

**BRUNO RICARDO SILVA COSTA**

**ZONAS DE VIGOR VEGETATIVO PARA COLHEITA SELETIVA EM VITICULTURA  
IRRIGADA COM BASE EM SENSORIAMENTO PROXIMAL**

**Botucatu**

**2021**



**BRUNO RICARDO SILVA COSTA**

**ZONAS DE VIGOR VEGETATIVO PARA COLHEITA SELETIVA EM VITICULTURA  
IRRIGADA COM BASE EM SENSORIAMENTO PROXIMAL**

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

Orientador: Luís Henrique Bassoi

**Botucatu**

**2021**

C837z Costa, Bruno Ricardo Silva  
Zonas de vigor vegetativo para colheita seletiva em  
viticultura irrigada com base em sensoriamento proximal /  
Bruno Ricardo Silva Costa. -- Botucatu, 2021  
228 p. : il., tabs., fotos, mapas

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

1. Viticultura de precisão. 2. Uva Cultivo. 3. Índice de  
Vegetação por Diferença Normalizada. 4. Solos irrigados. 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 DA TESE: ZONAS DE VIGOR VEGETATIVO PARA COLHEITA SELETIVA EM VITICULTURA IRRIGADA COM BASE EM SENSORIAMENTO PROXIMAL

**AUTOR: BRUNO RICARDO SILVA COSTA**

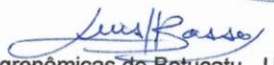
**ORIENTADOR: LUIS HENRIQUE BASSOI**

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

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



p/ Prof. Dr. JOAO CARLOS CURY SAAD (Participação Virtual)  
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



p/ Prof. Dr. MARCO ANTONIO TECCHIO (Participação Virtual)  
Horticultura / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



p/ Prof. Dr. LUCAS RIOS DO AMARAL (Participação Virtual)  
UNICAMP - Campinas, SP



p/ Prof. Dr. LEANDRO MARIA GIMENEZ (Participação Virtual)  
Engenharia de Biossistemas / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ)



Botucatu, 26 de fevereiro de 2021



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus amigos, Henrique Oldoni e Fernanda Campos Alencar Oldoni. Gostaria que soubessem que eu só cheguei até aqui graças a sua ajuda e principalmente, a sua amizade.

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

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

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

À Embrapa Instrumentação, pela disponibilidade de equipamentos e de infraestrutura necessária para a realização desse estudo.

À Vinícola Guaspari, pela concessão das áreas experimentais, e à equipe técnica composta pelos profissionais Aline Coquieri, Ana Paula Tessarini, Cristian Sepúlveda, Fabrizia Zucherato, Otávio Foresti e Rafael Scaramussa, pelo apoio na realização da pesquisa.

Aos pesquisadores, analistas, técnicos de laboratório e funcionários da Embrapa Instrumentação e da Embrapa Pecuária Sudeste, pelo apoio nas atividades de pesquisa. Também agradeço aos pesquisadores da Embrapa Semiárido, com quem tive a oportunidade de trabalhar e que me incentivaram a prosseguir na carreira acadêmica.

Ao pesquisador Celito Crivellaro Guerra e à analista Gisele Perissutti, da Embrapa Uva e Vinho, pela realização das análises dos vinhos.

Aos meus antigos amigos da Embrapa Semiárido, ex-alunos desse mesmo curso de pós-graduação, que me inspiraram a seguir os mesmos passos que eles tomaram. Aos demais amigos, estagiários e bolsistas, com quem trabalhei ao longo desses anos, agradeço igualmente.

Aos amigos mais recentes com quem tive o prazer de conviver e trabalhar: Anderson de Jesus Pereira, Larissa Godarelli Farinassi, Pedro Alcantara da Silva Abreu e Thássio Monteiro Menezes da Silva. Agradeço pela paciência e espero ter contribuído com o trabalho de vocês de alguma forma.

Aos amigos do curso de pós-graduação, mestrandos e doutorandos com quem convivi em 2017, no campus da UNESP em Botucatu – SP. Não tenho nada a lhes dizer além do meu muito obrigado pela oportunidade de conhecê-los. Vou me lembrar de cada um de vocês, daquele ano e daquele lugar para sempre. Um agradecimento especial aos colegas Cícero Manoel dos Santos e Maurício Bruno Prado da Silva, que me cederam abrigo na casa onde moravam, nos primeiros meses em São Paulo.

Aos amigos Wendell Antunes da Silva e Romero Cancela Rocha Júnior, que fizeram parte do nosso grupo de pesquisa em viticultura de precisão, agradeço pelo apoio durante os trabalhos de campo. Agradeço igualmente aos colegas químicos e físicos, com quem convivi na Embrapa Instrumentação.

Por fim, agradeço aos meus familiares, em particular aos meus pais, Maria das Graças Silva Costa e Roberto de Souza Costa, por todo o sacrifício e esforço em prol da minha educação formal, além de todos aqueles que me apoiaram durante o período de doutorado e em todas as outras ocasiões que me trouxeram até aqui.

## RESUMO

O conceito de agricultura de precisão (AP) tem sido empregado na viticultura tendo em vista a adoção de práticas de manejo sítio-específico a partir da caracterização da variabilidade espacial das áreas cultivadas. Neste sentido, o vigor vegetativo das videiras pode ser adotado como uma variável regionalizada representativa da condição dos vinhedos, uma vez que expressa a interação dos diversos fatores ambientais predominantes nesses sistemas agrícolas. Em razão da sua relevância para adoção de práticas de AP, o vigor vegetativo pode ser monitorado intensivamente por tecnologias de georreferenciamento e sensoriamento que permitem a estimativa e predição espacial de índices de vegetação (IV). Desta forma, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a variabilidade das condições edafoclimáticas de vinhedos comerciais, bem como do vigor vegetativo de videiras viníferas a partir de estimativas do índice de vegetação por diferença normalizada no vermelho limítrofe (NDRE) e do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). A pesquisa foi conduzida durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 em três vinhedos comerciais irrigados, e implantados com as cultivares Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.), ambas submetidas ao manejo de dupla-poda anual. O solo dos vinhedos foi avaliado conforme a granulometria e os atributos físico-hídricos relacionados ao armazenamento e disponibilidade de água. Por sua vez, as condições mesoclimáticas foram monitoradas ao longo dos ciclos de produção, durante o período anterior e posterior ao início da maturação das bagas (veraison). Os vinhedos também foram caracterizados quanto ao número de graus dias demandado pelas cultivares para conclusão do ciclo fenológico, bem como no que se referiu à dinâmica do armazenamento de água no solo. Para a caracterização do vigor vegetativo, os IV adotados foram estimados a partir da reflectância ( $\rho$ ) do dossel das videiras, mensurada via sensoriamento proximal em três ocasiões ao longo do período de desenvolvimento e maturação dos cachos. A partir da estimação geoestatística, as predições espaciais dos IV foram avaliadas segundo a similaridade entre medidas realizadas em diferentes fases do ciclo e sua estabilidade espaço-temporal. Os resultados interpolados dos IV também foram usados na delimitação de zonas homogêneas (ZH) e posterior zonas de manejo (ZM), para subdivisão dos vinhedos em regiões de baixo e alto vigor vegetativo. Essas regionalizações foram validadas de acordo com parâmetros biofísicos, relacionados ao vigor e conteúdo de água na folha,

e aspectos produtivos das videiras, bem como quanto à composição de bagas e umidade da camada superficial do solo, capacidade de armazenamento de água e lâmina de irrigação requerida. Além disso, testou-se o potencial da colheita seletiva de cachos para a diferenciação qualitativa de vinhos, conforme as ZH do vigor vegetativo deduzido segundo o NDVI, estimado no período de início de maturação de bagas. Em um mesmo vinhedo, foi possível identificar condições do solo semelhantes ao longo do perfil, além de um padrão regular quanto a dinâmica de armazenamento de água ao longo dos ciclos de produção. Além disso, apesar das variações interanuais no acúmulo de graus dias correspondente a cada cultivar, o sistema de dupla-poda adotado localmente permitiu que as cultivares de videiras fossem submetidas as condições mesoclimáticas estáveis, porém distintas entre si, ao se comparar o período anterior e posterior ao *veraison*. Em vinhedos cultivados com variedades vigorosas, cujo desenvolvimento se encontra consolidado, as predições do NDRE e NDVI apresentaram elevada estabilidade temporal, espacial e similaridade no padrão de distribuição dos valores interpolados estimados em fases avançadas do ciclo de produção. Contudo, foi possível verificar a adequabilidade da caracterização da expressão vegetativa dos vinhedos conforme a metodologia adotada nesse estudo, uma vez que foram observadas diferenças significativas entre regionalizações do vigor quanto às variáveis de validação. Além disso, a representação da variabilidade do vigor vegetativo também apresentou potencial para orientar a colheita seletiva de cachos e a obtenção de vinhos de composição distinta em um mesmo vinhedo.

**Palavras-chave:** *Vitis Vinifera* L. Viticultura de precisão. Condições edafoclimáticas. Índices de vegetação. Vigor vegetativo.

## ABSTRACT

The precision agriculture (PA) approach has been adopted in viticulture to guide site-specific management practices based on the spatial variability within fields. Thus, the grapevines' vigor could represent the general conditions of vineyards once it is influenced by the interaction between their environmental factors. Thereby, the regular monitoring of grapevines' vigor by the estimation of vegetation indices (VI) through georeferencing and remote sensing technologies is fundamental for PA applications in wine grape production. This research aimed to describe the edaphoclimatic conditions of commercial vineyards as well as to characterize the spatial variability of grapevines vigor, as stated by the red edge normalized difference vegetation index (NDRE) and the normalized difference vegetation index (NDVI). The research took place in 2018 and 2019 growing seasons at drip-irrigated vineyards, cultivated with Cabernet Franc and Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) subjected to annual double-pruning management. The vineyards' soil texture and physical-hydric attributes were evaluated through the soil profile. Mesoclimatic conditions were recorded before and after the beginning of the berry ripening stage (*veraison*). The vineyards were also described by accounting for the growing degree-days required by the grapevine varieties to reach the end of their growing seasons. The dynamics of soil water storage were accessed by water balance analysis for the same purpose. The VI were estimated through measurements of canopy reflectance ( $\rho$ ) made by proximal sensing at the stages of fruit development, *veraison*, and before the complete ripening. Spatial predictions of the VI were estimated by geostatistical analysis and then evaluated according to their similarity and spatio-temporal stability. These predictions were classified into homogeneous zones (HZ) and management zones (MZ) to delimit vineyards' regions with low and high vigor grapevines. The appropriateness of this zonification was evaluated by the comparison between MZ concerning grapevines' vigor, leaf water content, yield, berry composition at harvest, topsoil moisture, soil water storage capacity, and irrigation depth. Furthermore, it was evaluated the physical-chemical characteristics of wines made from the selective harvest guided by NDVI HZ defined at the *veraison*. It was possible to identify similar soil conditions through its profile in a given vineyard, in addition to a regular pattern of soil water balance throughout consecutive growing seasons. The double pruning system allowed the grapevines to be subjected to distinct but stable mesoclimatic conditions during pre and post-

*veraison* periods, despite the interannual variations of the degree days accumulation reached by each variety. The predictions of NDRE and NDVI in later stages of the grapevine's growing seasons showed high similarity and spatio-temporal stability in vineyards cultivated with vigorous and well-developed plants. However, significant differences between MZ regarding the plant and soil validation traits confirmed the suitability of the grapevine vigor zonification. Also, grapevine vigor variability had the potential to support selective harvesting to distinguish wine composition in a single vineyard.

**Keywords:** *Vitis Vinifera* L. Precision viticulture. Edaphoclimatic conditions. Vegetation indices. Vigor.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Panorama da viticultura nacional e no Estado de São Paulo</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Agricultura de precisão no contexto da vitivinicultura</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Estimativa da variabilidade do vigor vegetativo por meio de índices de vegetação</b> .....	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização das áreas experimentais</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Sistemas de condução, poda e duração dos ciclos de produção das cultivares de videiras</b> .....	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>Atributos físico-hídricos do solo</b> .....	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>Condições mesoclimáticas</b> .....	<b>33</b>
<b>3.5</b>	<b>Caracterização fenológica e somatório térmico das cultivares de videira</b> .....	<b>34</b>
<b>3.6</b>	<b>Demanda hídrica e fornecimento de água às videiras</b> .....	<b>35</b>
<b>3.7</b>	<b>Balanço hídrico climatológico e do cultivo</b> .....	<b>37</b>
<b>3.8</b>	<b>Medidas de reflectância do dossel por sensoriamento proximal e estimativa de índices de vegetação para caracterização do vigor vegetativo das videiras</b> .....	<b>37</b>
<b>3.8.1</b>	<b>Análise estatística descritiva e predição espacial do vigor vegetativo</b> .	<b>39</b>
<b>3.8.2</b>	<b>Estabilidade espaço-temporal e similaridade entre predições do vigor vegetativo inferido segundo diferentes índices de vegetação</b> .....	<b>42</b>
<b>3.9</b>	<b>Delimitação de zonas homogêneas do vigor vegetativo</b> .....	<b>47</b>
<b>3.9.1</b>	<b>Concordância interavaliadores adotados para delimitação de zonas homogêneas do vigor vegetativo</b> .....	<b>48</b>
<b>3.10</b>	<b>Delimitação de zonas de manejo fundamentadas no vigor vegetativo</b> .	<b>52</b>
<b>3.11</b>	<b>Validação das zonas de manejo do vigor vegetativo</b> .....	<b>54</b>
<b>3.11.1</b>	<b>Indicadores do vigor vegetativo</b> .....	<b>55</b>
<b>3.11.2</b>	<b>Indicadores do estado hídrico foliar</b> .....	<b>56</b>
<b>3.11.3</b>	<b>Indicadores do desempenho produtivo e da composição das bagas</b> ...	<b>58</b>
<b>3.11.4</b>	<b>Indicadores do armazenamento e da disponibilidade de água no solo</b>	<b>58</b>

3.12	Colheita e vinificação orientadas em função das zonas homogêneas do vigor vegetativo estimado durante o início da maturação das bagas...	61
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	63
4.1	Atributos físico-hídricos do solo	63
4.2	Condições mesoclimáticas	76
4.2.1	Temperatura do ar	76
4.2.2	Umidade relativa do ar	82
4.2.3	Velocidade média do vento	84
4.3	Caracterização fenológica e somatório térmico das cultivares de videiras	97
4.4	Demanda hídrica e fornecimento de água às videiras	100
4.4.1	Evapotranspiração de referência	100
4.4.2	Evapotranspiração da cultura	100
4.4.3	Precipitação pluvial	102
4.4.4	Lâmina de irrigação	103
4.5	Balanço hídrico climatológico e do cultivo	104
4.6	Medidas de reflectância do dossel por sensoriamento proximal e estimativa de índices de vegetação para caracterização do vigor vegetativo das videiras	110
4.6.1	Análise estatística descritiva e predição espacial do vigor vegetativo	110
4.6.2	Estabilidade espaço-temporal e similaridade entre predições do vigor vegetativo inferido segundo diferentes índices de vegetação	128
4.7	Delimitação de zonas homogêneas do vigor vegetativo	143
4.7.1	Concordância interavaliadores adotados para delimitação de zonas homogêneas do vigor vegetativo	150
4.8	Delimitação de zonas de manejo fundamentadas no vigor vegetativo	158
4.9	Validação das zonas de manejo	164
4.9.1	Indicadores do vigor vegetativo	164
4.9.2	Indicadores do estado hídrico foliar	170
4.9.3	Indicadores do desempenho produtivo e da composição das bagas	173
4.9.4	Indicadores do armazenamento e da disponibilidade de água no solo	190

4.10	Colheita seletiva e vinificação orientada em função das zonas homogêneas do vigor vegetativo estimado durante o início da maturação das bagas .....	201
5	CONCLUSÕES .....	206
	REFERÊNCIAS .....	209



## 1 INTRODUÇÃO

A diferenciação das práticas de manejo segundo a variabilidade das áreas cultivadas é um pressuposto considerado pela agricultura de precisão (AP), cuja abordagem fundamenta-se na predição espacial de variáveis regionalizadas, utilizada para a gestão estratégica de recursos naturais e de insumos. Desta forma, a caracterização espacial dos fatores da produção agrícola resulta na delimitação de subdivisões homogêneas nas áreas de cultivo, denominadas unidades de gestão diferenciada ou zonas de manejo, que passam a ser tratadas distintamente.

A influência da variabilidade das condições naturais sobre a atividade agrícola é de importância notória no cultivo de videiras destinadas à elaboração de vinhos. Isso ocorre pois a associação de múltiplos fatores ambientais repercute na maturação das uvas, condicionando a composição das bagas e a expressão das suas características enológicas. Neste contexto, o termo francês *terroir* é adotado para diferenciação organoléptica de vinhos obtidos em uma conjuntura de premissas ecossistêmicas distintas. Conforme destacado por van Leeuwen (2010), o *terroir* representa o resultado da relação entre componentes climáticos, geológicos, geomorfológicos, edáficos e antrópicos, que deve ser compreendido a partir de uma avaliação pluridisciplinar. Dada a sua importância, a diferenciação de vinhos conforme à distinção de *terroirs* tem sido evidenciada pela literatura recente (FERNÁNDEZ-MARÍN et al., 2013; ROULLIER-GALL et al., 2014; FORONI et al., 2017).

A caracterização das condições ambientais reinantes é usualmente aplicada na atribuição da denominação de origem (*appellation d'origine*), conceito adotado para regionalização da vitivinicultura e definição da tipicidade de vinhos. Assim, na demarcação de regiões vitícolas quanto à regularidade de características ambientais exclusivas, destaca-se o termo "*l'unité de terroir naturel*" (unidades naturais de terroir) (LAVILLE, 1993). Esta expressão refere-se à identificação da uniformidade quanto às características ambientais inerentes às localidades tipicamente produtoras, levando-se em conta divisões territoriais de grande extensão (CAREY et al., 2009; ROTARU et al., 2010; PRIORI et al., 2014; KARLÍK et al., 2018; SLAVE et al., 2019). Entretanto, esse campo de estudo tem reorientado a sua abrangência, convergindo para o desenvolvimento de pesquisas mais aplicadas, em oposição às descrições regionais mais amplas (VAUDOUR et al., 2015). Desta forma, em virtude do constante desenvolvimento de tecnologias de sensoriamento e da crescente disponibilidade de

dados espaciais, essa concepção prioriza a caracterização da variabilidade particular de cada vinhedo, a qual torna-se de maior relevância para o viticultor (VAUDOIR et al., 2015).

Dentre as variáveis de interesse comumente monitoradas para representação da variabilidade dos vinhedos destaca-se a o vigor vegetativo das videiras, uma vez que a desuniformidade dessa característica revela a discrepância no que diz respeito às condições ambientais intrínsecas de uma área cultivada. Essa descontinuidade resulta, principalmente, da irregularidade quanto à distribuição de atributos edáficos relacionados a disponibilidade de água e nutrientes no solo. De outra maneira, as características genótípicas das cultivares copa e porta-enxerto em interação com os demais fatores ambientais influenciam igualmente a sua expressão vegetativa. Assim, torna-se viável considerar a distribuição dos padrões de variação espaço-temporal do vigor vegetativo para fundamentar o emprego da AP no cultivo de videiras, atividade denominada viticultura de precisão (VP) (BRAMLEY e PROFFITT, 1999). Neste sentido, as aplicações da VP realizadas conforme a variabilidade espacial do vigor vegetativo das videiras, têm sido avaliadas especialmente para a orientação da colheita de cachos (BEST et al., 2005; TROUGHT e BRAMLEY, 2011; MARTÍNEZ-CASASNOVAS et al., 2012; ARNÓ e MARTÍNEZ-CASASNOVAS, 2017).

Nas aplicações de VP, a inferência quanto ao estado de desenvolvimento vegetativo de videiras é feita por meio da estimativa de índices de vegetação (IV), calculados a partir da reflectância ( $\rho$ ) do dossel das videiras. Os IV são medidas quantitativas utilizadas para o monitoramento da cobertura vegetal de superfícies cultivadas ou naturais, uma vez que o seu cálculo está diretamente relacionado com as propriedades ópticas características das folhas. Logo, considerando-se que  $\rho$  é uma propriedade fisicamente definida de um dado material, a sua utilização se torna ideal para o processo de captura de dados por meio de sensoriamento (HAKALA et al., 2018). Contudo, admitindo-se que as diferentes cultivares de videira apresentam características distintas quanto a sua expressão vegetativa, essa condição deve ser considerada na escolha de um IV capaz de representá-la de forma apropriada.

A caracterização do vigor vegetativo das videiras torna-se especialmente importante em áreas produtivas que estão em processo de consolidação, as quais buscam a distinção de *terroirs* em seus vinhedos. Sob esta perspectiva, destaca-se o cultivo de variedades de videiras destinadas a produção dos denominados “vinhos de altitude” ou “vinhos de inverno”, que vem se estabelecendo na região da Serra da

Mantiqueira, ao Sul de Minas Gerais e no Nordeste de São Paulo. A atividade se desenvolve em condições particulares de clima e relevo com a adoção de práticas de manejo que favorecem a viabilidade técnica e econômica da vitivinicultura local, contribuindo para o processo de expansão e diversificação de regiões produtoras nacionais. Dentre essas práticas, destaca-se a implementação da dupla poda anual, efetuada com a finalidade de coincidir o período entre a maturação e a colheita das uvas com épocas do ano (outono e inverno) que apresentam condições climáticas favoráveis a maturação das bagas e a obtenção de vinhos de melhor qualidade.

No contexto da produção agrícola contemporânea, o desenvolvimento da vitivinicultura perpassa a expansão de áreas produtivas e a implementação de tecnologias de manejo, uma vez que engloba igualmente a necessidade de adoção de práticas de VP. A reconhecida necessidade de redução de impactos ambientais resultante da racionalização do uso dos insumos agrícolas, associada à possibilidade de gestão da variabilidade dos vinhedos, fundamentam a delimitação de unidades de *terroir* em escala local e a conseqüente implementação da VP.

Desta forma, o presente estudo apresenta um caráter descritivo, cujo objetivo foi caracterizar as condições de cultivo de videiras viníferas irrigadas, implantadas em áreas comerciais no nordeste do estado de São Paulo e delimitar zonas homogêneas do vigor vegetativo a partir da predição espacial de IV. Posteriormente, a pesquisa propôs a avaliação dos padrões de distribuição espaço-temporal da expressão vegetativa das videiras, para fins de definição de zonas de manejo e diferenciação de aspectos produtivos e qualitativos de uvas e vinhos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Panorama da viticultura nacional e no Estado de São Paulo

A videira (*Vitis* L.), situada pela botânica sistemática na divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, subclasse Rosidae, ordem Rhamnales, família Vitaceae é caracterizada como um arbusto com caule sarmentoso e trepador, que se fixa a suportes naturais ou artificiais, mediante órgãos especializados (QUEIROZ-VOLTAN e PIRES, 2003). Segundo Keller (2010a), essas plantas estão entre as primeiras espécies frutíferas a serem domesticadas e representam um dos cultivos mais economicamente importantes para a fruticultura mundial.

Dentre as espécies pertencentes ao gênero *Vitis*, a videira europeia (*Vitis vinifera* L.) foi aquela que deu origem a maioria das variedades cultivadas atualmente (KELLER, 2010a). A espécie mencionada, originária do centro da Ásia Central, em regiões que apresentam o clima típico mediterrâneo (PEDRO JÚNIOR e SENTELHAS, 2003), tem versatilidade de cultivo atrelada às suas diferentes finalidades, ou seja, de acordo com o destino e a forma de consumo da sua produção. Isso torna possível classifica-las, em termos comerciais em uvas para consumo *in natura* ou uvas para mesa, uvas para sucos, uvas para passas e uvas para vinhos (LEÃO et al., 2009).

No âmbito nacional, a viticultura iniciou-se com a chegada dos colonizadores portugueses no século XVI, porém tornou-se uma atividade comercial a partir do século XX, por iniciativa de imigrantes italianos assentados na região Sul do país (PROTAS et al., 2006; CAMARGO et al., 2011). Neste contexto, o cultivo de uvas americanas (*Vitis labrusca*) foi predominante desde os períodos iniciais da atividade até meados do século XX, quando se iniciou o plantio de videiras europeias (CAMARGO et al., 2011). Destaca-se que a viticultura brasileira ficou limitada às regiões Sul e Sudeste até a década de 1960, quando, a partir de então, o cultivo da uva expandiu-se como alternativa econômica para outras regiões do país (CAMARGO et al., 2011).

Hodiernamente, a viticultura brasileira apresenta características regionais particulares uma vez que se desenvolve sob condições de clima temperado (regiões da Fronteira, Serra do Sudeste e Serra Gaúcha, no Estado do Rio Grande do Sul, sudeste de São Paulo e sul de Minas Gerais), subtropical (região Norte do Paraná) e



tropical (Noroeste de São Paulo, Norte de Minas Gerais e Vale do Submédio São Francisco, mais especificamente nos Estados de Pernambuco e Bahia) (PROTAS et al., 2006; MELLO, 2019). Comercialmente, a viticultura brasileira exerce importante papel econômico no contexto de pequenas propriedades, bem como representa uma fonte de empregos e renda resultante do investimento de empresas privadas (MELLO, 2019). Neste sentido, no que se refere a safra de 2020, a viticultura brasileira apresentou uma área plantada e colhida equivalente a 74.840 e 73.557 ha, respectivamente, com uma produção total de 1.441.832 Mg e produtividade de 19.602 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2020). Conforme essas informações, a região Sul do país representou 73,28% da área cultivada total, seguida pela região Nordeste (13,88%) e Sudeste (12,53%). Por sua vez, a produção referente as regiões Sul, Nordeste e Sudeste correspondeu a 59,25, 28,73 e 11,68% do total, respectivamente.

No que concerne ao cultivo de uvas para elaboração de vinhos (vitivinicultura), esta atividade iniciou-se no Brasil por volta de 150 anos atrás com a chegada de imigrantes italianos às regiões Sudeste e Sul do país. Portanto, pode-se afirmar que a vitivinicultura nacional é uma atividade historicamente recente em comparação àquela desenvolvida em países produtores tradicionais, tais como França e Itália, que ocupam as primeiras posições mundiais em área e produção (MARIN et al., 2008). Atualmente, tomando como base os dados de empresas do Rio Grande do Sul pertinentes ao ano de 2018, a comercialização nacional de vinhos finos, elaborados com uvas *Vitis vinifera* L., foi equivalente a 15,40 milhões de litros, enquanto aquela referente aos vinhos de mesa, produzido com uvas americanas e híbridas, foi igual a 192,10 milhões de litros (IBRAVIN, 2018). No mesmo ano, a importação de vinhos originários do Chile, Argentina, Itália, França, Portugal, dentre outros países, representaram um total de 116,60 milhões de litros (IBRAVIN, 2018).

Assumindo-se o cultivo de videiras desenvolvido especificamente no estado de São Paulo, desde o final do século XIX até a primeira metade do século XX, Romero (2004) revela pontos importantes que permitiram o desenvolvimento da atividade na região. Dentre esses, destacam-se a associação de condições climáticas e relevo favoráveis, as políticas de imigração e colonização, as possibilidades da diversificação agrícola a partir de 1930 e o papel da pesquisa e da assistência agrícola por parte dos órgãos estatais (ROMERO, 2004). Neste contexto, a viticultura paulista teve sua origem na região Leste, no entorno da capital do estado e do município de Campinas, expandiu-se para o município de São Roque e posteriormente para a região de Jundiaí

nas primeiras décadas do século XX e ganhou expressão no Noroeste do estado, na década de 1980 (PROTAS e CAMARGO, 2011). Na região Leste, a atividade se desenvolve mediante o sistema tradicional de cultivo de uvas para mesa, cuja variedade Niágara Rosada (*Vitis labrusca*) é a predominante, enquanto a produção de uvas finas de mesa, a exemplo das cultivares Itália, Rubi e Benitaka (*Vitis vinifera* L.), concentra-se nos municípios de São Miguel Arcanjo e Pilar do Sul (PROTAS, 2011 e CAMARGO). Por sua vez, na região Noroeste, a viticultura converge para o município de Jales, sobretudo no que se refere a produção de uvas Niágara Rosada. Destaca-se ainda a expansão e diversificação da atividade no estado, em razão do cultivo recente de variedades destinadas a elaboração de vinhos finos, estabelecido em municípios como São Carlos, Espírito Santo do Pinhal, Itobi e Divinolândia (PROTAS e CAMARGO, 2011).

Segundo o censo agropecuário de 2017, no referido estado, os municípios de São Miguel Arcanjo, Jundiaí e Indaiatuba figuraram entre aqueles com maior área colhida no que se referiu a produção de uvas para mesa, a qual correspondeu a 1.460, 814 e 586 ha, respectivamente (IBGE, 2017). Por sua vez, as maiores produções foram obtidas nos municípios de São Miguel Arcanjo, Indaiatuba e Pilar do Sul, e equivaleram a 12.094, 5.154 e 5.021 Mg, nesta ordem (IBGE, 2017). No cultivo de uvas para processamento e elaboração de vinhos ou sucos, destacou-se o município de Jundiaí, com maior área colhida (1.482 ha) e maior quantidade produzida (235 Mg) (IBGE, 2017).

De acordo com o zoneamento pedoclimático realizado por Marin et al. (2008), mais de 70% do Estado de São Paulo apresenta aptidão edáfica para o cultivo da videira, porém o potencial vitícola regional é mais proeminente nas estações de outono e inverno, pois estas apresentam condições climáticas favoráveis a maturação das uvas. Nesse sentido, uma das opções para transferência da safra para o período mencionado diz respeito a adoção de práticas de manejo, a exemplo da dupla poda, atualmente empregada para produção de uvas para mesa e também para vinhos finos no Estado de Minas Gerais (MOTA et al., 2010). Conforme esse manejo, realiza-se uma poda de formação dos ramos produtivos, em meados de agosto, seguida de uma poda de produção dos ramos lignificados a partir do mês de janeiro, possibilitando o início da maturação em abril e colheita nos meses de junho e julho (REGINA et al., 2006). Desta forma, o manejo de dupla poda pode representar uma nova perspectiva para o desenvolvimento da viticultura paulista.

## 2.2 Agricultura de precisão no contexto da vitivinicultura

O conceito de agricultura de precisão (AP) faz referência a utilização de um conjunto de tecnologias que tem por finalidade, a caracterização espacial de variáveis pertinentes aos sistemas produtivos (OLIVEIRA E GREGO, 2015). Neste sentido, esta abordagem possibilita o manejo estratégico dos fatores de produção, de acordo com a variação espacial e temporal que esses apresentam (OLIVEIRA e GREGO, 2015). Assim, a adoção da AP, considera a heterogeneidade das condições determinantes para o desenvolvimento dos cultivos no gerenciamento da lavoura, de modo a incrementar a eficiência do processo produtivo. Trabalhos que demonstram a utilidade do manejo localizado são relatados desde o início do século XX, porém a aplicação prática dessa abordagem remete aos anos de 1980, a partir da elaboração de mapas de produtividade na Europa e da realização de adubações automatizadas a taxa variável nos Estados Unidos (MOLIN et al., 2015a).

Para a adoção da AP, a avaliação da heterogeneidade das áreas cultivadas implica na caracterização da dependência espacial de variáveis de interesse. Esse processo é fundamentado no monitoramento georreferenciado dessas condições e na sua predição espacial, comumente obtida por meio da geoestatística, adotada para fins de análise variográfica, seguida da interpolação por krigagem para estimativa de valores em locais não observados. Neste contexto, o monitoramento intensivo de atributos ambientais é possível graças a adoção de tecnologias específicas, a exemplo dos sistemas de informações geográficas (SIG) e das técnicas e equipamentos de sensoriamento remoto e proximal aplicados a agricultura. Por sua vez, a análise geoestatística tem como finalidade a caracterização de uma variável a partir do estudo de sua distribuição e variabilidade espaciais, além da determinação das incertezas associadas (YAMAMOTO e LANDIM, 2013). Por fim, o resultado da caracterização espacial de múltiplas variáveis pode ser representado pela delimitação de zonas de manejo, que resultam na categorização das áreas de cultivo conforme regionalizações que apresentam características uniformes (CÓRDOBA et al., 2016).

Uma vez que a adoção da AP permite o melhor gerenciamento dos cultivos, maximizando os retornos em função do uso racional dos recursos produtivos, essa abordagem vem sendo incluída no contexto da vitivinicultura. Por essa razão, as pesquisas pertinentes ao cultivo de videiras para elaboração de vinhos têm se ocupado da análise e implementação de ferramentas e técnicas geoespaciais e de

sensoriamento remoto para monitoramento da cultura, visando a tomada de decisão quanto ao manejo da mesma (MATHEWS, 2013). Conforme Arnó et al. (2009), as pesquisas aplicadas a adoção da AP na vitivinicultura direcionam-se para quatro áreas principais: a quantificação e avaliação da variabilidade dos vinhedos; o delineamento de zonas homogêneas; o desenvolvimento de tecnologias de aplicação a taxa variável e a avaliação de oportunidades para a gestão e manejo sítio-específico. Assim, em razão da aplicabilidade da AP para o incremento do potencial enológico dos vinhedos, Bramley e Proffitt (1999) pontuam o termo “viticultura de precisão” (VP), o qual representa uma subdivisão dessa abordagem.

As principais aplicações da VP fazem referência a caracterização dos vinhedos conforme o estado de desenvolvimento vegetativo e a estrutura do dossel das videiras, por meio de dados obtidos remotamente, em especial de imagens multiespectrais provenientes de sensores embarcados em satélites ou veículos aéreos não tripulados (VANT) (DOBROWSKI et al., 2003; MATESE et al., 2015; BORGOGNO-MONDINO et al., 2018; CASTRO et al., 2018). Além disso, a implementação de sensoriamento proximal, por meio do uso de sensores ópticos de reflectância, tem sido aplicada como alternativa ao sensoriamento remoto para a mesma finalidade (MAZZETO et al., 2010; STAMADIADIS et al., 2010; JUNGES et al., 2017; JUNGES et al., 2019). Este último método, trata da utilização de sensores embarcados em implementos agrícolas ou carregados manualmente, que atuam nas proximidades dos alvos (MOLIN et al., 2015b).

Um conceito especialmente importante que oportuniza a adoção da VP no cultivo de videiras para elaboração de vinhos diz respeito a regionalização de áreas vitícolas segundo a variabilidade característica quanto as condições ambientais circundantes. Desta forma, destaca-se o termo *terroir*, utilizado para classificação de comidas e bebidas em relação ao seu local específico de produção e às características organolépticas que esses locais proporcionam aos produtos, o que o torna especialmente importante na classificação de vinhos (CAPPELIEZ, 2017). Logo assumindo-se a existência da variabilidade dos vinhedos, e a importância da sua diferenciação em termos de *terroir*, é possível verificar a influência dessas variações nos aspectos produtivos da cultura da videira por meio da aplicação das técnicas oriundas da VP. Por essa razão, Trought e Bramley (2011) destacam que a colheita seletiva em vinhedos, realizada em resposta a variabilidade espacial e temporal dos vinhedos, associada ao conhecimento sobre a sua fisiologia e seus efeitos sobre a

maturação das uvas, bem como aos objetivos do viticultor, podem resultar em otimização dos resultados da produção. Neste sentido, a colheita seletiva orientada pela caracterização do vigor vegetativo das videiras para avaliação de parâmetros de qualidade e produção foi relatada por Best et al. (2005), Trought e Bramley (2011), Martinez-Casasnovas et al. (2012).

### **2.3 Estimativa da variabilidade do vigor vegetativo por meio de índices de vegetação**

Dentre as variáveis de interesse consideradas nas aplicações da VP para caracterização da variabilidade de vinhedos, destaca-se a importância da inferência sobre o vigor vegetativo das videiras. Isso se justifica pois o adensamento do dossel das plantas, proporcional ao vigor vegetativo, é uma característica que afeta o microclima, ou seja, as condições imediatamente adjacentes à copa e aos frutos. Assim, esse atributo influencia a intensidade da luz solar que atravessa as camadas de folhas, bem como a temperatura, a umidade e a evaporação da água sobre superfícies foliares úmidas (SMART e ROBINSON, 1992). Conseqüentemente, aspectos fisiológicos são também afetados, a exemplo da eficiência fotossintética, transpiração, respiração, translocação de nutrientes e as relações hídricas ao se comparar as folhas no interior e exterior do dossel (SMART e ROBINSON, 1992).

Uma vez que os métodos para estimativa direta do vigor vegetativo podem ser dispendiosos e, levando-se em conta a necessidade de monitoramento intensivo da variabilidade desse atributo no contexto da VP, a expressão vegetativa das videiras pode ser avaliada por meio de índices de reflectância espectral, denominados índices de vegetação (IV). Os IV se constituem em medidas quantitativas relacionadas a presença e vigor da biomassa cobrindo superfícies naturais ou cultivadas, uma vez que a sua estimativa está associada com a assinatura espectral característica da vegetação quanto a reflectância ( $\rho$ ) da energia eletromagnética. Os índices de vegetação são comumente calculados pela razão ou diferença normalizada entre as medidas da reflectância, obtidas em duas ou mais bandas espectrais (comumente na faixa do vermelho visível e infravermelho), resultante de parte da radiação solar que interage com as folhas. Dentre os IV, o índice de vegetação por diferença normalizada ou NDVI (*normalized difference vegetation index*) (ROUSE et al., 1974), é comumente

citado na literatura e um dos mais empregados para caracterização do vigor vegetativo de superfícies vegetadas naturais ou cultivadas.

Nas plantas, a reflexão da energia eletromagnética é influenciada pelas características individuais dos órgãos vegetais, a exemplo da do tipo e estágio de crescimento e da organização, estrutura e textura do dossel (ROY, 1989). Contudo, uma característica marcante da dispersão do espectro de  $\rho$  relacionado a uma folha verde diz respeito ao contraste resultante da absorção máxima da clorofila a  $0,69 \mu\text{m}$  e a reduzida absorção na região do infravermelho a  $0,85 \mu\text{m}$  (MYNENI, et al., 1995). Por sua vez, as propriedades únicas da  $\rho$  associada a vegetação se correlacionam com aspectos agrônômicos das culturas, a exemplo da área foliar (VIÑA et al., 2010), do estado nutricional e fitossanitário dos cultivos (CAMMARANO, et al, 2014; FENG et al., 2017), bem como com os atributos físicos e químicos do solo (BERNARDI, et al., 2017). Por esta razão, a avaliação da variabilidade espacial do vigor vegetativo das videiras por meio dos IV representa um importante indicador da condição dos vinhedos e torna-se imprescindível para o monitoramento intensivo, delimitação de zonas de manejo e posterior adoção de práticas de VP.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização das áreas experimentais

As avaliações descritas no presente estudo foram realizadas no decorrer dos ciclos de produção de 2018 e 2019 em três vinhedos comerciais, denominados áreas experimentais A1, A2 e A3, implantados na Fazenda Santa Inês, pertencente à Vinícola Guaspari, localizada no município de Espírito Santo do Pinhal (22°11'27"S, 46°44'27"O), o qual está situado na região nordeste do Estado de São Paulo, Brasil.

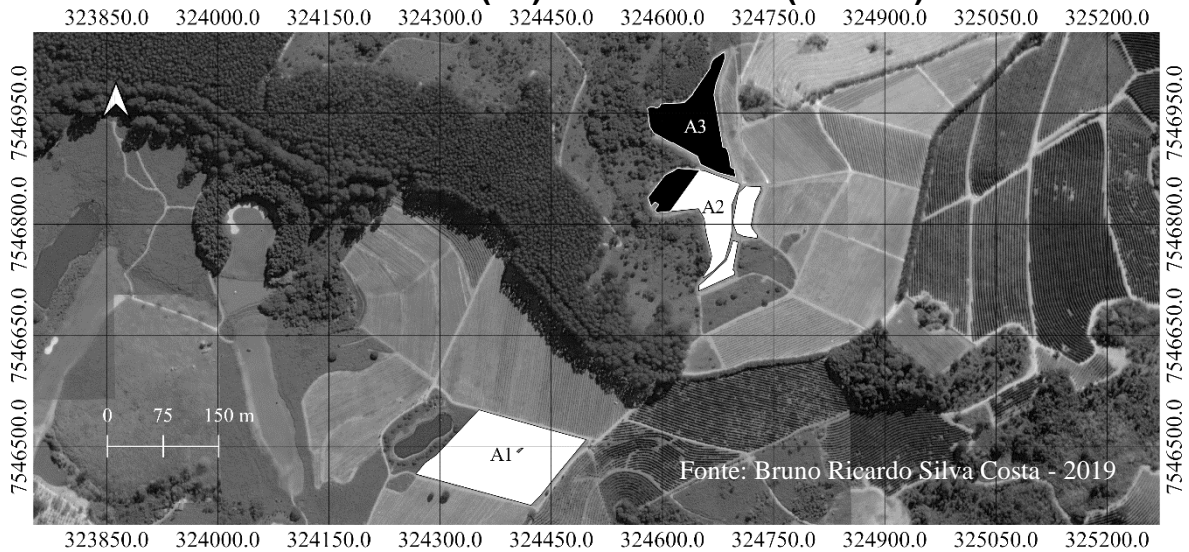
Os vinhedos estabelecidos na propriedade em questão foram agrupados em subdivisões denominadas "Vistas", as quais apresentavam características distintas, em especial quanto à topografia, e representavam os diferentes *terroirs* produzidos localmente. Neste sentido, as áreas experimentais consideradas nesta pesquisa compuseram parcialmente a "Vista da Mata" (A1) e a "Vista do Vale" (A2 e A3).

Nos vinhedos avaliados encontravam-se implantadas as cultivares Cabernet Franc (A1 e A2) e Cabernet Sauvignon (A3) (*Vitis vinifera* L.), ambas castas de uvas tintas destinadas à produção de vinhos finos, e enxertadas sobre o porta-enxerto Paulsen 1103 (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*). Detalhes da localização e das principais características pertinentes às áreas experimentais são descritos na Tabela 1. Os limites e as curvas altimétricas dispostas ao longo das mesmas, além da orientação das fileiras de plantas, são apresentados nas Figuras 1 e 2.

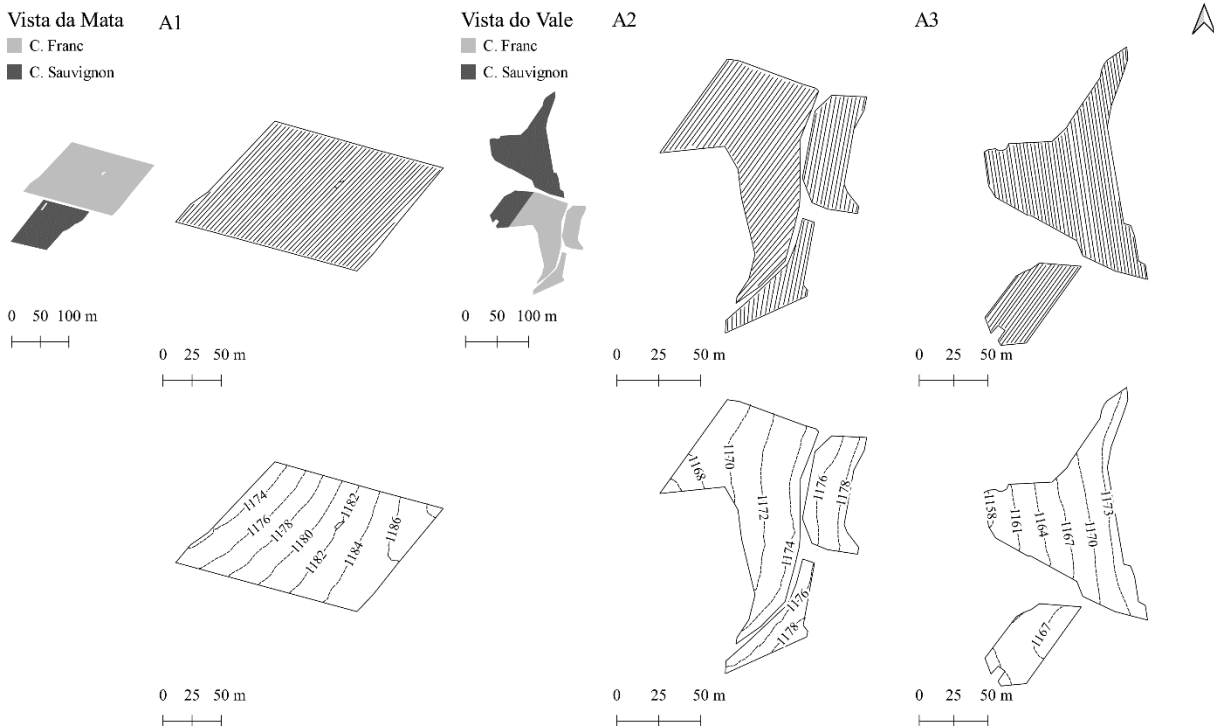
**Tabela 1 - Principais informações sobre as áreas experimentais A1, A2 e A3**

	Vista da Mata		Vista do Vale
	A1	A2	A3
Coordenadas	22°10'41,11"S	22°10'30,58"S	22°10'26,50"S
	46°42'11,77"O	46°42'1,20"O	46°42'2,29"O
Altitude (m)	1177 - 1188	1168 - 1188	1165 - 1182
Ano de plantio	2006	2010	2010
Área total (ha)	1,50	0,82	0,97
Nº de plantas	4.977	3.283	3.883
Espaçamento entre fileiras e plantas (m)	3,0 x 1,0	2,5 x 1,0	2,5 x 1,0
Orientação predominante das fileiras	NE - SW	NE - SW	NW - SE

**Figura 1 - Localização e distribuição das áreas experimentais componentes da Vista da Mata (A1) e Vista do Vale (A2 e A3)**



**Figura 2 - Contornos das áreas experimentais componentes da Vista da Mata (A1) e Vista do Vale (A2 e A3) e disposição das fileiras de plantas e das curvas altimétricas**



O clima de abrangência da região onde se localizavam as áreas experimentais foi categorizado como Cwa, ou seja, subtropical úmido (C), com inverno seco (w) e verão quente (a) (ALVARES et al., 2013), segundo a classificação de Köppen. Conforme os critérios estabelecidos por essa especificação, a temperatura do ar do



mês mais frio se situa entre -3 e 18°C e, no mês mais quente, esta é maior ou igual a 22°C. Além disso, conforme indicado pela classificação mencionada, a precipitação pluvial total do mês mais seco do ano é inferior a 40,00 mm. Ressalta-se que o clima subtropical (C) é predominante em 13,70% do território brasileiro, em especial nos platôs e montanhas da Região Sul (ALVARES et al., 2013). Por sua vez, a classificação climática Cwa, típica da Região Sudeste, é identificada em 2,50% da área territorial do Brasil e em 17,40% da extensão do Estado de São Paulo (ALVARES et al., 2013).

O relevo das áreas experimentais apresentou discrepâncias quanto a sua classificação, uma vez que variou entre suave ondulado, ondulado e forte ondulado (SANTOS et al., 2018). Valores médios e seus respectivos desvios padrões ( $\bar{x} \pm sd$ ) correspondentes à declividade, estimada por meio de modelos digitais de elevação (MDE, resolução 0,50 m) e expressa em graus e percentagem, respectivamente, foram iguais à  $5,30 \pm 2,00^\circ$  e  $9,29 \pm 3,53\%$  (A1),  $7,41 \pm 2,81^\circ$  e  $13,03 \pm 5,02\%$  (A2) e  $9,21 \pm 2,76^\circ$  e  $16,25 \pm 4,95\%$  (A3). A amplitude de variação desse atributo topográfico (valor máximo – valor mínimo), representada em graus e percentagem, nesta ordem, foi equivalente à  $16,72^\circ$  ( $16,73 - 0,02^\circ$ ) e  $30,03\%$  ( $30,06 - 0,03\%$ ) (A1),  $21,36^\circ$  ( $21,46 - 0,10^\circ$ ) e  $39,14\%$  ( $39,32 - 0,18\%$ ) (A2) e  $19,56^\circ$  ( $19,78 - 0,22^\circ$ ) e  $35,57\%$  ( $35,96 - 0,39\%$ ) (A3).

A irregularidade dos vinhedos quanto à classificação da sua declividade foi explicada pela magnitude da variabilidade relativa em torno da média (coeficiente de variação, CV%) referente à elevação da sua superfície. Esta medida de variação, correspondente a declividade expressa em graus e percentagem, respectivamente, foi equivalente à  $37,77$  e  $37,98\%$  (A1),  $37,92$  e  $38,55\%$  (A2) e  $29,96$  e  $30,43\%$  (A3). Desta forma, as áreas experimentais implantadas com a cv. Cabernet Franc (A1 e A2) apresentaram-se pouco mais variáveis quanto à declividade média do terreno em comparação àquela cultivada com a cv. Cabernet Sauvignon (A3).

A orientação das vertentes (aspecto) das áreas experimentais assumiu valores médios seguidos de desvios padrões ( $\bar{x} \pm sd$ ) equivalentes a  $295,60 \pm 40,57^\circ$  (A1),  $279,49 \pm 32,14^\circ$  (A2) e  $266,05 \pm 22,13^\circ$  (A3), os quais corresponderam a uma dispersão relativa em torno da média equivalente a  $13,73$ ,  $11,50$  e  $8,32\%$ , nesta ordem. Deste modo, a variação da declividade nos vinhedos e a sua consequente exposição se deu, predominantemente, no sentido noroeste (NW) (A1) e oeste (W) (A2 e A3). Destaca-se ainda que, na Vista do Vale, a orientação no sentido W foi mais

evidente na área experimental cultivada com a cv. Cabernet Sauvignon (A3) em comparação àquela implantada com a cv. Cabernet Franc (A2), em razão da menor variabilidade relativa em torno da média no que se referiu a esse atributo.

Os MDE utilizados para a caracterização da declividade e aspecto do terreno foram obtidos a partir da predição espacial, realizada por meio de interpolação geoestatística de dados altimétricos georreferenciados. Os dados de elevação obtidos por meio da interpolação por krigagem ordinária foram posteriormente importados em SIG (Sistema de Informações Geográficas) para aplicação de algoritmos destinados a estimativa dos atributos topográficos mencionados anteriormente.

O solo das áreas experimentais foi classificado majoritariamente como Cambissolo háplico Tb, porém esta categorização variou entre eutrófico e distrófico epieutrófico (grande grupo) e entre típico, léptico ou petroplíntico (subgrupo) (SANTOS et al., 2018). Contudo, amostras representativas destas duas últimas classes foram menos recorrentes nos três vinhedos. A sequência de horizontes Ap (removido) (0 a 0,20 m), seguido do horizonte subsuperficial B incipiente (Bi) (0,20 a 0,70 m), e C (0,70 a 1,00 m), este último constituído pelo material pouco consolidado, foi predominante na classificação dos horizontes diagnósticos em todas as áreas experimentais. Destaca-se que a classificação dos solos dos vinhedos foi obtida a partir de uma amostragem realizada em seis (A1 e A2) e quatro (A3) pontos dispostos ao longo dos vinhedos, por meio de prospecções feitas no perfil do solo com auxílio de trado holandês em intervalos regulares de 0,20 m de profundidade.

### **3.2 Sistemas de condução, poda e duração dos ciclos de produção das cultivares de videiras**

Em todas as áreas experimentais avaliadas adotou-se o sistema de condução em espaldeira, o qual propiciou a sustentação das videiras conforme a orientação vertical do seu dossel. Esse arranjo assegurou o desenvolvimento de uma estrutura da copa consoante com o hábito de crescimento natural dos ramos da maioria das variedades de *Vitis vinifera* (SMART e ROBINSON, 1992).

O sistema de poda de formação adotado nos vinhedos foi do tipo Royat unilateral, por meio do qual foi direcionado um único cordão esporonado (ramo principal) por planta. Este ramo se localizou a uma altura aproximada de 1,00 m em relação à superfície do solo, enquanto a região de desenvolvimento dos cachos se

situou nos próximos 0,15 ~ 0,20 m acima do mesmo. Por sua vez, o topo do dossel das videiras localizou-se a uma altura aproximada de 2,00 m em relação à superfície do solo, após as plantas atingirem o seu pleno desenvolvimento vegetativo em fases avançadas do ciclo de produção.

Em ambos os ciclos de produção avaliados, os vinhedos considerados neste estudo foram submetidos ao manejo de dupla poda anual, procedimento cuja viabilidade vem sendo estudada pela EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) e referenciada na literatura recente (REGINA et al., 2011; FAVERO et al., 2011; SOUZA et al., 2015). Assim, conforme essa prática, realizou-se uma primeira poda, entre os meses de julho e agosto, subsequente à colheita anterior, para início do ciclo de formação de ramos, durante o qual os cachos foram removidos. Na sequência, após um período de cinco a seis meses, efetuou-se uma segunda poda, dando início ao ciclo de produção do ano corrente. Quanto ao comprimento dos ramos podados destaca-se que, para dar início a fase de formação, deixou-se um número de duas gemas por ramo, enquanto na fase de produção foi considerado um número de quatro gemas por ramo.

O sistema de poda descrito foi adotado com a propósito de coincidir o período disposto entre a maturação e a colheita das uvas com épocas do ano que apresentavam condições climáticas favoráveis ao incremento da qualidade das bagas e dos vinhos elaborados, ou seja, durante as estações de outono e inverno. Dentre essas condições propícias, destacam-se a maior frequência de baixas temperaturas noturnas e a reduzida taxa de precipitação pluvial (MOTA et al., 2006), características das estações supracitadas. Neste sentido, os ciclos de produção avaliados ocorreram no período compreendido entre o verão e o inverno no hemisfério Sul, com poda de formação e produção realizada em agosto e janeiro, respectivamente. A colheita foi então efetuada entre junho e julho, o que resultou em ciclos de duração variável, contabilizada em dias após a poda de produção (dap).

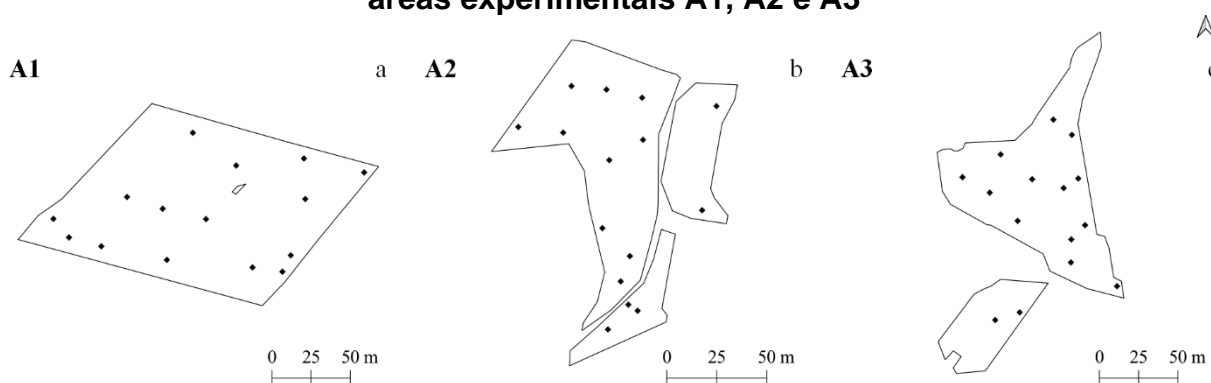
Assim, nos anos de 2017 e 2018, respectivamente, a poda de formação da área pertencente à Vista da Mata (A1) foi realizada em 24/08 e 29/08, enquanto nas áreas correspondentes à Vista do Vale (A2 e A3) esta se deu a partir do dia 23/08 e 15/08. Por conseguinte, a poda de produção da área A1 para início do ciclo produtivo de 2018 e 2019, nesta ordem, foi realizada em 24/01 e 17/01, enquanto a colheita ocorreu em 17/07 (174 dap) e 3/07 (167 dap). Por fim, nas áreas A2 e A3, a poda de produção referente aos anos de 2018 e 2019, respectivamente, se deu em 16/01 e 22/01,

enquanto a colheita ocorreu em 29/07 (164 dap) e 20/07 (160 dap) (A2) e em 01/07 (185 dap) e 31/07 (190 dap) (A3). Assim, os ciclos associados a cv. Cabernet Sauvignon (A3) foram mais prolongados em comparação àqueles correspondentes à Cabernet Franc (A1 e A2) em ambos os anos. Além disso, ressalta-se que apenas os ciclos de produção foram objeto de estudo desta pesquisa.

### 3.3 Atributos físico-hídricos do solo

As análises descritas a seguir foram realizadas a partir de amostras de solo coletadas em quinze pontos distribuídos aleatoriamente ao longo da extensão de cada área experimental, conforme apresentado na Figura 3, assumindo-se os intervalos de profundidade localizados entre 0,00 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m.

**Figura 3 - Localização e distribuição dos pontos de amostragem de solo nas áreas experimentais A1, A2 e A3**



A partir da amostragem, calculou-se a densidade de partículas sólidas ( $d_p$ , adimensional) e do solo seco ( $d_s$ , adimensional), além da porosidade total ( $\alpha$ ,  $m^3 m^{-3}$ ), por meio de relações área-massa-volume (PREVEDELLO, 1996). Neste sentido, a  $d_p$  e a  $d_s$  foram determinadas a partir da razão entre a massa específica de partículas sólidas ( $\rho_p$ ,  $kg m^{-3}$ ) e do solo seco ( $\rho_s$ ,  $kg m^{-3}$ ), respectivamente, e a massa específica da água a 277K ( $1000 kg m^{-3}$ ).

Para a determinação da  $\rho_p$ , utilizou-se uma alíquota de 0,02 kg de solo ( $m_s$ ) seco em estufa ( $105^\circ C$ ,  $\sim 48$  horas), depositada em um volume inicial de  $2,00 \cdot 10^{-5} m^3$  de álcool etílico ( $v_1$ ), contido em uma proveta graduada de  $5,00 \cdot 10^{-5} m^3$  e registrou-se a medida do volume deslocado ( $v_2$ ) pela massa de partículas em questão. Na sequência, a  $\rho_p$  foi calculada de acordo a Equação 1.

$$\rho_p = m_s / \Delta v = m_s / (v_2 - v_1) \quad (1)$$

As estimativas da  $\rho_s$  e da  $\alpha$  foram obtidas a partir de amostras indeformadas obtidas na profundidade média dos dois intervalos considerados na amostragem, utilizando-se anéis volumétricos de dimensões conhecidas ( $v_t$ ,  $9,82 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ ). Essas amostras foram submetidas a secagem em estufa ( $105^\circ\text{C}$ , 48 horas) para posterior obtenção da massa de solo seco ( $m_s$ ). Por fim, o cálculo dos atributos mencionados se deu conforme as Equações 2 e 3.

$$\rho_s = m_s / v_t \quad (2)$$

$$\alpha \approx 1 - \rho_s / \rho_p \quad (3)$$

A quantificação das proporções correspondentes a cada fração granulométrica do solo foi realizada conforme o método descrito por Vaz et al. (1992) e Naime et al. (2001), utilizando-se um analisador automático de raios gama. Assim, com base nos resultados referentes à porcentagem de partículas sólidas de diferentes diâmetros, a distribuição do tamanho das mesmas foi determinada segundo o ajuste da equação unimodal proposta por Fredlund et al. (2000), modificada a partir do modelo original descrito por Fredlund e Xing (1994). Por sua vez, as curvas características do solo foram obtidas com base nos resultados da distribuição cumulativa de partículas sólidas, por meio de ajustes da função simplificada desenvolvida por Pham e Fredlund (2008). Tal equação foi fundamentada na relação entre o conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ,  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e o potencial matricial ( $\psi_m$ ), estimada segundo o método proposto por Arya e Paris (1981), conforme descrito por Vaz et al. (2005).

A disponibilidade total de água (DTA,  $\text{mm cm}^{-1}$ ) (BERNARDO et al., 2009) nas camadas de solo dos vinhedos foi então definida conforme a diferença entre os limites superior e inferior de armazenamento, equivalentes a umidade volumétrica ( $\theta$ ) referente a capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) e ao ponto de murcha permanente ( $\theta_{pm}$ ), nesta ordem. Essas medidas foram obtidas admitindo-se os valores de  $\theta$  correspondentes ao  $\psi_m$  de 1/10 ( $\sim 103,33 \text{ cm}$ ) e 15 atm ( $\sim 15498,84 \text{ cm}$ ), respectivamente, de acordo com as curvas características ajustadas. Desta forma, a DTA foi calculada segundo a Equação 4, como se segue:

$$DTA = (\theta_{cc} - \theta_{pm}) 10 \quad (4)$$

Dada a espessura das camadas ( $z = 0.20$  m), a capacidade total de água no solo (CTA, em mm) (BERNARDO et al., 2009) foi definida segundo a Equação 5.

$$CTA = DTA \cdot z \quad (5)$$

Para a determinação da distribuição do tamanho de partículas sólidas e ajuste das curvas características foram utilizadas amostras deformadas coletadas nos mesmos pontos onde foram obtidas as amostras indeformadas utilizadas para avaliação das relações área-massa-volume descritas anteriormente. Além disso, uma vez que os atributos foram estimados a partir de amostras coletadas em pontos georreferenciados, a predição espacial dos mesmos foi realizada por meio de funções de base radial, adotando-se o interpolador determinístico *thin plate spline* (spline suave) para esta finalidade.

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

Posteriormente, foram investigadas as possíveis diferenças entre as camadas do perfil no que diz respeito aos atributos do solo, conforme a aplicação de testes paramétricos ou não paramétricos, conforme o caso, admitindo-se os níveis nominais de significância de 1% ( $\alpha = 0,01$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ). Para a escolha do teste estatístico adequado considerou-se a avaliação dos pressupostos de normalidade da distribuição dos dados e homocedasticidade de variâncias. Para esta finalidade foram adotados o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e o teste F para comparação entre duas variâncias. Nos casos em que ambas as suposições foram atendidas, adotou-se o teste t de Student para comparação entre as médias no que diz respeito aos atributos de cada camada. Por sua vez, nos casos em que apenas a suposição da normalidade foi satisfeita, utilizou-se o teste de t de Welch para comparação entre as médias dos atributos pertinentes a cada um dos intervalos de

profundidade considerados. No entanto, quando o pressuposto da normalidade não foi atendido, procedeu-se com o teste não paramétrico da soma dos postos de Wilcoxon-Mann-Whitney, executado no intuito de realizar comparações entre as distribuições dos dados referentes a cada atributo, de modo a identificar diferenças significativas em relação as suas medianas.

### 3.4 Condições mesoclimáticas

A descrição das condições mesoclimáticas predominantes durante os ciclos de produção das cultivares de videira avaliadas foi realizada a partir de observações, registradas em escala temporal diária, da temperatura do ar (máxima, mínima e média, °C), da umidade relativa do ar (%) e da velocidade média do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ). As observações das variáveis meteorológicas destacadas foram relacionadas aos diferentes intervalos entre estádios fenológicos das videiras, identificados de acordo com a progressão do ciclo. Esses intervalos foram agrupados em dois grandes períodos compreendidos entre a poda de produção e o início da maturação dos cachos (P1, *pré-veraison*) e entre esta última fase e a colheita (P2, *pós-veraison*). Conforme definido por Keller (2010), o termo *veraison* foi utilizado neste estudo para denominar a etapa da fenologia das plantas a partir da qual ocorreu um decréscimo na firmeza das bagas e um acréscimo no seu conteúdo de sólidos solúveis, seguido da mudança de coloração das mesmas.

As observações correspondentes as variáveis mesoclimáticas foram obtidas por intermédio de uma estação meteorológica automática, modelo Vantage Pro2 (*Davis Instruments Corporation, California, EUA*), instalada nas proximidades dos vinhedos. A estação em questão localizou-se nas coordenadas 22°10'41.74"S e 46°42'18.74"O, a uma altitude de 1171 m, e encontrou-se afastada do centro das áreas experimentais A1, A2 e A3 por uma distância aproximada de 198, 610, e 665 m, respectivamente.

A análise exploratória dos dados mesoclimáticos se deu por meio da estatística descritiva aplicada aos conjuntos de observações pertinentes as variáveis mencionadas. Assim, foram estimadas medidas de tendência central, dispersão e formato da distribuição dos dados, de modo análogo ao descrito anteriormente no item 3.3. Além da análise exploratória, fez-se a comparação entre os conjuntos de dados de cada uma das variáveis mesoclimáticas registradas em cada período (P1 e P2) de

ambos os ciclos pertinentes a cada área experimental. Esta comparação foi realizada por meio da apreciação visual do deslocamento das curvas atribuídas aos polígonos de frequência absoluta e acumulada, calculadas conforme o percentual de ocorrência de observações situadas entre determinados limites de valores previamente estabelecidos. Essas curvas foram elaboradas em um plano cartesiano, a partir da definição de intervalos de classe de cada variável de interesse e cálculo dos seus valores médios, distribuídos ao longo do eixo x, que foram associados às suas respectivas frequências, posicionadas ao longo do eixo y. De outra forma, as curvas de distribuição de frequência dos parâmetros climáticos também foram comparadas utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) para esse fim, considerando um nível significância de 5% ( $p < 0,05$ ). O teste mencionado foi adotado para identificação de diferenças entre funções de distribuição acumulada conforme a estatística D, que denota a máxima distância vertical entre essas.

### **3.5 Caracterização fenológica e somatório térmico das cultivares de videira**

Para a identificação e nomenclatura dos estádios fenológicos das videiras adotou-se a codificação proposta por Lorenz et al. (1995). Estas etapas foram pontuadas no decorrer dos ciclos de produção e classificadas em subperíodos ou intervalos, conforme descrito na Tabela 2. Em virtude dessa classificação, o período P1 foi compreendido entre os intervalos PS0 e PS4 (BBCH 11 a 75), enquanto o P2 correspondeu ao intervalo PS5 (BBCH 81 a 89), de acordo com a tabela mencionada.

A partir dos dados diários de temperatura média do ar ( $T_{med}$ ), considerando-se uma temperatura basal inferior ( $T_b$ ) de 10°C e temperatura mínima ( $T_{min}$ ) menor que  $T_b$ , contabilizou-se o somatório térmico de graus-dia (GD), denominado constante térmica (GDA), de acordo com a Equação 6. Este índice climático foi relacionado aos intervalos entre fases fenológicas, bem como ao período que compreendeu a totalidade da duração dos ciclos de produção de cada cultivar.

$$GDA = \sum T_{med} - T_b \quad (6)$$



**Tabela 2 - Identificação dos estádios fenológicos das videiras de acordo com a escala BBCH estendida**

Intervalo	Estágio <sup>1</sup>	Código <sup>2</sup>	Estádio fenológico	Descrição
PS0	-	-	Poda de produção	Início do ciclo de produção
PS1	01	11	Emergência de folhas	Primeira folha expandida
PS2	06	65	Floração	Floração plena
PS3	07	73	Chumbinho	Bagas em tamanho “chumbinho”
PS4		75	Ervilha	Bagas em tamanho “ervilha”
PS5	08	81	Pintor ou <i>veraison</i>	Mudança de coloração das bagas
		89	Maturação plena	Frutos maduros para colheita

<sup>1</sup>Estágios principais de crescimento: 01: desenvolvimento das folhas (BBCH 11 a 19); 06: floração (BBCH 60 a 69); 07: desenvolvimento dos frutos (BBCH 71 a 79); 08: maturação dos frutos (BBCH 81 a 89); <sup>2</sup>Código BBCH (LORENZ et al., 1995).

### 3.6 Demanda hídrica e fornecimento de água às videiras

Os conjuntos de dados referentes aos processos de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>, mm) e da cultura (ET<sub>c</sub>, mm) foram utilizados para a contabilização da demanda hídrica estimada no decurso dos ciclos de produção. Além disso, fez-se a análise do fornecimento natural de água às videiras por meio do somatório da precipitação pluvial (P, mm) registrada no período de abrangência dos ciclos.

A ET<sub>o</sub>, fornecida pela estação agrometeorológica automática localizada no entorno das áreas de produção (ver item 3.4), foi estimada diariamente segundo o método de Penman-Monteith FAO (ALLEN et al., 1998). Por sua vez, a ET<sub>c</sub> foi calculada a partir do produto entre a ET<sub>o</sub> e o coeficiente de cultivo (kc, adimensional), de acordo com a Equação 7. Os valores de kc referentes aos intervalos entre as fases fenológicas descritas na Tabela 2 foram iguais a 0,30 (PS0), 0,40 (PS1), 0,50 (PS2), 0,60 (PS3), 0,80 (PS4) e 0,60 (PS5).

$$ET_c = ET_o \cdot kc \quad (7)$$

O fornecimento de água às videiras via irrigação se deu, quando necessário, conforme o critério de reposição da ET<sub>c</sub> diária da cultura (mm dia<sup>-1</sup>), determinada segundo a Equação 8. Considerou-se o valor estabelecido no dia anterior para o cálculo da irrigação a ser realizada no dia vigente. Após a estimativa da ET<sub>c</sub>, fez-se

uma correção do seu valor, segundo a diferença entre este e a precipitação diária que porventura tenha sido registrada, conforme a Equação 8.

$$ET_c' = ET_c - P \quad (8)$$

O método de irrigação adotado nas áreas experimentais foi o localizado, com aplicação de água realizada por meio de sistema de gotejamento, utilizando-se dois emissores por planta, espaçados entre si a cada 0,50 m, os quais apresentaram vazão média de 1,60 L h<sup>-1</sup>. Levando-se em conta o método mencionado, a lâmina líquida (LL) ou irrigação real necessária (IRN, mm dia<sup>-1</sup>) foi equivalente à evapotranspiração média referente à irrigação localizada (ET<sub>L</sub>, mm dia<sup>-1</sup>), calculada conforme a Equação 9 pelo produto entre a ET<sub>C</sub> corrigida e o coeficiente de redução ou fator de ajuste (K<sub>r</sub>, adimensional).

$$LL = IRN = ET_L = ET_c' \cdot K_r \quad (9)$$

O cálculo do K<sub>r</sub> levou em consideração a área de projeção do dossel sobre o solo (A<sub>p</sub>, m<sup>2</sup>). Dessa forma, admitindo-se o espaçamento entre plantas (E<sub>1</sub>, m) e entre linhas (E<sub>2</sub>, m) e a A<sub>p</sub> igual a 1,00 e 0,83 para as áreas da Vista da Mata (A1) e Vista do Vale (A2 e A3), respectivamente, o K<sub>r</sub> foi calculado por meio da Equação 10.

$$K_r = A_p / E_1 \cdot E_2 \quad (10)$$

A partir dos valores de IRN, determinou-se a lâmina bruta (LB) ou irrigação total necessária (ITN, mm dia<sup>-1</sup>) segundo a razão entre a IRN e a eficiência de aplicação (E<sub>a</sub>, %) correspondente a irrigação localizada, admitindo-se um valor de 90% para esse parâmetro, conforme descrito pela Equação 11.

$$LB = ITN = IRN \cdot E_a^{-1} \quad (11)$$

Assim, juntamente com o somatório P, E<sub>T0</sub> e ET<sub>c</sub>, contabilizou-se igualmente a LB aplicada no decorrer dos ciclos de produção.

### 3.7 Balanço hídrico climatológico e do cultivo

A descrição da variação do armazenamento de água do solo (ARM) foi realizada a partir do cálculo do balanço hídrico sequencial climatológico e do cultivo, admitindo-se a  $E_{To}$  e  $E_{Tc}$ , nesta ordem, como processos de retirada de água do volume de controle compreendido pelas raízes das plantas. Assim, adotou-se a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955) para o cálculo da ARM, bem como do déficit e (DEF) e do excedente hídrico (EXC). O balanço hídrico climatológico foi calculado considerando-se uma CTA equivalente a 100 mm. Contudo, para a estimativa do balanço hídrico da cultura assumiu-se os valores médios da CTA correspondente aos intervalos de profundidade de 0,00 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, calculados para cada área experimental (ver item 3.3). Conforme reportado por Bassoi et al. (2003), este intervalo de profundidade compreende a concentração de grande parte do sistema radicular de videiras irrigadas por método localizado.

### 3.8 Medidas de reflectância do dossel por sensoriamento proximal e estimativa de índices de vegetação para caracterização do vigor vegetativo das videiras

Em todas as áreas experimentais a reflectância ( $\rho$ , adimensional) do dossel das videiras foi mensurada em três momentos distintos, denominados ocasiões de monitoramento ( $T_i$ , onde  $i = 1, 2, 3$ ), no decorrer dos dois ciclos de produção de cada cultivar. Essas avaliações ocorreram durante o estágio fenológico de cacho fechado ( $T_1$ , BBCH 79), bem como em ocasião imediatamente posterior ou próxima ao início da maturação ( $T_2$ , BBCH 81) e em um último momento antes da colheita, no decorrer do estágio de amolecimento de bagas ( $T_3$ , BBCH 85). Em cada ocasião de monitoramento mediu-se a  $\rho$  correspondente a três diferentes comprimentos de onda ( $\lambda$ , nm) equivalentes a 670 ( $\rho_R$ , vermelho), 730 ( $\rho_{RE}$ , vermelho limítrofe) e 780 nm ( $\rho_{NIR}$ , infravermelho próximo). Essas medidas foram obtidas por meio de sensoriamento proximal, com auxílio do sensor óptico ativo ACS-430 (*Holland Scientific, Lincoln, NE, EUA*), componente do sistema portátil *Crop Circle*. Além desse equipamento, utilizou-se conjuntamente o *data logger* GeoSCOUT GLS-400 (*Holland Scientific, Lincoln, NE, EUA*) para armazenamento das medidas de  $\rho$ , as quais foram georreferenciadas

durante a sua aquisição por meio de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) HiPer GGD (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA).

Durante a amostragem dos dados, a porção da radiação emitida pelo equipamento e refletida pela folhagem foi detectada por foto-sensores. Na sequência, juntamente com a modulação da sua fonte de luz, o ACS-430 distinguiu seu próprio sinal daquele do ambiente, fato que permitiu a medida de  $\rho$  desconsiderando-se a variabilidade das condições luminosas locais. Detalhes do procedimento de amostragem dos dados de  $\rho$  são destacados na Figura 4.

**Figura 4 - Amostragem de dados georreferenciados da reflectância do dossel das videiras utilizando-se o sensor ativo ACS-430**



As medidas de  $\rho$  foram tomadas a partir do posicionamento do sensor no topo do dossel das videiras, distanciado a uma altura de 0,30 m. Esta disposição do equipamento proporcionou um ângulo de observação em relação ao zênite ( $\theta_v$ ) correspondente à  $0^\circ$  (*nadir view*). Esta metodologia também assegurou um sentido paralelo da projeção do feixe de luz emitido pelo equipamento em relação à orientação das fileiras de plantas no momento da aquisição dos dados. De acordo com a Equação 12, a largura aproximada ( $w$ ) deste feixe projetado sobre o dossel foi de 0,25 m, assumindo-se um ângulo de  $45^\circ$  ( $\theta$ ) correspondente ao campo de visão do equipamento, situado a uma altura  $h$  de 0,30 m em relação aos alvos.

$$w = 2.h.\tan(\theta/2) \quad (12)$$

A amostragem dos dados de  $\rho$  foi realizada segundo o método sistemático, uma vez que o sensor foi programado para realizar dez medidas por segundo enquanto era deslocado por caminhamento, com velocidade constante, ao longo da extensão longitudinal de todas as fileiras de plantas das áreas experimentais.

Com base na razão entre as medidas de  $\rho$  em determinados  $\lambda$ , foram calculados dois índices de vegetação (IV): o índice de vegetação por diferença normalizada no vermelho limítrofe ou borda do vermelho (NDRE) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (ROUSE, 1974), de acordo com as Equações 13 e 14, respectivamente.

$$NDRE = (\rho_{NIR} - \rho_{RE}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RE}) \quad (13)$$

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (14)$$

Os IV foram então considerados variáveis regionalizadas utilizadas para fins de caracterização da distribuição e variabilidade espacial do vigor vegetativo das videiras. Desta forma, em razão da especificidade de cada índice, dada as bandas específicas do espectro utilizadas na sua fórmula de cálculo, a expressão vegetativa inferida a partir dos mesmos incorporou os atributos associados à estrutura e biomassa do dossel das videiras, bem como ao teor de pigmentos fotossintetizantes (clorofilas) presentes nas folhas.

### 3.8.1 Análise estatística descritiva e predição espacial do vigor vegetativo

A análise exploratória das estimativas do NDRE e NDVI consistiu no cálculo de medidas de tendência central, dispersão e formato da distribuição dos dados, de modo semelhante ao descrito no item 3.3 desta metodologia. Além disso, verificou-se a normalidade dos conjuntos de dados de ambos os IV por meio do teste de Lilliefors, assumindo-se um nível nominal de significância de 5% para este fim. Esta primeira análise exploratória também foi utilizada para orientar a distinção e remoção de valores discrepantes, denominados *outliers*, anteriormente ao procedimento de predição espacial, assumindo-se a regra de Chebyshev para esse fim, uma vez que

se desconhecia o formato original da distribuição dos dados coletados antes da análise exploratória. Conforme enunciado por essa regra, o percentual de valores incluídos no intervalo delimitado por  $k$  desvios padrão no que diz respeito a sua distância em relação à média, foi calculado segundo a Equação 15.

$$[1-(1/k^2)].100 \quad (15)$$

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

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

Em seguida, fez-se a avaliação da dependência espacial de ambos os IV a partir da análise geoestatística para posterior delimitação de zonas homogêneas (ZH) do vigor vegetativo das videiras. Essa análise compreendeu as etapas de ajuste de semivariogramas e de predição espacial e foi realizada utilizando-se o *software* Vesper 1.6 *Variogram Estimation and Spatial Prediction plus Error* (MINANSY et al., 2005). Inicialmente, ajustou-se os semivariogramas teóricos aos semivariogramas experimentais utilizando-se o modo local disponibilizado no *software* mencionado, uma vez que a quantidade de observações de  $\rho$  e das posteriores estimativas do NDRE e NDVI em todas as avaliações ultrapassou 5000 pontos (OLIVEIRA, 2015). Em virtude desta densidade amostral, o ajuste dos semivariogramas teóricos foi feito de forma automática, a partir da predefinição do modelo teórico exponencial, seguida da delimitação dessas funções por uma janela móvel (HAAS, 1990), durante a etapa seguinte de predição espacial. Ainda neste processo, considerou-se a razão do número de pares pelo desvio padrão da semivariância de cada *lag* específica como ponderador no ajuste dos modelos teóricos aos empíricos, conforme o método de regressão não-linear ponderada (JIAN et al, 1996). De acordo com Oliveira (2015),

essa opção de ajuste é a mais utilizada nas análises realizadas a partir de conjuntos de dados providos de monitoramento intensivo.

Diferentemente dos métodos globais utilizados para a descrição de uma variável regionalizada, o método local adotado para a caracterização da dependência espacial do NDRE e NDVI considerou apenas as observações distribuídas nas proximidades predefinidas de cada posição da grade de interpolação. Segundo Oliveira (2015), o ajuste local é capaz de registrar a variação em torno dos pontos interpolados de uma forma mais apurada, dada a redução da escala de abrangência da predição. Logo, isso resulta em incremento na precisão da inferência espacial realizada a partir de dados oriundos de monitoramento intensivo, a exemplo do que ocorreu no presente estudo. O modelo exponencial adotado para ajuste dos semivariogramas teóricos foi descrito pela Equação 16.

$$\gamma(h)=C_0+C_1[1-\exp(-3 h/a)] \quad 0 < h < d \quad (16)$$

Onde:  $\gamma(h)$ : semivariância;  $C_0$ : efeito pepita;  $C_1$ : patamar;  $a$ : alcance;  $h$ : distância e  $d$ : máxima distância na qual o semivariograma foi definido.

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

A segunda etapa da análise geoestatística consistiu na predição espacial realizada pelo método de krigagem ordinária, adotado para estimativa de valores do NDRE e NDVI em posições não abrangidas pela amostragem. Desta forma, definiu-se os contornos dos vinhedos como limites para elaboração das grades regulares utilizadas na interpolação, estabelecidas conforme uma resolução espacial de 0,50 m. Na sequência, escolheu-se o método de krigagem em blocos de 25 m<sup>2</sup> (5 x 5 m) para

dimensionamento espacial das estimativas dos IV. Assumiu-se ainda um número mínimo e máximo, respectivamente, de 100 e 250 pontos requeridos para compor a vizinhança considerada na execução da krigagem efetuada com ajuste local de semivariogramas. Por fim, os resultados interpolados foram exportados em arquivos de formato matricial (*raster*) e constituíram os mapas temáticos do vigor vegetativo, os quais foram importados em SIG (Sistema de Informações Geográficas) para posterior processamento dos dados.

### 3.8.2 Estabilidade espaço-temporal e similaridade entre predições do vigor vegetativo inferido segundo diferentes índices de vegetação

A avaliação da estabilidade espaço-temporal dos IV foi efetuada por meio da análise de tendência monotônica definida conforme a estatística  $S$  do teste não-paramétrico de Mann-Kendall ( $\tau$ ) (KENDALL, 1938; KENDALL, 1975; MANN, 1945), utilizada para definir a significância quanto a estimativa da inclinação ( $\beta_1$ ) das funções de regressão linear obtidas por meio do método de Theil-Sen (THEIL 1950; SEN 1968). Assim, considerou-se observações  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) das séries temporais de dados interpolados de cada IV, correspondentes as ocasiões de monitoramento do vigor vegetativo realizadas no decurso dos ciclos de produção de 2018 e 2019 em cada área experimental. Neste sentido, a estatística  $S$  foi dada pela Equação 17.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{senal}(x_j - x_i) \quad (17)$$

$$\text{senal}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (18)$$

Onde:  $n$ : número de observações ou ocasiões de monitoramento dos IV;  $x_i$  e  $x_j$ : valor interpolado de um determinado IV na ocasião  $i = 1, 2, \dots, n-1$  e  $j = i + 1, \dots, n$ , respectivamente.

Assumindo-se a média  $E(S) = 0$  e a variância  $\text{var}(S)$ , dada conforme a Equação 19, a estatística do teste  $Z$  foi utilizada para testar a hipótese de nulidade no que se referiu a ausência de tendência significativa representativa da variação do vigor vegetativo em função do tempo. Adotando-se o nível de significância  $\alpha = 0,05$ , inferiu-



se que a sequência de dados de cada IV ao nível de cada pixel da grade de interpolação apresentou uma tendência significativa quando  $Z > Z(1-\alpha/2)$ , a qual foi considerada negativa ou positiva, uma vez que  $Z < 0$  e  $Z > 0$ , nesta ordem.

$$\text{var}(S) = [n(n-1)(2n+5)]/18 \quad (19)$$

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{\text{var}(S)}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{\text{var}(S)}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (20)$$

Por sua vez, a magnitude da tendência de variação das séries temporais foi definida conforme a o cálculo de  $\beta_1$ , segundo a Equação 21:

$$\beta_1 = \text{mediana}[(x_j - x_i)/(j-i)]; i < j \quad (21)$$

A interpretação quanto a direção e a significância da tendência de variação dos dados de ambos os IV ao longo do tempo foi avaliada conforme os valores de  $\beta_1$  e do valor-p associado à sua estimativa, definindo-se quatro categorias para regionalização dos resultados, conforme destacado a seguir:

- N3: tendência negativa significativa ( $\beta_1 < 0$  e valor-p  $< 0,05$ );
- N2: tendência negativa significativa ( $\beta_1 < 0$  e valor-p  $< 0,10$ );
- N1: tendência negativa não significativa ( $\beta_1 < 0$  e valor-p  $> 0,10$ );
- P1: tendência positiva não significativa ( $\beta_1 > 0$  e valor-p  $> 0,10$ );
- P2: tendência positiva significativa ( $\beta_1 > 0$  e valor-p  $< 0,10$ );
- P3: tendência positiva significativa ( $\beta_1 > 0$  e valor-p  $< 0,05$ ).

As avaliações descritas a seguir foram realizadas a partir da a transformação linear dos dados interpolados dos IV por meio de escalonamento pela amplitude, conforme a Equação 22.

$$x_{ij(\text{amp})} = [x_{ij} - x_{j(\text{min})}] / [x_{j(\text{max})} - x_{j(\text{min})}] \quad (22)$$

Onde:  $x_{ij(\text{amp})}$ : valor escalonado pela amplitude correspondente ao  $i$ -ésimo ponto da grade de interpolação na  $j$ -ésima ocasião de monitoramento;  $x_{j(\text{min})}$  e  $x_{j(\text{max})}$ : valor mínimo e máximo, respectivamente, da grade de interpolação na  $j$ -ésima ocasião de monitoramento.

A partir dos dados interpolados normalizados, avaliou-se a estabilidade temporal do vigor vegetativo em cada ciclo de produção, no que se referiu a constância dos padrões de distribuição dos dados dos IV estimados nas ocasiões de monitoramento, de maneira semelhante à descrita por Kazmierski et al. (2011). Assim, a estabilidade temporal em escala intra-anual do vigor vegetativo foi avaliada conforme cálculo do coeficiente de correlação de postos de Spearman ( $r_s$ ), definido segundo a Equação 23, assumindo-se os valores estimados de cada IV nos mesmos locais da grade de interpolação em um dado ciclo produtivo, porém em diferentes ocasiões de monitoramento ( $T_i$ ,  $i = 1, 2, 3$  ocasiões). Por sua vez, também foi efetuada a análise da estabilidade temporal interanual entre o vigor vegetativo estimado em uma mesma fase fenológica da cultura, porém em ciclos distintos ( $T_{ij}$ ,  $i = 1, 2, 3$  ocasiões e  $j = 1, 2$  ciclos). Para fins de interpretação, a amplitude de resultados possíveis do coeficiente  $r_s$  é definida pelos valores  $-1,0$  e  $1,0$ , os quais equivalem a uma associação perfeita negativa e positiva, respectivamente.

$$r_s = 1 - 6 \sum_{i=1}^n [R(x_{ij}) - R(x_{ij'})]^2 / n(n^2 - 1) \quad (23)$$

Onde:  $n$ : número de pontos da grade de interpolação delimitada em cada área experimental;  $x_{ij}$  e  $x_{ij'}$ : valores interpolados normalizados estimados no  $i$ -ésimo ponto amostral na  $j$ -ésima e  $j'$ -ésima ocasião de monitoramento, nesta ordem;  $R(x_{ij})$  e  $R(x_{ij'})$ : postos de  $x_{ij}$  e  $x_{ij'}$  dentre todos os valores obtidos na  $j$ -ésima e  $j'$ -ésima ocasião de monitoramento, respectivamente.

A estabilidade temporal intra-anual do vigor vegetativo ao longo de todo o período compreendido pelo monitoramento dos IV em cada ciclo de produção também foi avaliada globalmente, conforme o coeficiente de concordância de Kendall ( $W$ ), determinado segundo as Equações 24 a 26. Neste sentido, as ocasiões de monitoramento foram consideradas como avaliadores no cálculo dessa estatística. Os

resultados do coeficiente  $W$  variam entre 0 e 1, os quais indicam uma completa concordância ou discordância entre avaliadores, respectivamente.

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{[(1/12)k^2(n^3 - n)]} \quad (24)$$

$$R_i = \sum_{j=1}^k R(x_{ij}) \quad (25)$$

$$\bar{R} = (\sum_{i=1}^n R_i) / n \quad (26)$$

Onde:  $n$ : número de pontos da grade de interpolação delimitada em cada área experimental;  $k$ : número de ocasiões de monitoramento;  $\bar{R}$ : média de postos dentre todos os valores interpolados normalizados correspondentes aos pontos da grade de interpolação em cada ocasião de monitoramento.

Utilizando-se a mesma estatística mencionada anteriormente, a concordância global em escala interanual entre os dois ciclos de produção foi estipulada, considerando-se conjuntamente as estimativas do vigor vegetativo obtidas em todas as ocasiões de monitoramento de cada IV mensurado nos dois anos. Em todos os casos, verificando-se a rejeição da hipótese de nulidade quanto a concordância global e, admitindo-se um nível nominal de significância de 5%, testes *a posteriori* foram adotados para determinação da concordância individual entre avaliadores e da contribuição de cada um desses na concordância global (LEGENDRE, 2005).

Na sequência, os mapas temáticos constituídos pelos valores interpolados normalizados do NDRE e NDVI foram comparados entre si por meio do cálculo de estatísticas reportadas por Jones et al. (2016). Desta forma, quantificou-se a heterogeneidade e a estrutura espacial do vigor vegetativo, caracterizado em fases fenológicas distintas em cada ciclo de produção. A comparação entre pares de mapas temáticos dos IV estimados nas diferentes ocasiões de monitoramento ( $T_i$ ,  $i = 1, 2, 3$  ocasiões) em um mesmo ano foi realizada por meio do cálculo do índice de similaridade estrutural (*Structural Similarity Index*, *SSIM index*), conforme descrito por Jones et al. (2016). Assim, assumindo-se os mapas interpolados A e B, o SSIM foi obtido pelo produto de três componentes: a similaridade na média (*Similarity in Mean*, SIM), a similaridade na variância (*Similarity in Variance*, SIV) e a similaridade no padrão da covariância espacial (SIP), conforme a Equação 27 (JONES et al, 2016).

$$SSIM(A,B) = [SIM(A,B)]^\alpha \cdot [SIV(A,B)]^\beta \cdot [SIP(A,B)]^\gamma \quad (27)$$

Onde:  $\alpha = \beta = \gamma = 1$

O cálculo das métricas componentes do SSIM foi realizado a partir da definição de uma janela espacialmente localizada, sobreposta sobre cada ponto da grade de interpolação (célula) componente dos mapas a serem comparados, obtida conforme uma vizinhança delimitada por  $n$  unidades espaciais, dado um determinado ponderador ( $w$ ) (JONES et al., 2016). Assim, considerando-se uma vizinhança definida por  $3 \times 3$  unidades espaciais e  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ , calculou-se de forma iterativa, no espaço de  $n$  células delimitadas nessa região contígua, os valores locais quanto a média e variância de cada mapa, além da covariância entre os mesmos, conforme as Equações 28 a 32.

$$\mu_a = \sum_{i=1}^n w_i \cdot a_i \quad (28)$$

$$\mu_b = \sum_{i=1}^n w_i \cdot b_i \quad (29)$$

$$\sigma_a^2 = \sum_{i=1}^n (a_i - \mu_a)^2 \quad (30)$$

$$\sigma_b^2 = \sum_{i=1}^n (b_i - \mu_b)^2 \quad (31)$$

$$\sigma_{ab} = \sum_{i=1}^n w_i (a_i - \mu_a) (b_i - \mu_b) \quad (32)$$

Onde:  $\mu_a$  e  $\mu_b$ ,  $\sigma_a^2$  e  $\sigma_b^2$ ,  $\sigma_{ab}$ : medidas espacialmente localizadas da média, da variância e da covariância calculada para cada célula referente aos mapas A e B, respectivamente;  $a_i$  e  $b_i$ : valores interpolados normalizados de cada IV associados a  $i$ -ésima célula dos mapas A e B, respectivamente.

A partir do cálculo dessas estatísticas, as componentes do SSIM foram determinadas de acordo com as Equações 33 a 35.

$$SIM(A,B) = (2\mu_a \cdot \mu_b + c_1) / (\mu_a^2 + \mu_b^2 + c_1) \quad (33)$$

$$SIV(A,B) = (2\sigma_a \cdot \sigma_b + c_2) / (\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + c_2) \quad (34)$$

$$SIP(A,B) = (\sigma_{ab} + c_3) / (\sigma_a \sigma_b + c_1) \quad (35)$$

Onde:  $c_1$ ,  $c_2$  e  $c_3$ : constantes estimadas heurísticamente a partir da amplitude (R) de valores dos mapas comparados, assumindo-se  $c_1 = (k_1R)^2$ ,  $c_2 = (k_2R)^2$  e  $c_3 = c_2/2$ , para  $k_1 = 0,01$  e  $k_2 = 0,03$ .

Para fins de interpretação dos resultados, os limites de valores possíveis quanto ao índice SSIM variam entre -1,0 e 1,0 e correspondem, respectivamente, ao grau de dessemelhança e semelhança completa entre a estrutura espacial dos mapas comparados. A amplitude de valores possíveis dos índices SIM e SIV varia entre 0,0 e 1,0, enquanto o SIP apresenta limites idênticos ao SSIM. Esses valores limites tem uma interpretação semelhante àquela associada ao SSIM.

### 3.9 Delimitação de zonas homogêneas do vigor vegetativo

Os valores interpolados originais do NDRE e NDVI foram particionados em três intervalos de classes, as quais constituíram as zonas homogêneas (ZH) do vigor vegetativo, utilizando-se o método de quebras naturais ou método de otimização de Jenks (JENKS, 1967) para identificação dessas categorias. Esse método tem como princípio a delimitação de categorias homogêneas a partir da classificação de valores, feita de forma a minimizar as diferenças entre as observações contidas em um mesmo grupo e maximizar a diferença entre os grupos. Ressalta-se ainda que os resultados obtidos por essa regra de categorização são análogos aos obtidos pela adoção do algoritmo *fuzzy k-means* para classificação não-supervisionada de dados de uma única variável.

De acordo com o método de quebras naturais, a partir da organização das observações em ordem crescente, calculou-se os limites de classes em um processo iterativo, orientado pelo índice GVF (*goodness of variance fit* ou índice de melhor ajuste da variância), obtido segundo a Equação 36. Os valores desse índice variam de 0 a 1 e indicam a ausência de ajuste e um ajuste perfeito, respectivamente. Anteriormente, calculou-se a soma dos quadrados dos desvios das observações em relação à média do conjunto de dados (*sum of squared deviations from the array mean*, SDAM) e em relação à média de cada classe delimitada (*sum of squared deviations from the class means*, SDCM) em cada repetição do processo, de acordo com as Equações 37 e 38.

$$\text{GVF} = (\text{SDAM} - \text{SDCM}) / \text{SDCM} \quad (36)$$

$$\text{SDAM} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (37)$$

$$\text{SDCM} = \sum_{c=1}^K \sum_{i=1}^n (x_i - Z_c)^2 \quad (38)$$

Onde: N: número de observações;  $x_i$ : valor da  $i$ -ésima observação,  $\bar{x}$ : média do total de observações; K: número de classes e  $Z_c$ : média de cada  $c$ -ésima classe.

Essa regra de classificação assumiu inicialmente um  $\text{GVF} = 1$ , o que correspondeu a uma classe por observação, e prosseguiu estabelecendo as demais possibilidades de agrupamentos. Desta forma, calculou-se novamente o GVF em cada iteração, até que se obteve um número de classes que apresentou um desvio mínimo possível entre si e que resultou em valor maximizado do índice em questão.

A partir da adoção deste método, foram delimitados os intervalos de classes dos dados interpolados de NDRE e NDVI, cujo número de três categorias foi definido previamente. Assim, as ZH dos IV mencionados foram representadas pelas notações C1, C2 e C3, e representaram os níveis de vigor vegetativo denominados “baixo”, “médio” e “alto”, respectivamente.

Contudo, além da classificação em três categorias, os dados interpolados dos IV foram igualmente submetidos a categorização em dois agrupamentos utilizando-se novamente o método de quebras naturais. Esta nova classificação foi realizada em razão da extensão das áreas experimentais, de modo a evitar o excesso de subdivisões nos vinhedos, no intuito de favorecer a representação da distribuição espacial das categorias de vigor. Assim, as classes delimitadas nessa segunda categorização foram então identificadas com as notações C1 e C2 e representaram as ZH de “baixo” e “alto” vigor vegetativo, nesta ordem.

### **3.9.1 Concordância interavaliadores adotados para delimitação de zonas homogêneas do vigor vegetativo**

Após a definição das ZH dos IV, os mapas categorizados correspondentes a cada ocasião de monitoramento foram comparados entre si. Isso se deu entre as categorias C1 e C2 classificadas para a cada IV, os quais foram considerados os avaliadores em questão. Esta análise representou um indicativo da semelhança entre

o NDRE e NDVI na detecção de possíveis correspondências e discordâncias nos padrões de variação das classes do vigor vegetativo estimado em estádios fenológicos distintos. Isso foi pressuposto uma vez que a mesma regra de classificação foi adotada para delimitação de ZH desse atributo, independentemente do IV considerado para tal finalidade.

Assim, procedeu-se com a estimativa da concordância interavaliadores obtida a partir da organização dos dados em matrizes de contingência, compostas por  $J = 2$  categorias e do cálculo de duas estatísticas: o coeficiente kappa (K) (COHEN, 1960) e o índice de Bangdiwala (B) (BANGDIWALA, 1985). A fórmula do coeficiente K foi definida segundo a Equação 39 e representou a proporção de concordância após desconsiderar-se o acaso (COHEN, 1960).

$$K = (p_o - p_c) / (1 - p_c) \quad (39)$$

Onde:  $p_o$ : proporção de observações nas quais os avaliadores concordaram e  $p_c$ : proporção de observações nas quais a concordância foi esperada ao acaso.

Assumindo-se a matriz de contingência destacada na Tabela 3, as proporções indicadas pelos termos  $p_o$  e  $p_c$  foram calculadas segundo as Equações 40 e 41. Por sua vez, o índice B foi calculado pela Equação 42 (MUNOZ e BANGDIWALA, 1997).

**Tabela 3 - Matriz de contingência para duas categorias**

		IV referência		$\Sigma$	Total
		C1 (j = 1)	C2 (j = 2)		
IV comparação	C1 (i = 1)	$n_{11}$ (TP)	$n_{12}$ (FN)	$\Sigma n_{1j}$	$N_1$
	C2 (i = 2)	$n_{21}$ (FP)	$n_{22}$ (TN)	$\Sigma n_{2j}$	$N_2$
$\Sigma$		$\Sigma n_{i1}$	$\Sigma n_{i2}$	$N_{ij}$	

IV: índice de vegetação; C1: categoria de menor vigor; C2: categoria de maior vigor;  $n_{ii}$ : número de observações pertinentes a categoria i associada ao IV de referência e correspondentes a categoria i associada ao IV de comparação;  $\Sigma n_{ii}$ : totais marginais correspondentes a i-ésima linha e i-ésima coluna da matriz;  $N_{ij}$ : número total de instâncias; TP: verdadeiro positivo; TN: verdadeiro negativo; FP: falso positivo; FN: falso negativo.

$$p_o = (n_{11} - n_{22}) / N_{ij} \quad (40)$$

$$p_c = (\Sigma n_{i1} \cdot \Sigma n_{1i} + \Sigma n_{i2} \cdot \Sigma n_{2i}) / N_{ij}^2 \quad (41)$$

$$B = \sum_{i=1}^J a_{ii}^2 / (\sum_{i=1}^J n_{i.} \cdot n_{.i}) = (n_{11}^2 + n_{22}^2) / (\Sigma n_{i1} \cdot \Sigma n_{1i} + \Sigma n_{i2} \cdot \Sigma n_{2i}) \quad (42)$$

Onde:  $a_{ii}$ : número de observações concordantes correspondentes a  $i$ -ésima linha e  $i$ -ésima coluna, assumindo-se  $i = 1, 2, \dots, J$  categorias;  $n_i$ : total marginal correspondente a  $i$ -ésima linha da matriz, assumindo-se  $i = 1, 2, \dots, J$  categorias;  $n_{.i}$ : total marginal correspondente a  $i$ -ésima coluna, assumindo-se  $i = 1, 2, \dots, J$  categorias.

O grau de concordância determinado de acordo com o índice  $K$  foi classificado segundo McHugh (2012), conforme as seguintes designações e intervalos entre valores: ausente ( $0 < K \leq 0,20$ ); mínima ( $0,21 \leq K \leq 0,39$ ); fraca ( $0,40 \leq K \leq 0,59$ ); moderada ( $0,60 \leq K \leq 0,79$ ); forte ( $0,80 \leq K \leq 0,90$ ); quase perfeita ( $0,90 < K$ ). De acordo com a interpretação dessa estatística, o valor do coeficiente  $K$  varia entre -1 (ausência de concordância) e 1 (concordância perfeita).

A conformidade interavaliadores descrita pelo índice  $B$ , cujo resultado varia entre 0 (ausência de concordância) e 1 (concordância perfeita), foi representada em gráficos específicos (BANGDIWALA e SHANKAR, 2013). Os gráficos de concordância foram compostos por quadriláteros externos e internos, que representaram as categorias e os totais marginais dessas, respectivamente, identificadas conforme dois avaliadores. A ocorrência de uma concordância perfeita entre dados categóricos produziria um número  $n$  de quadriláteros externos perfeitos, representativos dos totais marginais de cada categoria comparada, os quais seriam de dimensões iguais àquelas dos quadriláteros internos sombreados, resultando em um valor do índice  $B$  igual a 1. Além disso, o viés referente a concordância, avaliado conforme a disposição dos quadriláteros externos em relação à linha diagonal que cruza o gráfico, seria tanto menor quanto maior a concordância entre o encontro de dois vértices de cada um desses polígonos com o centro do segmento de reta mencionado.

Ainda para propósitos de comparação entre as classes de vigor  $C1$  e  $C2$  dispostas nos mapas categorizados referentes ao NDRE e NDVI, calculou-se as componentes de discordância em quantidade e alocação, conforme descrito por Pontius Junior e Millones (2011). Assim, a divergência em relação a quantidade resultou no cálculo da diferença existente entre os mapas comparados no que diz respeito à proporção entre as suas categorias constituintes. Por sua vez, a divergência em alocação representou a quantidade de diferença observada quanto à variação da localização dessas mesmas categorias nos pares de mapas comparados. A estimativa da divergência em quantidade e alocação fundamentou-se na matriz de proporção



apresentada na Tabela 4, determinada a partir da matriz de contingência destacada na Tabela 3, e calculada pela Equação 43.

**Tabela 4 - Matriz de proporções para duas categorias**

		1V referência		Σ comparação
		C1 (j = 1)	C2 (j = 2)	
IV comparação	C1 (i = 1)	$p_{11}$	$p_{12}$	$\Sigma p_{1j}$
	C2 (i = 2)	$p_{21}$	$p_{22}$	$\Sigma p_{2j}$
Σ referência		$\Sigma p_{i1}$	$\Sigma p_{i2}$	1

IV: índice de vegetação; C1: categoria de menor vigor; C2: categoria de maior vigor;  $p_{ij}$ : proporção de observações pertinentes a categoria j associada ao IV de referência e correspondentes a categoria i associada ao IV de comparação;  $\Sigma p_{ij}$ : totais marginais correspondentes a categoria j associada ao IV de referência e correspondentes a categoria i associada ao IV de comparação.

$$p_{ij} = (n_{ij} / \sum_{i=1}^J n_{ij}) (N_i / \sum_{i=1}^J N_i) \quad (43)$$

Assim, as componentes de discordância relacionadas a quantidade e a alocação foram determinadas de acordo com as Equações 44 a 47 (PONTIUS JUNIOR e MILLONES, 2011)

$$q_g = |(\sum_{i=1}^J p_{ig}) - (\sum_{i=1}^J p_{gi})| \quad (44)$$

$$Q = \sum_{g=1}^J q_g / 2 \quad (45)$$

$$a_g = 2 \min[(\sum_{i=1}^J p_{ig}) - p_{gg}, (\sum_{i=1}^J p_{ig}) - p_{gg}] \quad (46)$$

$$A = \sum_{g=1}^J a_g / 2 \quad (47)$$

$$D = Q + A$$

Onde:  $q_g$ : discordância na quantidade para uma categoria arbitrária g, assumindo-se que o primeiro e o segundo somatório da Equação 43 representam a proporção da categoria g nos mapas de referência e comparação, respectivamente; Q: a discordância geral na quantidade, assumindo-se J categorias;  $a_g$ : discordância na alocação para uma categoria arbitrária g, considerando-se que o primeiro e segundo termo da Equação 43 representam os erros quanto a omissão e comissão da categoria g, respectivamente (PONTIUS JR et al., 2004); A: discordância geral na alocação; D: somatório da discordância geral na quantidade e alocação.

### 3.10 Delimitação de zonas de manejo fundamentadas no vigor vegetativo

A partir dos mapas temáticos matriciais obtidos por krigagem ordinária, efetuou-se a padronização dos dados interpolados dos IV referentes às avaliações de  $\rho$  do dossel realizadas em todos os ciclos de produção. Esse processo foi fundamentado no cálculo dos escores padrões (escores  $z$ ), a partir da média e do desvio padrão correspondentes ao conjunto de dados de cada ocasião de monitoramento do NDRE e NDVI, segundo as Equações 48, 49 e 50. Este procedimento também permitiu a conversão dos valores dos IV para valores relativos, que apresentaram média igual a zero e desvio padrão igual a 1 e possibilitou a operação matemática entre os diferentes mapas (MOLIN et al, 2015b).

$$ZV_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / s_j \quad (48)$$

$$\bar{x}_j = (1/n) \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (49)$$

$$s_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 / (n-1)} \quad (50)$$

Onde:  $ZV_{ij}$ : escore padrão da observação correspondente ao  $i$ -ésimo ponto da grade de interpolação na  $j$ -ésima ocasião de monitoramento;  $x_i$ : observação correspondente ao  $i$ -ésimo ponto da grade de interpolação na  $j$ -ésima ocasião de monitoramento;  $\bar{x}$ : média do total de observações da  $j$ -ésima ocasião de monitoramento;  $s_j$ : desvio padrão do total de observações da  $j$ -ésima ocasião de monitoramento;  $N$ : número de observações.

Na sequência, foram calculados os valores denominados padronizados equivalentes ( $ex_{ij}$ ), obtidos conforme os procedimentos descritos por Milani et. al. (2006) e Suszek et al. (2011) e determinados segundo as Equações 51, 52 e 53.

$$ex_{ij} = ZV_{ij} \bar{s}_t + \bar{x}_t \quad (51)$$

$$\bar{s}_t = (1/t) \sum_{j=1}^t s_j \quad (52)$$

$$\bar{x}_t = (1/t) \sum_{j=1}^t \bar{x}_j \quad (53)$$

Onde:  $ex_{ij}$ : observação equivalente padronizada correspondente ao  $i$ -ésimo ponto da grade de interpolação na  $j$ -ésima ocasião de monitoramento;  $\bar{s}_t$ : média dos desvios padrão em  $t$  ocasiões de monitoramento;  $\bar{x}_t$ : média das observações em  $t$  ocasiões de monitoramento.

Após esse procedimento, foram elaborados mapas temáticos correspondentes a média dos valores padronizados equivalentes de cada IV estimado nos três monitoramentos realizados nos dois ciclos produtivos e em ambos de forma conjunta. Esses dados foram submetidos a mesma regra de classificação adotada para fins de delimitação de ZH utilizando-se os dados interpolados originais (item 3.9). Assim, foram delimitadas zonas de manejo (ZM) baseadas no vigor vegetativo das videiras, inferido conforme o NDRE e NDVI. Esses mapas possibilitaram uma representação da tendência assumida pelos padrões de distribuição espacial dos IV durante as fases fenológicas abrangidas pelo período em estudo. Os mesmos também representaram uma generalização da variabilidade do vigor vegetativo das videiras ao longo da extensão das áreas experimentais.

Neste sentido, foram delimitadas duas ZM em cada vinhedo, representativas das classes de vigor vegetativo “baixo” (C1) e “alto” (C2). Esta delimitação foi feita considerando-se as operações posteriores de comparação entre as regionalizações para fins de validação das subdivisões representativas da expressão vegetativa das videiras.

Na sequência, calculou-se o coeficiente de variação (CV) a partir da média e do desvio padrão referentes aos dados equivalentes padronizados de cada IV adotado e estimado em todas as ocasiões de monitoramento. Os valores componentes dos mapas temáticos dessa medida de variação foram agrupados em cinco categorias distintas, utilizando-se a regra de classificação reportada por Costa et al. (2002) para definição de limites entre classes de CV. A disposição das categorias do CV nos mapas foi representativa da magnitude da variabilidade espacial do vigor vegetativo no período avaliado, incorporando ambos os ciclos de produção conjuntamente. Desta forma, os intervalos correspondentes a variabilidade relativa em torno da média dos IV foram classificados de acordo com as Equações 54 a 57.

$$\text{Baixo} = CV \leq (Md - PS) \quad (54)$$

$$\text{Médio} = (Md - PS) < CV \leq (Md + PS) \quad (55)$$

$$\text{Alto} = (\text{Md} + \text{PS}) < \text{CV} \leq (\text{Md} + 2\text{PS}) \quad (56)$$

$$\text{Muito alto} = \text{CV} \leq (\text{Md} + \text{PS}) \quad (57)$$

Onde: CV: coeficiente de variação;  $\text{Md} = (\text{Q1} + \text{Q3})/2$ , em que Q1 e Q3: primeiro e terceiro quartil, respectivamente, referentes às distribuições dos dados do CV;  $\text{PS} = \text{IQR}/1,35$ , em que IQR: amplitude interquartil correspondente às distribuições dos dados do CV.

### 3.11 Validação das zonas de manejo do vigor vegetativo

Em cada ciclo de produção, os mapas de ZH do NDVI resultantes da segunda avaliação de  $\rho$ , ou seja, aquela realizada em ocasião mais próxima ao início da maturação de bagas (BBCH 81), foram utilizados para a escolha de dez plantas úteis em cada uma das três classes de vigor vegetativo delimitadas pelo IV mencionado (C1, C2 e C3), totalizando trinta plantas por área experimental. Essas foram consideradas posteriormente para fins de validação da delimitação das ZM componentes dos mapas generalizados obtidos conforme procedimento descrito no item 3.10. A validação foi fundamentada na comparação entre as classes de vigor C1 e C2 dos mapas das ZM quanto aos atributos relacionados ao vigor, ao estado hídrico dos tecidos foliares, à produção e à qualidade de bagas.

Além dessas plantas, foram distribuídas doze parcelas em cada área, cada uma constituída por quatorze plantas divididas igualmente entre duas fileiras de plantio adjacentes (sete plantas por fileira), dispostas conforme a divisão operacional em duas classes de ZH do NDVI (C1UC2 e C3). Essas parcelas foram utilizadas para avaliação da maturação tecnológica e de aspectos de qualidade das bagas no momento da colheita. Para isso, foram coletadas noventa e seis bagas em cada uma das parcelas, as quais foram analisadas por procedimentos metodológicos de rotina adotados pela própria vinícola. A disposição das plantas úteis e das parcelas utilizadas para validação das ZM é representada na Figura 5.

As análises estatísticas para fins de validação das ZM foram realizadas por meio de testes de comparação entre valores médios ou medianos de cada indicador destacado nos itens a seguir. Desta forma, testou-se a hipótese de nulidade ( $H_0$ ) quanto a ausência de diferenças significativas entre as categorias de vigor vegetativo, conforme os métodos descritos no item 3.3. Contudo, utilizou-se os testes de Shapiro-

Wilk ou o teste de Lilliefors, que consistiu em uma adaptação do teste Kolmogorov-Smirnov, para avaliação da normalidade dos dados. A escolha quanto ao teste de normalidade citado se deu em função do tamanho amostral de cada variável. Destaca-se ainda que todos os indicadores considerados para validação foram mensurados em uma única ocasião, no momento da colheita, ao final dos ciclos de produção de ambos os anos, com exceção da massa fresca de poda, obtida posteriormente, ao final do ciclo de produção.

### **3.11.1 Indicadores do vigor vegetativo**

A validação das classes de ZM fundamentada em parâmetros relativos ao vigor vegetativo das videiras se deu pela avaliação de índices relativos de clorofila (IC, adimensional) medidos em folhas e do diâmetro do caule (DC, m) e do ramo principal DR, m). Além desses, também foi avaliada a massa fresca de poda (MP, kg), obtida ao final do período de repouso das plantas que precedeu o término do ciclo produtivo anterior e marcou o início do ciclo de formação subsequente, segundo o manejo de dupla poda implementado nas áreas experimentais. A partir da razão entre a produção obtida por planta (PD, kg) e a biomassa dos ramos podados (MP) avaliou-se o equilíbrio entre o vigor vegetativo e produtivo. Além disso, apenas durante as ocasiões de monitoramento da  $\rho$  correspondentes ao ciclo de 2019, fez-se a medida da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada ao longo do perfil vertical do dossel das videiras.

As medidas dos índices relativos de clorofila a (ICA), b (ICB), a+b ou total (ICT) e a razão entre ICA e ICB foram realizadas em quatro folhas por planta útil, posicionadas no terço médio do dossel, utilizando-se o medidor portátil ClorofiLOG modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, Brasil). Na obtenção dos índices, o equipamento utilizou fotodiodos para emissão de três comprimentos de onda (635, 660 e 880 nm). A radiação transmitida através da folha foi então interceptada por um sensor, o qual forneceu medidas em unidade arbitrária adimensional proporcionais à absorvância das clorofilas a e b (BARBIERI JÚNIOR et al., 2012). Por sua vez, a medida de DC foi realizada tomando como referência uma altura de 0,20 m em relação a posição do caule acima do ponto de enxertia, enquanto a medida de DR foi feita na posição intermediária do ramo principal, utilizando-se fita métrica.

Para a medida da interceptação da RFA, a qual corresponde a faixa entre os comprimentos de onda de 400 a 700 nm, utilizou-se um ceptômetro portátil modelo AccuPAR LP-80 (*Meter Group Inc.*, Washington, EUA), o qual foi inserido no interior do dossel das plantas em três posições distintas em relação à altura do mesmo (topo, meio e fundo). Essas medidas foram tomadas simultaneamente a RAF incidente acima das videiras, utilizando-se um sensor externo conectado ao ceptômetro. A fração de interceptação da RFA foi estimada conforme a razão entre as medidas obtidas em cada posição abaixo do dossel e àquelas tomadas acima do mesmo, segundo as Equações 58 e 59.

$$f \approx 1 - t \quad (58)$$

$$t = T/S \quad (59)$$

Onde:  $f$ : fração de interceptação da RFA, adimensional;  $T$ : medida da RFA tomada em uma determinada posição abaixo do dossel,  $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ;  $S$ : medida da RFA tomada acima do dossel,  $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ .

### 3.11.2 Indicadores do estado hídrico foliar

Nas mesmas folhas consideradas para medida dos IC (item 3.11.1), foram tomadas medidas biofísicas para determinação de indicadores do estado de hidratação foliar, a partir da avaliação individual da massa fresca ( $m_1$ , kg) e seca ( $m_2$ , kg), bem como da área ( $A$ ,  $\text{m}^2$ ) dessas. As folhas coletadas em campo foram mantidas em baixas temperaturas e transportadas para pesagem em laboratório, utilizando-se balança de precisão para mensuração da  $m_1$ . Para obtenção da  $m_2$ , as folhas foram mantidas em estufa por um período de 48 horas e submetidas a uma temperatura de  $55^\circ\text{C}$  durante esse período de tempo. A área de cada folha ( $A$ ) foi obtida anteriormente a secagem das mesmas, a partir de fotografias analisadas posteriormente pelo software ImageJ (*Wayne Rasband National Institute of Health*, Bethesda, Maryland, USA) versão 1.52. Com base nos atributos mencionados, calculou-se os seguintes indicadores do conteúdo da água nas folhas:

a) Espessura equivalente de água na folha ou *equivalent water thickness* (EWT,  $\text{kg m}^{-2}$ ) (DANSON et al. 1992): definida como a razão entre a quantidade de água na

folha, obtida pela diferença entre a massa fresca ( $m_1$ ) e seca ( $m_2$ ) e a sua área (A), conforme a Equação 60.

$$EWT = (m_1 - m_2) / A \quad (60)$$

b) Conteúdo de água em porcentagem de massa seca ou *water content as percent of dry mass* (WCd, %): obtido pela razão entre a quantidade de água na folha, obtida pela diferença entre a massa fresca e seca e a sua massa seca, conforme a Equação 61.

$$WCd = (m_1 - m_2) / m_2 \cdot 100 \quad (61)$$

c) Conteúdo de água em porcentagem de massa fresca ou *water content as percent of total fresh mass* (WCt, %): obtido pela razão entre a quantidade de água na folha, obtida pela diferença entre a massa fresca e seca e a sua massa fresca, segundo a Equação 62.

$$WCt = (m_1 - m_2) / m_1 \cdot 100 \quad (62)$$

d) Massa foliar específica ou *specific leaf weight* (SLW,  $\text{kg m}^{-2}$ ): definida como a razão entre a massa seca e a área foliar, de acordo com a Equação 63.

$$SLW = m_2 / A \quad (63)$$

Além dos indicadores citados anteriormente, calculou-se também o conteúdo relativo de água (CRA, %). Para a determinação deste indicador, retirou-se um disco foliar de dimensão conhecida de cada folha, obtendo-se dois discos foliares correspondentes a cada planta útil utilizada na amostragem, sendo determinada imediatamente a massa fresca ( $m_1$ , kg) de cada um desses. Após essa pesagem, os discos foram acondicionados em placas de Petri contendo água destilada e mantidos nessa condição por 24 horas, de maneira a atingirem a saturação hídrica. Após esse período, esses discos foram pesados novamente, obtendo-se a sua massa fresca túrgida ( $m_3$ , kg). Na sequência, a semelhança das folhas inteiras, os discos foram secos em estufa e pesados, obtendo-se por fim a sua massa seca ( $m_2$ , g). O conteúdo

relativo de água foi então calculado pela relação da diferença entre a massa fresca e seca e a diferença entre esta última e a massa fresca túrgida ( $m_3$ ), como explicitado pela Equação 64.

$$CRA = (m_1 - m_2) / (m_3 - m_2) \cdot 100 \quad (64)$$

### 3.11.3 Indicadores do desempenho produtivo e da composição das bagas

A avaliação do desempenho produtivo das videiras localizadas nas classes de vigor vegetativo delimitadas pelas ZM se deu mediante quantificação da produção (PD, kg planta<sup>-1</sup>), do número de cachos por planta (NC) e do peso médio de cachos (PC, kg), contabilizados no momento da colheita. A variável PC foi calculada pela razão entre PD e NC.

Igualmente na colheita, a maturação tecnológica foi quantificada pela medida de parâmetros de qualidade e características da composição das bagas coletadas nas parcelas. Neste sentido, foram avaliados inicialmente o peso médio (PB, g) e o volume do mosto de cem bagas (VB, mL) e, a partir desse último, determinou-se o conteúdo de ácido málico (g/L), a concentração de sólidos solúveis (°Brix) e o pH, utilizando-se o método enzimático, um refratrômetro digital, e um pHmetro de bancada, nesta ordem.

### 3.11.4 Indicadores do armazenamento e da disponibilidade de água no solo

Medidas do conteúdo volumétrico de água na camada superficial do solo (0,00 – 0,20 m) foram feitas em cinco ocasiões durante o ciclo de produção de 2019, após o estágio fenológico de bagas em tamanho de ervilha (BBCH 00). Essas medidas foram realizadas utilizando-se o sensor portátil Hydrosense 2 (HS2), sonda CS658 (Campbell Scientific, Utah, USA), seguindo-se uma grade regular de pontos amostrais georreferenciados dispostos ao longo das áreas experimentais (Figura 6).

Para incremento da exatidão das medidas fornecidas pelo sensor em questão, este foi calibrado a partir de amostras deformadas de solo, depositadas em recipientes de volume conhecido e submetidas a um regime de umedecimento e secagem para obtenção de uma amplitude de condições de umidade, conforme metodologia adotada por Costa (2014). Desta forma, a calibração do equipamento se deu a partir do ajuste



de funções de regressão linear representativas da relação entre a resposta do sensor (período,  $\mu s$ ) e a umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ,  $m^3 m^{-3}$ ). Após a obtenção das medidas em campo e estimativa dos valores de umidade conforme as funções de regressão mencionadas, mapas temáticos desta variável foram elaborados utilizando-se o interpolador determinístico *thin plate spline* (spline suave).

Além da comparação entre médias das medidas de umidade do solo referentes as classes de vigor delimitadas nos mapas de ZM do NDRE e NDVI, foram elaborados polígonos de frequência relativa e acumulada correspondentes aos valores interpolados da capacidade total de água no solo (CTA, mm) equivalente às camadas superficial (0,00 – 0,20 m) e subsuperficial (0,20 – 0,40).

A partir dos valores interpolados da umidade do solo, da  $\theta_{cc}$  e da CTA equivalente à camada superficial, estimou-se a lâmina de irrigação a ser aplicada em cada ocasião de monitoramento da umidade adotando-se a Equação 65, assumindo-se como limite superior para a reposição de água o produto entre a CTA e o fator de disponibilidade  $f$ , conforme descrito na Equação 66.

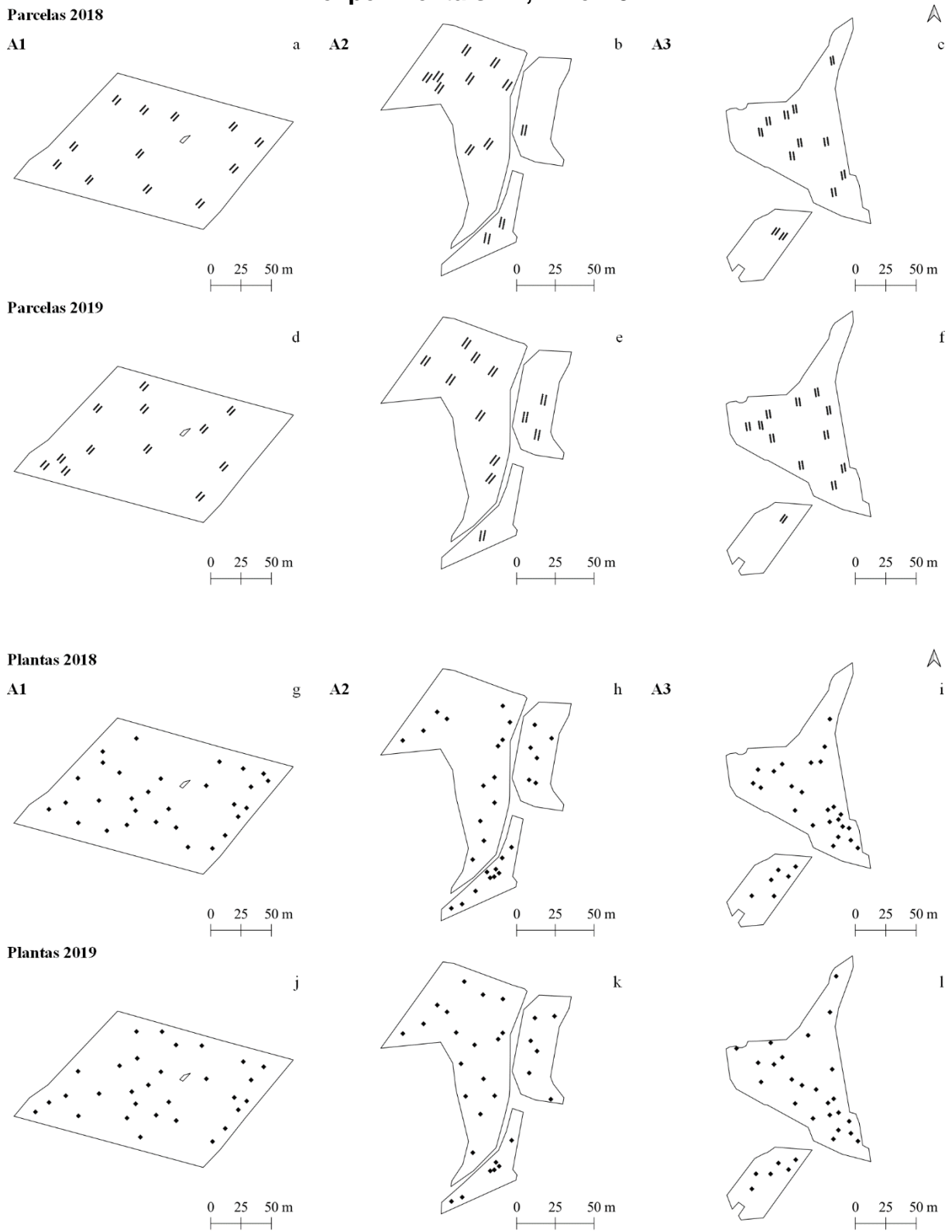
$$LL = (\theta_{\text{atual}} - \theta_{\text{cc}})z \quad (65)$$

$$LL \leq IRN \leq CTA.f \quad (66)$$

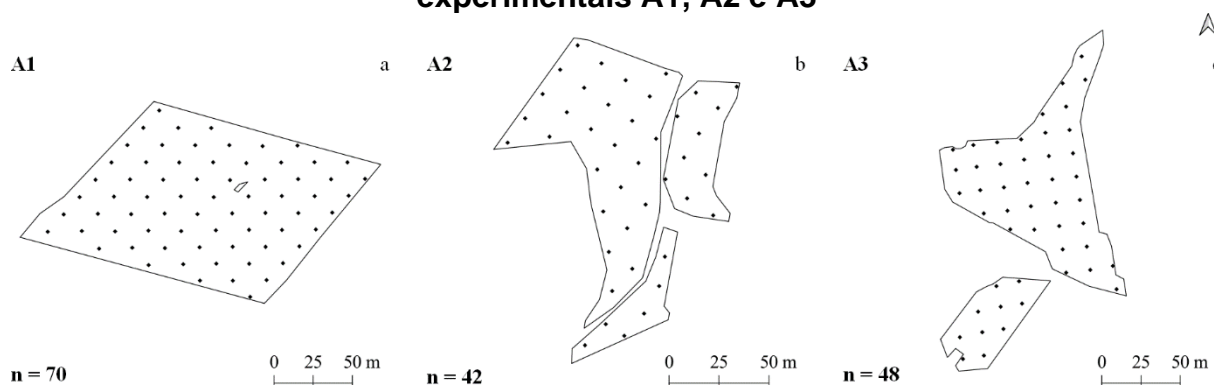
Onde: LL: lâmina líquida de irrigação (mm);  $z$ : profundidade da camada de solo (200,00 mm); IRN: irrigação real necessária (mm); CTA; capacidade total de água no solo (mm);  $f$ : fator de disponibilidade de água no solo, adimensional (0,50).

A comparação quanto a necessidade de irrigação conforme as categorias de vigor vegetativo definidas pelas ZM dos IV foi feita por meio da análise dos padrões dispostos nos polígonos de frequência acumulada dos dados estimados da CTA e da lâmina líquida de irrigação, de maneira idêntica ao descrito no item 3.4. Além disso, as funções de distribuição acumulada foram comparadas entre si conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), assumindo-se um nível nominal de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

**Figura 5 - Distribuição de pontos amostrais considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o vigor vegetativo estimado nas áreas experimentais A1, A2 e A3**



**Figura 6 - Distribuição de pontos amostrais considerados para a medida do conteúdo volumétrico de água na camada superficial do solo nas áreas experimentais A1, A2 e A3**



### 3.12 Colheita e vinificação orientadas em função das zonas homogêneas do vigor vegetativo estimado durante o início da maturação das bagas

A classificação dos valores interpolados estabelecida no item 3.9 foi utilizada para tomada de decisão quanto à colheita nas áreas experimentais A2 e A3 em ambos os ciclos. Desta forma, apenas os mapas categorizados das ZH referentes ao NDVI mensurado no *veraison* (BBCH 81) e organizados em três níveis de vigor vegetativo, foram utilizados para esta finalidade.

A orientação quanto a colheita seletiva se deu segundo o critério operacional estabelecido pelo agrupamento das classes C1 e C2 em uma única categoria (C1UC2), representativa das videiras de “baixo vigor”. Este critério foi considerado dada a proporção da área dos vinhedos ocupada por cada classe, de modo a viabilizar uma produção o suficiente para a colheita e vinificação diferenciada. Assim, as plantas pertencentes a este novo grupo de ZH foram colhidas separadamente daquelas correspondentes à classe C3 (alto vigor) para quantificação da produção ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) e produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cada regionalização delimitada nos vinhedos.

Para fins de orientação da colheita seletiva, posicionou-se sobre os mapas categóricos do NDVI uma grade regular formada pela área ocupada por cada planta em função dos limites definidos pelas fileiras e videiras adjacentes. Em seguida, aplicou-se um nível de tratamento conforme a classe de vigor vegetativo predominante em cada polígono delimitado pela grade (LEROUX, et al., 2017). Essa composição foi feita para facilitar a interpretação das ZH distribuídas no campo e para orientar a

identificação das plantas de diferentes classes de vigor vegetativo no momento da colheita.

A partir da colheita seletiva realizada no ciclo de 2018, foi feita a vinificação diferenciada conforme a delimitação das ZH. Amostras dos vinhos associados às categorias C1UC2 e C3 foram então avaliadas separadamente e caracterizadas quanto aos seguintes atributos físico-químicos: acidez fixa, volátil e total ( $\text{mEq L}^{-1}$ ), açúcares redutores ( $\text{g L}^{-1}$ ), álcool total (% v/v), antocianinas totais ( $\text{g L}^{-1}$ ); densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ ), extrato seco total e reduzido ( $\text{g L}^{-1}$ ), índice de polifenóis totais, intensidade total da cor, pH, relação álcool/extrato seco reduzido e taninos totais ( $\text{g L}^{-1}$ ).

Inicialmente, os resultados dos atributos físico-químicos foram classificados segundo valores de referência. Na sequência, a análise dos dados dos vinhos se deu por estatística multivariada, a partir da classificação das amostras em subgrupos (*clusters*). Esta foi realizada por meio de análise de agrupamentos hierárquicos aglomerativos (*bottom up*), identificando-se a magnitude da similaridade, conforme a distância euclidiana, entre as amostras dos vinhos no que diz respeito as variáveis destacadas anteriormente.

Por fim, testes de comparação entre valores médios referentes aos indicadores da composição das bagas foram adotados para diferenciação entre as ZH, a partir dos valores obtidos nas parcelas representadas nas Figuras 5b e 5c, utilizando-se os mesmos critérios descritos no item 3.3.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos físico-hídricos do solo

Nas Tabelas 5 a 9 são apresentados os resultados da análise estatística descritiva referente aos atributos físico-hídricos do solo correspondente aos intervalos de profundidade superficial (0,00 – 0,20 m) e subsuperficial (0,20 – 0,40 m). A Figura 7 apresenta a disposição das proporções de cada fração granulométrica distribuídas sobre diagramas triangulares para fins de classificação das amostras coletadas.

Em todos os vinhedos, a textura do solo dos intervalos de profundidade avaliados foi classificada majoritariamente como argilosa (SANTOS et al., 2018). Contudo, apenas na área experimental A1, diferenças significativas quanto as proporções de areia, silte e argila foram observadas na comparação entre as camadas. Desta forma, valores médios da proporção de areia e silte associada ao intervalo de profundidade de 0,00 – 0,20 m foram significativamente maiores em comparação àqueles equivalentes ao estrato subsequente (Tabela 5;  $p < 0,05$ ). Por sua vez, o solo correspondente ao intervalo de profundidade de 0,20 – 0,40 m apresentou uma maior proporção média de argila em comparação a camada precedente (Tabela 5;  $p < 0,05$ ). Assim, as videiras cv. Cabernet Franc cultivadas na área experimental A1 foram implantadas sobre condições divergentes no que diz respeito a distribuição do tamanho de partículas sólidas minerais do solo pertinentes aos intervalos de profundidade superficial e subsuperficial. No entanto, as demais áreas experimentais apresentaram-se homogêneas quanto a granulometria do solo na comparação entre as camadas do perfil (Tabelas 6 e 7;  $p > 0,10$ ).

Dentre os atributos físicos decorrentes das relações massa-área-volume do solo, os intervalos de profundidade referentes a área experimental A1 diferiram entre si quanto a  $\alpha$  e a  $d_s$ , assumindo-se um nível de significância de 5%, enquanto a  $d_p$  permaneceu constante ao longo do perfil considerado. Logo, o solo da camada de 0,20 – 0,40 m de profundidade apresentou um maior volume total de poros e menor razão massa/volume total do solo seco em comparação ao estrato imediatamente superior (Tabela 5;  $p < 0,05$ ). Assim, constatou-se que as videiras cv. Cabernet Franc cultivadas no vinhedo mencionado foram submetidas a uma condição de maior compactação da camada superficial do solo em comparação a subsequente, dada a redução de  $\alpha$  e incremento da  $d_s$ . Por sua vez, nas demais áreas experimentais, os

intervalos de profundidade não divergiram entre si no que diz respeito aos atributos físicos mencionados (Tabelas 6 e 7;  $p > 0,05$ ). Assim, nas condições de estudo, as videiras cv. Cabernet Fran e Cabernet Sauvignon cultivadas nas áreas A2 e A3, respectivamente, encontraram-se implantadas sob condições semelhantes no que concerniu aos atributos físico-hídricos supracitados.

Destaca-se que, em todos os casos, os valores médios da  $\alpha$  incluíram-se no intervalo reportado por Prevedello (1996) quanto a este atributo, no que diz respeito aos solos de textura argilosa ( $0,40 < \alpha < 0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), a despeito da presença ou ausência de diferenças significativas na comparação entre as camadas avaliadas. No entanto, a maioria dos valores médios correspondentes a  $d_s$  foram inferiores ao limite mínimo do intervalo conferido a esse atributo no que se refere aos solos argilosos ( $1,20 < d_s < 1,40$ ) (BERNARDO et al., 2009).

Conforme o ajuste das curvas características de retenção de água no solo, diferenças significativas quanto à  $\theta_{cc}$  e  $\theta_{pm}$ , foram observadas na comparação entre intervalos de profundidade analisados apenas na área experimental A1. Assim, a faixa de solo localizada entre 0,20 – 0,40 m de profundidade apresentou maiores valores médios referentes aos limites superior e inferior de disponibilidade de água em comparação aos estimados para a camada superficial (Tabela 8;  $p < 0,05$ ). Conseqüentemente, diferenças significativas foram igualmente observadas no que se referiu a DTA e CTA, segundo o mesmo padrão comparativo descrito anteriormente. Portanto, um maior potencial de armazenamento de água no solo foi atribuído ao intervalo de profundidade subsuperficial em comparação ao superficial (Tabela 7;  $p < 0,05$ ). Desta forma, as videiras cv. Cabernet Franc cultivadas na área A1 foram expostas a condições divergentes quanto à disponibilidade de água ao se comparar as diferentes camadas de solo do perfil. Entretanto, a exemplo dos demais atributos examinados, as áreas experimentais A2 e A3 não apresentaram diferenças significativas entre si quanto a  $\theta_{cc}$ ,  $\theta_{pm}$ , DTA e CTA (Tabela 9;  $p > 0,05$ ) na comparação entre os intervalos de profundidade.

Apesar dos resultados da análise granulométrica, os valores estimados de  $\theta_{cc}$  e DTA para ambas as camadas do solo de todas as áreas experimentais encontraram-se abaixo dos limites reportados por Bernardo et al. (2009) para esses atributos, segundo valores de referência correspondentes a solos de textura argilosa ( $39,00 < \theta_{cc} < 49,00\%$  em peso e  $2,00 < DTA < 2,50 \text{ mm cm}^{-1}$ ).

Conforme afirmado por van Leeuwen (2010), o solo é considerado um dos principais fatores ambientais envolvidos na expressão do *terroir* vitícola, juntamente com as condições climáticas e a cultivar implantada. Entretanto, apesar da importância desses aspectos, torna-se difícil a hierarquização dos mesmos, uma vez que a preponderância de cada um sobre os demais é afetada pela magnitude de suas interações (van LEEUWEN, 2010). Assim, admitindo-se que o solo das áreas experimentais A2 e A3 apresentou condições físico-hídricas superficiais e subsuperficiais semelhantes entre si, possíveis variações interanuais quanto ao *terroir* característico desses vinhedos podem ser relacionadas a intercorrência das condições climáticas e a influência antrópica relacionada aos tratamentos culturais aplicados ao longo dos ciclos de produção. Por sua vez, as diferenças significativas identificadas na comparação entre os intervalos de profundidade do solo da área A1, podem exercer influência sobre aspectos produtivos desse vinhedo em específico.

Videiras de alta qualidade se desenvolvem em uma diversidade de condições edáficas (van LEEUWEN, 2010) que atuam sobre aspectos do desenvolvimento das plantas e promovem efeitos na composição das bagas. Neste contexto, a influência dos atributos físico-hídricos do solo sobre componentes de produção e qualidade das uvas é comumente reconhecida (TROUGHT et al., 2008; QUEZADA et al., 2014; WANG et al., 2015; BARLOW, 2017; ECHEVERRIA et al., 2017). No que se refere particularmente a granulometria, Quezada et al. (2014), demonstraram que esse aspecto exerceu influência significativa sobre a concentração de sólidos solúveis do mosto de uvas produzidas por videiras cv. Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.), que foi maior em solos de textura argilosa. Conforme mencionado, essa classificação foi semelhante à identificada em todas as camadas de solo das áreas experimentais nas condições desse estudo. Associado ao aumento do teor de argila, o incremento da densidade do solo e da resistência à penetração foi igualmente relacionado ao decréscimo do número de cachos por planta, número de bagas por cacho e produção (QUEZADA et al., 2014). Assim, os efeitos potenciais da composição mineral do solo sobre as cultivares de videiras avaliadas podem ser associados, principalmente, aos processos de armazenamento e disponibilidade de água e nutrientes, admitindo-se que estes são mais proeminentes em solos argilosos em comparação com solos arenosos (KELLER, 2010).

Dentre as principais características do solo associadas à sua aptidão para cultivo de videiras, destacam-se a capacidade de armazenamento de água, para

satisfazer as necessidades hídricas das plantas durante o maior período de tempo possível e a drenagem adequada, o suficiente para manter um suprimento de oxigênio apropriado para o sistema radicular (NORTHCOTE, 1988). Neste contexto, os impactos da variabilidade na dinâmica da água no solo sobre aspectos qualitativos das uvas e dos vinhos, obtidos a partir de videiras cv. Gamaret (*Vitis vinifera* L.) não irrigadas, foram reportados por REYNARD et al. (2011) especialmente em anos secos.

Nas condições desta pesquisa, apesar das diferenças associadas a área a A1, os vinhedos apresentaram condições homogêneas quanto a disponibilidade de água ao longo da profundidade considerada do perfil, em razão dos limites de referência relativos à classificação da CTA. Porém a variabilidade quanto à redistribuição da umidade do solo pode ser presumida em todas as áreas experimentais, dada a disposição espacial dos atributos físico-hídricos (Figuras 8, 9 e 10). Reconhecendo-se a existência da variabilidade espacial, a delimitação de unidades homogêneas a partir dos atributos do solo pode ser considerada na caracterização das áreas experimentais analisadas, a exemplo do reportado por Tardaguila et al. (2011), Brillante et al., (2015), Tardaguila et al. (2017) e Yu et al., (2020).

Quanto a influência conjunta do solo e da planta sobre a qualidade dos vinhos, Renouf et al. (2010) demonstraram que a aptidão edáfica das áreas cultivadas pode ser aprimorada conforme a sua interação com a cultivar e o porta-enxerto adotados nos vinhedos. Entretanto, o resultado dessa associação não foi evidenciado em condições onde os solos apresentaram prontamente um reduzido potencial (RENOUF et al., 2010). Neste contexto, destaca-se que as cv. Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon implantadas nos vinhedos avaliados foram enxertadas sobre o mesmo porta-enxerto (Paulsen 1103). Por esse motivo, as possíveis variações interanuais dos aspectos da produção e da qualidade das uvas e dos vinhos podem ser provocadas por outras condições reinantes, não relacionadas aos efeitos específicos da interação entre a planta (copa/porta-enxerto) e os atributos físico-químicos do solo, uma vez que são presumidamente constantes. Ademais, a utilização de variedade porta-enxerto em comum entre todas áreas experimentais pode resultar em resposta similar das plantas frente a possíveis estresses abióticos relacionados ao solo. Isso ocorre pois o porta-enxerto é capaz de conferir tolerância às cultivares de videiras submetidas a essas condições, especialmente no que se refere ao déficit hídrico e a salinidade (SOMMER et al., 2010; EL-SALHY et al., 2014; SERRA et al., 2014).



**Tabela 5 - Estatística descritiva referente à granulometria e às relações área-massa-volume das amostras de solo coletadas na área A1**

Prof. (m)	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
								0%	25%	50%	75%	100%	
Areia (g kg <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	42,429 a	4,359	0,010	0,041	9,458	0,759	-0,353	0,360	0,378	0,402	0,419	0,483	15
0,2-0,4	39,277 b	4,239	0,014	0,069	12,351	-0,093	-0,035	0,346	0,409	0,450	0,478	0,548	15
Silte (g kg <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	7,252 a	0,947	0,244	1,144	13,056	1,116	1,291	6,090	6,518	7,201	7,662	9,599	15
0,2-0,4	6,623 b	0,478	0,123	0,636	7,212	0,653	1,216	5,791	6,305	6,520	6,941	7,771	15
Argila (g kg <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	50,318 b	4,650	1,201	5,066	9,241	-0,743	-0,067	40,678	48,020	52,285	53,086	57,466	15
0,2-0,4	54,100 a	4,255	1,099	6,711	7,866	-0,379	-0,985	46,438	51,551	53,374	58,262	58,936	15
$\alpha$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	0,407 b	0,038	0,010	0,041	9,458	0,759	-0,353	0,360	0,378	0,402	0,419	0,483	15
0,2-0,4	0,443 a	0,055	0,014	0,069	12,351	-0,093	-0,035	0,346	0,409	0,450	0,478	0,548	15
$d_p$ (kg m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	2,107 a	0,103	0,027	0,172	0,049	0,194	-1,392	1,964	2,011	2,123	2,183	2,269	15
0,2-0,4	2,139 a	0,156	0,040	0,213	0,073	0,440	1,647	1,836	2,016	2,127	2,229	2,511	15
$d_s$ (kg m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	1,249 a	0,079	0,020	0,090	0,063	-0,663	0,299	1,074	1,210	1,266	1,299	1,369	15
0,2-0,4	1,186 b	0,074	0,019	0,091	0,062	0,436	-0,471	1,070	1,130	1,188	1,220	1,326	15

$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações;  $\alpha$ : porosidade total;  $d_p$ : densidade de partículas sólidas;  $d_s$ : densidade do solo; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, conforme o teste t de Student ou t modificado de Welch, assumindo-se o nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabela 6 - Estatística descritiva referente à granulometria e às relações área-massa-volume das amostras de solo coletadas na área A2**

Prof. (m)	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
								0%	25%	50%	75%	100%	
Areia (g kg <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	42,653 a	4,284	1,106	4,442	10,044	-0,592	-0,134	34,197	40,877	43,598	45,319	49,762	15
0,2-0,4	42,646 a	5,628	1,453	7,116	13,196	-0,563	0,457	29,834	39,575	43,622	46,691	50,989	15
Silte (g kg <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	7,453 a	0,916	0,236	1,034	12,285	-0,738	-0,109	5,521	7,105	7,663	8,139	8,628	15
0,2-0,4	7,167 a	0,840	0,217	1,408	11,718	0,160	-1,497	6,021	6,406	7,440	7,814	8,611	15
Argila (g kg <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	49,894 a	4,570	1,180	3,693	9,159	0,659	0,052	42,539	47,223	48,335	50,916	58,612	15
0,2-0,4	50,186 a	6,082	1,570	7,839	12,118	0,404	0,223	40,838	46,308	50,054	54,147	63,650	15
Porosidade total – $\alpha$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	0,502 a	0,043	1,106	4,442	10,044	-0,592	-0,134	34,197	40,877	43,598	45,319	49,762	15
0,2-0,4	0,498 a	0,064	1,453	7,116	13,196	-0,563	0,457	29,834	39,575	43,622	46,691	50,989	15
$d_p$ (kg m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	2,135 a	0,102	0,026	0,213	0,048	-0,090	-1,758	2,002	2,022	2,126	2,234	2,256	15
0,2-0,4	2,137 a	0,104	0,027	0,164	0,049	-0,580	-0,535	1,919	2,073	2,130	2,237	2,256	15
$d_s$ (kg m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	1,064 a	0,100	0,026	0,116	0,094	-0,386	-0,094	0,875	1,014	1,065	1,130	1,213	15
0,2-0,4	1,070 a	0,119	0,031	0,202	0,111	-0,041	-1,291	0,886	0,951	1,077	1,153	1,250	15

$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações;  $\alpha$ : porosidade total;  $d_p$ : densidade de partículas sólidas;  $d_s$ : densidade do solo; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, conforme o teste t de Student ou t modificado de Welch, assumindo-se o nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabela 7 - Estatística descritiva referente as relações área-massa-volume e a granulometria das amostras de solo coletadas na área A3**

Prof. (m)	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
								0%	25%	50%	75%	100%	
Areia (g kg <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	49,000 a	4,790	1,237	7,448	9,775	-0,155	-1,173	40,725	45,571	49,305	53,019	56,010	15
0,2-0,4	47,910 a	5,754	1,486	7,624	12,009	-0,265	-0,556	37,285	44,360	47,443	51,984	56,519	15
Silte (g kg <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	9,448 a	1,551	0,400	1,856	16,416	0,831	-0,037	7,341	8,300	8,843	10,155	12,566	15
0,2-0,4	9,000 a	1,282	0,331	0,962	14,243	1,032	2,204	6,862	8,444	8,700	9,406	12,247	15
Argila (g kg <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	41,552 a	4,937	1,275	6,751	11,881	0,327	-0,180	34,136	37,678	41,894	44,429	51,934	15
0,2-0,4	43,091 a	5,665	1,463	7,363	13,146	0,431	-0,588	34,415	39,425	41,939	46,788	53,226	15
$\alpha$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	0,524 a	0,033	0,008	0,040	6,259	-0,916	0,308	0,451	0,506	0,533	0,545	0,562	15
0,2-0,4	0,512 a	0,054	0,014	0,053	10,529	-0,676	0,534	0,404	0,495	0,508	0,549	0,602	15
$d_p$ (kg m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	2,135 a	0,102	0,026	0,213	0,048	-0,090	-1,758	2,002	2,022	2,126	2,234	2,256	15
0,2-0,4	2,137 a	0,104	0,027	0,164	0,049	-0,580	-0,535	1,919	2,073	2,130	2,237	2,256	15
$d_s$ (kg m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	1,064 a	0,100	0,026	0,116	0,094	-0,386	-0,094	0,875	1,014	1,065	1,130	1,213	15
0,2-0,4	1,070 a	0,119	0,031	0,202	0,111	-0,041	-1,291	0,886	0,951	1,077	1,153	1,250	15

$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações;  $\alpha$ : porosidade total;  $d_p$ : densidade de partículas sólidas;  $d_s$ : densidade do solo; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, conforme o teste t de Student ou t modificado de Welch, assumindo-se o nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabela 8 - Estatística descritiva referente a umidade volumétrica correspondente aos limites de disponibilidade de água das amostras de solo coletadas nas áreas experimentais A1, A2 e A3**

Prof. (m)	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
								0%	25%	50%	75%	100%	
<b>Área A1</b>													
$\theta_{cc}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	0,232 b	0,027	0,007	0,027	11,423	-0,308	-0,028	0,185	0,221	0,235	0,248	0,282	15
0,2-0,4	0,264 a	0,036	0,009	0,038	13,667	-0,405	0,207	0,188	0,250	0,258	0,289	0,316	15
$\theta_{pm}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	0,187 b	0,021	0,005	0,023	11,207	-0,197	-0,120	0,150	0,177	0,187	0,200	0,226	15
0,2-0,4	0,209 a	0,026	0,007	0,031	12,202	-0,086	0,253	0,156	0,194	0,208	0,225	0,255	15
<b>Área A2</b>													
$\theta_{cc}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	0,280 a	0,030	0,008	0,048	10,887	0,551	-0,402	0,243	0,250	0,276	0,298	0,343	15
0,2-0,4	0,279 a	0,043	0,011	0,066	15,317	0,309	-1,508	0,222	0,246	0,267	0,312	0,342	15
$\theta_{pm}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	0,212 a	0,023	0,006	0,030	10,859	0,883	0,245	0,182	0,193	0,208	0,223	0,260	15
0,2-0,4	0,210 a	0,028	0,007	0,045	13,489	0,465	-1,073	0,170	0,187	0,202	0,232	0,259	15
<b>Área A3</b>													
$\theta_{cc}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	0,260 a	0,029	0,007	0,042	11,033	0,401	-0,628	0,215	0,238	0,255	0,280	0,315	15
0,2-0,4	0,261 a	0,045	0,012	0,071	17,326	0,046	-1,133	0,191	0,224	0,260	0,296	0,332	15
$\theta_{pm}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )													
0,0-0,2	0,191 a	0,021	0,006	0,030	11,217	0,262	-0,847	0,157	0,176	0,186	0,206	0,228	15
0,2-0,4	0,194 a	0,033	0,009	0,054	17,167	0,266	-1,037	0,148	0,163	0,195	0,217	0,254	15

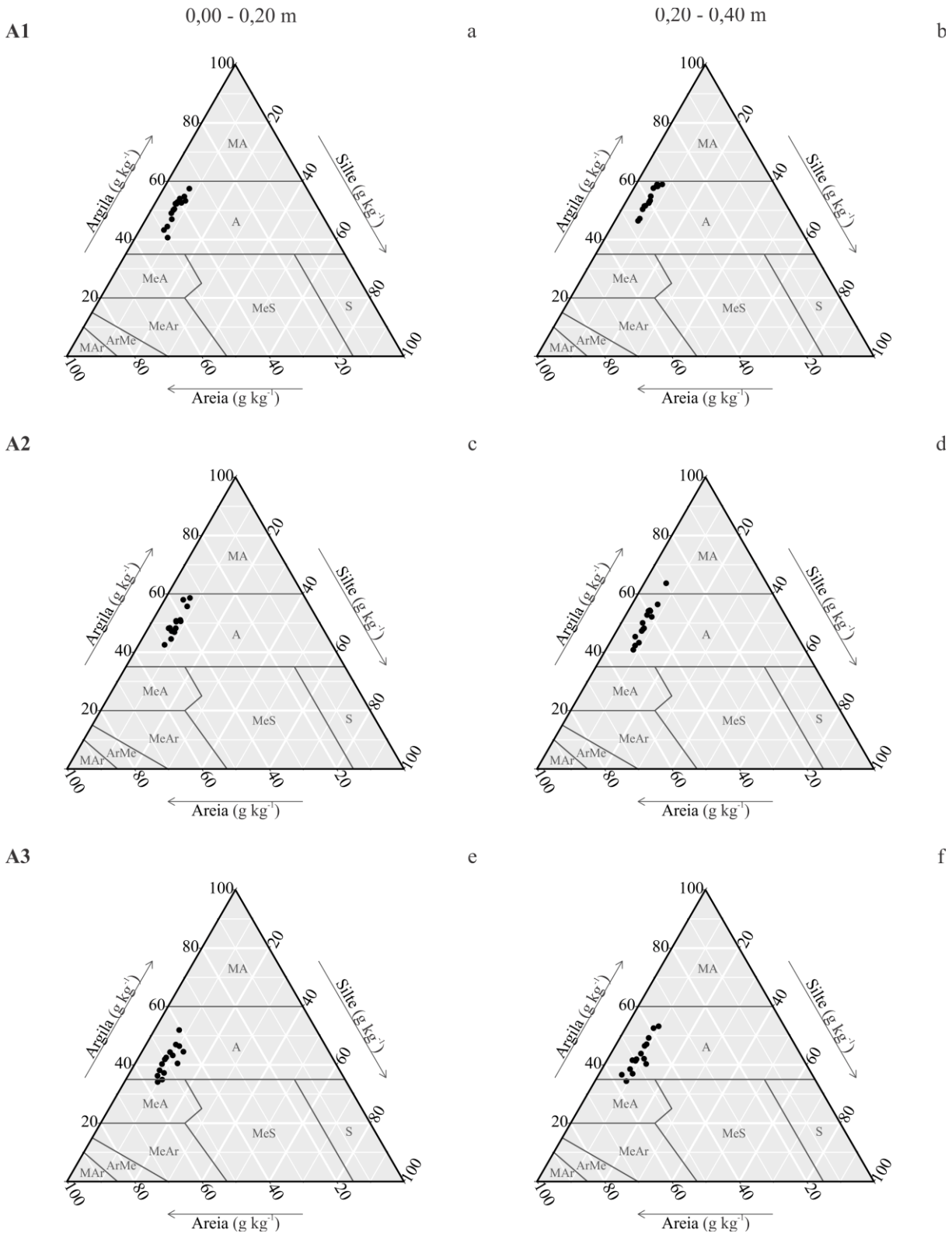
$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações.  $\theta_{cc}$ : umidade volumétrica na capacidade de campo;  $\theta_{pm}$ : umidade volumétrica na capacidade de campo; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, conforme o teste t de Student ou t modificado de Welch, assumindo-se o nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabela 9 - Estatística descritiva referente às propriedades físico-hídricas correspondentes ao armazenamento de água das amostras de solo coletadas nas áreas experimentais A1, A2 e A3**

Prof. (m)	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
								0%	25%	50%	75%	100%	
<b>Área A1</b>													
DTA (mm cm <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	0,452 b	0,091	0,024	0,129	20,222	0,667	-0,702	0,342	0,382	0,422	0,511	0,625	15
0,2-0,4	0,550 a	0,149	0,038	0,185	27,056	-0,394	-0,668	0,281	0,449	0,598	0,634	0,770	15
CTA (mm)													
0,0-0,2	9,030 b	1,826	0,471	2,574	20,222	0,667	-0,702	6,833	7,637	8,443	10,211	12,492	15
0,2-0,4	11,006 a	2,977	0,769	3,702	27,053	-0,394	-0,668	5,614	8,977	11,960	12,679	15,403	15
<b>Área A2</b>													
DTA (mm cm <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	0,681 a	0,107	0,028	0,172	15,654	0,197	-1,057	0,510	0,588	0,656	0,759	0,858	15
0,2-0,4	0,688 a	0,194	0,050	0,327	28,178	0,440	-1,210	0,436	0,527	0,639	0,855	1,009	15
CTA (mm)													
0,0-0,2	13,615 a	2,131	0,550	3,430	15,652	0,196	-1,057	10,198	11,752	13,117	15,182	17,153	15
0,2-0,4	13,757 a	3,877	1,001	6,541	28,179	0,440	-1,210	8,729	10,549	12,788	17,090	20,171	15
<b>Área A3</b>													
DTA (mm cm <sup>-1</sup> )													
0,0-0,2	0,688 a	0,083	0,021	0,112	12,067	0,573	-0,075	0,565	0,630	0,674	0,742	0,865	15
0,2-0,4	0,667 a	0,135	0,035	0,151	20,287	-0,070	-0,154	0,431	0,600	0,675	0,751	0,929	15
CTA (mm)													
0,0-0,2	13,762 a	1,661	0,429	2,245	12,067	0,572	-0,076	11,293	12,591	13,472	14,836	17,297	15
0,2-0,4	13,336 a	2,705	0,699	3,012	20,286	-0,070	-0,155	8,623	12,008	13,507	15,020	18,570	15

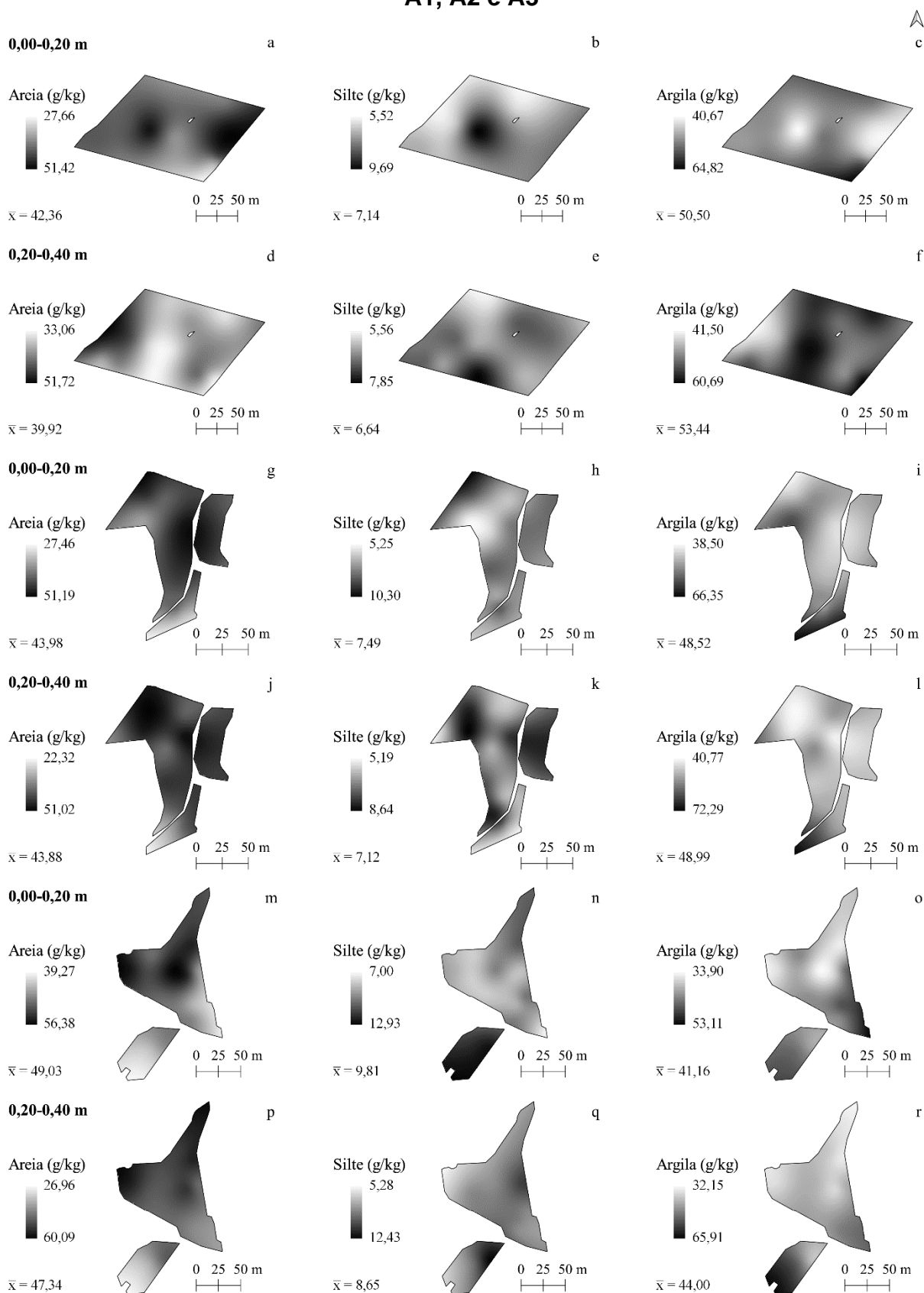
$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações. DTA: disponibilidade total de água no solo; CTA: capacidade total de água no solo; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, conforme o teste t de Student ou t modificado de Welch, assumindo-se o nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ )

**Figura 7 - Diagramas ternários representativos das proporções de areia, site e argila referentes as amostras coletadas nas áreas experimentais A1, A2 e A3 na camada superficial (0,00-0,020 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m) do solo e distribuídas sobre grupos de classes de textura**

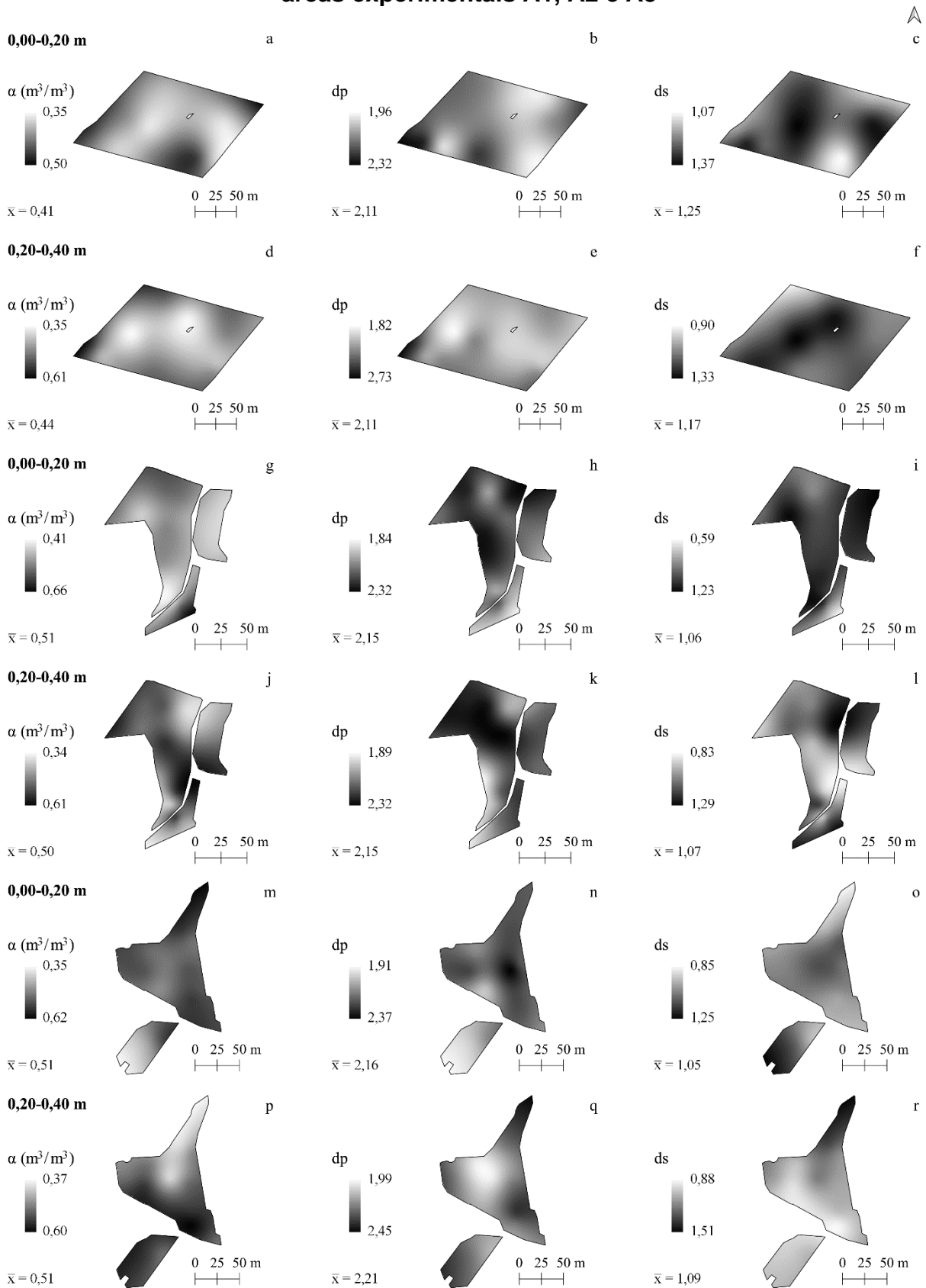


MA: muito argilosa; A: argilosa; MeA: média-argilosa; S: siltosa; MeS: média-siltosa; MeAr: média-arenosa; ArMe: arenosa média; Mar: muito arenosa (SANTOS et al., 2018).

**Figura 8 - Predição espacial referente a granulometria da camada superficial (0,00-0,020 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m) do solo das áreas experimentais A1, A2 e A3**



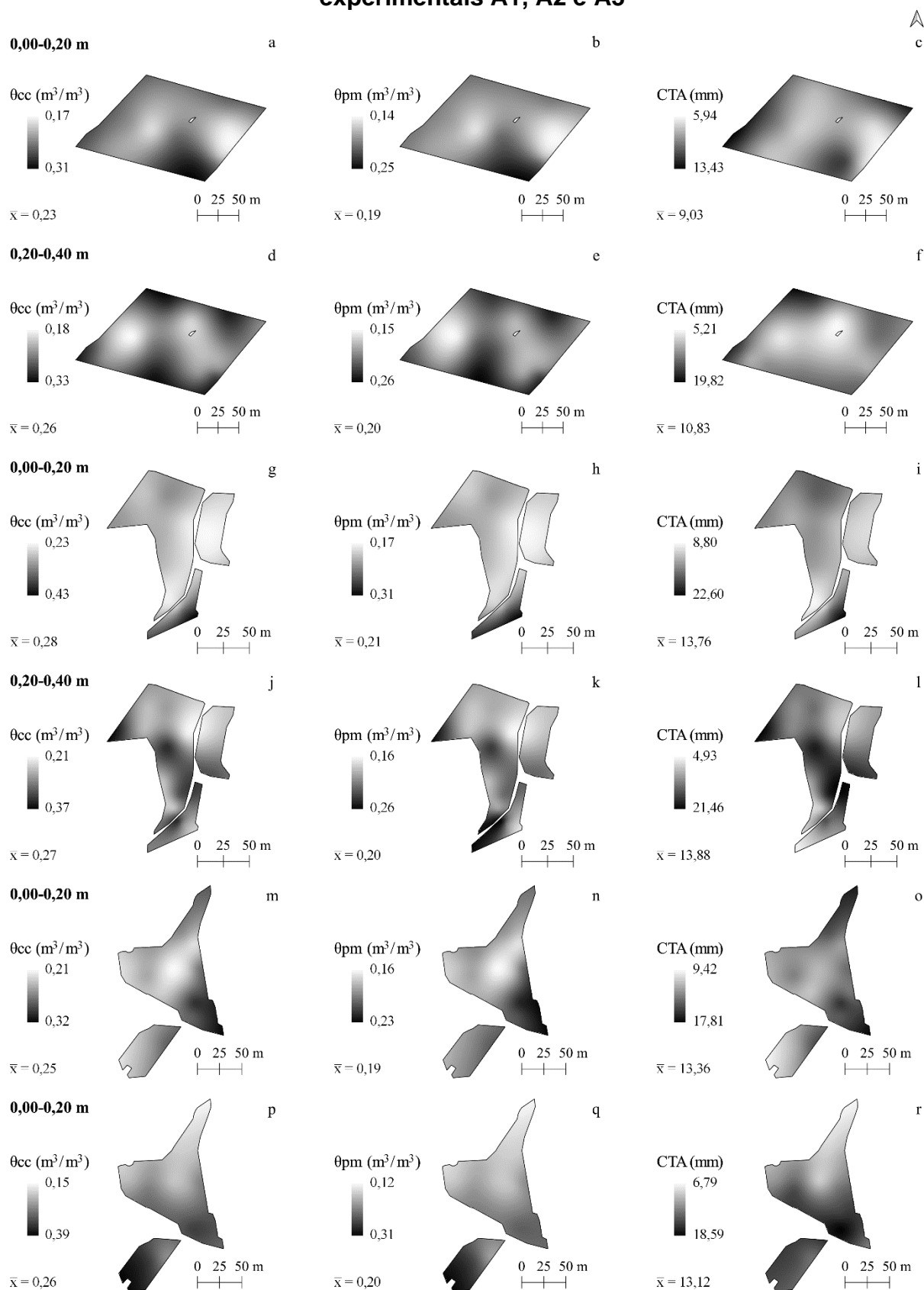
**Figura 9 - Predição espacial referente às relações área-massa-volume da camada superficial (0,00-0,020 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m) do solo das áreas experimentais A1, A2 e A3**



$\alpha$ : porosidade total; dp: densidade de partículas sólidas; ds: densidade do solo.



**Figura 10 - Predição espacial referente à disponibilidade de água da camada superficial (0,00-0,20 m) e subsuperficial (0,20-0,40 m) do solo das áreas experimentais A1, A2 e A3**



$\theta_{cc}$  e  $\theta_{pm}$ : capacidade de campo e ponto de murcha, respectivamente; CTA: capacidade de armazenamento

## 4.2 Condições mesoclimáticas

Medidas numéricas descritivas referentes à temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento predominante no entorno das áreas experimentais durante os ciclos de produção de 2018 e 2019, subdivididos nos períodos P1 e P2, estão apresentadas nas Tabelas 10 a 14. Os polígonos de frequência absoluta e acumulada pertinentes a essas variáveis são retratados nas Figuras 11, 12 e 13, enquanto a sua variação diária é apresentada nas Figuras 14, 15 e 16.

### 4.2.1 Temperatura do ar

Conforme a variabilidade relativa em torno da média (CV) das observações referentes à  $T_{med}$  correspondente a todas as áreas experimentais, houve uma maior dispersão dos valores desta variável no decorrer do período P1 em 2019 em comparação ao mesmo período do ciclo de 2018 (Tabela 10). De acordo com a amplitude interquartil (IQR) confirmou-se igualmente uma maior variabilidade da  $T_{med}$  em torno de 50% das observações centrais do conjunto de dados obtidos no ciclo de 2019 em comparação com o anterior no que diz respeito a todos os vinhedos, assumindo-se o mesmo período precedente ao início da maturação das bagas (BBCH 81). Estes resultados indicaram uma dessemelhança interanual quanto a oscilação da  $T_{med}$  registrada em um mesmo período entre fases fenológicas pertinentes a ciclos de produção distintos.

No período seguinte (P2), o CV correspondente a  $T_{med}$  divergiu conforme a área experimental e os ciclos de produção das cultivares. Assim, a dispersão relativa dos dados em torno da média de  $T_{med}$  inerente as áreas A2 e A3 (Tabela 11 e 12, respectivamente) durante o período em questão foi superior no ciclo de produção de 2019, enquanto o contrário foi observado na área A1 (Tabela 10). Contudo, em razão da amplitude interquartil associada às observações da  $T_{med}$  no período P2 e devido a essa medida de dispersão não sofrer influência de valores discrepantes, foi possível afirmar que a  $T_{med}$  ao longo dessa segunda etapa apresentou uma variabilidade mais pronunciada durante o ciclo de 2019 em comparação ao anterior em todas as áreas experimentais, de maneira semelhante ao observado no período P1.

O CV correspondente aos conjuntos de dados de  $T_{med}$  associados ao período P2 superou àquela relacionada a etapa anterior em todos os casos. Essa diferença

revelou a inconstância das condições climáticas quanto a essa variável após o início da maturação das bagas, que foi atribuída a discrepância entre os valores de temperatura mínima e máxima utilizados no seu cálculo.

No decorrer do período P1, a temperatura mínima do ar ( $T_{\min}$ ) apresentou uma maior dispersão relativa em torno da média associada ao ciclo de produção do ano de 2019 em comparação ao anterior, a semelhança dos resultados associados a  $T_{\text{med}}$ . A amplitude interquartil referente à  $T_{\min}$  registrada durante o período em questão também indicou uma maior variabilidade dos dados ao longo do período anterior a maturação de bagas durante o segundo ciclo de produção avaliado em comparação ao primeiro.

No período P2, o CV relacionado aos conjuntos de dados de  $T_{\min}$  demonstrou que a dispersão relativa pertinente a essa variável foi maior no segundo ciclo avaliado, porém levando-se em conta apenas as áreas A1 e A3 (Tabela 10 e 12, respectivamente). Assim, na área experimental A2, a  $T_{\min}$  apresentou uma maior variabilidade durante o período P2 do ciclo de produção de 2018 em comparação ao observado no ano posterior (Tabela 11). Apesar disso, a amplitude interquartil associada ao primeiro ciclo de produção foi superior ao calculado para o seguinte, conforme as observações de  $T_{\min}$  associadas a todos os vinhedos, o que indicou um padrão semelhante ao identificado no período P1.

De forma análoga a  $T_{\text{med}}$ , a  $T_{\min}$  apresentou uma maior dispersão em torno de valores médios durante o período P2 dos ciclos de produção pertinentes a todas as áreas experimentais. A maior dispersão dos dados de  $T_{\min}$  foi relacionada à ocorrência de valores extremos, assumindo-se que a temperatura do ar durante o período P2 tornou-se ainda menor em relação àquelas registrada no período P1, em virtude do avanço do ciclo em relação às estações de outono e inverno. Em razão desses resultados, a maior variabilidade nas estimativas de  $T_{\text{med}}$  nessa segunda fase dos ciclos de produção foi relacionada a maior dispersão dos dados de temperatura mínima correspondente ao período em questão.

Os dados da temperatura máxima do ar ( $T_{\max}$ ) apresentaram um padrão semelhante àquele relacionado a  $T_{\text{med}}$  e  $T_{\min}$  quanto à oscilação dos valores registrados no período P1 nos diferentes ciclos de produção. Estes resultados evidenciaram uma maior dispersão relativa em torno da média da  $T_{\max}$  registrada durante o ciclo de 2019 em comparação ao anterior em todos os vinhedos. A semelhança do CV, a amplitude interquartil indicou que a variabilidade dos dados de

$T_{\max}$  referentes ao período P1 de 2019 mostrou-se maior em comparação àquela associada à 2018 na mesma etapa do ciclo produção em todas as áreas experimentais.

Diferentemente do período P1, a variabilidade relativa em torno da média de  $T_{\max}$  registrada após o início da maturação de bagas foi menor durante o ciclo de 2019, com exceção daquela correspondente a área A3 (Tabela 12). Por sua vez, a amplitude interquartil comprovou a maior dispersão em torno de 50% das observações centrais no que diz respeito a  $T_{\max}$  monitorada durante o período P2 do ciclo de 2019 nos vinhedos avaliados.

A variabilidade relativa da  $T_{\max}$  durante o período P2 superou aquela calculada para a etapa anterior, de modo idêntico ao demonstrado pela  $T_{\text{med}}$  e  $T_{\text{min}}$ . Entretanto, a diferença entre o CV referente a  $T_{\max}$  de ambos os períodos delimitados foi reduzida em comparação ao identificado para as demais medidas de temperatura do ar. Estes resultados indicaram que, os períodos P1 e P2 foram relativamente semelhantes quanto a dispersão dos dados de  $T_{\max}$  correspondente a todas as áreas experimentais.

Por fim, a análise da amplitude de variação entre  $T_{\max}$  e  $T_{\text{min}}$  indicou uma maior dispersão em torno da média desta variável associada ao ano de 2019 em comparação ao anterior, em todas as áreas experimentais e em ambos os períodos P1 e P2. Nas áreas A2 e A3, a variabilidade relativa da amplitude térmica foi menor durante o período P2 em comparação ao anterior em ambos os ciclos (Tabela 11 e 12). O mesmo foi observado na área A1 somente no ciclo de 2019 (Tabela 10). Este resultado indicou que a discrepância entre valores extremos ocorreu de maneira mais esporádica nas etapas iniciais do ciclo de produção na maioria dos casos.

Pela análise da representação dos dados de temperatura do ar nos polígonos de frequência (Figuras 11 a 13), observou-se que a quase totalidade das curvas correspondentes à  $T_{\text{med}}$ ,  $T_{\text{min}}$  e  $T_{\max}$  registrada durante o período P2 encontraram-se deslocadas à direita em relação àquelas equivalentes ao período P1. Isso foi verificado durante ambos os ciclos de produção de todas as áreas avaliadas. Esses resultados demonstraram que durante o período anterior ao início de maturação das bagas, ocorreu uma menor frequência de valores inferiores a um determinado valor de temperatura do ar em comparação ao período posterior do ciclo. De modo análogo, durante o período P1, foi registrado uma maior quantidade de valores superiores a um determinado valor, no que diz respeito à temperatura do ar mensurada na etapa seguinte do ciclo. Além disso, foi possível rejeitar a hipótese de nulidade ( $H_0$ ) quanto

à igualdade das funções de distribuição acumulada referentes à temperatura do ar correspondente a cada período do ciclo ( $p < 0,05$ ), de acordo com a estatística D do teste de Kolmogorov-Smirnov (Figuras 11 a 13).

A partir dos resultados referentes às curvas e polígonos de percentagem, considerou-se que, durante o período compreendido entre a fase fenológica BBCH 81 (*veraison*) e a colheita, todas as cultivares de videiras implantadas nas áreas experimentais em estudo foram submetidas a condições atmosféricas locais mais amenas no que diz respeito à temperatura do ar. A redução da temperatura do ar ocorreu em razão do período P2 ter abrangido as estações do outono e inverno no hemisfério sul. Consequentemente, verificou-se uma redução da frequência de valores elevados associada a maior ocorrência de valores mínimos de temperatura durante o período P2 em comparação ao período P1.

De acordo com a análise dos polígonos de frequências acumuladas, foi possível observar uma ligeira discrepância entre a amplitude térmica registrada durante os períodos pré e pós-*veraison* (Figuras 11 a 13). Assim, P1 apresentou uma menor regularidade de amplitudes inferiores a um determinado valor na comparação com a etapa seguinte. Essa diferença foi evidenciada em razão do deslocamento à direita dos polígonos de frequência correspondentes ao primeiro período do ciclo. Entretanto, esse padrão foi menos evidente ao se analisar os dados referentes a cv. Cabernet Sauvignon (A3) ao longo de 2019 (Figura 11), em função do prolongamento do período P2 e da consequente redução da diferença entre temperaturas máximas e mínimas, conforme mencionado anteriormente. Contudo, as funções de distribuição acumulada pertinentes à amplitude térmica registrada nos períodos P1 e P2 foram consideradas idênticas ( $p > 0,05$ ) em todos os ciclos de produção dos vinhedos avaliados, segundo a estatística D do teste de Kolmogorov-Smirnov (Figuras 11 a 13).

A temperatura do ar é um dos aspectos climáticos centrais da viticultura, uma vez que seu efeito isolado se relaciona de modo não linear, ao desenvolvimento fenológico das videiras no decorrer do seu ciclo (GLADSTONES, 2011). Assim, temperaturas mais elevadas aceleram o desenvolvimento das videiras, em virtude do avanço de suas fases fenológicas (KELLER, 2010). A semelhança de outras plantas, o crescimento das videiras, indicado pelo acúmulo de matéria seca, atinge a sua taxa máxima em temperaturas equivalentes ao intervalo entre 22–25°C, enquanto a mesma é reduzida para zero na ocorrência de temperaturas inferiores e superiores a 10 e 40°C, respectivamente (GLADSTONES, 2011).

Dada a sua importância, a caracterização de localidades produtoras quanto às condições em que se desenvolve a vitivinicultura se dá por meio de índices bioclimáticos fundamentados, principalmente, nas variações da temperatura do ar, a exemplo daqueles reportados por Huglin (1978), Carbonneau et al. (1992) e Tonietto e Carbonneau, (2004). Além disso, os efeitos dessa variável sobre os aspectos do metabolismo e do crescimento vegetal das videiras, além da consequente influência sobre a produção e a composição das bagas e dos vinhos, são comumente referenciados na literatura (HENDRICKSON et al., 2004; DALLA MARTA et al., 2010; GREER e WEEDON, 2013; SADRAS et al., 2013a; SADRAS et al., 2013b; GREER e WEEDON, 2014; RUMMLER et al., 2016; GOUOT et al., 2019; ZHU et al., 2020).

A influência do aumento da temperatura do ar sobre o desempenho de videiras cv. Chardonnay, Merlot e Semillon (*Vitis vinifera* L.) foi identificada por Greer e Weedon (2013) e Greer e Weedon (2014), no que se referiu a redução da taxa fotossintética e a elevação da transpiração, proporcional ao aumento da condutância estomática, além da diminuição da taxa de maturação e do acúmulo de matéria seca e de sólidos solúveis nas bagas. Por sua vez, baixas temperaturas foram associadas, igualmente, a limitação da fotossíntese, bem como ao decréscimo na taxa de crescimento dos ramos de videiras cv. Pinot Noir e Riesling (*Vitis vinifera* L.) (HENDRICKSON et al., 2004). Ambas as condições de aquecimento e resfriamento dos cachos propiciaram alterações na taxa de crescimento e na coloração de bagas, bem como na expressão de genes associados ao metabolismo de flavonoides em videiras cv. Merlot (*Vitis vinifera* L.) (COHEN et al., 2012). Sob condições controladas, Parra et al. (2010) observaram que, na ausência de déficit hídrico, o aumento da temperatura do ar concomitante a elevação da concentração de CO<sub>2</sub> resultaram no decréscimo do teor de ácido málico e o potencial total de antocianinas em videiras cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.).

Dentre todos os aspectos fisiológicos sobre os quais a temperatura do ar exerce influência, a intensidade do processo de maturação das uvas é particularmente afetada por essa variável (SANTOS et al., 2011). Entretanto, embora não se possa presumir que a qualidade das uvas seja determinada principalmente no período pós-*veraison*, a etapa de maturação das bagas é fundamentalmente importante para determinação de suas características finais (PARRA et al., 2010).

Nesta perspectiva, Moura et al. (2009) afirmam que a acidez das uvas, sobretudo no que diz respeito ao teor de ácido málico, está inversamente

correlacionada com a temperatura do ar durante a maturação. De forma semelhante, Mota et al. (2006) declaram que o mosto produzido por videiras cultivadas em climas quentes apresenta um maior teor de açúcar e menor acidez, enquanto o oposto ocorre em climas frios. Igualmente, Poudel et al. (2009) destacam que temperaturas elevadas afetam a composição das bagas, principalmente no que diz respeito a acidez total titulável, a concentração de sólidos solúveis totais e ao conteúdo de antocianinas. Desta forma, os autores mencionados verificaram que, as videiras cv. Kadainou R-1 (*Vitis vinifera* x *Vitis ficifolia* var. *ganebu*) atingiram a qualidade ótima das bagas quando submetidas a temperaturas noturnas equivalentes a 25°C durante o período de maturação de bagas (POUDEL et al., 2009).

Na ocorrência de temperaturas elevadas durante o período imediatamente após o *veraison*, o limiar definido entre 50-53°C para a sobrevivência das bagas provenientes de videiras cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.) foi delimitado por Gouot et al. (2019), a partir do qual danos irreversíveis e mudanças composicionais foram observadas. Por sua vez, Gaiotti et al. (2018) reportaram que baixas temperaturas noturnas ocorridas no período de início de amadurecimento de bagas contribuíram para a síntese e acúmulo de antocianinas em videiras cv. Corvina (*Vitis vinifera* L.). Do contrário, a exposição das bagas a temperaturas noturnas elevadas resultou na inibição da biossíntese de antocianinas em bagas de videiras cv. Darkridge (*Vitis vinifera* L. x *Vitis labrusca* L.), devido a supressão da expressão dos genes e enzimas associados a esse processo (MORI et al., 2005).

Nas circunstâncias descritas nesta pesquisa, os períodos pré e pós-*veraison* correspondentes aos ciclos de produção das videiras cv. Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon apresentaram um padrão característico, especialmente no que se referiu a ocorrência de baixas temperaturas do ar ao final de cada ciclo de produção, apesar da variabilidade intra e interanual registrada durante o período de estudo. Neste contexto, além das coordenadas geográficas que definiram a localização dos vinhedos, os aspectos topográficos regionais exerceram influência sobre as condições atmosféricas circundantes. Contudo, a duração dos intervalos entre fases fenológicas considerados na subdivisão dos ciclos de produção e o momento de ocorrência de cada uma dessas em relação à época do ano, permitiram a diferenciação das condições climáticas monitoradas em escala local. Por essa razão, o efeito antrópico, representado pela implementação do manejo de dupla poda adotado nas áreas experimentais, resultou na exposição das videiras cv. Cabernet Franc e Cabernet

Sauvignon a condições climáticas específicas antes e após o início da maturação de bagas, particularmente importantes no que diz respeito a temperatura do ar.

Conforme apresentado na Figura 17, as cultivares implantadas nas três áreas experimentais foram submetidas à poda de produção para início do ciclo de 2018 e 2019, respectivamente, aos 35 e 28 dias (A1) e aos 27 e 33 dias (A2 e A3) após o solstício de verão no hemisfério sul. Por sua vez, para a mesma sequência de anos referida, o início da maturação das bagas foi identificado aos 49 e 47 dias (A1), aos 44 e 59 dias (A2) e aos 44 e 52 dias (A3) após o equinócio de outono. Por fim, a colheita se deu aos 27 e 13 dias (A1), aos 9 e 11 dias (A3) e aos 30 e 41 dias (A3) após o solstício de inverno nos anos de 2018 e 2019, nesta ordem. A duração do período P1 registrada ao longo dos ciclos produtivos de 2018 e 2019, respectivamente, foi equivalente à 101 e 107 dias (A1), 105 e 114 dias (A2) e 105 e 107 dias (A3). Por sua vez, assumindo-se a mesma sequência de anos avaliados, o período P2 teve duração de 71 e 59 dias (A1), 58 e 45 dias (A4) e 79 e 82 dias (A3).

Neste contexto, apesar das alterações no metabolismo e na composição das bagas, ocorridas no decurso do seu desenvolvimento e maturação, serem controladas pelo genótipo das cultivares, destaca-se que essas podem ser influenciadas pela interação de práticas culturais e fatores ambientais (KELLER, 2010b). Assim, no que trata da implementação da dupla poda sequencial na vitivinicultura desenvolvida no Estado de São Paulo, Santos et al. (2011) sugeriram que a maturação tecnológica e fenólica das cultivares Syrah, Bordô e Bordô-Clone Barberinha (*Vitis vinifera* L.) foi favorecida pelas condições climáticas predominantes na safra de inverno. De modo semelhante, Favero et al. (2008) demonstraram a viabilidade da produção de videiras cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.) em condições não irrigadas durante o ciclo de outono-inverno, segundo aspectos de produção e qualidade das bagas, incrementados em resposta a menor incidência de precipitações pluviais e a maior amplitude térmica característica do período mencionado.

#### **4.2.2 Umidade relativa do ar**

Conforme a variabilidade relativa indicada pelo CV, o ano de 2019 foi caracterizado por uma maior dispersão em torno de um valor médio no que diz respeito à umidade relativa do ar (Tabela 13). De forma semelhante ao CV, a amplitude interquartil revelou a mesma discrepância quanto à dispersão em torno de



metade dos valores centrais, a qual foi superior em 2019 em todos os casos, fato que demonstrou a divergência existente quanto à variabilidade de condições climáticas referentes a essa variável em específico na comparação entre um mesmo período de ciclos produtivos consecutivos. No período P2, o CV e a amplitude interquartil indicaram uma diferença entre os ciclos avaliados no que se referiu a concentração de vapor de água presente no ar a partir do início da maturação das bagas. Assim, esta etapa do ciclo produtivo em 2018 apresentou uma maior variabilidade quanto a essa condição atmosférica, em comparação ao mesmo período do ciclo posterior.

Em todos os vinhedos avaliados o período P1 do ciclo das videiras apresentou uma maior frequência de valores inferiores da umidade relativa do ar, uma vez que os polígonos de frequências acumuladas correspondentes a essa etapa do ciclo foram deslocados para a direita em comparação àqueles equivalentes ao intervalo entre o início da maturação e a colheita (Figuras 11 a 13). Desta maneira, concluiu-se que a quantidade de vapor de água na atmosfera circundante aos vinhedos durante o período P1 foi superior àquela mensurada ao longo do período P2 em ambos os ciclos de produção. Destaca-se ainda que, as funções de distribuição acumulada, referentes a umidade relativa do ar em cada período do ciclo, foram diferentes entre si ( $p < 0,05$ ), conforme a estatística D do teste de Kolmogorov-Smirnov (Figuras 11 a 13).

Na viticultura, os efeitos de condições climáticas são notáveis na manifestação de doenças fúngicas, que provocam a redução da produção e da qualidade das uvas. Dentre essas, o risco climático relacionado a incidência do míldio (*Plasmopara viticola* (Berk. & Curt.) Berl. of de Toni), é caracterizado por condições de elevada umidade relativa do ar, observadas em anos onde ocorre uma maior taxa de precipitação pluvial (CZERMAINSKI e SÔNEGO, 2004). Assim, a esporulação desse fungo ocorre quando a concentração de vapor de água na atmosfera encontra-se acima de 98% e cessa quando esta é inferior a 70% (SÔNEGO et al., 2005). Neste sentido, Hamada et al. (2008) estimaram que, para a região nordeste do Estado de São Paulo, Brasil, a menor severidade quanto a infestação por míldio foi identificada no mês de outubro, a partir do qual ocorre o incremento gradual da mesma nos meses seguintes. Contudo, a relação entre os fatores ambientais e a infecção ou esporulação do fungo é também dependente da interação entre as diferentes espécies ou cultivares de videiras e os fatores climáticos reinantes (HAMADA et al., 2008).

Conforme descrito no presente estudo, as condições climáticas supracitadas foram verificadas no período inicial (P1) dos ciclos de produção avaliados das videiras

cv. Cabernet Franc e Sauvignon. O aumento da umidade relativa do ar observado na etapa anterior ao início da maturação de bagas foi associado, justamente, a maior incidência de precipitações pluviais (ver resultados descritos no item 4.4.3).

### 4.2.3 Velocidade média do vento

O ciclo de produção de 2019 de ambas as cultivares de videira avaliadas apresentou uma maior variabilidade relativa quanto a velocidade média do vento no período P1 (Tabela 14). Entretanto, a amplitude interquartil correspondente a essa variável demonstrou que a dispersão em torno dos valores centrais foi maior durante este período no ciclo de produção de 2018 em comparação ao posterior.

O ano de 2019 foi igualmente associado a uma maior variabilidade em torno da média no que diz respeito a velocidade do vento registrada no período P2. Contudo, a amplitude interquartil relacionada a essa variável mensurada após o início da maturação de bagas indicou que, com exceção da área experimental A3, a variabilidade em torno da metade das observações centrais foi superior no ciclo de 2018 em comparação ao seguinte (Tabela 14).

De acordo com os polígonos de frequência acumulada (Figuras 11 a 13), apenas durante o ciclo de 2018, houve uma predominância de ventos de maior velocidade durante o período P1 em comparação com o posterior. Entretanto, no ciclo seguinte, esse padrão alterou-se, uma vez que a predominância de observações do vento com maior frequência, considerando o mesmo intervalo de velocidade (entre 3,0 e 4,0  $\text{m s}^{-1}$ ), foi inferior no período pré-*veraison* em comparação ao período pós-*veraison*. Entretanto, este efeito não foi evidenciado em 2019 no que diz respeito à área A3, dado que as videiras Cabernet Sauvignon sofreram uma incidência de ventos de mesma intensidade, porém com diferentes frequências ao longo desse ciclo (Figura 13). O resultado da estatística do teste KS confirmou a igualdade entre funções de distribuição acumulada ( $D = 0,202$ ,  $p > 0,05$ ) nesse caso. A redução da frequência dos ventos pode ter sido explicada pela maior duração do período P2 ocorrido nessa área em questão, que indicou uma possível redução natural da velocidade do fluxo de ar sobre a superfície dos vinhedos locais proporcional ao avanço das estações de outono e inverno. De modo geral, as curvas de percentuais acumulados correspondentes à velocidade do vento registrada ao longo do período posterior à maturação no ciclo de 2019 deslocaram-se para a direita e indicaram uma preponderância de ventos de

maior intensidade em comparação ao período anterior. Contudo, na comparação entre os períodos P1 e P2 de ambos os ciclos de produção, as funções de distribuição acumuladas correspondentes à velocidade do vento incidente sobre os vinhedos não foram diferentes entre si na maioria dos casos ( $p > 0,05$ ), de acordo com a estatística D do teste de Kolmogorov-Smirnov (Figuras 11 a 13).

Conforme destacado por Moura et al. (2009), os efeitos adversos do vento sobre as videiras podem ser caracterizados por ação física, em razão de danos provocados ao desenvolvimento vegetativo, ou fisiológica, principalmente no que diz respeito a redução da transpiração, devido ao fechamento estomático ocasionado por incidência de ventos com velocidade entre 3,0 e 4,0 m s<sup>-1</sup>. Desse modo, nas condições de estudo, as cv. Cabernet Franc e Sauvignon estiveram sujeitas, de maneira mais pronunciada, aos efeitos danosos provocados pelos ventos durante o período que antecedeu a maturação das bagas em ambos os ciclos.

**Tabela 10 - Estatística descritiva referente a temperatura do ar registrada ao longo do período anterior e posterior ao início da maturação de bagas no decorrer do ciclo de produção das videiras cv. Cabernet Franc, cultivadas na área experimental A1, durante os anos de 2018 e 2019**

Vintage	Período	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
									0%	25%	50%	75%	100%	
$T_{med}$ (°C)														
2018	P1	22,176	1,347	0,134	1,600	6,076	-0,442	-0,001	18,800	21,450	22,350	23,050	25,450	101
	P2	19,277	2,439	0,289	2,150	12,650	-1,661	3,090	11,400	18,625	19,850	20,775	22,500	71
2019	P1	22,703	1,909	0,185	2,250	8,411	0,387	0,270	18,000	21,350	22,650	23,600	27,600	107
	P2	19,587	2,262	0,294	2,450	11,546	-0,932	0,867	13,150	18,475	20,050	20,925	23,150	59
$T_{min}$ (°C)														
2018	P1	17,782	1,383	0,138	1,600	7,779	-0,583	0,693	13,800	17,100	18,100	18,700	21,400	101
	P2	14,959	2,747	0,326	2,950	18,361	-1,680	3,382	4,600	13,850	15,700	16,800	18,500	71
2019	P1	18,475	1,607	0,155	1,800	8,699	0,755	0,697	15,600	17,500	18,300	19,300	23,300	107
	P2	15,512	2,588	0,337	2,650	16,682	-0,967	1,271	7,600	14,500	15,800	17,150	19,700	59
$T_{max}$ (°C)														
2018	P1	26,569	1,639	0,163	2,100	6,170	-0,637	0,450	21,300	25,600	26,700	27,700	29,900	101
	P2	23,596	2,366	0,281	2,150	10,026	-1,643	3,001	15,300	22,750	24,200	24,900	26,800	71
2019	P1	26,931	2,613	0,253	2,950	9,703	-0,355	0,599	19,400	25,700	26,900	28,650	32,900	107
	P2	23,663	2,189	0,285	2,900	9,249	-1,077	0,871	17,100	22,300	24,300	25,200	27,000	59
Amplitude de variação de temperatura ( $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ , °C)														
2018	P1	8,787	1,392	0,139	1,500	15,845	-0,871	0,864	4,200	8,200	9,000	9,700	11,200	101
	P2	8,637	1,579	0,187	1,800	18,285	-0,128	1,997	3,500	7,750	8,700	9,550	13,700	71
2019	P1	8,456	2,058	0,199	2,150	24,342	-0,861	1,276	2,100	7,650	8,700	9,800	12,600	107
	P2	8,151	1,585	0,206	1,850	19,451	0,719	1,592	4,800	7,300	7,800	9,150	13,100	59

$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações. P1: período pré-*veraison*; P2: período pós-*veraison*,  $T_{med}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{max}$ , temperatura média, mínima e máxima do ar, respectivamente.

**Tabela 11 - Estatística descritiva referente a temperatura do ar registrada ao longo do período anterior e posterior ao início da maturação de bagas no decorrer do ciclo de produção das videiras cv. Cabernet Franc, cultivadas na área experimental A2, durante os anos de 2018 e 2019**

Vintage	Período	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
									0%	25%	50%	75%	100%	
$T_{med}$ (°C)														
2018	P1	22,330	1,493	0,146	1,863	6,686	-0,170	-0,101	18,800	21,450	22,350	23,313	25,650	104
	P2	19,600	2,235	0,294	2,250	11,405	-1,188	2,800	11,400	18,663	19,875	20,913	23,500	58
2019	P1	22,471	1,822	0,171	2,100	8,106	0,517	0,766	18,000	21,200	22,350	23,300	27,600	114
	P2	19,018	2,219	0,331	3,100	11,670	-0,886	0,664	13,150	17,500	19,600	20,600	22,750	45
$T_{min}$ (°C)														
2018	P1	17,911	1,482	0,145	1,700	8,273	-0,366	0,642	13,800	17,100	18,200	18,800	21,800	104
	P2	15,355	2,400	0,315	3,150	15,631	-1,182	2,263	7,400	13,950	15,900	17,100	19,300	58
2019	P1	18,308	1,591	0,149	1,875	8,693	0,672	1,140	14,700	17,325	18,250	19,200	23,300	114
	P2	14,878	2,537	0,378	2,500	17,052	-0,960	1,255	7,600	13,900	15,400	16,400	19,400	45
$T_{max}$ (°C)														
2018	P1	26,749	1,955	0,192	2,350	7,307	-0,043	0,693	21,300	25,550	26,900	27,900	32,400	104
	P2	23,845	2,335	0,307	2,275	9,791	-1,239	2,876	15,300	22,625	24,200	24,900	27,800	58
2019	P1	26,633	2,466	0,231	2,350	9,257	-0,205	0,910	19,400	25,600	26,750	27,950	32,900	114
	P2	23,158	2,208	0,329	2,700	9,534	-0,952	0,396	17,100	22,100	23,700	24,800	26,100	45
Amplitude de variação de temperatura ( $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ , °C)														
2018	P1	8,838	1,766	0,173	1,825	19,978	-1,089	4,669	0,500	8,075	9,100	9,900	14,000	104
	P2	8,490	1,560	0,205	1,875	18,381	-0,536	1,062	3,500	7,700	8,400	9,575	11,900	58
2019	P1	8,325	1,988	0,186	2,150	23,877	-0,753	1,336	2,100	7,500	8,450	9,650	12,600	114
	P2	8,280	1,708	0,255	1,800	20,627	0,564	1,258	4,800	7,500	8,200	9,300	13,100	45

$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações. P1: período pré-*veraison*; P2: período pós-*veraison*,  $T_{med}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{max}$ , temperatura média, mínima e máxima do ar, respectivamente.

**Tabela 12 - Estatística descritiva referente a temperatura do ar registrada ao longo do período anterior e posterior ao início da maturação de bagas no decorrer do ciclo de produção das videiras cv. Cabernet Sauvignon, cultivadas na área experimental A3 durante os anos de 2018 e 2019**

Vintage	Período	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
									0%	25%	50%	75%	100%	
$T_{med}$ (°C)														
2018	P1	22,330	1,493	0,146	1,863	6,686	-0,170	-0,101	18,800	21,450	22,350	23,313	25,650	104
	P2	19,549	2,476	0,279	2,400	12,663	-1,558	3,045	11,400	18,700	20,050	21,100	23,500	79
2019	P1	22,540	1,823	0,176	2,175	8,086	0,527	0,769	18,000	21,225	22,500	23,400	27,600	107
	P2	18,746	2,759	0,305	3,400	14,717	-1,068	1,038	9,550	17,250	19,575	20,650	23,150	82
$T_{min}$ (°C)														
2018	P1	17,911	1,482	0,145	1,700	8,273	-0,366	0,642	13,800	17,100	18,200	18,800	21,800	104
	P2	15,185	2,728	0,307	2,850	17,965	-1,665	3,545	4,600	14,100	15,800	16,950	19,300	79
2019	P1	18,363	1,556	0,150	1,800	8,473	0,883	1,163	15,600	17,400	18,300	19,200	23,300	107
	P2	14,393	3,222	0,356	3,300	22,388	-0,964	0,764	4,300	13,300	15,100	16,600	19,700	82
$T_{max}$ (°C)														
2018	P1	26,749	1,955	0,192	2,350	7,307	-0,043	0,693	21,300	25,550	26,900	27,900	32,400	104
	P2	23,914	2,452	0,276	2,500	10,253	-1,449	2,732	15,300	23,050	24,300	25,550	27,800	79
2019	P1	26,718	2,507	0,242	2,450	9,382	-0,282	0,912	19,400	25,600	26,800	28,050	32,900	107
	P2	23,099	2,572	0,284	2,850	11,133	-1,378	2,534	12,900	22,025	23,850	24,875	27,000	82
Amplitude de variação de temperatura ( $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ , °C)														
2018	P1	8,838	1,766	0,173	1,825	19,978	-1,089	4,669	0,500	8,075	9,100	9,900	14,000	104
	P2	8,729	1,547	0,174	1,800	17,718	-0,220	2,003	3,500	7,850	8,700	9,650	13,700	79
2019	P1	8,355	2,030	0,196	2,150	24,293	-0,797	1,297	2,100	7,550	8,500	9,700	12,600	107
	P2	8,706	1,884	0,208	2,475	21,635	0,613	0,530	4,800	7,500	8,350	9,975	14,400	82

$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações. P1: período pré-*veraison*; P2: período pós-*veraison*,  $T_{med}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{max}$ , temperatura média, mínima e máxima do ar, respectivamente.

**Tabela 13 - Estatística descritiva referente a umidade relativa do ar registrada ao longo do período anterior e posterior ao início da maturação de bagas no decorrer do ciclo de produção das videiras cv. Cabernet Franc (A1 e A2) e Cabernet Sauvignon (A3) durante os anos de 2018 e 2019**

Vintage	Período	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
									0%	25%	50%	75%	100%	
Umidade relativa do ar (%)														
Área A1														
2018	P1	77,914	8,700	0,866	11,167	11,166	-0,460	-0,311	58,125	72,625	78,833	83,792	97,250	101
	P2	67,402	13,434	1,594	21,792	19,931	0,026	-0,932	39,375	56,938	66,875	78,729	95,083	71
2019	P1	78,896	9,916	0,959	13,833	12,568	-0,376	-0,459	55,708	72,854	78,958	86,688	97,250	107
	P2	72,712	9,165	1,193	12,438	12,604	0,194	-0,099	48,125	66,667	70,500	79,104	92,708	59
Área A2														
2018	P1	78,117	8,128	0,797	11,135	10,404	-0,316	-0,283	58,125	72,594	78,833	83,729	97,250	104
	P2	70,241	11,762	1,544	17,583	16,745	-0,192	-0,735	42,292	62,010	70,583	79,594	91,000	58
2019	P1	79,422	9,605	0,900	12,302	12,093	-0,518	-0,190	55,708	74,187	79,688	86,490	97,250	114
	P2	70,752	8,790	1,310	8,458	12,424	0,631	1,155	48,125	65,708	69,042	74,167	92,708	45
Área A3														
2018	P1	78,117	8,128	0,797	11,135	10,404	-0,316	-0,283	58,125	72,594	78,833	83,729	97,250	104
	P2	66,617	13,011	1,464	20,167	19,531	0,163	-0,814	39,375	57,354	64,875	77,521	95,083	79
2019	P1	79,232	9,837	0,951	13,292	12,416	-0,470	-0,332	55,708	73,396	79,625	86,688	97,250	107
	P2	68,676	10,937	1,208	12,885	15,926	0,433	-0,053	47,833	61,469	67,458	74,354	97,792	82

$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações. P1: período pré-veraison; P2: período pós-veraison.

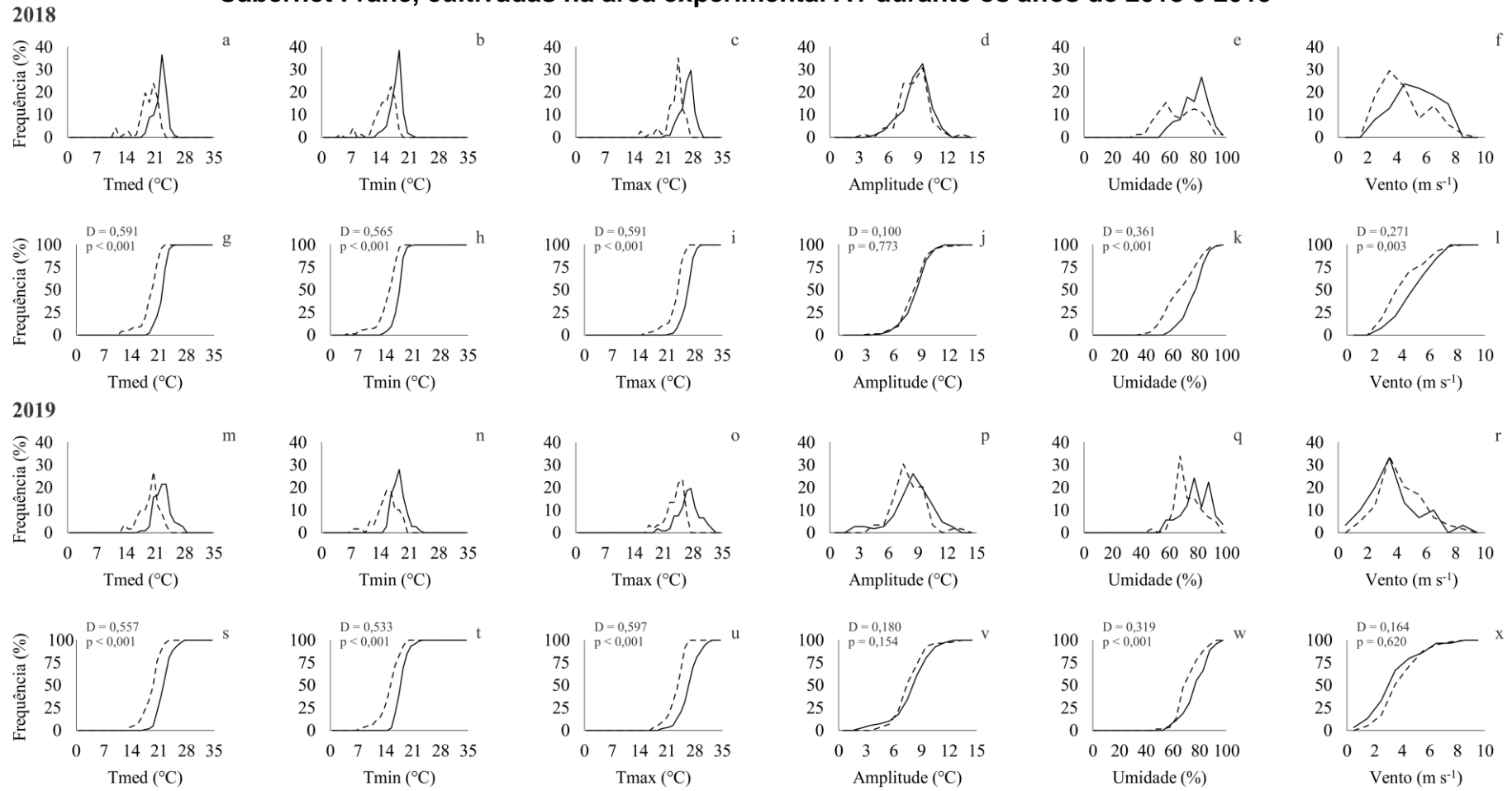
**Tabela 14 - Estatística descritiva referente a velocidade média do vento registrada ao longo do período anterior e posterior ao início da maturação de bagas no decorrer do ciclo de produção das videiras cv. Cabernet Franc (A1 e A2) e Cabernet Sauvignon (A3) durante os anos de 2018 e 2019**

Vintage	Período	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
									0%	25%	50%	75%	100%	
Velocidade média do vento ( $m s^{-1}$ ) – 2 m														
Área A1														
2018	P1	5,253	1,453	0,145	2,342	27,663	0,071	-1,004	2,600	4,083	5,154	6,425	7,775	101
	P2	4,403	1,486	0,176	2,048	33,752	0,684	-0,362	2,133	3,333	4,067	5,381	8,183	71
2019	P1	3,813	1,771	0,323	1,943	46,428	0,848	0,913	0,733	2,467	3,602	4,409	8,796	30
	P2	4,202	1,424	0,185	1,777	33,898	0,494	0,206	1,333	3,267	4,000	5,044	8,242	59
Área A2														
2018	P1	5,287	1,515	0,154	2,400	28,652	-0,079	-0,883	1,600	4,142	5,228	6,542	7,783	97
	P2	4,769	1,561	0,205	2,608	32,733	0,382	-0,771	2,133	3,484	4,667	6,093	8,183	58
2019	P1	3,908	1,697	0,262	2,196	43,440	0,736	0,518	0,733	2,683	3,654	4,879	8,796	42
	P2	4,315	1,449	0,216	1,825	33,582	0,335	0,213	1,333	3,333	4,000	5,158	8,242	45
Área A3														
2018	P1	5,224	1,526	0,155	2,413	29,208	-0,022	-0,943	1,600	4,075	5,154	6,488	7,775	97
	P2	4,471	1,429	0,161	1,942	31,961	0,566	-0,343	2,133	3,467	4,200	5,408	8,183	79
2019	P1	3,813	1,771	0,323	1,943	46,428	0,848	0,913	0,733	2,467	3,602	4,409	8,796	30
	P2	4,683	1,749	0,193	2,074	37,349	0,558	-0,261	1,333	3,417	4,342	5,491	8,979	82

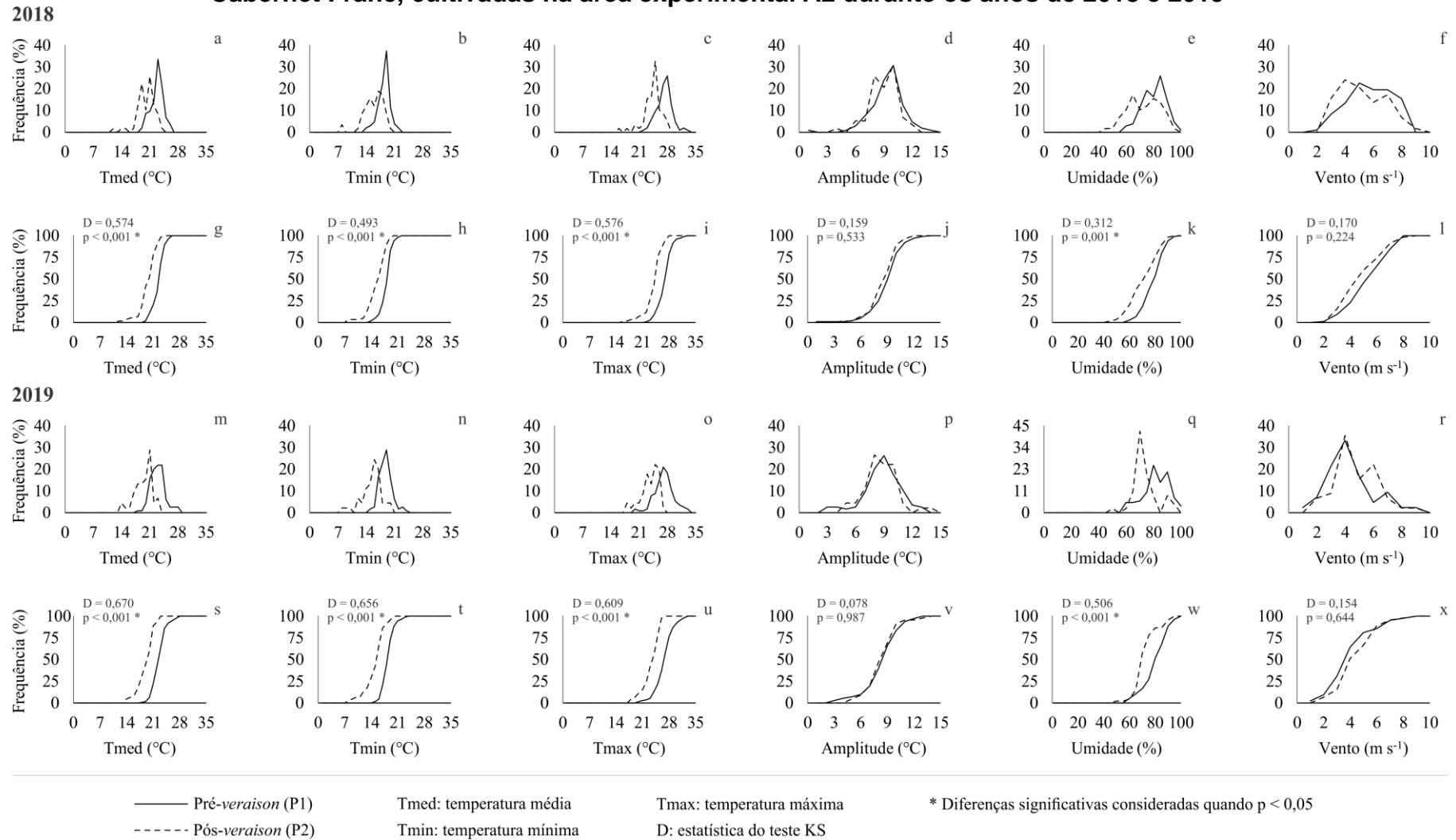
$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações. P1: período pré-veraison; P2: período pós-veraison.



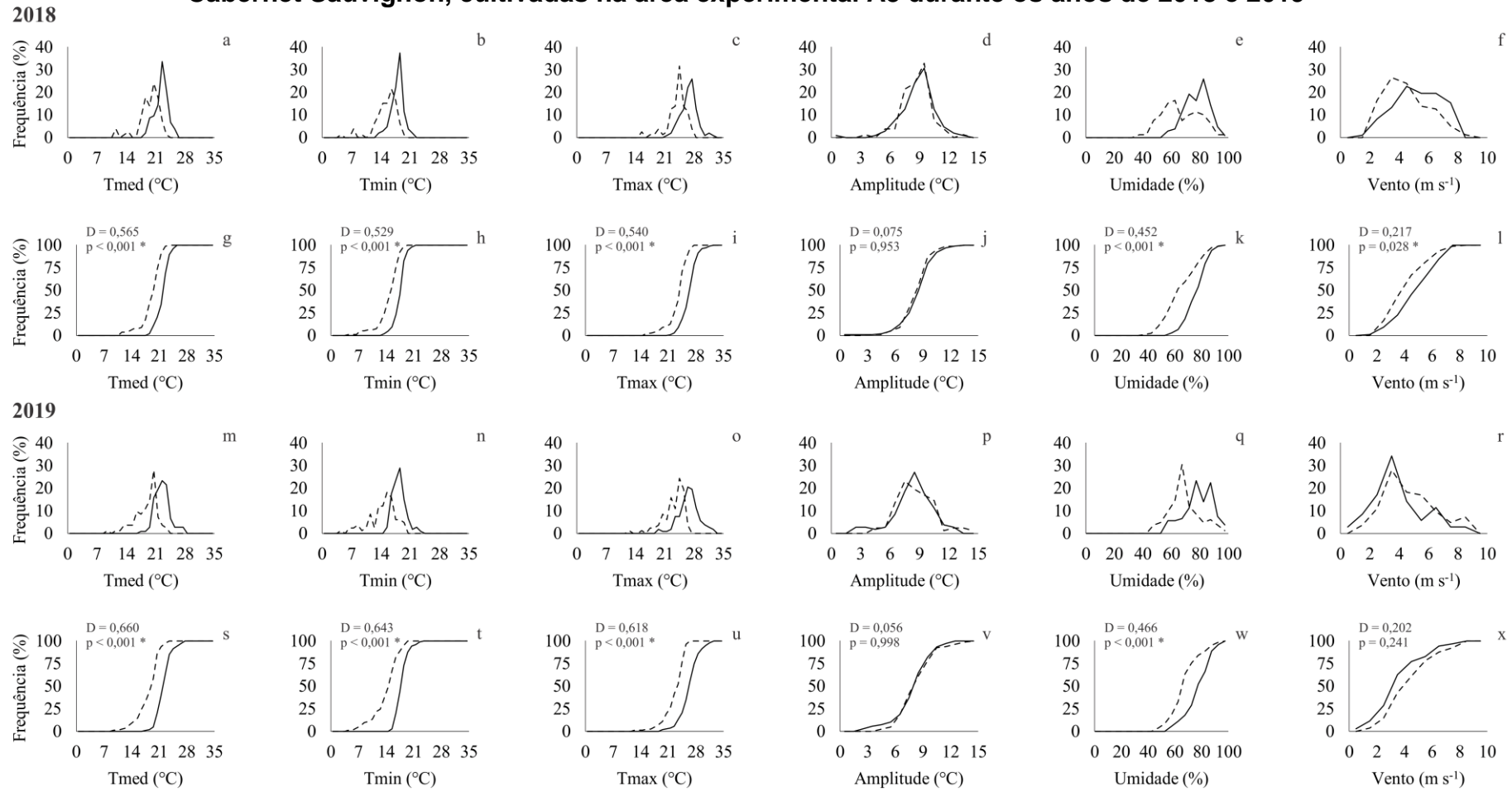
**Figura 11 - Polígonos de frequência relativa e acumulada correspondentes as condições mesoclimáticas registradas ao longo do período anterior e posterior ao início da maturação de bagas no decorrer do ciclo de produção das videiras cv. Cabernet Franc, cultivadas na área experimental A1 durante os anos de 2018 e 2019**



**Figura 12 - Polígonos de frequência relativa e acumulada correspondente as condições mesoclimáticas registradas ao longo do período anterior e posterior ao início da maturação de bagas no decorrer do ciclo de produção das videiras cv. Cabernet Franc, cultivadas na área experimental A2 durante os anos de 2018 e 2019**



**Figura 13 - Polígonos de frequência relativa e acumulada correspondente as condições mesoclimáticas registradas ao longo do período anterior e posterior ao início da maturação de bagas no decorrer do ciclo de produção das videiras cv. Cabernet Sauvignon, cultivadas na área experimental A3 durante os anos de 2018 e 2019**



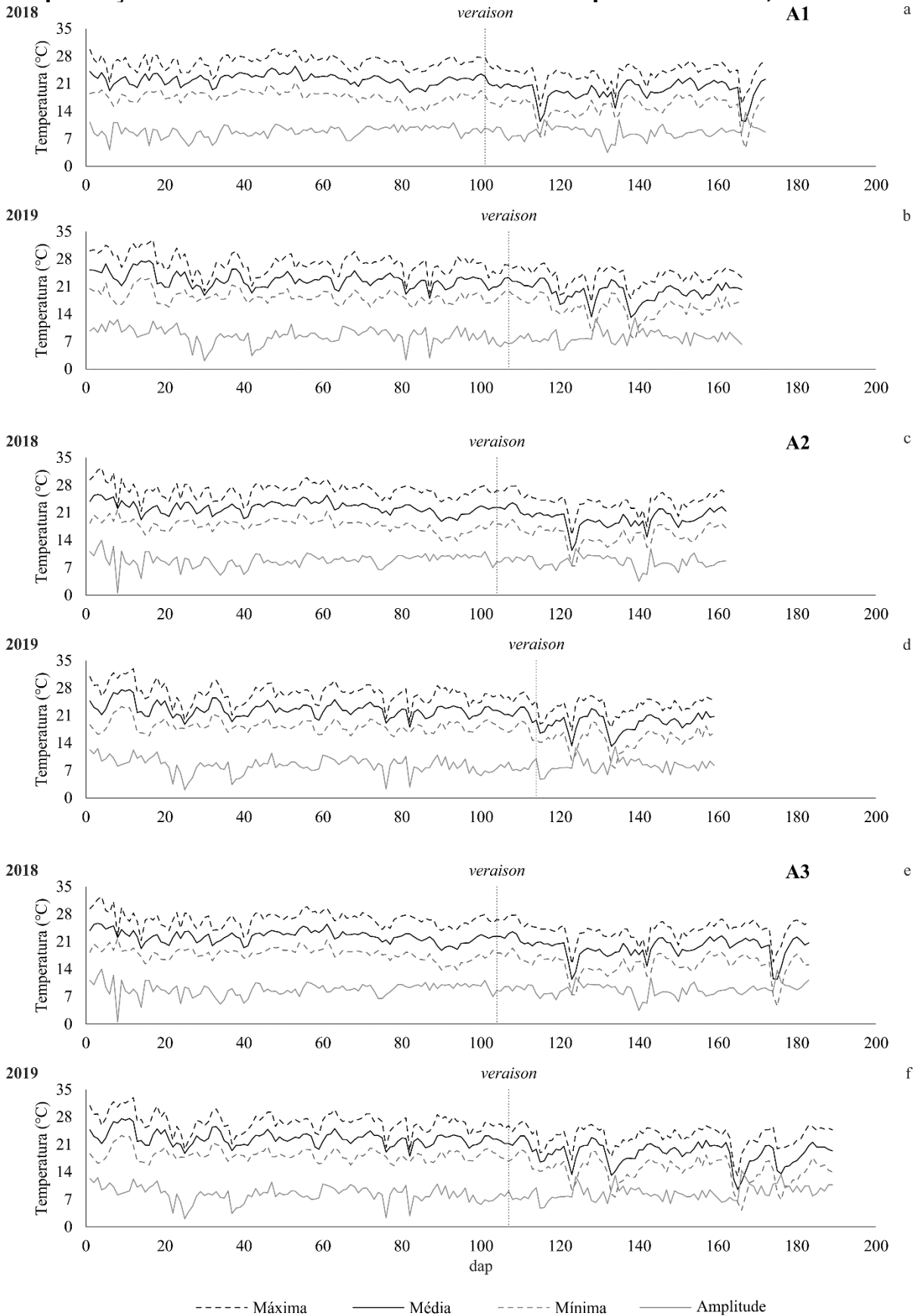
— Pré-veraison (P1)  
 - - - Pós-veraison (P2)

Tmed: temperatura média  
 Tmin: temperatura mínima

Tmax: temperatura máxima  
 D: estatística do teste KS

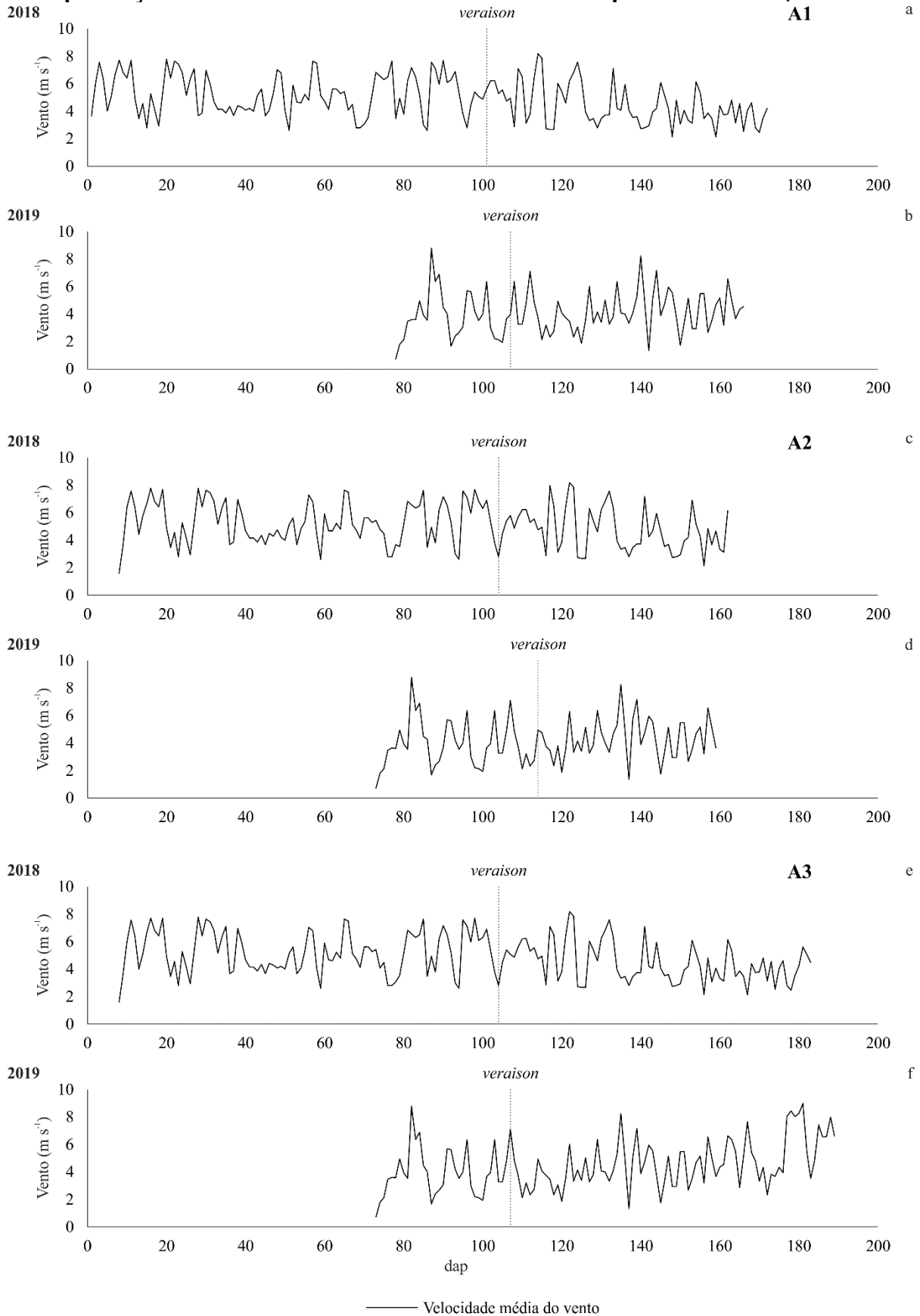
\* Diferenças significativas consideradas quando  $p < 0,05$

**Figura 14 - Variação sazonal da temperatura do ar durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 referentes às áreas experimentais A1, A2 e A3**

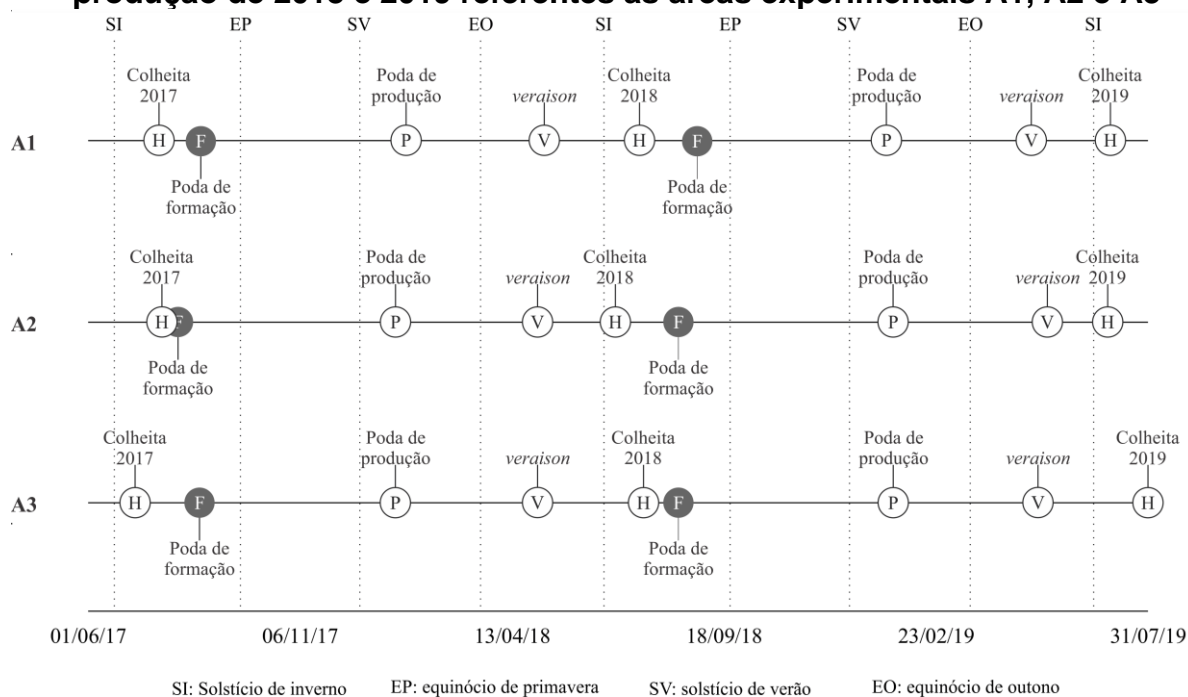




**Figura 16 - Variação sazonal da velocidade média do vento durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 referentes às áreas experimentais A1, A2 e A3**



**Figura 17 - Distribuição dos eventos observados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 referentes às áreas experimentais A1, A2 e A3**



#### 4.3 Caracterização fenológica e somatório térmico das cultivares de videiras

Nas Tabelas 15 e 16 são apresentados os valores absolutos e acumulados referentes ao somatório térmico de graus dias (GDD) relacionado a cada fase do ciclo fenológico, além da duração dos intervalos entre os estádios fenológicos identificados em ambos os ciclos. Observou-se que a constante térmica foi variável conforme cada área experimental, cultivar e ciclo de produção avaliado, porém o maior acúmulo de graus dias foi associado a cv. Cabernet Sauvignon (A3), uma vez que o seu ciclo produtivo em ambos os anos apresentou uma maior duração em comparação com a cv. Cabernet Franc (A1 e A2). Os resultados obtidos corroboraram com as características particulares associadas a cv. Cabernet Sauvignon, uma vez que essa é considerada uma variedade vigorosa, de maturação intermediária a tardia, enquanto a cv. Cabernet Franc apresenta-se como uma variedade igualmente vigorosa, porém de maturação intermediária (ROBINSON et al., 2013). Para as cultivares avaliadas, a duração do ciclo e o somatório térmico estimado foram superiores em comparação àqueles determinados para a cv. Cabernet Sauvignon cultivada em condição subtropical, conforme Roberto et al. (2005) (126 dias e 1221,25 GDD) e inferiores aos resultados obtidos no semiárido do Submédio do Vale do São Francisco (132 e 138 dias, 2137,00 e 2207,00 GDD, nesta ordem) (MOURA et al., 2007).

**Tabela 15 - Duração dos intervalos entre fases fenológicas e contabilização da constante térmica referente ao ciclo de produção de 2018 das videiras cv. Cabernet Franc (Áreas A1 e A2) e Cabernet Sauvignon (Área A3)**

Evento	Intervalos entre estádios fenológicos								Total
	P0	PS0	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	H	
Área A1									
Data inicial	24/01/18	25/01/18	11/02/18	07/03/18	22/03/18	06/04/18	07/05/18	17/07/18	
Duração (dias)	1	17	24	15	15	31	71	1	174
GDD		191,350	291,900	203,700	184,500	358,300	658,700		1888,450
GDD acumulado		191,350	483,250	686,950	871,450	1229,750	1888,450		
Proporção (%)		10,133	15,457	10,787	9,770	18,973	34,880		100,000
Proporção acumulada (%)		10,133	25,590	36,376	46,146	65,120	100,000		
Área A2									
Data inicial	16/01/18	17/01/18	30/01/18	21/02/18	16/03/18	31/03/18	02/05/18	29/06/18	
Duração (dias)	1	13	22	23	15	32	58	1	164
GDD		181,650	244,600	294,800	197,750	363,500	556,800		1839,100
GDD acumulado		181,650	426,250	721,050	918,800	1282,300	1839,100		
Proporção (%)		9,877	13,300	16,030	10,753	19,765	30,276		100,000
Proporção acumulada (%)		9,877	23,177	39,207	49,959	69,724	100,000		
Área A3									
Data inicial	16/01/18	29/01/18	20/02/18	15/03/18	30/03/18	01/05/18	19/07/18	20/07/18	
Duração (dias)	1	13	22	23	15	32	79	1	185
GDD		181,650	244,600	294,800	197,750	363,500	754,400		2036,700
GDD acumulado		181,650	426,250	721,050	918,800	1282,300	2036,700		
Proporção (%)		8,919	12,010	14,474	9,709	17,847	37,040		100,000
Proporção acumulada (%)		8,919	20,928	35,403	45,112	62,960	100,000		

P0: poda de produção; PS0: intervalo entre a poda de produção e a emergência das folhas (BBCH 11); PS1: intervalo entre a emergência das folhas e a floração plena (BBCH 11 a 65); PS2: intervalo entre a floração plena e o estágio de bagas em tamanho “chumbinho” (BBCH 65 a 73); PS3: intervalo entre o estágio de bagas em tamanho “chumbinho” até o tamanho “ervilha” (BBCH 73 a 75); PS4: intervalo entre o estágio de bagas em tamanho “ervilha” até o início da maturação (BBCH 75 a 81); PS5: intervalo entre o início da maturação e a maturação plena (BBCH 81 a 89); H: colheita. Código BBCH (LORENZ et al., 1995); H: colheita. GDD, constante térmica, graus-dia.



**Tabela 16 - Duração dos intervalos entre fases fenológicas e contabilização da constante térmica referente ao ciclo de produção de 2019 das videiras cv. Cabernet Franc (Áreas A1 e A2) e Cabernet Sauvignon (Área A3)**

Evento	Intervalos entre estádios fenológicos								Total
	P0	PS0	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	H	
Área A1									
Data de início	17/01/19	18/01/19	29/01/19	22/02/19	06/03/19	21/03/19	05/05/19	03/07/19	
Duração (dias)	1	11	24	12	15	45	59	1	167
GDD		155,600	316,900	146,100	195,550	545,050	565,650		1924,850
GDD acumulado		155,600	472,500	618,600	814,150	1359,200	1924,850		
Proporção (%)		8,084	16,464	7,590	10,159	28,316	29,387		100,000
Proporção acumulada (%)		8,084	24,547	32,138	42,297	70,613	100,000		
Área A2									
Data de início	22/01/19	23/01/19	04/02/19	06/03/19	14/03/19	25/03/19	17/05/19	01/07/19	
Duração (dias)	1	12	30	8	11	53	45	1	160
GDD		181,500	360,600	105,550	135,300	638,700	405,800		1827,450
GDD acumulado		181,500	542,100	647,650	782,950	1421,650	1827,450		
Proporção (%)		9,932	19,732	5,776	7,404	34,950	22,206		100,000
Proporção acumulada (%)		9,932	29,664	35,440	42,844	77,794	100,000		
Área A3									
Data de início	22/01/19	03/02/19	05/03/19	15/03/19	19/03/19	09/05/19	30/07/19	31/07/19	
Duração (dias)	1	12	30	10	4	51	82	1	190
GDD		181,500	360,600	129,700	52,750	617,250	718,030		2059,830
GDD acumulado		181,500	542,100	671,800	724,550	1341,800	2059,830		
Proporção (%)		8,811	17,506	6,297	2,561	29,966	34,859		100,000
Proporção acumulada (%)		8,811	26,318	32,614	35,175	65,141	100,000		

P0: poda de produção; PS0: intervalo entre a poda de produção e a emergência das folhas (BBCH 11); PS1: intervalo entre a emergência das folhas e a floração plena (BBCH 11 a 65); PS2: intervalo entre a floração plena e o estágio de bagas em tamanho “chumbinho” (BBCH 65 a 73); PS3: intervalo entre o estágio de bagas em tamanho “chumbinho” até o tamanho “ervilha” (BBCH 73 a 75); PS4: intervalo entre o estágio de bagas em tamanho “ervilha” até o início da maturação (BBCH 75 a 81); PS5: intervalo entre o início da maturação e a maturação plena (BBCH 81 a 89); H: colheita. Código BBCH (LORENZ et al., 1995); H: colheita. GDD, constante térmica, graus-dia.

## 4.4 Demanda hídrica e fornecimento de água às videiras

### 4.4.1 Evapotranspiração de referência

A variação sazonal correspondente a  $ET_o$  e  $ET_c$  estimada durante os ciclos de produção de ambas as cultivares de videiras avaliadas é apresentada na Figura 18. O somatório da demanda hídrica representada pela  $ET_o$  durante todo o período P1 nos ciclos de 2018 e 2019, respectivamente, foi equivalente a 346,06 e 335,09 mm (A1), 327,03 e 349,75 (A2) e 327,03 e 330,62 mm (A3). No período P2, considerando-se os ciclos de produção subsequentes, a quantificação da  $ET_o$  resultou em um somatório de 205,43 e 177,29 mm (A1), 164,27 e 135,26 mm (A2) e 236,11 e 256,66 mm (A3).

Por sua vez, o valor acumulado da  $ET_o$  ao longo dos ciclos de 2018 e 2019, nesta ordem, foi equivalente à 551,49 e 512,38 mm (A1), 491,30 e 485,01 mm (A2) e 563,14 e 587,28 mm (A3). Contudo, a proporção da  $ET_o$  demandada ao longo dos ciclos de 2018 e 2019, respectivamente, até a identificação do início da maturação das bagas, foi igual a 62,75 e 65,40% (A1), 66,56 e 72,11% (A2) e 58,07 e 56,30% (A3). A redução da proporção equivalente ao total da  $ET_o$  contabilizada ao longo dos ciclos da cv. Cabernet Sauvignon (A3) foi devido a maior duração do intervalo entre o início da maturação das bagas e a colheita, em ambos os anos avaliados, em comparação ao registrado para Cabernet Franc (A1 e A2).

Durante o ciclo de 2018, a média diária  $\pm$  desvio padrão ( $\bar{x} \pm sd$ ) da  $ET_o$  registrada durante o período P1 e P2, respectivamente, foi equivalente a  $3,43 \pm 0,85$  e  $2,89 \pm 0,81$  mm dia<sup>-1</sup> (A1);  $3,39 \pm 0,83$  e  $2,83 \pm 0,79$  mm dia<sup>-1</sup> (A2);  $3,39 \pm 0,83$  e  $2,99 \pm 0,82$  mm dia<sup>-1</sup> (A3). No ciclo seguinte, admitindo-se a mesma sequência de períodos mencionada anteriormente, a  $ET_o$  média foi igual a  $3,13 \pm 1,02$  e  $3,00 \pm 0,66$  mm dia<sup>-1</sup> (A1),  $3,07 \pm 0,97$  e  $3,01 \pm 0,73$  mm dia<sup>-1</sup> (A2)  $3,09 \pm 0,99$  e  $3,13 \pm 0,74$  mm dia<sup>-1</sup> (A3).

### 4.4.2 Evapotranspiração da cultura

A variação da estimativa quanto a evapotranspiração diária da cultura ( $ET_c$ ) foi proporcional ao coeficiente da cultura ( $k_c$ ) adotado no seu cálculo em cada fase fenológica das videiras, uma vez que essa variável correspondeu ao produto entre

este coeficiente e a  $ET_o$ . Logo, a estimativa quanto ao consumo de água pela cultura foi influenciada pelo estágio fenológico das plantas em associação com as condições atmosféricas preexistentes, que atuaram sobre a demanda hídrica inferida pela  $ET_o$ .

Dada a estimativa dos valores de  $ET_c$ , o somatório da demanda hídrica pelas cultivares de videira durante o período P1 nos anos de 2018 e 2019, respectivamente, foi igual a 191,94 e 198,12 mm (A1), 190,76 e 209,69 mm (A2) e 190,76 e 196,51 mm (A3). No período seguinte, considerando-se a mesma sequência de anos avaliados, esse somatório foi equivalente à 123,56 e 106,37 mm (A1), 98,56 e 81,16 mm (A2) e 141,67 e 154,00 mm (A3). Dessa forma, o total estimado quanto à demanda hídrica de água pelas videiras durante os dois ciclos de produção sucessivos foi de 315,20 e 304,50 mm (A1), 289,32 e 290,85 mm (A2) e 332,43 e 350,51 (A3). Assim, uma vez que os ciclos da área experimental A3 apresentaram uma maior duração, observou-se que a cv. Cabernet Sauvignon apresentou uma maior perda de água para a atmosfera por processo de evapotranspiração em relação à Cabernet Franc (A1 e A2) em dois anos consecutivos.

Para efeitos de comparação, a porcentagem correspondente à frequência acumulada da  $ET_c$  estimada até o início do período pós-*veraison* nos anos de 2018 e 2019, nesta ordem, foi igual a 60,90 e 65,07% (A1), 65,93 e 72,10% (A2) e 57,38 e 56,07% (A3). Dessa maneira, os períodos pré e pós-*veraison* demonstraram uma maior equivalência entre si quanto à proporção da demanda evapotranspirométrica associada as videiras Cabernet Sauvignon (A3) em comparação à Cabernet Franc (A1 e A2), dada a maior duração do intervalo entre o início da maturação das bagas e a colheita (PS5), além da redução do kc nas fases iniciais do ciclo.

A demanda hídrica representada pela  $ET_c$  média diária  $\pm$  desvio padrão ( $\bar{x} \pm sd$ ) estimada durante o ciclo de 2018 ao longo dos períodos P1 e P2, nesta ordem, foi igual a  $1,90 \pm 0,78$  e  $1,74 \pm 0,49$  mm dia<sup>-1</sup> (A1);  $1,90 \pm 0,74$  e  $1,70 \pm 0,48$  mm dia<sup>-1</sup> (A2);  $1,90 \pm 0,74$  e  $1,79 \pm 0,49$  mm dia<sup>-1</sup> (A3). Posteriormente, no ciclo de 2019, a  $ET_c$  média referente aos períodos P1 e P2, respectivamente, foi igual a  $1,85 \pm 0,81$  e  $1,80 \pm 0,40$  mm dia<sup>-1</sup> (A1);  $1,84 \pm 0,81$  e  $1,80 \pm 0,44$  mm dia<sup>-1</sup> (A2);  $1,84 \pm 0,84$  e  $1,88 \pm 0,45$  mm dia<sup>-1</sup> (A3).

O somatório da demanda hídrica de ambas as cultivares avaliadas foi inferior àquele reportado por López-Urrea et al. (2012) para a cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.), implantada em vinhedo irrigado, localizado em condições semiáridas da Espanha central (337 a 550 mm). De forma semelhante, os valores da  $ET_c$  acumulada conforme

descrito neste estudo foram inferiores ao observados por Munitz et al. (2019) para a cv. Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.), cultivada sob condições semiáridas nas montanhas centrais de Israel (775 mm).

Por sua vez, os valores médios quanto a estimativa da demanda hídrica das cultivares Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon nas condições de estudo foram próximos daqueles registrados por Intrigliolo et al. (2008) para a cv. Riesling (*Vitis vinifera* L.), implantada em um vinhedo irrigado localizado no nordeste dos EUA (entre 1,00 e 2,00 mm dia<sup>-1</sup>). Contudo, as cultivares avaliadas apresentaram uma demanda hídrica diária inferior àquela associada à videira cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.) implantada nas condições do semiárido brasileiro (4,60 mm dia<sup>-1</sup>) (NASCIMENTO et al., 2012).

#### 4.4.3 Precipitação pluvial

Durante o período P1 referente aos ciclos de produção de 2018 e 2019, respectivamente, a precipitação pluvial e a porcentagem acumulada em relação ao total registrado foram iguais a 415,00 e 638,20 mm ou 90,77 e 93,77% (A1), 440,60 e 649,60 mm e 91,79% (A3) e 440,60 e 644,40 mm ou 91,26 e 87,63% (A3). Por sua vez, o somatório da precipitação pluvial registrada na mesma sequência de ciclos mencionada foi igual a 457,20 e 680,60 mm (A1), 480,00 e 667,60 mm (A2) e 482,80 e 735,40 mm (A3). Assim, o ciclo de produção de 2019 foi caracteristicamente mais chuvoso em comparação ao anterior.

Apesar da variação interanual quanto a precipitação pluvial e desconsiderando-se a duração do período P1 em relação ao subsequente, o primeiro segmento do ciclo de produção concentrou a quase totalidade da pluviosidade contabilizada durante ambos os anos. Destaca-se ainda que, em todas as áreas experimentais e apenas durante o ciclo de 2018, o intervalo entre fases fenológicas PS3 concentrou mais de 80% da precipitação acumulada durante todo o ciclo. Em 2019, os valores acumulados até este mesmo intervalo foram superiores a 60% do total registrado, dada a ocorrência e distribuição de chuvas durante o período pré-*veraison*.

No ciclo de produção de 2018, o somatório da precipitação registrada durante o intervalo entre fases fenológicas PS2, ou seja, desde a floração plena até o início do desenvolvimento dos frutos, foi superior àquela quantificado nos demais intervalos. Nas áreas experimentais A1, A2 e A3, respectivamente, o somatório da chuva registrada nesse período foi equivalente à 168,60, 198,60 e 198,60 mm. Entretanto,

no ciclo do ano seguinte, apenas nas áreas A2 e A3, o total de chuvas registrado no intervalo PS2 superou o contabilizado para os outros intervalos, assumindo um valor de 284,00 mm. Por sua vez, na área experimental A3 em 2019, o intervalo PS4, que correspondeu período imediatamente posterior ao início da sua maturação de bagas, apresentou o maior somatório de precipitação do ciclo (205,80 mm), enquanto o segundo maior somatório foi registrado no intervalo PS3 (193,60 mm). Destaca-se ainda que o intervalo PS4 foi bastante chuvoso no ciclo de produção de 2019 das áreas experimentais A2 e A3, durante o qual uma lâmina de 215,40 mm foi distribuída em ambos os vinhedos. Logo, a disposição das chuvas ao longo de cada fase fenológica identificada em ambos os ciclos de produção da cultura também apresentou uma variabilidade interanual.

Os dados registrados nos dois ciclos produtivos corroboram com variação sazonal característica referente ao regime de distribuição anual de chuvas no Estado de São Paulo. Conforme classificação elaborada por Martins et al. (2008), os meses de dezembro, janeiro e fevereiro foram agrupados no período úmido e representaram as ocasiões de maior disponibilidade hídrica, enquanto os meses de junho, julho e agosto constituíram o período seco, devido a redução da intensidade e frequência de precipitações.

#### **4.4.4 Lâmina de irrigação**

Em todas as áreas experimentais o fornecimento de água via irrigação e fertirrigação ocorreu majoritariamente durante o ciclo de 2018, em função da precipitação pluviométrica registrada e distribuída no decorrer do ciclo de 2019, que reduziu a necessidade de reposição artificial de água.

O somatório da lâmina de irrigação aplicada em 2018 e 2019 foi equivalente a 48,00 e 3,73 mm (A1) e 48,64 e 4,48 mm (A2 e A3). Essas lâminas corresponderam a um suprimento de 0,1440 e 0,0100 m<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup> (A1) e 0,1216 e 0,0134 m<sup>3</sup> planta<sup>-1</sup> (A2 e A3) ao longo dos ciclos de 2018 e 2019, respectivamente. No primeiro ano avaliado, um percentual superior à 80,00% do total da lâmina de irrigação aplicada no ciclo de produção foi acumulada durante o período *pré-veraison*, enquanto no ano seguinte, a irrigação ocorreu predominantemente nesta primeira etapa do ciclo.

#### 4.5 Balanço hídrico climatológico e do cultivo

O balanço hídrico climatológico e do cultivo correspondente aos ciclos de produção de 2018 e 2019 é apresentado nas Figuras 19 e 20. Uma representação simplificada em função dos intervalos entre fases fenológicas é apresentada na Figura 21. Essa simplificação foi adotada para facilitar a interpretação dos resultados referentes à análise da disponibilidade hídrica.

Conforme o balanço hídrico climatológico referente ao ano de 2018, o armazenamento de água no solo nas áreas experimentais durante os intervalos PS0 e PS1 foi igual a CTA estipulada (100 mm). Desta forma, não foi identificado um déficit hídrico desde o início do ciclo, imediatamente após a poda de produção, até a fase de desenvolvimento das folhas (BBCH 11), bem como no decorrer do estágio de emergência da inflorescência, precedente ao período de floração plena (BBCH 65). Assim, nessas primeiras etapas do desenvolvimento vegetativo das videiras, observou-se uma condição natural de excedente hídrico, em razão da precipitação acumulada, a qual superou a demanda evapotranspirométrica característica do período em questão.

No primeiro ano avaliado, a variação do armazenamento de água no solo foi identificada a partir dos intervalos entre as fases fenológicas de floração plena (BBCH 65), bem como ao longo do estágio de desenvolvimento de frutos e no decorrer do período pós-*veraison*, durante o qual o déficit hídrico foi mais pronunciado. Contudo, a retirada de água do solo ocorreu de maneira mais pronunciada no período de desenvolvimento dos frutos (PS4).

No ano de 2019, a precipitação pluviométrica registrada ao longo do ciclo de produção propiciou um excedente hídrico durante todo o período pré-*veraison*. Logo, o armazenamento de água no solo se igualou a CTA (100 mm) nos intervalos entre fases fenológicas anteriores ao início da maturação de bagas (BBCH 81). Desta forma, estimou-se que a ocorrência de déficit em razão da redução no armazenamento de água no solo convergiu para o período final do ciclo.

Assumindo-se o balanço hídrico de cultivo, a disponibilidade de água no solo em todos os vinhedos em ambos os ciclos de produção seguiu uma tendência semelhante àquela descrita anteriormente para o balanço hídrico climatológico sequencial. Assim, identificou-se um excedente hídrico durante os primeiros intervalos do período pré-*veraison* e um déficit ao longo da etapa posterior, após o início da

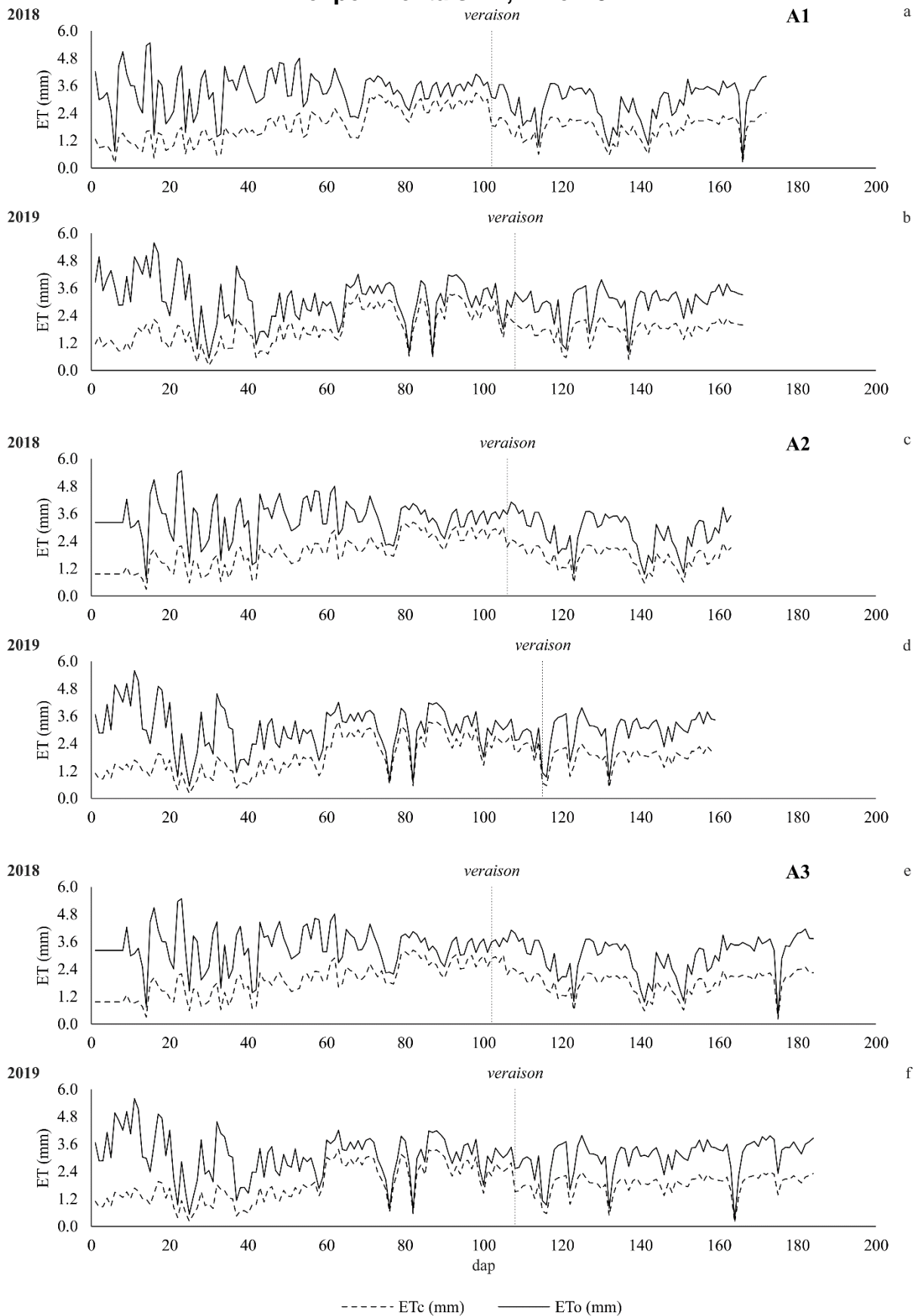
maturação das bagas. Este déficit foi inferior no ciclo de 2019 em comparação ao registrado em 2018. Em razão dos resultados do balanço hídrico do cultivo, foi possível assumir que os ciclos de produção apresentaram uma relativa estabilidade intra-anual quanto às ocasiões de ocorrência de excedentes e déficits de água no solo. No entanto, a variação interanual quanto a magnitude da disponibilidade hídrica foi observada em razão das taxas de precipitação pluvial registradas em cada ciclo de produção.

Conforme afirmado por Chaves et al. (2010) grande parte das regiões onde a viticultura se desenvolve mundialmente está sujeita a ocorrência de períodos secos. Contudo, um suprimento de água adequado é fundamental para a composição das bagas, uma vez que influencia a sua maturação, cujo início pode ser atrasado e a sua taxa diminuída em condições de excessiva disponibilidade hídrica (KELLER, 2010a). Por esse motivo, o déficit de água no solo pode ser benéfico para a composição de bagas e qualidade do vinho (KELLER, 2010a).

A adoção de estratégias de déficit hídrico promoveu alterações distintas em aspectos qualitativos e quantitativos da produção e da composição das bagas de videiras cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.) implantadas nas condições do semiárido do Submédio do Vale do São Francisco, e permitiu, sobretudo, a economia de água (BASSOI et al., 2015). Porém, a imposição de tratamentos de irrigação deficitária em período anterior e posterior ao início da maturação das bagas pode resultar em diferentes implicações sobre a composição das mesmas, a depender da cultivar, conforme observado por Niculcea et al. (2014). Apesar disso, os principais efeitos do déficit hídrico incluíram a redução do tamanho de bagas, o aumento de compostos fenólicos e o acúmulo de aminas nas videiras cv. Tempranillo e Graciano (*Vitis vinifera* L.), os quais podem ser parcialmente explicados por alterações no estado hormonal das bagas (NICULCEA et al., 2014).

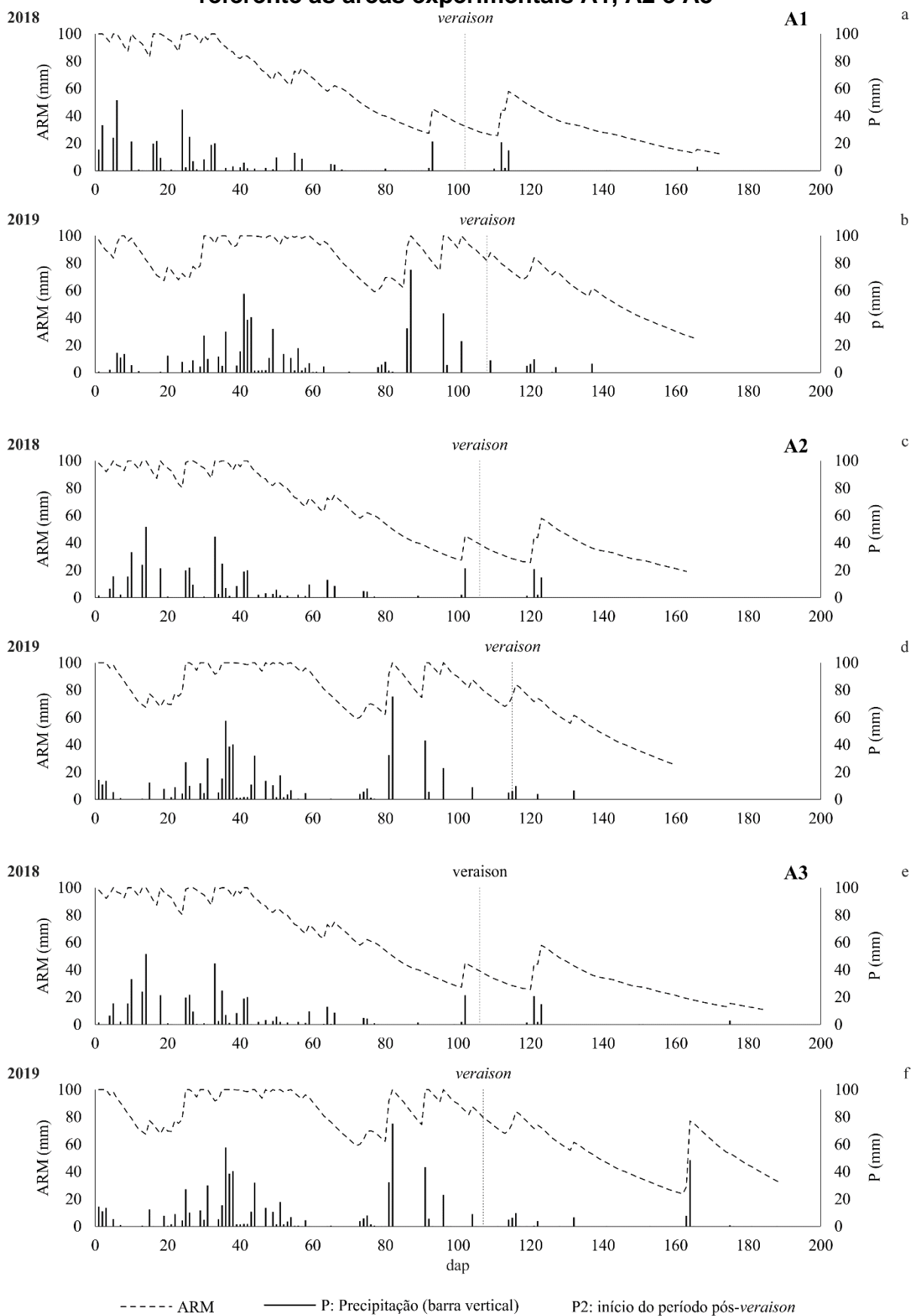
Destaca-se ainda que as implicações da irrigação deficitária sobre a produção de videiras podem ser perceptíveis em ciclos subsequentes. Neste sentido, o déficit hídrico aplicado após a maturação de bagas foi relacionado a redução das dimensões das mesmas, da massa dos cachos e da produção, bem como da concentração de sólidos solúveis e ao aumento da concentração de compostos fenólicos no ciclo de produção vigente de videiras Syrah (*Vitis vinifera* L.) (PETRIE et al., 2004). Por sua vez, os impactos do déficit na redução da produção e no aumento da concentração de açúcares e antocianinas foram observados no ciclo seguinte (PETRIE et al., 2004).

**Figura 18 - Variação sazonal da evapotranspiração de referência e da cultura correspondente aos ciclos de produção de 2018 e 2019 das áreas experimentais A1, A2 e A3**

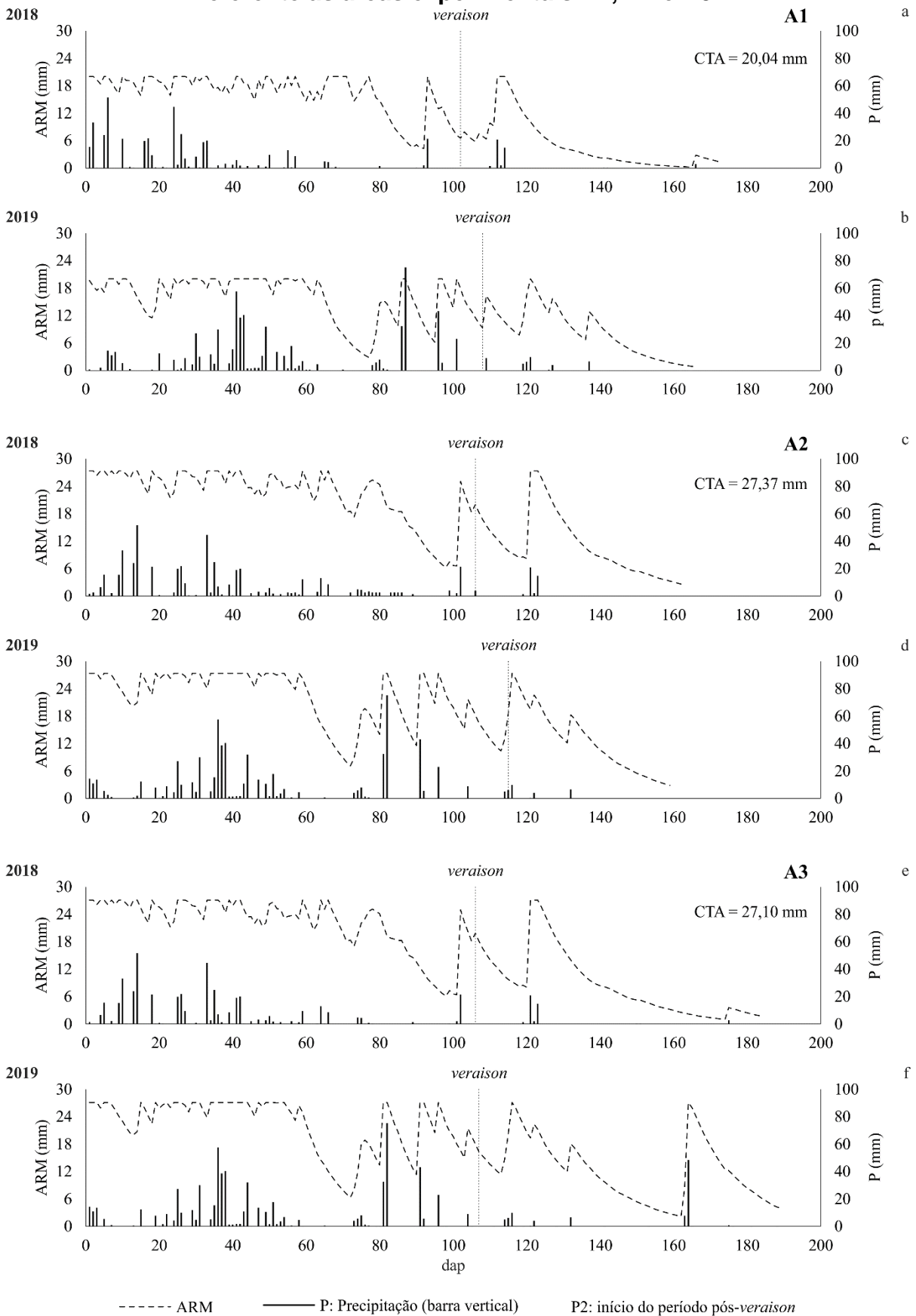




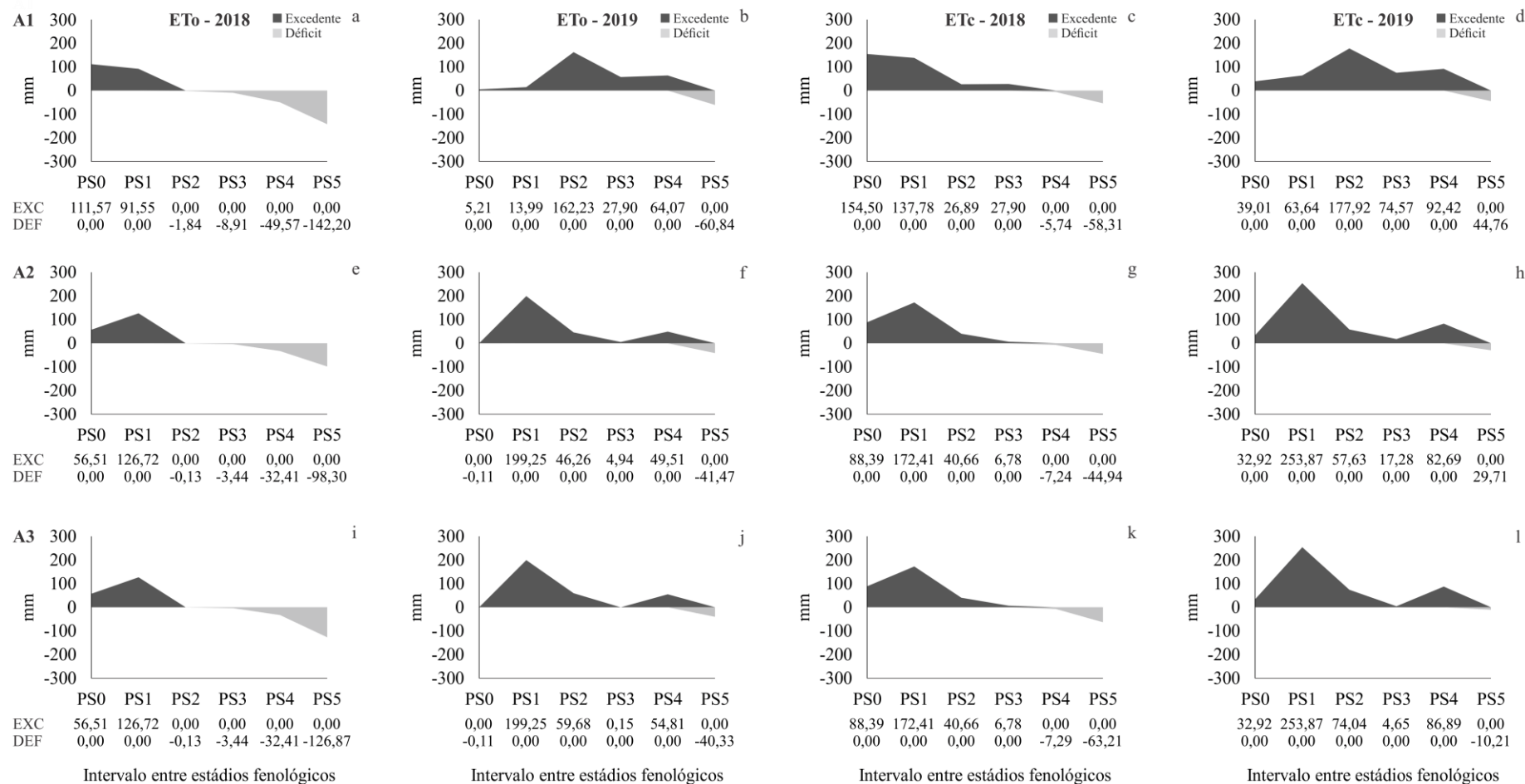
**Figura 19 - Variação sazonal do armazenamento de água no solo estimada conforme balanço hídrico climatológico dos ciclos de produção de 2018 e 2019 referente às áreas experimentais A1, A2 e A3**



**Figura 20 - Variação sazonal do armazenamento de água no solo estimada conforme balanço hídrico do cultivo dos ciclos de produção de 2018 e 2019 e referente às áreas experimentais A1, A2 e A3**



**Figura 21 - Balanço hídrico climatológico sequencial e do cultivo e variações da disponibilidade hídrica correspondentes aos intervalos entre estádios fenológicos identificados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 referente às áreas experimentais A1, A2 e A3**



PS0: intervalo entre a poda de produção e a emergência das folhas (BBCH 11); PS1: intervalo entre a emergência das folhas e a floração plena (BBCH 11 a 65); PS2: intervalo entre a floração plena e o estágio de bagas em tamanho “chumbinho” (BBCH 65 a 73); PS3: intervalo entre o estágio de bagas em tamanho “chumbinho” até o tamanho “ervilha” (BBCH 73 a 75); PS4: intervalo entre o estágio de bagas em tamanho “ervilha” até o início da maturação (BBCH 75 a 81); PS5: intervalo entre o início da maturação e a maturação plena (BBCH 81 a 89); H: colheita. Código BBCH (LORENZ et al., 1995).

## **4.6 Medidas de reflectância do dossel por sensoriamento proximal e estimativa de índices de vegetação para caracterização do vigor vegetativo das videiras**

### **4.6.1 Análise estatística descritiva e predição espacial do vigor vegetativo**

As Tabelas 17 a 19 apresentam os resultados da análise estatística descritiva dos dados correspondentes às estimativas de cada IV correspondentes às três áreas experimentais. A caracterização espacial do vigor vegetativo conforme as estimativas dos IV é apresentada nas Figuras 22 e 23.

Conforme os valores do CV, o conjunto das observações referentes ao NDVI apresentou uma reduzida dispersão em torno da média em comparação àquela associada ao NDRE em todos os casos. Além disso, a magnitude da dispersão dos dados dos IV variou segundo as estimativas pertinentes a cada área experimental, ciclo de produção e ocasião de monitoramento da  $\rho$ . Assim, viu-se que diferentes estádios fenológicos da cultura demonstraram padrões de dispersão dos dados divergentes entre si, conforme cada IV estimado. Isso ocorreu principalmente em razão da sensibilidade de cada um desses índices quanto a identificação da variabilidade do vigor vegetativo das cultivares de videiras em um dado período do seu ciclo de produção. Ressalta-se que o cálculo do CV, utilizado para fins de comparação da quantidade de variação relativa dos dados dos IV, foi possível uma vez que as estimativas foram constituídas por valores não negativos, a despeito da amplitude do NDRE e NDVI englobar limites de resultados possíveis equivalentes a -1,0 e 1,0.

No ano de 2018, a cv. Cabernet Franc implantada na área A1, apresentou uma maior variabilidade relativa em torno da média quanto as estimativas do NDRE no primeiro monitoramento da  $\rho$  do dossel (T1), realizado durante o estágio de cacho fechado (Tabela 17). Ainda no ciclo de 2018, esse padrão foi semelhante ao demonstrado pelo NDVI no vinhedo em questão. Contudo, no ano seguinte, a variabilidade relativa associada aos dois IV estimados na área mencionada foi mais pronunciada no monitoramento realizado na ocasião posterior ao *veraison* (T3), no decorrer do estágio de amolecimento de bagas (BBCH 79) (Tabela 17).

As videiras cv. Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon implantadas nas áreas A2 e A3, nesta ordem, demonstraram uma maior variabilidade relativa no que diz

respeito aos valores médios do NDRE no início da etapa principal de desenvolvimento de frutos, ou seja, durante o primeiro monitoramento (T1) realizado em ambos os anos durante o estágio de cacho fechado (BBCH 79) (Tabelas 18 e 19). Contrariamente, nas mesmas áreas, a variabilidade relativa do NDVI se deu de forma mais expressiva em ocasião mais próxima à colheita, no terceiro monitoramento da  $\rho$  do dossel das videiras (T3), durante o estágio fenológico de amolecimento de bagas (BBCH 85), compreendido no período de maturação das uvas (Tabelas 17 e 18).

Além da variabilidade intra-anual, as cultivares demonstraram divergência interanual quanto aos padrões de dispersão da  $\rho$  do dossel na comparação entre os mesmos estádios fenológicos avaliados em ciclos distintos. Desta forma, as videiras cv. Cabernet Franc cultivadas nas áreas experimentais A1 e A2 apresentaram uma maior variabilidade do vigor vegetativo em todas as ocasiões de monitoramento do ano de 2018 em comparação ao posterior, segundo o NDRE (Tabelas 17 e 18). Contrariamente, as estimativas do NDRE indicaram que as videiras cv. Cabernet Sauvignon implantadas na área A3 demonstraram uma menor variabilidade do vigor vegetativo na maioria das ocasiões de monitoramento realizadas em 2018 em comparação às estimativas feitas nos mesmos períodos do ciclo seguinte, com exceção daquelas associadas ao estágio fenológico de amolecimento de bagas (BBCH 85) (Tabela 19).

Nas áreas experimentais A2 e A3, a comparação entre ciclos produtivos revelou que, as videiras apresentaram uma maior variabilidade no que se referiu as estimativas do NDVI realizadas em 2019 em comparação àquelas relacionadas ao ano anterior (Tabelas 18 e 19). Neste sentido, apesar da divergência quanto aos resultados do CV referente a avaliação T2 na área A2, o resultado da amplitude interquartil confirmou uma maior dispersão em torno de 50% das observações centrais do conjunto de dados do NDVI obtidos no ciclo de 2019 em comparação com as estimativas realizadas em 2018 nas três ocasiões de monitoramento. A área experimental A1 apresentou um padrão semelhante ao descrito anteriormente para os demais vinhedos quanto à dispersão das observações do NDVI, com exceção do observado na avaliação T3 em 2019, durante a qual as videiras apresentaram maior variabilidade do vigor vegetativo em comparação a mesma fase fenológica avaliada no ano anterior (Tabela 17).

As estimativas do NDRE referentes a maioria das ocasiões de monitoramento realizado nas áreas experimentais A1 e A2 apresentaram uma assimetria negativa (cs

< 0), porém os valores desta medida de formato situaram-se próximos de zero, uma vez que o deslocamento das distribuições foi pouco mais pronunciado à esquerda (Tabelas 17 e 18). Na área A3, esse IV apresentou assimetria positiva ( $cs > 0$ ) e reduzida associada aos dados da maioria dos monitoramentos (Tabela 19). Além disso, a quase totalidade das distribuições desse IV correspondentes a todos os vinhedos e épocas de monitoramento apresentaram curtose positiva ( $ck > 0$ ), porém reduzida.

No que diz respeito ao NDVI, verificou-se um padrão assimétrico à esquerda ( $cs < 0$ ), com valores da média inferiores à mediana em todos os conjuntos de dados referentes as estimativas do IV em questão. Essa assimetria foi mais pronunciada em comparação àquela associada as estimativas do NDRE. A distorção no padrão de distribuição assimétrico negativo do NDVI foi decorrente da presença de valores reduzidos, embora registrados com menor frequência. Logo, a assimetria negativa também pôde ser comprovada em razão da amplitude entre os menores valores do NDVI em relação a mediana, que foi superior àquela associada a amplitude entre os valores máximos e a medida de tendência central mencionada. Desta forma, além da assimetria à esquerda, os dados de NDVI provenientes de todas as avaliações apresentaram valores negativos e elevados quanto a curtose ( $ck < 0$ ) em função da concentração de valores em torno do centro da sua distribuição. Assim, segundo essa medida de formato, comprovou-se novamente que o NDVI demonstrou uma menor dispersão dos dados em comparação ao NDRE em todas as ocasiões de monitoramento. Logo, assumindo-se os estádios fenológicos considerados para a avaliação do vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon, o NDVI apresentou uma menor sensibilidade para detecção de possíveis variações existentes quanto a densidade do dossel das plantas.

Ressalta-se que, apesar das divergências em relação às medidas de formato, as distribuições dos dados de ambos os IV estimados nas três ocasiões de monitoramento do vigor vegetativo em todas as áreas experimentais nos dois ciclos não apresentaram normalidade de acordo com o teste de Lilliefors, considerando-se um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Além da reduzida dispersão das estimativas, o NDVI apresentou valores médios elevados ( $> 0,80$ ) em quase todas as avaliações da  $\rho$  do dossel. Esses resultados indicaram que o monitoramento do vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon durante o período compreendido entre os

estádios de desenvolvimento e maturação dos frutos, foi realizado em condições de elevado índice de área foliar (IAF) e teor de pigmentos fotossintéticos. Logo, a magnitude das estimativas do NDVI foi atribuída aos valores reduzidos e elevados da  $\rho$  na faixa do vermelho visível ( $\rho_R$ ,  $\lambda = 670$  nm) e do infravermelho próximo ( $\rho_{NIR}$ ,  $\lambda = 780$  nm), respectivamente, em resposta ao IAF característico de dosséis mais adensados. Essa resposta identificada pela  $\rho$  ocorreu em função da interação característica entre os pigmentos predominantes nas folhas e a radiação nas bandas específicas do espectro adotadas no cálculo desse IV em particular. Assim, o efeito de saturação do NDVI tornou-se evidente no monitoramento de cultivares de videiras vigorosas enxertadas sobre uma variedade porta-enxerto que contribuiu adicionalmente para a maior intensidade da sua expressão vegetativa.

Conforme mencionado, o período de avaliação da  $\rho$  do dossel das videiras também influenciou na observação desse efeito, uma vez as medidas foram tomadas no decorrer de fases fenológicas tardias do ciclo produtivo, durante as quais ocorreu uma aparente estabilidade do desenvolvimento vegetativo das plantas. Resultados reportados por Junges et al. (2017) no que trata da caracterização do vigor vegetativo das cultivares Chardonnay e Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.), estipulado a partir do sensoriamento proximal do dossel e da avaliação do perfil temporal quanto a variação do NDVI, revelaram que os valores mais elevados desse índice foram estimados desde o início do estágio de pegamento de frutos (BBCH 71). A semelhança do observado no presente estudo, valores elevados associados a uma reduzida dispersão dos resultados do NDVI indicaram efeitos de saturação desse índice. Tal implicação exerce uma importante influência na detecção de variações e no monitoramento da dinâmica de superfícies vegetadas (GITELSON, 2004).

Dentre os inúmeros IV possíveis de serem estimados, o NDVI é comumente citado na literatura e um dos mais empregados para caracterização do vigor vegetativo de superfícies vegetadas naturais ou cultivadas. Entretanto, este índice apresenta limitações quanto à sua sensibilidade em relação às condições de cobertura do solo no monitoramento de superfícies com vegetação esparsa, além da tendência à saturação quando mensurado em condições de maiores densidades vegetativas.

Propostas para a correção da influência da cobertura do solo sobre a estimativa do NDVI resultam no cálculo de IV que consideram esses efeitos. Dentre esses, destacam-se os índices SAVI, SAVI1 e SAVI2 (*soil adjusted vegetation index*) (HUETE, 1988; QI et al., 1994), utilizados para mitigar a influência da condição de

cobertura do solo sobre as estimativas do índice referido. Por sua vez, alternativas semelhantes são propostas para correção do efeito de saturação, notável na estimativa do NDVI em plantas que apresentam elevado IAF. Dentre essas, o índice WDRVI (*wide dynamic range vegetation index*), proposto por Gitelson (2004), sugere a inclusão de um coeficiente ponderador, capaz de minimizar a disparidade entre a  $\rho$  no infravermelho próximo em relação àquela referente ao vermelho visível no cálculo do NDVI. Desta forma, o índice WDRVI passa a demonstrar uma associação linear com características biofísicas das plantas (GITELSON, 2004). Outras abordagens voltadas à correção do efeito de saturação englobam a modificação do NDVI a partir de inferências baseadas na teoria de probabilidades (VAIOPOULOS et al., 2004), a inclusão de uma componente angular na sua estimativa (ÜNSALAN e BOYER, 2004), assim como a sua linearização (JIANG e HUETE, 2010).

Em virtude da maior variabilidade associada às estimativas do NDRE, este IV demonstrou maior eficiência para caracterizar a variabilidade do vigor vegetativo das videiras nas condições descritas no presente estudo. Uma vez que a  $\rho$  espectral correspondente ao vermelho limítrofe (*red edge*, por volta de 700 nm) se constitui de um indicador sensível da concentração de clorofila foliar (GATES et al., 1965; HORLER et al., 1983; GITELSON et al., 1996), as estimativas do NDRE, obtidas em fases avançadas do ciclo das cultivares Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon, podem ser adotadas, em detrimento daquelas correspondentes ao NDVI, para a distinção e regionalização dessa variável nas condições avaliadas.



**Tabela 17 - Estatística descritiva referente aos índices de vegetação NDRE e NDVI estimados a partir de medidas de reflectância do dossel obtidas por sensoriamento proximal em três ocasiões distintas no decorrer dos ciclos de produção de 2018 e 2019 das videiras cv. Cabernet Franc, cultivada na área experimental A1**

Vintage	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
								0%	25%	50%	75%	100%	
NDRE													
T1													
2018	0,258	0,054	2,916.10 <sup>-4</sup>	0,071	20,859	-0,140	0,128	0,087	0,223	0,260	0,295	0,431	34061
2019	0,287	0,041	2,134.10 <sup>-4</sup>	0,052	14,139	-0,154	0,284	0,155	0,261	0,289	0,314	0,420	36118
T2													
2018	0,353	0,054	3,075.10 <sup>-4</sup>	0,064	15,380	0,141	0,480	0,179	0,320	0,351	0,384	0,526	31105
2019	0,290	0,042	2,195.10 <sup>-4</sup>	0,053	14,602	-0,380	0,379	0,152	0,266	0,295	0,318	0,427	37317
T3													
2018	0,318	0,049	2,610.10 <sup>-4</sup>	0,056	15,281	-0,190	0,696	0,158	0,291	0,320	0,347	0,477	34682
2019	0,257	0,039	2,087.10 <sup>-4</sup>	0,048	15,040	-0,412	0,469	0,127	0,235	0,261	0,283	0,385	34428
NDVI													
T1													
2018	0,830	0,063	3,428.10 <sup>-4</sup>	0,066	7,570	-1,451	2,322	0,573	0,805	0,847	0,871	0,988	33590
2019	0,847	0,038	2,023.10 <sup>-4</sup>	0,036	4,513	-1,606	3,889	0,664	0,834	0,856	0,870	0,993	35737
T2													
2018	0,868	0,049	2,808.10 <sup>-4</sup>	0,051	5,673	-1,305	2,314	0,658	0,849	0,877	0,899	0,991	30756
2019	0,850	0,039	2,036.10 <sup>-4</sup>	0,038	4,606	-1,630	3,878	0,657	0,836	0,859	0,874	0,969	36966
T3													
2018	0,830	0,063	3,389.10 <sup>-4</sup>	0,059	7,557	-1,617	3,121	0,558	0,810	0,847	0,869	0,985	34286
2019	0,781	0,078	4,229.10 <sup>-4</sup>	0,077	9,978	-1,703	3,110	0,451	0,755	0,805	0,833	0,976	33950

$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações. T1: estágio BBCH 79, cacho fechado; T2: estágio BBCH 81, início de maturação; T3: estágio BBCH 85, amolecimento de bagas.

**Tabela 18 - Estatística descritiva referente aos índices de vegetação NDRE e NDVI estimados a partir de medidas de reflectância do dossel obtidas por sensoriamento proximal em três ocasiões distintas no decorrer dos ciclos de produção de 2018 e 2019 das videiras cv. Cabernet Franc, cultivada na área experimental**

Vintage	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
								0%	25%	50%	75%	100%	
NDRE													
T1													
2018	0,296	0,045	3,110.10 <sup>-4</sup>	0,060	15,162	-0,411	0,041	0,152	0,268	0,300	0,328	0,436	20807
2019	0,280	0,047	3,351.10 <sup>-4</sup>	0,060	16,796	0,128	0,434	0,126	0,250	0,280	0,309	0,440	19681
T2													
2018	0,317	0,043	2,953.10 <sup>-4</sup>	0,053	13,730	-0,035	0,486	0,175	0,291	0,318	0,344	0,459	21692
2019	0,288	0,036	2,243.10 <sup>-4</sup>	0,047	12,374	-0,243	0,028	0,175	0,265	0,290	0,312	0,400	25191
T3													
2018	0,288	0,042	2,918.10 <sup>-4</sup>	0,053	14,560	-0,272	0,410	0,150	0,263	0,291	0,316	0,424	20674
2019	0,246	0,034	2,159.10 <sup>-4</sup>	0,046	13,979	-0,238	0,105	0,136	0,225	0,248	0,270	0,356	25452
NDVI													
T1													
2018	0,857	0,037	2,570.10 <sup>-4</sup>	0,035	4,300	-1,754	3,795	0,684	0,845	0,866	0,880	0,949	20541
2019	0,833	0,038	2,731.10 <sup>-4</sup>	0,043	4,611	-0,878	1,195	0,700	0,815	0,840	0,858	0,961	19782
T2													
2018	0,860	0,042	2,845.10 <sup>-4</sup>	0,039	4,849	-1,370	3,078	0,673	0,846	0,868	0,885	0,989	21506
2019	0,839	0,037	2,329.10 <sup>-4</sup>	0,040	4,384	-1,403	2,330	0,682	0,824	0,848	0,863	0,951	24926
T3													
2018	0,818	0,064	4,460.10 <sup>-4</sup>	0,062	7,794	-1,603	2,905	0,548	0,796	0,836	0,859	0,959	20430
2019	0,780	0,064	4,021.10 <sup>-4</sup>	0,075	8,176	-1,255	1,469	0,535	0,751	0,797	0,826	0,940	25183

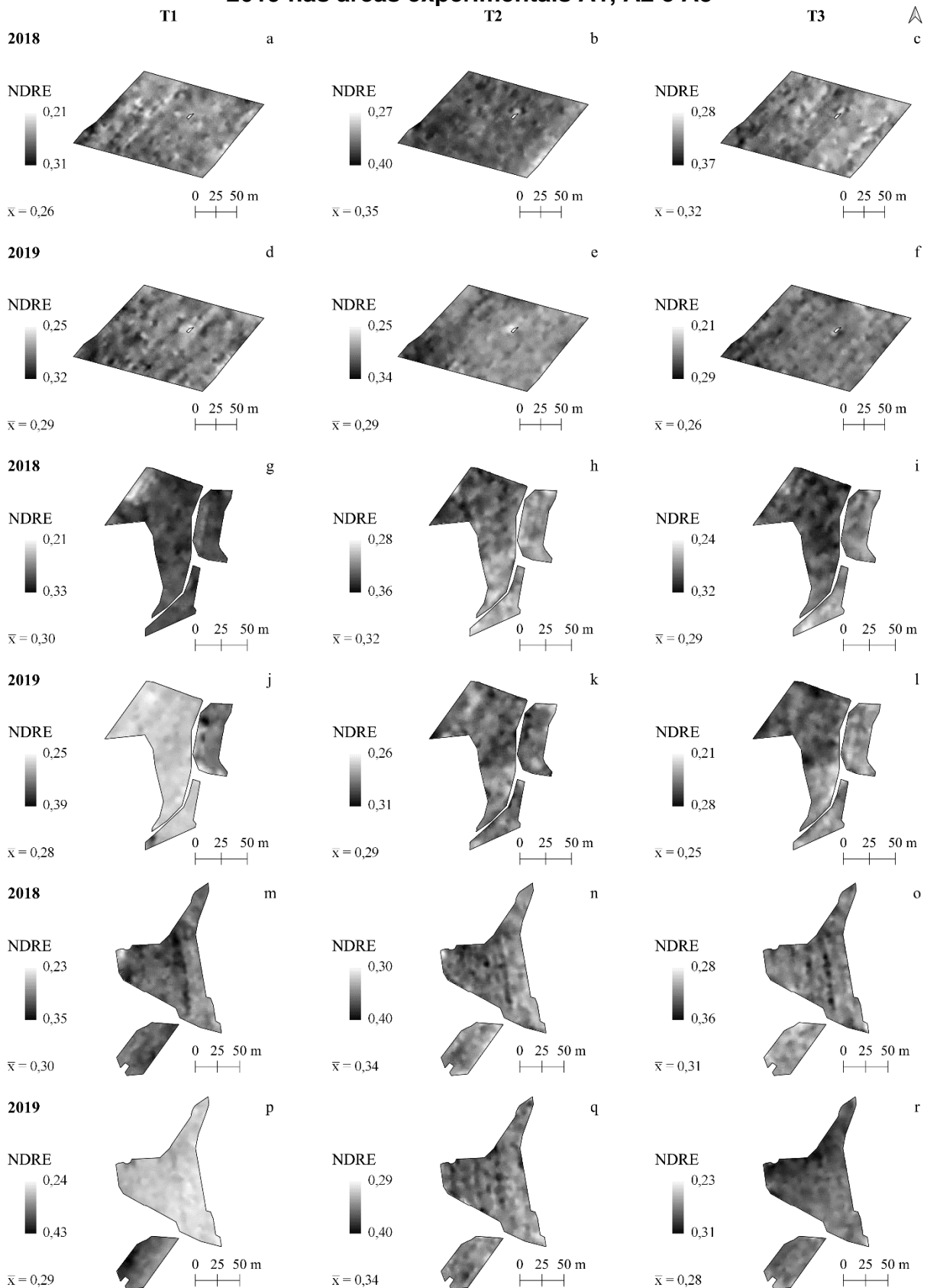
$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações. T1: estágio BBCH 79, cacho fechado; T2: estágio BBCH 81, início de maturação; T3, estágio BBCH 85, amolecimento de bagas.

**Tabela 19 - Estatística descritiva referente aos índices de vegetação NDRE e NDVI estimados a partir de medidas de reflectância do dossel obtidas por sensoriamento proximal em três ocasiões distintas no decorrer dos ciclos de produção de 2018 e 2019 das videiras cv. Cabernet Sauvignon, cultivada na área experimental A3**

Vintage	$\bar{x}$	sd	se	IQR	CV	cs	ck	Quantis					n
								0%	25%	50%	75%	100%	
NDRE													
T1													
2018	0,300	0,048	$3,115 \cdot 10^{-4}$	0,065	16,002	-0,224	-0,039	0,147	0,268	0,303	0,334	0,450	23728
2019	0,294	0,060	$3,611 \cdot 10^{-4}$	0,067	20,487	0,932	2,160	0,101	0,255	0,288	0,323	0,574	27764
T2													
2018	0,345	0,044	$2,807 \cdot 10^{-4}$	0,052	12,815	0,255	0,707	0,200	0,318	0,343	0,370	0,492	24782
2019	0,344	0,058	$3,458 \cdot 10^{-4}$	0,068	16,855	0,392	0,688	0,152	0,308	0,340	0,376	0,539	28185
T3													
2018	0,314	0,038	$2,435 \cdot 10^{-4}$	0,045	11,967	0,084	0,750	0,186	0,292	0,314	0,336	0,443	23849
2019	0,282	0,032	$1,930 \cdot 10^{-4}$	0,041	11,483	-0,327	0,393	0,175	0,263	0,284	0,303	0,388	28157
NDVI													
T1													
2018	0,877	0,033	$2,179 \cdot 10^{-4}$	0,031	3,804	-1,707	3,905	0,720	0,866	0,885	0,897	0,988	23426
2019	0,857	0,036	$2,150 \cdot 10^{-4}$	0,035	4,203	-1,322	2,977	0,690	0,843	0,864	0,879	1,013	28028
T2													
2018	0,885	0,031	$1,947 \cdot 10^{-4}$	0,030	3,456	-1,220	3,193	0,744	0,873	0,889	0,902	0,994	24653
2019	0,883	0,046	$2,768 \cdot 10^{-4}$	0,038	5,245	-1,809	4,872	0,649	0,871	0,891	0,908	0,994	27994
T3													
2018	0,864	0,037	$2,390 \cdot 10^{-4}$	0,036	4,265	-1,403	3,345	0,687	0,850	0,871	0,886	0,983	23772
2019	0,838	0,045	$2,702 \cdot 10^{-4}$	0,043	5,381	-1,809	3,852	0,627	0,824	0,851	0,867	0,943	27849

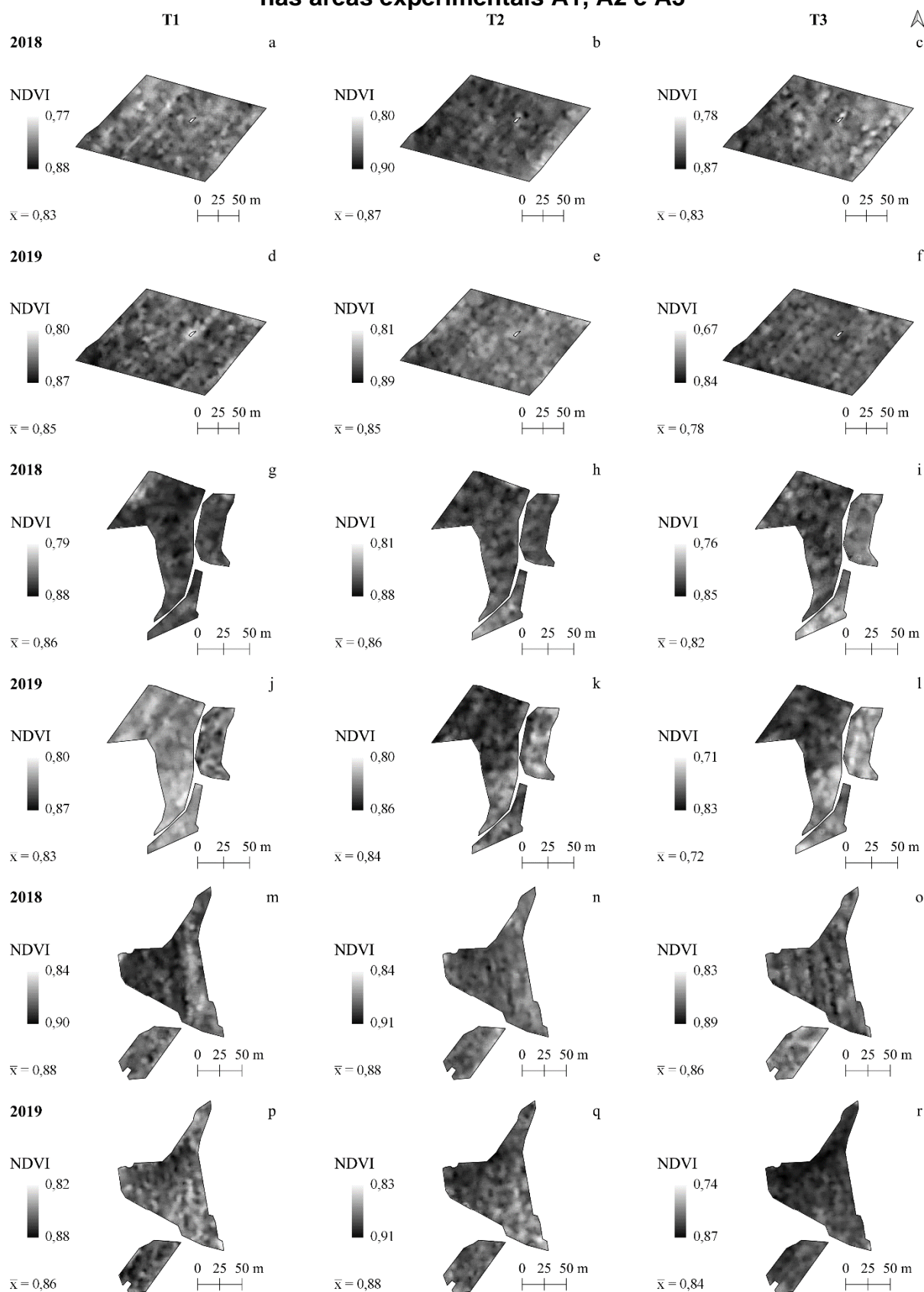
$\bar{x}$ : média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações. T1 – BBCH 79: cacho fechado; T2 – BBCH 81, início de maturação; T3 – BBCH 85: amolecimento de bagas

**Figura 22 - Predição espacial do vigor vegetativo caracterizado conforme o NDRE estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 nas áreas experimentais A1, A2 e A3**



$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

**Figura 23 - Predição espacial do vigor vegetativo caracterizado conforme o NDVI estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 nas áreas experimentais A1, A2 e A3**



$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cachos fechados; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

Na Figura 24, estão dispostos os valores médios e seus respectivos desvios padrões relacionados a cada IV estimado nas ocasiões de avaliação da  $\rho$  do dossel das videiras. Nos gráficos de dispersão descritos na Figuras 25 estão representadas as relações entre a progressão do ciclo de produção e os valores médios do NDRE e NDVI, bem como do CV associado as estimativas de cada IV, considerando-se os dois ciclos de produção em conjunto. Os resultados da análise de variância correspondente ao ajuste de modelos de regressão quadráticos realizado para caracterizar a associação entre as variáveis mencionadas são apresentados nas Tabelas 20 a 22.

A associação linear entre os valores médios dos IV e o avanço do ciclo de produção da cv. Cabernet Franc implantada na área A1 não foi comprovada ( $p > 0,05$ ). Assim, foi possível deduzir que a variação média do vigor vegetativo das videiras, monitorado ao longo dos estádios BBCH 79 a 85, não foi relacionada a variação dos dias após a poda. Desta forma, o vigor vegetativo permaneceu constante ao longo do intervalo entre ocasiões de monitoramento destacadas. Os resultados quanto ao coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ) referentes a associação entre os dap e o NDRE e NDVI, respectivamente, foram equivalentes a 0,14 ( $t = 0,28$ ,  $gl = 4$ , valor- $p = 0,79$ ) e -0,54 ( $t = -1,30$ ,  $gl = 4$ , valor- $p = 0,26$ ). Logo, uma vez que os valores calculados quanto a estatística do teste  $t$  foram inferiores ao valor crítico de  $t$  ao nível de significância de 5% ( $t < 2,78$ ), assumindo-se  $n - 2$  graus de liberdade, a hipótese de nulidade quanto a ausência de associação entre as estimativas dos IV e os dap ( $H_0: \rho = 0$ ) não foi rejeitada, o que permitiu inferir a inexistência de correlação entre as variáveis citadas. Esta conclusão também se verificou conforme a magnitude do valor- $p$ , correspondente ao coeficiente  $r$ , uma vez que este foi inferior ao nível de significância presumido.

Conforme o ajuste dos modelos de regressão quadráticos, assumindo-se os valores médios dos IV e os dap como variáveis dependentes e independentes, respectivamente, viu-se que o efeito curvilíneo não foi significativo para caracterização dessa relação (Tabela 20;  $p > 0,05$ ). Assim, durante o período compreendido entre os estádios BBCH 79 e 85, a variação média do vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc implantadas no vinhedo em questão não pôde ser explicada pela progressão, em dias, do seu ciclo produtivo, segundo a representação dos modelos de regressão adotados. Isso pôde ser deduzido em razão dos valores da estatística do teste  $F$  calculados para todos os modelos terem sido inferiores aos valores críticos correspondentes a distribuição  $F$  ( $F < 9,55$ ), considerando-se um nível de significância

de 5% e  $n - k - 1$  graus de liberdade. Nesse sentido, “k” representou o número de variáveis de modelo ( $k = 2$ ) e “n” o número de observações das variáveis. Além disso, a ausência de efeito quadrático significativo foi comprovada uma vez que os valores absolutos calculados da estatística t correspondentes ao coeficiente  $b_2$  das equações de regressão foram inferiores aos respectivos valores de t crítico ao nível de significância de 5% ( $t < 3,18$ ), assumindo-se  $n - k - 1$  graus de liberdade. Por essa razão, não foi possível rejeitar a hipótese de nulidade quanto ao efeito quadrático ( $H_0: b_1 = b_2 = 0$ ) incluído nos modelos adotados. De outra forma, a ausência de efeito quadrático na representação da relação entre os IV e os dap no período monitorado também se comprovou uma vez que o valor-p referente ao coeficiente  $b_2$  em todas as equações foi superior ao nível de significância adotado (Tabela 20).

A correlação linear entre a variabilidade relativa em torno da média do NDRE e do NDVI, respectivamente, e o avanço do ciclo da cultura, representada pelos dias após a poda, assumiu valores de -0,42 ( $t = -0,92$ ,  $gl = 4$ ,  $\text{valor-p} = 0,41$ ) e 0,61 ( $t = 1,55$ ,  $gl = 4$ ,  $\text{valor-p} = 0,14$ ). Apesar da divergência entre os IV quanto ao sentido da correlação apresentada, a relação entre a variabilidade do vigor vegetativo e a progressão das fases fenológicas não se comprovou, assumindo-se um nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ). Logo, conforme o NDRE e o NDVI, a quantidade de variação referente ao vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc cultivadas na área A1 não pôde ser associada linearmente ao avanço do ciclo de produção durante os estádios de desenvolvimento e maturação de frutos. De maneira semelhante ao observado para a relação entre as médias dos IV e os dap, a relação entre a variabilidade relativa do vigor vegetativo das videiras, estimada conforme o NDRE e NDVI e a progressão do ciclo da cultura não pôde ser representada por modelos de regressão quadráticos, uma vez que este efeito curvilíneo não foi significativo (Tabela 20).

Na área experimental A2, os resultados quanto a correlação entre os valores médios do NDRE e NDVI, nesta ordem, e os dap foram equivalentes a -0,38 ( $t = -0,81$ ,  $gl = 4$ ,  $\text{valor-p} = 0,46$ ) e -0,67 ( $t = -1,83$ ,  $gl = 4$ ,  $\text{valor-p} = 0,14$ ). Por sua vez, na área experimental A3, esses valores foram iguais a -0,03 ( $t = -0,06$ ,  $gl = 4$ ,  $\text{valor-p} = 0,95$ ) e -0,39 ( $t = -0,86$ ,  $gl = 4$ ,  $\text{valor-p} = 0,44$ ). Nesses casos, em razão dos valores calculados da estatística t terem sido inferiores ao valor crítico de t ao nível de significância de 5% ( $t < 2,78$ ), assumindo-se  $n - 2$  graus de liberdade, não se verificou a existência de uma associação linear entre o vigor vegetativo e o avanço das fases

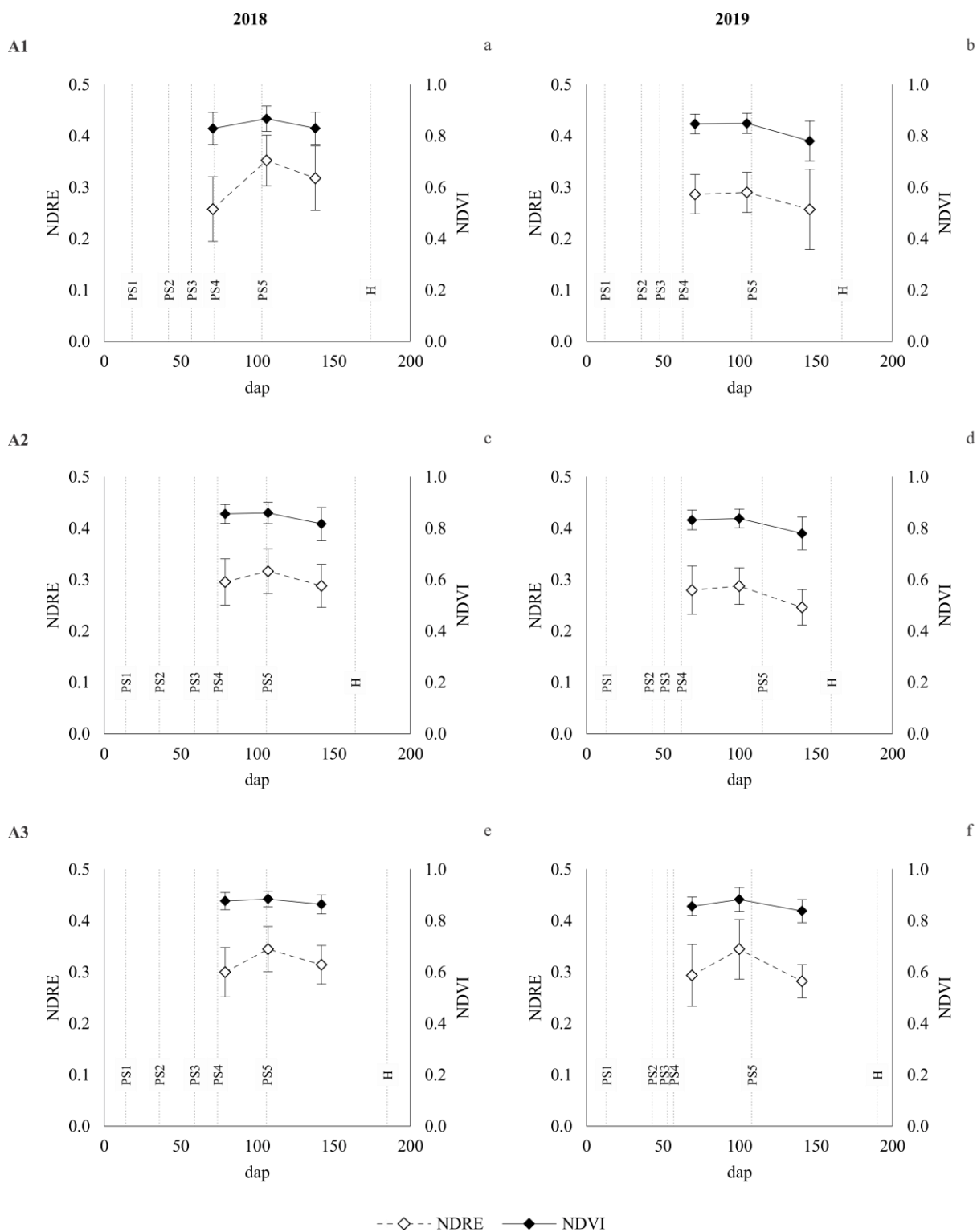
do ciclo de produção. Além disso, em ambas as áreas experimentais componentes da Vista do Vale (A2 e A3), a representação da variação dos valores médios dos IV em função dos dap conforme modelos de regressão quadráticos não se mostrou significativa, a exemplo do observado na área A1.

De modo geral, considerando-se ambos os ciclos de produção, apenas na área A3 a correlação negativa entre a dispersão relativa dos dados de NDRE e o avanço do ciclo da cultura foi confirmada, ao nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ), e foi equivalente a  $-0,89$  ( $t = -3,98$ ,  $gl = 4$ ,  $\text{valor-p} = 0,02$ ). Logo, as videiras cv. Cabernet Sauvignon cultivadas no vinhedo mencionado demonstraram uma menor variação quanto ao vigor vegetativo no final do período de maturação em comparação ao estágio de desenvolvimento dos frutos, segundo o NDRE. Entretanto, apenas na área experimental A2 a variabilidade relativa do NDVI demonstrou uma correlação significativa e positiva em relação a progressão do ciclo da cultura, assumindo um valor de  $0,90$  ( $t = 4,19$ ,  $gl = 4$ ,  $\text{valor-p} = 0,01$ ). Esse resultado indicou que as videiras cv. Cabernet Franc implantadas no vinhedo em questão apresentaram maior variabilidade do vigor vegetativo em fases tardias do ciclo de produção.

Somente a relação entre a variabilidade relativa em torno da média das estimativas do NDRE e NDVI, relacionada às videiras cv. Cabernet Franc cultivadas na área A2, e o avanço do seu ciclo de produção pôde ser representada significativamente por modelos de regressão quadrática (Tabela 21). Desta forma, o teste F para a significância do modelo de regressão demonstrou uma relação estatisticamente significativa entre as variáveis mencionadas, bem como confirmou-se a hipótese alternativa para o coeficiente  $b_2$  ( $H_1: b_2 \neq 0$ ), assumindo-se o nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Logo, a variabilidade em torno da média do NDRE estimado no intervalo entre os estádios fenológicos BBCH 79 e 85 foi explicada pela variação da progressão do ciclo da cultura, conforme a equação  $y_i = 37,90 - 0,44x_i + 1,94 \cdot 10^{-3}x_i^2 + e_i$  ( $R^2 = 0,87$ ). Por sua vez, grande parte da variação referente a dispersão em torno da média dos dados de NDVI estimados no intervalo entre os estádios fenológicos mencionados pôde ser explicada pela variação dos dias após a poda, segundo a representação propiciada pelo modelo de regressão quadrático  $y_i = 13,28 - 0,21x_i + 1,22 \cdot 10^{-3}x_i^2 + e_i$  ( $R^2 = 0,99$ ). Assim, a variabilidade relativa do vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc cultivadas a área A2, apresentou uma taxa variável conforme o avanço do ciclo de produção, com um valor mínimo estimado de 12,82% aos 114 dap (NDRE), 4,24% aos 86 dap (NDVI).

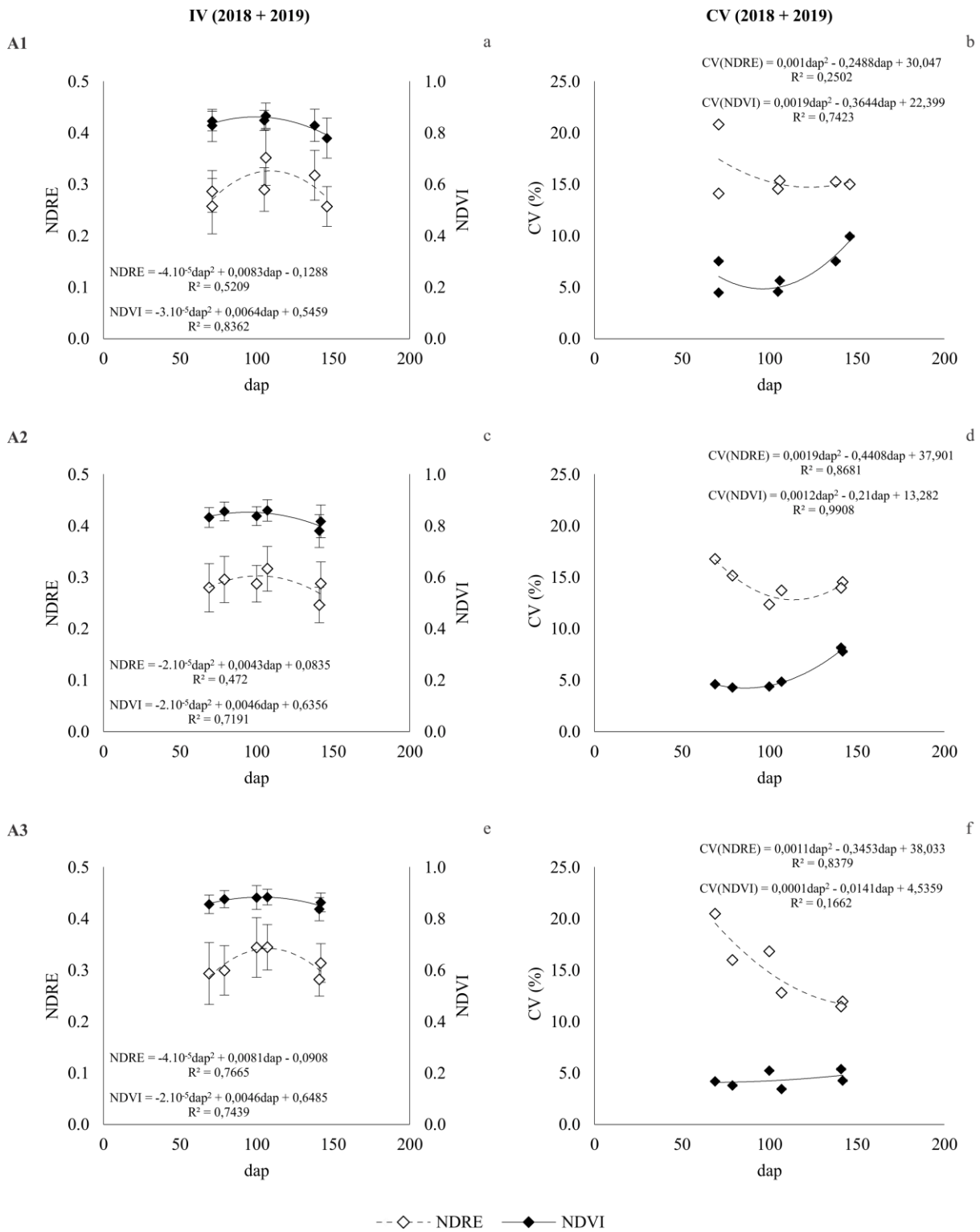


**Figura 24 - Padrões de variação dos valores médios  $\pm$  desvios padrões referentes ao vigor vegetativo, estimado conforme o NDRE e NDVI, em função da progressão dos ciclos de produção de 2018 e 2019.**



PS1: intervalo entre a emergência das folhas e a floração plena (BBCH 11 a 65); PS2: intervalo entre a floração plena e o estágio de bagas em tamanho “chumbinho” (BBCH 65 a 73); PS3: intervalo entre o estágio de bagas em tamanho “chumbinho” até o tamanho “ervilha” (BBCH 73 a 75); PS4: intervalo entre o estágio de bagas em tamanho “ervilha” até o início da maturação (BBCH 75 a 81); PS5: intervalo entre o início da maturação e a maturação plena (BBCH 81 a 89); H: colheita. Código BBCH (LORENZ et al., 1995).

**Figura 25 - Modelos de regressão ajustados a relação entre a progressão dos ciclos de produção e os valores médios e o coeficiente de variação correspondentes ao vigor vegetativo, estimado conforme o NDRE e NDVI**



**Tabela 20 - Análise de variância dos modelos de regressão ajustados a relação entre os valores médios e o coeficiente de variação correspondentes ao vigor vegetativo, estimado conforme o NDRE e NDVI, e a progressão dos ciclos de produção das videiras cv. Cabernet Franc cultivadas na área A1**

ANOVA: NDRE = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	$3,493.10^{-3}$	$1,747.10^{-03}$	1,6312	0,332 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	$3,212.10^{-3}$	$1,071.10^{-03}$		
Total	5	$6,705.10^{-3}$			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	-0,129	0,234	-0,549	0,621	
$b_1$	$8,347.10^{-3}$	$4,643.10^{-3}$	1,798	0,170	
$b_2$	$-3,825.10^{-5}$	$2,159.10^{-5}$	-1,772	0,175	
ANOVA: NDVI = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	$3,697.10^{-3}$	$1,849.10^{-03}$	7,655	0,066 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	$7,245.10^{-4}$	$2,415.10^{-04}$		
Total	5	$4,422.10^{-3}$			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	0,546	0,111	4,903	0,016	
$b_1$	$6,402.10^{-3}$	$2,205.10^{-3}$	2,903	0,062	
$b_2$	$-3,228.10^{-5}$	$1,025.10^{-5}$	-3,148	0,051	
ANOVA: CV(NDRE) = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	7,6989	3,849	0,500	0,649 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	23,0740	7,691		
Total	5	30,7729			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	30,047	19,870	1,512	0,228	
$b_1$	$-2,488.10^{-1}$	$3,935.10^{-1}$	-0,632	0,572	
$b_2$	$1,011.10^{-3}$	$1,830.10^{-3}$	0,552	0,619	
ANOVA: CV(NDVI) = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	16,6602	8,330	4,320	0,131 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	5,7845	1,928		
Total	5	22,4447			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	22,399	9,949	2,2514	0,110	
$b_1$	$-3,644.10^{-1}$	$1,970.10^{-1}$	-1,8495	0,161	
$b_2$	$1,893.10^{-3}$	$9,162.10^{-4}$	2,0665	0,131	

gl: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; MQ: quadrados médios; ns: não significativo; \*: significativo a 5% ( $\alpha = 0,05$ ); \*\*: significativo a 1% ( $\alpha = 0,01$ )

**Tabela 21 - Análise de variância dos modelos de regressão ajustados a relação entre os valores médios e o coeficiente de variação correspondentes ao vigor vegetativo, estimado conforme o NDRE e NDVI, e a progressão dos ciclos de produção das videiras cv. Cabernet Franc cultivadas na área A2**

ANOVA: NDRE = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	$1,254 \cdot 10^{-3}$	$6,270 \cdot 10^{-4}$	1,3406	0,384 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	$1,403 \cdot 10^{-3}$	$4,677 \cdot 10^{-4}$		
Total	5	$2,657 \cdot 10^{-3}$			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	0,083	0,173	0,481	0,663	
$b_1$	$4,337 \cdot 10^{-3}$	$3,392 \cdot 10^{-3}$	1,279	0,291	
$b_2$	$-2,142 \cdot 10^{-5}$	$1,565 \cdot 10^{-5}$	-1,369	0,265	
ANOVA: NDVI = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	$3,100 \cdot 10^{-3}$	$1,550 \cdot 10^{-3}$	3,841	0,149 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	$1,211 \cdot 10^{-3}$	$4,036 \cdot 10^{-4}$		
Total	5	$4,311 \cdot 10^{-3}$			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	0,636	0,161	3,943	0,029	
$b_1$	$4,610 \cdot 10^{-3}$	$3,151 \cdot 10^{-3}$	1,463	0,240	
$b_2$	$-2,438 \cdot 10^{-5}$	$1,454 \cdot 10^{-5}$	-1,677	0,192	
ANOVA: CV(NDRE) = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	9,6080	4,804	9,875	0,048*
Resíduo	3	1,4594	0,486		
Total	5	11,0675			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	37,901	5,595	6,774	0,007	
$b_1$	$-4,408 \cdot 10^{-1}$	$1,094 \cdot 10^{-1}$	-4,029	0,027	
$b_2$	$1,937 \cdot 10^{-3}$	$5,048 \cdot 10^{-4}$	3,836	0,031	
ANOVA: CV(NDVI) = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	15,9668	7,983	161,222	0,001**
Resíduo	3	0,1486	0,050		
Total	5	16,1153			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	13,282	1,785	7,4402	0,005	
$b_1$	$-2,100 \cdot 10^{-1}$	$3,490 \cdot 10^{-2}$	-6,0178	0,009	
$b_2$	$1,220 \cdot 10^{-3}$	$1,611 \cdot 10^{-4}$	7,5724	0,005	

gl: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; MQ: quadrados médios; ns: não significativo; \*: significativo a 5% ( $\alpha = 0,05$ ); \*\*: significativo a 1% ( $\alpha = 0,01$ )

**Tabela 22 - Análise de variância dos modelos de regressão ajustados a relação entre os valores médios e o coeficiente de variação correspondentes ao vigor vegetativo, estimado conforme o NDRE e NDVI, e a progressão dos ciclos de produção das videiras cv. Cabernet Sauvignon cultivadas na área A3**

ANOVA: NDRE = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	$2,684 \cdot 10^{-3}$	$1,342 \cdot 10^{-3}$	4,9250	0,113 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	$8,175 \cdot 10^{-4}$	$2,725 \cdot 10^{-4}$		
Total	5	$3,502 \cdot 10^{-3}$			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	-0,091	0,132	-0,686	0,542	
$b_1$	$8,058 \cdot 10^{-3}$	$2,589 \cdot 10^{-3}$	3,112	0,053	
$b_2$	$-3,747 \cdot 10^{-5}$	$1,195 \cdot 10^{-5}$	-3,136	0,052	
ANOVA: NDVI = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	$1,210 \cdot 10^{-3}$	$6,049 \cdot 10^{-4}$	4,356	0,130 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	$4,166 \cdot 10^{-4}$	$1,389 \cdot 10^{-4}$		
Total	5	$1,626 \cdot 10^{-3}$			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	0,648	0,095	6,860	0,006	
$b_1$	$4,602 \cdot 10^{-3}$	$1,848 \cdot 10^{-3}$	2,490	0,088	
$b_2$	$-2,241 \cdot 10^{-5}$	$8,529 \cdot 10^{-6}$	-2,627	0,079	
ANOVA: CV(NDRE) = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	51,0016	25,501	7,753	0,065 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	9,8669	3,289		
Total	5	60,8684			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	38,033	14,549	2,614	0,079	
$b_1$	$-3,453 \cdot 10^{-1}$	$2,844 \cdot 10^{-1}$	-1,214	0,312	
$b_2$	$1,127 \cdot 10^{-3}$	$1,313 \cdot 10^{-3}$	0,858	0,454	
ANOVA: CV(NDVI) = $b_0 + b_1dap + b_2dap^2$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	0,4953	0,248	0,299	0,761 <sup>ns</sup>
Resíduo	3	2,4841	0,828		
Total	5	2,9794			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	4,536	7,300	0,6213	0,578	
$b_1$	$-1,405 \cdot 10^{-2}$	$1,427 \cdot 10^{-1}$	-0,0984	0,928	
$b_2$	$1,118 \cdot 10^{-4}$	$6,586 \cdot 10^{-4}$	0,1697	0,876	

gl: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; MQ: quadrados médios; ns: não significativo; \*: significativo a 5% ( $\alpha = 0,05$ ); \*\*: significativo a 1% ( $\alpha = 0,01$ )

#### 4.6.2 Estabilidade espaço-temporal e similaridade entre predições do vigor vegetativo inferido segundo diferentes índices de vegetação

Na Figura 26 estão representadas as regionalizações da tendência de variação, espaço-temporal, bem como a sua significância estatística, referente aos índices NDRE e NDVI estimados nos vinhedos durante os ciclos de produção subsequentes.

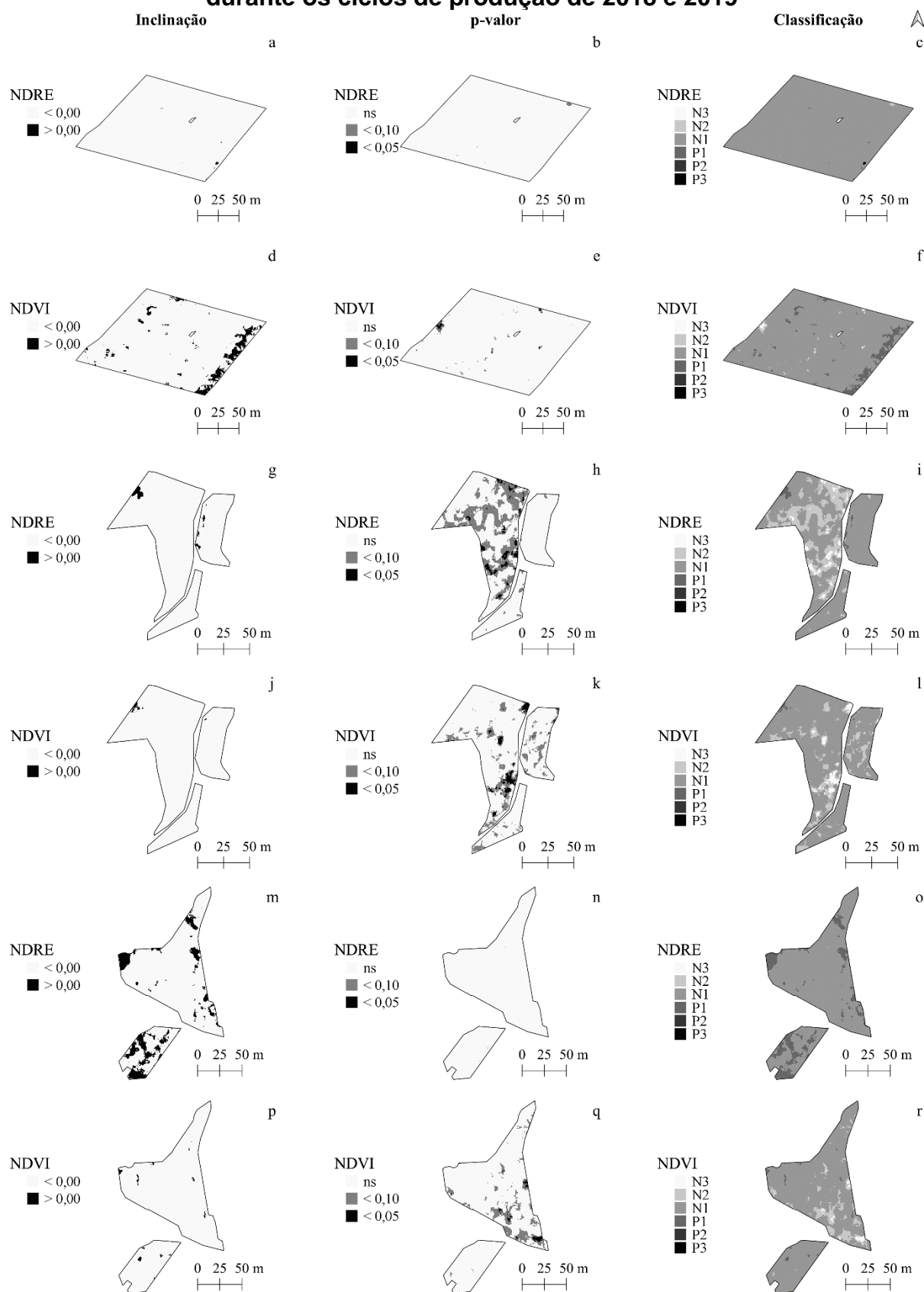
Observou-se que grande parte do domínio de todas as áreas experimentais apresentou um decréscimo dos valores estimados de ambos os IV ( $\beta_1 < 0$ ), porém esta tendência não foi considerada significativa ( $p > 0,10$ ) nesses casos. Desta forma, viu-se que ao longo do período entre o desenvolvimento e a maturação dos cachos correspondente a dois ciclos de produção consecutivos, as cultivares de videiras implantadas nas condições locais encontraram-se bem estabelecidas quanto ao seu estado de desenvolvimento vegetativo. Esses resultados demonstram que as áreas experimentais foram submetidas a condições ambientais homogêneas e tratos culturais equilibrados que propiciaram uma constância quanto a densidade do dossel das videiras nos períodos adiantados dos ciclos de produção avaliados.

Na área experimental A1, a estabilidade espaço-temporal negativa e não significativa do vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc foi revelada de maneira mais evidente pela análise da variação do NDRE (Figura 26c). Contudo, nesta mesma área experimental também foi observada uma tendência de variação positiva ( $\beta_1 > 0$ ) do vigor vegetativo em 5,84% da área total, conforme as estimativas do NDVI (Figura 26f), porém esta orientação não foi significativa ( $p > 0,10$ ).

Apesar da tendência negativa e não significativa quanto a variação espaço-temporal do vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc cultivadas na área A2, foi observada uma tendência negativa ( $\beta_1 < 0$ ) e significativa ( $p < 0,10$ ) em algumas regiões do vinhedo (Figura 26i e 26l). Assim, de acordo com as estimativas do NDRE e NDVI, respectivamente, a tendência mencionada foi observada em 11,98% e 23,55% da área total.

Por sua vez, as videiras cv. Cabernet Sauvignon cultivadas na área experimental A3 também apresentaram uma tendência de variação negativa e significativa em 9,26% da área total, conforme o NDVI (Figura 26o), além de uma tendência positiva ( $\beta_1 > 0$ ) e não significativa ( $p < 0,10$ ) em 13,30% do domínio do vinhedo, segundo o NDRE (Figura 26r).

**Figura 26 - Tendência de variação espaço-temporal das predições do vigor vegetativo, inferido conforme o NDRE e NDVI estimados em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



Nas Tabelas 23 e 24 estão descritos os resultados quanto aos coeficientes de correlação de Spearman ( $r_s$ ), o teste de concordância de Kendall ( $W$ ) e as estatísticas de concordância parcial referente aos testes a posteriori. A distribuição espacial das estatísticas baseadas na média, variância e covariância local utilizadas para comparação dos mapas temáticos é apresentada nas Figuras 27 a 34.

Conforme a o coeficiente  $r_s$ , observou-se que a estabilidade intra-anual quanto às estimativas do NDRE e NDVI, em ambos os ciclos de produção das duas cultivares ocorreu de maneira mais proeminente ao se avaliar a associação entre às ocasiões de monitoramento T2 x T3. Essas correlações se mostraram significativas (Tabela 23) e positivas ( $r > 0$ ), dado o seu caráter diretamente proporcional, e indicaram que a distribuição do vigor vegetativo nos vinhedos ocorreu de forma semelhante nos estádios fenológicos de início de maturação (BBCH 81) e de amolecimento de bagas (BBCH 85). Entretanto, o padrão destacado acima não foi identificado nas áreas experimentais A2 e A3 no que se referiu a associação entre as estimativas do NDVI obtidas na comparação entre as ocasiões de monitoramento T1 x T3 e T1 x T2, respectivamente, do ciclo de 2018 (Tabela 23). Na maioria dos casos, em particular na área A3, a menor estabilidade temporal do vigor vegetativo foi observada ao se considerar a comparação entre a primeira e última ocasião de monitoramento do vigor vegetativo. Destaca-se ainda que ambos os IV demonstraram padrões semelhantes entre si quanto a identificação da estabilidade temporal intra-anual de suas estimativas, de acordo com o coeficiente  $r_s$  (Tabela 23).

Segundo o coeficiente de concordância de Kendall ( $W$ ), a distribuição dos valores do NDRE estimados na área experimental A1 demonstrou uma maior estabilidade temporal intra-anual em comparação com aquela inferida pelos resultados interpolados do NDVI (Tabela 23). O contrário foi observado para a área A3, em virtude dos maiores valores relacionados ao coeficiente  $W$  referente a análise de estabilidade temporal do NDVI (Tabela 23). De modo geral, no ciclo de produção de 2018, as videiras cv. Cabernet Sauvignon (A3) apresentaram uma maior estabilidade temporal intra-anual em comparação com aquela correspondente as cultivares implantadas nas demais áreas experimentais (Tabela 23). No ciclo seguinte, a maior estabilidade temporal intra-anual foi associada as videiras cv. Cabernet Franc implantada na área A1. Porém, de modo geral, o vinhedo A1 e o vinhedo A3 demonstraram uma maior constância quanto aos valores interpolados do NDRE e NDVI, respectivamente, no decurso dos dois ciclos de produção (Tabela 24).



Na comparação entre estádios fenológicos semelhantes e ciclos de produção distintos, observou-se que as videiras cv. Cabernet Franc (A1 e A2) e Cabernet Sauvignon (A3) demonstraram uma maior estabilidade na fase de amolecimento de bagas (BBCH 85) e de início de maturação (BBCH 81), respectivamente (Tabela 24). Logo, nas condições de estudo, a estabilidade interanual dos padrões do vigor vegetativo foi dependente de cada cultivar de videira em específico.

Destaca-se que, todos os coeficientes de correlação e concordância obtidos foram estatisticamente significativos ( $p < 0,01$ ). Em razão da rejeição da hipótese de nulidade ( $H_0$ ), resultados dos testes *a posteriori* revelaram que, em todos os casos, não houve evidências quanto a discordância entre os avaliadores (ocasiões de monitoramento). Contudo, a magnitude da contribuição dos mesmos em relação a concordância global foi variável conforme a área experimental e o ciclo de produção considerado para avaliação das correlações, não sendo possível destacar um padrão.

De acordo com os resultados da SIM viu-se que, em todas as áreas experimentais e em ambos os ciclos de produção, as estimativas dos IV apresentaram valores elevados ou reduzidos distribuídos de maneira homogênea ao longo dos vinhedos (Figuras 27 e 31). Desta forma, as videiras Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon apresentaram elevada semelhança na média local quanto ao vigor vegetativo monitorado no período compreendido entre os períodos tardios do ciclo. Isso pôde ser inferido pela apreciação do valor médio de SIM ter sido próximo de 1 em todos os casos e acima de 0,9 na maioria das comparações entre as ocasiões de monitoramento, além da reduzida dispersão relativa dos valores dessa métrica.

De modo semelhante a SIM, o vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon também apresentou elevada SIV (Figuras 28 e 32). Isso ocorreu uma vez que a comparação entre a distribuição espacial da variabilidade quanto aos IV estimados em diferentes épocas de monitoramento resultou em valores médios próximos de 1, com reduzida dispersão associada a medida de tendência central mencionada. A interpretação dos resultados de SIV é similar àquela referente a SIM. Assim, o período compreendido entre o desenvolvimento e a maturação dos frutos apresentou valores elevados e reduzidos da variância local do NDRE e do NDVI distribuídos quantitativamente de forma homogênea ao longo das áreas experimentais na comparação entre mapas interpolados correspondentes a ocasiões de monitoramento distintos. Logo, nas condições de realização do presente estudo, as

cultivares avaliadas apresentaram-se uniformes no que diz respeito a distribuição espacial da variabilidade do vigor vegetativo inferido pelas estimativas dos IV.

De acordo com a avaliação da SIP (Figuras 29 e 33), o valor médio relativo a essa métrica revelou que o vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon apresentou correlação espacial positiva ( $SIP > 0$ ). Além disso, a predominância de valores positivos da SIP resultante da comparação entre as diferentes épocas de monitoramento dos IV indicaram que, na maior parte dos vinhedos, o vigor vegetativo apresentou variabilidade semelhante e diretamente proporcional em fases distintas do ciclo. Segundo a interpretação dessa métrica, os resultados próximos de 1 indicaram regiões que apresentaram valores elevados ou reduzidos quanto aos valores dos IV estimados em uma mesma posição em ambos os mapas comparados. Por sua vez, valores negativos de SIP corresponderam a regiões onde a estrutura espacial da distribuição dos valores elevados ou reduzidos do NDRE e NDVI foi discrepante na comparação entre as fases fenológicas.

Por fim, os valores médios associados ao SSIM (Figuras 30 e 34) indicaram um grau positivo de uniformidade quanto a distribuição espacial do vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon na comparação entre ocasiões de avaliação do vigor vegetativo. De forma semelhante ao observado para a SIP, houve uma predominância de valores positivos de SSIM. Em razão desses resultados, foi possível inferir que, a variabilidade de fatores ambientais fixos atuantes sobre a expressão vegetativa das videiras, manifestada em fases fenológicas avançadas dos ciclos de produção, foi distribuída de maneira constante ao longo das áreas experimentais. Os índices SIM e SIV apresentaram distribuição espacial homogênea de valores elevados nas áreas experimentais, com exceção da SIM estimada na comparação entre T1 x T2 e T1 x T3 correspondente as estimativas do NDRE do ciclo de 2019 nas áreas A2 (Figura 27j e 27l) e A3 (Figura 27p e 27r). Assim, nos vinhedos em questão, verificou-se uma concentração de videiras similares entre si, no que diz respeito a média do vigor vegetativo, nas porções adjacentes dos mesmos, localizadas no sentido leste (E) e sudoeste (S) das áreas A2 e A3, respectivamente. Logo, subentendeu-se que as condições ambientais prevalentes nessas subdivisões dos vinhedos e que influenciaram a expressão do vigor vegetativo das videiras durante o estágio fenológico de cacho fechado (BBCH 79) foram similares entre si na comparação deste período com os posteriores. Por sua vez, foram observados

padrões dispersos de distribuição espacial dos resultados pertinentes aos índices SIP e SSIM ao longo dos vinhedos em comparação aos demais índices de similaridade.

**Tabela 23 - Testes de correlação e concordância para avaliação da estabilidade temporal intra-anual do NDRE e NDVI estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**

		NDRE – A1 2018			NDRE – A2 2018			NDRE – A3 2018		
$r_s$		$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$	$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$	$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$
	$T_{11}$									
	$T_{21}$	0,237**			0,229**			0,447**		
	$T_{31}$	0,382**	0,629**		0,296**	0,614**		0,273**	0,587**	
	W	0,611**			0,586**			0,624**		
		$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$	$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$	$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$
	$\bar{r}_i$	0,310	0,433	0,506	0,263	0,421	0,455	0,360	0,517	0,430
	$W_i$	0,540	0,622	0,671	0,540	0,622	0,671	0,574	0,678	0,620
		NDVI – A1 2018			NDVI – A1 2018			NDVI – A1 2018		
$r_s$		$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$	$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$	$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$
	$T_{11}$									
	$T_{21}$	0,106**			0,444**			0,584**		
	$T_{31}$	0,290**	0,637**		0,501**	0,436**		0,409**	0,536**	
	W	0,563**			0,640**			0,673**		
		$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$	$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$	$T_{11}$	$T_{21}$	$T_{31}$
	$\bar{r}_i$	0,198	0,372	0,464	0,472	0,440	0,468	0,497	0,560	0,473
	$W_i$	0,466	0,581	0,643	0,466	0,581	0,643	0,665	0,707	0,648
		NDRE – A1 2019			NDRE – A2 2019			NDRE – A3 2019		
$r_s$		$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$	$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$	$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$
	$T_{12}$									
	$T_{22}$	0,545**			0,322**			0,335**		
	$T_{32}$	0,448**	0,650**		-0,064**	0,548**		0,272**	0,632**	
	W	0,698**			0,513**			0,609**		
		$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$	$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$	$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$
	$\bar{r}_i$	0,496	0,597	0,549	0,129	0,435	0,242	0,304	0,484	0,452
	$W_i$	0,664	0,732	0,699	0,664	0,732	0,699	0,536	0,656	0,635
		NDVI – A1 2019			NDVI – A2 2019			NDVI – A3 2019		
$r_s$		$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$	$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$	$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$
	$T_{12}$				-					
	$T_{22}$	0,425**			0,282**			0,494**		
	$T_{32}$	0,400**	0,593**		0,187**	0,874**		0,439**	0,703**	
	W	0,648**			0,632**			0,697**		
		$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$	$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$	$T_{12}$	$T_{22}$	$T_{32}$
	$\bar{r}_i$	0,412	0,509	0,497	0,234	0,578	0,530	0,466	0,598	0,571
	$W_i$	0,608	0,673	0,664	0,608	0,673	0,664	0,644	0,732	0,714

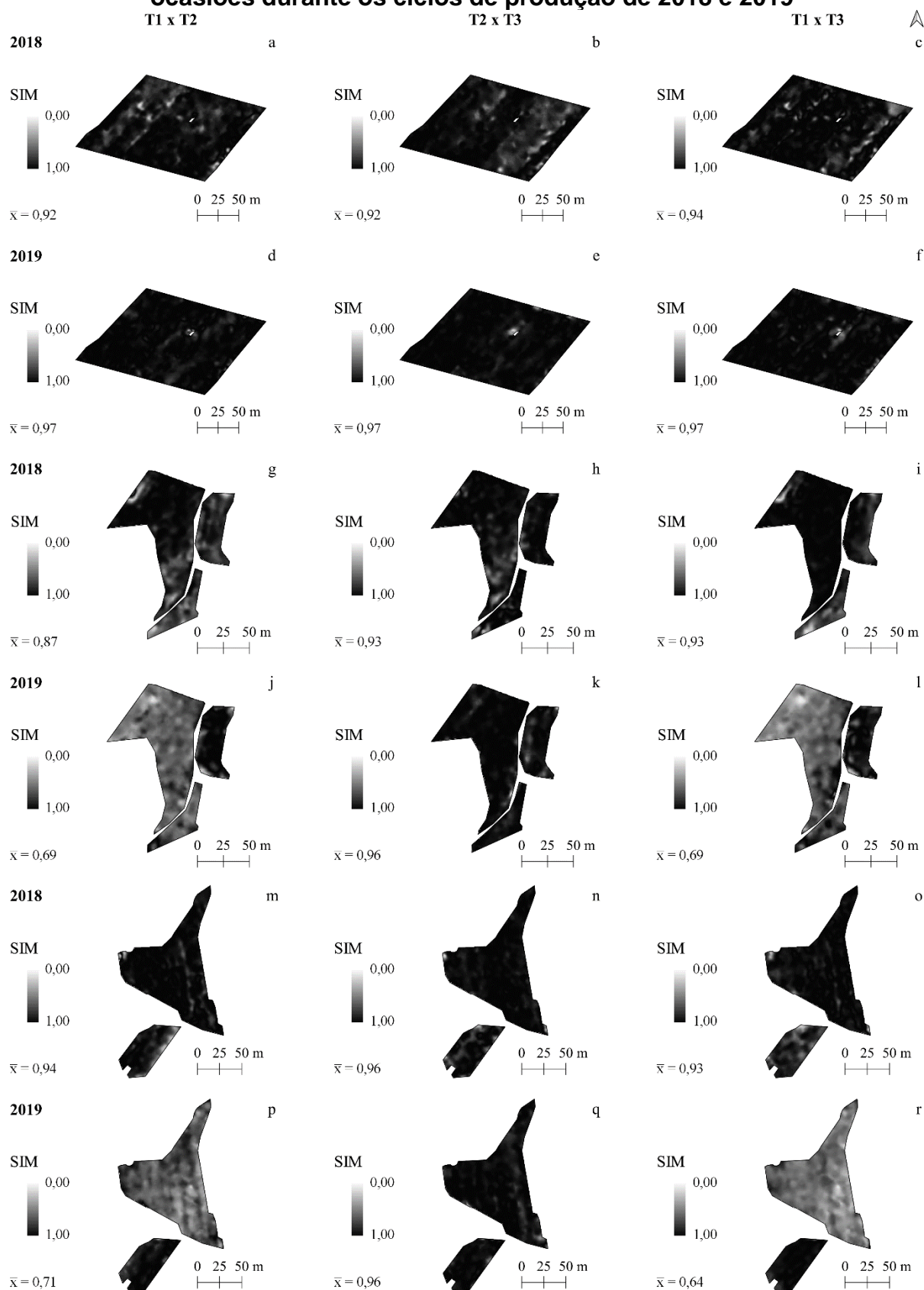
$T_{ij}$ : valor correspondente a ocasião de monitoramento ou avaliador  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) no ano  $j$  ( $j = 1, 2$ );  $r, W$ : coeficiente de correlação de Spearman e Kendall, respectivamente;  $\bar{r}_i$  média das correlações de Spearman entre o avaliador  $i$  e os demais;  $W_i$ : contribuição do avaliador  $i$  na concordância geral. \*\*, \*, #: significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,05$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente.

**Tabela 24 - Testes de correlação e concordância para avaliação da estabilidade temporal interanual do NDRE e NDVI estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**

		NDRE – A1			NDRE – A2			NDRE – A3		
r	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	
T <sub>12</sub>	0,250**			0,270**			0,425**			
T <sub>22</sub>		0,436**			0,252**			0,586**		
T <sub>32</sub>			0,501**			0,599**			0,461**	
W	0,503**			0,397**			0,484**			
	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	
$\bar{r}_i$	0,238	0,403	0,492	0,233	0,332	0,331	0,384	0,475	0,298	
W <sub>i</sub>	0,365	0,503	0,576	0,360	0,444	0,443	0,486	0,563	0,415	
	T <sub>12</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>32</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>32</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>32</sub>	
$\bar{r}_i$	0,413	0,454	0,423	0,049	0,313	0,401	0,214	0,470	0,446	
W <sub>i</sub>	0,511	0,545	0,519	0,208	0,428	0,501	0,345	0,558	0,538	
		NDVI – A1			NDVI – A2			NDVI – A3		
r	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	
T <sub>12</sub>	0,198**			0,191**			0,270**			
T <sub>22</sub>		0,267**			0,313**			0,414**		
T <sub>32</sub>			0,423**			0,499**			0,307**	
W	0,435**			0,461**			0,510**			
	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>31</sub>	
$\bar{r}_i$	0,207	0,278	0,403	0,349	0,345	0,375	0,440	0,461	0,313	
W <sub>i</sub>	0,339	0,398	0,503	0,457	0,454	0,479	0,534	0,551	0,427	
	T <sub>12</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>32</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>32</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>32</sub>	
$\bar{r}_i$	0,299	0,368	0,374	0,170	0,431	0,452	0,338	0,461	0,457	
W <sub>i</sub>	0,416	0,474	0,479	0,309	0,526	0,543	0,448	0,551	0,547	

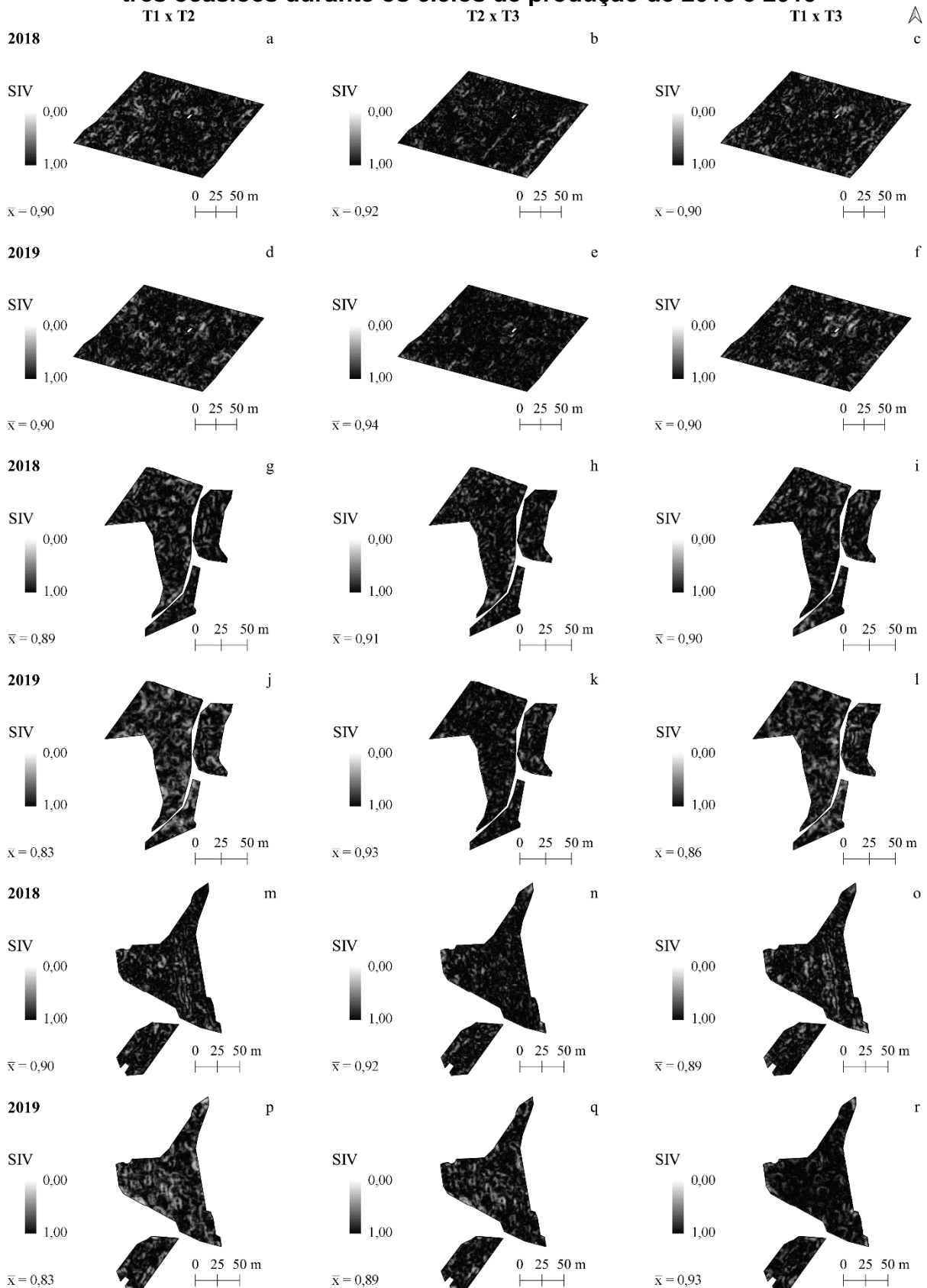
T<sub>ij</sub>: valor correspondente a ocasião de monitoramento ou avaliador i (i = 1, 2, 3) no ano j (j = 1, 2); r, W: coeficiente de correlação de Spearman e Kendall, respectivamente;  $\bar{r}_i$  média das correlações de Spearman entre o avaliador i e os demais; W<sub>i</sub>: contribuição do avaliador i na concordância geral. \*\*, \*, #: significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,05$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente.

**Figura 27 - Distribuição espacial do índice de similaridade na média (SIM) entre predições do vigor vegetativo, inferido conforme o NDRE estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



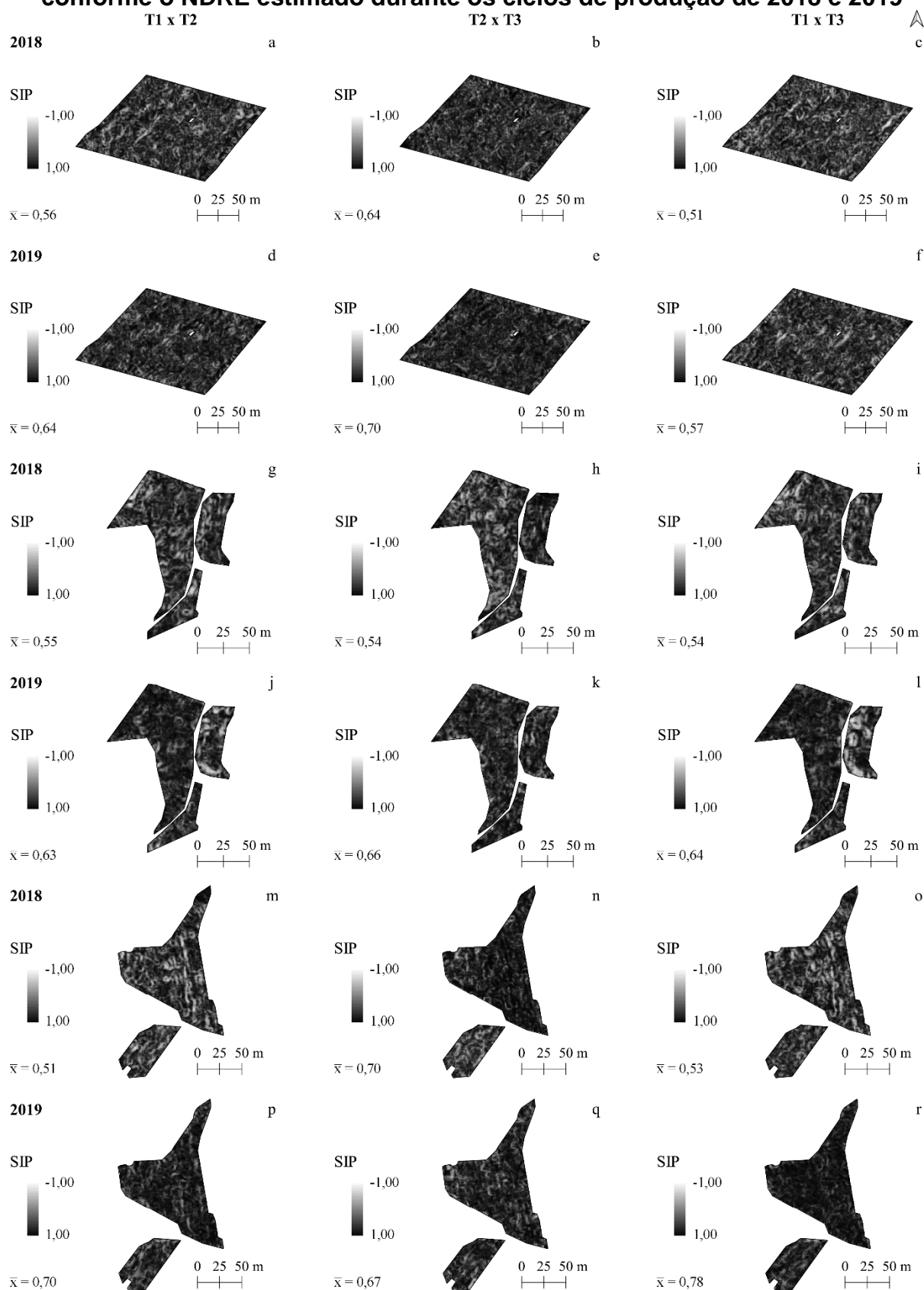
$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cachos fechados; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

**Figura 28 - Distribuição espacial do índice de similaridade na variância (SIV) entre predições do vigor vegetativo, inferido conforme o NDRE estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

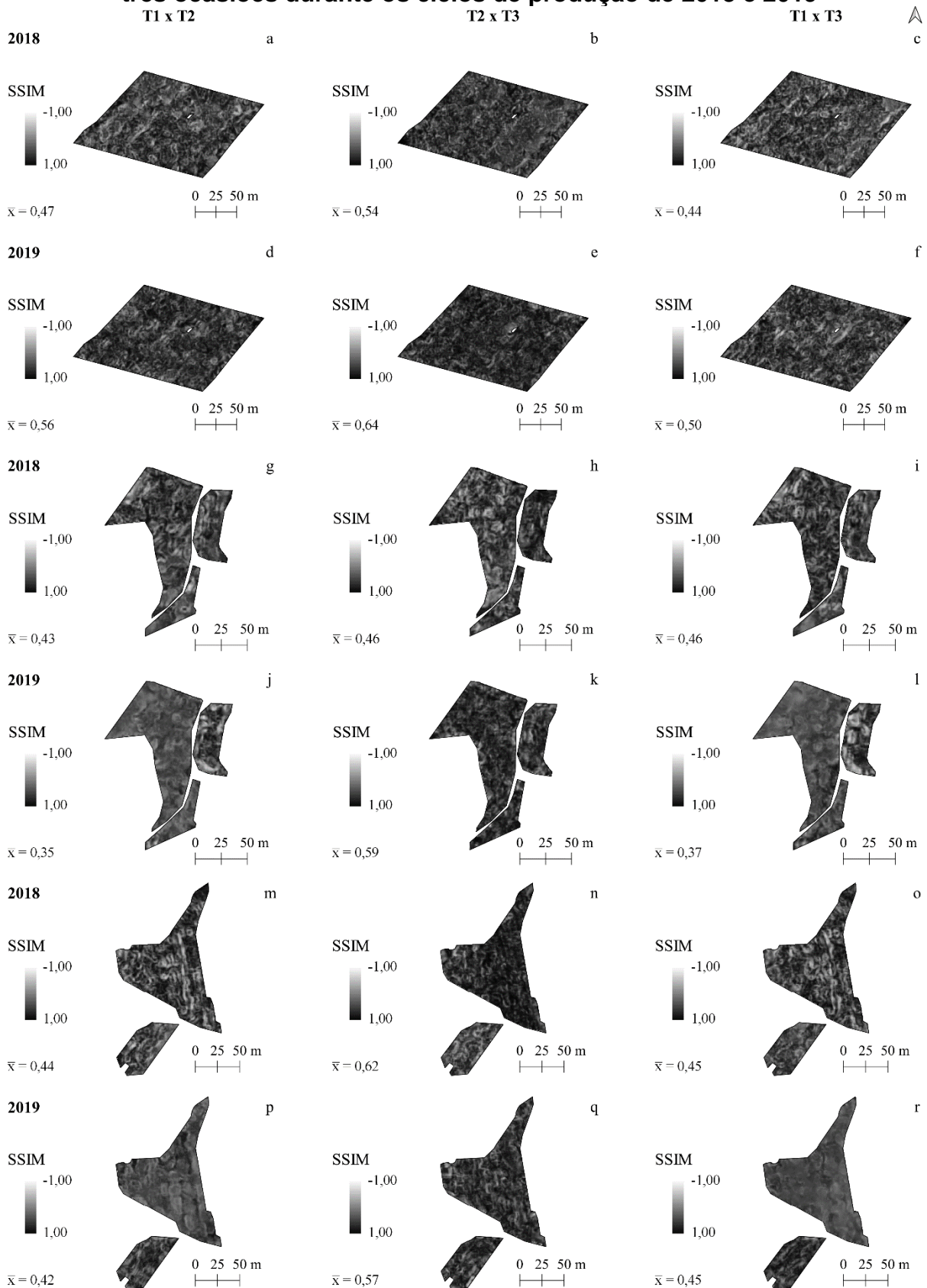
**Figura 29 - Distribuição espacial do índice de similaridade no padrão da covariância espacial (SIP) entre predições do vigor vegetativo, inferido conforme o NDRE estimado durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cachos fechados; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas



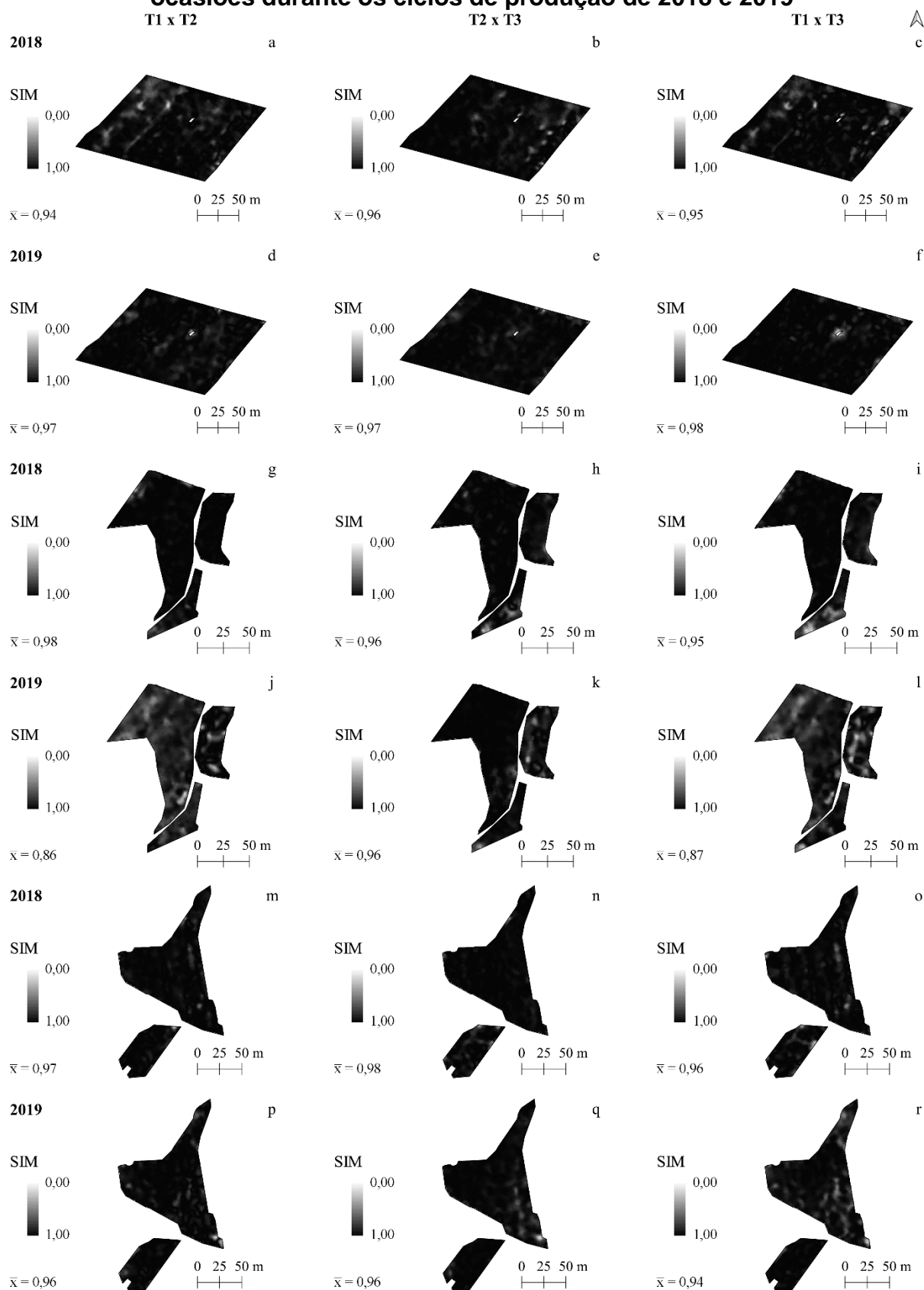
**Figura 30 - Distribuição espacial do índice de similaridade estrutural (SSIM) entre predições do vigor vegetativo, inferido conforme o NDRE estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

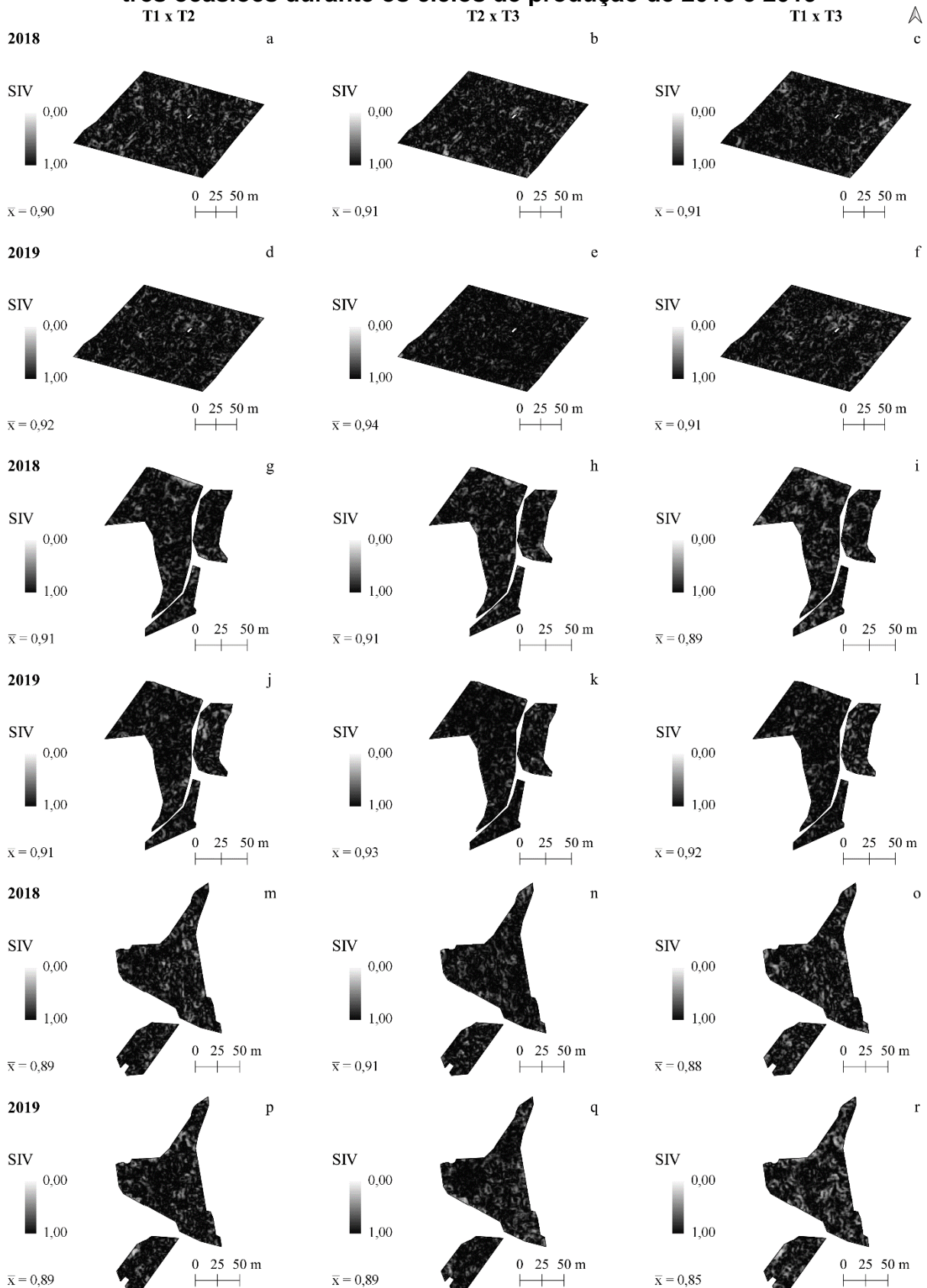


**Figura 31 - Distribuição espacial do índice de similaridade na média (SIM) entre predições do vigor vegetativo identificado conforme o NDVI estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



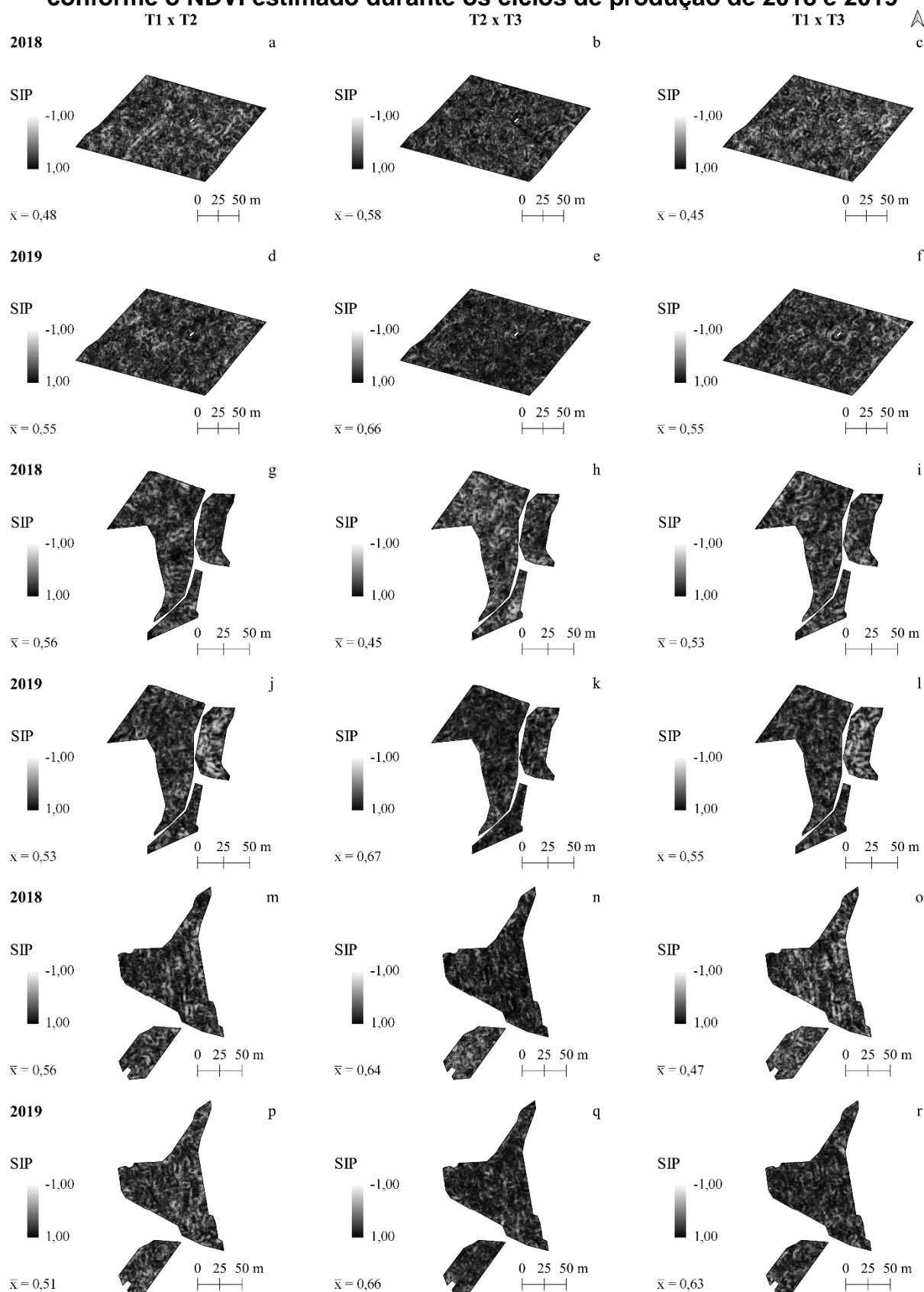
$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

**Figura 32 - Distribuição espacial do índice de similaridade na variância (SIV) entre predições do vigor vegetativo, inferido conforme o NDVI estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



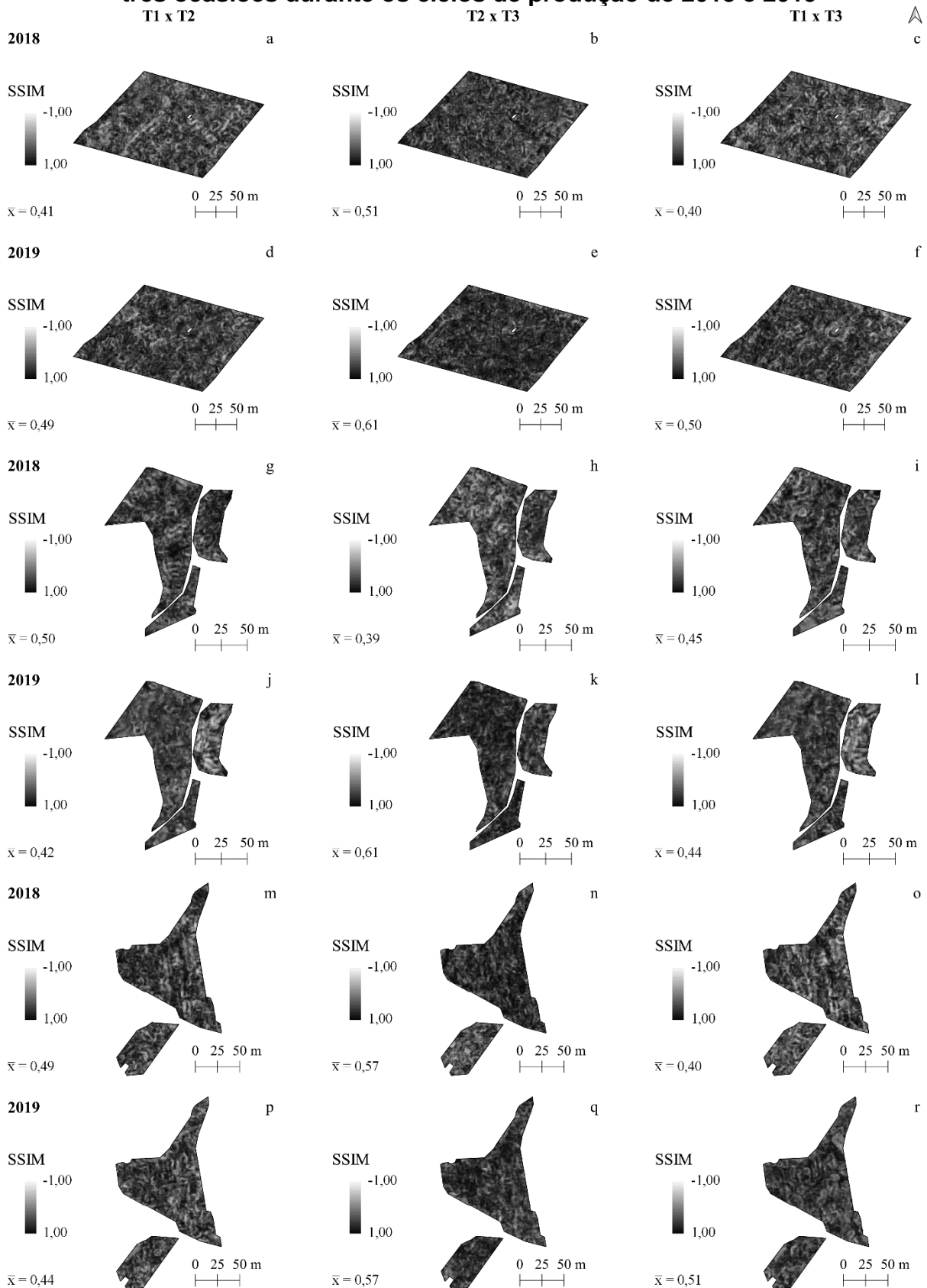
$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

**Figura 33 - Distribuição espacial do índice de similaridade no padrão da covariância espacial (SIP) entre predições do vigor vegetativo identificado conforme o NDVI estimado durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

**Figura 34 - Distribuição espacial do índice de similaridade estrutural (SSIM) entre predições do vigor vegetativo identificado conforme o NDVI estimado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



$\bar{x}$ : média; T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

#### 4.7 Delimitação de zonas homogêneas do vigor vegetativo

Nas Figuras 35 a 38 estão representados os mapas temáticos constituídos dos valores interpolados categorizados em três e dois níveis, correspondentes as zonas homogêneas (ZH) do NDRE e NDVI.

Observou-se que a disposição espacial do vigor vegetativo foi variável conforme a cultivar e a área experimental avaliada. Entretanto, em uma mesma unidade produtiva, a orientação dessas categorias foi relativamente constante ao longo do período compreendido entre as épocas de monitoramento da  $\rho$  do dossel das videiras em ambos os ciclos de produção.

Conforme a distribuição das ZH dos IV, assumindo-se apenas a delimitação em duas classes, observou-se que, na área experimental A1, no estágio de cacho fechado (BBCH 79) correspondente ao ciclo de 2018, as videiras cv. Cabernet Franc que apresentaram vigor vegetativo reduzido (C1) localizaram-se predominantemente nas porções E, NW e W do vinhedo em questão (Figuras 37a e 38a). Por sua vez, no mesmo período do ciclo mencionado, as plantas de vigor elevado se concentraram nos sentidos W, SW, e E, conforme a classificação referente ao NDRE (Figura 37a), e nos sentidos W, E, SE e SW, segundo a categorização definida pelo NDVI (Figura 38a). No ciclo de 2019, a predominância de videiras da classe C1 também se deu nos sentidos E e SE, em menor escala, conforme o NDRE (Figura 37d) e nos sentidos E, NE e N, de acordo com o NDVI (Figura 38d). Por sua vez, as videiras da classe C2 foram prevalentes das porções W e E do vinhedo em questão nessa ocasião do monitoramento do vigor vegetativo segundo os dois IV adotados.

Ainda na área experimental A1, na fase fenológica BBCH 81 identificada nos dois ciclos produtivos, ambos os IV indicaram que as videiras cv. Cabernet Franc de menor vigor concentraram-se predominantemente no sentido E e SE do vinhedo (Figuras 37b, 37e, 38b, 38e). Por sua vez, as videiras de maior vigor concentraram-se na direção inversa (W), bem como em parte das porções E, NW, SW e NE no ciclo de 2018 (Figura 37b), uma vez que se distribuíram de maneira mais homogêneas nessa ocasião. Após o início da maturação de bagas, na avaliação realizada durante o estágio BBCH 85, as categorias de vigor vegetativo delimitadas conforme o NDRE e NDVI apresentaram uma distribuição semelhante à descrita anteriormente (Figuras 37c, 37f, 38c, 38f).



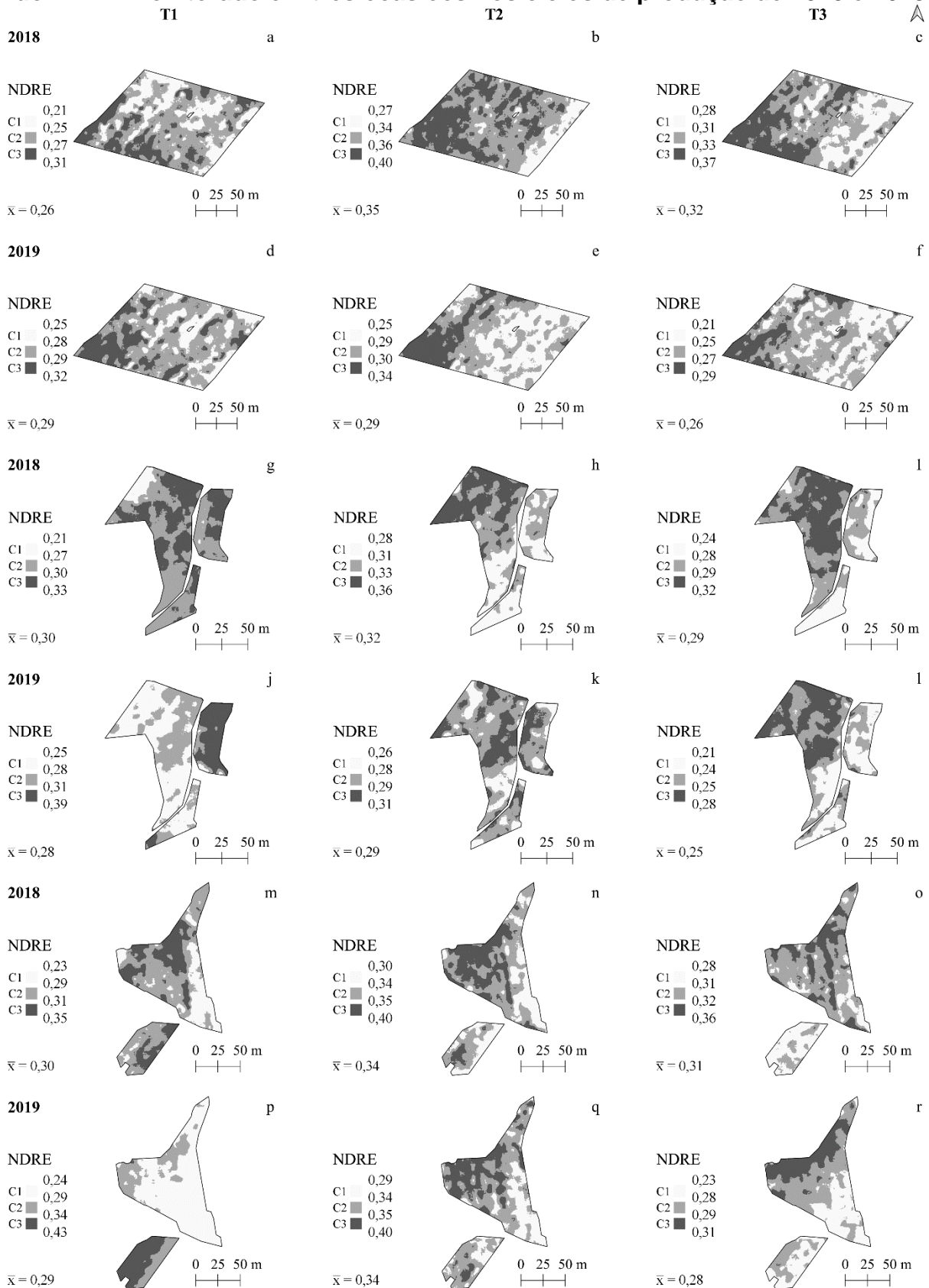
Na área experimental A2, foi observada uma divergência na distribuição das classes de vigor vegetativo delimitadas conforme o NDRE estimado no estágio fenológico BBCH 79 na comparação entre ciclos produtivos. Isso ocorreu uma vez que as videiras cv. Cabernet Franc classificadas como menos vigorosas no ciclo de 2018, concentraram-se em uma pequena porção do vinhedo, localizada no sentido NW (Figura 37g), enquanto no ano seguinte, as mesmas distribuíram-se espacialmente de maneira homogênea (Figura 37j). Ainda no ciclo de 2018, as videiras de maior vigor predominaram de maneira uniforme por toda a extensão da área, enquanto no ciclo seguinte, as mesmas convergiram para uma das seções adjacentes do vinhedo, localizada no sentido E e SE da área (Figura 37j). Contudo, apesar da dispersão das ZH, os padrões de vigor vegetativo indicado pelo NDVI em 2018 revelaram que a distribuição de videiras menos vigorosas ocorreu principalmente nos sentidos SE, NW e E do vinhedo, enquanto as menos vigorosas foram orientadas na mesma direção S, além de se concentrarem na porção W da área (Figuras 38g). No ano seguinte, ainda no estágio BBCH 79, o NDVI delimitou a disposição das videiras de menor vigor no sentido prevalente S, bem como W e NW, enquanto aquelas de maior vigor predominaram nas direções SE, E e S da área experimental A2 (Figura 38j).

No monitoramento realizado no estágio seguinte (BBCH 81), os padrões de distribuição das classes de vigor vegetativo delimitados pelos dois IV apresentaram-se constante quanto a disposição de plantas de baixo vigor, que predominaram no sentido S, SE e E do vinhedo A2 nos dois ciclos produtivos (Figuras 37h, 37k, 38h, 38k). As videiras mais vigorosas prevaleceram igualmente no sentido S da área, porém também se distribuíram nas direções W e NW, segundo o NDVI e, em parte, no sentido SE, conforme o NDRE estimado no ciclo de produção de 2019. Por fim, na última ocasião de monitoramento, os IV indicaram que as videiras mais vigorosas se estabeleceram na maior seção do vinhedo, nas direções S, W, e NW, ao passo que aquelas menos vigorosas predominaram nas porções adjacente localizadas no sentido S e SE e E, pois mantiveram um padrão de dispersão semelhante ao observado no estágio de início de maturação de bagas (Figuras 37i, 37l, 38i, 38l).

A mesma divergência no que diz respeito a distribuição das classes de vigor vegetativo estipulado conforme o NDRE foi observada na categorização dos valores interpolados na primeira ocasião de monitoramento desse mesmo índice na área experimental A3 em 2019 (Figura 37n). Dessa forma, no ciclo de 2018, este IV demonstrou que as videiras cv. Cabernet Sauvignon de menor vigor foram dispostas

principalmente no sentido SE e, no ciclo seguinte, predominaram em toda a maior secção do vinhedo. Por sua vez, as videiras de maior vigor concentraram-se nas porções N, S e SW no primeiro ciclo de produção e, nos sentidos S e SW no ciclo seguinte. Padrões espaciais dispostos de forma mais semelhantes entre si foram delimitados pelas estimativas do NDVI, cuja distribuição de videiras menos vigorosas predominou nos sentidos S e SE, e aquelas de maior vigor se aglomeraram nas porções N e NW do vinhedo (Figuras 38m e 38n). Nos demais estádios fenológicos monitorados, os IV também delimitaram padrões de distribuição das classes de vigor similares entre si, com plantas menos vigorosas convergindo para os sentidos S, SE e SW em contrapartida àquelas mais vigorosas, que se centralizaram, principalmente, nas direções N e NW do vinhedo A3.

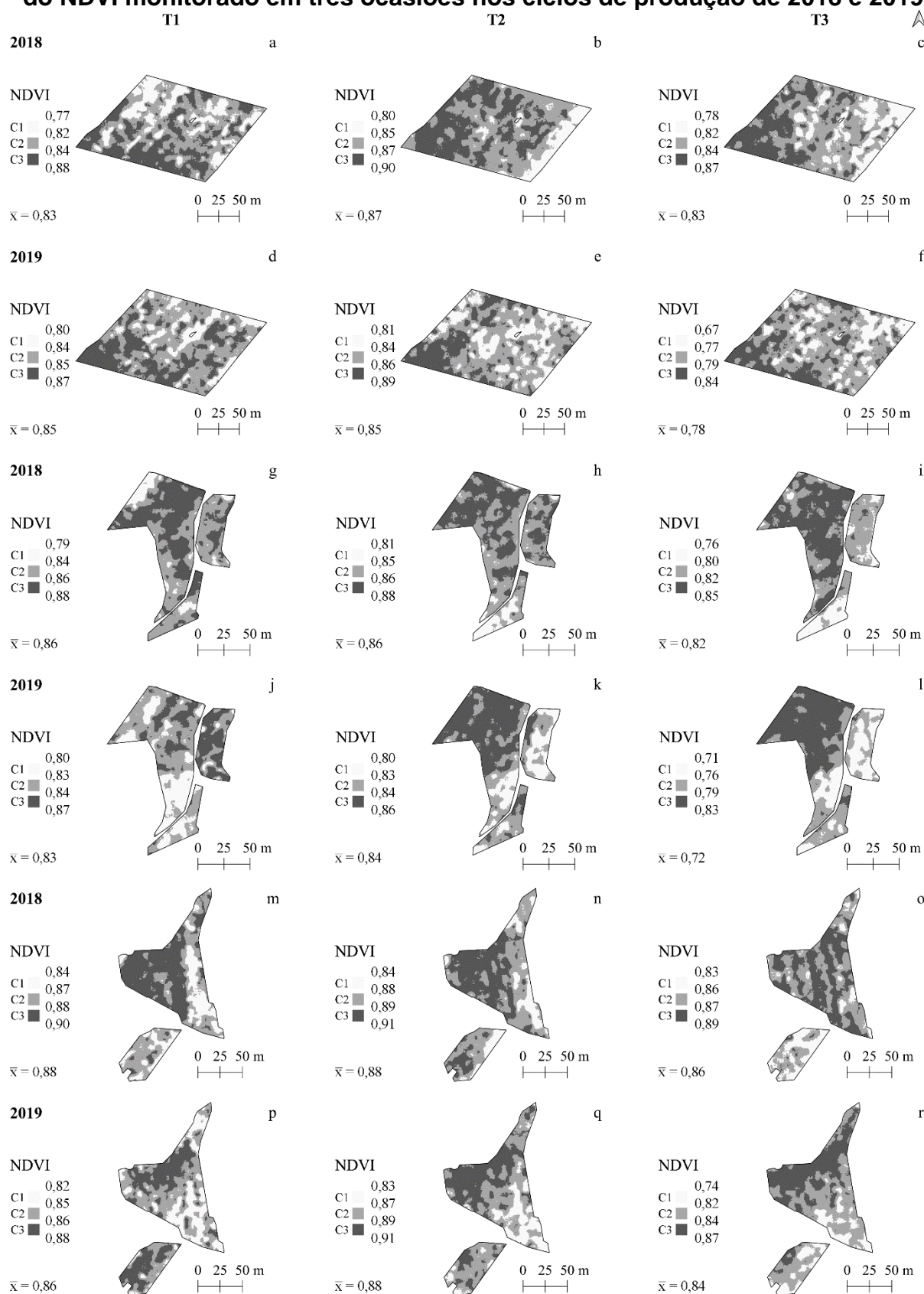
**Figura 35 - Zonas homogêneas do vigor vegetativo agrupadas em três categorias (C1 baixo, C2 médio e C3 alto) e delimitadas conforme estimativas do NDRE monitorado em três ocasiões nos ciclos de produção de 2018 e 2019**



T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

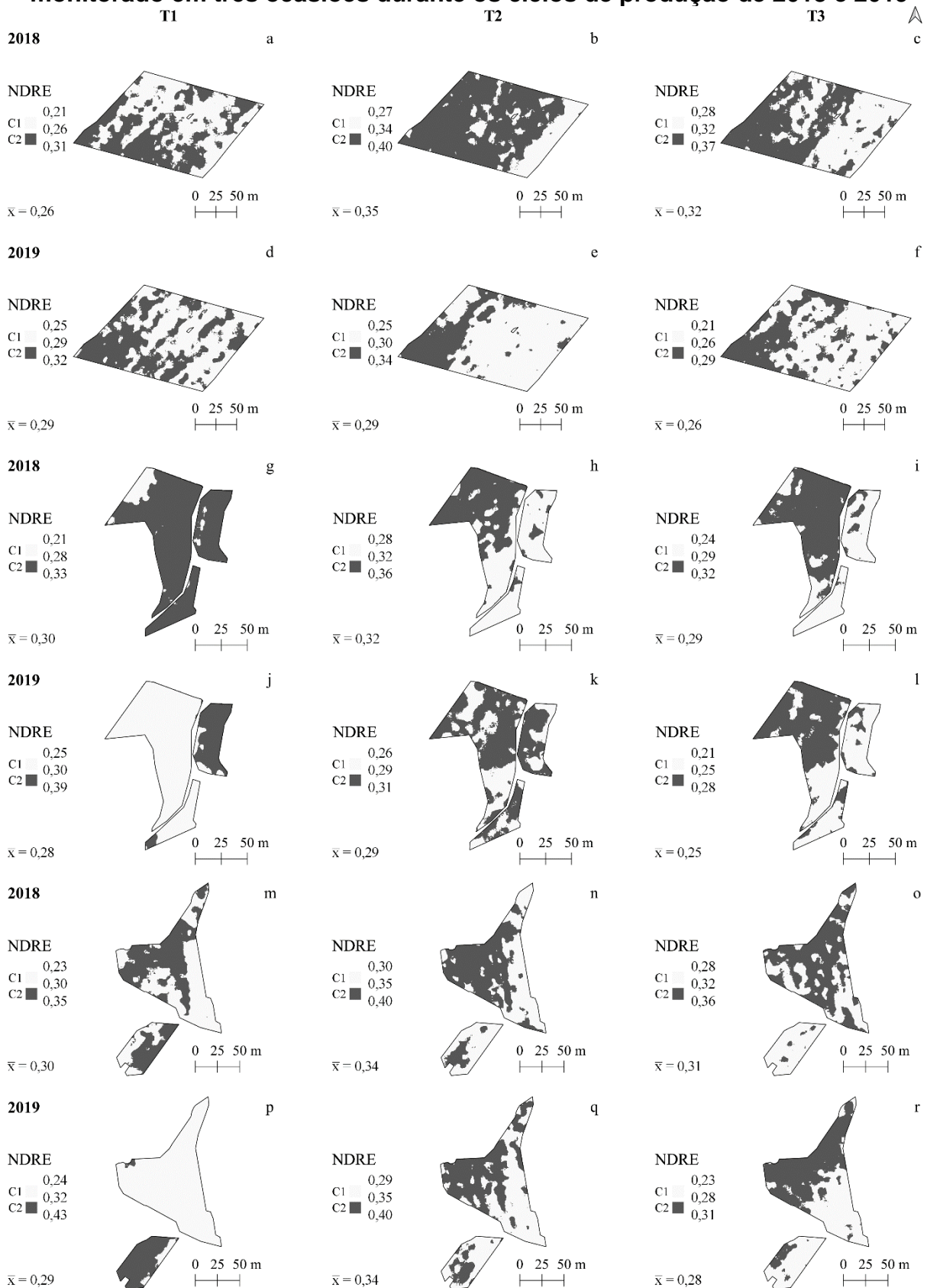


**Figura 36 - Zonas homogêneas do vigor vegetativo agrupadas em três categorias (C1 baixo, C2 médio e C3 alto) e delimitadas conforme estimativas do NDVI monitorado em três ocasiões nos ciclos de produção de 2018 e 2019**



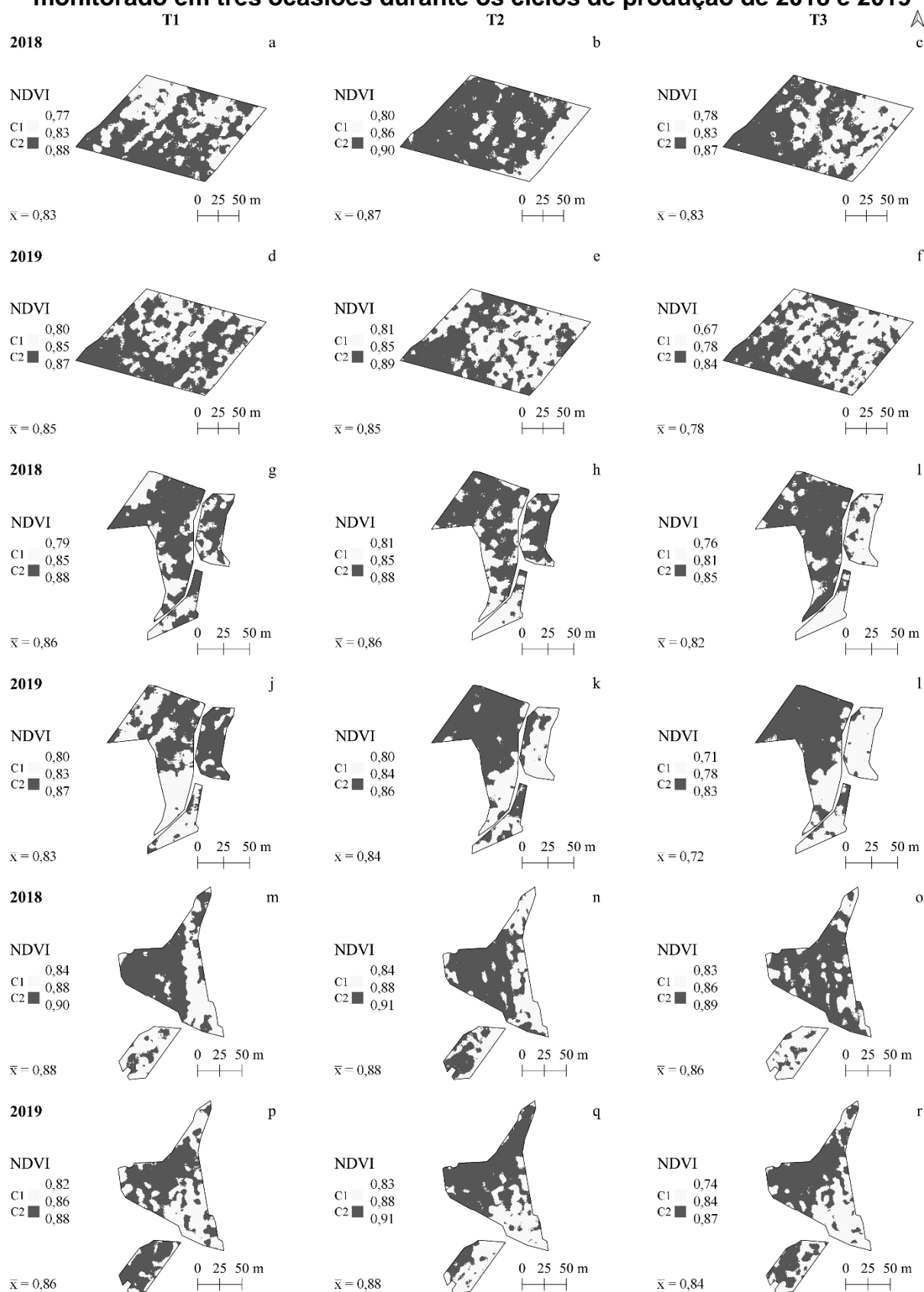
T1: BBCH 79: cachos fechados; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

**Figura 37 - Zonas homogêneas do vigor vegetativo agrupadas em duas categorias (C1 baixo e C2 alto) e delimitadas conforme estimativas do NDRE monitorado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

**Figura 38 - Zonas homogêneas do vigor vegetativo agrupadas em duas categorias (C1 baixo e C2 alto) e delimitadas conforme estimativas do NDVI monitorado em três ocasiões durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



T1: BBCH 79: cacho fechado; T2: BBCH 81, *veraison*; T3: BBCH 85: amolecimento de bagas

#### 4.7.1 Concordância interavaliadores adotados para delimitação de zonas homogêneas do vigor vegetativo

Na Figura 39 são apresentados os gráficos de concordância representativos da comparação entre a disposição das categorias de vigor vegetativo C1 e C2, definidas segundo os índices NDRE e NDVI, estimados em cada ocasião de monitoramento da  $\rho$  do dossel das videiras. Os resultados correspondentes ao coeficiente K e ao índice B estão também são apresentados na Figura 39.

Na comparação entre mapas categóricos do NDRE e NDVI pertinentes a área A1, a concordância entre as zonas homogêneas (ZH) coincidentes, expressa conforme o coeficiente K, foi classificada como “moderada” e “fraca” em todas as ocasiões de monitoramento associadas aos ciclos de produção de 2018 e 2019, respectivamente. Nos dois anos avaliados, a menor concordância entre categorias de vigor vegetativo foi registrada na comparação entre IV estimados na ocasião de monitoramento T1, durante o estágio fenológico de cacho fechado (Figuras 39a, 39d).

Por sua vez, a maior conformidade entre as categorias dos IV no primeiro ano de avaliação foi obtida na ocasião de monitoramento T2, durante o estágio fenológico de início de maturação de bagas (BBCH 81) (Figura 39b). Além disso, um viés reduzido foi associado a homogeneidade entre as categorias delimitadas pelo NDRE e NDVI nessa mesma ocasião, uma vez que os vértices dos quadriláteros externos se posicionaram ao longo da linha diagonal que atravessou o gráfico de concordância. No segundo ano de avaliação, a maior concordância entre categorias de vigor vegetativo foi identificada na ocasião de monitoramento T3, compreendida durante o estágio fenológico de amolecimento de bagas (BBCH 85) (Figura 39d). Nesse mesmo ciclo, apesar do posicionamento dos quadriláteros externos dos gráficos de concordância ter sido disposto abaixo da sua linha diagonal, um menor viés entre avaliadores (IV) foi registrado na ocasião T1 (Figura 39d), uma vez que a proporção do desacordo na classificação de classes do vigor foi mais semelhante entre si na comparação entre os IV. Portanto, observou-se que o NDRE e NDVI estimado em fases distintas do ciclo produtivo apresentaram uma variabilidade interanual no que diz respeito a melhor correspondência quanto a identificação de diferentes classes de vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc cultivadas no vinhedo em questão.

Na área A2, a concordância entre categorias de vigor vegetativo delimitadas pelos IV adotados apresentou classificação variável em um mesmo ciclo de produção.

Contudo, conforme os resultados do coeficiente K e do índice B, a maior conformidade entre as classes de NDRE e NDVI foi relacionada a última ocasião de monitoramento do vigor vegetativo em ambos os ciclos e foi classificada como “moderada” (Figuras 39i, 39j). Logo, não foi identificada uma variabilidade interanual quanto à época onde ocorreu a maior conformidade da categorização realizada pelos IV estimados. Assim, as videiras cv. Cabernet Franc cultivadas na área A2 demonstraram padrões razoavelmente semelhantes entre si no que diz respeito a distribuição do vigor vegetativo estipulado pelo NDRE e NDVI durante o estágio fenológico de cachos em fase de amolecimento de bagas (BBCH 85). Por sua vez, assumindo-se os resultados do coeficiente K, a menor concordância entre categorias de vigor delimitadas por cada IV se deu no primeiro monitoramento da  $p$  do dossel das videiras realizado em ambos os anos (Figuras 39g, 39j). Entretanto, destaca-se que o valor elevado do índice B em relação àquele equivalente ao coeficiente K associado a comparação feita em T1 no ano de 2018 se deu em função da maior proporção do número de observações concordantes em comparação com o somatório dos seus totais marginais. De maneira equivalente aos resultados mencionados anteriormente, um menor viés entre avaliadores foi identificado na comparação entre categorias realizadas na ocasião de monitoramento T3 (Figura 39i) no ciclo produtivo de 2018. Esse viés foi inferior na comparação entre classes dos IV definidas na ocasião T2 no ano de 2019 (Figura 39k), em razão de diferenças proporcionais quanto aos totais marginais de observações de cada classe de vigor vegetativo reveladas pela disposição dos componentes discordantes no gráfico.

A classificação da concordância entre as categorias delimitadas pelo NDRE e NDVI na área A3 seguiu um padrão semelhante ao descrito para a área A2, uma vez que os valores do coeficiente K atribuído às comparações realizada em diferentes ocasiões de monitoramento e ciclos de produção foram variáveis. Contudo, de modo semelhante ao identificado na área A1, a disposição das videiras de alto e baixo vigor vegetativo, categorizadas segundo ambos os IV na área A3, apresentou uma maior coincidência nas ocasiões de monitoramento T2 (Figura 39n) e T3 (Figura 39r) realizadas nos ciclos de produção de 2018 e 2019, respectivamente. Dessa forma, as videiras cv. Cabernet Sauvignon implantadas no vinhedo em questão demonstraram uma variabilidade interanual no que diz respeito a sobreposição espacial das categorias de vigor vegetativo inferido pelo NDRE e NDVI e, conforme o coeficiente K, essa concordância foi classificada como “moderada” em ambos os casos. Apesar

dos resultados do índice B, o menor viés entre avaliadores foi identificado na comparação entre categorias delimitadas na ocasião T1 e T3 (Figura 39m e 39r), nos ciclos de 2018 e 2019, nesta ordem.

Os resultados obtidos demonstraram que os padrões categorizados da variabilidade espacial do vigor vegetativo, avaliado em fases avançadas do ciclo de produção das cultivares de videira, podem divergir entre si em razão do índice de vegetação adotado para a sua caracterização, mesmo utilizando-se um mesmo método de classificação de dados interpolados. As implicações quanto a concordância na delimitação de ZH dessa variável a partir das estimativas de diferentes IV adotados podem estar associadas as bandas do espectro de  $\rho$  consideradas no seu cálculo e a sua sensibilidade para detecção de variações na biomassa foliar do dossel das videiras.

Nas Figuras 40 a 42 são apresentadas as componentes e a sua proporção na estimativa da discordância global no que se referiu a comparação entre as categorizações do vigor vegetativo inferido por ambos os IV. Apesar dos resultados da concordância global terem sido proporcionais àqueles determinados pelo coeficiente K e ao índice B, valores acima de 70% foram obtidos na maioria dos casos, evidenciando uma conformidade moderada entre o NDRE e NDVI na delimitação de classes de vigor vegetativo em diferentes estádios fenológico da cultura. Isso revela, novamente, a discrepância no que diz respeito a sensibilidade de cada IV adotado para a caracterização do vigor vegetativo das videiras nas condições de estudo. Além disso, destaca-se que em todas as áreas experimentais e na maioria das avaliações houve uma predominância de regionalizações ocupadas por plantas de maior vigor vegetativo (C2), uma vez que as cultivares avaliadas são particularmente vigorosas.

Em todas as ocasiões de monitoramento efetuadas durante o ciclo de 2018 na área experimental A1, a maior proporção da concordância global foi associada a identificação coincidente de videiras de maior vigor (C2) por ambos os IV (Figuras 40a, 40b e 40c). No ciclo de 2019, o mesmo foi observado apenas na comparação realizada a partir da classificação do vigor vegetativo referente a ocasião de monitoramento T1 (Figura 40d), uma vez que nas demais avaliações o NDRE e NDVI foram capazes de identificar de maneira semelhante e em maior proporção, as videiras de menor vigor (C1). De forma análoga ao observado na área A1, o predomínio da concordância global no que diz respeito a distinção de videiras de maior vigor vegetativo durante o ciclo de 2018 também foi verificado na categorização dos valores interpolados dos IV

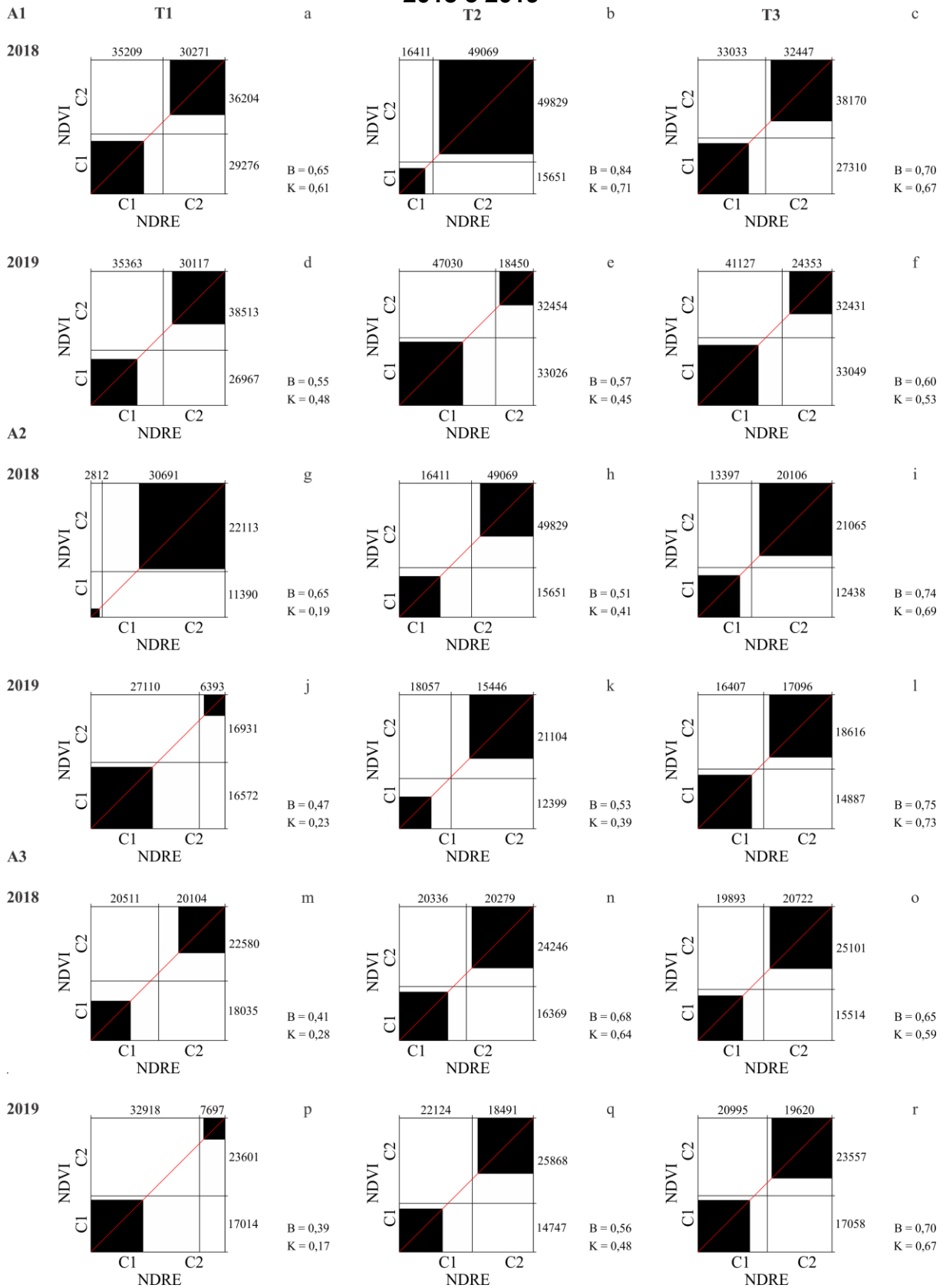
correspondentes às áreas A2 e A3. Entretanto, em 2019, a correspondência entre plantas de maior vigor implantadas nos vinhedos mencionados foi equivalente a maior proporção constituinte da concordância global no que diz respeito as comparações realizadas a partir da categorização feita nas ocasiões de monitoramento T2 e T3. Desta forma, foi possível presumir que no primeiro ciclo de produção avaliado em todos os vinhedos, a caracterização do vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc e Cabernet Sauvignon conforme o NDRE e NDVI proporcionou a delimitação de ZH dessa variável com maior semelhança entre si.

Na categorização do vigor vegetativo segundo cada IV, a contribuição da componente de discordância quanto à alocação foi maior em comparação àquela representada pela componente de quantidade em todas as ocasiões de monitoramento no ciclo produtivo de 2018 na área A1 (Figuras 41a, 41b, 41c). No ciclo seguinte, esse padrão foi identificado apenas nas ocasiões de monitoramento T2 e T3. A contribuição de cada componente da discordância global apresentou-se de maneira variada na categorização do vigor vegetativo realizada na área A2 em ambos os ciclos de produção, uma vez que houve a predominância da divergência na alocação apenas nos dois primeiros momentos de avaliação da  $\rho$  do dossel no ano de 2018 (Figuras 41g e 41f) e apenas na ocasião T1 do ciclo de 2019 (Figura 41j).

Nas demais comparações entre categorias dos IV, a discordância global foi associada com maior intensidade as alterações na quantidade de pixels do domínio, dada a redução das regiões ocupadas por plantas de baixo vigor em detrimento àquelas de alto vigor. No entanto, a contribuição da discordância na quantidade foi predominante em quase todas as comparações entre categorizações relacionadas a área A3 nos dois ciclos de produção, enquanto a componente de alocação contribuiu de maneira mais proeminente apenas na avaliação associada a época de monitoramento T1 (Figura 41p), realizada durante o estágio de cacho fechado (BBCH 79).



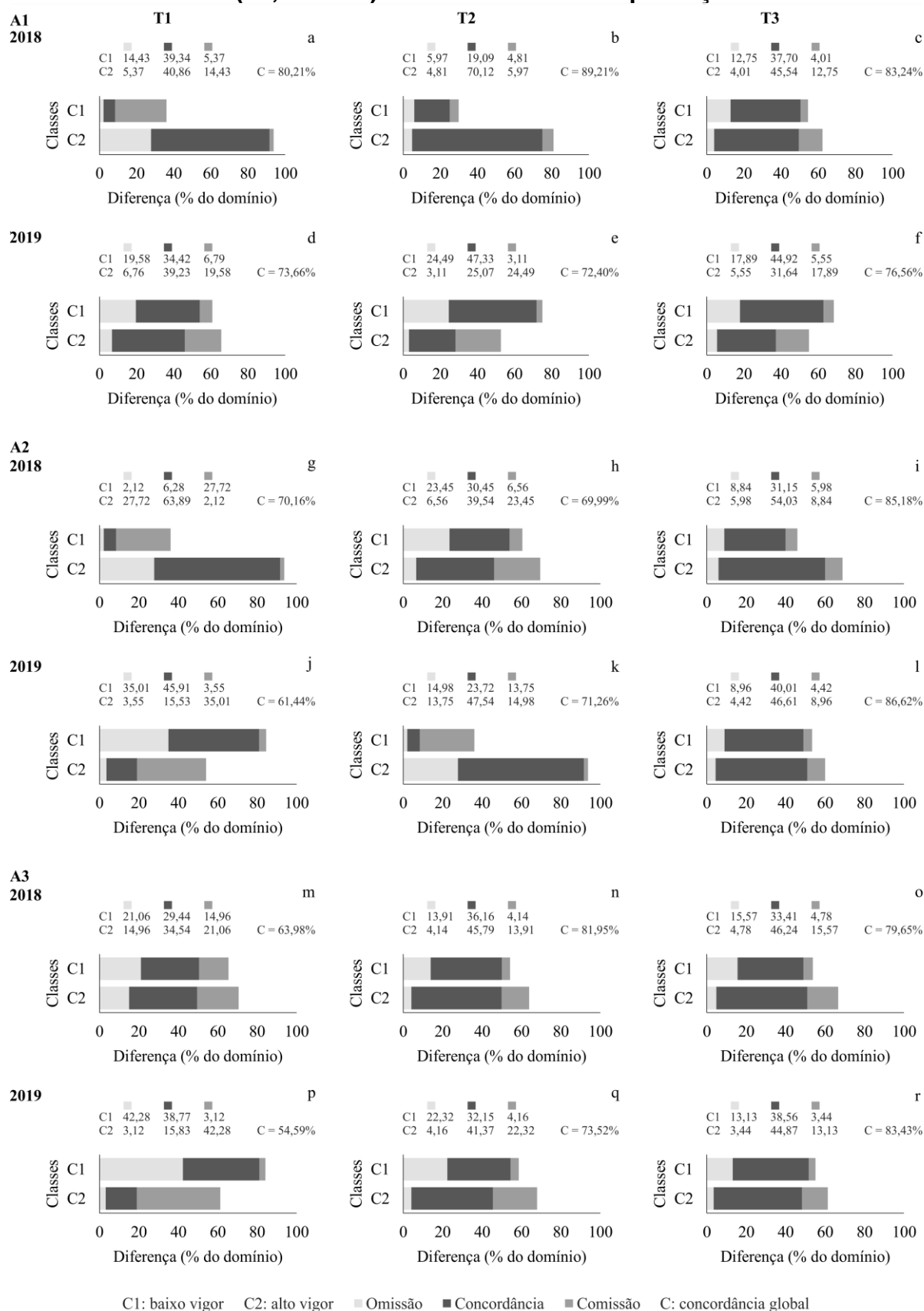
**Figura 39 - Concordância entre categorias do vigor vegetativo agrupadas em duas categorias e delimitadas conforme estimativas do NDRE e NDVI monitorado em três ocasiões (T1, T2 e T3) durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



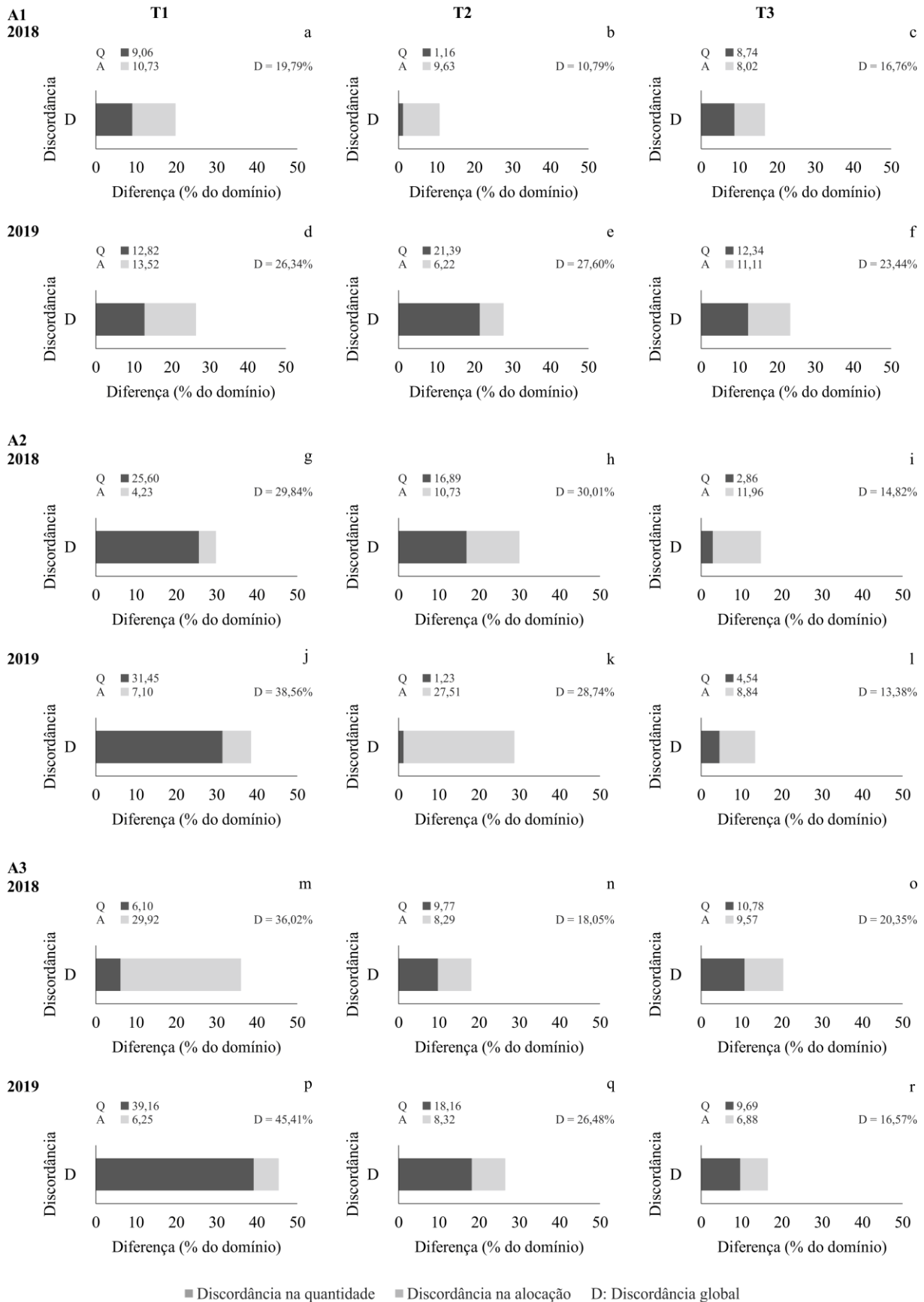
C1: baixo vigor      C2: alto vigor      B: índice de Bangdiwala      K: coeficiente kappa



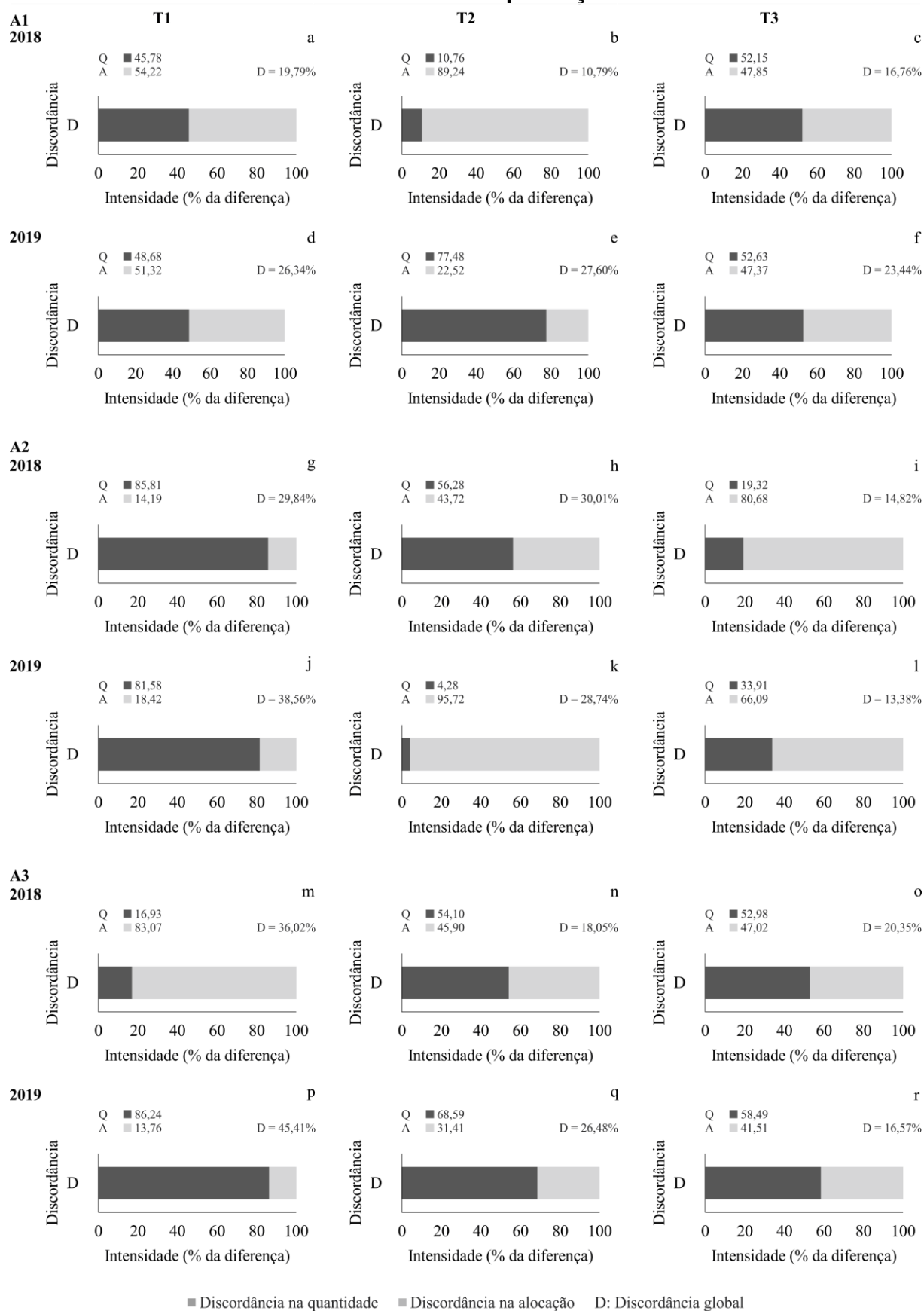
**Figura 40 - Concordância global entre categorias do vigor vegetativo inferido conforme a classificação dos valores interpolados do NDRE e NDVI estimados em três ocasiões (T1, T2 e T3) durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



**Figura 41 - Discordância global entre categorias do vigor vegetativo inferido conforme a classificação dos valores interpolados do NDRE e NDVI estimados em três ocasiões (T1, T2 e T3) durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



**Figura 42 - Proporções da discordância entre categorias do vigor vegetativo inferido conforme a classificação dos valores interpolados do NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



#### 4.8 Delimitação de zonas de manejo fundamentadas no vigor vegetativo

Na Figura 43 são apresentados os mapas temáticos resultantes do cálculo da média dos valores interpolados padronizados dos IV estimados nas três ocasiões de monitoramento do vigor vegetativo realizado durante cada um dos ciclos avaliados e em ambos os ciclos conjuntamente. Além disso, as zonas de manejo (ZM) delimitadas com base na variabilidade do vigor vegetativo classificado em duas categorias são apresentadas nas Figuras 44.

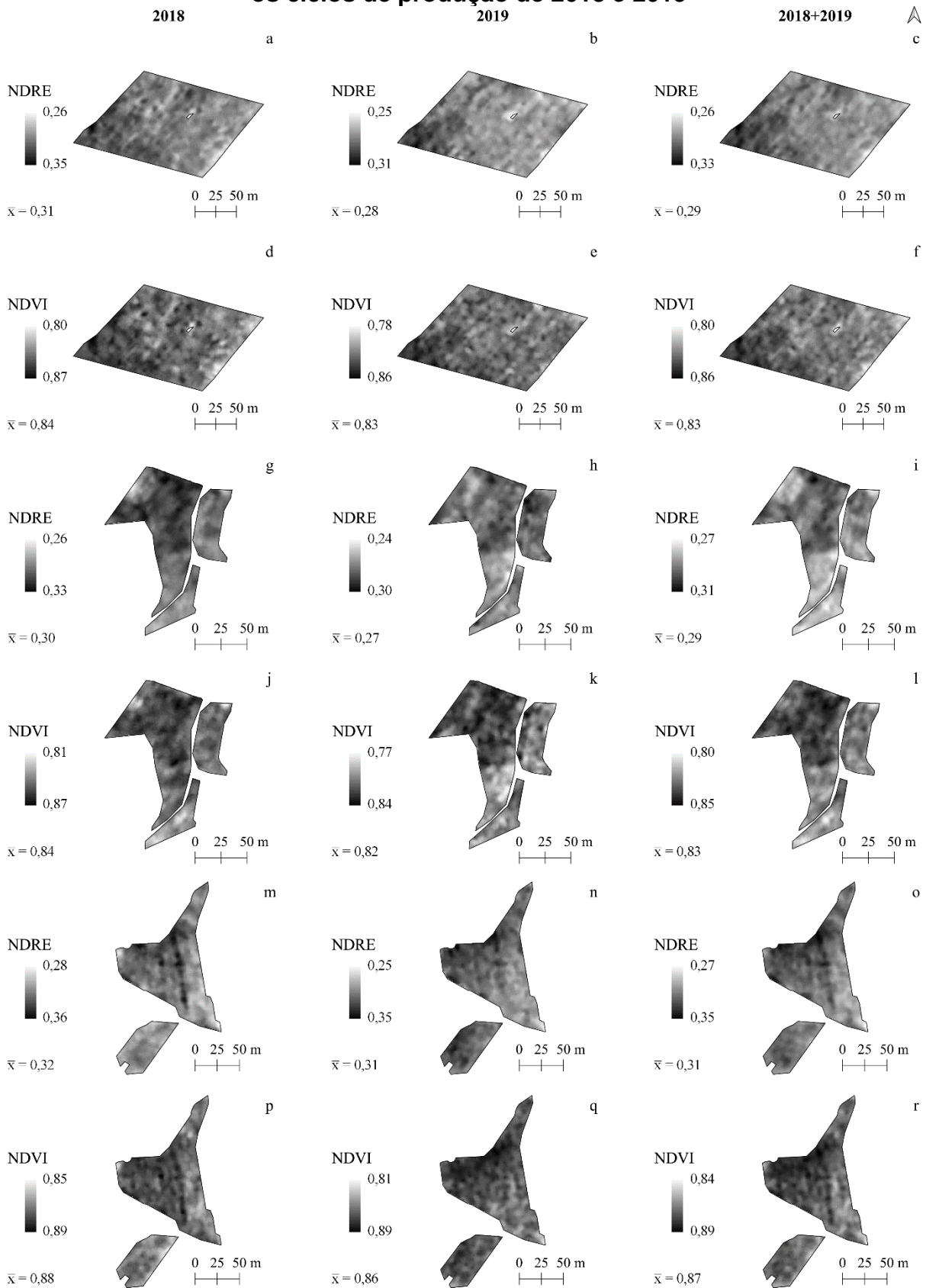
Na área experimental A1, a predominância de ZM correspondentes às plantas de menor e maior vigor vegetativo, nesta ordem, ocorreu, principalmente, nas porções E e W do vinhedo. Por sua vez, na área experimental A2, a disposição das ZM das videiras de menor vigor se deu predominantemente no sentido S, uma vez que sua distribuição convergiu para o prolongamento da porção central do vinhedo e para a subdivisão do mesmo localizada nesta direção. Nesse mesmo vinhedo, houve uma predominância de videiras de maior vigor vegetativo nos sentidos W e S. Na área experimental A3, as ZM equivalentes às videiras de vigor reduzido abrangeram principalmente as porções S e SE, enquanto aquelas referentes às plantas de maior vigor apresentaram uma disposição predominante nas direções N e NW. Dada a disposição das ZM em todas as áreas experimentais nos dois ciclos de produção, as duas cultivares de videiras demonstraram um padrão de vigor vegetativo característico e estável nas direções mencionadas, os quais foram detectados de forma semelhante por ambos os IV adotados.

Nas Figuras 45 e 46 estão representados os padrões de distribuição espacial da variabilidade relativa em torno da média do vigor vegetativo, bem como a sua classificação. Os resultados quanto aos limites de cada intervalo de classificação do CV são apresentados anteriormente na Tabela 25. O índice NDRE apresentou uma maior variabilidade relativa em comparação ao NDVI. Contudo, a despeito da classificação do CV, os dois IV demonstraram que a dispersão dos dados associados ao vigor vegetativo monitorado entre os estádios BBCH 79 e BBCH 81 não foi expressiva. Isso pôde ser inferido em razão da proporção das áreas experimentais ocupada pela classe de variabilidade da categoria média (m), que foi predominante em relação às demais no que diz respeito aos mapas do CV correspondentes aos dois ciclos avaliados em conjunto (Figura 46).

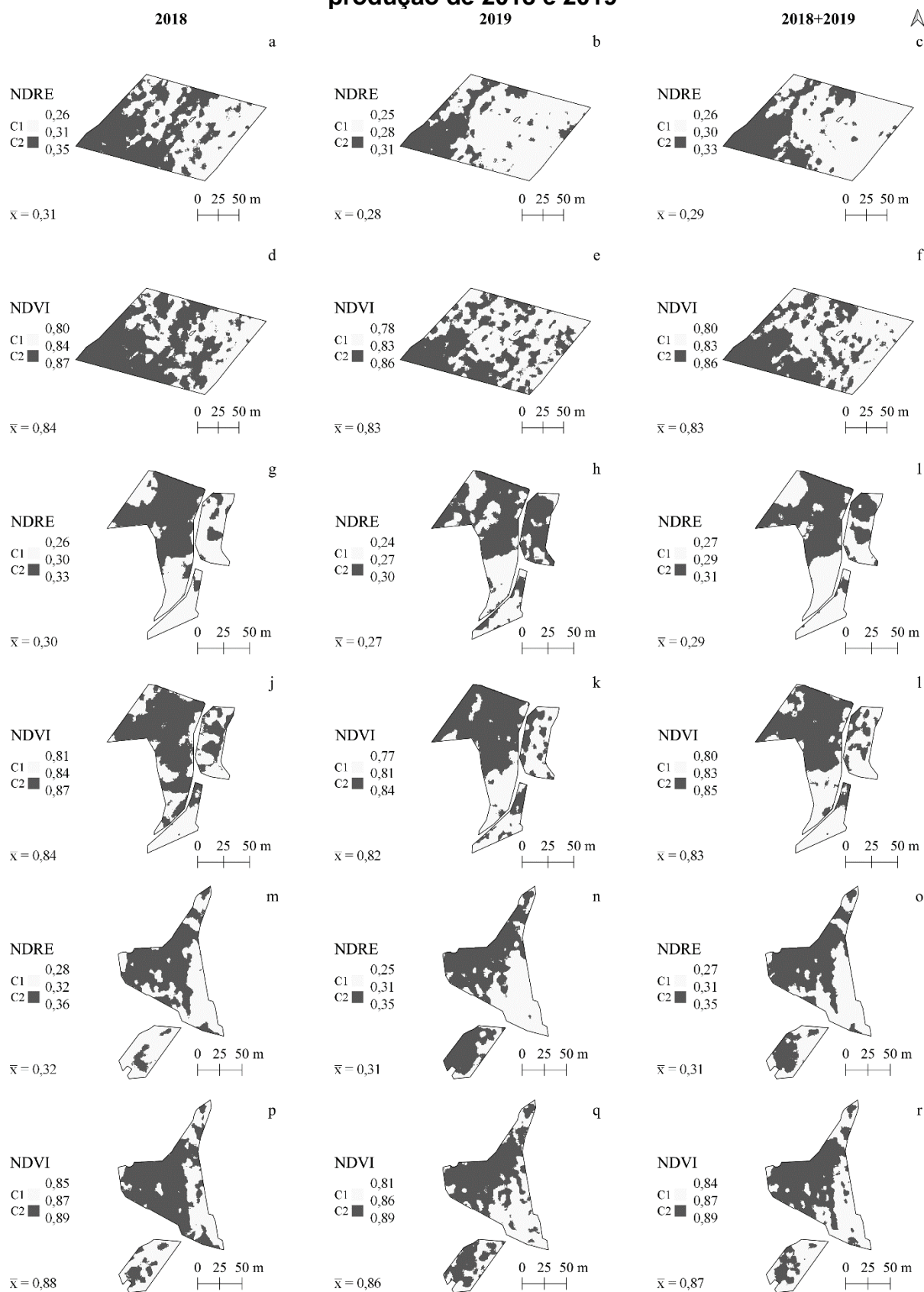
**Tabela 25 - Intervalos adotados para classificação do coeficiente de variação dos IV**

IV	Intervalo					Muito alto CV >
	Baixo CV (%) ≤	----- Médio ----- < CV (%) ≤	----- Alto ----- < CV (%) ≤			
NDRE	1,39	1,39	4,71	4,71	6,37	6,37
NDVI	0,39	0,39	1,43	1,43	1,95	1,95

**Figura 43 - Predição espacial do vigor vegetativo definido conforme a média dos valores interpolados e padronizados do NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**

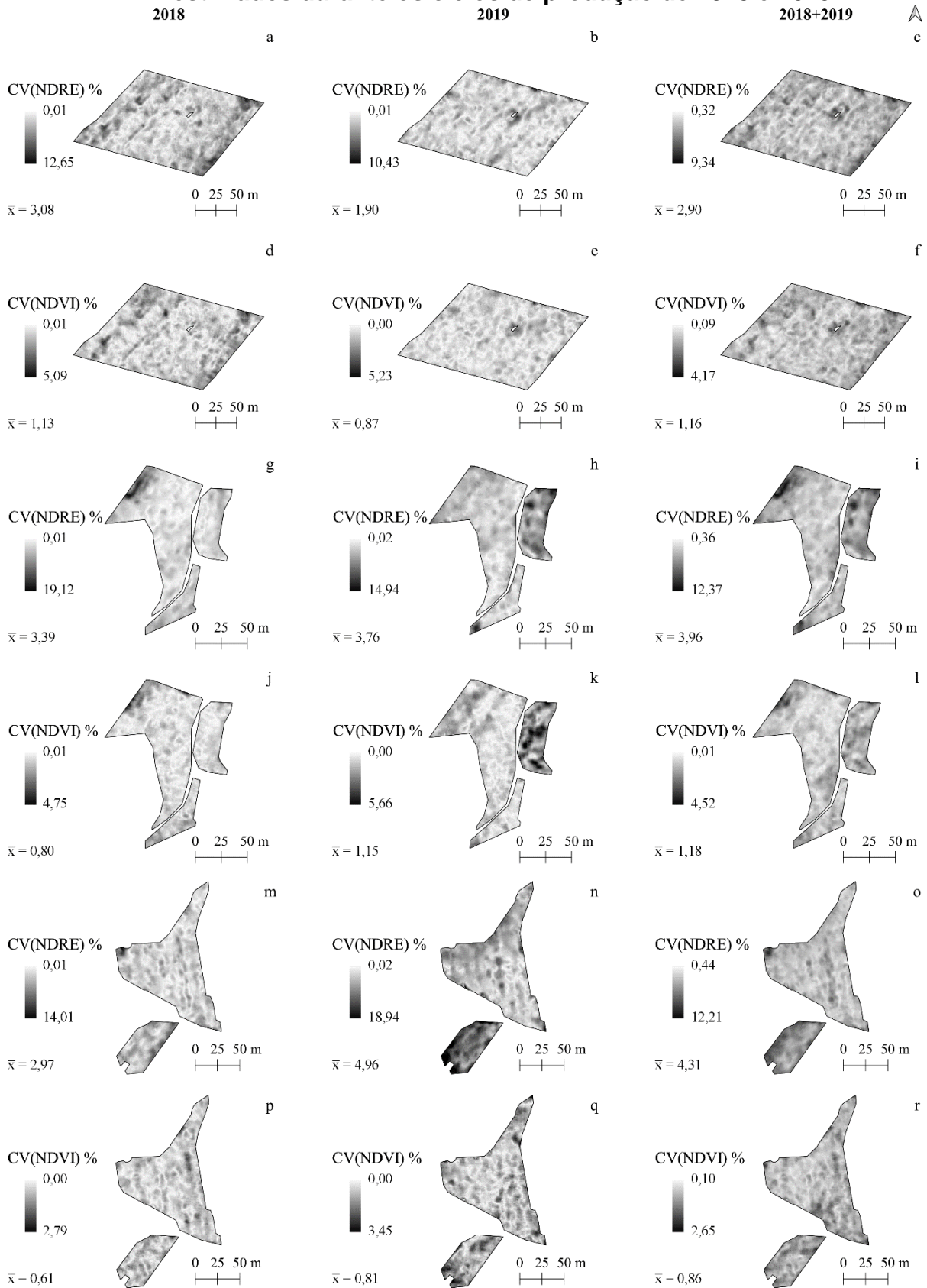


**Figura 44 - Zonas de manejo baseadas no vigor vegetativo agrupado em duas categorias (C1 baixo e C2 alto) delimitadas conforme a média dos valores interpolados e padronizados do NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



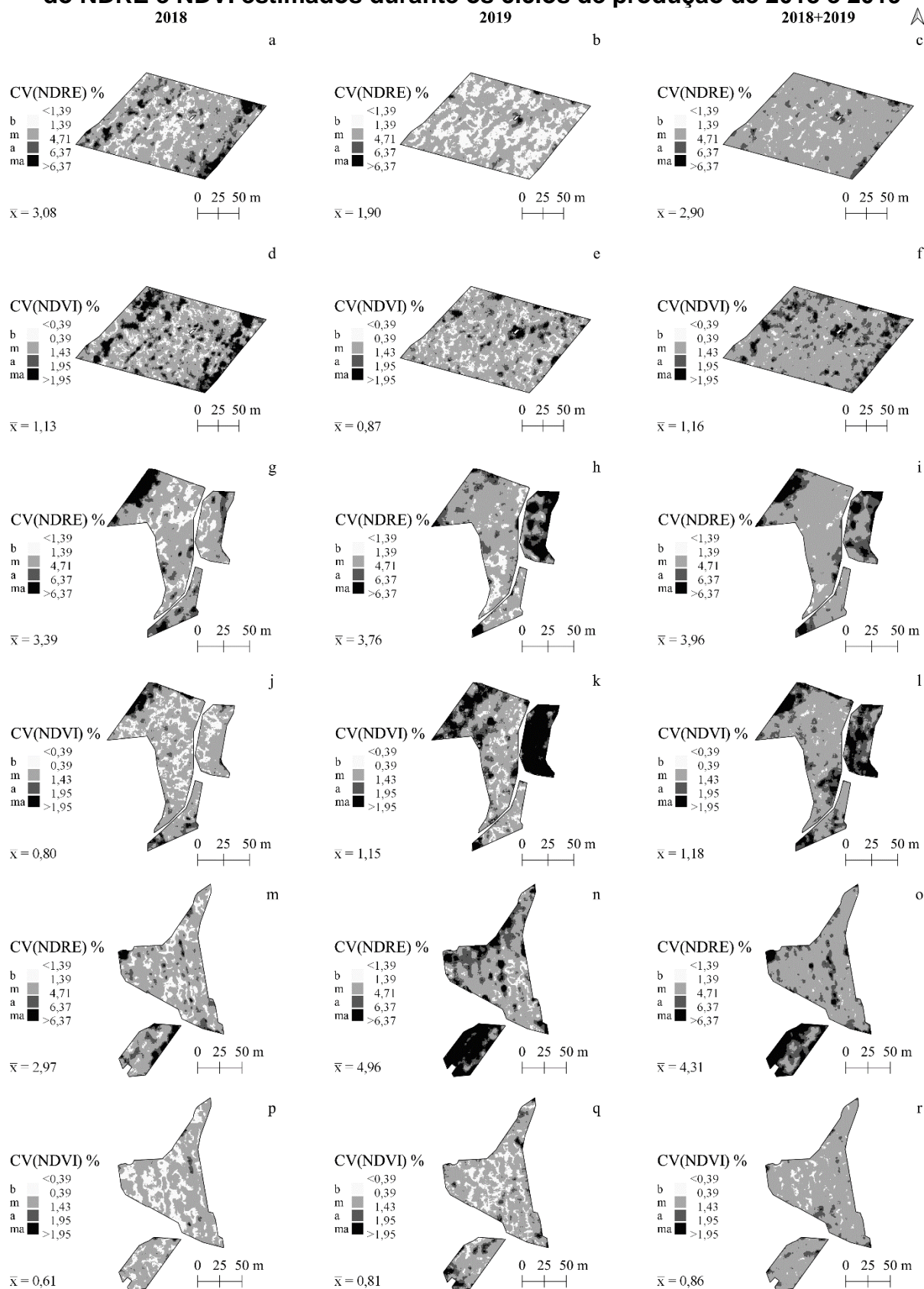


**Figura 45 - Predição espacial da variabilidade relativa do vigor vegetativo inferido conforme a média dos valores interpolados e padronizados do NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**





**Figura 46 - Distribuição espacial das categorias de variabilidade do vigor vegetativo inferido conforme a média dos valores interpolados e padronizados do NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019**



## 4.9 Validação das zonas de manejo

Nas Figuras 47 a 55 são apresentados os gráficos de caixa (*boxplots*) representativos das medidas de tendência central e dispersão da maioria das variáveis utilizadas para fins de análise descritiva e validação das ZM delimitadas a partir das estimativas dos IV.

Nas Figuras 56 a 59 estão dispostos os valores médios juntamente das barras de erros correspondentes a 95% do intervalo de confiança para a estimativa da média referentes a variação da RFA incidente e da fração da interceptação da RFA no interior do dossel das videiras ao longo do seu perfil vertical.

### 4.9.1 Indicadores do vigor vegetativo

Conforme os dados obtidos no ciclo de produção de 2018, diferenças significativas entre as ZM definidas pelos IV adotados para caracterização do vigor vegetativo foram observadas em todos os vinhedos no que se referiu aos índices relativos de clorofila. Assim, no ciclo mencionado, as ZM delimitadas pelo NDRE na área experimental A1 diferiram entre si, quanto ao conteúdo de clorofila a e total (a+b) identificados pelo ICA e ICT (Figuras 47a, 47b, respectivamente,  $p < 0,01$ ). Isso ocorreu em razão das folhas provenientes das videiras cv. Cabernet Franc mais vigorosas apresentaram maiores valores dos índices mencionados em comparação com o observado para as plantas menos vigorosas. No mesmo ciclo de produção, um padrão semelhante ao descrito anteriormente foi reconhecido na comparação entre ZM referentes ao NDRE no que diz respeito ao ICB, porém de maneira menos evidente, admitindo-se um nível de significância de 10% (Figura 47b,  $p < 0,10$ ). Por sua vez, ainda no ciclo de 2018, diferenças entre as ZM delimitadas pelo NDVI foram identificadas ao nível de 5% de significância (Figura 47b,  $p < 0,05$ ), em razão dos maiores valores associados ao ICB medidos em folhas de plantas de maior vigor, em comparação àqueles relacionados às plantas de menor vigor.

No ciclo de produção de 2019 da área A1, apenas as ZM correspondentes ao NDVI diferiram entre si quanto aos IC, de acordo com o ICA e ICB (Figura 47a e 47b, respectivamente;  $p < 0,10$ ) e ICT (Figura 47c;  $p < 0,05$ ). Em todos os casos, videiras cv. Cabernet Franc mais vigorosas apresentaram folhas com um maior teor relativo de clorofila ao final do ciclo produtivo. Destaca-se ainda que a razão entre o ICA e o

ICB apresentou diferenças significativas (Figura 47d;  $p < 0,01$ ) apenas para fins de validação das ZM delimitadas pelo NDVI na comparação correspondente ciclo de 2018. Nesse caso, as videiras de menor vigor apresentaram uma maior razão ICA/ICB em comparação àquelas de maior vigor.

No ciclo de produção de 2018, as ZM definidas pelo NDRE e NDVI na área experimental A2 apresentaram diferenças entre si quanto aos IC mensurados, ao nível de 1% de significância (Figuras 48a, 48b, 48c;  $p < 0,01$ ), conforme um padrão semelhante ao identificado na área A1. Neste sentido, os valores mais elevados do ICA, ICB e ICT foram associados às videiras cv. Cabernet Franc mais vigorosas. Além disso, no vinhedo em questão, ambos os IV delimitaram ZM que demonstraram diferenças significativas entre si no que remeteu a razão ICA/ICB (Figura 46d;  $p < 0,01$ ), admitindo-se que as videiras de menor vigor, localizadas na ZM1 demonstraram valores mais elevados quanto a essa métrica em comparação àquelas de maior vigor. No ciclo de produção de 2019, no vinhedo supracitado, a diferença entre ZM se deu apenas entre aquelas correspondentes ao NDRE em relação ao ICA (Figura 48a;  $p < 0,10$ ).

Resultados divergentes daqueles obtidos nos demais vinhedos quanto aos IC foram identificados na análise comparativa entre as ZM delimitadas na área experimental A3. Deste modo, no ciclo de 2018 referente ao vinhedo mencionado, diferenças entre as ZM do NDRE e NDVI foram observadas quanto ao ICA e ICT (Figuras 49a e 49c;  $p < 0,10$ ). Contudo, nesses casos, as videiras cv. Cabernet Sauvignon classificadas como menos vigorosas apresentaram valores mais elevados de ambos os índices relativos de clorofila em comparação com as plantas mais vigorosas. No ciclo seguinte, diferenças entre as ZM definidas pelos dois IV quanto aos IC e à razão ICA/ICB (Figura 49d;  $p < 0,01$ ) foram observadas de maneira mais evidente e explicitaram o mesmo padrão observado no ano anterior nessa área experimental, dado que as videiras de vigor reduzido, apresentaram folhas com maior conteúdo relativo de clorofila ao final do ciclo de produção, segundo os índices relativos mensurados.

A diferenciação entre ZM, delimitadas na área A1, em relação ao diâmetro do caule das videiras foi verificada apenas no ciclo de 2018. Desta forma, admitindo-se apenas as ZM relativas ao NDVI, plantas mais vigorosas apresentaram um maior DC (Figura 47e;  $p < 0,01$ ). Por sua vez, na área A2, as ZM associadas aos dois IV apresentaram diferenças entre si quanto ao DC e ao DR nos dois ciclos de produção

avaliados, admitindo-se níveis de significância estatística distintos (Figuras 48e, 48f). Neste sentido, as videiras cv. Cabernet Franc classificadas como mais vigorosas, superaram aquelas de menor vigor no que se refere as medidas dendométricas destacadas. Por fim, nos dois ciclos de produção avaliados na área A3, as videiras cv. Cabernet Sauvignon distribuídas em ZM distintas foram semelhantes entre si quanto as características biofísicas mencionadas.

Diferenças significativas entre as ZM em relação a MP não foram identificadas na área experimental A1. Entretanto, as videiras cv. Cabernet Franc implantadas na área A2 e dispostas em diferentes ZM demonstraram diferenças significativas entre si quanto a esse atributo no ciclo de produção de 2019. Logo, verificou-se que uma maior biomassa fresca dos ramos podados para dar início ao ciclo de formação seguinte foi atribuída as videiras mais vigorosas, considerando-se diferentes níveis de significância estatística quanto a cada IV utilizado para regionalização do vigor vegetativo (Figuras 48g). De modo semelhante ao descrito anteriormente, as videiras cv. Cabernet Sauvignon implantadas na área experimental A3 demonstraram diferenças significativas em relação a MP nos dois ciclos de produção avaliados, uma vez que videiras mais vigorosas também apresentaram maior biomassa fresca dos ramos podados (Figura 49g). Logo, as ZM mostraram-se heterogêneas no que se referiu a caracterização do vigor vegetativo da cultivar em questão, segundo a MP avaliada em dois ciclos consecutivos.

Dentre todos os indicadores do vigor vegetativo utilizados na comparação entre ZM, a razão entre a MP e PD foi significativamente diferente apenas no ciclo produtivo de 2019 associado às videiras cv. Cabernet Sauvignon (A3). Assim, conforme os resultados obtidos, viu-se que as plantas de menor vigor vegetativo dessa cultivar apresentaram uma maior razão PD/MP (Figura 49h). De outro modo, a regionalização do vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc (A1 e A2) a partir das estimativas do NDRE e NDVI não proporcionou a sua diferenciação quanto ao balanço representado pela relação supracitada.

A diferenciação das ZM segundo os índices relativos de clorofila, quando verificada, se justificou em virtude da interação do dossel das videiras com as bandas específicas do espectro eletromagnético consideradas no cálculo de NDRE e NDVI, especificamente os comprimentos de onda de 630 e 730 nm que se localizam na faixa do vermelho visível e na transição entre esse e o infravermelho próximo, nesta ordem. Conforme afirmado por Roy (1989), a  $\rho$  da vegetação é influenciada pelos atributos

individuais dos órgãos das plantas, pela espécie e estágio de desenvolvimento dessas, bem como pela organização, estrutura e textura do seu dossel. Neste sentido, dentre os constituintes das folhas, os mais importantes do ponto de vista da interação com a radiação eletromagnética são: a celulose presente nas paredes celulares, o conteúdo de água em conjunto com os solutos nela dissolvidos, os espaços intracelulares e os pigmentos fotossintetizante contidos no interior dos cloroplastos (GATES et al., 1965). Em ordem de abrangência, os pigmentos predominantes nos cloroplastos são as clorofilas a e b, mais presentes em plantas superiores, as xantofilas e os carotenoides, embora a porcentagem de distribuição dos mesmos seja variável em determinadas circunstâncias (GATES et al., 1965).

Em razão das propriedades espectrais típicas de folhas verdes, a absorção de grande parte da radiação eletromagnética é atrelada predominantemente as clorofilas. Assim, para esses alvos, a máxima absorção na região do vermelho (~680 nm) e azul (~450 nm) resulta em uma reflexão mínima dessas bandas, enquanto a absorção máxima na região do verde (~550 nm) e no infravermelho próximo (acima de 750 nm) equivale a reflexão máxima das mesmas (BUSCHMANN e NAGEL, 1993). Desta forma, os IV utilizados para caracterização da expressão vegetativa das videiras cv. Cabernet Franc e Sauvignon podem ser associados ao teor de clorofila presente nas folhas e, conforme os resultados apresentados, foram capazes de detectar a variabilidade desse atributo em condições de campo.

A correlação linear entre o NDVI e o conteúdo de clorofila foliar em condições de ensaios *in vivo* foi demonstrada por Buschman e Nagel (1993) admitindo-se, contudo, uma reduzida proporção desse pigmento por área foliar ( $< 10 \mu\text{g cm}^{-2}$ ). Os mesmos autores destacam que o ponto de inflexão do vermelho limítrofe do espectro apresentou uma melhor correlação linear com o conteúdo de clorofila. Em condições de campo, a correlação diretamente proporcional e significativa entre o NDVI, estimado por meio de sensoriamento proximal, e os índices de clorofila mensurados por medidor portátil foi demonstrada por Junges et al. (2019) na avaliação de videiras cv. Chardonnay, cultivadas na região da Serra Gaúcha, Brasil.

Admitindo-se a distinção significativa de ZM em virtude do conteúdo de pigmentos fotossintetizantes, as mesmas podem ser utilizadas para o monitoramento do estado nutricional das videiras, especialmente no que se refere ao teor de N foliar. Neste contexto, o nitrogênio se destaca como um dos nutrientes mais exigidos pelas videiras em razão de atuar na multiplicação celular e no crescimento dos órgãos

vegetais (TERRA, 2003). O N também participa na formação das clorofilas, as quais juntamente com os carotenoides e as ficobilinas, denominados pigmentos acessórios, estão envolvidos no processo de fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2008; STREIT et al., 2005). Logo, o monitoramento do seu conteúdo, realizado conforme a variabilidade espacial do mesmo, pode contribuir para o nutricional manejo sítio-específico dessa condição dos vinhedos. Esse aspecto é especialmente importante uma vez que, conforme destacado por van Leeuwen (2010), a qualidade potencial das uvas destinada a produção de vinhos tintos está diretamente relacionada a uma redução da disponibilidade de N no solo para as videiras, em condições onde a disponibilidade hídrica não é um fator limitante.

As divergências entre as ZM segundo as medidas de DC e DR indicaram uma associação entre esses indicadores dendométricos e o vigor vegetativo das videiras, representado pelos IV, identificada exclusivamente nas videiras cv. Cabernet Franc, que demonstraram maior heterogeneidade quanto a variação das estimativas do NDRE e NDVI. Notoriamente, a medida da circunferência do caule de videiras corresponde a um indicativo do seu vigor atual, considerando-se principalmente a idade das plantas (BRAMLEY, 2010). Entretanto, de forma indireta, a identificação de diferenças significativas entre as ZM quanto a esse atributo pode ser utilizada potencialmente para fins de inferência sobre o estado hídrico das videiras. Isso é possível uma vez que o crescimento do caule é um aspecto do desenvolvimento das plantas que pode ser afetado por déficit hídricos (INTRIGLIOLO e CASTEL, 2007). Assim, o monitoramento das variações na taxa de crescimento e nas variações diárias do diâmetro do caule, são métricas que podem ser utilizadas para a avaliação da condição hídrica das plantas (INTRIGLIOLO e CASTEL, 2007). Neste contexto, Ton e Kopyt (2004), demonstraram que a medida modificada quanto a amplitude de contração diária do diâmetro correlacionou-se com o potencial de água do caule de videiras cv. Chardonnay cultivadas em condições irrigadas. De maneira semelhante, Silva-Contreras et al. (2012) demonstraram que medidas dendométricas referentes a variação do diâmetro do caule de videiras Crimson Seedless podem ser adotadas para quantificação da resposta das plantas a disponibilidade de água no solo, dada a sua sensibilidade para este fim.

Em razão da diferenciação das ZM no que diz respeito ao DC e DR, a utilização de regionalizações do vigor vegetativo segundo o NDRE e NDVI nas condições de estudo também podem ser adotadas para fins de orientação do monitoramento da

umidade no solo, de modo a identificar a dinâmica dessa característica ambiental e a sua influência sobre a expressão do *terroir* nos vinhedos. Isso é presumível assumindo-se que as variações na condição hídricas de videiras estão associadas a capacidade de armazenamento e disponibilidade de água no solo e são capazes de exercer influência sobre as características das bagas e dos vinhos, especialmente em condições de déficit identificadas em anos mais secos, conforme demonstrado por REYNARD et al. (2011).

Dentre todos os vinhedos avaliados no presente estudo, o potencial de distinção das ZM dos IV em relação a massa fresca dos ramos podados após a colheita foi verificado de maneira mais evidente pela cv. Cabernet Sauvignon implantada na área A3, em razão do observado nos ciclos de produção subsequentes. Corroborando com esses resultados, a utilização do índice de vegetação calculado segunda a razão entre imagens aéreas correspondentes a banda do infravermelho próximo e do vermelho foi correlacionada positivamente, em dois anos consecutivos, com a massa de poda obtida por metro de dossel de videiras cv. Cabernet Sauvignon cultivada em sistema de espaldeira, segundo reportado por Dobrowski et al. (2003). A relação não linear entre a massa de poda e o NDVI estimado por meio de sensoriamento proximal, utilizando-se sensores ativos e passivos para a medida da  $\rho$  do dossel de videiras cv. Merlot foi igualmente demonstrada por Stamadiadis et al. (2009).

A diferenciação entre as ZM em relação ao balanço das videiras não foi evidente nas áreas experimentais, uma vez que foi verificada apenas no segundo ciclo de produção da cv. Cabernet Sauvignon (A3), em função da correlação positiva e significativa entre a PD e a MP (resultados não apresentados) identificada nesse caso. Apesar disso, os valores médios da razão PD/MP se mantiveram em torno de 3,04 e 3,088 (A1), 4,47 e 4,69 (A2) e 2,66 a 5,94 (A3). Esses resultados se situaram fora do intervalo ótimo (entre 6 e 10) considerado para essa variável e foram associados a baixa produção, bem como ao vigor excessivo dos ramos (SMART et al., 2010).

Diferenças significativas quanto a RFA e a fração de interceptação da RFA foram observadas em todas as áreas experimentais e em algumas ocasiões de monitoramento do vigor. De forma geral, durante o estágio fenológico de cacho fechado (BBCH 79), a RAF no interior do dossel das videiras cv. Cabernet Franc, cultivadas na área A1 e de vigor reduzido foi superior àquela correspondente às plantas de maior vigor (Figura 56a e 58a). Este resultado foi evidenciado conforme a

comparação entre ZM definidas pelos índices NDRE e NDVI. No monitoramento seguinte (BBCH 81) realizado neste mesmo vinhedo, houve diferenciação significativa ( $p < 0,10$ ) quanto a RFA medida apenas no fundo do dossel (Figura 56b), ou seja, na região dos cachos, uma vez que plantas de menor vigor apresentaram maior incidência dessa radiação nessa posição do dossel em comparação àquelas de maior vigor, definido conforme o NDRE. No estágio fenológico seguinte (BBCH 89) as ZM de ambos os IV não diferenciaram entre si quanto a RFA medida no interior do dossel das videiras. Ainda no vinhedo A1, diferenças significativas entre as ZM do NDVI no que diz respeito a fração de interceptação da RFA foram identificadas apenas durante o estágio fenológico BBCH 81 (Figura 59b,  $p < 0,01$ ). Nessa ocasião, plantas de menor vigor vegetativo apresentaram igualmente uma menor razão entre a RFA medida no interior do dossel e aquela incidente acima, em especial na porção mediana e imediatamente abaixo do topo do dossel.

Na área experimental A2, diferenças significativas entre as ZM referentes ao NDRE foram observadas apenas na segunda ocasião de monitoramento do vigor vegetativo (Figura 56e,  $p < 0,10$ ), ou seja, no *veraison*, durante a qual as videiras cv. Cabernet Franc menos vigorosas apresentaram maior incidência da RFA no interior do dossel. Contrariamente, a fração de interceptação da RFA foi inferior nas plantas de maior vigor vegetativo durante as fases fenológicas BBCH 79 (Figura 57d,  $p < 0,01$ ) e BBCH 81 (Figura 57f,  $p < 0,05$ ), apresentando um padrão inverso ao esperado.

A diferenciação entre as ZM do NDRE e NDVI quanto à RFA incidente no interior do dossel das videiras cv. Cabernet Sauvignon cultivadas na área A3 foi evidenciada apenas durante o *veraison* (Figura 56b,  $p < 0,01$ ; Figura 58b,  $p < 0,01$ ), uma vez que as videiras de baixo vigor apresentaram maior incidência dessa radiação. Por sua vez, neste mesmo estágio fenológico, as plantas de maior vigor também demonstraram maior fração de interceptação da RFA (Figura 57b,  $p < 0,10$ ; Figura 59b,  $p < 0,05$ ).

#### 4.9.2 Indicadores do estado hídrico foliar

Dentre os parâmetros biofísicos das folhas amostradas na área experimental A1, diferenças significativas entre as ZM correspondentes ao NDRE foram identificadas apenas no ciclo de produção de 2018 quanto a  $m_1$  e a A (Figuras 50a,  $p < 0,10$ ; 50c,  $p < 0,05$ , respectivamente). Desta forma, as folhas coletadas em videiras



mais vigorosas apresentaram uma maior massa fresca e área unitária em comparação com aquelas provenientes de plantas de menor vigor. No mesmo ciclo de produção, as ZM do NDVI também foram divergentes entre si em relação a quanto a  $m_1$  e a A (Figuras 50a,  $p < 0,10$ ; 50c,  $p < 0,01$ , respectivamente) e no que se referiu a  $m_2$ , segundo um padrão semelhante ao descrito anteriormente (Figura 50b,  $p < 0,05$ ).

Na área experimental A2, as ZM dos IV foram divergentes entre si em relação a alguns parâmetros biofísicos das folhas coletadas em ambos os ciclos de produção. Assim, no primeiro ano avaliado, as ZM associadas ao NDRE apresentaram diferenças significativas quanto a  $m_1$  (Figura 51a;  $p < 0,05$ ) e a A (Figura 51b;  $p < 0,10$ ), e as ZM referentes ao NDVI diferiram apenas em relação a  $m_1$  (Figura 51a;  $p < 0,10$ ). No ano seguinte, diferenças mais evidentes no que se referiu a  $m_1$  e a A (Figura 51a, 51b;  $p < 0,01$ ) foram observadas na comparação entre ZM delimitadas pelo NDRE. Por sua vez, as ZM definidas no vinhedo em questão conforme o NDVI foram diferenciadas no que diz respeito a todos os atributos folhas utilizados para o cálculo dos indicadores de sua condição hídrica (Figuras 51a, 51b, 51c;  $p < 0,01$ ). Em todos os casos em que as diferenças significativas foram averiguadas na área A2, as medidas dos atributos das folhas obtidas nas videiras mais vigorosas foram maiores em comparação àquelas pertinentes as videiras de menor vigor. Por fim, na área experimental A3, as folhas apresentaram-se homogêneas quanto aos atributos  $m_1$ ,  $m_2$  e A, em razão da ausência de diferenças significativas entre as ZM de ambos os IV.

Nos dos ciclos de produção correspondentes a área A1, não se verificou a diferenciação entre ZM do vigor vegetativo em relação ao conteúdo hídrico foliar, em razão da ausência de diferenças significativas entre as mesmas quanto aos indicadores calculados a partir dos parâmetros biofísicos mensurados. Apenas no ciclo de produção de 2018 referente a área A2 foram observadas diferenças significativas entre as ZM do NDRE e NDVI em relação ao EWT (Figura 51d;  $p < 0,01$ ). Neste vinhedo, as ZM delimitadas conforme o NDVI ainda diferiram entre si quanto ao WCd (Figura 51e;  $p < 0,10$ ). Por sua vez, no ciclo de produção de 2018, as ZM do NDRE e NDVI delimitadas na área A3 apresentaram diferenças significativas quanto ao indicador WCd (Figura 52e;  $p < 0,10$ ). No ciclo seguinte do vinhedo supracitado, as ZM de ambos os IV divergiram entre si em relação aos indicadores WCd, WCt (Figura 52d;  $p < 0,01$ ) e SLW (Figura 52g;  $p < 0,01$ ). Em todos os casos onde se verificaram diferenças significativas entre as ZM, as videiras mais vigorosas apresentaram um maior conteúdo de água na folha em comparação com as menos

vigorosas, com exceção do resultado associado ao SLW, o qual foi superior em videiras menos vigorosas. Dentre todos os indicadores do estado hídrico foliar, ressalta-se que o CRA não diferiu entre as ZM definidas em nenhuma das áreas experimentais.

A  $\rho$  associada à radiação eletromagnética na região do espectro a partir de 1300 nm é influenciada predominantemente pelo conteúdo de água nas folhas, diferentemente dos comprimentos de onda considerados no cálculo do NDRE e NDVI. Resultados significativos no que trata da correlação linear entre o conteúdo de água foliar e a absorção nos comprimentos de onda de 1450 e 2250 nm foram demonstrados por Danson (1992). Relações matemáticas calculadas a partir de medidas de  $\rho$  nos comprimentos de onda localizados na faixa supracitada mostraram-se sensíveis para detecção do conteúdo de água na folha, conforme relatado por Wang et al. (2009) e Mobasheri e Fatemi (2013). Para videiras cultivadas em campo, a absorção da radiação ocorre de maneira significativa na faixa de espectro localizada entre as bandas de 1440 e 1950 nm, as quais podem ser utilizadas para quantificação do potencial hídrico foliar (SANTOS e KAYE, 2009).

Assumindo-se que a interação do conteúdo de água na folha com o espectro de radiação pode ser caracterizada, predominantemente, pelos comprimentos de onda localizados pouco antes da porção intermediária da faixa do infravermelho próximo, a ausência de diferenças significativas entre ZM delimitadas pelo NDRE e NDVI foi justificada. Logo, observou-se que mudanças no estado de hidratação das folhas coletadas em plantas classificadas conforme o seu vigor vegetativo, inferido pelos IV adotados, não puderam ser averiguadas diretamente pela estimativa da  $\rho$  correspondente a regiões onde os efeitos da concentração de pigmentos fotossintetizantes e da estrutura do mesófilo foliar prevaleceram. Entretanto, com exceção do observado para as videiras cv. Cabernet Sauvignon, a diferenciação das folhas das videiras em relação ao conteúdo de água, conforme as classes de vigor vegetativo, quando verificada, foi associadas as variações decorrentes dos parâmetros biofísicos das folhas. Esses parâmetros foram relacionados entre si de forma diretamente proporcional e diferenciados segundo as ZM na maioria dos casos. Além disso, a ausência de diferenças entre as ZM conforme a validação pelos indicadores do conteúdo de água na folha, revelou a ocorrência de padrões consistentes em escala interanual quanto ao estado hídrico das videiras no intervalo entre os estádios fenológicos considerados.

#### 4.9.3 Indicadores do desempenho produtivo e da composição das bagas

No ciclo de produção de 2018, as ZM delimitadas na área experimental A1 conforme as estimativas de ambos os IV não apresentaram diferenças significativas entre si quanto aos atributos de produção. Entretanto, no ciclo seguinte, foram observadas diferenças menos pronunciadas entre as ZM referentes ao NDRE e ao NDVI no que diz respeito ao NC e a MC, respectivamente (Figuras 53b e 53c;  $p < 0,10$ ). Desta forma, no ciclo referido, as videiras cv. Cabernet Franc de menor vigor vegetativo produziram um maior NC em comparação àquelas de maior vigor. De maneira divergente, a MC associada às plantas mais vigorosas foi superior e diferiu significativamente daquela pertinente as videiras menos vigorosas.

Na área experimental A2, diferenças significativas entre as ZM definidas conforme o NDRE foram observadas apenas no ciclo de produção de 2019 no que diz respeito a MC (Figura 54c,  $p < 0,05$ ), em razão das videiras cv. Cabernet Franc de maior vigor terem produzido cachos com maior massa média em comparação àqueles provindos de plantas menos vigorosas. Por sua vez, na área experimental em questão, as videiras dispostas em ZM distintas não apresentaram diferenças entre si quanto a nenhum dos atributos de produção avaliados.

Dentre os indicadores do desempenho produtivo, ambas as cultivares se mostraram homogêneas quanto a PD, em virtude da ausência de diferenças significativas entre as regionalizações do vigor em todas as áreas experimentais nos dois ciclos de produção.

As ZM diferenciadas na área experimental A1 segundo as estimativas do NDRE e NDVI não apresentaram diferenças significativas entre si quanto a maioria dos indicadores de qualidade das bagas avaliados no ciclo de produção de 2018. Excetuou-se a análise comparativa entre ZM delimitadas segundo o NDRE no que diz respeito ao pH, a qual demonstrou a existência de diferença significativa entre as regionalizações do vigor vegetativo (Figura 53h;  $p < 0,10$ ). Desta forma, o mosto das bagas obtidas no momento da colheita das videiras cv. Cabernet Franc classificadas como mais vigorosas apresentou maior acidez em comparação ao correspondente às bagas colhidas em plantas menos vigorosas.

Nesta mesma área experimental, as ZM delimitadas pelos dois IV diferiram entre si em relação as variáveis MB, MA e °Brix no ciclo de 2019, considerando-se os níveis de significância de 1% (Figura 53d;  $p < 0,01$ ), 5% (Figura 53f;  $p < 0,05$ ), e 10%

(Figura 53g;  $p < 0,10$ ), respectivamente. Assim, as videiras cv. Cabernet Franc mais vigorosas apresentaram uma maior concentração de ácido málico e maior massa de bagas no momento da colheita em comparação com os resultados atrelados às plantas menos vigorosas. Contrariamente, as videiras de menor vigor vegetativo produziram bagas com maior teor de sólidos solúveis na colheita.

No ciclo de 2018 referente a área experimental A2, foi possível diferenciar apenas as ZM delimitadas conforme o NDVI segundo o teor de sólidos solúveis, que foi inferior no mosto das bagas colhidas em plantas mais vigorosas (Figura 54g;  $p < 0,05$ ). No ciclo seguinte, as ZM definidas conforme ambos os IV diferiram entre si quanto ao conteúdo de ácido málico (Figura 54f;  $p < 0,05$ ), que apresentou maiores valores associados às videiras mais vigorosas, à semelhança do verificado na área A1. Por sua vez, as ZM definidas segundo o NDRE e NDVI estimado na área experimental A3, mostraram-se semelhantes entre si em ambos os ciclos produtivos no que diz respeito a todos os indicadores de produção e de composição das bagas considerados.

Conforme afirmado por Dry e Loveys (1998), videiras que apresentam excessivo vigor vegetativo tendem a apresentar uma menor produção e de menor qualidade, enquanto videiras com vigor inadequado não são capazes de expressar a sua produção potencial. Entretanto, não foram identificadas diferenças significativas entre ZM quanto a PD, em razão da elevada variabilidade dos indicadores produtivos considerados e das diferenças interanuais associadas a esses atributos, além da reduzida dispersão quanto aos dados de NDRE e NDVI. Desta forma, dado o excessivo vigor das cultivares avaliadas, em especial da cv. Cabernet Sauvignon (A3), a caracterização da expressão vegetativa dessas videiras pelo método adotado não demonstrou potencial para diferir os vinhedos quanto a produção obtida por planta, independentemente do IV utilizado para a delimitação de ZM.

Entretanto os resultados significativos relacionados ao NC e a MC verificados nas áreas implantadas com a cv. Cabernet Franc podem ser indicativos da influência do vigor sobre alguns aspectos produtivos e denotam a necessidade de caracterização da expressão vegetativa dessa cultivar em específico por meio da avaliação de demais aspectos biofísicos das videiras.

Segundo Smart e Robinson (1991), a produção das videiras é o resultado da interação de uma série de processos que antecedem a colheita e que podem ser especialmente afetados pelo sombreamento do dossel resultante do vigor vegetativo

das plantas. Esses efeitos são atribuídos principalmente ao microclima proporcionado pelas cultivares vigorosas de videira, na ausência de um manejo que resulte em maior abertura do dossel. Desse modo, videiras que demonstram uma adequada exposição das folhas e dos frutos se beneficiam de uma maior qualidade das uvas (SMART et al., 1990; SMART e ROBINSON, 1991).

A validação das ZM definidas nas áreas A1 e A2 segundo os aspectos qualitativos das bagas demonstraram o potencial do sensoriamento proximal do NDRE e NDVI para fins de predição dessas características conforme o vigor vegetativo das videiras cv. Cabernet Franc. O efeito significativo do vigor vegetativo sobre as variações do pH e teor de sólidos solúveis pode ser justificado assumindo-se que videiras mais vigorosas produzem frutos com bagas de maiores dimensões, o que resulta em decréscimo da concentração de sólidos solúveis e aumento do pH proporcional ao incremento do volume por efeito de diluição (BOSHOF, 2010). Contudo, nas condições deste estudo, não foram verificadas diferenças significativas no volume de bagas, apesar da diferenciação das ZM, em alguns casos, quanto ao teor de sólidos solúveis.

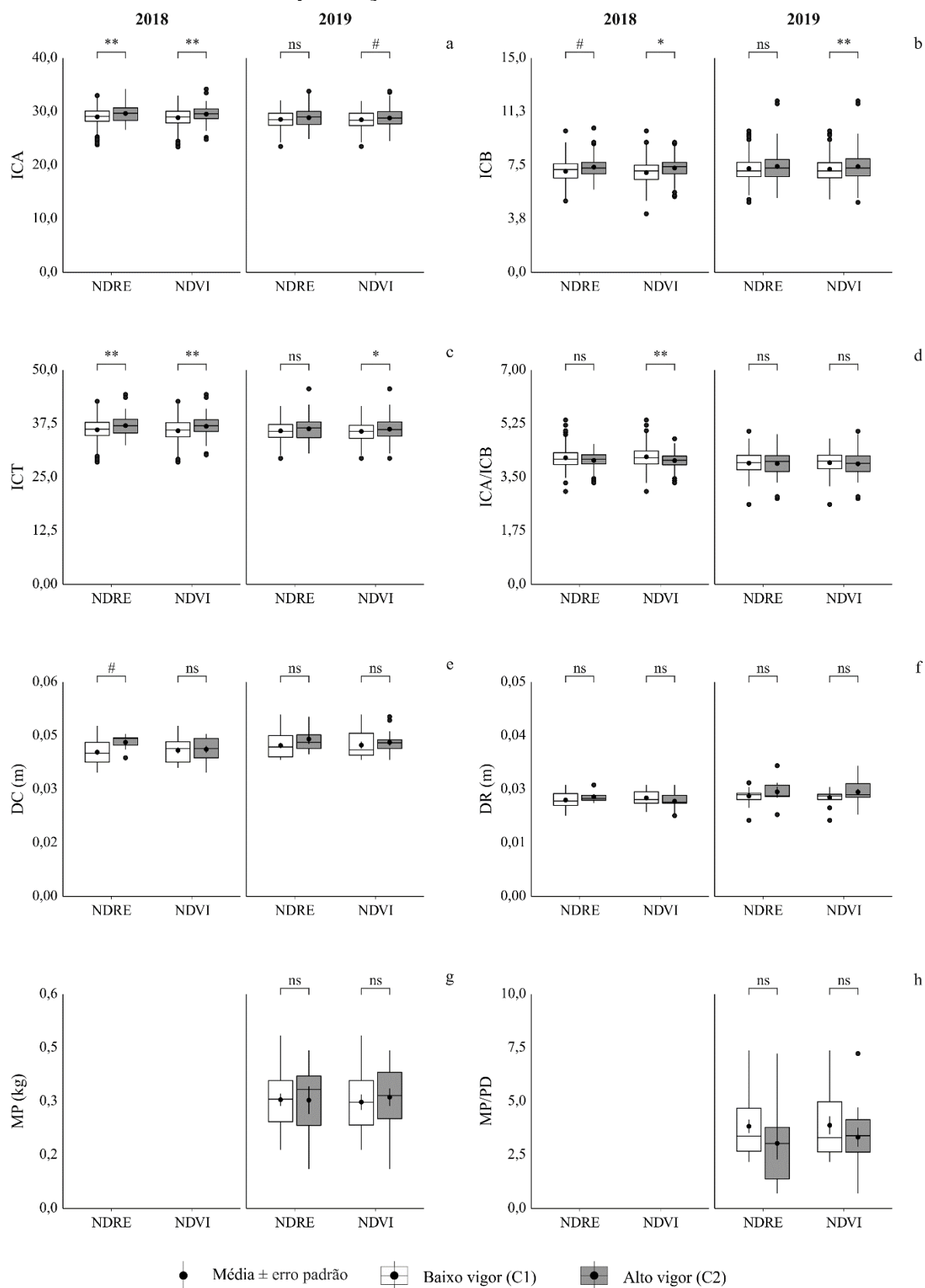
Dentre os IV utilizados como potenciais estimadores de aspectos produtivos e qualitativos da videira, o NDVI tem sido comumente adotado (BEST et al., 2005; TROUGHT e BRAMLEY, 2011; MARTINEZ-CASASNOVAS et al., 2012; KING et al., 2014). Neste sentido, a influência inversamente proporcional do vigor das videiras cv. Sangiovese, inferido segundo o NDVI, sobre aspectos qualitativos das uvas relativos ao teor de sólidos solúveis e antocianinas nas bagas foram reportados por Phillipetti et al. (2013). De forma semelhante Bonilla et al. (2015), demonstraram a validade da diferenciação de ZH da expressão vegetativa de videiras cv. Tempranillo, delimitadas por meio de estimativas e mapeamento do NDVI, conforme aspectos do vigor e qualidade de bagas. Igualmente, o mapeamento do NDVI realizado por Ferrer et al. (2019) aplicado cv. Tannat demonstrou a viabilidade da definição de zonas homogêneas desse IV, uma vez que videiras localizadas em zonas de maior vigor vegetativo foram associadas a valores elevados de pH, sólidos solúveis e conteúdo de compostos fenólicos nas bagas.

Apesar da comprovada viabilidade do NDVI para a diferenciação de vinhedos, apenas a avaliação dos padrões de  $\rho$  do dossel das videiras pode ser insuficiente para análise da variabilidade da expressão vegetativa e caracterização da influência desta sobre aspectos de produção e qualidade. Neste sentido, Ballesteros et al., (2020)

demonstraram que a utilização de imagens multiespectrais de alta resolução, obtidas por VANTs, que incorporam informações do espectro de  $\rho$  e da arquitetura do dossel das plantas para caracterização do seu vigor vegetativo podem ser uma alternativa para a predição antecipada da produção dos vinhedos. Entretanto, sabendo-se que as videiras são classificadas como culturas perenes, diversos fatores ambientais e intrínsecos às plantas influenciam a sua produção e, desse modo, calibrações sazonais dos métodos de predição se fazem necessárias (BALLESTEROS et al., 2020). Neste sentido, a utilização do NDVI, estimado por sensoriamento proximal, para fins de predição de atributos relacionados a produção e a composição de bagas foi demonstrada por Gonzalez-Flor et al. (2014). Contudo, a correlação entre este IV e as variáveis mencionadas apresentou uma variabilidade interanual quanto a sua significância, conforme a ocorrência de déficit hídrico em período pré ou pós-*veraison* (GONZALEZ-FLOR et al., 2014).

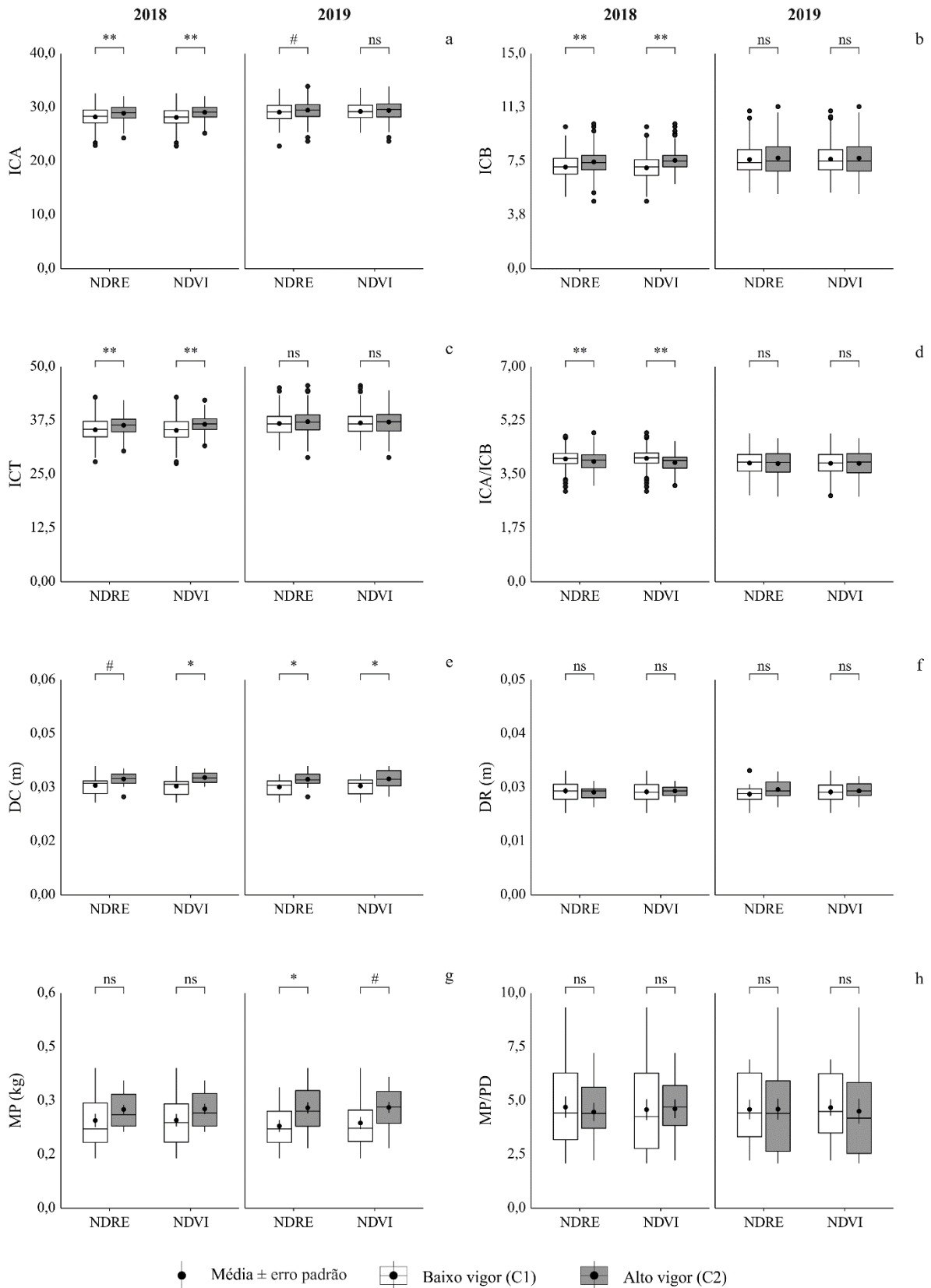
Admitindo-se a influência e a variabilidade dos fatores ambientais sobre a expressão do *terroir* e, a partir dos resultados obtidos neste estudo, a definição de ZM fundamentada no monitoramento de IV em vinhedos implantados com cultivares de videiras vigorosas pode ser favorecida pela inclusão de demais variáveis para a sua efetiva diferenciação.

**Figura 47 - Indicadores do vigor vegetativo considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A1**



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

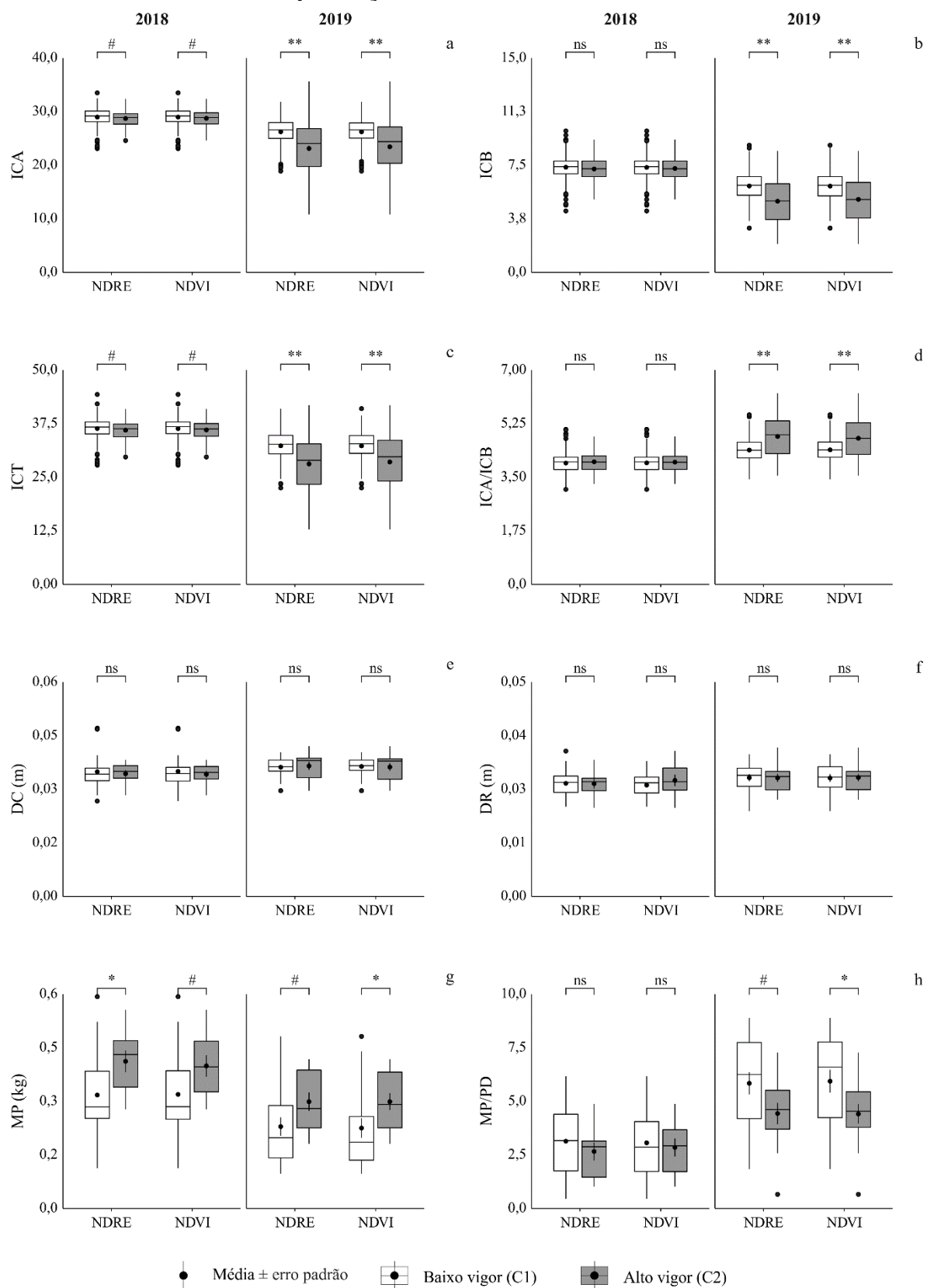
**Figura 48 - Indicadores do vigor vegetativo considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A2**



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

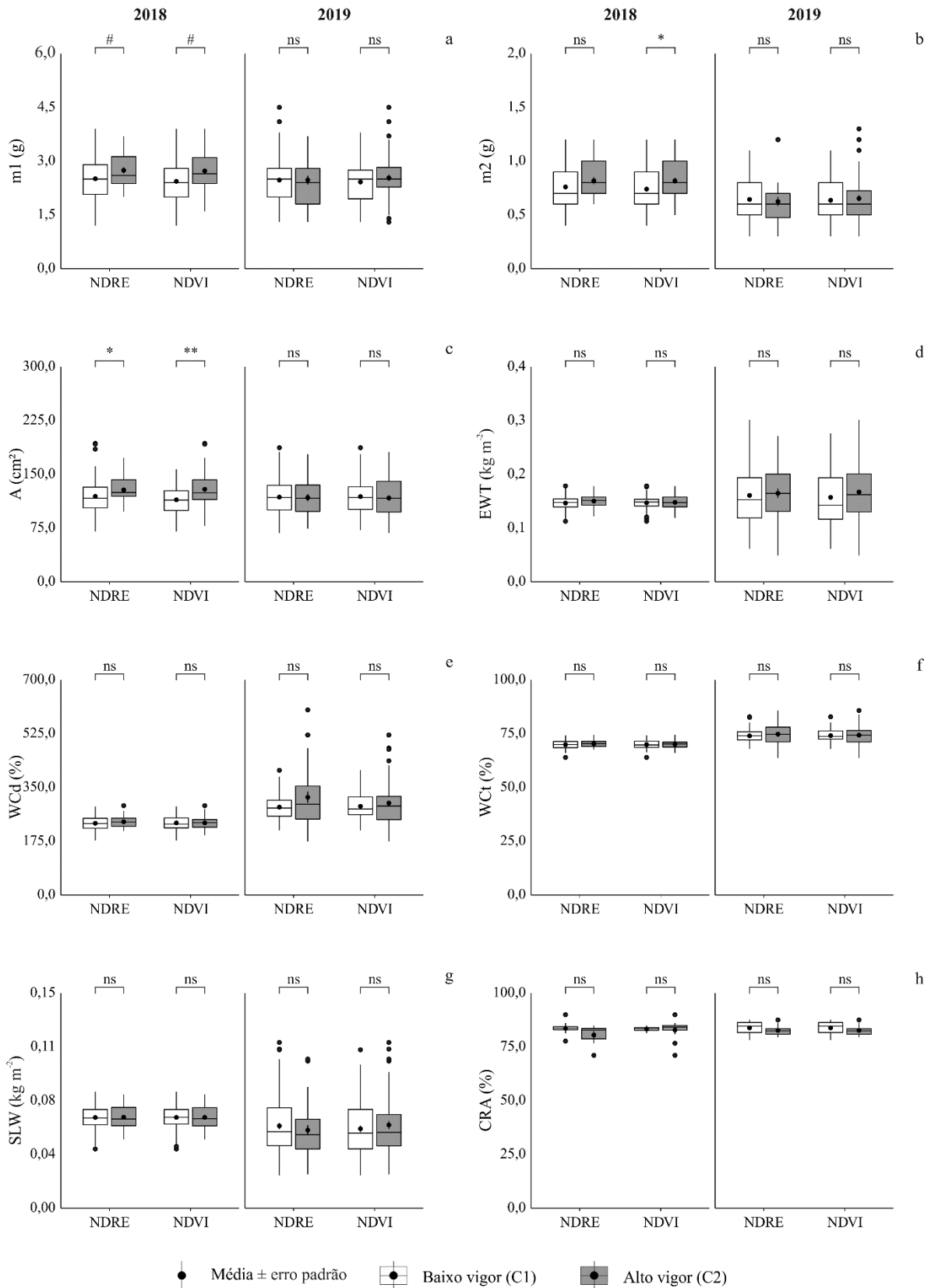


**Figura 49 - Indicadores do vigor vegetativo considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A3**



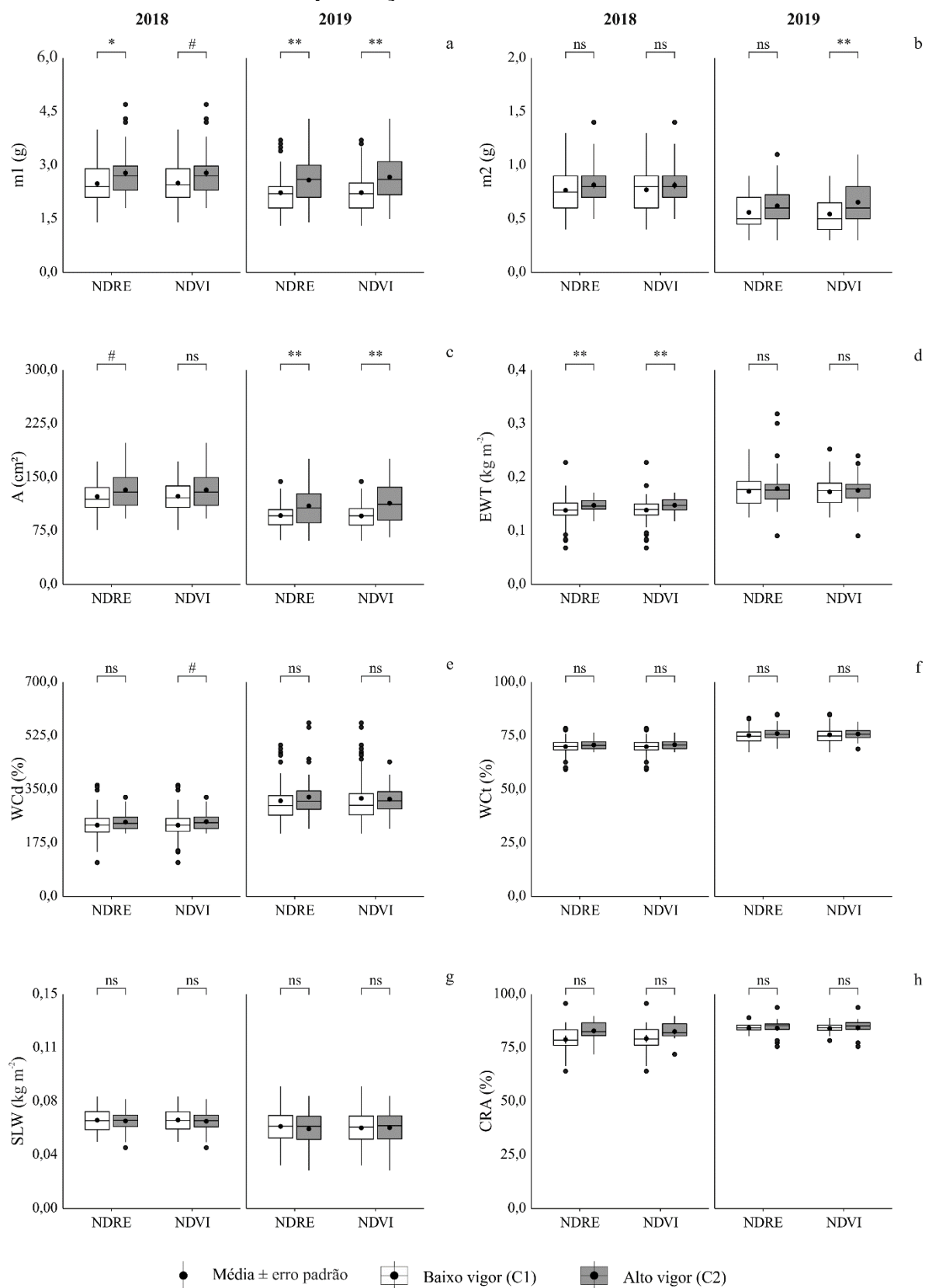
\*\* , \* , # : significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,01$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente; ns: não significativo.

**Figura 50 - Indicadores do estado hídrico foliar considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A1**



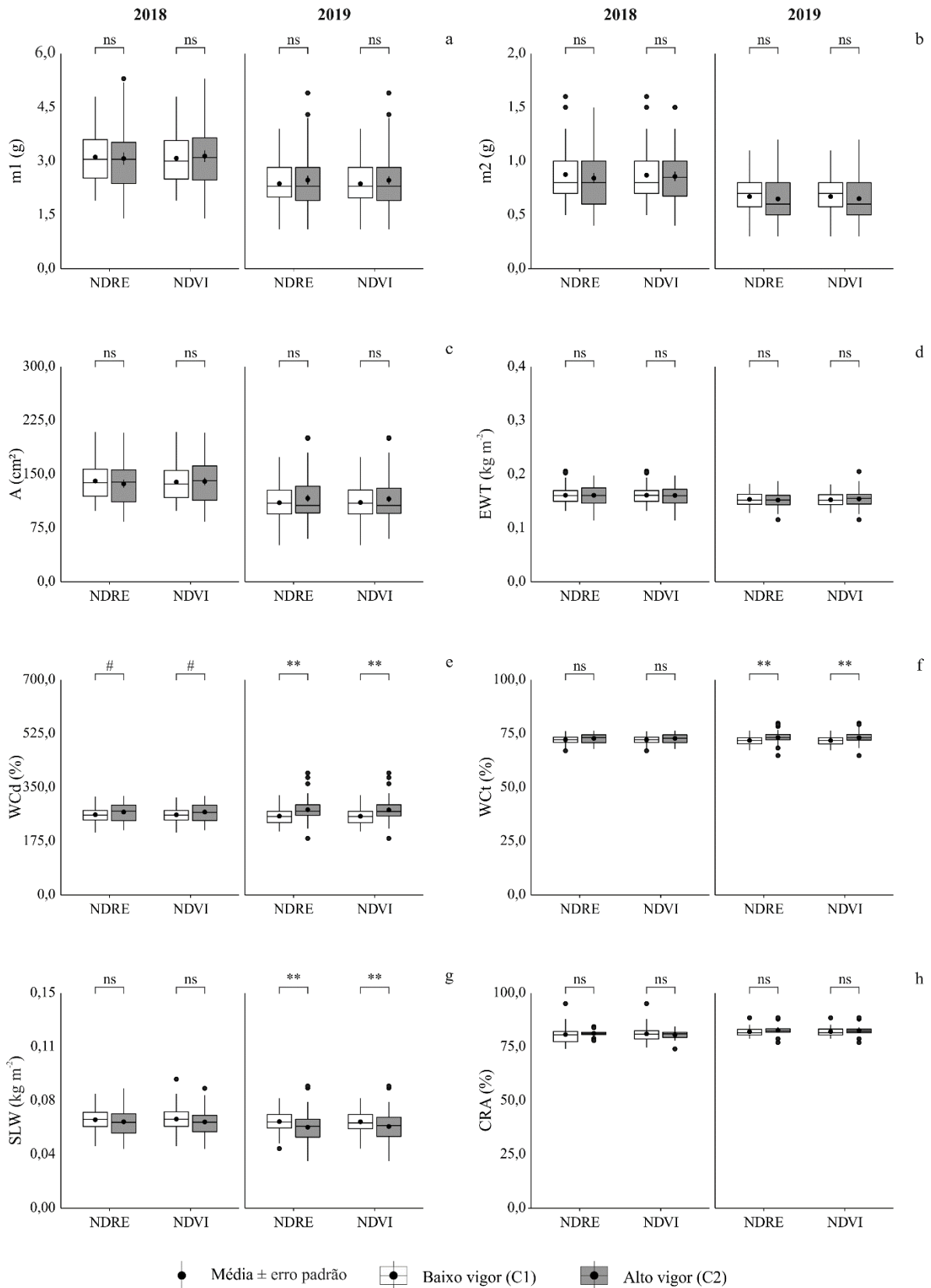
\*\* , \* , # : significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,01$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente; ns: não significativo.

**Figura 51 - Indicadores do estado hídrico foliar considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A2**



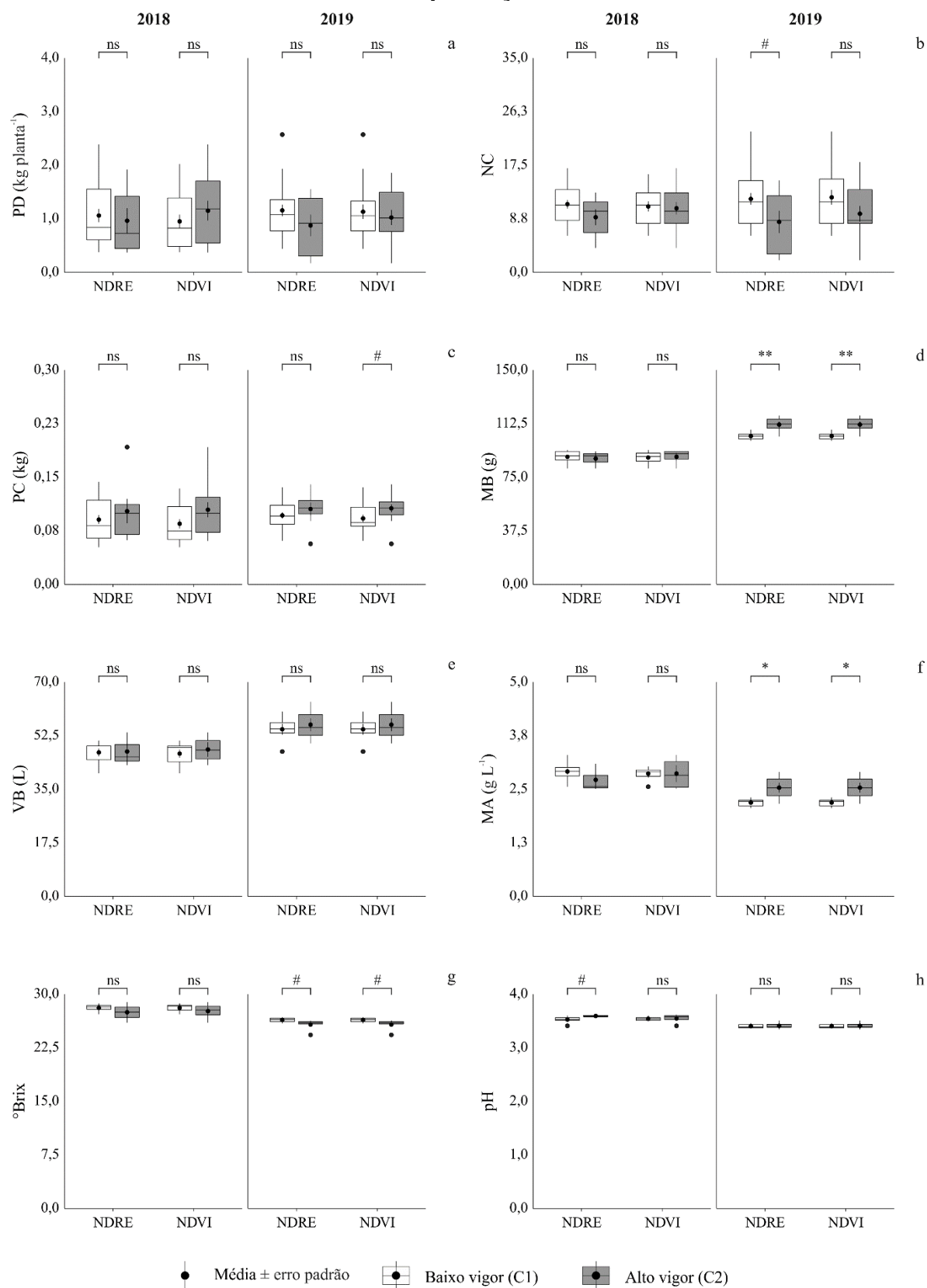
\*\* , \* , #: significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,01$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente; ns: não significativo.

**Figura 52 - Indicadores do estado hídrico foliar considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A3**



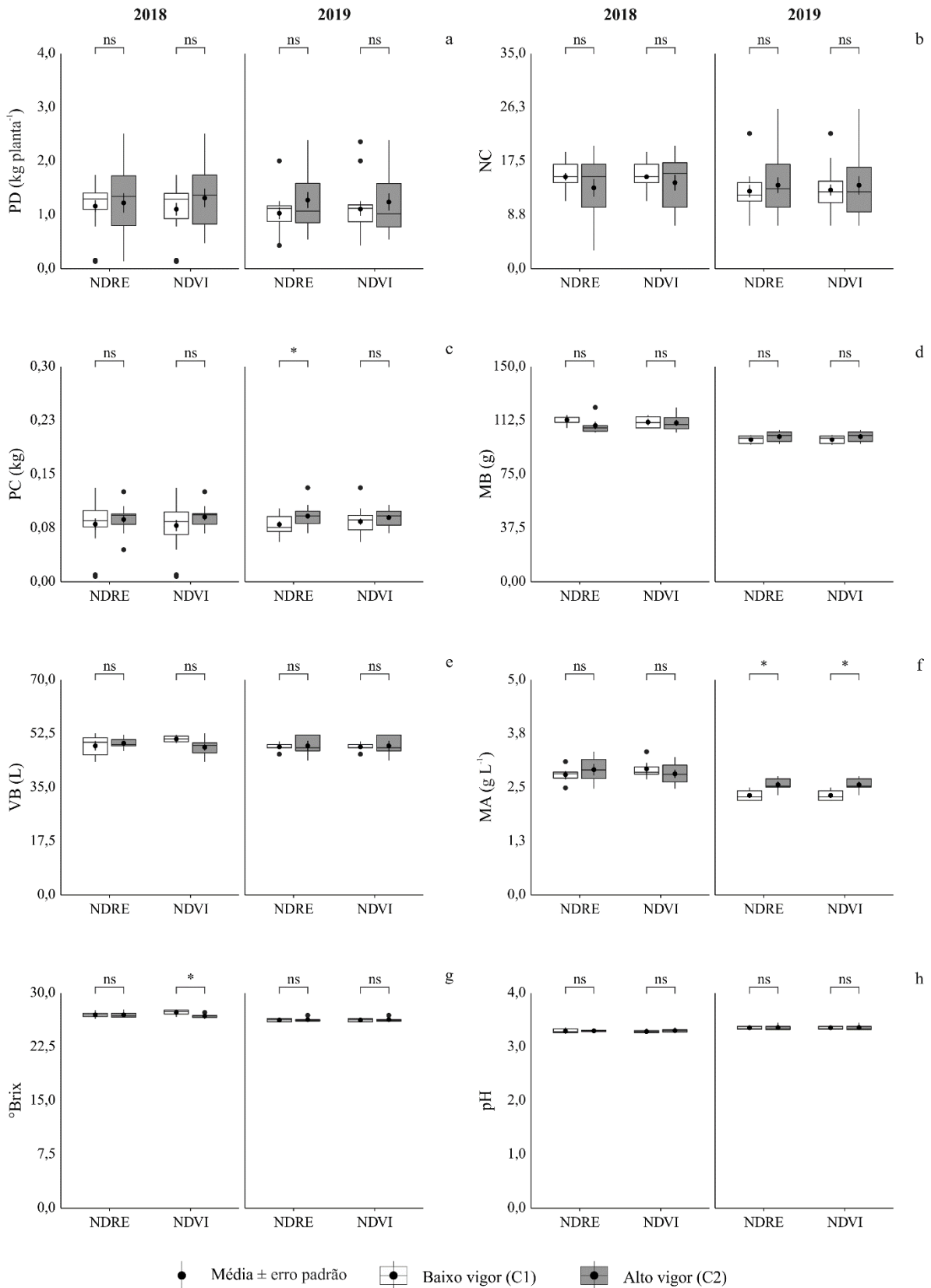
**\*\***, **\***, **#**: significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,01$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente; ns: não significativo.

**Figura 53 - Indicadores da produção e composição de bagas considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A1**



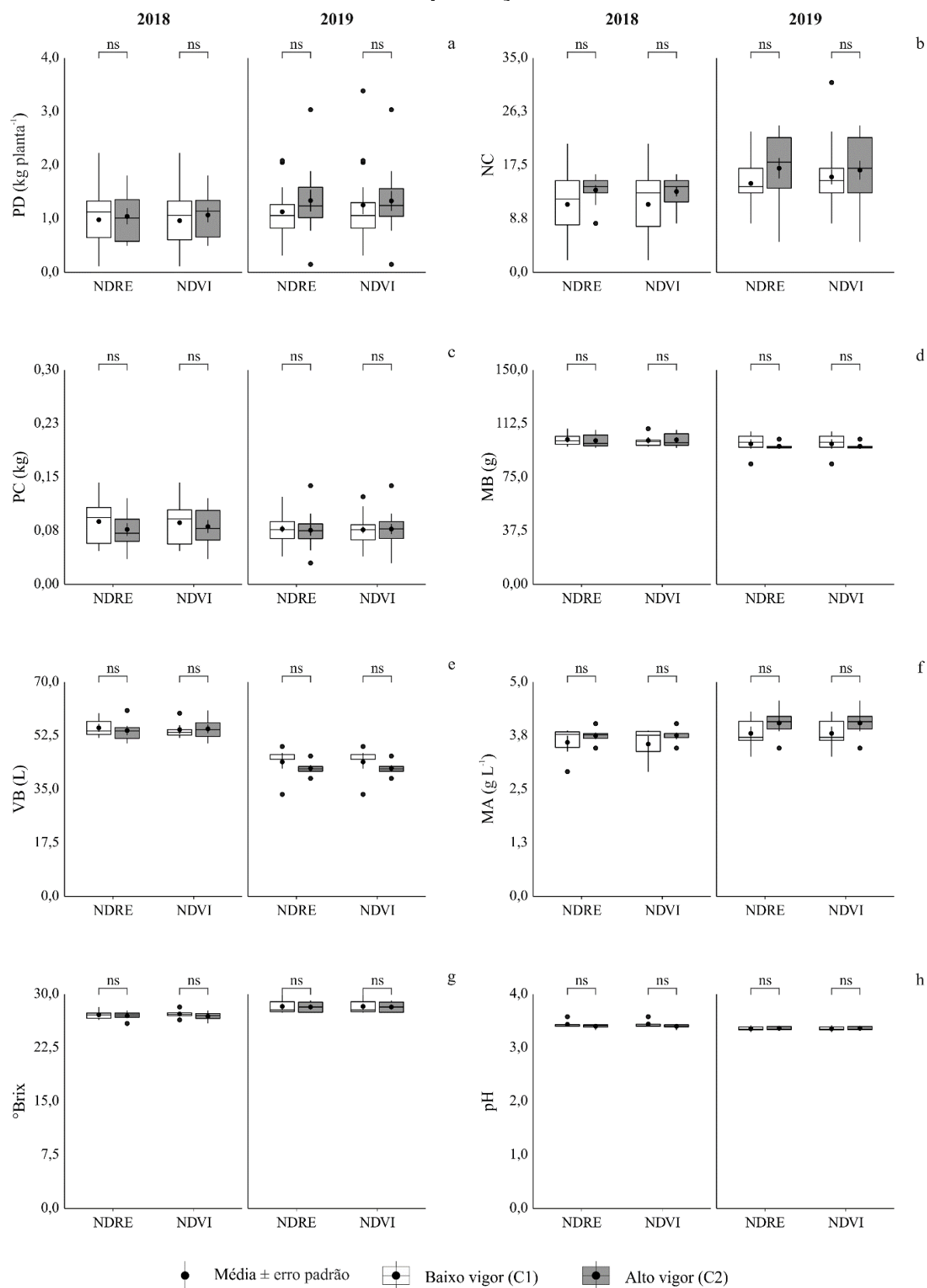
\*\* , \* , # : significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,01$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente; ns: não significativo.

**Figura 54 - Indicadores da produção e composição de bagas considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A2**



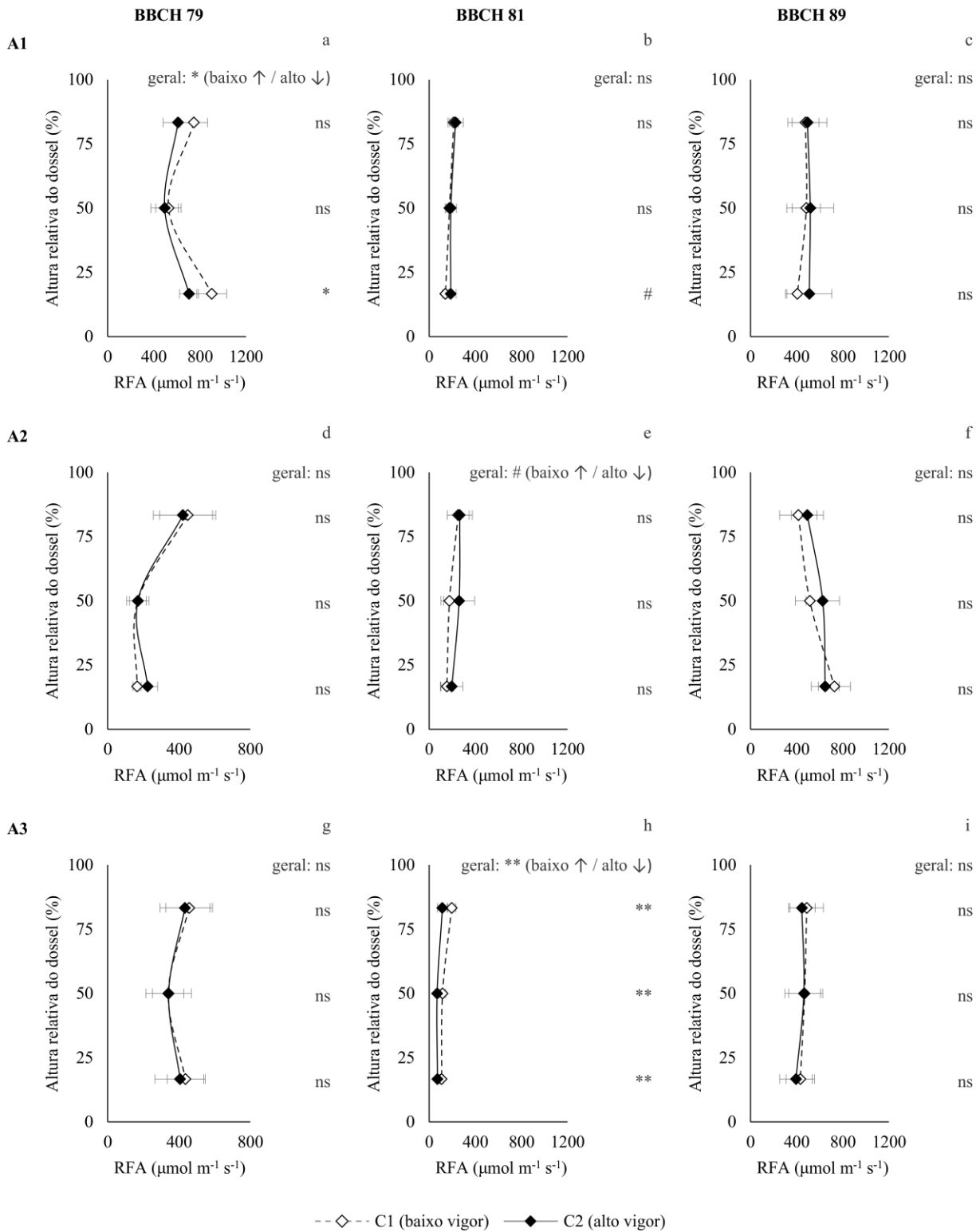
\*\* , \* , #: significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,01$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente; ns: não significativo.

**Figura 55 - Indicadores da produção e composição de bagas considerados para validação das zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI estimados durante os ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A3**



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

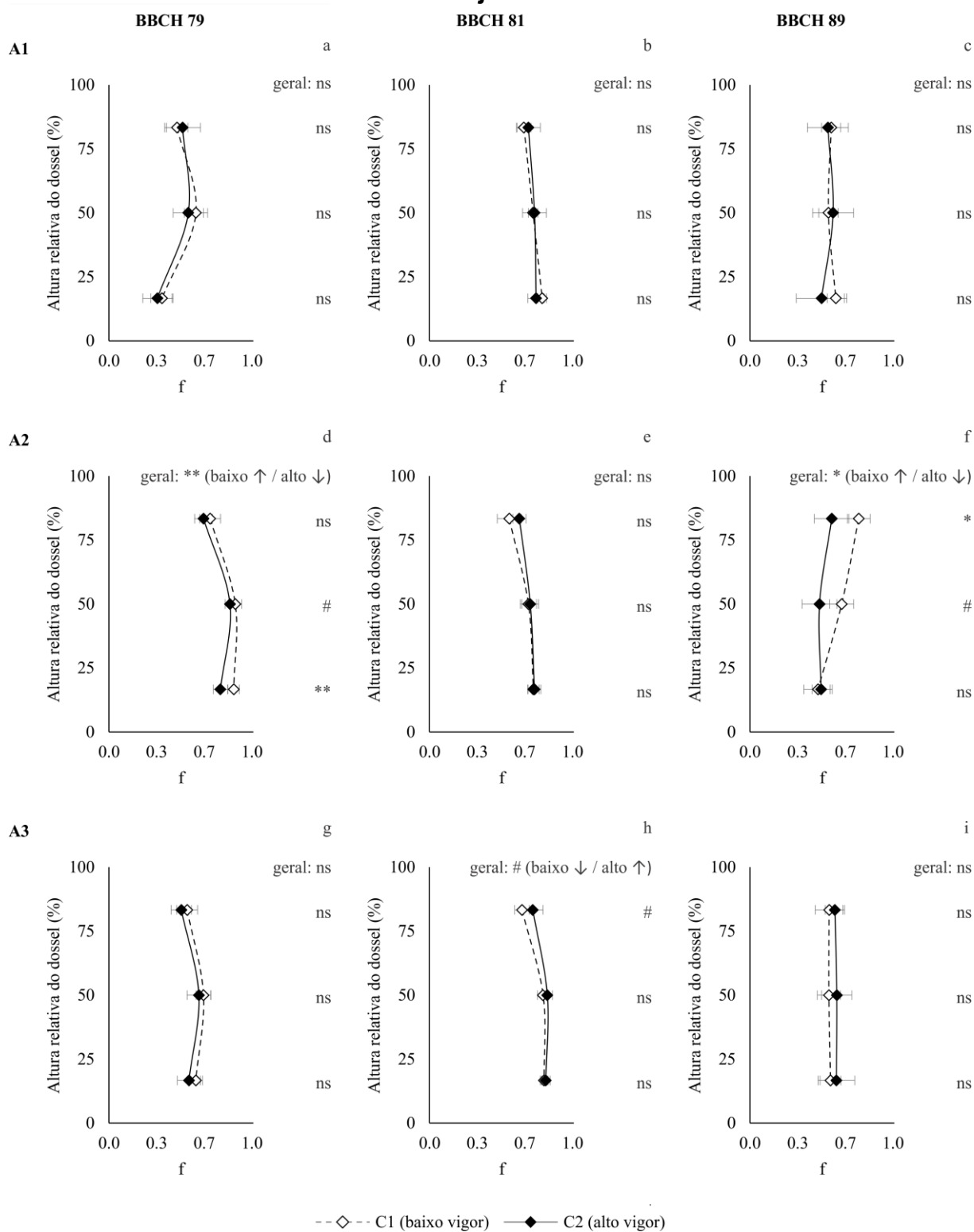
**Figura 56 - Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa incidente no interior do dossel das videiras localizadas em zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE**



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

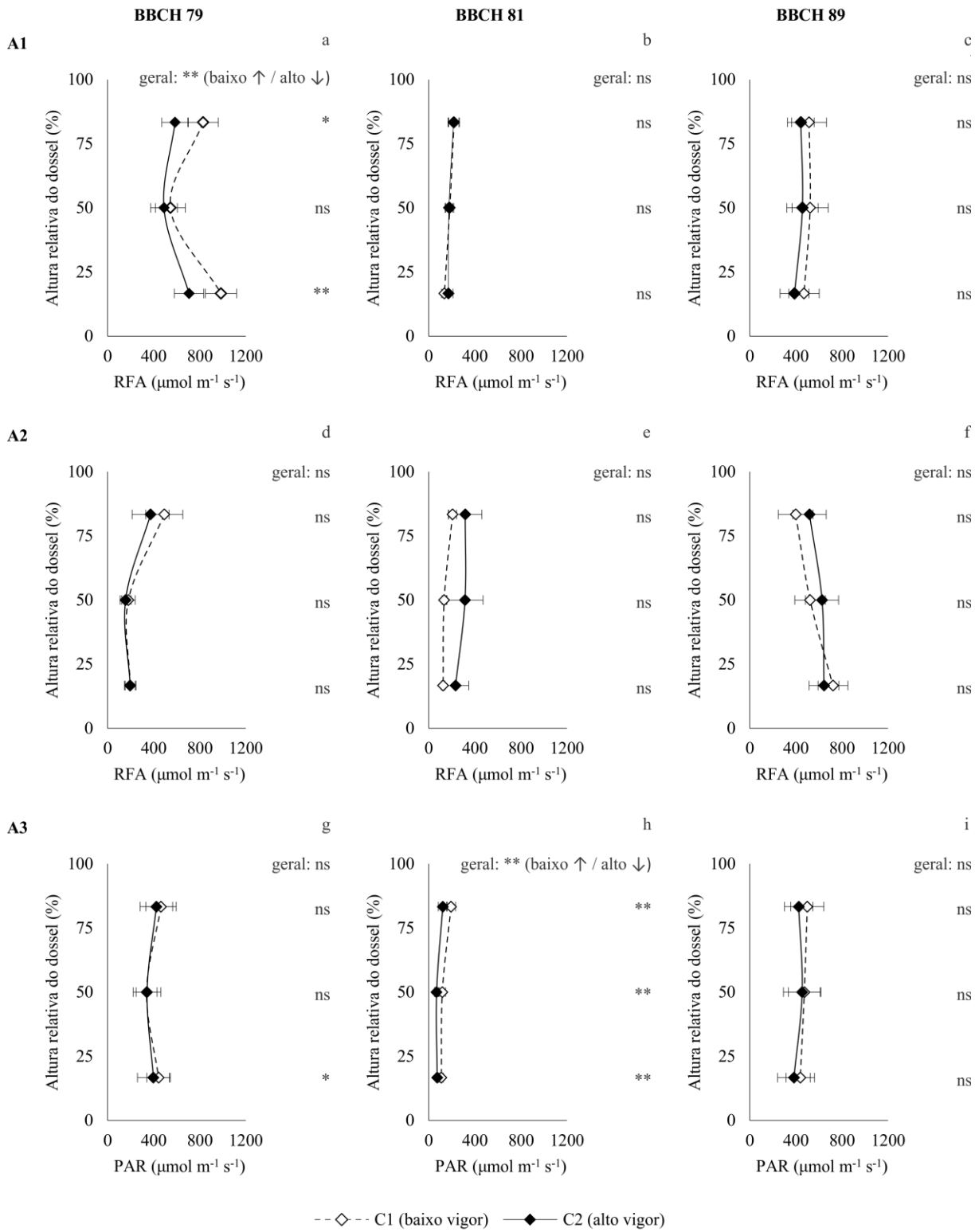


**Figura 57 - Perfil vertical correspondente a razão de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa incidente no interior do dossel das videiras localizadas em zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE**



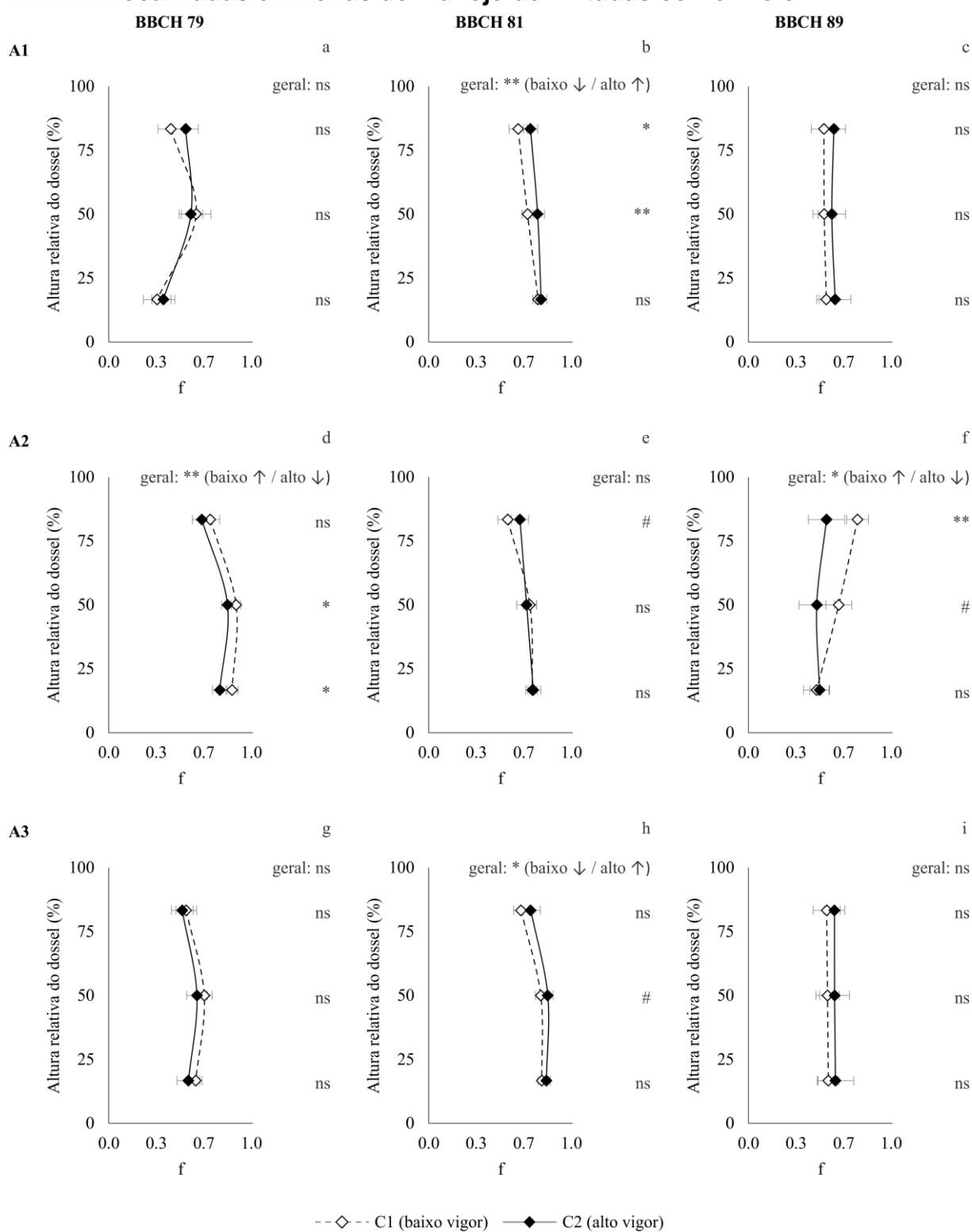
\*\* , \* , # : significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,01$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente; ns: não significativo.

**Figura 58 - Perfil vertical da radiação fotossinteticamente ativa incidente no interior do dossel das videiras localizadas em zonas de manejo delimitadas conforme o NDVI**



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

**Figura 59 - Perfil vertical correspondente a razão de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa incidente no interior do dossel das videiras localizadas em zonas de manejo delimitadas conforme o NDVI**



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

#### 4.9.4 Indicadores do armazenamento e da disponibilidade de água no solo

Os gráficos representativos da relação entre a resposta do sensor de umidade HS2 (variável independente X) e o conteúdo volumétrico de água no solo (variável dependente Y) são apresentados na Figura 60. Por sua vez, a análise de variância e as estimativas dos parâmetros das funções de regressão linear ajustada para calibração do sensor de umidade HS2 são apresentadas na Tabela 26. Os gráficos de caixa, correspondentes a comparação entre as ZM do vigor vegetativo quanto a variação da umidade superficial do solo, são apresentados na Figura 61, enquanto os mapas temáticos equivalentes às estimativas dessa variável são apresentados nas Figuras 62 e 63. Os polígonos de frequência referentes a CTA e os mapas temáticos correspondentes à lâmina de irrigação estimada e as suas distribuições de frequência constituem as Figuras 64, 65, 67 e 68.

Todos os modelos de regressão ajustados para a estimativa da umidade do solo das áreas experimentais avaliadas foram considerados significativos conforme o teste F, assumindo-se um nível de significância de 5% (Tabela 26,  $p < 0,05$ ). Isso pôde ser comprovado uma vez que os valores calculados da estatística do teste F foram superiores aos valores críticos para a distribuição de F, considerando-se o nível de significância mencionado, para  $k = 1$  e  $n-1$  graus de liberdade, onde  $k$  equivale ao número de variáveis do modelo e  $n$  o número de observações componentes dos pares ordenados dispostos nos gráficos de dispersão. Logo, observou-se uma relação linear estatisticamente significativa entre a resposta do sensor e a umidade volumétrica do solo. Além disso, a correlação entre as variáveis consideradas nos modelos de regressão foi considerada significativa ( $p < 0,05$ ) e positiva ( $r > 0,0$ ), dada a relação diretamente proporcional entre as mesmas. Em razão dos valores elevados associados ao coeficiente de determinação ( $r^2 \sim 1,0$ ), concluiu-se que grande parte da variação da umidade volumétrica do solo pôde ser caracterizada pela variação da resposta do sensor HS2, em termos de período ( $\mu s$ ).

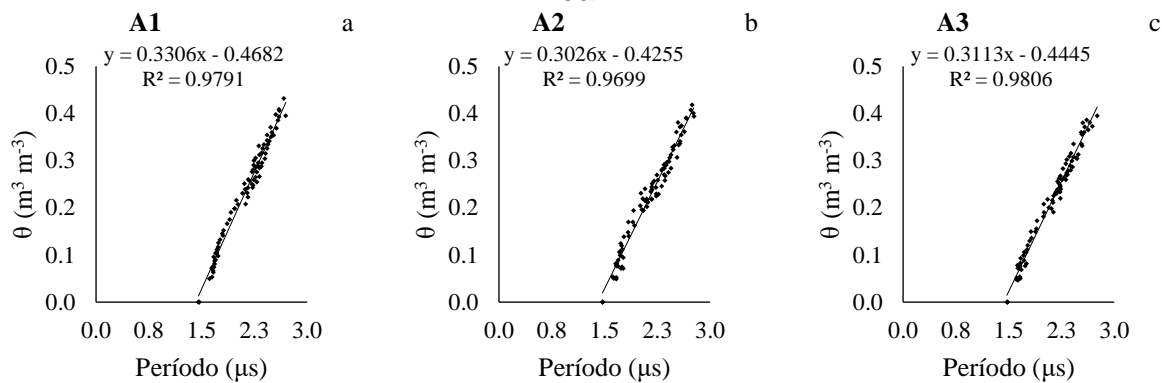
Diferenças significativas entre as ZM do vigor vegetativo no que diz respeito a umidade volumétrica do solo foram observadas em apenas uma ocasião de monitoramento em cada vinhedo. Na área experimental A1, aos 71 dap, as videiras de maior vigor, classificadas conforme o NDRE foram dispostas em porções da área que apresentaram maior mediana no que diz respeito a umidade superficial do solo em comparação àquelas de maior vigor (Figura 61a;  $p < 0,01$ ). Um padrão semelhante

foi observado na comparação entre a umidade do solo correspondente as ZM definidas pelo NDVI, porém com um menor nível de significância (Figura 61b,  $p < 0,10$ ). De maneira análoga, uma diferença significativa entre as ZM do NDVI foi identificada na área experimental A2, porém aos 141 dap (Figura 61d,  $p < 0,10$ ). Contudo, diferentemente do padrão observado nos demais vinhedos, as ZM delimitadas conforme o NDVI na área experimental A3 diferiram entre si no que se referiu a umidade do solo aos 69 dap, porém as plantas de menor vigor localizaram-se em regiões com maior mediana quanto ao conteúdo de água na camada superficial do solo (Figura 61e,  $p < 0,10$ ).

A análise dos polígonos de frequência referentes a CTA estimada nas camadas superficial e subsuperficial do solo das áreas A1 e A2 indicou que as curvas correspondentes as ZM de maior vigor apresentaram-se pouco mais deslocadas para a direita em comparação àquelas referentes as ZM de menor vigor (Figuras 64 e 65). Esse padrão foi mais evidente ao se avaliar as curvas pertinentes a CTA estimada na camada subsuperficial da área A2. Consequentemente, foi possível identificar que as regiões desses vinhedos nas quais se localizaram as plantas mais vigorosas, apresentaram uma maior quantidade de valores superiores a um determinado valor da CTA. No entanto, a avaliação dos polígonos de frequência referentes as estimativas da CTA obtidas na área A3 demonstrou um padrão inverso ao descrito anteriormente, uma vez que as curvas equivalentes as ZM de menor vigor apresentaram-se deslocadas para a direita.

A comparação entre as distribuições de frequências das estimativas da lâmina de irrigação a ser aplicada em cada ocasião de monitoramento da umidade superficial do solo (Figuras 67 e 68) também revelou que, na maioria dos casos referentes a área A1 e em todas as avaliações pertinentes a área A2, as curvas correspondentes as ZM de maior vigor foram deslocadas para a direita. Por sua vez, o oposto foi observado na análise da distribuição das estimativas quanto a necessidade de irrigação conforme cada ZM do vigor vegetativo delimitada na área A3. A partir desses resultados, considerou-se que as videiras cv. Cabernet Franc implantadas nas áreas experimentais A1 e A2 foram submetidas a condições de menor disponibilidade de água e maior necessidade de irrigação. No entanto, diferentemente do ocorrido nas áreas supracitadas, o vigor das videiras cv. Cabernet Sauvignon implantadas na área A3 não pôde ser diretamente relacionado às condições estimadas de armazenamento e disponibilidade de água no solo.

**Figura 60 - Relação entre a resposta do sensor de umidade HSII e o conteúdo volumétrico de água no solo, considerada para ajuste de funções de regressão linear.**

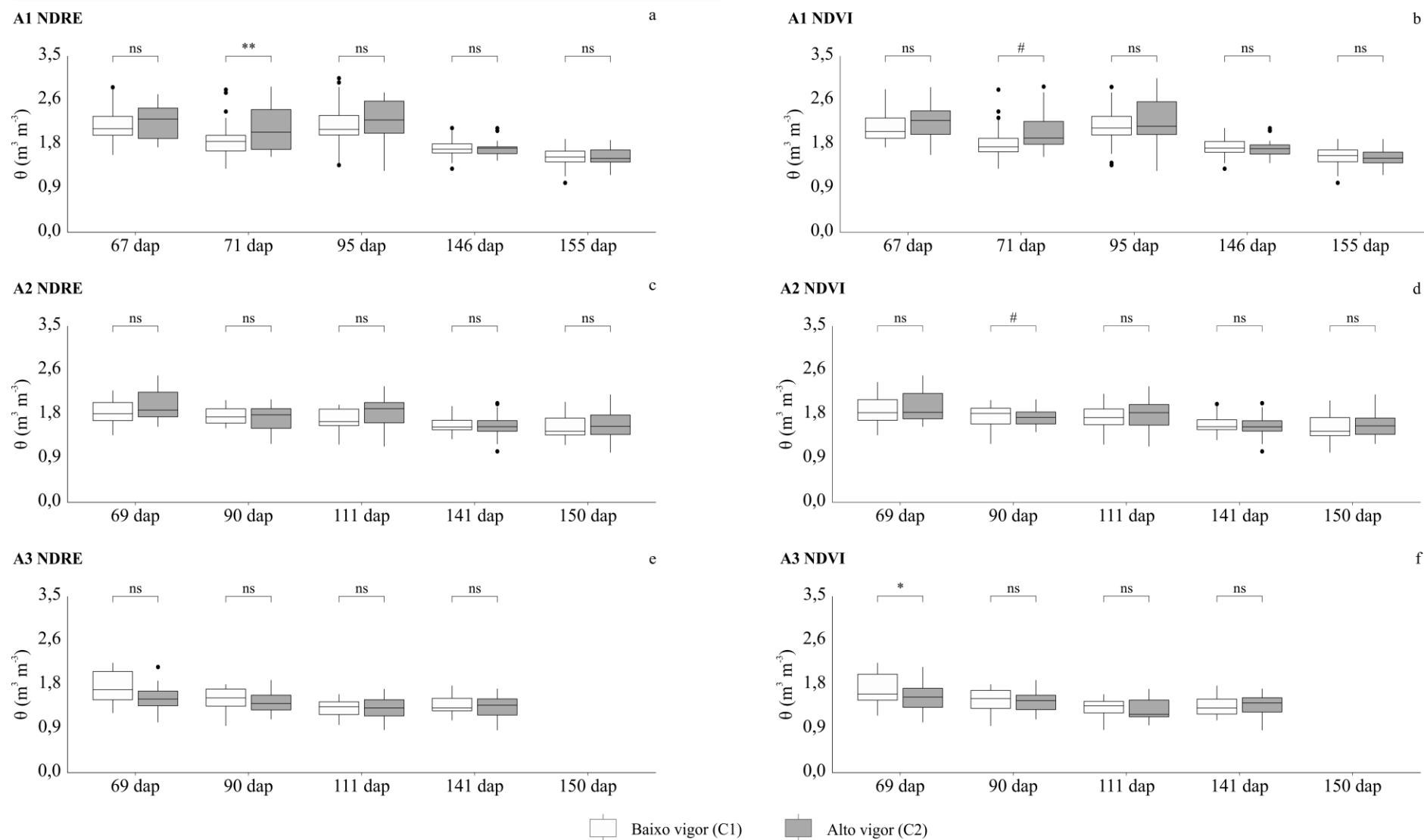


**Tabela 26 - Análise de variância dos modelos de regressão ajustados à relação entre a resposta do sensor de umidade HSII e o conteúdo volumétrico de água no solo, considerada para ajuste de funções de regressão linear.**

Área 1					
ANOVA: $\theta = b_0 + b_1\text{período}$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	1,020	1,020	3884,344	$1,777.10^{-71**}$
Resíduo	83	0,022	$2,625.10^{-4}$		
Total	84	1,041			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	-0,468	0,011	-41,175	$5,211.10^{-57}$	
$b_1$	0,331	0,005	62,325	$1,777.10^{-71**}$	
Área 2					
ANOVA: $\theta = b_0 + b_1\text{período}$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	1,001	1,001	2743,517	$1,784.10^{-66**}$
Resíduo	85	0,031	$3,649.10^{-4}$		
Total	86	1,032			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	-0,425	0,013	-34,031	$2,722.10^{-51}$	
$b_1$	0,303	0,006	52,379	$1,784.10^{-66**}$	
Área 3					
ANOVA: $\theta = b_0 + b_1\text{período}$					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	0,973	1,020	4252,012	$1,011.10^{-73**}$
Resíduo	84	0,019	$2,625.10^{-4}$		
Total	85	0,993			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-p	
$b_0$	-0,444	0,010	-43,609	$1,796.10^{-59}$	
$b_1$	0,311	0,005	65,207	$1,011.10^{-73**}$	

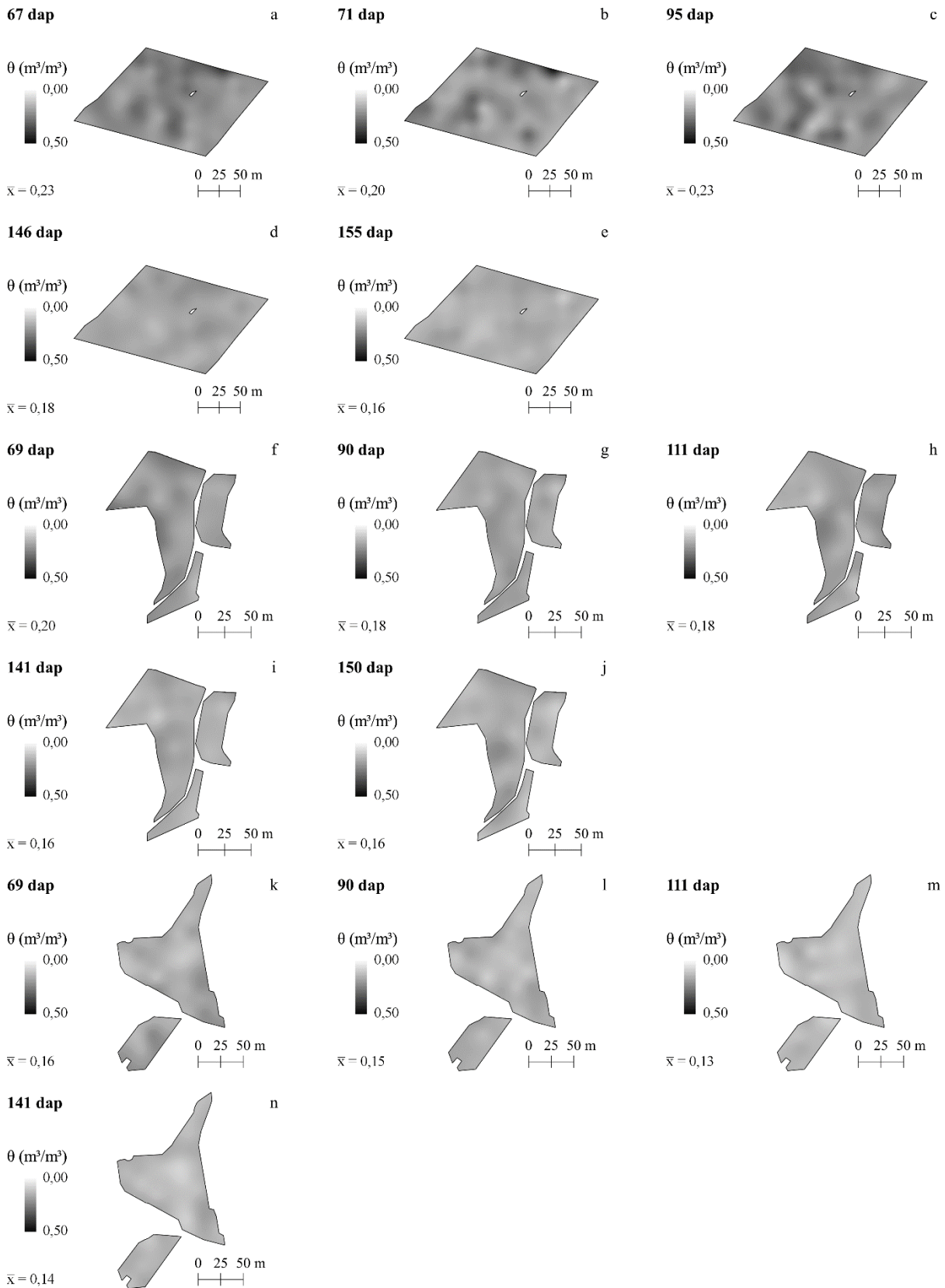
gl: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; MQ: quadrados médios; ns: não significativo; \*: significativo a 5% ( $\alpha = 0,05$ ); \*\*: significativo a 1% ( $\alpha = 0,01$ )

**Figura 61 - Umidade na camada superficial do solo medida em zonas de manejo delimitadas conforme o NDRE e NDVI**



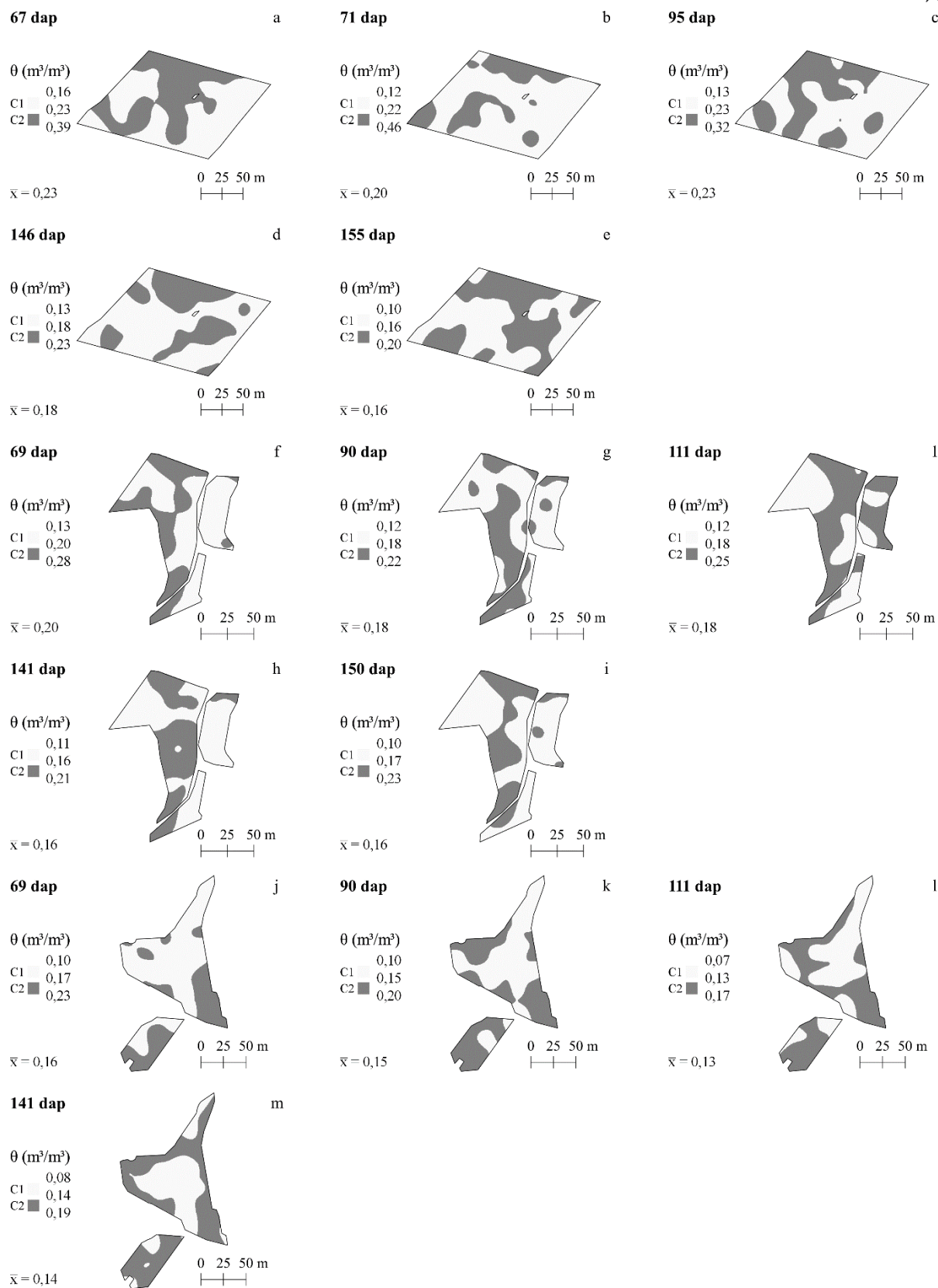
\*\* , \* , #: significância estatística ao nível de 1% ( $\alpha = 0,01$ ), 5% ( $\alpha = 0,05$ ) e 10% ( $\alpha = 0,10$ ), respectivamente; ns: não significativo.

**Figura 62 - Predição espacial da umidade da camada superficial do solo medida durante o ciclo de produção de 2019**

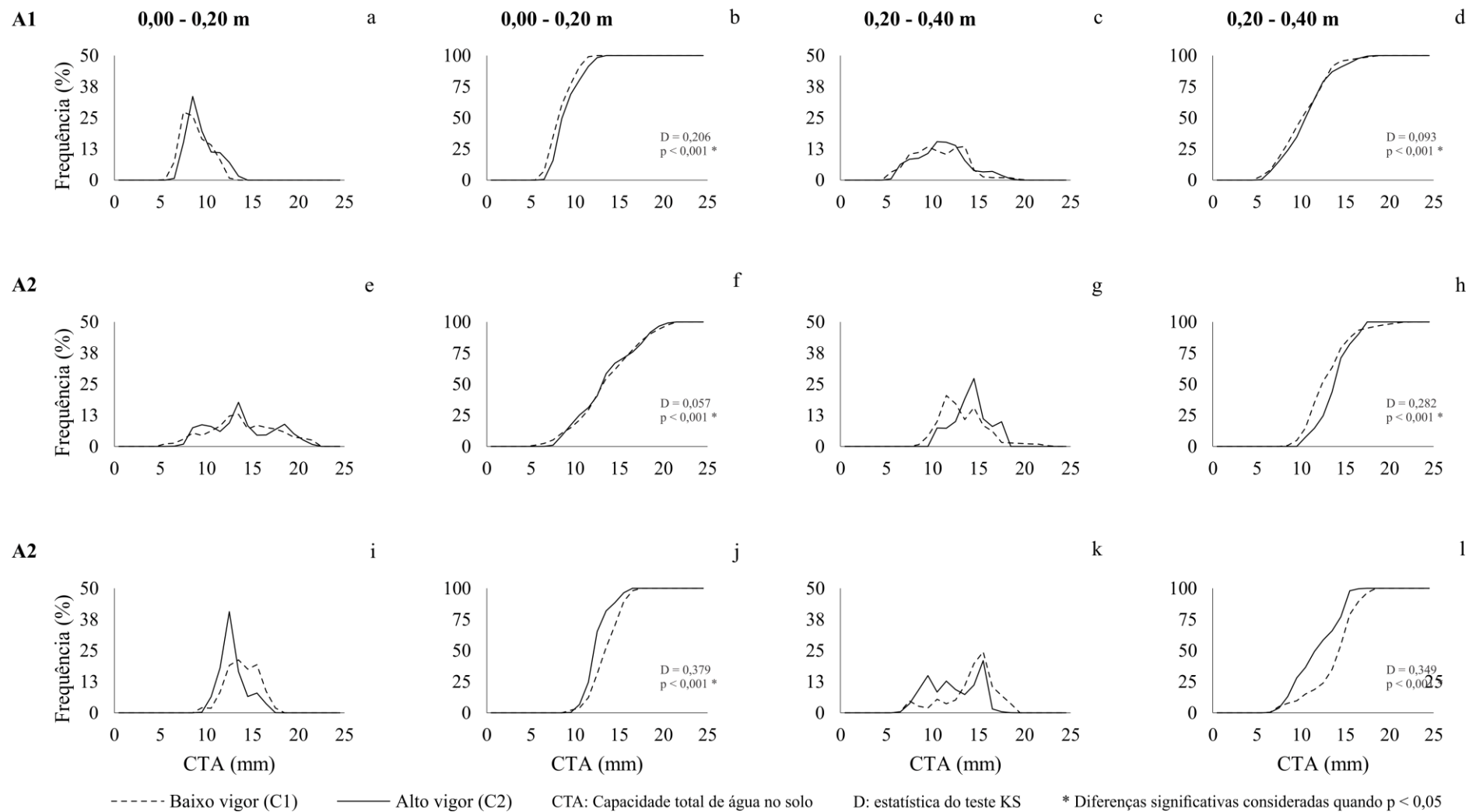




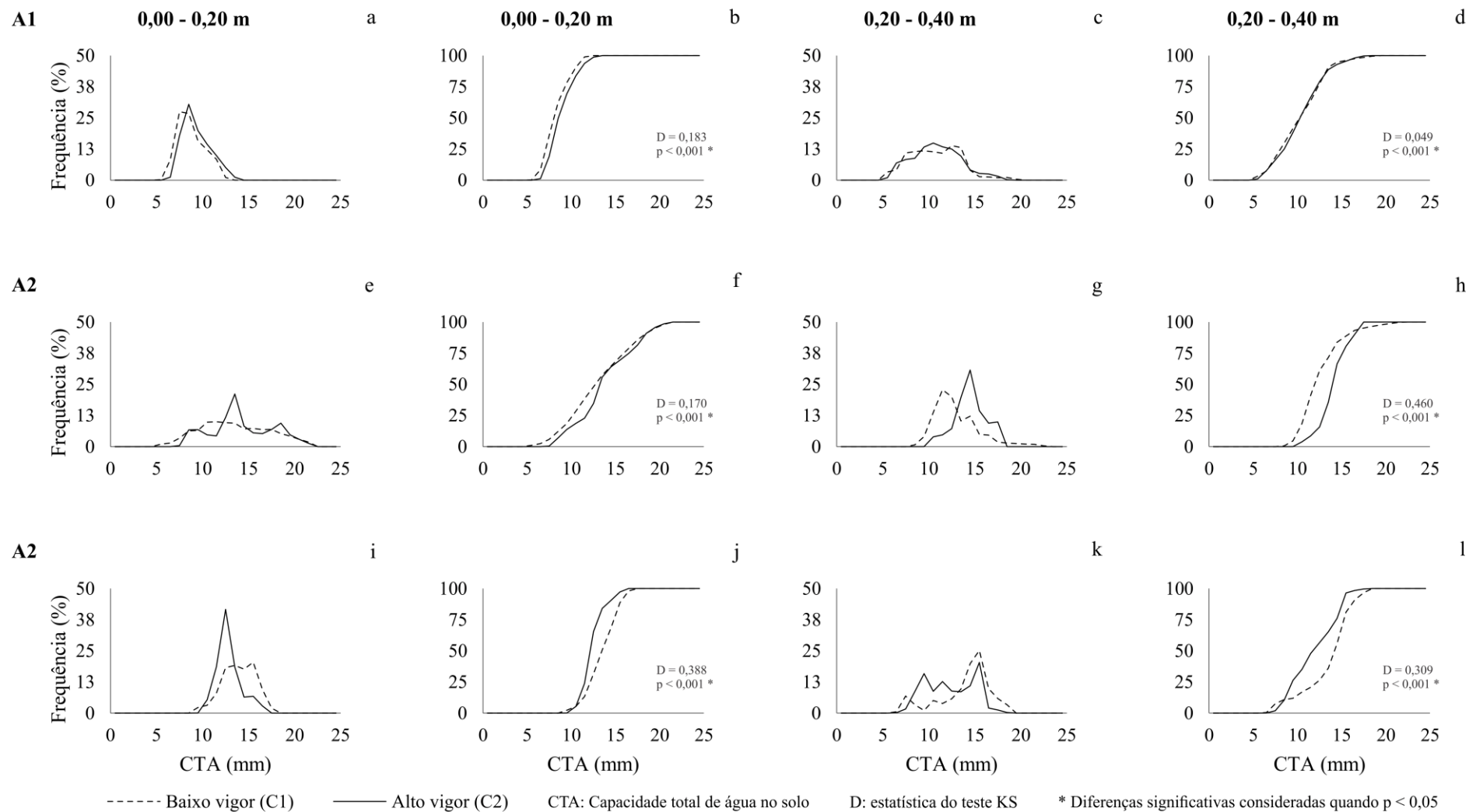
**Figura 63 - Predição espacial da umidade da camada superficial do solo medida durante o ciclo de produção de 2019 e agrupada em duas categorias**



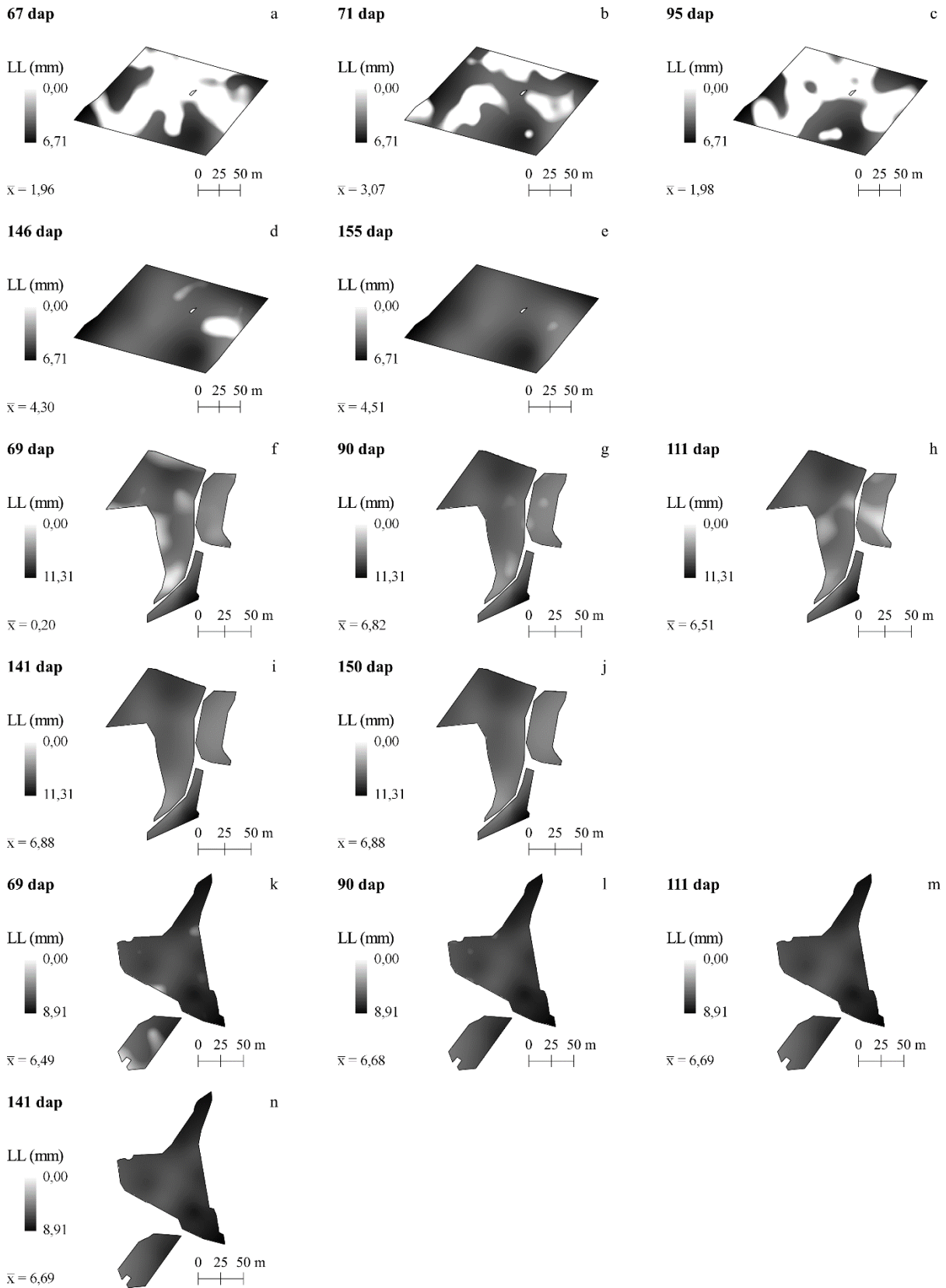
**Figura 64 - Polígonos de frequência relativa e acumulada correspondentes as estimativas da capacidade de armazenamento de água na camada superficial e subsuperficial do solo diferenciada segundo as zonas de manejo do vigor vegetativo delimitadas conforme o NDRE**



**Figura 65 - Polígonos de frequência relativa e acumulada correspondentes as estimativas da capacidade de armazenamento de água na camada superficial e subsuperficial do solo, diferenciada segundo as zonas de manejo do vigor vegetativo delimitadas conforme o NDVI**

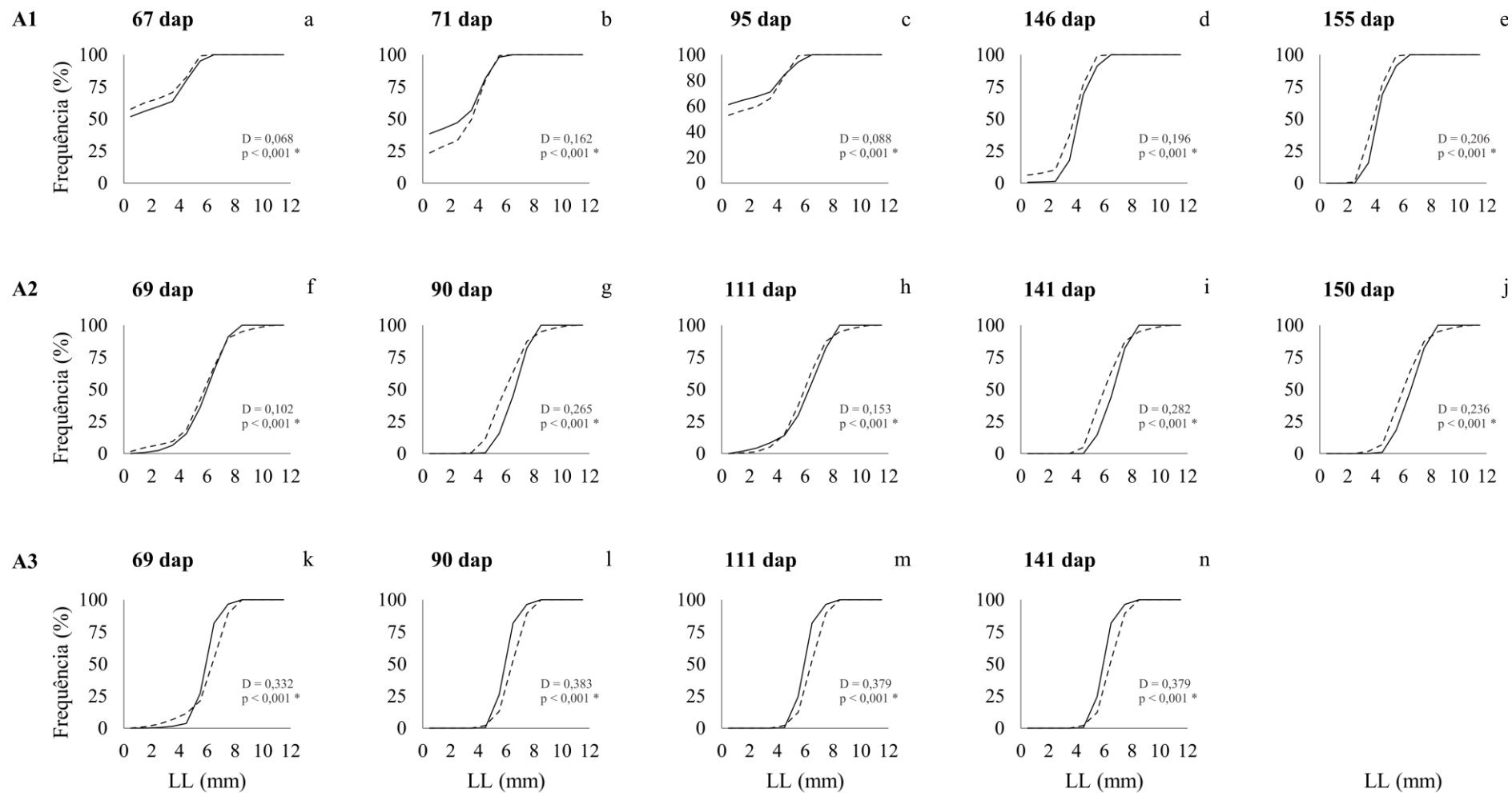


**Figura 66 - Predição espacial da lâmina líquida de irrigação requerida na camada superficial do solo, estipulada conforme estimativas da capacidade de armazenamento de água e da umidade do solo medida durante o ciclo de produção de 2019**



**Figura 67 - Polígonos de frequência acumulada correspondentes as estimativas da lâmina líquida de irrigação requerida na camada superficial do solo, diferenciada segundo as zonas de manejo do vigor vegetativo delimitadas conforme o**

**NDRE**

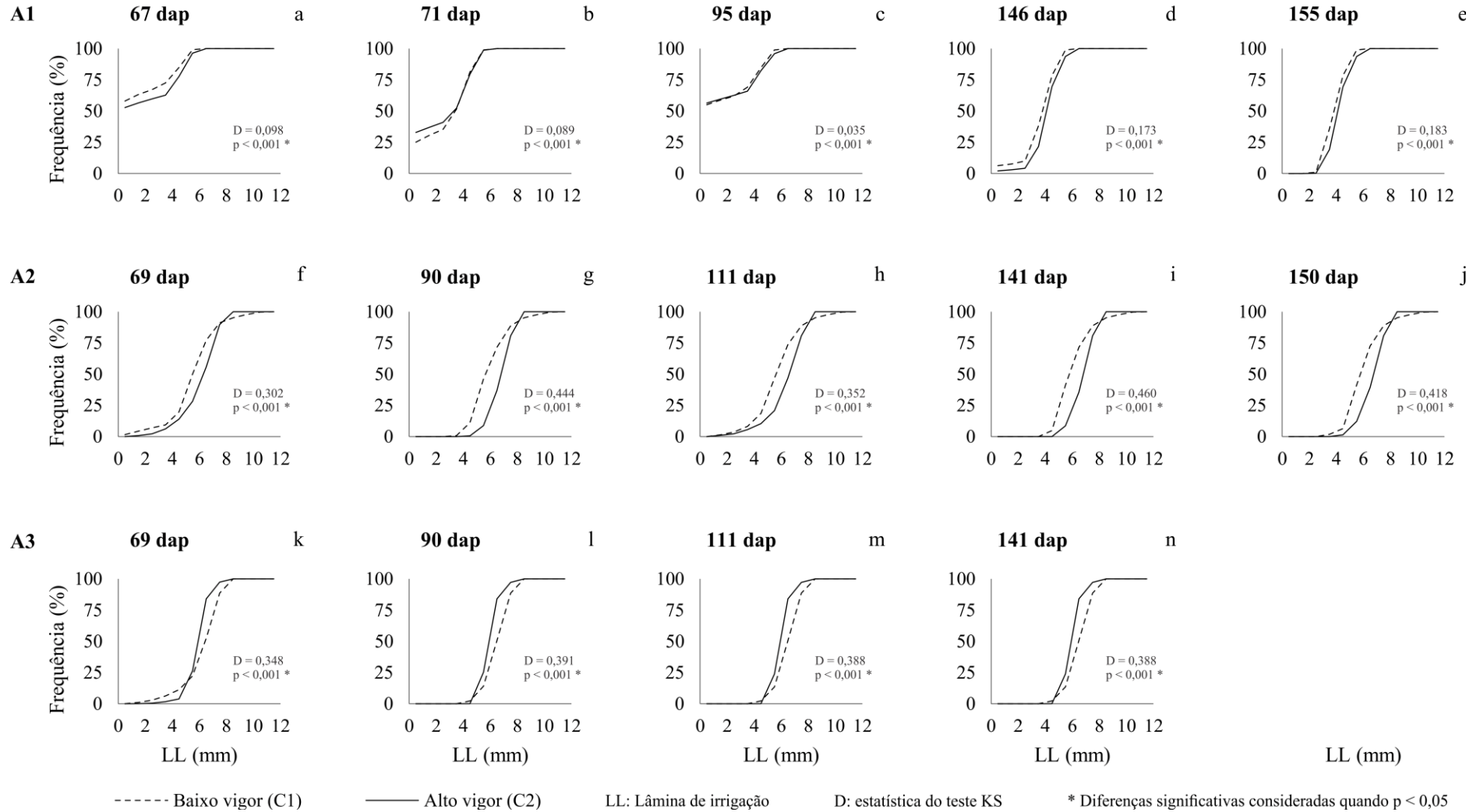


LL: Lâmina de irrigação

D: estatística do teste KS

\* Diferenças significativas consideradas quando  $p < 0,05$

**Figura 68 - Polígonos de frequência acumulada correspondentes as estimativas da lâmina líquida de irrigação requerida na camada superficial do solo, diferenciada segundo as zonas de manejo do vigor vegetativo delimitadas conforme o NDVI**



#### **4.10 Colheita seletiva e vinificação orientada em função das zonas homogêneas do vigor vegetativo estimado durante o início da maturação das bagas**

Na Tabela 27 estão dispostos os resultados quanto ao percentual da área ocupada pelas ZH em relação à área total de cada vinhedo (proporção do domínio), a produção e a produtividade correspondente aos ciclos de 2018 e 2019 das videiras cv. Cabernet Franc (A2) e Cabernet Sauvignon (A3). Os resultados da estatística descritiva referente aos aspectos da composição de bagas, conforme as regionalizações do vigor vegetativo definidas no ciclo de 2018, são descritos na Tabela 28. Por sua vez, na Figura 69 são apresentados os dendrogramas e os agrupamentos definidos segundo as características físico-químicas das amostras dos vinhos correspondentes as ZH do vigor vegetativo, delimitadas no ciclo de produção de 2018 nas áreas experimentais mencionadas (Figuras 35h e 35n).

Ambas as cultivares de videiras apresentaram diferenças interanuais no que se referiu a produção total. Desta forma, nos ciclos de 2018 e 2019, obteve-se uma produção de 3,95 e 3,51 Mg (A2) e 4,27 e 4,53 Mg (A3), respectivamente. Admitindo-se a mesma sequência dos ciclos produtivos mencionados, os resultados da produção corresponderam a uma produtividade de 4,81 e 4,28 Mg ha<sup>-1</sup> (A2) e 4,40 e 4,67 Mg ha<sup>-1</sup> (A3) e equivaleram a 1,20 e 1,07 kg planta<sup>-1</sup> (A2) e 1,10 e 1,17 kg planta<sup>-1</sup> (A3).

A produção respectiva as ZH delimitadas na área experimental A2 e A3 foi equivalente a área ocupada pelas mesmas (Tabela 27). Contudo, observou-se um padrão desproporcional da produção associada às videiras cv. Cabernet Franc de maior vigor no ciclo de 2019 em relação a área delimitada por essas. Isso ocorreu uma vez que, nos dois ciclos avaliados, a extensão das áreas experimentais tomada por plantas menos vigorosas superou aquela referente as plantas mais vigorosas (Tabela 27). Consequentemente, foram observadas implicações desses resultados na produtividade por unidade de área e por planta. Assim, as videiras cv. Cabernet Sauvignon apresentaram padrões mais estáveis quanto aos aspectos produtivos avaliados em ciclos subsequentes, em comparação com a cv. Cabernet Franc.

Conforme a análise de agrupamentos hierárquicos aglomerativos, foi possível discernir grupos distintos a partir da identificação da similaridade entre as amostras de vinhos correspondentes as ZH de menor e maior vigor vegetativo de ambas as cultivares, em termos dos atributos físico-químicos avaliados. Desta forma, todas as

amostras provenientes das videiras cv. Cabernet Franc representativas da categoria de baixo vigor foram agrupadas separadamente da maioria daquelas pertinentes às videiras de alto vigor (Figura 69a). Contudo, a diferenciação da qualidade dos vinhos foi observada de maneira mais evidente na comparação entre categorias de vigor das videiras cv. Cabernet Sauvignon. Neste sentido, todas as amostras de vinhos associados às videiras menos vigorosas demonstraram maior similaridade entre si e formaram agrupamentos distintos daqueles constituídos pelas amostras associadas às videiras mais vigorosas (Figura 69b). Logo, a colheita seletiva realizada de acordo com a caracterização da expressão vegetativa das cultivares de videiras avaliadas, inferida conforme as estimativas do NDVI feitas no período de início de maturação de bagas (BBCH 81), possibilitou a distinção de vinhos quanto a sua composição.

Os níveis de classificação dos atributos físico-químicos dos vinhos foram semelhantes na comparação entre as categorias de vigor vegetativo definidas para as videiras cv. Cabernet Franc, no que se referiu ao teor de álcool total (“elevado”; > 13,5% v/v), a acidez fixa (“baixo”;  $\leq 50 \text{ mEq L}^{-1}$ ), ao teor de açúcares redutores (“elevado”; > 3,0 g L<sup>-1</sup>), ao extrato seco reduzido (“médio-alto”; 25,1 a 30,0 g L<sup>-1</sup>), ao índice de polifenóis totais (“elevado”; > 45,0); ao pH (“elevado”; > 3,7), a intensidade total da cor (“elevado”; > 1000,0) e ao conteúdo de taninos totais (“elevado”; > 2,1 g L<sup>-1</sup>). Entretanto, as categorias de baixo e alto vigor diferiram entre si quanto ao nível de classificação da acidez volátil, denominado “baixo” (< 9,0 mEq L<sup>-1</sup>) e “moderado” (9,1 a 11,0 mEq L<sup>-1</sup>), respectivamente.

Apesar da semelhança quanto a classificação, foram observadas diferenças enológicas no que se referiu ao teor de pigmentos, ao índice de polifenóis totais e ao conteúdo de taninos totais, os quais foram maiores nos vinhos correspondentes as videiras menos vigorosas. Igualmente, diferenças enológicas verificadas no teor de álcool total dos vinhos indicaram um maior grau de maturação e potencial glucométrico das uvas provenientes de videiras cv. Cabernet Franc de menor vigor. Corroborando com esse resultado, destaca-se que diferenças significativas foram identificadas quanto ao teor médio de sólidos solúveis (°Brix) determinado no mosto de bagas provenientes das videiras localizadas em diferentes ZH (Tabela 28;  $p < 0,05$ ). Por sua vez, as mesmas ZH não diferiram entre si em relação aos demais aspectos da composição das bagas (Tabela 28;  $p > 0,05$ ).

Na avaliação da qualidade dos vinhos conforme as categorias de vigor vegetativo, as amostras pertinentes a cv. Cabernet Sauvignon apresentaram níveis



de classificação semelhante quanto a acidez fixa (“baixo”;  $\leq 50$  mEq L<sup>-1</sup>), ao teor de álcool total (“elevado”;  $> 13,5\%$  v/v), ao extrato seco reduzido (“médio-alto”; 25,1 a 30,0 g L<sup>-1</sup>), ao índice de polifenóis totais (“elevado”;  $> 45,0$ ); ao pH (“elevado”;  $> 3,7$ ), e ao conteúdo de taninos totais (“elevado”;  $> 2,1$  g L<sup>-1</sup>).

Entretanto, diferenças na classificação da acidez volátil foram identificadas, uma vez que os vinhos relacionados as ZH de baixo e alto vigor apresentaram nível de classificação “baixo” ( $< 9,0$  mEq L<sup>-1</sup>) e “elevado” (9,1 a 11,0 mEq L<sup>-1</sup>), respectivamente, quanto a esse atributo. As ZH também foram capazes de distinguir diferenças enológicas relacionadas a intensidade total da cor dos vinhos, cujo nível de classificação correspondente às categorias de baixo e alto vigor foi denominado “médio-alto” (700 a 1000) e “moderado” (400 a 700), nesta ordem. Da mesma forma, os vinhos de diferentes ZH apresentaram níveis de classificação distintos no que se referiu ao teor de açúcares redutores, qualificados como “médio-alto” (2,1 a 3,0 g L<sup>-1</sup>) e “elevado” ( $> 3,0$  g L<sup>-1</sup>), conforme as categorias de baixo e alto vigor vegetativo, respectivamente. Contudo, as ZH definidas para a cv. Cabernet Sauvignon (A3) não apresentaram diferenças significativas entre si em relação aos aspectos de composição de bagas (Tabela 28;  $p > 0,05$ ).

**Tabela 27 - Indicadores da produção referentes as zonas homogêneas do vigor, delimitadas conforme o NDVI estimado durante o início de maturação de bagas nos ciclos de produção de 2018 e 2019 na área A2 e A3**

Vintage	Cabernet Franc – Área A2		Cabernet Sauvignon – Área A3	
	C1UC2	C3	C1UC2	C3
	Proporção do domínio ocupado (%)			
2018	55,94	44,06	59,39	40,61
2019	53,56	46,44	64,36	35,64
	Produção (kg)			
2018	2211.40	1734.80	2628.40	1645.60
2019	1025.60	2486.60	2839.00	1688.60
	Proporção da produção total (%)			
2018	56,04	43,96	61,50	38,50
2019	29,09	70,80	62,70	37,30
	Produtividade (kg planta <sup>-1</sup> )			
2018	1,20	1,20	1,14	1,04
2019	0,58	1,63	1,14	1,22
	Produtividade Mg ha <sup>-1</sup> )			
2018	4,82	4,80	4,56	4,18
2019	2,33	6,53	4,55	4,88

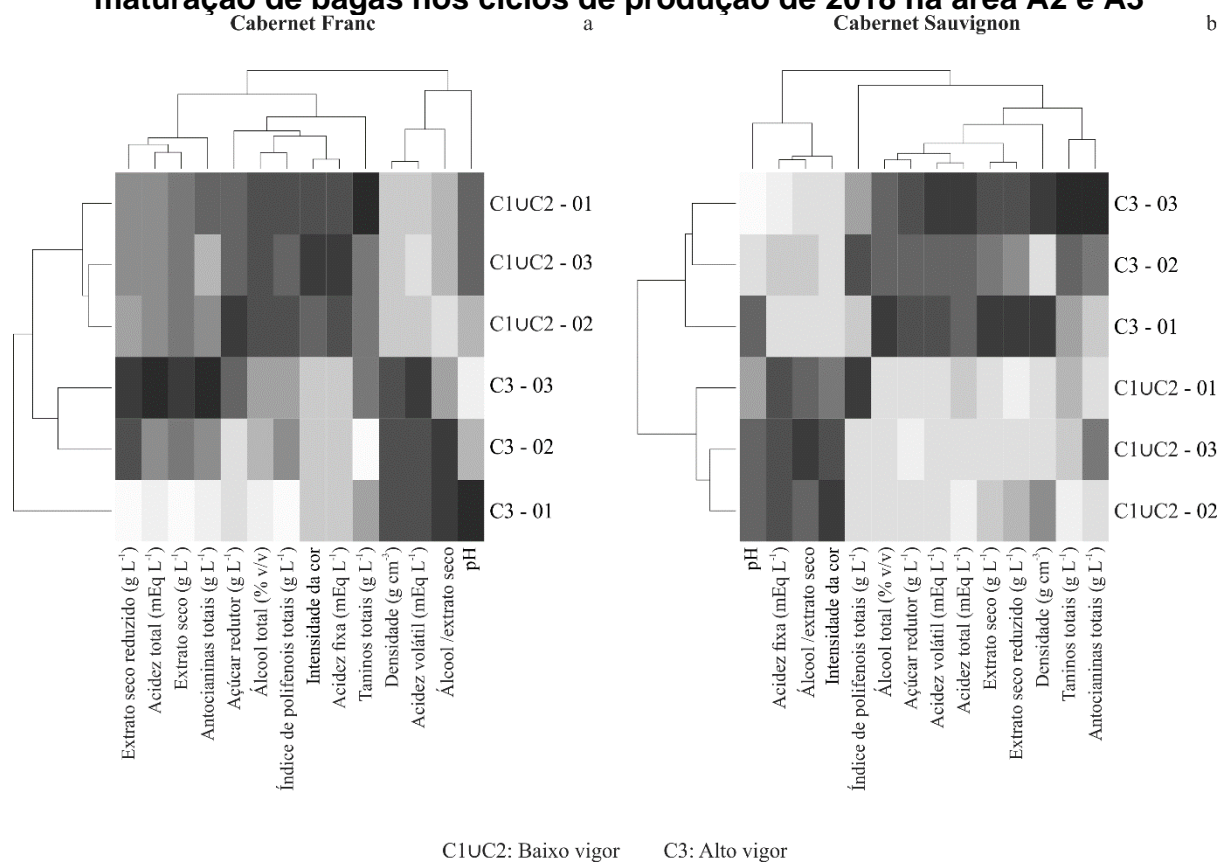
C1UC2: baixo vigor; C3: alto vigor

**Tabela 28 - Indicadores da composição de bagas correspondentes as zonas homogêneas do vigor vegetativo, delimitadas conforme o NDVI estimado durante o *veraison* no ciclo de produção de 2018 na área A2 e A3**

ZH	x	sd	se	IQR	cv	cs	ck	Quantis					n
								0%	25%	50%	75%	100%	
<b>Cabernet Franc – Área A2</b>													
Ácido málico (g L <sup>-1</sup> )													
C1UC2	2,88 a	0,30	0,12	0,31	0,10	0,23	-0,15	2,47	2,73	2,86	3,04	3,33	6
C3	2,83 a	0,25	0,10	0,25	0,09	0,29	0,06	2,49	2,70	2,81	2,95	3,20	6
°Brix													
C1UC2	27,27 a	0,36	0,15	0,40	0,01	-0,43	-0,04	26,70	27,13	27,25	27,53	27,70	6
C3	26,67 b	0,16	0,07	0,20	0,01	-0,86	-0,30	26,40	26,60	26,70	26,80	26,80	6
pH													
C1UC2	3,29 a	0,04	0,01	0,04	0,01	0,46	-0,51	3,24	3,26	3,28	3,31	3,34	6
C3	3,31 a	0,04	0,02	0,06	0,01	0,33	-1,64	3,26	3,28	3,30	3,34	3,36	6
<b>Cabernet Sauvignon – Área A3</b>													
Ácido málico (g L <sup>-1</sup> )													
C1UC2	3,57 a	0,37	0,15	0,38	0,10	-1,44	1,55	2,91	3,45	3,72	3,83	3,87	6
C3	3,77 a	0,18	0,07	0,05	0,05	-0,64	2,44	3,46	3,76	3,80	3,80	4,03	6
°Brix													
C1UC2	27,20 a	0,59	0,24	0,35	0,02	0,69	1,74	26,40	27,00	27,10	27,35	28,20	6
C3	26,90 a	0,66	0,27	0,80	0,02	-0,43	-0,70	25,90	26,55	26,95	27,35	27,70	6
pH													
C1UC2	3,44 a	0,07	0,03	0,03	0,02	2,16	4,79	3,39	3,40	3,41	3,43	3,58	6
C3	3,40 a	0,04	0,02	0,05	0,01	-1,15	0,72	3,33	3,39	3,42	3,43	3,44	6

C1UC2: baixo vigor; C3: alto vigor; x: média; sd: desvio padrão; se: erro padrão da média; IQR: amplitude interquartil; CV: coeficiente de variação; cs: assimetria; ck: curtose; n: número de observações; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, conforme o teste t de Student ou t modificado de Welch, assumindo-se o nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

**Figura 69 - Agrupamento das amostras de vinhos correspondentes as zonas de manejo delimitadas conforme o NDVI estimado durante o início de maturação de bagas nos ciclos de produção de 2018 na área A2 e A3**



## 5 CONCLUSÕES

Vinhedos implantados em um mesmo local podem apresentar uniformidade quanto a granulometria e, proporcionalmente, a disponibilidade de água ao longo do perfil do solo. A mesma estabilidade pode ser evidenciada no que diz respeito às condições mesoclimáticas, sobretudo ao se considerar as características particulares do período anterior e posterior ao veraison, determinadas pelo manejo de dupla poda empregado. Desta forma, a ação antrópica sobre os vinhedos assumiu importância notória na caracterização da viticultura desenvolvida nas condições avaliadas, pois permitiu a convergência entre o período posterior ao início de maturação das bagas e a ocorrência de condições climáticas favoráveis à obtenção de vinhos finos. A uniformidade dos parâmetros mesoclimáticos locais também foi evidenciada pela dinâmica do armazenamento de água no solo, que revelou a ocorrência de déficit hídrico apenas nos intervalos entre fases fenológicas avançadas do ciclo de produção, em razão do padrão regional característico quanto à ocorrência de chuvas. Contudo, a despeito da regularidade das condições ambientais, a duração dos ciclos de produção das videiras implantadas em um mesmo local pode ser variável conforme as características de maturação inerentes a cada cultivar.

O monitoramento das condições edafoclimáticas mencionadas propiciou uma caracterização pormenorizada dos componentes que contribuem para a definição do terroir local. Por esta razão, tal representação pode ser de maior relevância para a gestão detalhada dos vinhedos, especialmente para adoção de práticas de AP, em detrimento das caracterizações regionais mais abrangentes.

O cultivo de variedades vigorosas associado a estabilidade do sistema radicular das plantas, inferida pela idade dos vinhedos, contribuiu para o elevado índice de área foliar associado a estabilidade da densidade do dossel das videiras, identificada no período entre os estádios fenológicos de desenvolvimento e maturação de bagas. Essa estabilidade foi demonstrada pela similaridade entre predições espaciais e pela tendência negativa, porém não significativa, predominante na representação da variação espaço-temporal do vigor vegetativo dos vinhedos. Contudo, a época de monitoramento da reflectância ( $\rho$ ) do dossel das videiras influenciou a detecção da homogeneidade do seu vigor, em função da maior variação das estimativas dos IV ter sido identificada durante as fases de cacho fechado (BBCH 79) e amolecimento de bagas (BBCH 85). Neste contexto, o NDRE foi considerado mais sensível para

detecção da variabilidade do desenvolvimento vegetativo das videiras nas fases mais avançadas do seu ciclo de produção, uma vez que o NDVI demonstrou efeito de saturação em resposta ao adensamento da copa das plantas, que promoveu maior  $\rho$  do comprimento de onda correspondente ao vermelho ( $\rho_R$ ,  $\lambda = 670$  nm) e menor  $\rho$  no infravermelho próximo ( $\rho_{NIR}$ ,  $\lambda = 780$  nm).

Apesar da correspondência entre predições espaciais e entre categorias do vigor vegetativo definidas pelos IV adotados, a análise da dependência espacial deste parâmetro se constitui em uma alternativa viável para caracterização dos vinhedos. Isso ocorreu uma vez que foi possível a delimitação de ZM do vigor vegetativo e a sua diferenciação conforme atributos referentes a expressão vegetativa das videiras, ao conteúdo de água nas folhas, ao desempenho produtivo e à composição de bagas na colheita. A diferenciação de ZM do vigor vegetativo quanto ao conteúdo de água na camada superficial do solo foi menos evidente. Entretanto, as regionalizações do vigor vegetativo podem ser adotadas para distinguir os vinhedos quanto as estimativas da capacidade de armazenamento de água e a lâmina líquida de irrigação requerida na camada superficial do solo. Além disso, a delimitação de ZH do NDVI na fase fenológica de início de maturação de bagas (BBCH 81) pode ser adotada para diferenciação do vigor vegetativo das videiras para fins de colheita seletiva de cachos, uma vez que esse manejo pode resultar na obtenção de vinhos qualitativamente distintos.



## REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998. 300p.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil?af=crossref#html](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref#html). Acesso em: set. 2020.

ARNÓ, J. et al. MARTINEZ-CASANOVA, J.A.; RIBES-DASI, M.; ROSELL, J.R. Review. Precision Viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v.7, n.4, p.779-790, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2009074-1092>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/275831985\\_Review\\_Precision\\_Viticulture\\_Research\\_topics\\_challenges\\_and\\_opportunities\\_in\\_site-specific\\_vineyard\\_management](https://www.researchgate.net/publication/275831985_Review_Precision_Viticulture_Research_topics_challenges_and_opportunities_in_site-specific_vineyard_management). Acesso em: ago. 2020.

ARNÓ, J; MARTINEZ-CASANOVA, J.A. Assessing opportunities for selective winery vintage with a market-driven composite index. **Cogent Food & Agriculture**, v.3, p.1-15, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2017.1386438>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/320190320\\_Assessing\\_opportunities\\_for\\_selective\\_winery\\_vintage\\_with\\_a\\_market-driven\\_composite\\_index](https://www.researchgate.net/publication/320190320_Assessing_opportunities_for_selective_winery_vintage_with_a_market-driven_composite_index). Acesso em: ago. 2020.

BANGDIWALA, S.I. A Graphical test for observer agreement. **International Statistical Institute**, p.307-308, 1985. Proceedings of the 45th international statistical institute meeting, Amsterdam.

BANGDIWALA, S.I., SHANKAR, V. The agreement chart. **Medical Research Methodology**, [s. l.], v. 13, n. 97, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2288-13-97>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3733724/>. Acesso em: set. 2020.

BARBIERI JÚNIOR, E.; ROSSIELLO, R.O.P.; SILVA, R.V.M.M.; RIBEIRO, R.C.; MORENZ, M.J.F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000109>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782012001200022&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001200022&lng=en&nrm=iso). Acesso em: set. 2020.

BARLROW, M.L. **Soil-grapevine interactions: insight from Verdicchio in the Marche wine region, Italy**. 2017. 100f. Thesis (Master of Sciences in Geosciences) - University of Wisconsin Milwaukee.

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: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000200024>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162003000200024&lng=en&nrm=isso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162003000200024&lng=en&nrm=isso). Acesso em: set. 2020.

BASSOI, L.H.; CORREIA, J.S.; SANTOS, A.R.L.; SILVA, J.A.; COSTA, B.R.S. Deficit irrigation in grapevine cv. Syrah during two growing seasons in the Brazilian semiarid. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 430-441, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p430-441/2015>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162015000300430&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162015000300430&lng=en&nrm=iso). Acesso em: out. 2020.

BERNARDI, A.C. de C.; GREGO, C.R.; ANDRADE, R.G.; RABELLO, L.M.; INAMASU, R.Y. Spatial variability of vegetation index and soil properties in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 8, p. 513-518, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n8p513-518>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662017000800513&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662017000800513&lng=en&nrm=iso). Acesso em: out. 2020.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Água no solo. In: \_\_\_\_\_. **Manual de irrigação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2009, p.15-44.

BEST, S., LEÓN, L., CLARET, M. Use of precision viticulture tools to optimize the harvest of high-quality grapes, 2005, Montpellier. **Proceedings...** Fruits and nuts and vegetable production engineering TIC Conference, 2005, p.249-258.

BONILLA, I.; MARTÍNEZ DE TODA, F.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. Unexpected grape anthocyanins synthesis response to vine vigor in warm climate conditions. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v. 49, p. 127-136, 2015. DOI: <https://doi.org/10.20870/oenone.2015.49.2.87>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/280553411\\_Unexpected\\_relationships\\_between\\_vine\\_vigor\\_and\\_grape\\_composition\\_in\\_warm\\_climate\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/280553411_Unexpected_relationships_between_vine_vigor_and_grape_composition_in_warm_climate_conditions). Acesso em: out. 2020.

BORGOGNO-MONDINO, E.; LESSIO, A.; TARRICONE, L.; NOVELLO, V.; PALME, L. A comparison between multispectral aerial and satellite imagery in precision viticulture. **Precision Agriculture**, [s. l.], v.19, p.195-217, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9510-0>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/315649548\\_A\\_comparison\\_between\\_multispectral\\_aerial\\_and\\_satellite\\_imagery\\_in\\_precision\\_viticulture](https://www.researchgate.net/publication/315649548_A_comparison_between_multispectral_aerial_and_satellite_imagery_in_precision_viticulture). Acesso em: set. 2020.

BRAMLEY, R.G.V.; PROFFITT, T. Managing variability in viticultural production. **The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker**, Adelaide, v. 427, p. 11-16, 1999.

BRILLANTE, L.; MATHIEU, O.; BOIS, B.; VAN LEEUWEN, C.; LÉVÊQUE, J. The use of soil electrical resistivity to monitor plant and soil water relationships in vineyards. **Soil**, Göttingen, v. 1, p. 273-286, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil->



1-273-2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/273636648\\_The\\_use\\_of\\_soil\\_electrical\\_resistivity\\_to\\_monitor\\_plant\\_and\\_soil\\_water\\_relationships\\_in\\_vineyards](https://www.researchgate.net/publication/273636648_The_use_of_soil_electrical_resistivity_to_monitor_plant_and_soil_water_relationships_in_vineyards). Acesso em: out. 2020.

BUSCHMAN, C.; NAGEL, E. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 711-722, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431169308904370> Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431169308904370>: Acesso em: out. 2020.

CAMARGO, U.A.; TONIETTO, J.; HOFFMANN, A. Progressos na viticultura brasileira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 144-149, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500017>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452011000500017](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452011000500017). Acesso em: ago. 2020.

CAMMARANO, D.; FITZGERALD, G.J.; CASA, R.; BASSO, B. Assessing the robustness of vegetation indices to estimate wheat N in Mediterranean environments. **Remote Sensing**, Basel, v. 6, n. 4, p. 2827-2844, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6042827>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/6/4/2827>. Acesso em: out. 2020.

CAPPELIEZ, S. How well does terroir travel? Illuminating cultural translation using a comparative wine case study. **Poetics**, [s. l.], v. 65, p. 24-36, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.poetic.2017.10.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304422X1730013X>. Acesso em: set. 2020.

CAREY, V.A.; ARCHER, E.; BARBEAU, G.; SAAYMAN, D. Viticultural terroirs in Stellenbosch, South Africa. III. Spatialization of viticultural and oenological potential for Cabernet-Sauvignon and Sauvignon Blanc by means of a preliminary model. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v. 43, n. 1, p. 1-12, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237476694\\_Viticultural\\_Terroirs\\_in\\_Stellenbosch\\_South\\_Africa\\_III\\_Spatialisation\\_of\\_Viticultural\\_and\\_Oenological\\_Potential\\_for\\_Cabernet-Sauvignon\\_and\\_Sauvignon\\_Blanc\\_by\\_Means\\_of\\_a\\_Preliminary\\_Model](https://www.researchgate.net/publication/237476694_Viticultural_Terroirs_in_Stellenbosch_South_Africa_III_Spatialisation_of_Viticultural_and_Oenological_Potential_for_Cabernet-Sauvignon_and_Sauvignon_Blanc_by_Means_of_a_Preliminary_Model). Acesso em: ago. 2020.

CASTRO, A.I.; JIMÉNEZ-BRENES, F.M.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; PEÑA, J.M.; BORRA-SERRANO, I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. 3-D characterization of vineyards using a novel UAV imagery-based OBIA procedure for precision viticulture applications. **Remoting Sensing**, Basel, v. 10, n. 584, 16p, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10040584>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/4/584>. Acesso em: set. 2020.

CHAVES, M.M.; ZARROUK, O.; FRANCISCO, R.; COSTA, J.M.; SANTOS, T.; REGALADO, A.P.; RODRIGUES, M.L.; LOPES, C.M. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. **Annals of Botany**, [s. l.], v. 105, p.661-676, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcq030>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/42344930\\_Grapevine\\_under\\_deficit\\_irrigation\\_hints\\_from\\_physiological\\_and\\_molecular\\_data](https://www.researchgate.net/publication/42344930_Grapevine_under_deficit_irrigation_hints_from_physiological_and_molecular_data). Acesso em: out. 2020.

COHEN, J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Psychological Measurement**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960. DOI: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/001316446002000104>. Acesso em: set. 2020.

COHEN, S.D.; TARARA, J.M.; GAMBETTA, G.A.; MATTHEWS, M.A.; KENNEDY, J.A. Impact of diurnal temperature variation on grape berry development, proanthocyanidin accumulation, and the expression of flavonoid pathway genes. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 63, n. 7, p. 2655–2665, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/err449>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22268158/>. Acesso em: out. 2020.

CÓRDOBA, M.A.; BRUNO, C.I.; COSTA, J.L. PERALTA, N.R.; BALZARINI, M.G. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. **Biosystem Engineering**, [s. l.], v. 143, p.95-107, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.12.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S153751101530204X>. Acesso em: ago. 2020.

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

COSTA, N.H.A.D.; SERAPHIN, J.C.; ZIMMERMAN, F.J.P. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 243-249, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000300003>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2002000300003&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2002000300003&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: set. 2020.

CZERMAINSKI, A.B.C.; SÔNEGO, O.R. Influência das condições climáticas sobre a eficácia de fungicidas empregados para o controle do míldio em *Vitis vinifera*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 5-11, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000100002>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782004000100002](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782004000100002). Acesso em: out. 2020.

DALLA MARTA, A.; GRIFONI, D.; MANCINI, M.; STORCHI, P.; ZIPOLI, G.; ORLANDINI, S. Analysis of the relationships between climate variability and grapevine phenology in the Nobile di Montepulciano wine production area. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 148, n. 6, p. 657-666, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859610000432>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/231898946\\_Analysis\\_of\\_the\\_relationships\\_between\\_climate\\_variability\\_and\\_grapevine\\_phenology\\_in\\_the\\_Nobile\\_di\\_Montepulciano\\_wine\\_production\\_area](https://www.researchgate.net/publication/231898946_Analysis_of_the_relationships_between_climate_variability_and_grapevine_phenology_in_the_Nobile_di_Montepulciano_wine_production_area). Acesso em: out. 2020.

DANSON, F.M., STEVEN, M.D., MALTHUS, T.J., CLARK, J.A. High-spectral resolution data for determining leaf water content. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 461-470, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431169208904049>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431169208904049>. Acesso em: set. 2020.

DOBROWSKI, S.Z.; USTIN, S.L.; WOLPERT, J.A. Grapevine dormant pruning weight prediction using remotely sensed data. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 177–182, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2003.tb00267.x>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/230228785\\_Grapevine\\_dormant\\_pruning\\_weight\\_prediction\\_using\\_remotely\\_sensed\\_data](https://www.researchgate.net/publication/230228785_Grapevine_dormant_pruning_weight_prediction_using_remotely_sensed_data). Acesso em: set. 2020.

DRY, P.R., LOVEYS, B.R. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 140-148, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1998.tb00143.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1755-0238.1998.tb00143.x>. Acesso em: out. 2020.

ECHEVERRÍA, G.; FERRER, M.; MIRÁS-AVALOS, J.M. Effects of soil type on vineyard performance and berry composition in the Río de la Plata Coast (Uruguay). **OENO One**, Bordeaux, v. 51, n. 3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.2.1829>. Disponível em: <https://oeno-one.eu/article/view/1829>. Acesso em: out. 2020.

EL-SALHY, A.M.; MOSTAFA, R.A.A.; AHMED-ROQIA, B.; ALI, H.A.M. Responses of some grapevine rootstocks to long-term salinity and drought stress conditions. **Middle East Journal of Agriculture Research**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 479-490, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/337200060\\_Responses\\_of\\_some\\_grapevine\\_rootstocks\\_to\\_long-term\\_salinity\\_and\\_drought\\_stress\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/337200060_Responses_of_some_grapevine_rootstocks_to_long-term_salinity_and_drought_stress_conditions). Acesso em: out. 2020.

FAVERO, A.C.; AMORIM, D.A.; MOTA, R.V.; SOARES, A.M.; REGINA, M.A. Viabilidade de produção da videira 'Syrah', em ciclo de outono inverno, na região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 685-690, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452008000300021>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452008000300021&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452008000300021&lng=en&nrm=iso). Acesso em: out. 2020.

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: Journal of Grapevine Research**, Siebeldingen, v. 50, n. 4, p. 151-158, 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/283857813\\_Double-pruning\\_of\\_'Syrah'\\_grapevines\\_A\\_management\\_strategy\\_to\\_harvest\\_wine\\_grapes\\_during\\_the\\_winter\\_in\\_the\\_Brazilian\\_Southeast](https://www.researchgate.net/publication/283857813_Double-pruning_of_'Syrah'_grapevines_A_management_strategy_to_harvest_wine_grapes_during_the_winter_in_the_Brazilian_Southeast). Acesso em: out. 2020.

FENG, W.; QI, S.; HENG, Y.; ZHOU, Y.; WU, Y.; LIU, W.; HE, L.; LI, X. Canopy vegetation indices from in situ hyperspectral data to assess plant water status of winter wheat under powdery mildew stress. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 8, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.01219>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5507954/>. Acesso em: out. 2020.

FERNÁNDEZ-MARÍN, M.I., GUERRERO, R.F., GARCÍA-PARRILLA, M., PUERTAS, B., RAMÍREZ, P., CANTOS-VILLAR, E. Terroir and variety: Two key factors for obtaining stilbene-enriched grapes. **Journal of Food Composition and Analysis**,

[s. l.] v. 31, n. 2, p. 191–198, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.05.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157513000720>. Acesso em: ago. 2020.

FERRER, M.; ECHEVERRÍA, G.; PEREYRA, G.; GONZALEZ-NEVES, G.; PAN, D.; MIRÁS-AVALOS, J.M. Mapping vineyard vigor using airborne remote sensing: relations with yield, berry composition and sanitary status under humid climate conditions. **Precision Agriculture**, [s. l.], v. 21, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09663-9>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/332654306\\_Mapping\\_vineyard\\_vigor\\_using\\_airborne\\_remote\\_sensing\\_relations\\_with\\_yield\\_berry\\_composition\\_and\\_sanitary\\_status\\_under\\_humid\\_climate\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/332654306_Mapping_vineyard_vigor_using_airborne_remote_sensing_relations_with_yield_berry_composition_and_sanitary_status_under_humid_climate_conditions). Acesso em: out. 2020.

FILIPPETTI, I.; ALLEGRO, G.; VALENTINI, G.; PASTORE, C.; COLUCCI, E.; INTRIERI, C. Influence of vigour on vine performance and berry composition of cv. Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v. 47, n. 1, p. 21-33, 2013. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2013.47.1.1534>. Disponível em: <https://oeno-one.eu/article/view/1534>. Acesso em: out. 2020.

FORONI, F.; VIGNANDO, M.; AIELLO, M.; PARMA, V.; PAOLETTI, M.G.; SQUARTINI, A.; RUMIATI, R.I. The smell of terroir! Olfactory discrimination between wines of different grape variety and different terroir. **Food Quality and Preference**, [s. l.], v. 58, p. 18-23, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.12.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950329316302713>. Acesso em: ago. 2020.

FREDLUND, D.G.; XING, A. Equations for the soil-water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**, Ottawa, v. 31, n. 4, p. 521-532, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1139/t94-061>. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/t94-061>. Acesso em: set. 2020.

FREDLUND, M.D.; FREDLUND, D.G.; WILSON, G.W. An equation to represent grain-size distribution. **Canadian Geotechnical Journal**, Ottawa, v. 37, n. 4, p. 817-827, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1139/t00-015>. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/t00-015>. Acesso em: set. 2020.

GAIOTTI, F.; PASTORE, C.; FILIPPETTI, I.; LOVAT, L.; BELFIORE, N.; TOMASI, D. Low night temperature at veraison enhances the accumulation of anthocyanins in Corvina grapes (*Vitis vinifera* L.). **Scientific Reports**, [s. l.], v. 8, 2018. DOI: [10.1038/s41598-018-26921-4](https://doi.org/10.1038/s41598-018-26921-4), Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-26921-4>. Acesso em: out. 2020.

GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral Properties of Plants. **Applied Optics**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 11-20, 1965. DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.4.000011>. Disponível em: <https://www.osapublishing.org/ao/fulltext.cfm?uri=ao-4-1-11&id=13623>. Acesso em: out. 2020.

GITELSON, A.A. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 161,

p. 165-173, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01176>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0176161704705726>. Acesso em: out. 2020.

GLADSTONES, J. Temperature: the driving force. In: \_\_\_\_\_. **Wine, terroir and climate change**. Kent Town: Wakefield Press, 2011, p.5-26.

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**, Madison, v. 106, n. 4, p. 1309–1316, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj13.0422>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj13.0422>. Acesso em: out. 2020.

GOUOT, J.C.; SMITH, J.P.; HOLZAPFEL, B.P.; BARRIL, C. Grape berry flavonoid responses to high bunch temperatures post veraison: effect of intensity and duration of exposure. **Molecules**, [s. l.], v. 24, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24234341>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/23/4341>. Acesso em: out. 2020.

GREER, D.H.; WEEDON, M.M. Temperature-dependent responses of the berry developmental processes of three grapevine (*Vitis vinifera*) cultivars. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 233-246, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/01140671.2014.894921>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01140671.2014.894921>. Acesso em: out. 2020.

GREER, D.H.; WEEDON, M.M. The impact of high temperatures on *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevine performance and berry ripening. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v.4, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00491>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3848316/>. Acesso em: out. 2020.

HAAS, T.C. Kriging and automated variogram modeling within a moving window. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, [s. l.], v. 24, n. 7, p. 1759-1769, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(90\)90508-K](https://doi.org/10.1016/0960-1686(90)90508-K). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/096016869090508K>. Acesso em: set. 2020.

HAKALA, T.; MARKELIN, L.; HONKAVAARA, E.; SCOTT, B.; THEOCHAROUS, T.; NEVALAINEN, O.; NÄSI, R.; SUOMALAINEN, J.; VILJANEN, N.; GREENWELL, C.; FOX, N. Direct Reflectance Measurements from Drones: Sensor Absolute. Radiometric Calibration and System Tests for Forest Reflectance Characterization. **Sensors**, [s. l.], v. 18, n. 5, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18051417>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/5/1417>. Acesso em: ago. 2020.

HAMADA, E.; GHINI, R.; ROSSI, P.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; FERNANDES, J.L. Climatic risk of grape downy mildew (*Plasmopara viticola*) for the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 60-64, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000700010>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162008000700010](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162008000700010) Acesso em: ago. 2020.

HENDRICKSON, L.; BALL, M.C.; WOOD, J.T.; CHOW, W.S.; FURBANK, R.T. Low temperature effects on photosynthesis and growth of grapevine. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken, v. 27, p. 795–809, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01184.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-3040.2004.01184.x>. Acesso em: out. 2020.

HORLER, D.N.H.; DOCKRAY, M.; J. BARBER, J. The red edge of plant leaf reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 273-288, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431168308948546>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431168308948546>. Acesso em: out. 2020.

HUETE A.R. A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442578890106X>. Acesso em: out. 2020.

HUGLIN, P. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole, 1978, Contança. **Proceedings...** Symposium International sur l'ecologie de la Vigne. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire, p.89-98, 1978.

HUNTER, J.J.K.; BONNARDOT V. Climatic requirements for optimal physiological processes: a factor in viticultural zoning, 2004, Cape Town. **Proceedings...** Joint International Conference on Viticultural Zoning, 2004.

HUNTER, J.J.K.; BONNARDOT, V. Suitability of some climatic parameters for grapevine cultivation in South Africa, with focus on key physiological processes. **South African Journal for Enology and Viticulture**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 137-154, 2011. DOI: 10.21548/32-1-1374. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/262946699\\_Suitability\\_of\\_Some\\_Climatic\\_Parameters\\_for\\_Grapevine\\_Cultivation\\_in\\_South\\_Africa\\_with\\_Focus\\_on\\_Key\\_Physiological\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/262946699_Suitability_of_Some_Climatic_Parameters_for_Grapevine_Cultivation_in_South_Africa_with_Focus_on_Key_Physiological_Processes). Acesso em: out. 2020.

IBGE. **Censo agropecuário 2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em abril de 2021.

IBRAVIN. **Dados estatísticos: 2006 a 2018**. Disponível em: <https://www.ibravin.org.br/Dados-Estatisticos>. Acesso em outubro de 2020.

INTRIGLIOLO, D.S.; CASTEL, J.R. Evaluation of grapevine water status from trunk diameter variations. **Irrigation Science**, [s. l.], v. 26, p. 49-59, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-007-0071-2>. Acesso em: out. 2020.

INTRIGLIOLO, D.S.; LAKSO, A.N.; PICCIONI, R.M. Grapevine cv. 'Riesling' water use in the northeastern United States. **Irrigation Science**, [s. l.], v. 27, p. 253-262, 2009. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-008-0140-1>. Acesso em: out. 2020.

JENKS, G.F. The Data Model Concept in Statistical Mapping. In: **International Yearbook of Cartography**, v. 7, 1967, p.186-190.

JIAN, X.; OLEA, R.A.; YU, Y.S. Semivariogram modeling by weighted least squares. **Computer & Geosciences**, [s. l.], v. 22, n.4, p. 387-397, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(95\)00095-X](https://doi.org/10.1016/0098-3004(95)00095-X). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/009830049500095X>. Acesso em: set. 2020.

JIANG, Z.; HUETE, A. Linearization of NDVI based on its relationship with vegetation fraction. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s. l.], v. 76, n. 8, p. 965-975, 2010. DOI: 10.14358/PERS.76.8.965. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/225308926\\_Linearization\\_of\\_NDVI\\_Based\\_on\\_its\\_Relationship\\_with\\_Vegetation\\_Fraction](https://www.researchgate.net/publication/225308926_Linearization_of_NDVI_Based_on_its_Relationship_with_Vegetation_Fraction). Acesso em: out. 2020.

JONES, E.L.; RENDELL, L.; PIROTTA, E.; LONG, J.A. Novel application of a quantitative spatial comparison tool to species distribution data. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 70, p. 67-76, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.051>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16302990>. Acesso em: set. 2020.

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**, Lavras, v. 41, n. 5, p. 543-553, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017415049016>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542017000500543](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542017000500543). Acesso em: ago. 2020.

JUNGES, A.H.; FONTANA, D.C.; LAMPUGNANI, C.S. Relationship between the normalized difference vegetation index and leaf area in vineyards. **Bragantia**, Campinas, v. 78, n. 2, p. 297-305, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018168>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87052019000200297](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052019000200297). Acesso em: ago. 2020.

KARLÍK, L; GÁBOR, M; FALŤAN, V; HAVLÍČEK, M. Vineyard zonation based on natural terroir factors using multivariate statistics – Case study Burgenland (Austria). **OENO One**, Bordeaux, v. 52, n. 2, p. 105-117, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20870/oenone.2018.52.2.1907>. Disponível em: <https://oenone.eu/article/view/1907>. Acesso em: out. 2020.

KAZMIERSKI, M.; GLEMAS, P.; ROUSSEAU, J.; TISSEYRE, B. Temporal stability of within-field patterns of NDVI in non-irrigated Mediterranean vineyards. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v. 45, n. 2, p. 61-73, 2011. DOI: <https://doi.org/10.20870/oenone.2011.45.2.1488>. Disponível em: <http://oenone.eu/article/view/1488>. Acesso em: set. 2020.

KELLER, M. **The science of grapevines: anatomy and physiology**. San Diego: Academic; 2010a, 377p.

KELLER, M. Managing grapevines to optimize fruit development in a challenging environment: a climate change primer for viticulturists. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 16, p. 56-69, 2010b. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.175>

5-0238.2009.00077.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1755-0238.2009.00077.x>. Acesso em: set. 2020.

KENDALL, M.G. A New Measure of Rank Correlation. **Biometrika**, Oxford, v.30, p.81-93, 1938. DOI: <https://doi.org/10.2307/2332226>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2332226?seq=1>. Acesso em: set. 2020.

KENDALL, M.G. **Rank Correlation Methods**. London: Charles Griffin, 1975.

LAVILLE, P. Natural terroir units and terroir. A necessary distinction to give more coherence to the system of appellation of origin. **Bulletin de l'OIV**, p. 745-746, 1993.

LEÃO, P.C.S.; SOARES, J.M.; RODRIGUES, B.L. Principais cultivares. In: SOARES, J.M.; LEÃO, P.C.S. (Ed.). **A viticultura no semiárido brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009, p.151-214.

LEGENDRE, P. Species associations: the Kendall coefficient of concordance revisited. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 226–245, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1198/108571105X46642>. Acesso em: set. 2020.

LEROUX, C., JONES, H., CLENET, A., TISSEYRE, B. A new approach for zoning irregularly-spaced, within-field data. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 141, p. 196-206, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169917305057>. Acesso em: set. 2020.

LÓPEZ-URREA, R.; MONTORO, A.; MAÑAS, F.; LÓPEZ-FUSTER, P.; FERERES, E. Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements of mature 'Tempranillo' wine grapes. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v.112, p.13-20, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.05.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377412001394>. Acesso em: out. 2020.

LORENZ, D.H.; EINHORN, K.W.; BLEIHOLDER, H.; KLOSE, R.; MEIER, U.; WEBER, E. Growth stages of grapevines. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 1, p. 100-110, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00085.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00085.x>. Acesso em: set. 2020.

MANN, H.B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, [s. l.], v. 13, n. 3, p.245-259, 1945. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1907187?seq=1>. Acesso em: set. 2020.

MARIN, F.R., ASSAD, M.L.L., PACHECO, L.R.F., PILAU, F.G., CONCEIÇÃO, M.A.F., TONIETTO, J., MANDELLI, F. Potencial de clima e solo para a viticultura no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [s. l.], v.16, p.141-152, 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/512427/potencial-de-clima-e-solo-para-a-viticultura-no-estado-de-sao-paulo>. Acesso em: ago. 2020.



MARTINEZ-CASASNOVAS, J.A., AGELET-FERNANDEZ, J., ARNO, J., RAMOS, M.C. Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 10, n. 2, p. 326-337, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5424/sjar/2012102-370-11>. Disponível em: <https://repositori.udl.cat/handle/10459.1/46395>. Acesso em: ago. 2020.

MARTINS, T.N.; DOURADO NETO, D.; VIEIRA JÚNIOR, P.A.; MANFRON, P.A. Homogeneidade espaçotemporal e modelos de distribuição para a precipitação pluvial no estado de São Paulo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 5, p. 476-481, 2008. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3344>. Acesso em: out. 2020.

MATESE, A.; TOSCANO, P.; DI GENNARO, S.F.; GENESIO, L.; VACCARI, F.P.; PRIMICERIO, J.; BELLI, C.; ZALDEI, A.; BIANCONI, R.; GIOLI, B. Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 7, p. 2971-2990, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs70302971>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/3/2971>. Acesso em: set. 2020.

MATHEWS, A.J. Applying geospatial tools and techniques to viticulture. **Geography Compass**, [s. l.], v.7, n.1, p.22-34, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/gec3.12018>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gec3.12018>. Acesso em: ago. 2020.

MAZZETTO, F.; CALCANTE, A.; MENA, A.; VERCESI, A. Integration of optical and analogue sensors for monitoring canopy health and vigour in precision viticulture. **Precision Agriculture**, [s. l.], v. 11, p. 639-649, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9186-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-010-9186-1>. Acesso em: set. 2020.

McHUGH M. Interrater Reliability: The Kappa Statistic. **Biochemia Medica**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 276-282, 2012. DOI: <https://doi.org/10.11613/BM.2012.031>. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Interrater-reliability%3A-the-kappa-statistic-McHugh/bf3a7271860b1667e3ceb84e5bc400d2635ff8b7>. Acesso em: set. 2020.

MELLO, L.M.R. Vitivinicultura brasileira: panorama 2018. **Comunicado Técnico 210**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho; 2019, 12p.

MILANI, L.; SOUZA E.G.; URIBE-OPAZO, M.A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA J.O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v28i4.937>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/937>. Acesso em: set. 2020.

MINASNY B, MCBRATNEY AB, WHELAN BM. **Vesper version 1.62**. Sydney, Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney, 2005.

MOBASHERI, M.R., FATEMI, S.B. Leaf Equivalent Water Thickness assessment using reflectance at optimum wavelengths. **Theoretical and Experimental Plant**

**Physiology**, Campo dos Goytacazes, v. 25, n. 3, p. 196-202, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2197-00252013005000001>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2197-00252013000300004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2197-00252013000300004&lng=en&nrm=iso). Acesso em: out. 2020.

MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. Introdução. In: \_\_\_\_\_. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de textos; 2015a, p.9-15.

MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. Sensoriamento e sensores. In: \_\_\_\_\_. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de textos; 2015b, p.119-153.

MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. Unidade de gestão diferenciada. In: \_\_\_\_\_. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de textos; 2015b, p.189-202.

MORI, K.; SUGAYA, S.; GEMMA, H. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 105 p. 319-330, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.01.032>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/248477791\\_Decreased\\_anthocyanin\\_biosynthesis\\_in\\_grape\\_berries\\_grown\\_under\\_elevated\\_night\\_temperature\\_condition](https://www.researchgate.net/publication/248477791_Decreased_anthocyanin_biosynthesis_in_grape_berries_grown_under_elevated_night_temperature_condition). Acesso em: out. 2020.

MOTA, R.V. Fatores que afetam a maturação e a qualidade da uva para vinificação. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte: EPAMIG; 2006, v.27, n.234; p.56-64.

MOTA, R.V.; REGINA, M.A.; ANGELUCCI, D.; FAVERO, A.C. Fatores que afetam a maturação e a qualidade da uva para vinificação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte: EPAMIG, v. 27, n.234, p.56-64, 2006.

MOURA, M.S., BRANDÃO, E.O.; SOARES, J.M.; DONOSO, C.; SILVA, T. D.; SOUZA, L. Exigência térmica e caracterização fenológica da videira 'Cabernet Sauvignon' no Vale São Francisco, Brasil, 2007. **Anais...** Congresso latino americano de viticultura y enologia. 2007.

MOURA, M.S.B.; TEIXEIRA, A.H.C.; SOARES, J.M. Exigências climáticas. In: SOARES, J.M.; LEÃO, P.C.S (Ed.). **A viticultura no semiárido brasileiro**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009, p.35-70.

MUNITZ, S.; SCHWARTZ, A.; NETZER, Y. Water consumption, crop coefficient and leaf area relations of a *Vitis vinifera* cv. 'Cabernet Sauvignon' vineyard. **Agricultural Water Management**, [s. l.], v. 219, p. 86-94, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.051>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377419300423>. Acesso em: out. 2020.

MUNOZ, S.R.; BANGDIWALA, S.I. Interpretation of Kappa and B statistics measures of agreement. **Journal of Applied Statistics**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 105-112, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1080/02664769723918>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02664769723918>. Acesso em: out. 2020.

MYNENI, R.B.; HALL, F.G.; SELLERS, P.J.; MARSHAK, A.L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote**

**Sensing**, [s. l.], v. 33, n. 2, p. 481-486, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.1995.8746029>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8746029>. Acesso em: set. 2020.

NAIME, J.M.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, A. Automated soil particle size analyzer based on gamma-ray attenuation. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 295–304, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00188-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169900001885>. Acesso em: set. 2020.

NASCIMENTO, E.F.; SILVA, J.A.; COSTA, B.R.S.; CORREIA, J.S.; CAMPECHE, L.F.S.M.; BASSOI, L.H. Consumo hídrico da videira de vinho determinado por lisímetro de pesagem em Petrolina, 2012. **Anais... XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura**, 2012, Bento Gonçalves. XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2012.

NICULCEA, M.; LÓPEZ, J. SÁNCHEZ-DÍAZ, M. CARMEN ANTOLÍN, M. Involvement of berry hormonal content in the response to pre- and post-veraison water deficit in different grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 20, p. 281-291, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/ajgw.12064>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ajgw.12064>. Acesso em: out. 2020.

NORTHCOTE, K.H. Soil and Australian Viticulture. In: COOMBE, B.G.; DRY, P.R. (Ed). **Viticulture – Volume 1: Resources**. Adelaide: Winetitles, 1988, p.61-90.

OLIVEIRA, R.O., GREGO, C.R. Adoção da Agricultura de Precisão. In: OLIVEIRA, R.O., GREGO, C.R., BRANDÃO, Z.N. (Ed). **Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando o Vesper**. Brasília: Embrapa, 2015, cap.1, p.19-28.

OLIVEIRA, R.P. Modelagem de variogramas. In: OLIVEIRA, R.O., GREGO, C.R., BRANDÃO, Z.N. (Ed). **Geoestatística aplicada na Agricultura de Precisão utilizando o Vesper**. Brasília: Embrapa, 2015, cap.5, p.83-92.

PARRA, C.S.; AGUIRREOLEA, J.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M.; IRIGOYEN, J.J.; MORALES, F. Effects of climate change scenarios on Tempranillo grapevine (*Vitis vinifera* L.) ripening: Response to a combination of elevated CO<sub>2</sub> and temperature, and moderate drought. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 337, p. 179-191, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0514-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-010-0514-z#citeas>. Acesso em: out. 2020.

PEDRO JÚNIOR, M.J.; SENTELHAS, P.C. Clima e produção. In: POMMER, C.V. (Ed.). **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003, p.63-107.

PETRIE, P.R.; COOLEY, N.M.; CLINGELEFFER, P.R. The effect of post-veraison water deficit on yield components and maturation of irrigated Shiraz (*Vitis vinifera* L.) in the current and following season. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 10, p. 203–215, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.17550238.2004.tb00024.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.17550238.2004.tb00024.x>. Acesso em: out. 2020.

PHAM, H.Q.; FREDLUND, D.G. Equations for the entire soil-water characteristic curve of a volume change soil. **Canadian Geotechnical Journal**, [s. l.], v. 45, p. 443-453, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1139/T07-117>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237152351\\_Equations\\_for\\_the\\_entire\\_soil-water\\_characteristic\\_curve\\_of\\_a\\_volume\\_change\\_soil](https://www.researchgate.net/publication/237152351_Equations_for_the_entire_soil-water_characteristic_curve_of_a_volume_change_soil). Acesso em: set. 2020.

PONTIUS JUNIOR, R.G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 32, n. 15, p. 4407-4429, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.552923>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2011.552923>. Acesso em: set. 2020.

PONTIUS JUNIOR, R.G.; SHUSAS, E.; MCEACHERN, M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 101, p. 251-268, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016788090300327X>. Acesso em: set. 2020.

POUDEL, P.R.; MOCHIOCA, R.; BEPPU, K.; KATAOKA, I. Influence of temperature on berry composition of interspecific hybrid wine grape 'Kadainou R-1' (*Vitis ficifolia* var. ganebu × *V. vinifera* 'Muscat of Alexandria'). **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Kyoto, v. 78, n. 2, p. 169-174, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2503/jjshs1.78.169>. Disponível em: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshs1/78/2/78\\_2\\_169/\\_article/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshs1/78/2/78_2_169/_article/-char/en). Acesso em: out. 2020.

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

PRIORI, S.; BARBETTI, R.; L'ABATE, G.; BUCELLI, P.; STORCHI, P.; COSTANTINI, E.A.C. Natural terroir units, Siena province, Tuscany. **Journal of Maps**, [s. l.], v.10, n. 3, p. 466-477, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.885853>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17445647.2014.885853>. Acesso em: ago. 2020.

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

PROTAS, J.F.S.; CAMARGO, U.A.; MELLO, L.M.R. Viticultura brasileira: regiões tradicionais e polos emergentes. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte: EPAMIG; 2006, v.27, n.234; p.7-15.

QI, J.; CHEHBOUNI, A.; HUETE, A.R. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 48, p. 119-126. 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425794901341>. Acesso em: out. 2020.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; PIRES, E.J.P. A videira. In: POMMER, C.V. (Ed.). **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003, p.37-61.

QUEZADA, C.; SORIANO, M.A.; DÍAZ, J.; MERINO, R.; CHANDÍA, A.; CAMPOS, J.; SANDOVAL, M. Influence of soil physical properties on grapevine yield and maturity components in an ultic palexeralf soils, central-southern, Chile. **Open Journal of Soil Science**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 127-135, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojss.2014.44016>. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=44722>. Acesso em: out. 2020.

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

REGINA, M.A.; MOTA, R.V.; SOUZA, C.R.; FAVERO, A.C. Viticulture for fine wines in Brazilian southeast. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v.910, p.113-120, 2011. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.910.8>. Disponível em: [https://www.actahort.org/books/910/910\\_8.htm](https://www.actahort.org/books/910/910_8.htm). Acesso em: out. 2020.

RENOUF, V.; TREGOAT O.; ROBY J.P.; VAN LEEUWEN, C. Soils, rootstocks and grapevine varieties in prestigious Bordeaux vineyards and their impact on yield and quality. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v.44, n.3, p.127-134, 2010. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2010.44.3.1471>. Disponível em: <https://oeno-one.eu/article/view/1471>. Acesso em: out. 2020.

REYNARD, JS.; ZUFFEREY, V.; NICOL, GC.; MURISIER, F. Vine water status as a parameter of the "terroir" effect under non-irrigated conditions of the Vaud viticultural area (Switzerland). **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v. 45, n. 3, p. 139-147, 2011. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2011.45.3.1496>. Disponível em: <http://oeno-one.eu/article/view/1496>. Acesso em: out. 2020.

ROBERTO, S.R.; SATO, A.J.; BRENNER, E.A.; JUBILEU, B.S.; SANTOS, C.E.; GENTA, W. Caracterização da fenologia e exigência térmica (graus-dias) para a uva 'Cabernet Sauvignon' em zona subtropical. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 183-187, 2005. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v27i1.2144>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2144>. Acesso em: out. 2020.

ROBINSON, J.; HARDING, J.; VOUILLAMOZ, J.; **Wine Grapes: complete guide to 1,368 vine varieties, including their origins and flavours**. Ecco Press, 2012, 2462p.

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

ROTARU, L.; FILIPOV, F.; MUSTEA, M.; STOLERU, V. Influence of some "terroir viticole" factors on quantity and quality of grapes. **Notulae Botanicae Horti**

**Agrobotanici Cluj-Napoca**, Cluj-Napoca, v. 38, n. 1, p. 176-181, 2010. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha3814578>. Disponível em: <https://www.notulaeobotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/4578>. Acesso em: ago. 2020. out. 2020.

ROULLIER-GALL, C., BOUTEGRABET, L., GOUGEON, R.D., SCHMITT-KOPPLIN, P. A grape and wine chemodiversity comparison of different appellations in Burgundy: vintage vs terroir effects. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 152, p. 100–107, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.056>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814613016907>. Acesso em: ago. 2020.

ROUSE, J.W; HASS R.H; SHELL J.A; DEERING D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS-I, 1974. **Proceedings...** Earth Resources Technology Satellite Symposium, 1974, p.309-317.

ROY, P.S. Spectral reflectance characteristics of vegetation and their use in estimating productive potential. **Plant Sciences**, [s. l.], v. 99, n. 1, p. 58-81, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03053419>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03053419>. Acesso em: set. 2020.

RUML, M.; KORAC, N.; VUJADINOVIC, M.; VUKOVIC, A.; IVANIŠEVIC, D. Response of grapevine phenology to recent temperature change and variability in the wine-producing area of Sremski Karlovci, Serbia. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 154, p. 186–206, 2016. 186-206. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859615000453>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/response-of-grapevine-phenology-to-recent-temperature-change-and-variability-in-the-wineproducing-area-of-sremski-karlovci-serbia/6AA715BDC4E6C8ACFB5E2F28E26795CA>. Acesso em: out. 2020.

SADRAS, V.O.; MORAN, M.A.; BONADA, M. Effects of elevated temperature in grapevine. I Berry sensory traits. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 19, p. 95-106, 2013a. DOI: <https://doi.org/10.1111/ajgw.12007>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ajgw.12007>. Acesso em:

SADRAS, V.O.; PETRIE, P.R.; MORAN, M.A. Effects of elevated temperature in grapevine. II juice pH, titratable acidity and wine sensory attributes. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 19, p. 107-115, 2013b. DOI: <https://doi.org/10.1111/ajgw.12001>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ajgw.12001>. Acesso em: out. 2020.

SANTOS, A.O.; HERNANDES, J.L.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ROLIM, G.S. Parâmetros fitotécnicos e condições microclimáticas para videira vinífera conduzida sob dupla poda sequencial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1251-1256, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001200006>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662011001200006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011001200006&lng=en&nrm=iso). Acesso em: out. 2020.

SANTOS, A.O.; KAYE, O. Grapevine leaf water potential based upon near infrared spectroscopy. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 287-292, 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000300001>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162009000300001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162009000300001&lng=en&nrm=iso). Acesso em: out. 2020.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBREAS, 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.

SEN, P.K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, [s. l.], v. 63, p. 1379-1389, 1968. DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1968.10480934>. Acesso em: set. 2020.

SERRA, I.; STREVER, A.; MYBURGH, P.A.; DELOIRE, A. Review: the interaction between rootstocks and cultivars (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 20, p. 1-14, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/ajgw.12054>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ajgw.12054>. Acesso em: out. 2020.

SILVA-CONTRERAS, C.; VON SCHOUWEN, G.S.; FERREYRA-ESPADA, R.; SILVA-ROBLEDO, H. Variation of water potential and trunk diameter answer as sensitivity to the water availability in table grapes. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillan, v. 72; n. 4, p. 459-469; 2012. DOI: 10.4067/S0718-58392012000400001. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Variation-of-water-potential-and-trunk-diameter-as-Silva-Contreras-Schouwen/e7d9d0f4b0fa171db2f0e0f926d5251bacf9fa6e>. Acesso em: out. 2020.

SLAVE, C.; MATEI, P.M.; TEODORESCU, R.F.; BURGHILA, D. Geographic databases used to monitor vineyards: a case study. **Romanian Biotechnological Letters**, Bucharest, v. 24, n. 6, p. 986-992, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25083/rbl/24.6/986.992>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338400030\\_Geographic\\_databases\\_used\\_to\\_monitor\\_vineyards\\_A\\_case\\_study](https://www.researchgate.net/publication/338400030_Geographic_databases_used_to_monitor_vineyards_A_case_study). Acesso em: ago. 2020.

SMART, R., ROBINSON, M. Winegrape canopies and their importance. In: \_\_\_\_\_ **Sunlight into vine: a handbook for winegrape canopy management**. Adelaide: Winetitles, 1991, p.1-15.

SMART, R.E.; DICK, J.K.; GRAVETT, I.M.; FISHER, B.M. Canopy management to improve grape yield and wine quality-principles and practices. **South African Journal for Enology and Viticulture**, [s. l.], v. 11, n. 1, 1990. DOI: <https://doi.org/10.21548/11-1-2232>. Disponível em: <https://www.journals.ac.za/index.php/sajev/article/view/2232>. Acesso em: out. 2020.

SOMMER, K.L.; HANCOCK, F.; DOWNEY, M.O. Resilience of Sultana (*Vitis vinifera*) to drought and subsequent recovery: field evaluation of nine rootstock scion combinations. **South African Journal for Enology and Viticulture**, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 181-185, 2010. DOI: <https://doi.org/10.21548/31-2-1416>. Disponível em: <https://www.journals.ac.za/index.php/sajev/article/view/1416>. Acesso em: out. 2020.

SÔNEGO, O.R.; GARRIDO, L.R.; GRIGOLETTI JÚNIOR, A. **Principais doenças fúngicas da videira no Sul do Brasil**. Circular Técnica 56, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 32p., 2005.

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: Journal of Grapevine Research**, Siebeldingen, v. 54, n. 4, p. 195–201, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5073/vitis.2015.54.195-201>. Disponível em: <https://ojs.openagrar.de/index.php/VITIS/article/view/3587>. Acesso em: set. 2020.

STAMATIADIS, S.; TASKOS, D.; TSADILLA, E.; CHRISTOFIDES, C.; TSADILAS, C.; SCHEPERS, J.S. Comparison of passive and active canopy sensors for the estimation of vine biomass production. **Precision Agriculture**, [s. l.], v. 11, p. 306-315, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9131-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-009-9131-3>. Acesso em: set. 2020.

STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; CANTO, M.W.; HECKTHEUER, L.H.H. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300043>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782005000300043&script=sci\\_abstract&lng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782005000300043&script=sci_abstract&lng=pt). Acesso em: out. 2020.

SUSZEK, G.; SOUZA, E.G.; URIBE-OPAZO, M.A.; NOBREGA, L.H.P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 895-905, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000500007>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162011000500007](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000500007). Acesso em: set. 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 819p.

TARDAGUILA, J.; BALUJA, J.; ARPON, L.; BALDA, P.; OLIVEIRA, M. Variations of soil properties affect the vegetative growth and yield components of “Tempranillo” grapevine. **Precision Agriculture**, [s. l.], v. 12, p. 762-773, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-011-9219-4>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/226350937\\_Variations\\_of\\_soil\\_properties\\_affect\\_the\\_vegetative\\_growth\\_and\\_yield\\_components\\_of\\_Tempranillo\\_grapevines](https://www.researchgate.net/publication/226350937_Variations_of_soil_properties_affect_the_vegetative_growth_and_yield_components_of_Tempranillo_grapevines). Acesso em: out. 2020.

TARDAGUILA, J.; DIAGO, M.P.; PRIORI, S.; OLIVEIRA, M. Mapping and managing vineyard homogeneous zones through proximal geoelectrical sensing. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [s. l.], v. 64, p. 409-418, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1359411>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03650340.2017.1359411>. Acesso em: out. 2020.

TERRA, M.M. Nutrição, calagem e adubação. In: POMMER, C.V. (Ed.). **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003, p.405-475.



THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. I - III. **Proceedings** van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen 53: p.386–392, p.521–525, p.1397–1412, 1950. set. 2020.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology, 1955, 104p.

TON, Y.; KOPYT, M. Grapevine trunk and shoot diameter micro-variations and trends as indicators of water potential. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 652, p. 161-165, 2004. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.652.19>. Disponível em: [https://www.actahort.org/books/652/652\\_19.htm](https://www.actahort.org/books/652/652_19.htm). Acesso em: out. 2020.

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v.124, p.81-97, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192304000115>. Acesso em: out. 2020.

TROUGHT, M.C.T., BRAMLEY, R.G.V. Vineyard variability in Marlborough, New Zealand: characterizing spatial and temporal changes in fruit composition and juice quality in the vineyard. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, [s. l.], v. 17, p. 79-89, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00120.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1755-0238.2010.00120.x>. Acesso em: ago. 2020.

TROUGHT, M.C.T., DIXON, R., MILLS, T., GREVEN, M., AGNEW, R., MAUK, J.L. AND PRAAT, J-P. The impact of differences in soil texture within a vineyard on vine vigour, vine earliness and juice composition. **Journal international des Sciences de la Vigne et du Vin**, Bordeaux, v. 42, p. 67-72, 2008. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2008.42.2.828>. Disponível em: <https://oeno-one.eu/article/view/828>. Acesso em: out. 2020.

ÜNSALAN, C.; BOYER, K.L. Linearized vegetation indices based on a formal statistical framework, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [s. l.], v. 42, n. 7, p.1575-1585, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.826787>. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1315841>. Acesso em: out. 2020.

VAIOPOULOS, D.; SKIANIS, G.A.; NIKOLAKOPOULOS, K. The contribution of probability theory in assessing the efficiency of two frequently used vegetation indices, **International Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 25, n. 20, p. 4219-4236, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160410001680464>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160410001680464>. Acesso em: out. 2020.

VAN LEEUWEN, C. Terroir: the effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes. In: REYNOLDS, A.G. (Ed). **Managing wine quality Volume 1: Viticulture and wine quality**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2010, p.273-316.

VAUDOUR, E.; COSTANTINI, E.; JONES, G.V.; MOCALI, S. An overview of the recent approaches to terroir functional modelling, footprinting and zoning. **Soil**, [s. l.], v. 1, p. 287-312, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-1-287-2015>. Disponível em: <https://soil.copernicus.org/articles/1/287/2015/>. Acesso em: ago. 2020.

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**, [s. l.], v. 69, n. 3, p. 577-583, 2005. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0104>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237664570\\_Validation\\_of\\_the\\_Arya\\_and\\_Paris\\_Water\\_Retention\\_Model\\_for\\_Brazilian\\_Soils](https://www.researchgate.net/publication/237664570_Validation_of_the_Arya_and_Paris_Water_Retention_Model_for_Brazilian_Soils). Acesso em: set. 2020.

VAZ, C.M.P.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; BACCHI, O.O.S. Soil mechanical analysis through gamma ray attenuation. **Soil Technology**, [s. l.], v. 5, p. 319-325, 1992.

VIÑA, A.; GITELSON, A.A.; NGUY-ROBERTSON, A.; PENG, Y. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 115, p. 3468–3478, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425711002926>. Acesso em: out. 2020.

WANG, R.; SUN, Q.; CHANG, Q. Soil types effect on grape and wine composition in Helan Mountain area of Ningxia. **Plos One**, [s. l.], v.10, n.2, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116690>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0116690>. Acesso em: out. 2020.

YAMAMOTO, J.K., LANDIM, P.M.B. Conceitos básicos. In: \_\_\_\_\_. **Geoestatística, conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, cap.1, p.19-32.

YU, R. BRILLANTE, L.; MARTÍNEZ-LUSCHER, J.; KURTURAL, S.K. Spatial variability of soil and plant water status and their cascading effects on grapevine physiology are linked to berry and wine chemistry. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00790>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7324756/>. Acesso em: out. 2020.

ZHU, J.; FRAYSSE, R.; TROUGHT, M.C.T.; RAW, V.; YANG, L.; GREVEN, M.; MARTIN, D.; AGNEW, R. Quantifying the seasonal variations in grapevine yield components based on pre- and post-flowering weather conditions. **OENO One**, [s. l.], v. 54, n. 2, p. 213-230, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20870/oenone.2020.54.2.2926>. Disponível em: <https://oenone.eu/article/view/2926>. Acesso em: out. 2020.