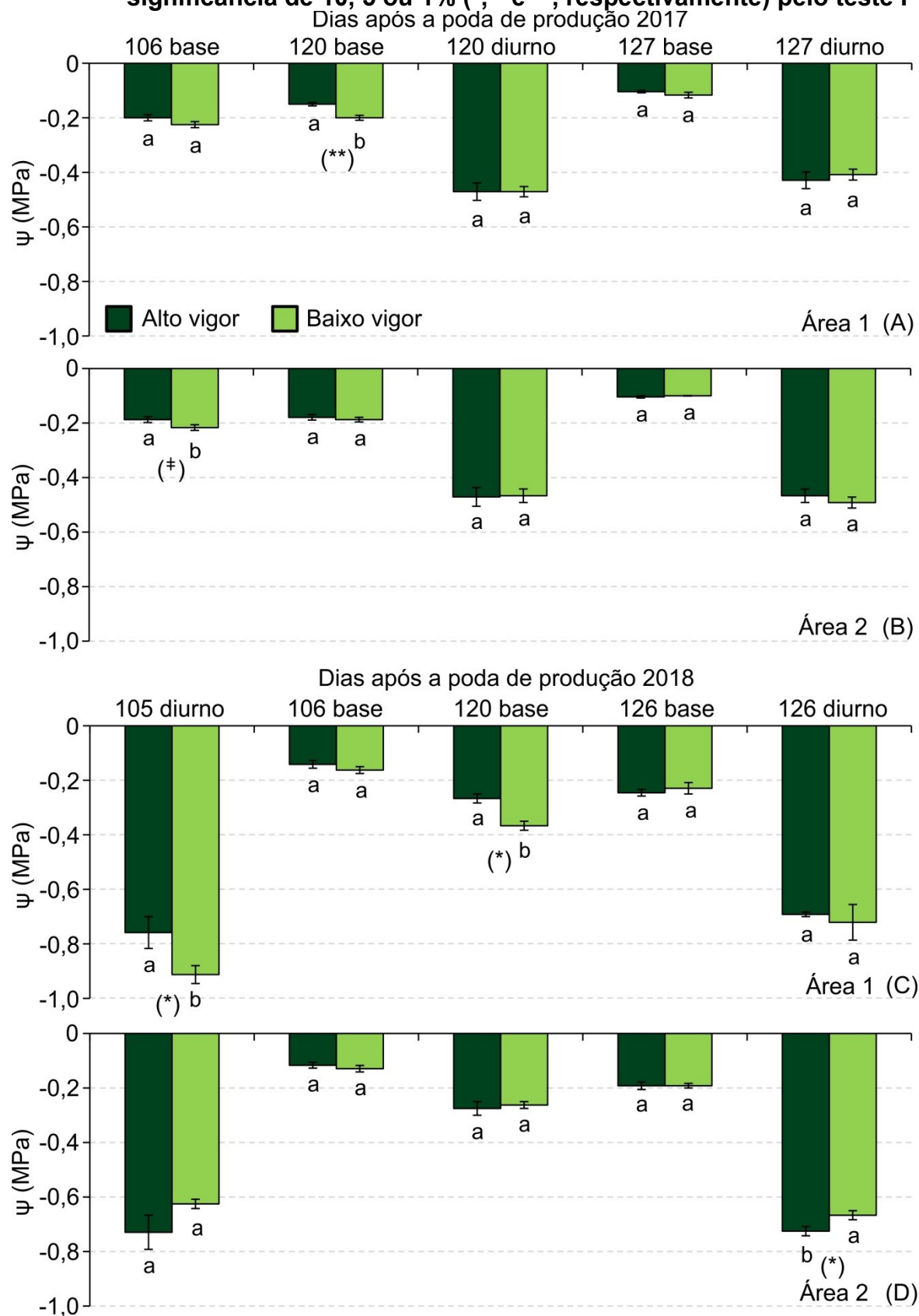
Figura 9 - Massa fresca dos ramos (MFR) de videiras ‘Chardonnay’ em zonas de alto e baixo vigor vegetativo, de poda curta de formação após os ciclos de produção de 2017 e 2018 nas áreas 1 (A1) e 2 (A2) do vinhedo. Diferentes letras representam diferença ao nível de significância de 10, 5 ou 1% ([‡], * e **, respectivamente) pelo teste F



1.3.4 Efeito do vigor vegetativo no estado hídrico da videira

O vigor vegetativo foi indicativo apenas em alguns dos dias de avaliação na discriminação de diferentes padrões do estado hídrico da videira. As diferenças significativas entre zonas de vigor vegetativo foram verificadas principalmente para o ψ base (Figura 10). Dentre os dias de avaliação durante a fase de maturação de 2017, o ψ base foi menor na zona de baixo vigor vegetativo aos 120 dapp na área 1 ($p < 0,01$) (Figura 10A) e aos 106 dapp na área 2 ($p < 0,10$) (Figura 10B). Para a fase de maturação de 2018 foram verificados menores valores de ψ diurno e base na zona de menor vigor da área 1 ($p < 0,05$) nos 105 e 120 dapp, respectivamente (Figura 10C). Em contraste aos demais casos, a área 2 deste mesmo ciclo de produção apresentou diferença significativa de ψ diurno ($p < 0,05$) entre zonas de vigor aos 126 dapp (Figura 10D).

Figura 10 - Potencial hídrico foliar (ψ) base e diurno de videiras 'Chardonnay' em zonas de alto e baixo vigor vegetativo, durante a fase de maturação de 2017 (A e B) e 2018 (C e D) nas áreas 1 e 2 do vinhedo. Diferentes letras representam diferença ao nível de significância de 10, 5 ou 1% (\ddagger , * e **, respectivamente) pelo teste F

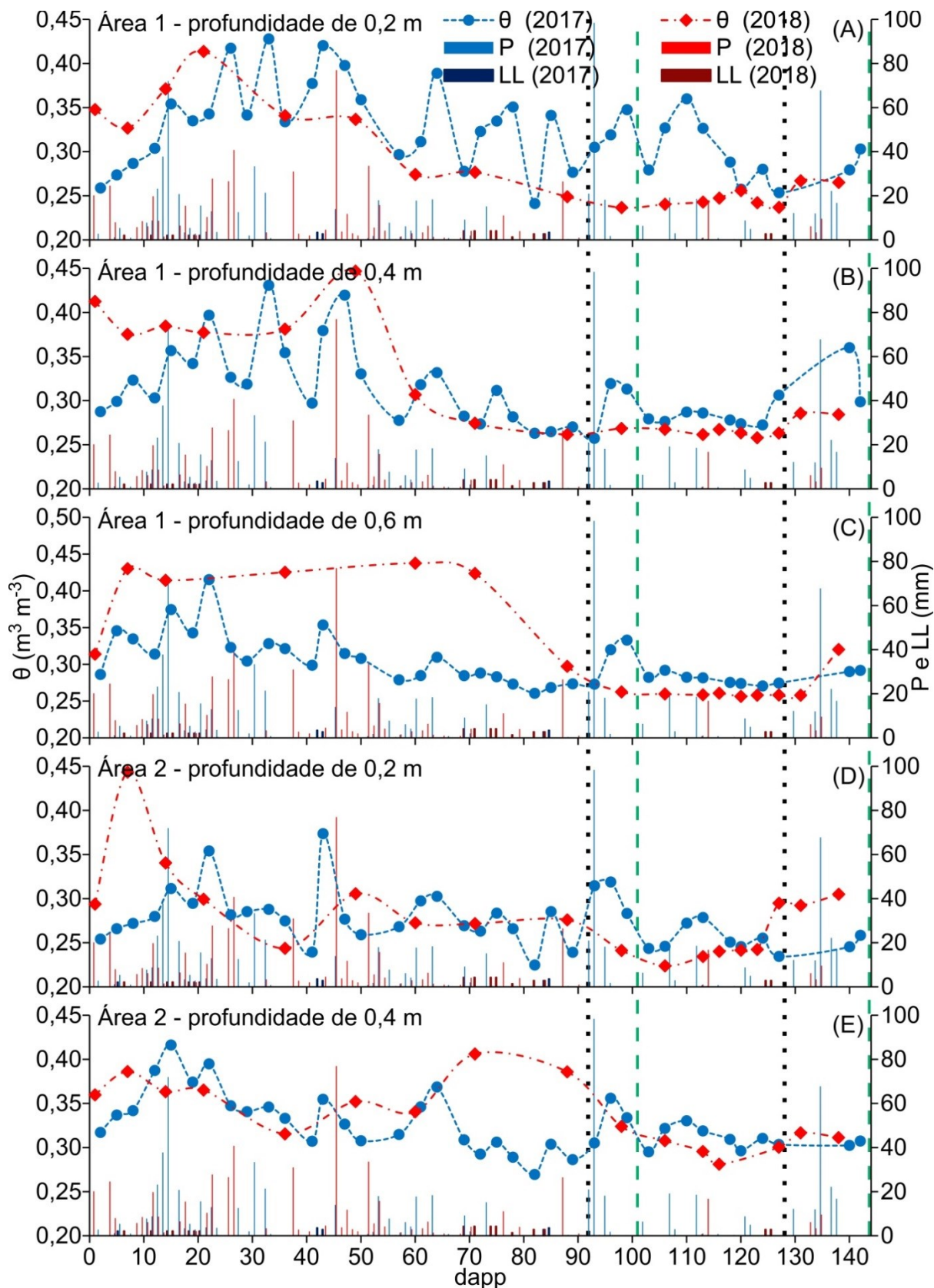


Dentre os dias de avaliação do ciclo de 2017, com base nos valores médios de ψ base, foi verificado déficit hídrico fraco segundo Van Leeuwen et al. (2009) ($-0,3 < \psi \text{ base} < -0,2$) na área 1 aos 106 dapp em ambas as zonas e aos 120 dapp na zona de menor vigor (Figura 10A). O mesmo foi verificado na zona de baixo vigor da área 2 aos 106 dapp (Figura 10B). Nos demais casos em 2017, não foram verificados déficits hídricos, tanto para ψ base ($> -0,2$) quanto para ψ diurno ($> -0,9$). Em 2018, foi constatado déficit hídrico fraco a moderado ($-0,5 < \psi \text{ base} < -0,3$; VAN LEEUWEN et al., 2009) aos 120 dapp na zona de baixo vigor da área 1 e fraco na zona de alto vigor (Figura 10C). Déficit hídrico fraco também foi observado aos 126 dapp na área 1 e apenas aos 120 dapp na área 2 (Figura 10D).

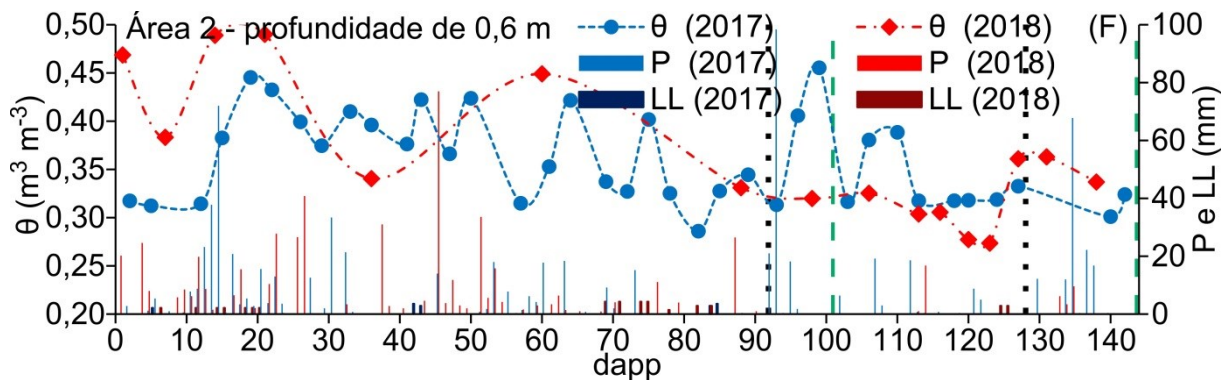
Videiras menos vigorosas demonstraram estar sujeitas a um maior déficit hídrico, no entanto, em situação de déficit hídrico relativamente baixo (maioria dos casos verificados; Figura 10) isso foi pouco pronunciado. Mesmo assim, identificar diferentes padrões de vigor vegetativo no vinhedo ainda deve ser considerado importante no que diz respeito à indicação de pontos para amostragem do ψ .

Mesmo que o número de dias avaliados com algum nível de déficit hídrico tenha sido semelhante entre os ciclos de 2017 e 2018, foram observados valores médios de ψ (base e diurno) mais pronunciados em 2018, em praticamente todos os dias (Figura 10). Isso indica níveis mais severos de déficit hídrico na fase de maturação desse ano e deve-se, principalmente, aos seus menores níveis de umidade do solo neste estágio fenológico, decorrentes dos menores volumes de precipitação pluvial (Figura 11). Déficits hídricos moderados nesta fase da cultura (após início da maturação) podem ser benéficos para a composição da baga (VAN LEEUWEN et al., 2009; GONZÁLEZ-FLOR et al., 2014).

Figura 11 - Valores de umidade volumétrica do solo (θ) em três profundidades, precipitação (P) e lâmina líquida irrigada (LL) nos dias após a poda de produção (dapp) dos ciclos de 2017 e 2018, nas áreas 1 e 2 do vinhedo. Intervalos entre pontilhados e entre tracejados representam a fase de maturação de 2017 e 2018, respectivamente



continuação da Figura 11...

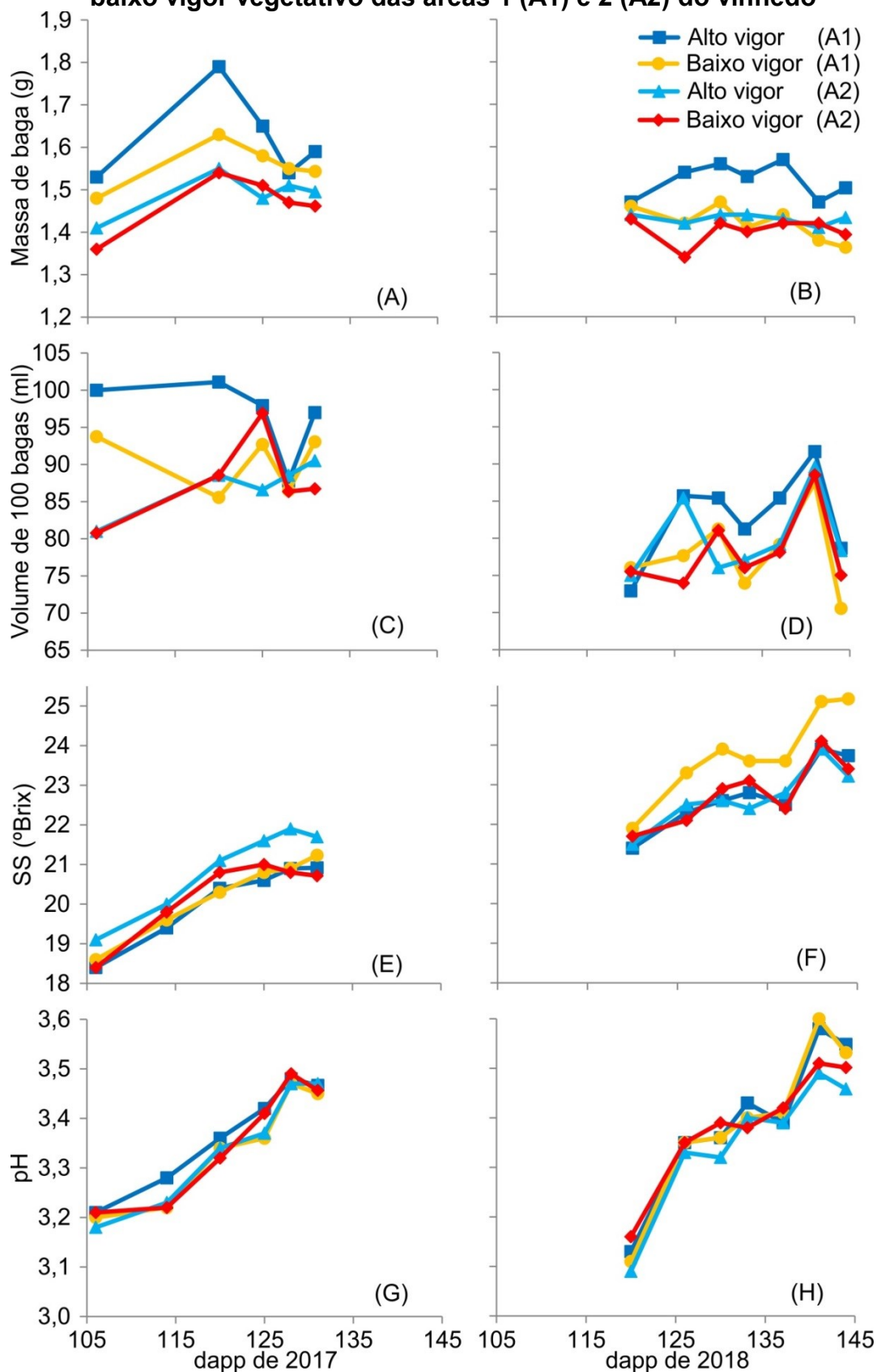


1.3.5 Efeito do vigor vegetativo na maturação

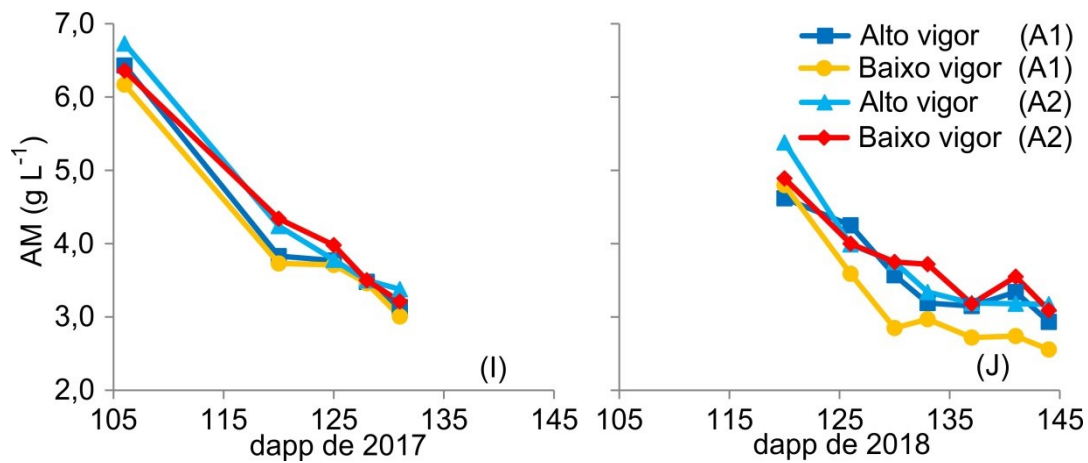
Os dados apresentados na Figura 12 são referentes à amostragem composta, ou seja, uma amostra de 96 bagas por seis parcelas de cada zona de vigor (realizada em todos os dias de avaliação, exceto no dia da colheita); e à amostragem detalhada, ou seja, uma amostra de 96 bagas por parcela, esta última realizada apenas no dia da colheita (último ponto de cada gráfico), onde foi possível determinar um valor médio de seis amostras para cada zona de vigor.

Os valores de MB e V100 em ambos os ciclos de produção foram superiores em grande parte dos dapp na zona de alto vigor da área 1 (Figura 12A a Figura 12D), em comparação à zona de baixo vigor da mesma área. O mesmo foi observado para a área 2, porém, com menor expressão. O teor de SS seguiu comportamento distinto entre os dois ciclos de produção (Figura 12E e Figura 12F). No ciclo de 2017, os valores foram superiores na zona de maior vigor da área 2 em todos os dapp, já no ciclo de 2018, os maiores valores de SS foram encontrados na zona de menor vigor da área 1. As zonas de vigor não distinguiram de maneira clara os valores de pH no decorrer dos dapp avaliados de 2017 (Figura 12G), diferentemente de 2018, onde a zona de maior vigor da área 2 apresentou valores mais baixos de pH na maioria dos dapp, porém, com maior clareza no final do ciclo (Figura 12H). Quanto a AT (Figura 12I e Figura 12J), a zona de baixo vigor vegetativo da área 1 apresentou os valores mais baixos desse atributo em comparação à zona de alto vigor da mesma área, durante os dias avaliados dos ciclos de produção, com maior expressão para o ciclo de 2018.

Figura 12 - Variação da massa média de baga (A e B), volume do mosto de 100 bagas (C e D), conteúdo de sólidos solúveis (E e F), pH (G e H) e ácido málico (I e J) durante os dias após a poda de produção (dapp) do ano de 2017 (esquerda) e 2018 (direita), nas zonas de alto e baixo vigor vegetativo das áreas 1 (A1) e 2 (A2) do vinhedo



continuação da Figura 12...



De certo modo, o monitoramento da maturação da baga, realizado com base na variabilidade do vigor vegetativo das videiras, aumentou a representatividade da amostragem à variação do vinhedo, antes realizada pela vinícola em pontos escolhidos sem critério e sujeitos a maiores erros de representatividade.

Para comprovar estatisticamente o potencial das zonas de vigor vegetativo na diferenciação do grau de maturação das bagas, os dados referentes às amostras de bagas coletadas no dia da colheita de cada ciclo foram submetidos à ANOVA (Tabela 6). Com base nos resultados obtidos, o vigor vegetativo influenciou significativamente na maturação fisiológica do ciclo de produção de 2018 da área 1, observado pelos menores valores de MB e V100 na zona de baixo vigor ($p < 0,01$), o que sustenta o observado nas Figura 12A a Figura 12D para esta área. Neste caso, a zona de baixo vigor vegetativo da área 1 refletiu, dentre os diversos fatores, os efeitos da menor disponibilidade hídrica do solo nesta zona (Figura 10C), o que levou à menor massa de bagas e volume de mosto. Os efeitos do déficit hídrico na produção e composição de bagas são mais pronunciados em videiras de menor vigor (GONZÁLEZ-FLOR et al., 2014). Segundo Esteban et al. (2002), a menor disponibilidade hídrica afeta negativamente a alongação celular e, consequentemente, o crescimento da baga.

Tabela 6 - Valores médios (\pm erro padrão da média) e resultados da análise de variância da massa média de baga (MB), volume de 100 bagas (V100), conteúdo de sólidos solúveis (SS), pH e ácido málico (AM) das bagas 'Chardonnay' de cada zona de vigor vegetativo, determinados no dia da colheita de 2017 e 2018 nas áreas 1 e 2 do vinhedo

| Zona de vigor | MB (g) | V100 (ml) | SS (°Brix) | pH | AM (g L ⁻¹) |
|---------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------------|
| Área 1 – 2017 | | | | | |
| Alto | 1,59 \pm 0,03 | 97,0 \pm 3,3 | 20,9 \pm 0,2 | 3,47 \pm 0,02 | 3,14 \pm 0,13 |
| Baixo | 1,54 \pm 0,03 | 93,1 \pm 3,6 | 21,2 \pm 0,2 | 3,45 \pm 0,01 | 3,01 \pm 0,09 |
| <i>p</i> | 0,266 | 0,438 | 0,300 | 0,441 | 0,447 |
| Área 2 – 2017 | | | | | |
| Alto | 1,50 \pm 0,03 | 90,5 \pm 3,0 | 21,7 \pm 0,3 | 3,47 \pm 0,01 | 3,38 \pm 0,10 |
| Baixo | 1,46 \pm 0,01 | 86,7 \pm 1,6 | 20,7 \pm 0,2 | 3,46 \pm 0,02 | 3,21 \pm 0,06 |
| <i>p</i> | 0,275 | 0,295 | 0,015* | 0,571 | 0,169 |
| Área 1 – 2018 | | | | | |
| Alto | 1,50 \pm 0,01 | 78,7 \pm 1,0 | 23,7 \pm 0,3 | 3,55 \pm 0,02 | 2,93 \pm 0,10 |
| Baixo | 1,36 \pm 0,02 | 70,6 \pm 2,1 | 25,2 \pm 0,3 | 3,53 \pm 0,01 | 2,56 \pm 0,16 |
| <i>p</i> | <0,001** | 0,006** | 0,008** | 0,553 | 0,075 [‡] |
| Área 2 – 2018 | | | | | |
| Alto | 1,43 \pm 0,04 | 78,3 \pm 2,5 | 23,2 \pm 0,2 | 3,46 \pm 0,02 | 3,17 \pm 0,07 |
| Baixo | 1,39 \pm 0,02 | 75,0 \pm 2,6 | 23,4 \pm 0,3 | 3,50 \pm 0,01 | 3,09 \pm 0,09 |
| <i>p</i> | 0,392 | 0,372 | 0,572 | 0,030* | 0,490 |

[‡], * e ** diferença significativa ($p \leq 0,10$, $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$, respectivamente) pelo teste F

Fatores climáticos podem ter influenciado para que MB e V100 não apresentassem diferença significativa entre zonas de vigor no ciclo de 2017 (Tabela 6). Durante os meses de abril e maio, correspondentes às fases de maturação de ambos os ciclos de produção, a ETo média mensal foi menor em 2017 (3,2 e 2,8 mm dia⁻¹ em 2017 contra 3,3 e 3,1 mm dia⁻¹ em 2018, para os meses de abril e maio, respectivamente) (Figura 2), além dos maiores volumes pluviométricos (338,8 mm em 2017 contra 67,0 mm em 2018, acumulados dos meses de abril e maio). Isso refletiu em maiores níveis de umidade do solo na fase de maturação de 2017 (Figura 11) e, conseqüentemente, os efeitos do déficit hídrico neste ciclo foram menos pronunciados nas zonas de baixo vigor, a ponto dos atributos de maturação fisiológica não contrastarem entre zonas.

As zonas de vigor vegetativo permitiram identificar diferença na maturação tecnológica das bagas. Com base nos resultados da ANOVA para os dados de SS determinados no dia da colheita (Tabela 6), foram constatados resultados semelhantes aos verificados na Figura 12. Em 2017, a zona de alto vigor vegetativo da área 2 apresentou os maiores valores de SS ($p < 0,05$), já em 2018, a diferença significativa foi verificada na área 1, porém, com os maiores valores de SS na zona de baixo vigor vegetativo ($p < 0,01$). Referente ao ciclo de 2018, os menores valores de MB e V100 (menor tamanho de bagas) para a zona de baixo vigor da área 1, influenciaram no aumento dos SS desta mesma zona. Segundo Dreier et al. (2000), existe uma correlação entre o tamanho da baga e o teor de açúcar final, pois bagas de menor tamanho em uma mesma condição climática são mais susceptíveis à desidratação por meio da evapotranspiração por conta da sua maior relação superfície/volume (DREIER et al., 2000; MOTA et al., 2010). Além disso, foi verificado que as plantas com maior vigor vegetativo, em geral, proporcionaram maior sombreamento aos cachos, mesmo com a prática de desfolha, o que pode ter auxiliado na redução da taxa de desidratação da baga e, conseqüentemente, acarretando em menor concentração de açúcar no final da fase de maturação na zona de alto vigor da área 1. Vale ressaltar que esta zona apresentou os maiores valores de MFR em 2018 (Figura 9), o que enfatiza a influência do fator sombreamento nesse ciclo. Archer e Strauss (1989) identificaram efeito negativo do sombreamento no teor de açúcar em bagas de videira *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. King et al. (2014) também verificaram efeitos negativos nas bagas em função do sombreamento excessivo provocado pelo alto vigor.

Os resultados contrários verificados no ciclo de 2017 (SS menor na zona de baixo vigor da área 2; Tabela 6) podem ter ocorrido devido às diferentes condições climáticas na fase de maturação desse ano (maior volume pluvial), as quais ocasionaram a semelhança entre o tamanho de bagas e influência menos efetiva por parte dos raios solares nas bagas da zona de baixo vigor. Por outro lado, um dos possíveis motivos para o aumento do SS na zona de alto vigor, foi a maior área foliar, característica de plantas mais vigorosas. Este fato pode ter influenciado em uma maior produção de fotossintetizados (sucrose), os quais são transportados para as bagas por meio do floema, principalmente após o início da maturação (GREENSPAN et al., 1994; ROBINSON; DAVIES, 2000; SANTOS et al., 2009). Isso, possivelmente, elevou a concentração de açúcar nas bagas das plantas de alto vigor

desta área. Por outro lado, o mesmo não foi verificado na área 1, provavelmente devido ao maior tamanho de bagas (maior MB) na zona de alto vigor em comparação a mesma zona da área 2 ($p < 0,05$ – resultado não apresentado), que mesmo com maior produção de fotossintetizados, estes se encontram mais diluídos na baga.

Os menores valores de SS observados no ciclo de 2017 em comparação ao ciclo de 2018 (Figura 12E e Figura 12F e Tabela 6), em ambas as áreas do vinhedo, devem-se, além da retardação do dia da colheita, à ocorrência de elevados volumes de chuva e aumento da UR durante a fase de maturação (Figura 2), o que reduziu a evapotranspiração das bagas deste ano. Segundo Dreier et al. (2000), a evapotranspiração das bagas é a principal responsável pelo aumento de SS durante a fase de maturação. Além disso, constantes chuvas durante esse período proporcionaram elevada UR na região dos cachos e contato mais duradouro da água com a superfície das bagas, o que, segundo os mesmos autores, pode acarretar em diluição do conteúdo de açúcar devido à capacidade da baga em absorver água na fase de maturação.

O NDVI apresentou pouca eficiência na distinção dos valores de pH e AT da baga (Tabela 6), como demonstrado anteriormente na Figura 12. Identificou-se diferença significativa para o pH apenas entre zonas de vigor na área 2 do ciclo de 2018 ($p < 0,05$), onde o menor valor médio ocorreu na zona de alto vigor. Este resultado é condizente com alguns trabalhos verificados na literatura (TROUGHT; BRAMLEY, 2011; MARCINIAK et al., 2015). A AT, determinada com base no ácido málico, foi significativamente menor na zona de baixo vigor da área 1 ($p < 0,10$) no ciclo de produção de 2018 (Tabela 6), o que evidencia o observado na Figura 12J. Videiras de baixo vigor vegetativo tendem a apresentar menor ácido málico na composição das bagas (SMART et al., 1985; KING et al., 2014). O aumento da temperatura da baga é determinante na redução do ácido málico (CONDE et al., 2007), portanto, devido ao menor tamanho de bagas, provavelmente este fator tenha sido pronunciado na zona de baixo vigor da área 1 no ciclo de 2018. Além disso, a redução do ácido málico desta zona pode ser explicada pelo fato de que este ácido é utilizado como fonte de energia (catabolismo) durante o processo de maturação (SANTOS et al., 2009) e este processo é favorecido quanto maior for o déficit hídrico (ESTEBAN et al., 2002).

O comportamento conjunto dos níveis de pH e AT não foram verificados no ciclo de 2018 (Tabela 6), onde a área 1 apresentou diferença significativa apenas para AT e a área 2 apenas para o pH. Este fato pode estar relacionado aos níveis de ácido tartárico (não avaliado neste estudo), o qual apresenta maior poder ácido em comparação ao ácido málico (BONILLA et al., 2015).

González-Flor et al. (2014), em estudo realizado em vinhedo de sequeiro, concluíram que a extensão e o momento do déficit hídrico podem interferir na capacidade do NDVI em estimar a composição da baga. Neste estudo, em vinhedo irrigado na região da Serra da Mantiqueira, esta conclusão também é válida. Safras com ocorrência de maiores volumes pluviais no período de maturação da baga (por exemplo, 2017) pode comprometer a utilidade da irrigação para controle de déficits hídricos desejados no vinhedo. Isso, provavelmente, tenha sido o ponto chave para que o ciclo de 2017 tenha apresentado resultados menos satisfatórios quanto à utilidade do NDVI em identificar diferentes padrões de maturação da baga no interior do vinhedo. De modo contrário, em safras com menores níveis de precipitação, onde o déficit hídrico do vinhedo na fase de maturação da baga pode ser controlado pelo manejo da irrigação (por exemplo, ciclo de 2018), mesmo que com déficit hídrico pouco expressivo, o NDVI aparenta-se com resultados mais satisfatórios.

1.3.6 Efeito do vigor vegetativo no potencial produtivo

Ao avaliar os valores dos parâmetros de produção do vinhedo, foram identificados valores abaixo dos encontrados em outros estudos. Valores médios de produtividade estimada variaram entre 2,59 e 3,74 t ha⁻¹ nas zonas de baixo vigor e entre 4,19 e 6,42 t ha⁻¹ nas zonas de alto vigor, durante os dois ciclos de produção (Tabela 7). Mendonça et al. (2016), em estudo realizado com videiras 'Chardonnay' e em condições de manejo parecidas com as do presente estudo (região, porta-enxerto, sustentação e poda) porém, em altitudes de 1.280 m, obtiveram maiores valores médios de produtividade estimada, variando entre 8,77 e 10,14 t ha⁻¹, além de todos os outros atributos de produção avaliados (NC, MC e PP).

Tabela 7 - Valores médios (\pm erro padrão da média) e resultados da análise de variância do número de cachos por planta (NC), massa média de cachos (MC), produção por planta (PP) e produtividade estimada de videiras 'Chardonnay' em zonas de vigor vegetativo, nas áreas 1 e 2 do vinhedo dos ciclos de produção de 2017 e 2018

| Zona de vigor | NC | MC (g cacho ⁻¹) | PP (kg planta ⁻¹) | Produtividade (t ha ⁻¹) |
|---------------|--------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|
| Área 1 - 2017 | | | | |
| Alto | 14 \pm 1,0 | 87,6 \pm 2,7 | 1,25 \pm 0,09 | 4,98 \pm 0,34 |
| Baixo | 10 \pm 1,4 | 66,0 \pm 3,7 | 0,65 \pm 0,11 | 2,59 \pm 0,42 |
| <i>p</i> | 0,013* | <0,001** | - - - - | <0,001** - - - - |
| Área 2 - 2017 | | | | |
| Alto | 15 \pm 1,8 | 89,7 \pm 6,5 | 1,43 \pm 0,23 | 5,73 \pm 0,91 |
| Baixo | 11 \pm 1,5 | 83,3 \pm 3,4 | 0,94 \pm 0,12 | 3,74 \pm 0,49 |
| <i>p</i> | 0,093 [‡] | 0,392 | - - - - | 0,071 [‡] - - - - |
| Área 1 - 2018 | | | | |
| Alto | 18 \pm 2,1 | 90,9 \pm 2,1 | 1,61 \pm 0,20 | 6,42 \pm 0,81 |
| Baixo | 11 \pm 1,2 | 68,8 \pm 4,5 | 0,78 \pm 0,10 | 3,11 \pm 0,41 |
| <i>p</i> | 0,011* | 0,001** | - - - - | <0,001** - - - - |
| Área 2 - 2018 | | | | |
| Alto | 15 \pm 1,6 | 71,6 \pm 3,6 | 1,05 \pm 0,11 | 4,19 \pm 0,45 |
| Baixo | 13 \pm 0,9 | 67,6 \pm 4,0 | 0,86 \pm 0,09 | 3,45 \pm 0,36 |
| <i>p</i> | 0,319 | 0,476 | - - - - | 0,256 - - - - |

[‡], * e ** diferença significativa ($p \leq 0,10$, $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$, respectivamente) pelo teste F

As zonas de vigor vegetativo apresentaram-se eficientes na identificação de diferentes padrões produtivos dentro do vinhedo nas condições de manejo e climáticas apresentadas. Nas zonas de alto vigor vegetativo o NC foi maior significativamente na área 1 em ambos os ciclos de produção ($p < 0,05$) e na área 2 no ciclo de produção de 2017 ($p < 0,10$) (Tabela 7). O atributo MC foi maior significativamente apenas na zona de alto vigor da área 1 ($p < 0,01$), em ambos os ciclos de produção. Além disso, as zonas de alto vigor apresentaram significativamente os maiores valores de PP e produtividade na área 1 em ambos os ciclos de produção ($p < 0,01$) e na área 2, apenas no ciclo de 2017 ($p < 0,10$). Isso demonstra que a maior produção das videiras de uma determinada região do vinhedo está associada diretamente ao seu maior vigor vegetativo, ou seja, ao seu

maior NDVI, o que possibilita a utilização deste índice vegetativo como indicativo do potencial produtivo dentro de vinhedos 'Chardonnay' irrigados.

Diversos trabalhos avaliaram a relação entre o vigor vegetativo e rendimento da videira com índices de vegetação (HALL et al., 2011; GONZÁLEZ-FLOR et al., 2014; KING et al., 2014; BONILLA et al., 2015). Na grande maioria dos casos, o vigor vegetativo estava associado diretamente com a produção da videira. No entanto, o fato da área 2 ter apresentado pouca ($p < 0,10$) ou nenhuma ($p > 0,10$) diferença significativa dos atributos de produção entre zonas de vigor (Tabela 7), pode estar associado ao excesso de desenvolvimento vegetativo em videiras da zona de alto vigor (maior valor médio de NDVI; Tabela 4), e à menor heterogeneidade do vigor vegetativo nesta área em comparação a área 1, principalmente no ciclo de 2018 (Figura 8). Resultados semelhantes foram identificados por Bonilla et al. (2015) ao verificarem que videiras de alto vigor produziram valores semelhantes ou até menores que às de moderado vigor. Cortell et al. (2005) indicaram que o excesso de vigor ocasiona redução do pegamento de frutos e fecundidade dos brotos. Este fato pode ser constatado com base nos menores valores de MC observados em 2018 na zona de alto vigor da área 2 em relação à mesma zona da área 1 (Tabela 7).

1.4 CONCLUSÕES

Mapas da distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de vinhedos 'Chardonnay' irrigados permitem identificar a variabilidade do vigor vegetativo e da produção. Porém, precipitações pluviais de altas magnitudes durante a fase de maturação podem reduzir a relação entre zonas homogêneas do NDVI com os parâmetros de maturação da baga. Tais mapas mostram zonas de maior e menor NDVI, as quais podem orientar a estimativa da produtividade do vinhedo e o monitoramento da maturação das bagas e do potencial hídrico foliar, de modo a garantir melhores informações sobre sua variabilidade na área.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-OPAZO, C.; TISSEYRE, B.; GUILLAUME, S.; OJEDA, H. The potential of high spatial resolution information to define within-vineyard zones related to vine water status. **Precision Agriculture**, v.9 p.285-302, 2008. doi: 10.1007/s11119-008-9073-1
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ARCHER, E.; STRAUSS, H.C. Effect of shading on the performance of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. **South African Journal for Enology and Viticulture**, v.10, n.2, p.74-77, 1989.
- 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.
- BAGGIOLINI, M. Lês stades repères dans lê developpement anual de la vigne. **Revue Romande**: Revue mensuelle d'agriculture, de viticulture et d'arboriculture, Lausanne, v.8, n.1, p.4-5, 1952.
- BALUJA, J.; DIAGO, M.P.; BALDA, P.; ZORER, R.; MEGGIO, F.; MORALES, F.; TARDAGUILLA, J. Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). **Irrigation Science**, v.30, n.6, p.511–522, 2012.
- BASSOI, L.H.; GRANGEIRO, L.C.; SILVA, J.A.M.; SILVA, E.E.G. Root distribution of irrigated grapevine rootstocks in a coarse texture soil of the São Francisco Valley, Brazil. **Revista brasileira de fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.35–38, 2002. doi: 10.1590/S0100-29452002000100008
- BONILLA, I.; MARTÍNEZ DE TODA, F.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. Vine vigor, yield and grape quality assessment by airborne remote sensing over three years: analysis of unexpected relationships in cv. Tempranillo. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.13, n.2, p.1–8, 2015. doi: 10.5424/sjar/2015132-7809.
- CANCELA, J.J.; FANDIÑO, M.; REY, B.J.; DAFONTE, J.; GONZÁLEZ, X.P. Discrimination of irrigation water management effects in pergola trellis system vineyards using a vegetation and soil index. **Agricultural Water Management**, v.183, p.70–77, 2017. doi: 10.1016/j.agwat.2016.11.003
- CONDE, C.; SILVA, P.; FONTES, N.; DIAS, A.C.P.; TAVARES, R.M.; SOUSA, M.J.; AGASSE, A.; DELROT, S.; GERÓS, H. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. **Food**, London, v.1, n.1, p.1-22, 2007.

CORTELL, J.M.; HALBLEIB, M.; GALLAGHER, A.V.; RIGHETTI, T.; KENNEDY, J.A. Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, n.14, p.5798-5808, 2005. doi: 10.1021/jf0504770

DREIER, L.P.; STOLL, G.S.; RUFFNER, H.P. Berry ripening and evapotranspiration in *Vitis vinifera* L. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.51, n.4, p.340-346, 2000.

ESTEBAN, M.A.; VILLANUEVA, M.J.; LISSARRAGUE, J.R. Relationships between different berry components in Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grapes from irrigated and non-irrigated vines during ripening. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v.82, p.1136-1146, 2002.

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**, v.50, n.4, p.151-158, 2011.

FOX, J.; BOUCHET-VALAT, M. **Rcmdr: R Commander**. R package version 2.3-2. 2017.

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.

GREENSPAN, M.D.; SHACKEL, K.A.; MATTHEWS, M.A. Development changes in the diurnal water budget of the grape berry exposed to water deficits. **Plant Cell & Environment**, v.17, p.811-820, 1994.

GONZÁLEZ-FLOR, C.; SERRANO, L.; GORCHS, G.; PONS, J.M. Assessment of Grape Yield and Composition Using Reflectance Based Indices in Rainfed Vineyards. **Agronomy Journal**, v.106, n.4, p.1309-1316, 2014. doi: 10.2134/agronj13.0422

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.

HALL, A.; LAMB, D.W.; HOLZAPFEL, B.P.; LOUIS, J.P. Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield. **Precision Agriculture**, v.12, p.103-117, 2011. doi: 10.1007/s11119-010-9159-4

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

JOURNAL, A.G.; HUIJBREGTS, J.C.H. **Mining geostatistics**. Londres: Academic Press, 1978. 600p.

JUNGES, A.H.; FONTANA, D.C.; ANZANELLO, R.; BREMM, C. Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v.41, n.5, p.543-553, 2017. doi: 10.1590/1413-70542017415049016

KING, P. D.; SMART, R. E.; McCLELLAN, D. J. Within-vineyard variability in vine vegetative growth, yield, and fruit and wine composition of Cabernet Sauvignon in Hawke's Bay, New Zealand. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.20, n.2, p.234-246, 2014.

LAMB, D.W.; WEEDON, M.M.; BRAMLEY, R.G.V. Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.10, p.46–54, 2004. doi: 10.1111/j.1755-0238.2004.tb00007.x

MARCINIAK, M.; BROWN, R.; REYNOLDS, A.; JOLLINEAU, M. Use of remote sensing to understand the terroir of the Niagara Peninsula. Applications in a Riesling vineyard. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v.49, n.1, p.1–26, 2015.

MENDONÇA, T.R.; MOTA, R.V.; SOUZA, C.R.; ALCÂNTARA, F.; DIAS, N.; PIMENTEL, R.M.A.; REGINA, M.A. Manejo da poda da videira Chardonnay em região de altitude no Sudeste Brasileiro. **Bragantia**, v.75, n.1, p.57–62, 2016.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **Vesper version 1.62**. Sydney: Australian Centre for Precision Agriculture. 2005.

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**, Jaboticabal, v.32, n.4, p.1127-1137, 2010.

NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, A. Automated soil particle size analyzer based on gamma-ray attenuation. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.31, n.3, p. 295–304, 2001.

OLIVEIRA, R.P. **Modelagem de variogramas**. In: OLIVEIRA, R.P.; GREGO, C.R.; BRANDÃO, Z.N. (Ed.). *Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper*. Brasília: Embrapa, p.83-92, 2015.

OZDEMIR, G.; SESSIZ, A.; PEKITKAN, F.G. Precision viticulture tools to production of high quality grapes. **Series B, Horticulture**. v.61, p.209-218, 2017.

PINTO, E.J.A.; AZAMBUJA, A.M.S.; FARIAS, J.A.M.; SALGUEIRO, J.P.B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. Escala 1:5.000.000. Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade.

Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/atlas_pluivometrico_brasil/isoietas_totais_anuais_1977_2006.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

PRIMICERIO, J.; DI GENNARO, S.F.; FIORILLO, E.; GENESIO, L.; LUGATO, E.; MATESE, A.; VACCARI, F.P. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. **Precision Agriculture**, v.13, p.517-523, 2012. doi: 10.1007/s11119-012-9257-6

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System: Open Source Geospatial Foundation Project**. 2015. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 30 jun 2017.

ROBINSON, S.P.; DAVIES, C. Molecular biology of grape berry ripening. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 6, n.2, p. 168.174, 2000.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LIMA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e sua Aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.711-720, 2007.

ROMERO, M.; LUO, Y.; SU, B.; FUENTES, S. Vineyard water status estimation using multispectral imagery from an UAV platform and machine learning algorithms for irrigation scheduling management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.147, p.109-117, 2018. doi: 10.1016/j.compag.2018.02.013

SANTOS, A.O.; ROLIM, G.S.; HERNANDES, J.L.; PEDRO JÚNIOR, M.J. **A maturação fisiológica da videira vinífera em Pão Paulo: comentários sobre as safras de verão e de inverno na média altitude paulista**. 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/maturacao/index.htm>. Acesso em: 27 fev. 2019.

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. 356p.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. **Science**, v.148, p.339-346, 1965.

SEIDEL, E.J.; OLIVEIRA, M.S. A Classification for a Geostatistical Index of Spatial Dependence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, e0160007, p.1-10, 2016 doi: 10.1590/18069657rbcS20160007

SEIDEL, E.J.; OLIVEIRA, M.S. Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.699-705, 2014. doi: 10.1590/S0100-06832014000300002

SMART, R.E.; ROBINSON, J.B.; DUE, G.R.; BRIEN, C.J. Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz. II. Effect on must and wine composition. **Vitis**, v.24, p.119–128, 1985.

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**, v.54, p.195–201, 2015. doi: 10.5073/vitis.2015.54.195-201

TAGARAKIS, A.; LIAKOS, V.; FOUNTAS, S.; KOUNDOURAS, S.; GEMTOS, T. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. **Precision Agriculture**, v.14, p.18-39, 2013.

THORNTHWAITE, C.W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, Londres, v.38, p.55-94, 1948.

TROUGHT, M.C.T.; BRAMLEY, R.G.V. Vineyard variability in Marlborough, New Zealand: Characterising spatial and temporal changes in fruit composition and juice quality in the vineyard. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.17, p.79–89, 2011. doi: 10.1111/j.1755-0238.2010.00120.x

URRETAVIZCAYA, I.; ROYO, J.B.; MIRANDA, C.; TISSEYRE, B.; GUILLAUME, S.; SANTESTEBAN, L.G. Relevance of sink-size estimation for within-field zone delineation in vineyards. **Precision Agriculture**, v.18, n.2, p.133-144, 2017.

VAN LEEUWEN, C.; TREGOAT, O.; CHONÉ, X.; BOIS, B.; PERNET, D.; GAUDILLÈRE, J.P. Wine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v.43, n.3, p.121-134, 2009.

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.

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

WILDING, L.P. **Spatial variability: its documentation, accommodation, and implication to soil surveys**. In: NIELSEN, D.R., BOUMA, J. (Ed.). *Soil Spatial Variability*. Wageningen: Pudoc, p.166–194, 1985.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 216p.

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE DO SOLO PARA O MONITORAMENTO DE SUA UMIDADE EM VINHEDO IRRIGADO

RESUMO: Caracterizar a variabilidade espacial dos atributos hídricos do solo em vinhedos pode auxiliar no manejo diferenciado da irrigação. Dados adquiridos por meio de medidores portáteis podem diminuir custos e aumentar o detalhamento da distribuição espacial do solo. No entanto, são necessários estudos para avaliar o uso de diferentes atributos para o delineamento de zonas de monitoramento da umidade do solo (θ). O objetivo do estudo foi determinar zonas para o monitoramento de θ com base em diferentes atributos do solo. Em duas áreas de um vinhedo cv. Chardonnay na região da Serra da Mantiqueira, manejado no sistema de dupla poda anual e irrigado por gotejamento, amostras de solo foram coletadas para a determinação dos atributos areia, silte, argila e o conteúdo de água disponível do solo (AD). Medidas de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) e de θ também foram realizadas no vinhedo. Os dados interpolados de areia, silte, argila, CEa e θ por meio da geoestatística, foram utilizados para a determinação de zonas para o monitoramento de θ , em diferentes procedimentos. Os dados interpolados de AD foram utilizados para a validação e escolha do melhor número entre duas e quatro zonas. Os resultados indicaram que a CEa pode ser utilizada na determinação de zonas para o monitoramento de θ . Contudo, o uso apenas deste atributo deve ser limitado quando apresentar alta correção com a AD. A inclusão da granulometria do solo auxiliou na determinação destas zonas e sua contribuição foi maior quando a CEa não apresentou alta correlação com a AD. A inclusão da θ pouco contribuiu para a delimitação das zonas para o seu monitoramento.

Palavras-chave: Manejo da irrigação. Conteúdo de água do solo. Condutividade elétrica aparente. Geoestatística.

2.1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma das práticas indispensáveis para a produção e qualidade das uvas e, conseqüentemente, dos vinhos (ACEVEDO-OPAZO et al., 2010), principalmente em regiões onde os volumes de chuvas são irregularmente

distribuídos durante o ano. Por outro lado, a crescente demanda por economia dos recursos hídricos tem levado os pesquisadores a concentrarem esforços na busca por técnicas para elevar a eficiência na utilização deste insumo na agricultura irrigada.

Um dos métodos de manejo da irrigação se baseia no monitoramento do conteúdo de água no solo, o qual visa irrigar apenas o volume necessário para atingir a umidade do solo de manejo (capacidade de campo ou outro nível desejado) e no momento em que o volume armazenado no solo se aproxima a um nível crítico adotado. Diferentes dos métodos de manejo com base em dados climáticos, o monitoramento do conteúdo de água no solo permite um manejo dentro do contexto da agricultura de precisão (AP), ao considerar a variabilidade espacial da disponibilidade hídrica do solo mesmo em pequenas áreas irrigadas. No entanto, essa prática é pouco explorada pelos agricultores, os quais ainda utilizam pontos de monitoramento sem considerar a sua representatividade em relação à área de cultivo como um todo. Isso, muitas vezes, acarreta em irrigações com volumes excessivos ou limitados.

Conhecer a variabilidade espacial da disponibilidade hídrica do solo é um fator de grande relevância para o delineamento de zonas de manejo de irrigação (NASCIMENTO et al., 2014; HAGHVERDI et al., 2015; ZHAO et al., 2018). Em geral, quanto menor o valor da água disponível de um solo, maior é a frequência de irrigações requerida (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012), além de um monitoramento mais acentuado das condições hídricas deste solo. Quando este atributo do solo é reconhecido espacialmente em toda a área, o manejo da irrigação pode ser realizado de modo mais específico, com o monitoramento mais detalhado da umidade do solo para atender as necessidades hídricas de cada ponto do terreno (ZHAO et al., 2018). Na prática da AP, utilizar-se de atributos que indiquem indiretamente a distribuição espacial da água disponível no solo, considerando-se muitas vezes uma forma mais fácil, rápida e econômica (HAGHVERDI et al., 2015).

A utilização de um grupo de atributos relacionados à disponibilidade hídrica do solo para delimitar zonas para o manejo diferenciado da irrigação em áreas agrícolas vem sendo avaliada por meio de procedimentos geoestatísticos e multivariados (JIANG et al., 2011; HAGHVERDI et al., 2015; OLDONI; BASSOI, 2016; OLDONI et al., 2019). Dentre os atributos utilizados, destacam-se a

condutividade elétrica aparente do solo (CEa) e os referentes à granulometria do solo.

Dados de granulometria do solo são altamente representativos à sua disponibilidade hídrica; no entanto, para sua aquisição são necessárias amostragens de solo e análises laboratoriais e, devido aos custos de amostragem, o detalhamento da distribuição espacial destes dados pode ser baixo. Medidas da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) obtidas por medidores portáteis é uma alternativa para aquisição de dados com elevada densidade amostral ou elevado tamanho da amostra (número de medidas por área). Consequentemente, um maior detalhamento da distribuição espacial do solo pode ser obtido, além da vantagem da rápida coleta de dados com baixo custo (BRANDÃO et al., 2011). A CEa é correlacionada com diversos atributos do solo, dentre eles o conteúdo de água disponível do solo (HAGHVERDI et al., 2015). Por outro lado, a umidade do solo (θ) pode interferir na caracterização por intermédio da CEa de outros atributos do solo, devendo ser considerado seu uso em conjunto (BREVIK et al., 2006).

Portanto, o objetivo do presente estudo foi determinar zonas para o monitoramento da θ com base em atributos do solo em vinhedos na região da Serra da Mantiqueira.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local e características da área experimental

O ensaio foi realizado no município de Espírito Santo do Pinhal – SP, em um vinhedo comercial de 1,1 ha a 22° 10' 49,1" Sul e 46° 44' 28,4" Oeste e em uma altitude média de 875 m, durante os ciclos de produção 2017 e 2018. O vinhedo foi implantado em 2008, onde as videiras *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay enxertadas sobre o porta-enxerto Paulsen 1103 foram plantadas no espaçamento de 2,5 entre fileiras e 1,0 m entre plantas, sustentadas no sistema de espaldeira e as videiras conduzidas em cordão Royat unilateral. As fileiras de plantas estavam orientadas na direção Leste-Oeste. O vinhedo, manejado no sistema de dupla poda (FAVERO et al., 2011; SOUZA et al., 2015), encontrava-se dividido em duas áreas, denominadas como área 1 e área 2 (Figura 1), sendo estas de 0,6 e 0,5 ha, respectivamente.

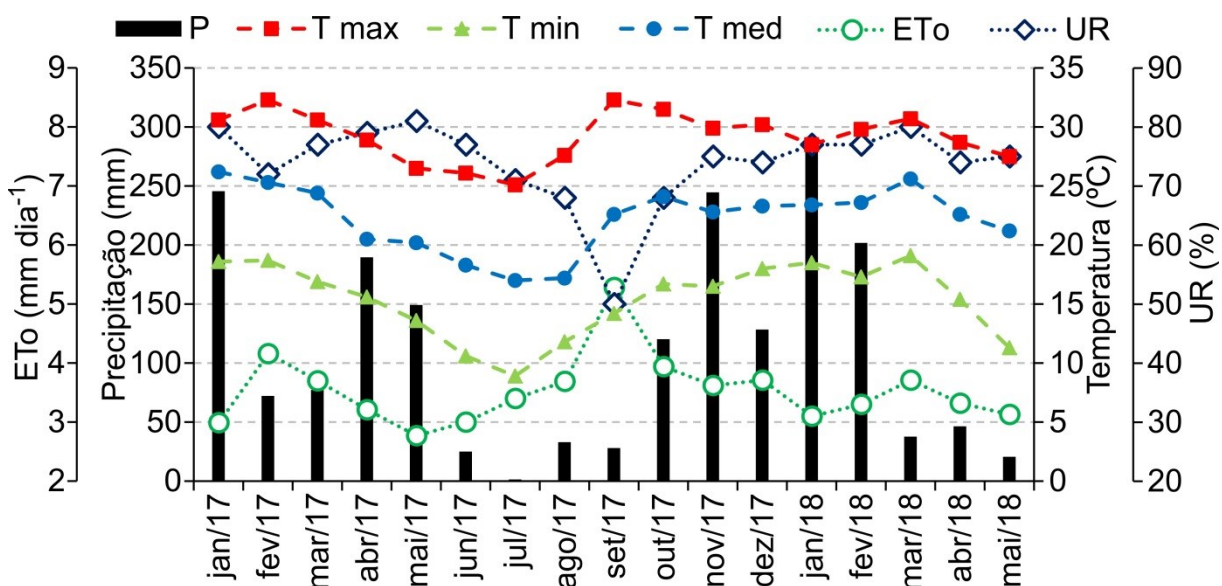
Figura 1 - Localização do vinhedo em estudo com indicação das áreas 1 e 2 e disposição do sistema de irrigação



As videiras foram cultivadas em ambiente irrigado por meio de sistema de gotejamento, dotado de uma linha lateral para cada fileira de plantas, um emissor a cada 0,5 m (dois emissores por planta), com vazão média aferida de 1,83 e 1,99 l h⁻¹ nas áreas 1 e 2, respectivamente, e uma válvula de derivação de água para cada área. As linhas laterais de irrigação estavam instaladas a uma altura de 0,5 m do solo. O solo da área 1 foi classificado por um complexo de Cambissolo Háplico Tb, A moderado e Neossolo regolítico, A húmico, ambos eutróficos típicos; e da área 2 com solo classificado por uma associação dos mesmos (SANTOS et al., 2018). O clima foi classificado como B3rB'3a' (ROLIM et al., 2007), correspondente a um clima úmido, com deficiência hídrica baixa, mesotérmico e com evapotranspiração de referência (ET_o) total anual entre 855 a 997 mm ano⁻¹ (THORNTHWAITE, 1948), com precipitação média anual de 1.500 mm ano⁻¹ (PINTO et al., 2011). A Figura 2 apresenta os valores de precipitação mensal (P, mm), médias mensais de temperatura do ar máxima, média e mínima diária (T max, T med e T min, respectivamente, °C), ET_o, em mm dia⁻¹, e umidade relativa do ar (UR, %), observados entre os meses de janeiro de 2017 (início do ciclo de produção de 2017) e maio de 2018 (fim do ciclo de produção de 2018), por meio de estação meteorológica automática (EMA), da marca DAVISTM, modelo Vantage Pro2 (Davis

Instruments Corp., Hayward, CA, EUA), instalada nas proximidades do vinhedo em estudo.

Figura 2 - Precipitação mensal (P), médias mensais de temperatura do ar máxima (T max), média (T med) e mínima (T min) diária, evapotranspiração de referência (ETo) e umidade relativa do ar (UR), observados durante os meses correspondentes aos ciclos de produção de 2017 e 2018 e período entre os ciclos



2.2.2 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ET_c , mm dia^{-1}), obtida pelo produto entre a ET_o (em mm dia^{-1}) e o coeficiente de cultura (k_c) adotado pela vinícola para os estádios fenológicos da videira baseados na escala de Baggolini (1952) (Tabela 1). A estimativa da ET_o foi realizada pelo método de Penman-Monteith FAO (ALLEN et al., 1998), utilizando os dados climatológicos oferecidos pela EMA. O manejo da irrigação foi realizado por turno de rega variável.

Tabela 1 - Coeficiente de cultura (kc) para os diferentes estádios fenológicos da videira de vinho. Espírito Santo do pinhal, 2017 e 2018

| Estádio fenológico | kc |
|---|-----|
| Poda até início da brotação | 0,3 |
| Início da brotação até brotação com 15 cm | 0,4 |
| Brotação com 15 cm até 30 cm | 0,5 |
| Brotação com 30 cm até início florescimento | 0,6 |
| Florescimento até início da maturação | 0,8 |
| Início da maturação até colheita | 0,6 |

Estádios fenológicos segundo a escala de Baggiolini (1952)

2.2.3 Amostragem e determinação dos atributos do solo

2.2.3.1 Atributos físico-hídricos do solo

Amostras de solo deformadas foram coletadas em diferentes pontos localizados nas fileiras de plantas das duas áreas do vinhedo. Inicialmente, foi realizada uma amostragem sistemática durante o segundo semestre de 2016, com coletas em uma malha amostral de 27 pontos para cada área do vinhedo (Figura 3), com o uso de um amostrador com comando automático (SACI TRAIL®) acoplado a um quadriciclo. Em cada ponto foram coletadas amostras de solo a 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m de profundidade. O limite de até 0,4 m de profundidade foi estabelecido com base em trabalhos realizados por Bassoi et al. (2002), Bassoi et al. (2003) e Dalbó et al. (2011), os quais verificaram a maior presença de raízes de diversos porta-enxertos até 0,4 m de profundidade, além do Paulsen 1103, onde mais de 80% do seu sistema radicular encontra-se acima desta profundidade. Depois de um ano, uma amostragem adicional foi realizada em oito pontos de cada área do vinhedo (Figura 3), com um trado manual, para a obtenção de melhores estimativas dos parâmetros dos semivariogramas e redução da incerteza da distribuição espacial dos atributos físico-hídricos do solo. Portanto, uma malha de amostragem de 35 pontos foi estabelecida para cada área do vinhedo.

Figura 3 - Localização dos pontos de amostragem e de amostragem adicional do solo para determinação da fração granulométrica e conteúdo de água disponível, nas áreas 1 e 2 do vinhedo



As amostras de solo foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Embrapa Instrumentação, em São Carlos – SP, para determinação das frações granulométricas (areia, silte e argila) e do conteúdo de água disponível do solo (AD). Os valores das frações areia, silte e argila de cada amostra de solo foram definidos por meio da distribuição do tamanho de partículas do solo (DTPS), com parte desta distribuição determinada pelo método do analisador granulométrico automático de raios gama (VAZ et al., 1999; NAIME et al., 2001) (diâmetros de partículas entre 2 e 250 μm), e outra parte determinada por meio peneiramento (50-100 μm , 100-250 μm , 250-500 μm , 500-1000 μm e 1000-2000 μm). Ambas as partes foram combinadas e um ajuste da DTPS foi realizado por meio da função matemática unimodal, proposta por Fredlund et al. (2000). A partir da DTPS ajustada, foram definidos os valores dos atributos argila, silte e areia pela fração correspondente ao tamanho de partículas $< 2 \mu\text{m}$, entre 2 e 50 μm e entre 50 e 2000 μm , respectivamente. Em seguida, os valores de AD foram determinados pela Equação 1 com base nos valores de umidade volumétrica do solo na capacidade de campo (θ_{cc}) e no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), retidas a uma tensão de -6 e -1500 kPa, respectivamente, obtidos por intermédio da curva de retenção de água no solo

(CAS) determinada pelo método de Arya-Paris (ARYA; PARIS, 1981), com o parâmetro α (fator de forma) ajustado para os solos tropicais brasileiros (VAZ et al., 2005). O ajuste da CAS foi realizado por meio da função matemática simplificada de Pham e Fredlund (2008).

$$AD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \times h \quad (1)$$

onde: θ_{cc} ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) é a umidade volumétrica do solo na capacidade de campo, retida a uma tensão de -6 kPa, θ_{pmp} ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) é a umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente, retida a uma tensão de -1500 kPa, e h (mm) é a profundidade da camada de solo.

2.2.3.2 Condutividade elétrica aparente e umidade do solo

Medidas de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foram realizadas em fevereiro de 2018, nas camadas de solo de 0,0 – 0,2 e 0,0 – 0,4 m, por meio de um medidor manual portátil protótipo desenvolvido pela Embrapa Instrumentação (RABELLO et al., 2010; 2011) (Figura 4). As medidas foram realizadas em fileiras de plantas intercaladas e a cada 5 plantas, resultando em uma malha amostral de 5,0 x 5,0 m, com 221 e 196 pontos amostrais nas áreas 1 e 2, respectivamente (Figura 5).

Figura 4 - Medidor manual portátil de condutividade elétrica aparente do solo para medidas pontuais



Figura 5 - Localização dos pontos de medida da condutividade elétrica aparente (CEa) e da umidade volumétrica do solo (θ) nas áreas 1 e 2 do vinhedo



Concomitantemente, leituras de umidade volumétrica do solo (θ) foram realizadas por meio de um reflectômetro no domínio do tempo (*time domain*

reflectometer – TDR) TDR 100 (Campbell Scientific, Inc., EUA), utilizando hastes de 0,2 m. O procedimento realizado consistiu em inserir as hastes no solo na posição vertical até todo seu comprimento atingir o interior do mesmo para a realização da leitura. Isso foi repetido no decorrer do vinhedo em pontos coincidentes com os utilizados para leitura da CEa, mas em uma malha amostral de 10,0 x 10,0 m e consequente densidade amostral de 61 e 59 pontos nas áreas 1 e 2, respectivamente (Figura 5).

2.2.3.3 Georreferenciamento dos pontos de amostragem

O georreferenciamento dos pontos de amostragem de solo e medidas de CEa e θ foi realizado por meio de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) HiPer GGD (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA), base e *rover*, os quais permitem o aumento da precisão do posicionamento em tempo real por meio do método RTK (*Real Time Kinematic*). Além disso, as posições geográficas das primeiras e últimas plantas de cada fileira do vinhedo foram coletadas utilizando sistema GNSS-RTK para posterior determinação do perímetro de cada área do vinhedo.

2.2.4 Determinação de zonas homogêneas dos atributos do solo

2.2.4.1 Análise estatística descritiva

Os atributos do solo foram submetidos à análise estatística descritiva por meio da determinação dos valores de média, mediana, desvio padrão, limites mínimo e máximo, coeficiente de variação (CV) e coeficientes de curtose (Cur) e assimetria (Ass). A variação dos dados em torno da média foi classificada utilizando os valores de CV, segundo Wilding (1985), como de baixa variação para $CV \leq 15\%$, moderada para $15 < CV \leq 35\%$ e alta para $CV > 35\%$. Em seguida, foram realizados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (S-W) e de Kolmogorov-Smirnov (K-S), com correção de Lilliefors, ao nível de 5% de significância, para os conjuntos de dados com número de amostras ≤ 50 e > 50 respectivamente, como realizado por Nascimento (2013). A análise estatística descritiva e os testes de normalidade foram realizados utilizando o programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017), com auxílio do pacote “Rcmdr” 2.3-2 (FOX; BOUCHET-VALAT, 2017).

2.2.4.2 Análise geoestatística

Cada conjunto de dados dos atributos do solo (areia, silte, argila, AD, CEa e θ) foi submetido à análise geoestatística para caracterização e quantificação da sua estrutura de distribuição espacial, por meio de semivariogramas experimentais isotrópicos determinados pelo estimador de Matheron (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978). Modelos de semivariogramas teóricos (gaussiano, esférico e exponencial) foram ajustados aos semivariogramas experimentais utilizando o ponderador “No_pairs/std_dev”, o qual tem como base os pesos calculados na razão do número de pares pelo desvio padrão da semivariância específica de cada “lag” (OLIVEIRA, 2015). O melhor modelo foi selecionado com base no menor valor da raiz do erro médio quadrático (RMSE) da validação cruzada. Em seguida, foram obtidos os parâmetros do modelo selecionado (efeito pepita, patamar e alcance da dependência espacial) e a dependência espacial dos dados foi avaliada com base no índice de dependência espacial (IDE, %) proposto por Seidel e Oliveira (2014). A força da dependência espacial foi então classificada com base no IDE conforme Seidel e Oliveira (2016), como fraca dependência espacial para $IDE_{\text{Esférico}} \leq 7\%$, $IDE_{\text{Exponencial}} \leq 6\%$ e $IDE_{\text{Gaussiano}} \leq 9\%$; moderada dependência espacial para $7\% < IDE_{\text{Esférico}} \leq 15\%$, $6\% < IDE_{\text{Exponencial}} \leq 13\%$ e $9\% < IDE_{\text{Gaussiano}} \leq 20\%$; e forte dependência espacial para $IDE_{\text{Esférico}} > 15\%$, $IDE_{\text{Exponencial}} > 13\%$ e $IDE_{\text{Gaussiano}} > 20\%$. A partir disso, a krigagem ordinária (WEBSTER; OLIVER, 2007) foi utilizada para a interpolação dos dados e mapas de zonas homogêneas foram gerados.

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 validação cruzada realizada por meio do programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017) com auxílio do pacote “gstat” (PEBESMA, 2004; GRÄLER et al., 2016) e a confecção dos mapas com auxílio do programa QGIS 2.14 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2015).

2.2.5 Determinação de zonas para o monitoramento de umidade do solo

Dois procedimentos (A e B) foram adotados para a determinação de zonas para o monitoramento de θ (Tabela 2), onde ambos foram aplicados separadamente para cada área do vinhedo. No procedimento A foram utilizados os dados

interpolados das três frações granulométricas do solo (areia, silte e argila) juntamente com os dados interpolados dos atributos determinados por equipamento manual portátil (CEa e θ para a camada 0,0 – 0,2 m e apenas CEa para a camada 0,2 – 0,4 m), como demonstrado na Tabela 2. No procedimento B apenas os atributos CEa e θ foram utilizados (CEa e θ para a camada 0,0 – 0,2 m e CEa para as camadas 0,0 – 0,2 m e 0,0 – 0,4 m). Os procedimentos diferenciam-se quanto ao custo e à praticidade para aquisição de dados. O primeiro demanda maior custo e apresenta menor praticidade em comparação ao segundo, devido à necessidade de dados provenientes da amostragem de solo (frações granulométricas).

Tabela 2 - Procedimentos adotados para determinação de zonas para o monitoramento da umidade do solo com seus respectivos atributos nas diferentes camadas e análises utilizadas

| Procedimento | Atributos ^(a) | Camadas de solo | Análises ^(b) |
|--------------|---|---------------------------|-------------------------|
| A | FG ⁽⁰⁻²⁰⁾ , CEa ⁽⁰⁻²⁰⁾ e θ ⁽⁰⁻²⁰⁾ | 0,0 - 0,2 m | PCA, AA |
| | FG ⁽²⁰⁻⁴⁰⁾ e CEa ⁽⁰⁻⁴⁰⁾ | 0,2 - 0,4 m | |
| B | CEa ⁽⁰⁻²⁰⁾ e θ ⁽⁰⁻²⁰⁾ | 0,0 - 0,2 m | AA |
| | CEa ⁽⁰⁻⁴⁰⁾ | 0,0 - 0,2 m e 0,0 - 0,4 m | |

^a FG: frações granulométricas do solo (areia, silte e argila); CEa: condutividade elétrica aparente do solo; θ : umidade volumétrica do solo; 0-20, 20-40 e 0-40 (entre parênteses): camada de solo 0,0-0,2 m, 0,2-0,4 m e 0,0-0,4 m, respectivamente, do referido atributo; ^b PCA: análise de componentes principais; AA: análise de agrupamento fuzzy c-means.

As camadas de solo foram consideradas separadamente para a determinação de zonas para o monitoramento de θ (Tabela 2), visto que um maior detalhamento da profundidade do solo pode oferecer maior exatidão no momento da escolha dos pontos de instalação de sensores de umidade. Além disso, estes sensores são comumente instalados em diferentes pontos do perfil do sistema radicular da cultura, o que evidencia a utilidade de mapas de zonas para diferentes camadas de solo. Outro motivo foi a limitação da coleta dos dados de umidade do solo apenas à camada 0,0 – 0,2 m devido a fatores operacionais, o que restringiu a sua utilidade apenas a determinação de zonas para o monitoramento de θ nesta camada de solo.

As zonas do procedimento A foram determinadas por meio de análise multivariada semelhante à utilizada em trabalho realizado por Li et al. (2007), com a análise de componentes principais (*principal component analysis* – PCA) seguida pela análise de agrupamento (Tabela 2). No procedimento B, apenas a análise de

agrupamento foi utilizada para a determinação das zonas para o monitoramento de θ com variáveis combinadas (CEa e θ) e isoladas (CEa) (Tabela 2).

2.2.5.1 Análise de componentes principais

A PCA foi aplicada aos dados interpolados padronizados (média = 0 e desvio padrão = 1) dos atributos do solo utilizados para a determinação das zonas pelo procedimento A. Esta análise foi utilizada para reduzir o número de variáveis utilizadas na análise de agrupamento e o problema da multicolinearidade entre os atributos (LIN et al., 2013), visto que permite resumir a maior parte da variância total dos atributos correlacionados em um número reduzido de novas variáveis não correlacionadas, denominadas de componentes principais (JOHNSON; WICHERN, 2007). Apenas as componentes principais que juntas indicam uma variância acumulada maior que 75% e/ou as que apresentam autovalor maior que 1, foram selecionadas para serem utilizadas na análise de agrupamento. O programa R 3.3.3, com auxílio do pacote “base” (R CORE TEAM, 2017), foi utilizado para realizar a PCA.

2.2.5.2 Análise de agrupamento

Uma análise de agrupamento não hierárquica utilizando o algoritmo fuzzy c-means (BEZDEK, 1981) foi aplicada aos escores das componentes principais selecionadas de cada camada de solo para a determinação das zonas pelo procedimento A; e diretamente aos valores interpolados padronizados para o procedimento B. A análise de agrupamento fuzzy c-means é um dos métodos mais utilizados em trabalhos voltados à delimitação de zonas de manejo no contexto da agricultura de precisão além de ser reconhecida por apresentar resultados bastante satisfatórios (FRIDGEN et al., 2004; LI et al., 2007; XIN-ZHONG et al., 2009; GUASTAFERRO et al., 2010; TRIPATHI et al., 2015).

A análise foi realizada utilizando a distância euclidiana como norma para expressar a distância entre as observações e os centróides dos grupos; expoente de ponderação fuzziness igual a 1,3; e número de iterações limitado a 200. O conjunto de observações (pontos interpolados) foi agrupado em dois, três e quatro grupos (isto é, zonas para o monitoramento de θ). O programa R 3.3.3 (R CORE

TEAM, 2017), com auxílio do pacote “e1071” (MEYER et al., 2017), foi utilizado para esta análise.

2.2.6 Número ideal e avaliação do desempenho de zonas para o monitoramento da umidade do solo

A distribuição espacial dos dados de AD (valores interpolados) foi utilizada para verificar a eficiência da utilização dos demais atributos do solo (areia, silte, argila, CEa e θ , nos diferentes casos de cada procedimento adotado) para a determinação de zonas para o monitoramento de θ , semelhante ao utilizado por Haghverdi et al. (2015). Para tanto, foi determinada a variância da AD ponderada do interior de cada zona (s_z^2) (FRAISSE et al., 2001) para cada cenário (duas, três e quatro zonas em cada camada de solo e área do vinhedo), por meio da Equação 2:

$$s_z^2 = \frac{1}{n_z} \sum_{i=1}^{n_z} (AD_i - m)^2 \times \frac{n_z}{n_T} \quad (2)$$

onde: s_z^2 é a variância ponderada da zona z , n_z é o número total de pontos interpolados da zona z , AD é o conteúdo de água disponível do ponto interpolado i , m é a média dos valores interpolados de AD na zona z e n_T é o número total de pontos interpolados da área.

Em seguida, a variância total da AD em toda a área (s^2T) foi determinada somando-se as variâncias ponderadas de cada caso (Equação 3). O melhor número de zonas foi então verificado com base nos valores de s^2T da AD . Quanto menor seu valor, melhor foi a divisão da área em zonas, visando explicar a maior parte da variação da AD na área.

$$s^2T = s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_z^2 \quad (3)$$

Após a escolha do melhor número de zonas para cada caso, foi aplicada a análise de variância (ANOVA – *one-way*) aos atributos do solo amostrados e medidos e o teste de Tukey HSD ao nível de 10% de significância. Estas análises

foram realizadas com o propósito de verificar a eficiência da análise multivariada na divisão da área em zonas e verificar quais destas diferiram entre si em relação às frações do solo areia, silte e argila, CEa, θ e AD. A análise de variância foi realizada utilizando o programa R 3.3.3 (R CORE TEAM, 2017) com auxílio do pacote “Rcmdr” 2.3-2 (FOX; BOUCHET-VALAT, 2017).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Determinação de zonas homogêneas de atributos do solo

2.3.1.1 Análise estatística descritiva

A estatística descritiva dos atributos do solo nas camadas 0,0 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m de profundidade das áreas 1 e 2 e o respectivo resultado do teste de normalidade estão apresentados na Tabela 3. Foi observada diferença entre as camadas de solo para os valores médios de areia e argila em ambas as áreas e AD na área 2 ($p < 0,05$), o que resume em um solo mais argiloso na segunda camada (0,2 – 0,4 m) e de maior capacidade de retenção de água disponível para a cultura. Por outro lado, menores valores de CEa foram verificados na camada de 0,0 – 0,4 m em comparação à camada mais superficial ($p < 0,05$), o que sugere uma redução da CEa com o aumento da profundidade do solo. As frações granulométricas e a umidade do solo são alguns dos principais fatores responsáveis pela variação da CEa (CORWIN et al., 2006), no entanto, outros atributos podem estar interferindo na variação dos valores de CEa com a profundidade, como a matéria orgânica e atributos químicos do solo, as quais geralmente decrescem com o aumento da profundidade do solo.

Tabela 3 - Análise estatística descritiva e teste de normalidade dos atributos do solo das áreas 1 e 2 do vinhedo

| Atributo ^(a) | Camada (m) | n ^(b) | Estatística descritiva ^(c) | | | | | | | | p ^(d) |
|--|------------|------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------------------|
| | | | Média | Med | Mín | Máx | s | CV(%) | Cur | Ass | |
| Área 1 | | | | | | | | | | | |
| Areia (%) | 0,0-0,2 | 35 | 46,7 a ^(e) | 47,0 | 34,9 | 55,8 | 4,8 | 10,3 | 0,03 | -0,40 | 0,811 |
| | 0,2-0,4 | 35 | 43,5 b | 44,5 | 32,2 | 52,0 | 5,2 | 11,9 | -0,51 | -0,53 | 0,166 |
| Silte (%) | 0,0-0,2 | 35 | 15,5 a | 15,7 | 11,6 | 19,2 | 1,8 | 11,6 | -0,44 | 0,00 | 0,908 |
| | 0,2-0,4 | 35 | 14,8 a | 15,2 | 11,3 | 20,7 | 2,3 | 15,3 | -0,22 | 0,57 | 0,130 |
| Argila (%) | 0,0-0,2 | 35 | 37,8 b | 37,1 | 31,8 | 51,1 | 4,3 | 11,4 | 1,28 | 0,97 | 0,049 |
| | 0,2-0,4 | 35 | 41,6 a | 41,3 | 32,9 | 51,7 | 4,8 | 11,4 | -0,77 | 0,09 | 0,781 |
| AD (mm) | 0,0-0,2 | 35 | 22,4 a | 22,1 | 17,4 | 27,3 | 2,7 | 11,9 | -0,77 | 0,05 | 0,654 |
| | 0,2-0,4 | 35 | 23,1 a | 22,9 | 18,0 | 29,8 | 3,2 | 13,8 | -0,57 | 0,47 | 0,196 |
| θ (m ³ m ⁻³) | 0,0-0,2 | 59 | 0,16 | 0,16 | 0,10 | 0,22 | 0,03 | 18,4 | -0,58 | 0,05 | 0,693 |
| CEa (mS m ⁻¹) | 0,0-0,2 | 218 | 7,6a | 7,3 | 1,9 | 15,9 | 2,3 | 29,7 | 0,99 | 0,54 | 0,022 |
| | 0,0-0,4 | 221 | 4,6b | 4,4 | 1,1 | 8,7 | 1,4 | 30,4 | -0,33 | 0,26 | 0,002 |
| Área 2 | | | | | | | | | | | |
| Areia (%) | 0,0-0,2 | 35 | 49,7 a | 49,6 | 42,4 | 59,2 | 4,3 | 8,8 | -0,66 | 0,24 | 0,542 |
| | 0,2-0,4 | 35 | 41,9 b | 41,1 | 33,9 | 52,3 | 5,0 | 11,8 | -0,99 | 0,44 | 0,040 |
| Silte (%) | 0,0-0,2 | 35 | 12,2 a | 12,0 | 9,0 | 16,8 | 1,7 | 14,1 | 0,81 | 0,63 | 0,347 |
| | 0,2-0,4 | 35 | 12,7 a | 13,0 | 8,3 | 16,6 | 1,9 | 14,7 | -0,20 | -0,23 | 0,578 |
| Argila (%) | 0,0-0,2 | 35 | 38,1 b | 38,2 | 28,3 | 45,5 | 4,5 | 11,7 | -0,71 | -0,08 | 0,346 |
| | 0,2-0,4 | 35 | 45,3 a | 47,2 | 33,7 | 53,7 | 5,5 | 12,1 | -0,85 | -0,49 | 0,053 |
| AD (mm) | 0,0-0,2 | 35 | 17,4 b | 17,4 | 13,7 | 22,7 | 1,7 | 9,9 | 1,69 | 0,75 | 0,220 |
| | 0,2-0,4 | 35 | 19,6 a | 19,7 | 15,0 | 26,0 | 2,4 | 12,4 | 0,93 | 0,48 | 0,217 |
| θ (m ³ m ⁻³) | 0,0-0,2 | 59 | 0,21 | 0,21 | 0,15 | 0,27 | 0,02 | 12,0 | 0,28 | -0,06 | 0,788 |
| CEa (mS m ⁻¹) | 0,0-0,2 | 185 | 12,6a | 12,3 | 2,3 | 26,5 | 4,1 | 32,2 | 0,89 | 0,71 | 0,001 |
| | 0,0-0,4 | 194 | 8,4b | 7,8 | 3,9 | 19,0 | 2,2 | 26,7 | 2,00 | 0,96 | <0,001 |

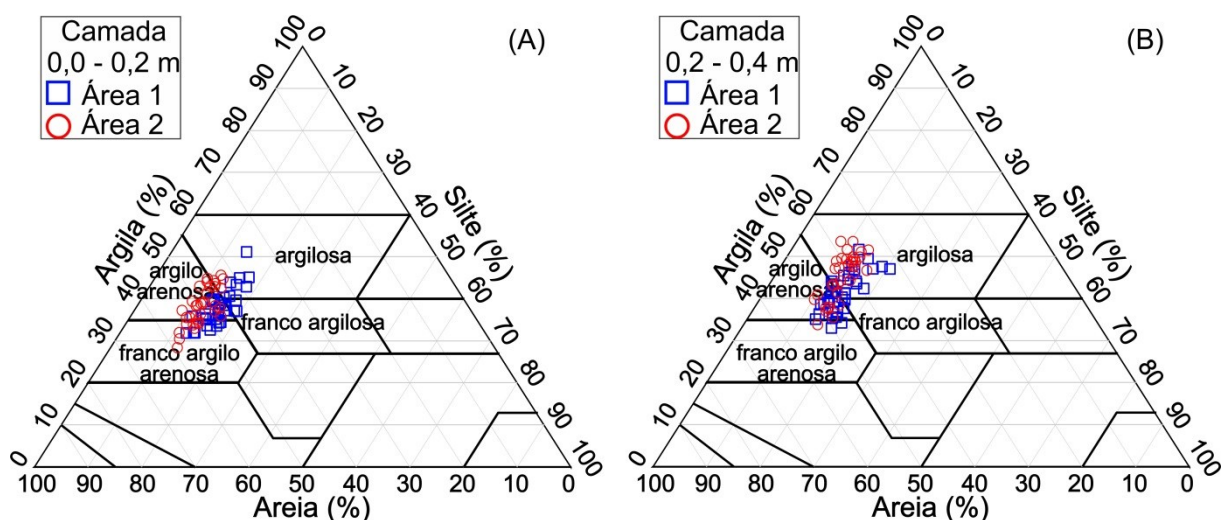
^a AD: conteúdo de água disponível do solo; θ : conteúdo de água no solo; CEa: condutividade elétrica aparente do solo; ^b n: tamanho da amostra; ^c Med: mediana; Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Cur: coeficiente de curtose; Ass: coeficiente de assimetria; ^d p: valor de significância dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk para n≤50 e de Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors) para n>50; os dados seguem uma distribuição normal ao nível de 5% de significância quando p>0,05; ^e diferentes letras mostram diferença significativa entre camadas (p≤0,05) pelo teste F da análise de variância

A variação dos dados em torno da média foi classificada como baixa (CV < 15%) segundo Wilding (1985), para a grande parte dos atributos do solo e classificação moderada (15 < CV ≤ 35%) para os atributos silte na camada 0,2 – 0,4 m, umidade na área 1 e CEa em ambas as áreas e camadas de solo (Tabela 3). A grande maioria dos dados de solo seguiu uma distribuição normal (p>0,05), com

exceção dos atributos argila na camada 0,0 – 0,2 m da área 1, areia na camada 0,2 – 0,4 m da área 2 e a CEa nas duas camadas de solo de ambas as áreas do vinhedo (Tabela 3). Neste caso, a transformação dos conjuntos de dados com distribuição não normal foi descartada para dar sequência à análise geoestatística, visto que, segundo Oliver (2010), esta não é necessária quando seus valores de coeficiente de assimetria não ultrapassem 1.

A Figura 6 indica as classes de textura do solo das amostras de cada camada de solo das áreas 1 e 2. A classe de textura argilo arenosa foi predominante dentre as amostras da camada 0,0 – 0,2 m (Figura 6A); já para a segunda camada de solo, a classe argilosa foi predominante (Figura 6B). Isso corresponde à diferença verificada entre camadas de solo por meio dos valores médios de areia e argila da Tabela 3. De modo geral, a textura do vinhedo até a profundidade de 0,4 m correspondeu às classes de solo franco argilo arenosa, franco argilosa, argilo arenosa e argilosa.

Figura 6 - Triângulo textural dos pontos de amostragem de solo das áreas 1 e 2 nas camadas de 0,0 – 0,2 m (A) e 0,2 – 0,4 m (B)



2.3.1.2 Análise geoestatística

Todos os atributos, em ambas as áreas, apresentaram dependência espacial dos dados com base nos semivariogramas ajustados. O modelo esférico foi o que melhor se ajustou para a maioria dos atributos do solo da área 1, seguido pelo

modelo exponencial (Tabela 4). Na área 2, os resultados variaram entre os três modelos testados (esférico, exponencial e gaussiano).

Tabela 4 - Modelos teóricos dos semivariogramas dos dados de solo das áreas 1 e 2 do vinhedo e seus respectivos parâmetros de ajuste

| Atributo ^(a) | Camada (m) | Modelo | Efeito pepita | Patamar | Alcance (m) | IDE ^(b) (%) | RMSE ^(c) |
|--|------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------------|---------------------|
| Área 1 | | | | | | | |
| Areia (%) | 0,0-0,2 | Exponencial | 0,73 | 25,95 | 31,3 | 13,5 ^{Fo} | 2,50 |
| | 0,2-0,4 | Esférico | 6,00 | 28,47 | 21,7 | 9,0 ^{Mo} | 5,70 |
| Silte (%) | 0,0-0,2 | Esférico | 2,70 | 3,51 | 37,6 | 4,6 ^{Fr} | 1,95 |
| | 0,2-0,4 | Esférico | 1,99 | 5,88 | 40,3 | 14,0 ^{Mo} | 2,34 |
| Argila (%) | 0,0-0,2 | Exponencial | 0,90 | 20,95 | 42,6 | 18,1 ^{Fo} | 5,11 |
| | 0,2-0,4 | Exponencial | 5,23 | 24,96 | 30,7 | 10,8 ^{Mo} | 5,11 |
| AD (mm) | 0,0-0,2 | Esférico | 0,40 | 7,33 | 19,9 | 9,9 ^{Mo} | 2,72 |
| | 0,2-0,4 | Exponencial | 1,79 | 10,48 | 20,5 | 7,6 ^{Mo} | 3,26 |
| θ (m ³ m ⁻³) | 0,0-0,2 | Esférico | 1,15x10 ⁻⁴ | 9,10x10 ⁻⁴ | 25,2 | 11,6 ^{Mo} | 0,03 |
| CEa (mS m ⁻¹) | 0,0-0,2 | Esférico | 3,27 | 5,96 | 80,3 | 19,1 ^{Fo} | 1,99 |
| | 0,0-0,4 | Esférico | 0,91 | 2,34 | 77,2 | 24,8 ^{Fo} | 1,03 |
| Área 2 | | | | | | | |
| Areia (%) | 0,0-0,2 | Esférico | 9,92 | 17,36 | 43,7 | 13,6 ^{Mo} | 4,16 |
| | 0,2-0,4 | Exponencial | 6,82 | 27,10 | 43,8 | 20,1 ^{Fo} | 4,96 |
| Silte (%) | 0,0-0,2 | Gaussiano | 2,14 | 3,80 | 58,3 | 24,9 ^{Fo} | 1,65 |
| | 0,2-0,4 | Exponencial | 1,03 | 2,52 | 13,0 | 4,7 ^{Fr} | 1,81 |
| Argila (%) | 0,0-0,2 | Esférico | 6,36 | 18,56 | 42,7 | 20,4 ^{Fo} | 3,76 |
| | 0,2-0,4 | Gaussiano | 20,12 | 40,98 | 82,4 | 41,0 ^{Fo} | 4,84 |
| AD (mm) | 0,0-0,2 | Esférico | 1,32 | 3,70 | 48,1 | 22,5 ^{Fo} | 1,65 |
| | 0,2-0,4 | Exponencial | 0,23 | 6,25 | 22,8 | 13,5 ^{Fo} | 2,69 |
| θ (m ³ m ⁻³) | 0,0-0,2 | Gaussiano | 4,12x10 ⁻⁴ | 7,22x10 ⁻⁴ | 59,7 | 25,0 ^{Fo} | 0,02 |
| CEa (mS m ⁻¹) | 0,0-0,2 | Esférico | 13,62 | 18,29 | 79,8 | 14,8 ^{Mo} | 4,01 |
| | 0,0-0,4 | Gaussiano | 4,05 | 5,36 | 47,7 | 11,4 ^{Mo} | 2,13 |

^a AD: conteúdo de água disponível do solo; θ : conteúdo de água no solo; CEa: condutividade elétrica aparente do solo; ^b IDE: índice de dependência espacial de acordo com Seidel e Oliveira (2014); Fo, Mo e Fr: dependência espacial forte, moderada e fraca, respectivamente, segundo Seidel e Oliveira (2016); ^c RMSE: raiz do erro médio quadrático da validação cruzada.

Os valores de alcance da dependência espacial permaneceram entre 19,94 e 42,59 m na área 1, com exceção da CEa, que apresentou valores próximos de 80 m para ambas as camadas de solo (Tabela 4). O mesmo não foi verificado para a área 2, onde os valores de alcance obtidos foram mais altos para a maioria dos atributos e com maior variação entre as camadas de solo para um mesmo atributo. O silte,

seguido pela AD, ambos da segunda camada de solo da área 2, contrariamente aos demais atributos da mesma camada, apresentaram baixos valores de alcance, o que sugere uma elevada variabilidade destes atributos em comparação aos demais.

Grande parte dos atributos do solo da área 1 apresentou moderada dependência espacial, conforme classificação proposta por Seidel e Oliveira (2016). Apenas os atributos areia e argila, na camada 0,0 – 0,2 m, e CEa em ambas as camadas avaliadas, apresentaram dependência espacial forte; e somente o silte, na camada 0,0 – 0,2 m, apresentou classificação fraca (Tabela 4). Os atributos da área 2, no entanto, apresentaram resultados mais satisfatórios quanto à qualidade da dependência espacial, onde a maioria dos atributos apresentou dependência espacial forte. Apenas os atributos areia, na camada 0,0 – 0,2 m, e CEa em ambas as camadas de solo, apresentaram dependência espacial moderada; e o silte, na camada 0,2 – 0,4 m, teve fraca dependência espacial. Portanto, de maneira geral, os atributos da área 2 apresentam melhores estimativas pelo interpolador krigagem em comparação aos atributos da área 1. Além disso, em próximas amostragens de solo, os intervalos entre pontos de coleta para determinação do atributo silte, o qual apresentou fraca dependência espacial (camada 0,0 – 0,2 m na área 1 e 0,2 – 0,4 m na área 2), devem ser reduzidos e/ou erros laboratoriais devem ser minimizados para garantir dependência espacial mais forte (LANDIM, 2006).

Nas Figuras 6, 7 e 8 estão apresentados os mapas de distribuição espacial das frações granulométricas do solo, AD e θ e CEa, respectivamente.

Figura 7 - Distribuição espacial dos atributos areia (A e B), silte (C e D) e argila (E e F) nas camadas de solo de 0,0 – 0,2 m (A, C e E) e 0,2 – 0,4 m (B, D e F) das áreas 1 e 2 do vinhedo

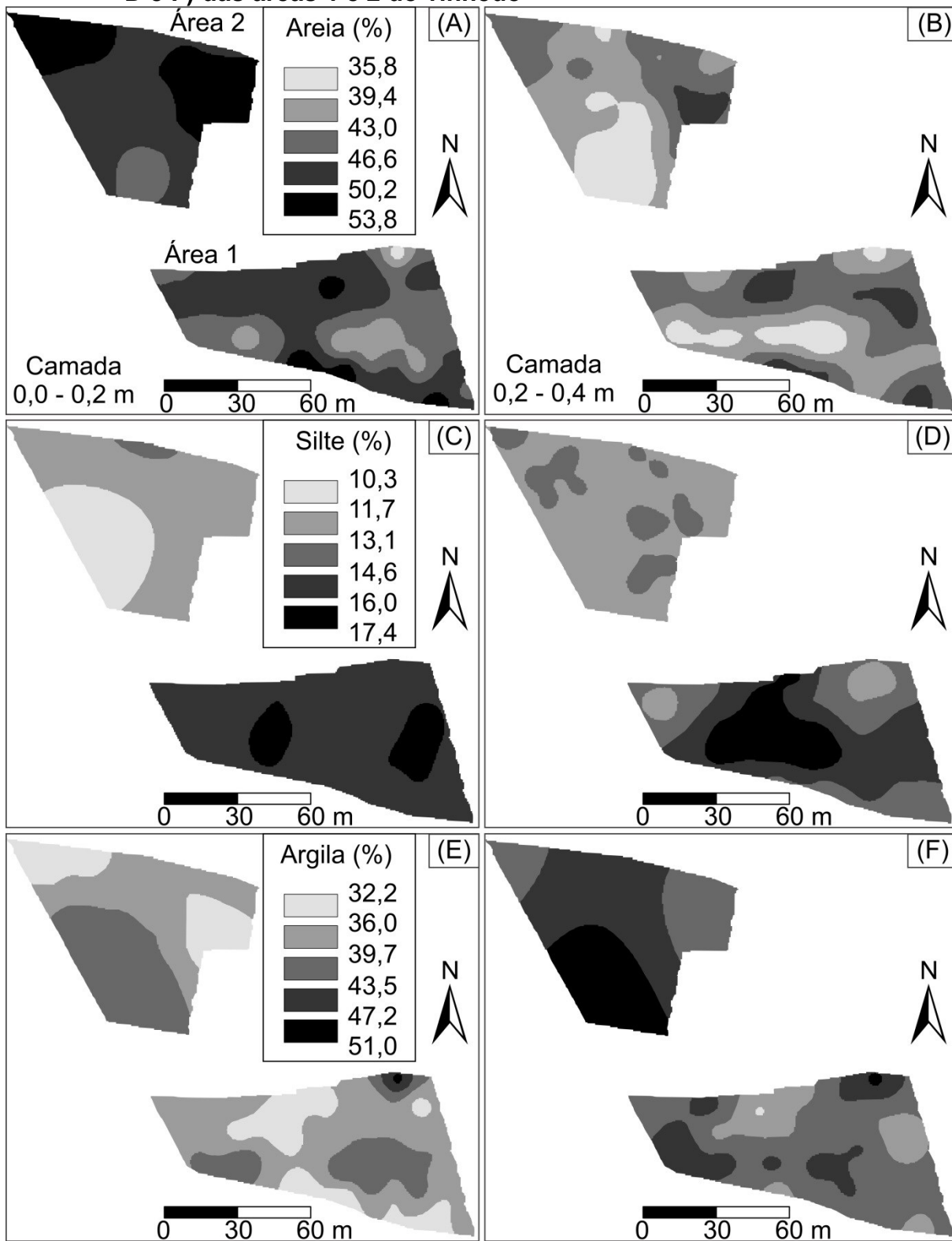


Figura 8 - Distribuição espacial dos atributos conteúdo de água disponível – AD (A e B) e umidade volumétrica do solo – θ (C) nas camadas 0,0 – 0,2 m (A e C) e 0,2 – 0,4 m (B) das áreas 1 e 2 do vinhedo

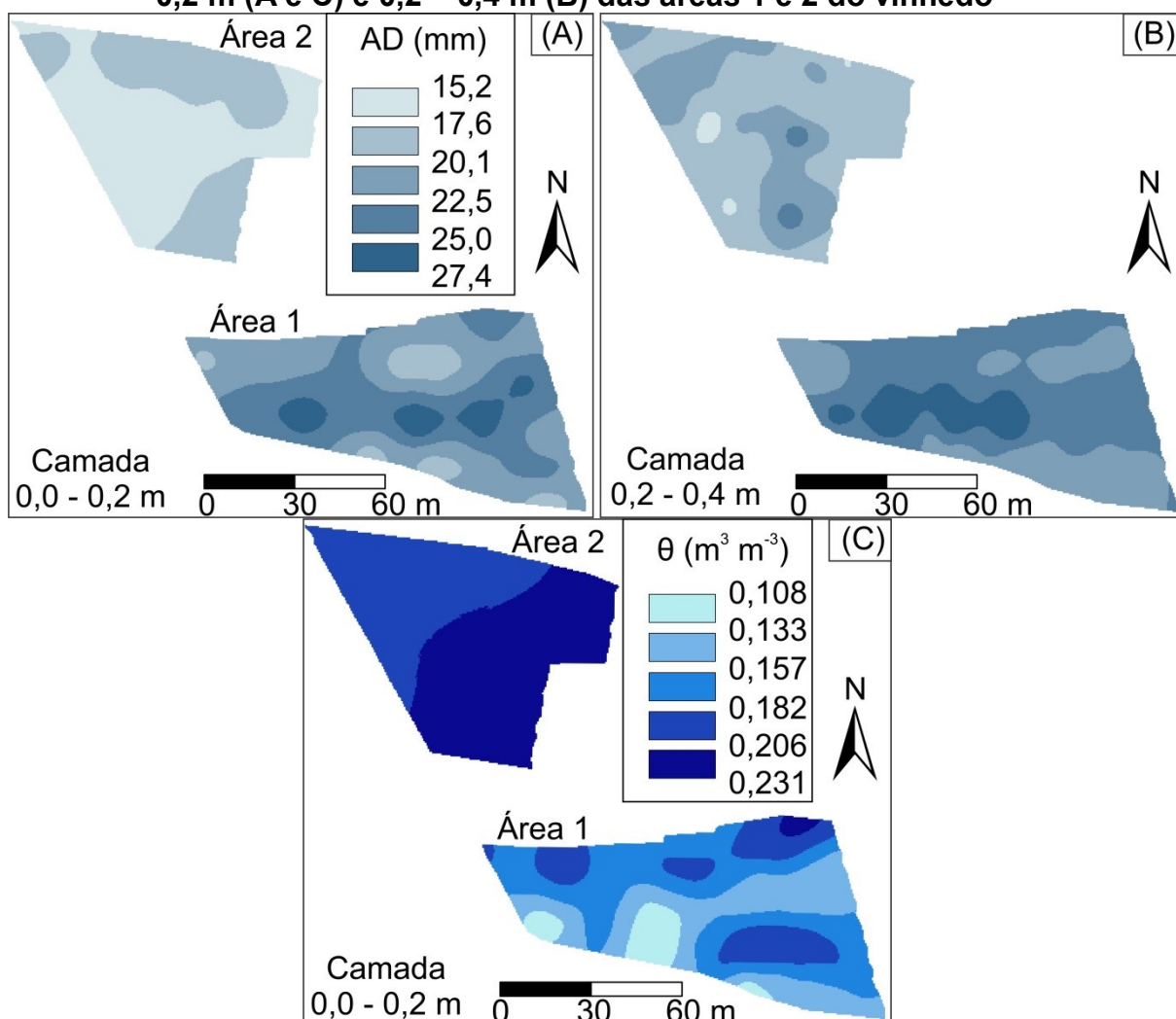
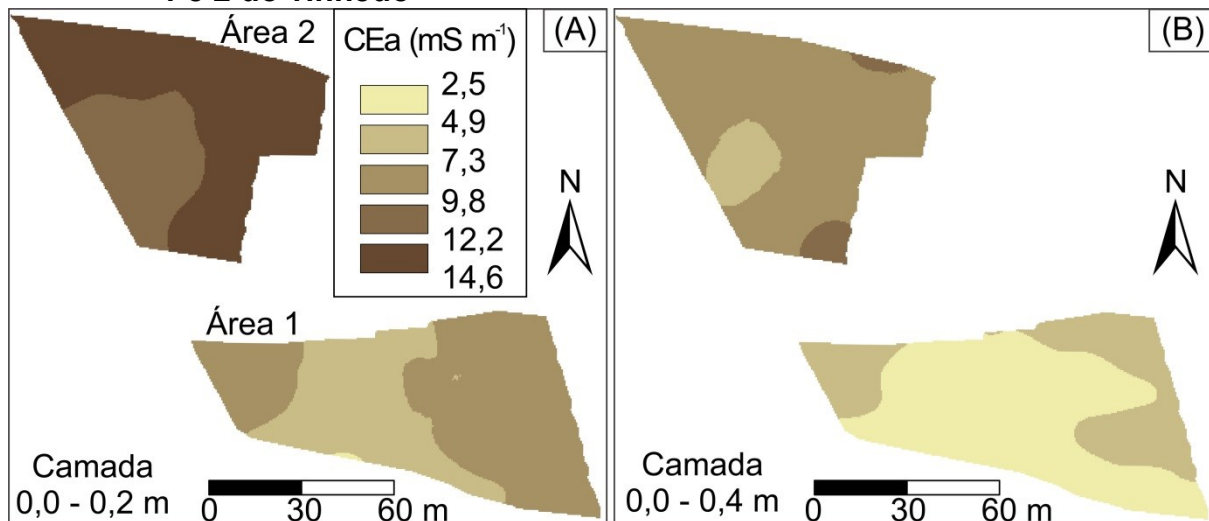


Figura 9 - Distribuição espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) medida nas camadas 0,0 – 0,2 m (A) e 0,0 – 0,4 m (B) das áreas 1 e 2 do vinhedo



2.3.2 Determinação de zonas para o monitoramento da umidade do solo

2.3.2.1 Análise de componentes principais

Com base nos resultados da PCA aplicada aos atributos do solo interpolados de cada camada de solo e cada área do vinhedo (Tabela 5), os escores de apenas as duas primeiras componentes principais (PC 1 e PC 2) foram selecionados para serem utilizados na análise de agrupamento, com base no critério adotado (autovalor ≥ 1 e/ou variância acumulada $\geq 75\%$). Em todos os casos, PC 1 e PC 2 juntas explicaram mais que 75% da variância total dos dados (variância acumulada variando entre 76,23 e 89,52% para PC 2 das camadas 0,0 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m da área 1, respectivamente). Além disso, foram verificados autovalores maiores que 1 para estas componentes, com exceção da PC 2 da segunda camada de solo da área 2, a qual apresentou autovalor de 0,91.

Os valores das cargas das componentes principais representam a relação entre a componente e o atributo do solo, ou seja, quanto cada componente explica a variância de um determinado atributo em uma escala de -1 a 1. Cargas negativas indicam uma relação contrária entre a componente e o atributo. Deste modo, foi possível identificar que a PC 1 de todas as camadas de solo e áreas representam, principalmente, a variação dos atributos areia e argila (Tabela 6), sendo para a areia uma relação direta na área 1 e inversa na área 2. Para a argila, ocorreu o contrário. Os atributos com maior expressão de representatividade à PC 2, foram o silte, nas duas camadas de solo da área 1, a CEa na camada 0,2 – 0,4 m de ambas as áreas, e a θ .

Tabela 5 - Resultados da análise de componentes principais aplicada aos dados interpolados dos atributos do solo das camadas 0,0 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m nas áreas 1 e 2 do vinhedo

| Componentes principais | Autovalores | Variância (%) | Variância acumulada (%) |
|-----------------------------|-------------|---------------|-------------------------|
| Área 1 – camada 0,0 – 0,2 m | | | |
| PC 1 | 2,34 | 46,89 | 46,89 |
| PC 2 | 1,47 | 29,33 | 76,23 |
| PC 3 | 0,72 | 14,34 | 90,57 |
| PC 4 | 0,45 | 9,07 | 99,64 |
| PC 5 | 0,02 | 0,36 | 100,00 |
| Área 1 – camada 0,2 – 0,4 m | | | |
| PC 1 | 1,87 | 46,74 | 46,74 |
| PC 2 | 1,71 | 42,79 | 89,52 |
| PC 3 | 0,40 | 10,02 | 99,54 |
| PC 4 | 0,02 | 0,46 | 100,00 |
| Área 2 – camada 0,0 – 0,2 m | | | |
| PC 1 | 3,28 | 65,61 | 65,61 |
| PC 2 | 1,13 | 22,61 | 88,21 |
| PC 3 | 0,45 | 8,91 | 97,12 |
| PC 4 | 0,14 | 2,79 | 99,91 |
| PC 5 | 0,00 | 0,09 | 100,00 |
| Área 2 – camada 0,2 – 0,4 m | | | |
| PC 1 | 2,27 | 56,66 | 56,66 |
| PC 2 | 0,91 | 22,66 | 79,33 |
| PC 3 | 0,73 | 18,32 | 97,64 |
| PC 4 | 0,09 | 2,36 | 100,00 |

Tabela 6 - Cargas das componentes principais selecionadas para cada atributo do solo das camadas 0,0 – 0,2 e 0,2 – 0,4 m nas áreas 1 e 2 do vinhedo

| Componentes principais selecionadas | Areia | Silte | Argila | CEa | θ |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|----------|
| Área 1 – camada 0,0 – 0,2 m | | | | | |
| PC 1 | 0,878 | -0,125 | -0,915 | -0,626 | -0,574 |
| PC 2 | -0,441 | 0,820 | 0,149 | -0,420 | -0,633 |
| Área 1 – camada 0,2 – 0,4 m | | | | | |
| PC 1 | 0,973 | -0,432 | -0,781 | 0,354 | – |
| PC 2 | -0,175 | -0,815 | 0,601 | 0,809 | – |
| Área 2 – camada 0,0 – 0,2 m | | | | | |
| PC 1 | -0,889 | -0,839 | 0,961 | -0,875 | 0,312 |
| PC 2 | 0,277 | -0,402 | -0,103 | -0,323 | -0,882 |
| Área 2 – camada 0,2 – 0,4 m | | | | | |
| PC 1 | -0,885 | -0,576 | 0,957 | -0,485 | – |
| PC 2 | -0,054 | -0,540 | 0,022 | 0,782 | – |

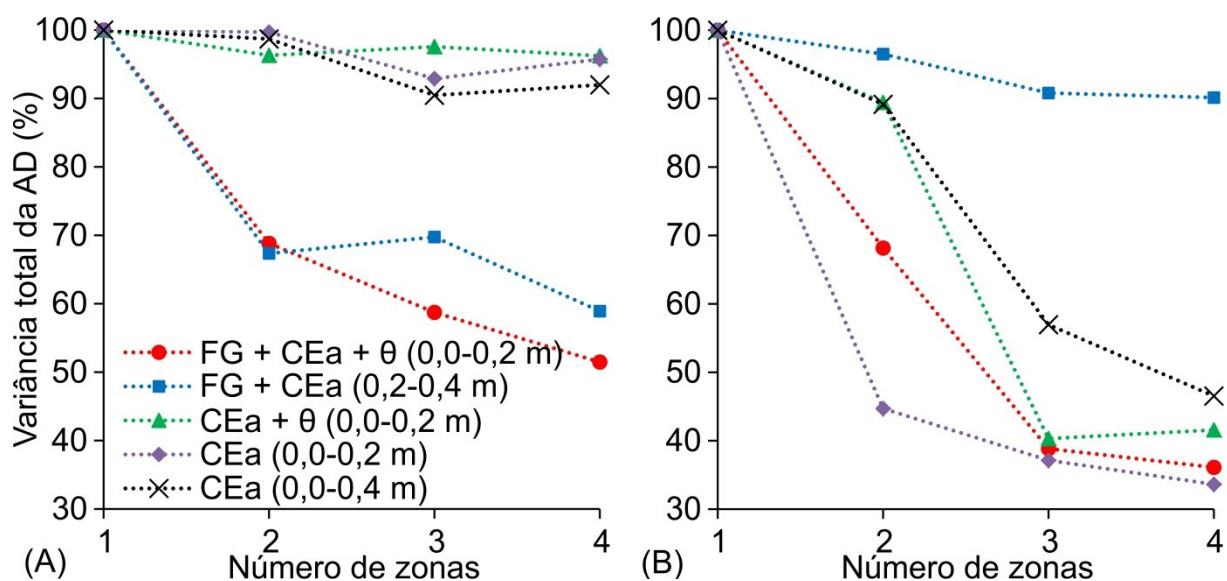
CEa: condutividade elétrica aparente do solo; θ : umidade volumétrica do solo

2.3.2.2 Análise de agrupamento e definição do número de zonas

A análise de agrupamento foi, portanto, aplicada aos escores das componentes selecionadas (PC 1 e PC 2) do conjunto de atributos testados referentes ao procedimento A, além dos dados interpolados dos atributos do procedimento B, para determinar duas, três e quatro zonas em cada caso. A Figura 10 apresenta a s^2T da AD em função do número de zonas testadas para cada conjunto de atributos em diferentes camadas de solo das áreas 1 e 2 do vinhedo. Foi utilizada a s^2T da AD de toda a área não dividida em zonas (uma classe de valores) como sendo 100% da variância. Na maioria dos casos o número de quatro zonas foi o que apresentou os menores valores de s^2T , ou seja, entre o número de zonas testadas a divisão de quatro zonas permitiu explicar a maior parte da variância da AD. Quanto menor a s^2T da AD, melhor é a divisão do número de zonas, no entanto, isso não deve ser considerado como única regra, tendo em vista que o aumento do número de zonas aumenta o detalhamento, o que pode ser um fator negativo quanto à operacionalidade e praticidade do manejo. Portanto, em apenas um dos casos foi considerado o número de quatro zonas (CEa na camada de 0,0 – 0,4 m da área 2; Figura 10B), o qual apresentou um aumento superior a 10% da variância explicada

da AD quando passou de três para quatro zonas. Nos demais casos, adotou-se o melhor número entre duas e três zonas, sendo duas apenas em dois casos, ambas para a área 1 (Figura 10A): quando geradas com base na fração granulométrica e CEa (camada 0,2 – 0,4 m); e com base na CEa e θ (camada 0,0 – 0,2 m).

Figura 10 - Variância total (s^2T) do conteúdo de água disponível do solo (AD) em relação ao número de zonas testadas com base nos atributos do solo das áreas 1 (A) e 2 (B) nas diferentes camadas de solo (entre parênteses)



FG: frações granulométricas do solo (areia, silte e argila); CEa: condutividade elétrica aparente do solo; θ : umidade volumétrica do solo

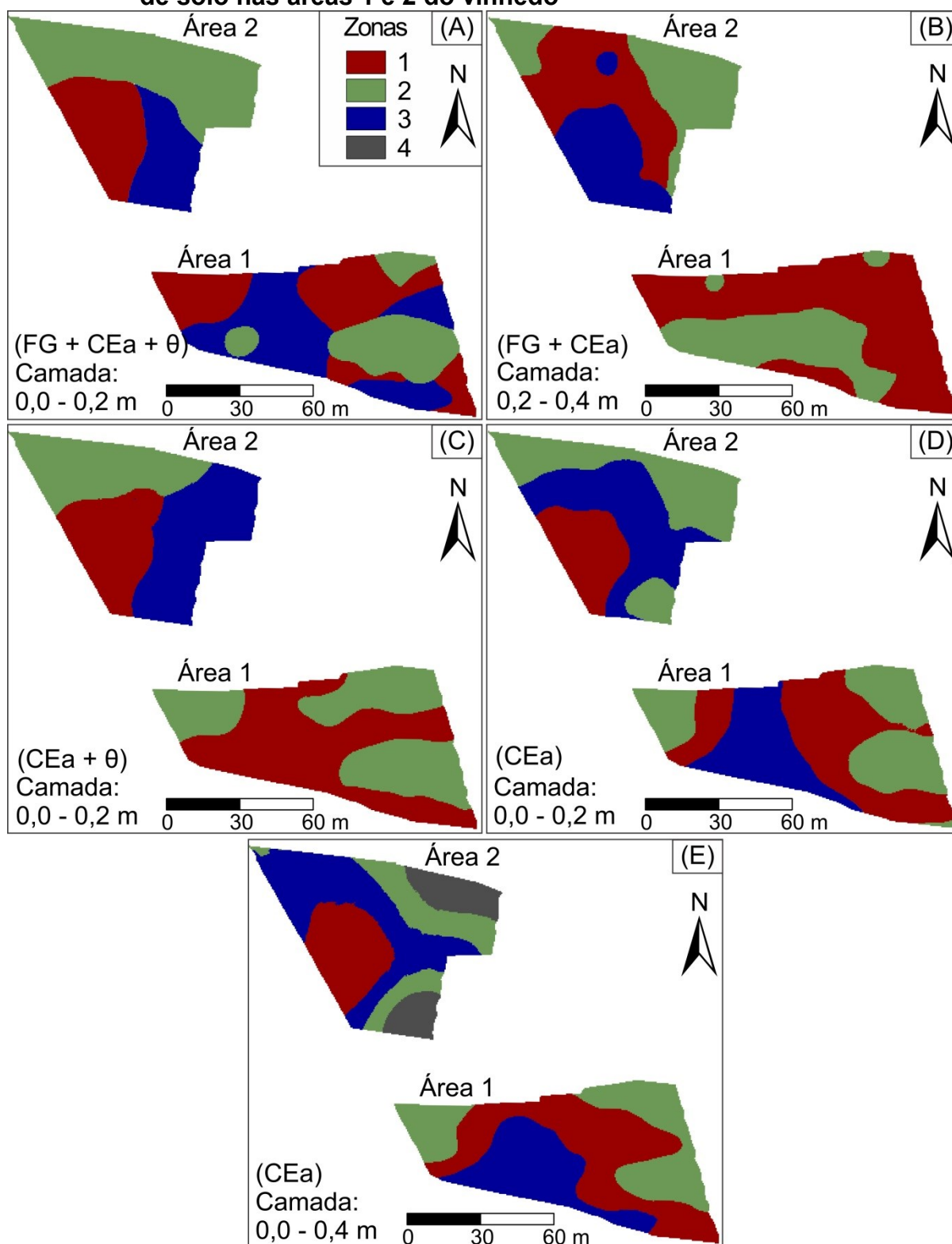
Diferentes desempenhos foram verificados entre áreas e camadas de solo avaliadas quanto à percentagem da variância explicada da AD com a divisão das áreas em zonas (Figura 10). Para a área 1, o melhor desempenho para até quatro zonas foi verificado quando estas foram geradas a partir do procedimento A, ou seja, utilizando dados de granulometria do solo, CEa e θ (Figura 10A) com variância explicada entre 41 e 49% da variância total da AD. Nos demais casos dessa mesma área, menos de 10% da variância total pode ser explicada. Isso demonstra que nesta área a utilização apenas de atributos determinados por equipamento portátil (CEa e θ) para a geração de zonas para o monitoramento de θ foi pouco eficiente.

Já para a determinação das zonas na área 2, resultados mais satisfatórios foram verificados quando utilizados apenas dados provenientes de medidores portáteis de CEa e θ (Figura 10B), referente ao procedimento B. O resultado mais satisfatório para a camada 0,0 – 0,2 m foi verificado quando se utilizou apenas a

CEa para a determinação das zonas (Figura 10B), com variância explicada de 66% da variância total da AD em até quatro zonas. Em contrapartida, um pior desempenho foi verificado para a camada de solo 0,2 – 0,4 m desta mesma área, com um máximo de 10% da variância total da AD explicada (Figura 10B). Isso sugere que a divisão da camada de solo 0,2 – 0,4 m da área 2 em zonas foi pouco eficiente para a diferenciação da AD e monitoramento de θ .

A Figura 11 apresenta os mapas das zonas para o monitoramento de θ geradas com base em diferentes atributos do solo e camadas de solo conforme procedimentos apresentados na Tabela 2.

Figura 11 - Zonas para o monitoramento da umidade do solo geradas com base em diferentes atributos (entre parênteses) de diferentes camadas de solo nas áreas 1 e 2 do vinhedo



FG: frações granulométricas do solo (areia, silte e argila); CEa: condutividade elétrica aparente do solo; θ : umidade volumétrica do solo

2.3.3 Validação das zonas para o monitoramento da umidade do solo

As análises multivariadas utilizadas para a delimitação das zonas para o monitoramento de θ no vinhedo, tanto do procedimento A como do procedimento B, foram eficientes para diferenciar as frações granulométricas do solo, a CEa e a θ entre pelo menos duas zonas em todos os casos em ambas as áreas (Tabela 7 e Tabela 8), exceto pela fração silte na camada de solo 0,2 – 0,4 m da área 2. Já para os dados de AD, principal atributo, resultados satisfatórios foram verificados na área 1 quando adotado o procedimento A, e na área 2 quando ambos os procedimentos foram adotados. Uma exceção ocorreu para a utilização das frações granulométricas e da CEa na camada de solo 0,2 – 0,4 m, onde os valores médios de AD não diferiram significativamente entre as zonas. Esses resultados refletem com o verificado anteriormente na Figura 10, diante da limitada redução de valores de s^2T da AD com a divisão em até quatro zonas.

Tabela 7 - Valores médios dos atributos areia, silte, argila, condutividade elétrica aparente (CEa) umidade volumétrica (θ) e conteúdo de água disponível do solo (AD) medidos nas zonas para o monitoramento da umidade do solo geradas a partir de diferentes combinações de atributos da área 1 do vinhedo

| Zona | Areia – – – – (%) | Silte – – – – | Argila – – – – | CEa (mS m ⁻¹) | θ (m ³ m ⁻³) | AD (mm) |
|--|----------------------|------------------|-------------------|------------------------------|---|------------|
| FG + CEa + θ (camada 0,0 – 0,2 m) | | | | | | |
| 1 | 49,1 a | 14,7 b | 36,2 b | 8,2 a | 0,174 a | 20,8 b |
| 2 | 40,8 b | 16,1 ab | 43,2 a | 8,7 a | 0,186 a | 24,7 a |
| 3 | 47,9 a | 16,7 a | 35,7 b | 6,4 b | 0,141 b | 23,5 a |
| <i>p</i> | <0,001 | 0,014 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| FG + CEa (camada 0,2 – 0,4 m) | | | | | | |
| 1 | 46,5 a | 14,2 b | 39,3 b | 4,9 a | – | 21,8 b |
| 2 | 38,5 b | 16,0 a | 45,5 a | 3,9 b | – | 25,7 a |
| <i>p</i> | <0,001 | 0,024 | <0,001 | <0,001 | – | <0,001 |
| CEa + θ (camada 0,0 – 0,2 m) | | | | | | |
| 1 | – | – | – | 6,7 b | 0,145 b | 22,4 a |
| 2 | – | – | – | 8,9 a | 0,185 a | 22,4 a |
| <i>p</i> | – | – | – | <0,001 | <0,001 | 0,972 |
| CEa (camada 0,0 – 0,2 m) | | | | | | |
| 1 | – | – | – | 7,2 b | – | 22,0 a |
| 2 | – | – | – | 9,1 a | – | 22,6 a |
| 3 | – | – | – | 6,0 c | – | 22,8 a |
| <i>p</i> | – | – | – | <0,001 | – | 0,749 |
| CEa (camada 0,0 – 0,4 m) | | | | | | |
| 1 | – | – | – | 4,3 b | – | 45,3 a |
| 2 | – | – | – | 5,9 a | – | 44,3 a |
| 3 | – | – | – | 3,3 c | – | 48,0 a |
| <i>p</i> | – | – | – | <0,001 | – | 0,394 |

FG: frações granulométricas (areia, silte e argila); *p*: valor de significância pelo teste F da análise de variância; diferentes letras indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 10% de significância

Tabela 8 - Valores médios dos atributos areia, silte, argila, condutividade elétrica aparente (CEa) umidade volumétrica (θ) e conteúdo de água disponível do solo (AD) medidos nas zonas para o monitoramento da umidade do solo geradas a partir de diferentes combinações de atributos da área 2 do vinhedo

| Zona | Areia - - - - (%) | Silte - - - - (%) | Argila - - - - (%) | CEa (mS m ⁻¹) | θ (m ³ m ⁻³) | AD (mm) |
|--|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|---|------------|
| FG + CEa + θ (camada 0,0 – 0,2 m) | | | | | | |
| 1 | 47,0 b | 10,4 b | 42,6 a | 10,4 b | 0,204 b | 15,9 b |
| 2 | 51,9 a | 12,7 a | 35,3 b | 13,7 a | 0,205 b | 17,8 a |
| 3 | 46,4 b | 12,6 a | 41,0 a | 13,0 a | 0,224 a | 18,0 a |
| <i>p</i> | 0,001 | 0,002 | <0,001 | <0,001 | 0,042 | 0,007 |
| FG + CEa (camada 0,2 – 0,4 m) | | | | | | |
| 1 | 40,0 b | 12,9 a | 47,1 a | 8,4 ab | – | 19,7 a |
| 2 | 46,2 a | 13,4 a | 40,4 b | 8,9 a | – | 19,6 a |
| 3 | 38,4 b | 11,6 a | 50,0 a | 7,9 b | – | 19,1 a |
| <i>p</i> | <0,001 | 0,079 | <0,001 | 0,053 | – | 0,843 |
| CEa + θ (camada 0,0 – 0,2 m) | | | | | | |
| 1 | – | – | – | 10,7 b | 0,208 ab | 16,4 b |
| 2 | – | – | – | 13,6 a | 0,192 b | 17,9 a |
| 3 | – | – | – | 13,4 a | 0,222 a | 17,8 a |
| <i>p</i> | – | – | – | <0,001 | <0,001 | 0,043 |
| CEa (camada 0,0 – 0,2 m) | | | | | | |
| 1 | – | – | – | 10,3 c | – | 15,9 b |
| 2 | – | – | – | 14,5 a | – | 18,1 a |
| 3 | – | – | – | 12,1 b | – | 17,7 a |
| <i>p</i> | – | – | – | <0,001 | – | 0,005 |
| CEa (camada 0,0 – 0,4 m) | | | | | | |
| 1 | – | – | – | 7,2 c | – | 34,4 b |
| 2 | – | – | – | 8,8 b | – | 38,2 a |
| 3 | – | – | – | 8,0 bc | – | 37,2 ab |
| 4 | – | – | – | 10,3 a | – | 38,0 ab |
| <i>p</i> | – | – | – | <0,001 | – | 0,094 |

FG: frações granulométricas (areia, silte e argila); *p*: valor de significância pelo teste F da análise de variância; diferentes letras indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 10% de significância

O baixo desempenho do procedimento B verificado na área 1 pode ser explicado pela baixa correlação entre a AD e os atributos CEa e θ desta área (Tabela 9). Em contraposto, o procedimento A não resultou em zonas para o monitoramento de θ eficientes quanto à caracterização da AD na camada 0,2 – 0,4 m da área 2 devido à sua elevada correlação apenas com o atributo silte da mesma camada (Tabela 9). Além disso, as zonas delimitadas para este caso (área 2 da Figura 11B) apresentaram elevada continuidade espacial sendo, portanto, influenciadas com maior peso pelos atributos areia, argila e CEa (atributos com valores de alcance elevados; camada 0,2 – 0,4 m – Tabela 4), e pouco pelo silte, único atributo com elevada correlação com a AD. Isso contribuiu para que o silte e a AD não fossem diferenciados entre as zonas desse caso (Tabela 8).

Tabela 9 - Coeficiente de correlação entre dados interpolados do conteúdo de água disponível no solo (AD) e demais atributos utilizados na delimitação de zonas para o monitoramento da umidade do solo das áreas 1 e 2 do vinhedo

| Atributo | Camada (m) | Conteúdo de água disponível (mm) | | | | | |
|--|------------|----------------------------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| | | 0,0 - 0,2 m | | 0,2 - 0,4 m | | 0,0 - 0,4 m | |
| | | Área 1 | Área 2 | Área 1 | Área 2 | Área 1 | Área 2 |
| Areia (%) | 0,0 - 0,2 | -0,776 | 0,278 | – | – | – | – |
| | 0,2 - 0,4 | – | – | -0,581 | -0,154 | – | – |
| Silte (%) | 0,0 - 0,2 | 0,601 | 0,915 | – | – | – | – |
| | 0,2 - 0,4 | – | – | 0,735 | 0,717 | – | – |
| Argila (%) | 0,0 - 0,2 | 0,552 | -0,502 | – | – | – | – |
| | 0,2 - 0,4 | – | – | 0,192 | -0,104 | – | – |
| CEa (mS m ⁻¹) | 0,0 - 0,2 | -0,031 | 0,756 | – | – | – | – |
| | 0,0 - 0,4 | – | – | -0,378 | 0,291 | -0,242 | 0,567 |
| θ (m ³ m ⁻³) | 0,0 - 0,2 | -0,144 | -0,058 | – | – | – | – |

CEa: condutividade elétrica aparente do solo; θ : umidade volumétrica do solo

Em todos os casos em que houve diferença significativa da AD entre zonas, os menores valores desta foram verificados na zona 1 (Tabela 7 e Tabela 8). Para o manejo da irrigação, a umidade do solo da zona 1 deve ser monitorada com maior frequência e seu nível pode ser utilizado como indicativo do melhor momento para a aplicação de água nas áreas 1 e 2 nas fases da cultura em que for necessária maior

segurança quanto ao déficit hídrico. Nas demais zonas, o monitoramento pode indicar a quantidade necessária da lâmina de irrigação para que se atinja a umidade de manejo desejada.

Entre os procedimentos adotados (A e B; Tabela 2), o primeiro proporcionou a determinação de zonas com maior garantia quanto à caracterização dos diferentes níveis de AD do solo. No entanto, a adoção do procedimento B, por ser mais econômica quanto aos custos para aquisição de dados, não deve ser desconsiderada, com base nos resultados satisfatórios identificados para a área 2 do vinhedo. Além disso, os resultados indicam que a utilização de dados de umidade do solo juntamente com a CEa na determinação das zonas não auxiliou para a melhoria da caracterização da AD, o que sugere a utilização isolada da CEa como satisfatória para os casos em que apresentar elevada correlação com a AD.

2.4 CONCLUSÕES

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) pode ser utilizada na determinação de zonas para o monitoramento da umidade do solo em vinhedo irrigado. Contudo, o uso apenas deste atributo deve ser limitado quando apresentar alta correção com o conteúdo de água disponível do solo. A inclusão da granulometria do solo auxiliou na determinação destas zonas e sua contribuição foi maior quando a CEa não apresentou alta correlação com o conteúdo de água disponível do solo. A inclusão da umidade do solo pouco contribuiu para a delimitação das zonas para o seu monitoramento.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-OPAZO, C.; ORTEGA-FARIAS, S.; FUENTES, S. Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, p.956–964, 2010. doi: 10.1016/j.agwat.2010.01.025
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- 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.
- BAGGIOLINI, M. Lês stades repères dans lê developpement anual de la vigne. **Revue Romande**: Revue mensuelle d'agriculture, de viticulture et d'arboriculture, Lausanne, v.8, n.1, p.4-5, 1952.
- BASSOI, L.H.; GRANGEIRO, L.C.; SILVA, J.A.M.; SILVA, E.E.G. Root distribution of irrigated grapevine rootstocks in a coarse texture soil of the São Francisco Valley, Brazil. **Revista brasileira de fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.35–38, 2002. doi: 10.1590/S0100-29452002000100008
- BASSOI, L.H.; HOPMANS, J.W.; JORGE, L.A.C.; ALENCAR, C.M.; SILVA, J.A.M. Grapevine root distribution in drip and microsprinkler irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.2, p.377-387, 2003. doi: 10.1590/S0103-90162003000200024
- BEZDEK, J.C. (Ed.). **Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms**. Nova York: Plenum Press, 1981.
- BRANDÃO, Z.N.; ZONTA, J.H.; MEDEIROS, J.C.; SANA, R.S.; FERREIRA, G.B. **Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás**. In: INAMASU, R.Y.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; BERNARDI, A.C.C. Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 334 p. 162–167. 2011.
- BREVIK, E.C.; FENTON, T.E.; LAZARI, A. Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. **Precision Agriculture**, v.7, n.6, p.393–404, 2006. doi: 10.1007/s11119-006-9021-x
- CARVALHO, D.F.; OLIVEIRA, L.F.C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa – MG: UFV, 2012. 239p.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M.; OSTER, J.D.; KAFFKA, S.R. Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. **Geoderma**, v.131, p.369–387, 2006. doi: 10.1016/j.geoderma.2005.03.014

DALBÓ, M.A.; VEIGA, M.; GARDIN, J.P.P. Desenvolvimento do sistema radicular da videira em função de porta-enxertos e de atributos físicos e químicos do solo. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.24, n.3, p.59–63, 2011.

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**, v.50, n.4, p.151–158, 2011.

FOX, J.; BOUCHET-VALAT, M. **Rcmdr: R Commander**. R package version 2.3-2. 2017.

FRAISSE, C.W.; SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.44, n.1, p.155–166, 2001. doi: 10.13031/2013.2296

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.

FRIDGEN, J.J.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T.; WIEBOLD, W.J.; FRAISSE, C.W. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, v.96, p.10–108, 2004. doi: 10.2134/agronj2004.0100.

GRÄLER, B.; PEBESMA E.; HEUVELINK, G. Spatio-Temporal Interpolation using gstat. **The R Journal**, v.8, n.1, p.204–218, 2016. doi: 10.32614/RJ-2016-014

GUASTAFERRO, F.; CASTRIGNANÒ, A.; DE BENEDETTO, D.; SOLLITTO, D.; TROCCOLI, A.; CAFARELLI, B. A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. **Precision Agriculture**, v.11, p.600–620, 2010. doi: 10.1007/s11119-010-9183-4

HAGHVERDI, A.; LEIB, B.G.; WASHINGTON-ALLEN, R.A.; AYERS, P.D.; BUSCHERMOHLE, M.J. Perspectives on delineating management zones for variable rate irrigation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.117, p.154–167, 2015. doi: 10.1016/j.compag.2015.06.019

JIANG, Q.; FU, Q.; WANG, Z. Delineating site-specific irrigation management zones. **Irrigation and Drainage**, v.60, p.464–472, 2011. doi: 10.1002/ird.588

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**, 6ed. Nova Jersey: Pearson, 2007.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, J.C.H. **Mining geostatistics**. Londres: Academic Press, 1978. 600p.

LANDIM, P.M.B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ Didactica**, v.2, n.1, p.19–33, 2006.

LI, Y.; SHI, Z.; LI, F.; LI, H. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.56, p.174-186, 2007. doi: 10.1016/j.compag.2007.01.013

LIN, Q.; LI, H.; LUO, W.; LIN, Z.; LI, B. Optimal soil-sampling design for rubber tree management based on fuzzy clustering. **Forest Ecology and Management**, v.308, p.214–222, 2013.

MEYER, D.; DIMITRIADOU, E.; HORNIK, K.; WEINGESSEL, A.; LEISCH, F. **e1071: Misc functions of the department of statistics, Probability Theory Group (Formerly: E1071)**. TU Wien. R package version 1.6-8. 2017. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=e1071>>

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **Vesper version 1.62**. Sydney: Australian Centre for Precision Agriculture. 2005.

NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, A. Automated soil particle size analyzer based on gamma-ray attenuation. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.31, n.3, p. 295–304, 2001. doi: 10.1016/S0168-1699(00)00188-5

NASCIMENTO, P.S. **Manejo da viticultura irrigada no semiárido com base em zonas homogêneas do solo e da planta**. 2013. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.

NASCIMENTO, P.S.; SILVA, J.A.; COSTA, B.R.S.; BASSOI, L.H. Zonas homogêneas de atributos do solo para o manejo de irrigação em pomar de videira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1101–1113, 2014. doi: 10.1590/S0100-06832014000400006

OLDONI, H.; BASSOI, L.H. Delineation of irrigation management zones in a Quartzipsamment of the Brazilian semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1283–1294, 2016. doi: 10.1590/s0100-204x2016000900028

OLDONI, H.; TERRA, V.S.S.; TIMM, L.C.; REISSER JÚNIOR, C.; MONTEIRO, A.B. Delineation of management zones in a peach orchard using multivariate and geostatistical analyses. **Soil and Tillage Research**, v.191, p.1-10, 2019. doi: 10.1016/j.still.2019.03.008

OLIVEIRA, R.P. **Modelagem de variogramas**. In: OLIVEIRA, R.P.; GREGO, C.R.; BRANDÃO, Z.N. (Ed.). *Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper*. Brasília: Embrapa, p.83-92, 2015.

OLIVER, M.A. **An Overview of Geostatistics and Precision Agriculture**. In: OLIVER, M.A. ed. *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Dordrecht: Springer, p.1–34, 2010.

PEBESMA, E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. **Computers & Geosciences**, v.30, p.683–691, 2004. doi: 10.1016/j.cageo.2004.03.012

PHAM, H.Q.; FREDLUND, D.G. Equations for the entire soil-water characteristic curve of a volume change soil. **Canadian Geotechnical Journal**, v.45, p.443–453, 2008. doi: 10.1139/T07-117

PINTO, E.J.A.; AZAMBUJA, A.M.S.; FARIAS, J.A.M.; SALGUEIRO, J.P.B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. Escala 1:5.000.000. Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/atlas_pluvio_metrico_brasil/isoietas_totais_anuais_1977_2006.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2019.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**: Open Source Geospatial Foundation Project. 2015. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

RABELLO, L.M.; INAMASU, R.Y.; BERNARDI, A.C.C. **Sistema de medida de condutividade elétrica do solo**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária. 2010. 8p. (Circular Técnica, 54). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/884863>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

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.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LIMA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e sua Aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.711–720, 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. 356p.

SEIDEL, E.J.; OLIVEIRA, M.S. A Classification for a Geostatistical Index of Spatial Dependence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, e0160007, p.1-10, 2016 doi: 10.1590/18069657rbcS20160007

SEIDEL, E.J.; OLIVEIRA, M.S. Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.699-705, 2014. doi: 10.1590/S0100-06832014000300002

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**, v.54, p.195–201, 2015. doi: 10.5073/vitis.2015.54.195-201

THORNTHWAITE, C.W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, London, v.38, p.55–94, 1948. doi: 10.2307/210739

TRIPATHI, R.; NAYAK, A.K.; SHAHID, M.; LAL, B.; GAUTAM, P.; RAJA, R.; MOHANTY, S.; KUMAR, A.; PANDA, B.B.; SAHOO, R.N. Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. **Catena**, v.133, p.128–136, 2015. doi: 10.1016/j.catena.2015.05.009

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. doi: 10.2136/sssaj2004.0104

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, 1999. doi: 10.1097/00010694-199906000-00004

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

WILDING, L.P. **Spatial variability: its documentation, accommodation, and implication to soil surveys**. In: NIELSEN, D.R., BOUMA, J. (Ed.). *Soil Spatial Variability*. Wageningen: Pudoc, p.166–194, 1985.

XIN-ZHONG, W.; GUO-SHUN, L.; HONG-CHAO, H.; ZHEN-HAI, W.; QING-HUA, L.; XU-FENG, L.; WEI-HONG, H.; YAN-TAO, L. Determination of management zones for a tobacco field based on soil fertility. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.65, p.168–175, 2009. doi: 10.1016/j.compag.2008.08.008

ZHAO, W.; LI, J.; YANG, R.; LI, Y. Determining placement criteria of moisture sensors through temporal stability analysis of soil water contents for a variable rate irrigation system. **Precision Agriculture**, v.19, p648–665, 2018. doi: 10.1007/s11119-017-9545-2

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vinhedos cv. Chardonnay irrigados por gotejamento e manejados sob sistema de dupla poda, os mapas da distribuição espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) identificam a variabilidade do vigor vegetativo e da produção da videira. Durante a fase de maturação da baga, a ocorrência de precipitações pluviais de alta magnitude pode reduzir a relação entre as zonas homogêneas de NDVI com os parâmetros que caracterizam a maturação da baga na colheita. Tais mapas mostram zonas de maior e menor NDVI, as quais podem orientar a estimativa da produtividade do vinhedo e o monitoramento da maturação das bagas e do potencial hídrico foliar, de modo a garantir melhores informações sobre sua variabilidade na área.

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) pode ser utilizada na determinação de zonas para o monitoramento da umidade do solo (θ). Contudo, o uso apenas deste atributo deve ser limitado quando apresentar alta correção com o conteúdo de água disponível do solo (AD). A inclusão da granulometria do solo auxiliou na determinação destas zonas e sua contribuição foi maior quando a CEa não apresentou alta correlação com AD. A inclusão de θ pouco contribuiu para a delimitação das zonas para o seu monitoramento.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO-OPAZO, C.; TISSEYRE, B.; GUILLAUME, S.; OJEDA, H. The potential of high spatial resolution information to define within-vineyard zones related to vine water status. **Precision Agriculture**, v.9 p.285-302, 2008. doi: 10.1007/s11119-008-9073-1

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.

HALL, A.; LAMB, D.W.; HOLZAPFEL, B.P.; LOUIS, J.P. Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield. **Precision Agriculture**, v.12, p.103-117, 2011. doi: 10.1007/s11119-010-9159-4

IBRAVIN - INSTITUTO BRASILEIRO DO VINHO. **Dados estatísticos: Produção de vinhos e derivados**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibravin.org.br/Dados-Estatisticos>>. Acesso em 27 mar. 2019.

MARCINIAK, M.; BROWN, R.; REYNOLDS, A.; JOLLINEAU, M. Use of remote sensing to understand the terroir of the Niagara Peninsula. Applications in a Riesling vineyard. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v.49, n.1, p.1–26, 2015.

NASCIMENTO, P.S.; SILVA, J.A.; COSTA, B.R.S.; BASSOI, L.H. Zonas homogêneas de atributos do solo para o manejo de irrigação em pomar de videira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1101–1113, 2014.

URRETAVIZCAYA, I.; ROYO, J.B.; MIRANDA, C.; TISSEYRE, B.; GUILLAUME, S.; SANTESTEBAN, L.G. Relevance of sink-size estimation for within-field zone delineation in vineyards. **Precision Agriculture**, v.18, n.2, p.133-144, 2017.

WAMPLE, R.L.; MILLS, L.; DAVENPOR, T.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.