

Proposição metodológica de amostragem e geração de grade para aplicação em fruticultura de precisão

Methodological proposal for acceptance and generation of grade for application in precision fruit

Célia Regina Grego¹, Eduardo Antonio Speranza², Luciano Gebler³

¹ Pesquisadora, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, celia.grego@embrapa.br

² Analista, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, eduardo.speranza@embrapa.br

³ Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves (RS), Brasil, Luciano.gebler@embrapa.br

RESUMO

A metodologia da agricultura de precisão aplicada e consolidada para grandes culturas requer aprimoramento quando aplicada à fruticultura, pois as diferenças em relação à fisiologia da planta, ao tamanho e ao espaçamento dos cultivos levam a diferentes respostas quando a tecnologia é aplicada. Essas diferenças requerem adaptações metodológicas para uma grade de amostras adequada a ferramentas que indicam a existência de dependência espacial. Assim, este capítulo tem como objetivo discutir a metodologia que possa auxiliar na definição da grade de amostragem otimizada para identificar a variabilidade espacial em fruticultura de precisão. Também é apresentado neste capítulo um estudo de caso para definição da grade mínima de amostragem em viticultura, que levou à conclusão de que a utilização de conjuntos de dados de atributos de solo e planta ao mesmo tempo proporcionam informações suficientes para que sejam utilizadas grades de até quatro amostras por hectare, capazes de identificar a variabilidade espacial da área e permitir a adoção da fruticultura de precisão. As pesquisas sobre o assunto são escassas, mas em estudos realizados até então, é consenso que, para uma melhor tomada de decisão quanto ao estabelecimento da grade amostral mínima em fruticultura, é fundamental considerar a temporalidade dos dados devido ao comportamento fisiológico das plantas, que pode variar de uma safra para outra. É possível inferir também que o impacto positivo do trabalho da fruticultura de precisão junto ao produtor depende dos níveis de acurácia que este deseja para seus resultados, e que é possível reduzir o número de amostras da grade desde que se tenha conhecimentos prévios do ambiente a ser amostrado no tempo e no espaço e das correlações entre variáveis indicativas da variabilidade.

Palavras-chave: dependência espacial; frutas; grades amostrais.

ABSTRACT

The methodology of precision agriculture applied and consolidated for large crops requires improvement when applied to fruit growing, as differences in plant physiology, size and spacing of crops lead to different responses when the technology is applied. These differences require methodological adaptations for a grid of samples suitable for tools that indicate the existence of spatial dependence. Thus, this chapter aims to discuss the methodology that can help define the optimized sampling grid to identify spatial variability in precision fruit growing. Also presented in this chapter is a case study for defining the minimum sampling grid in grapevines, which shows that the use of sets of data attributes that consider different factors at the same time (soil, plant tissue and vegetation indices) provide a wealth of information sufficient to use limited sampling grids of up to 4 samples per hectare, capable of identifying the spatial variability of the area and allowing the adoption of precision fruit growing. Research on the subject is scarce, but studies carried out so far show a consensus for a better decision-making regarding the establishment of the minimum sampling grid in fruit growing. It is fundamental to consider the temporality of the data due to the physiological issue of the plants that can vary rapidly from one season to another. Also, the positive impact of the precision fruit growing work with the producer depends on the levels of accuracy that the producer wants for his results and it is possible to reduce the grid samples to the minimum levels safely, provided that one has prior knowledge of the environment to be sampled in time and space and the correlations between variables indicative of variability.

Keywords: spatial dependence; fruits; sample grids.

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000036>

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



1 INTRODUÇÃO

Em fruticultura, muito experimentos, como os de competição de variedades, de tipos de insumos e de manejo da cultura, não levam em consideração o efeito de variabilidade do solo. Porém, a uniformidade de propriedades do solo raramente existe e não pode ser simplesmente pressuposta sem uma adequada averiguação (Goovaerts, 1997; Vieira, 2000; Vieira et al., 2008). A ferramenta de análise geostatística existe para comprovar a existência dessa variabilidade espacial. Os parâmetros da variabilidade, como o alcance, indicam o tamanho das manchas existentes no mapeamento para as características avaliadas. Somente pelos ajustes dos semivariogramas (Vieira, 2000) já se pode dizer que é praticamente impossível ter locais homogêneos para disposição de parcelas em determinada área. Entretanto, é por meio de uma amostragem detalhada que as variações espaciais serão detectadas adequadamente para posterior elaboração de mapas precisos e delimitação de áreas de manejo diferenciadas.

A Agricultura de Precisão (AP), quando aplicada na fruticultura, diferentemente dos grãos onde está bastante consolidada, possui como um dos grandes gargalos a necessidade de definição adequada em relação ao número de pontos georreferenciados e sua distribuição na área cultivada, que permita a identificação da variabilidade espacial dos fatores ambientais e produtivos. Uma amostragem adequada, baseada no histórico da área, nos índices de vegetação obtidos por imagens de satélite e nos dados de sensores, podem contribuir para essa assertividade em relação ao número e à distância entre pontos de amostragem para a fruticultura. Segundo Vieira et al. (2008), em se tratando de variabilidade espacial, as amostragens devem ser suficientemente próximas para conseguir caracterizar as possíveis manchas de variabilidade e com as imagens aéreas, com as quais se possa identificar regiões com diferentes níveis de verde, é possível direcionar as amostragens, concentrando-as nas regiões onde existir maior variabilidade e diminuindo-se a sua densidade nos locais mais uniformes.

A utilização de sensores remotos e de campo que permitam a descrição ou correlação dos parâmetros reais de solo e de planta, de acordo com Cirani e Moraes (2010), permitiria uma redução de custos de amostragem e aumento do grau de adoção da tecnologia do uso de sensores. Um dos parâmetros obtidos por sensores que vêm sendo utilizados como indicativo de variabilidade é a condutividade elétrica aparente dos solos (Molin et al., 2005). Sua determinação em áreas de fruticultura seria de grande importância para correlacioná-la com argila do solo, umidade do

solo, capacidade de troca catiônica, teores de cálcio, magnésio e matéria orgânica e relevo.

Assim, este capítulo tem como objetivo discutir a metodologia que possa auxiliar na definição da grade de amostragem otimizada para identificar a variabilidade espacial por meio da geoestatística em áreas de fruticultura.

2 INTRODUÇÃO À FRUTICULTURA DE PRECISÃO

Há fontes de que a fruticultura de precisão começou com trabalhos na citricultura e na viticultura para a elaboração de vinhos. Segundo Gemtos et al. (2013), o uso intensivo da tecnologia na fruticultura de precisão ocorreu na década de 1990 em pomares mecanizados de uva para produção de vinho, e nos anos 2000 passou a ser utilizada em plantios de frutas colhidas manualmente. A partir de então, a fruticultura de precisão vem trazendo às áreas produtivas a possibilidade de ampliar sua capacidade de organização, de produção e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais causados tradicionalmente pela atividade agrícola. Pesquisas também foram intensificadas e o conhecimento sobre novas tecnologias pesquisadas em fruticultura de precisão no Brasil vem aproximando o setor produtivo da pesquisa.

A fruticultura de precisão pode ser aplicada em propriedades de qualquer tamanho, por meio da organização e coleta de dados no campo e geração de informações para aumentar a eficiência do setor, principalmente no manejo do ambiente produtivo e uso de mão de obra. O trabalho manual dos agricultores em pequenas áreas, que reconhece as diferenças entre talhões, é beneficiado com técnicas que levam em conta a variabilidade espacial do solo de cada direção do pomar e até de cada planta, permitindo, por meio de mapas, o manejo e o uso preciso dos insumos. Atualmente, segundo Hoff et al. (2011), técnicas como o sensoriamento remoto, que utiliza imagens de satélite, imagens de veículo remotamente tripulado (ARP) e sensores de campo, trazem resultados importantes para monitorar os índices de vegetação das frutíferas no tempo e no espaço em todo o ciclo fenológico da cultura.

Os três principais elementos para a adoção da fruticultura de precisão são: a geração de informação sobre a área de cultivo e sua variabilidade, o processamento dessas informações e o gerenciamento do pomar baseado nessas informações (Gebler; Bueno, 2015). Os autores salientam ainda que se deve levar em consideração a diferença entre a fruticultura de precisão voltada à industrialização e a destinada à produção de frutas para o consumo *in natura*, pois nesse últi-

mo caso a análise temporal é ainda mais importante para a tomada de decisão.

Nas culturas anuais de grãos, a agricultura de precisão é bastante consolidada. Tanto a grade amostral quanto os mapas de produtividade são gerados de forma consolidada, prática e confiável (Molin et al., 2015). No entanto, no caso da fruticultura, segundo Gebler (2017), ainda faltam ser estabelecidos critérios para a adequada implantação da Agricultura de Precisão para a padronização de ações, processos e equipamentos. Para os mapas de colheita, por exemplo, por ser predominantemente manual na fruticultura, o método de mapeamento de produtividade deve ser adaptado. Na fruticultura, a investigação tanto da variabilidade espacial quanto temporal é importante, pois as plantas podem apresentar respostas no segundo ou terceiro ano após uma ação corretiva. Assim, é possível a geração e análise dos mapas de anos anteriores e obter a resposta da tendência dentro dos talhões do pomar. É necessário analisar os mapas dentro do talhão, considerando a variabilidade no ano corrente, comparando com anos anteriores. Além disso, os indicadores a serem utilizados pela fruticultura de precisão se distanciam das características da agricultura de precisão para grãos, considerando as diferenças quanto ao tamanho da área e a forma de distribuição das plantas na área de produção, onde o fator qualidade tem peso importante na avaliação das frutíferas perenes.

Certamente, quando se trata de fruticultura de precisão, há demanda de novos esforços em termos de pesquisa para estabelecimento de diretrizes de obtenção e tratamento dos dados e da informação. Nesse contexto, um dos aspectos fundamentais que carece de estudos em fruticultura de precisão é a questão

da amostragem. É fato que a amostragem georreferenciada distribuída ao longo do campo deve ser suficiente para caracterizar a variabilidade espacial, ou seja, a amostragem pode ser adequada se o espaçamento entre as amostras for menor do que as “manchas” que se quer caracterizar. Para toda amostragem deverá ser considerado que as amostras retiradas de algum ponto no espaço fazem parte de uma função contínua. No entanto não existe uma receita padrão para a determinação do número de pontos e da distância entre pontos, pois tudo depende das características da área e cultura amostrada, do histórico de manejo, dos recursos financeiros e humanos disponíveis, do tempo disponível e da variável a ser avaliada espacialmente. O que pode auxiliar no direcionamento da distribuição de pontos é o uso de variáveis indicativas, como mapas de solo e de relevo preexistentes, e também o uso de informações provenientes de imagens de satélite e sensores de campo.

Vieira et al. (2008) apresentam quatro tipos de grades de distribuição de pontos comumente utilizadas em estudos de variabilidade espacial, conforme a Figura 1. a) Grade retangular ou quadrada, para quando não se sabe nada ou pouco se sabe a respeito da área; b) Grade com “ilhas” com concentração de amostras mais próximas, com objetivo de fornecer informações em pequenas distâncias sem aumentar o número de amostras; c) Grade trapezoidal, na qual as colunas intercaladas têm um deslocamento de metade da distância entre linhas no sentido dos eixos x e y, sendo a menor distância entre pontos a diagonal; e d) Ao acaso, que é a amostragem espacialmente distribuída sem nenhuma ordem, seguindo as necessidades de caminhamento no campo.

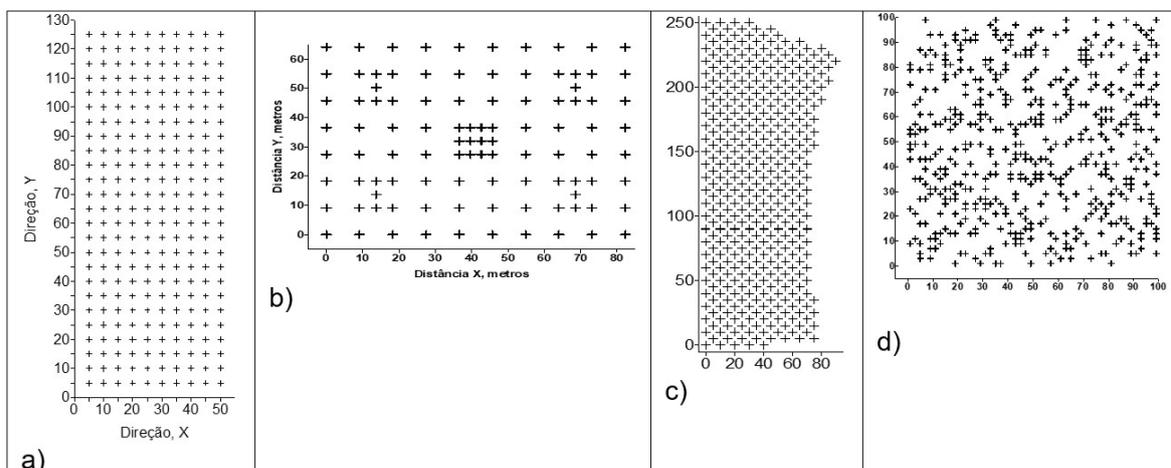


Figura 1. Tipos de grades de amostragem a) Quadrada ou retangular; b) Em ilhas; c) Trapezoidal; d) Ao acaso. Fonte: Vieira et al. (2008).

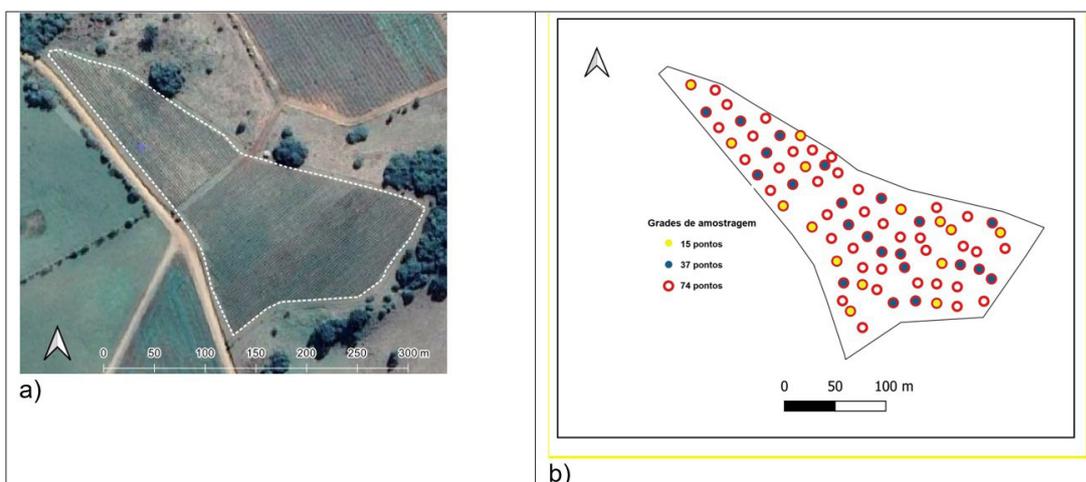


Figura 2. a) Área de cultivo da videira e b) Distribuição das três grades de amostragem com 74, 37 e 15 pontos na área de estudo.

Segundo Vieira et al. (2008), a definição da quantidade de amostras é tarefa difícil e um número não pode ser simplesmente fixado sem um conhecimento prévio do ambiente que se quer amostrar.

3 ESTUDO DE CASO PARA DEFINIÇÃO DE GRADE AMOSTRAL EM VITICULTURA

Este estudo de caso foi uma proposta metodológica relatada por Speranza et al. (2021), baseada em análise de dados, para sugerir grades amostrais mínimas necessárias para identificar a variabilidade espacial do solo e da videira.

A área de estudo possui 3,69 ha, com coordenadas O 51° 15' 7.248" e S 28° 23' 15.185", no município de Muitos Chapões (RS), é cultivada com as videiras "Pinot Noir", "Chardonnay" e "Merlot", com mesmo manejo adotado para as três cultivares (Figura 2a)

Os dados coletados referem-se à safra 2019/2020 e são compostos por variáveis de solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm (física e química), e de planta (produção, química do tecido vegetal e índices de vegetação).

As variáveis físicas do solo obtidas foram: umidade ($g\ g^{-1}$); areia (%); silte (%) e argila (%). Para a química do solo, foram obtidas as seguintes variáveis: pH em água; fósforo ($mg\ dm^{-3}$); potássio ($cmol\ dm^{-3}$); matéria orgânica (%); alumínio ($cmol_c\ dm^{-3}$); cálcio ($cmol_c\ dm^{-3}$); magnésio ($cmol_c\ dm^{-3}$); CTC efetiva e CTC a pH 7 ($mmol_c\ dm^{-3}$); zinco ($mg\ dm^{-3}$); cobre ($mg\ dm^{-3}$); enxofre ($mg\ dm^{-3}$); boro ($mg\ dm^{-3}$) e condutividade elétrica ($mS\ m^{-1}$).

As variáveis referentes à planta, relacionadas à qualidade e quantidade da produção, foram: teor de sólidos solúveis ($^{\circ}Bx$); acidez total ($meq\ L^{-1}$); quantidade

(número total) de cachos a cada três plantas; peso de três cachos e produtividade (gramas). Para as variáveis da análise química do tecido vegetal, foram obtidos: nitrogênio TKN¹ (%); fósforo total (%); potássio total (%); cálcio total (%); magnésio total (%); enxofre total (%); cobre total ($mg\ kg^{-1}$); zinco total ($mg\ kg^{-1}$); ferro total ($mg\ kg^{-1}$); manganês total ($mg\ kg^{-1}$) e boro total ($mg\ kg^{-1}$). Adicionalmente, foram obtidos dois índices de vegetação ao longo do ciclo de produção na mesma grade amostral utilizada para a coleta dos dados de solo e planta, a partir de sensoriamento proximal. Foram determinados os valores médios do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e do EVI (Enhanced Vegetation Index), que consideram a banda do infravermelho próximo no seu cálculo e são amplamente utilizados em aplicações agrícolas.

A grade espacial de amostras dos dados originalmente foi de 74 pontos distribuídos em aproximadamente 20 amostras por hectare. No intuito de verificar o número adequado de pontos para otimizar a coleta, foram testadas três grades de amostragem (74 pontos originais, 37 pontos e 15 pontos). Foi adotada a redução do número de pontos de acordo com a eliminação de pontos mais próximos, conforme a Figura 2b.

Foi realizada a análise geoestatística para todas as variáveis nas três grades predeterminadas. A análise foi composta pelo ajuste do semivariograma para cada um dos atributos selecionados, conforme indicado por Vieira (2000) a um dos modelos mais frequente (esférico, exponencial e gaussiano), que por sua vez forneceram os parâmetros de ajuste utilizados pelo método de interpolação espacial por krigagem ordi-

¹ Total Kjeldahl Nitrogen: método de referência para determinação de nitrogênio.

nária (Oliver; Webster, 1990), para que pudessem ser gerados os mapas com melhor precisão considerando a existência de dependência espacial. Construíram-se mapas de contornos em função das coordenadas geográficas em SIG (QGIS 3.10), e os programas utilizados para análise geoestatística foram os desenvolvidos por Vieira (2000).

Para os atributos que apresentaram dependência espacial nas 3 grades de amostragem, foram realizadas análises de agrupamento para obtenção dos mapas de zonas diferenciadas de manejo. O atributo relacionado à produtividade serviu como referência para essas análises. Para o processo de agrupamento dos dados interpolados, foi utilizada a abordagem de agrupamento hierárquico SWMU Clustering. Essa abordagem permite que sejam obtidos agrupamentos com reduzida estratificação espacial quando estes são exibidos em forma de mapa. Neste trabalho, foram consideradas retificações espaciais nos mapas de saída a partir de 5 grupos, que limita o tamanho mínimo espacial (área) de um grupo em pelo menos 5% da área total de estudo. Foi definido também um intervalo válido (frequentemente utilizado para o delineamento em agricultura de precisão) de 2 a 5 grupos para cada configuração utilizada. Os mapas de zonas de manejo obtidos a partir de análise de agrupamento foram avaliados com relação à sua capacidade em reduzir a variância da produtividade da área, por meio do índice de redução de variância. Também foi avaliada a verificação da concordância dos mapas obtidos considerando apenas a variável de produtividade, por meio do coeficiente de Kappa (Cohen, 1960). Esse coeficiente é um índice estatístico capaz de verificar a concordância entre dois mapas considerando uma tabela de contingência cruzada, com valor de kappa variando de 1 (completa concordância) até 0 (sem concordância). De acordo com Kitchen et al. (2005), valores altos do índice Kappa (próximos de 1) ocorrem quando a concordância espacial entre dois mapas é máxima.

Essa análise de agrupamento pode levar a indicadores para a necessidade de grades amostrais mais ou menos precisas, utilizando diferentes grupos de atributos e diferentes resoluções de grades amostrais de origem que proporcionam maiores reduções de variância da produtividade e maiores concordâncias com relação a mapas de zonas de manejo que consideram a produtividade.

Após a análise geoestatística, foi verificado que houve grande redução da variabilidade espacial das 83 variáveis analisadas, quando se reduziu o número de amostras, principalmente na grade de 15 pontos (12 variáveis), comparando com 37 pontos (52 variáveis)

e com a grade original de 74 pontos (63 variáveis). Essa redução da dependência espacial foi gradativa quando se reduziu o número de pontos para os dados de produção e tecido vegetal. Para os dados de física e química do solo, houve redução de 80% das variáveis com dependência espacial quando se reduziu de 75 para 15 pontos. No entanto, com 37 pontos praticamente o número de ajustes foi o mesmo do que para 74 pontos, sem prejuízo para a representatividade da dependência espacial para essas variáveis. Para as variáveis relacionadas aos índices de vegetação, houve redução de 40% das variáveis com dependência espacial quando foi reduzido o número de pontos de 74 para 37 pontos, e aproximadamente 90% a menos de variáveis com dependência espacial quando se adotou a grade de 15 pontos.

No geral, considerando todas as variáveis estudadas, com a redução do número de pontos de 74 para 37 e 15 pontos, houve grande redução no número de variáveis com dependência espacial, principalmente na grade de 15 pontos. Quando foram comparadas a grade de 74 pontos com a de 37, houve ainda 83% de dependência espacial para o total de variáveis. Isso evidencia, segundo Speranza et al. (2021), ser possível essa redução de pontos de amostragem, desde que distribuídos adequadamente em toda área de estudo, gerando economia de tempo e recursos no processo de obtenção das informações e consequentemente menor custo de produção. No entanto, os resultados não indicam uma alternativa adequada reduzir para menos da metade dos pontos como na grade de 15 pontos onde houve apenas 19% das variáveis com variabilidade espacial comparadas com a grade original de 74 pontos.

Na Figura 3 estão representados os mapas obtidos por interpolação de valores pelo método da krigagem ordinária para as 12 variáveis que apresentaram dependência espacial nas três grades utilizadas. Não houve mudanças no padrão espacial em relação às manchas de variabilidade espacial nos mapas; no entanto, houve redução do número de variáveis que apresentaram dependência espacial quando se reduziu o número de pontos de amostragem de 74 para 15 pontos.

Os dados de entrada considerados para os algoritmos de agrupamento foram: para o grupo I todos os atributos; para o grupo II, atributos relacionados ao tecido vegetal; para o grupo III, atributos relacionados ao solo; e para o grupo IV, atributos relacionados aos índices de vegetação. Considerando cada um desses quatro grupos e seus respectivos mapas interpolados (com grades iniciais de 15, 37 e 74 amostras),

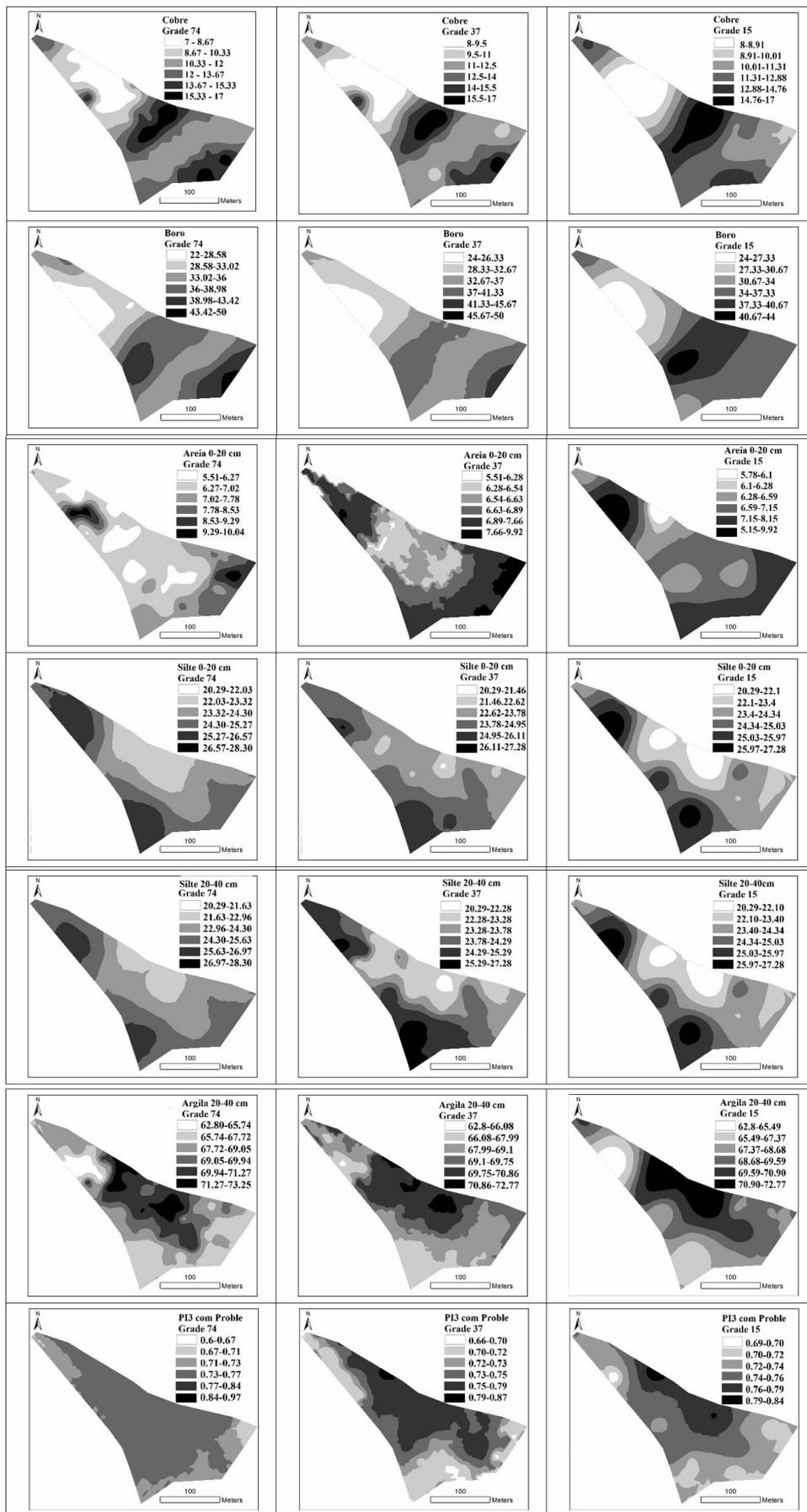


Figura 3. Mapas interpolados para as variáveis que apresentaram dependência espacial nas três grades de amostragem. Fonte: Speranza et al. (2021).

foram gerados agrupamentos utilizando 12 diferentes combinações de dados de entrada.

Considerando os mapas gerados a partir das análises geoestatísticas, para cada um dos testes, realizados com diferentes atributos de entrada (grupos I, II, III e IV), foram obtidos valores da redução de variância da produtividade e a concordância dos mapas de zonas de manejo (ZM) gerados com diferentes grupos de atributos em relação aos mapas de ZM gerados com o atributo de produtividade. A variável n indica a quantidade de amostras (pontos) de campo utilizadas antes da interpolação espacial; a variável p indica a quantidade de atributos (variáveis) utilizados; e a variável k indica o número de grupos ou ZMs utilizados. A utilização de uma quantidade maior de atributos com variabilidade espacial detectada (p=12) contribuiu de maneira positiva para a geração de mapas de ZM com boa qualidade com relação à distribuição espacial, independentemente do valor de n (Tabela 1).

Considerando os valores de RV exibidos na Tabela 1, é possível observar que a utilização de n=15 proporcionou grande redução da variância da produtividade.

Considerando o grupo II, mesmo com a utilização de poucos atributos (p=4), a redução de variância da produtividade é relevante (Tabela 2), indicando que os dados de tecido vegetal são adequados para o manejo da fruticultura de precisão na videira em um intervalo entre 4 e 10 amostras por hectare para a área de estudo, sem comprometer a qualidade final dos mapas.

Utilizando apenas os dados de solo houve redução da variância da produtividade para todos valores de n, mantendo mapas de ZM bem distribuídos espacialmente (Tabela 3). Nesse caso, pode ser obser-

vado que, para a grade n=15, os valores de RV foram muito superiores em comparação com as outras grades, chegando ao valor máximo de 100.

Com os índices de vegetação, a análise mostrou uma tendência maior de utilização das grades n=37 e n=15, que apresentaram mapas de ZM com uma distribuição espacial melhor definida em comparação com os mapas obtidos com dados na grade n=74 (Tabela 4). Assim como ocorre para os atributos relacionados ao tecido vegetal, os índices de vegetação são mais sensíveis à variabilidade quando comparados com as amostragens de solo e, para esse caso em específico, a grade com n=37 aparenta ser a mais adequada (10 amostras por hectare), conforme dados de RV exibidos na Tabela 4.

Em análise complementar aos resultados dos mapas de ZM e de valores de RV, foi utilizado o índice Kappa para comparar os mapas de ZM, considerando apenas os dados de produtividade (ZM-Prod), com os mapas de ZM obtidos considerando os atributos dos grupos I, II, III e IV (Figura 4).

Os valores de Kappa (Figura 4) mostram uma forte concordância entre os mapas ZM-Prod em relação ao grupo IV (ZM-IV) com os mapas gerados a partir da grade n=37. Já para ZM-I, II III a concordância foi maior para os obtidos a partir de dados com grades amostrais de menor resolução espacial n=15. No entanto, amostragem no n=15 não foi suficiente para expressar uma adequada variabilidade espacial, reduzindo muito o número de variáveis de solo para mapeamento. Uma alternativa prática para identificar essa baixa variabilidade antes de efetivamente realizar as amostragens seria o uso de variáveis indi-

Tabela 1. Mapas de zonas de manejo e respectivos valores de redução da variância (RV) considerando o grupo I (todos os atributos). Adaptado de Speranza et al. (2021).

n/k	2	3	4	5
74				
RV	2,20	5,72	32,03	32,27
37				
RV	0,25	1,46	10,11	30,47
15				
RV	27,00	28,68	30,84	34,19

Tabela 2. Mapas de zonas de manejo e respectivos valores de redução da variância (RV) considerando o grupo II (tecido vegetal). Adaptado de Speranza et al. (2021).

n/k	2	3	4	5
74				
RV	15,34	27,13	28,83	40,86
37				
RV	28,34	30,16	30,17	48,82
15				
RV	19,37	29,81	36,46	51,99

Tabela 3. Mapas de zonas de manejo e respectivos valores de redução da variância (RV) considerando o grupo III (solo). Adaptado de Speranza et al. (2021).

n/k	2	3	4	5
74				
RV	0,39	3,46	4,15	23,68
37				
RV	0,96	7,73	11,15	15,63
15				
RV	81,52	100	100	100

Tabela 4. Mapas de zonas de manejo e respectivos valores de redução da variância (RV) considerando o grupo IV (índices de vegetação). Adaptado de Speranza et al. (2021).

n/k	2	3	4	5
74				
RV	1,63	3,07	16,52	16,74
37				
RV	23,26	24,76	51,31	51,69
15				
RV	22,51	22,54	42,28	43,25

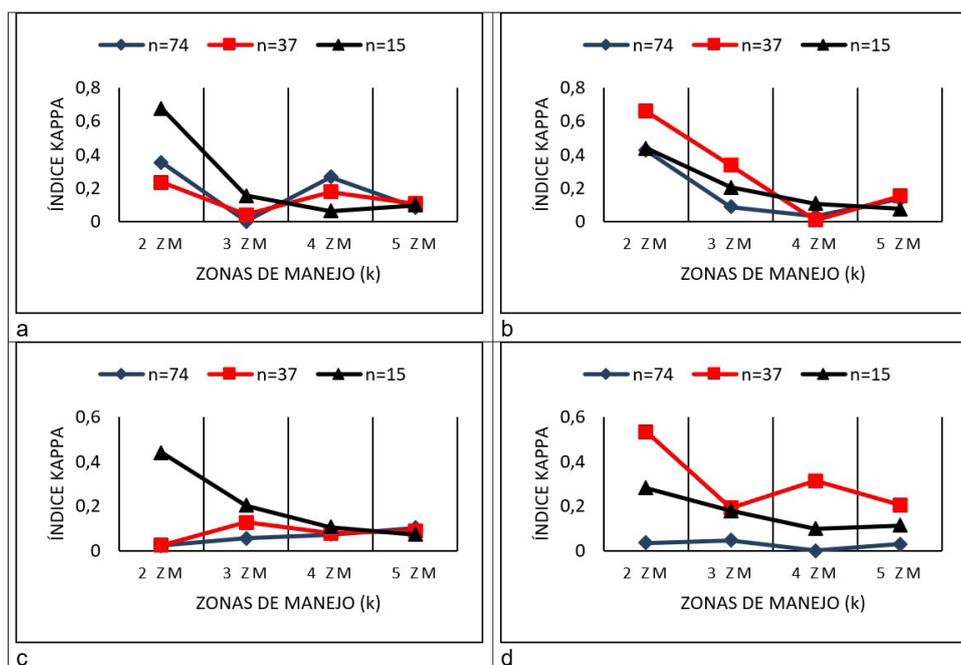


Figura 4. Índice Kappa para verificação de concordância entre mapas de zonas de manejo obtidos a partir de dados de produtividade (ZM-Prod) versus mapas de zonas de manejo obtidos a partir de atributos dos grupos a) I (ZM-I); b) II (ZM-II); c) III (ZM-III) e d) IV (ZM-IV). Adaptado de: Speranza et al. (2021).

cativas da variabilidade espacial do solo e da planta obtida por sensores, como as imagens de satélite, de Vant ou uso de sensores de campo (Vieira et al., 2008).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível inferir um impacto positivo no trabalho da fruticultura de precisão junto ao produtor, que hoje apresenta restrições no uso da tecnologia em razão das pequenas áreas envolvidas e de grande número de pontos de amostragens exigidos para a adequada identificação da dependência espacial. Esse impacto depende dos níveis de acurácia que o produtor deseja para seus resultados. Estudos com maior exatidão, pode demandar os levantamentos com maior número de amostragens na grade; no entanto, é possível reduzir as amostras da grade, desde que se tenha conhecimentos prévios do ambiente a ser amostrado no tempo e no espaço e das correlações entre variáveis indicativas da variabilidade.

Para uma melhor tomada de decisão quanto ao estabelecimento da grade amostral mínima em fruticultura, é fundamental considerar a temporalidade dos dados devido à questão fisiológica das plantas, que podem variar de uma safra para outra.

O estudo de caso apresentado levou à conclusão de que a utilização de conjuntos de atributos de dados em videira que consideram diferentes fatores ao mesmo tempo (solo, tecido vegetal e índices de vegetação)

proporcionam uma riqueza de informações suficiente para que sejam utilizadas grades amostrais limitadas de até quatro amostras por hectare, capazes de identificar de maneira satisfatória a variabilidade espacial da área e permitir a adoção da fruticultura de precisão. As indicações propostas neste estudo de caso podem estimular produtores de uva a adotar a tecnologia.

REFERÊNCIAS

- CIRANI, C. B. S.; MORAES, M. A. F. D. Inovação na indústria sucroalcooleira paulista: os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 4, p. 543-565, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0103-20032010000400003>.
- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960. DOI: <http://doi.org/10.1177/001316446002000104>.
- GEBLER, L. Fruticultura de precisão: uma análise dos desafios e uma nova visão de produção. **Agapomi**, n. 275, p. 10, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1069932/1/GeblerAgapomiN275P102017.pdf>. Acesso em: 26 out. 2022.
- GEBLER, L.; BUENO, M. B. Por que a fruticultura de precisão deve seguir princípios distintos dos utilizados na agricultura de precisão de grãos? In: **XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 2015, São Pedro. Anais [...]**. São Pedro: CONBEA, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digi->

- tal/bitstream/item/138399/1/Gebler-Conbea-set2015.pdf. Acesso em: 26 out. 2022.
- GEMTOS, T.; FOUNTAS, S.; TAGARAKIS, A.; LIAKOS, V. Precision agriculture application in fruit crops: experience in handpicked fruits. **Procedia Technology**, v. 8, p. 324-332, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.043>.
- GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 476 p. DOI: <http://doi.org/10.1093/oso/9780195115383.001.0001>.
- HOFF, R., FARIAS, A. R.; DUCATI, J. R.; TONIOLO, G. R. Aplicação de processamento digital de imagens orbitais e SIG para apoio à agricultura de precisão nas culturas da videira e macieira no Rio Grande do Sul. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (eds.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011.
- KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; MYERS, D. B.; DRUMMOND, S. T.; HONG, S. Y. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 285-308, 2005. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.012>.
- MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 420-426, 2005. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-69162005000200015>.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLACO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.
- OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 4, n. 3, p. 313-332, 1990. DOI: <http://doi.org/10.1080/02693799008941549>.
- SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; GEBLER, L. **Metodologia para sugestão de grades amostrais mínimas para monitoramento da variabilidade espacial de videiras**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2021.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.
- VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (eds.). **Cana de açúcar**. 1. ed. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo, 2008. p. 839-852.