

# VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL ENTRE TALHÕES DE *COFFEA ARABICA*

Eudocio Rafael Otavio da Silva<sup>1</sup>; Thiago Lima da Silva<sup>2</sup>; Ricardo Augusto de Souza<sup>3</sup>; Marcelo Chan Fu Wei<sup>2</sup>; José Paulo Molin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng<sup>o</sup> Agrícola e Ambiental, Doutorando - Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ, USP, Piracicaba - SP. eudocio@usp.br / (21) 9 7234-5249; <sup>2</sup>Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando - Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ, USP, Piracicaba - SP; <sup>3</sup>Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutorando - Depto. de Produção Vegetal, ESALQ, USP, Piracicaba - SP; <sup>4</sup>Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor - Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ, USP, Piracicaba - SP

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2022**  
Campinas, SP, 09 a 11 de agosto de 2022

**RESUMO:** A produtividade do cafeeiro apresenta variação mesmo entre plantas, porém o seu monitoramento e gestão ainda enfrentam dificuldades operacionais e a abordagem da variabilidade entre talhões pode ser uma estratégia simples e eficaz às diferenças climatológicas, tratos culturais, aplicação de corretivos e fertilizantes e aos efeitos da bienalidade. Este estudo teve como objetivo investigar a variabilidade espacial e temporal da produtividade e de atributos químicos do solo entre talhões de cafeeiros e verificar a magnitude da bienalidade ao longo de quatro safras a partir de uma abordagem por células. Para isto, foram utilizados dados de série histórica de quatro safras obtidas dos talhões de café de duas fazendas localizadas no município de Silvianópolis, MG, Brasil. A partir da abordagem, considerando-se os talhões como células, foram obtidos dados da produtividade e de atributos químicos do solo ao longo de quatro anos e foi realizado o mapeamento espacial e temporal destas variáveis a nível de talhão. Na ausência de recursos para monitoramentos e intervenções em elevada resolução espacial, a abordagem tendo os talhões como unidades representa um avanço. A investigação e identificação da variabilidade espacial e temporal da produtividade do café e dos atributos químicos do solo, como a saturação por bases (V%), mostrou-se eficaz como ferramentas para gestão localizada em cafezais a nível de talhão. O mapeamento da magnitude do efeito bienal do café em nível de talhão demonstrou ser uma potencial ferramenta que possibilita a geração de estratégias pelo produtor para lidar com este efeito na cultura do café.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amostragem por células; Bienalidade; Cafeicultura de precisão

## SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY BETWEEN *COFFEA ARABICA* FIELDS

**ABSTRACT:** Coffee yield varies even between plants, but its monitoring and management still face operational difficulties and the approach of the variability between stands can be a simple and effective strategy to the climatological differences, cultural treatments, application of correctives and fertilizers and the effects of the biennial. This study aimed to investigate the spatial and temporal variability of yield and soil chemical attributes between fields in coffee plantations and to verify the magnitude of bienniality over four seasons from a cell-based approach. For this, historical series data from four crops obtained from coffee fields on two farms located in the municipality of Silvianópolis, MG, Brazil were used. From the approach having the fields as cells, data on yield and chemical attributes of the soil were obtained over four years and the spatial and temporal mapping of these variables was carried out at the field level. In the absence of resources for monitoring and interventions in high spatial resolution, the approach having the fields as units represents an advance. The investigation and identification of the spatial and temporal variability of coffee yield and soil chemical attributes, such as base saturation (V%), on the two farms, proved to be an effective approach that can contribute to localized management in coffee plantations at the same level of field. The mapping of the magnitude of the biennial effect of coffee at the field level proved to be a potential tool that allows the generation of strategies by the producer to deal with this effect on the coffee crop.

**KEYWORDS:** Cell sampling; Biennial effect; Precision coffee growing

**INTRODUÇÃO:** A cafeicultura no Brasil é uma das atividades agrícolas de grande destaque devido à importância que a cultura apresenta na economia interna. A primeira estimativa da CONAB em 2022 para a

cafeicultura é que sejam destinados 2.236,99 mil hectares, sendo que deste total 1.809,98 mil hectares sejam do tipo arábica. A produção total é estimada em 55.743,00 mil sacas beneficiadas, apresentando incremento de 16,8% em relação à safra de 2021, com produtividade média nacional de 30,6 sacas ha<sup>-1</sup>, aumento de 16,1% em relação à safra anterior, reflexo do efeito da bienalidade (CONAB, 2022). A produtividade do café apresenta variação intra e inter talhão, porém o seu monitoramento e gestão ainda enfrentam dificuldades operacionais. Nesta perspectiva, ferramentas da Agricultura de Precisão (AP) podem ser úteis no monitoramento constante e na investigação da variabilidade espacial e temporal da produtividade do cafeeiro e da nutrição destes solos. Isto pode ser exposto através de mapas de produtividade e de atributos do solo que contribuam no entendimento do histórico de produção da fazenda e suas relações de causa e efeito na lavoura. São diversas as abordagens para investigação da variabilidade espacial em lavouras de café, podendo ser obtidas informações de alta precisão e acurácia (BAZAME et al., 2021). Entretanto, quando não estão disponíveis dados de alta resolução espacial a amostragem por células pode ser uma ferramenta eficaz para pequenas unidades produtivas. Neste tipo de amostragem o campo é dividido em subáreas denominadas células e o resultado obtido de uma amostra composta da variável de interesse representa toda a área da célula (GIMENEZ & ZANCANARO, 2012). Como não é recorrente na rotina do produtor a realização de amostragem por pontos georreferenciados e geração de mapas de produtividade do cafeeiro, a abordagem por células pode servir para o entendimento e a lidar com a variabilidade existente. Desta maneira, a abordagem da variabilidade entre talhões pode ser uma estratégia simples e eficiente às diferenças climatológicas, tratos culturais, aplicação de corretivos e fertilizantes e aos efeitos da bienalidade do café. Este estudo propõe que pequenos talhões de café podem servir como células para o entendimento da variabilidade espacial e temporal na fazenda. Sendo assim, teve-se como objetivo investigar a variabilidade espacial e temporal da produtividade e de atributos químicos do solo entre pequenos talhões em cafezais e verificar a magnitude da bienalidade ao longo de quatro safras a partir de uma abordagem por células.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** O estudo foi realizado em duas fazendas com cultivo comercial de *Coffea arabica* L., localizadas no município de Silvianópolis, sul do Estado de Minas Gerais, Brasil. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, apresentando temperaturas moderadas e verões quentes e chuvosos (MARTINS et al., 2018). A fazenda 1 possui 15 talhões com sistema de cultivo convencional de cafeeiros em produção das variedades Mundo Novo 376-4 e Catuaí Vermelho, com área total de 87,70 ha, coordenadas UTM 7.568.016,00 m N, 409.456,00 m E (Fuso 23) e altitude de 877,00 m. A fazenda 2 é constituída de 10 talhões com sistema de cultivo convencional de cafeeiros em produção das variedades Mundo Novo 376-4, Catuaí Amarelo, Catuaí Vermelho e Topázio, com área total de 73,37 ha, com coordenadas UTM 7.572.396,00 m N, 410.537,00 m E (Fuso 23) e altitude de 950,00 m (Figura 1).

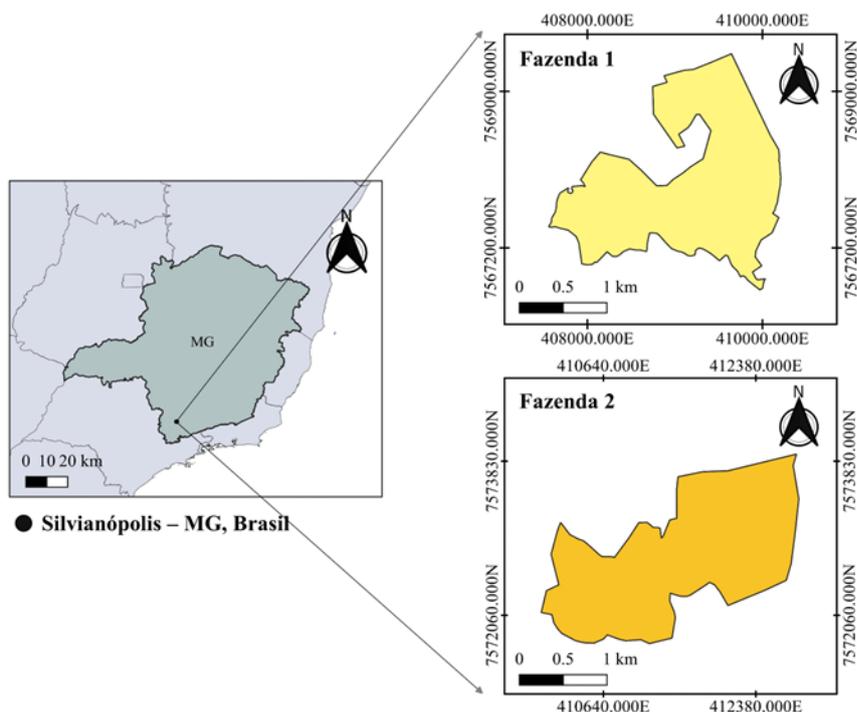


FIGURA 1. Localização geográfica das fazendas 1 e 2, município de Silvianópolis, sul do Estado de Minas Gerais. **Geographic location of farms 1 and 2, municipality of Silvianópolis, south of Minas Gerais State.**

As classes de solos predominantes nas fazendas são Argissolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Vermelho-Amarelo, distróficos (SANTOS et al., 2018). Os dados utilizados neste estudo foram coletados de cada talhão pela administração das fazendas em 2018, 2019, 2020 e 2021. Os dados de produtividade, atributos do solo e estado de plantas foram extraídos de dados médios em cada talhão (Figura 2).

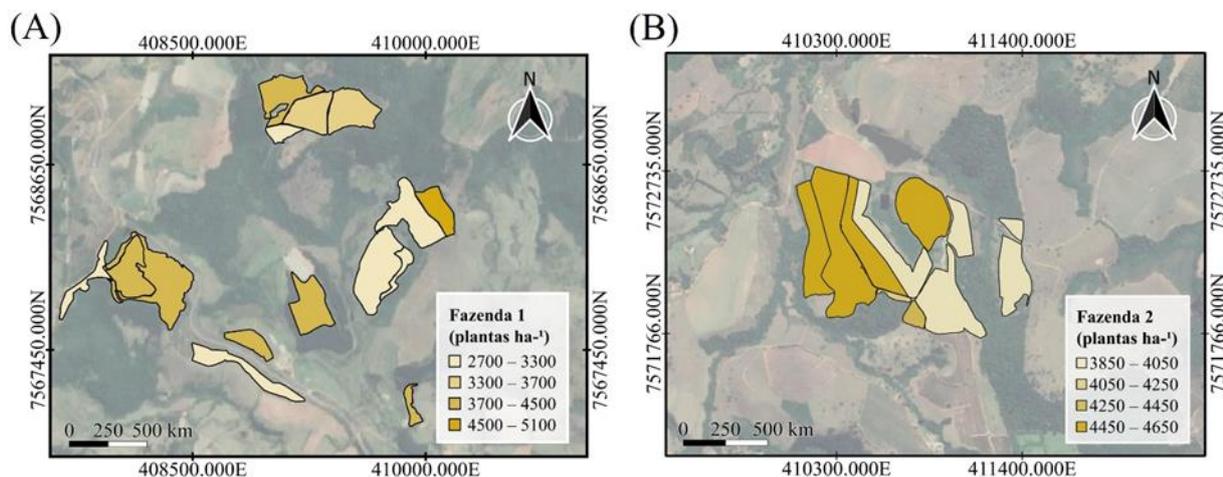


FIGURA 2. Estado de plantas  $ha^{-1}$  nos talhões da fazenda 1 (A) e 2 (B). **Plant stand  $ha^{-1}$  in the stands of farm 1 (A) and 2 (B).**

Como os talhões são relativamente pequenos, considerou-se cada um como sendo células (MOLIN et al., 2015), para efeito de monitoramentos referentes à amostragem de solo e produtividade. Assim, totalizou-se 25 células correspondentes às duas fazendas. Foram coletadas amostras de solo deformadas, na profundidade de 0-0,20 m na qual uma amostra era composta por 20 subamostras, nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021. Os dados de produtividade foram obtidos com base na massa de café úmido (Figura 3). Nas áreas com declividade inferior a 30% a colheita foi realizada mecanicamente utilizando colhedoras automotrizes de café. Nas áreas com declividades superiores a 30% a colheita foi semi-mecanizada, realizada com o suporte de derriçadeiras. A produtividade foi mensurada pelo volume de café, utilizando como referência um volume de 60L, e depois convertido em sacas por hectares.

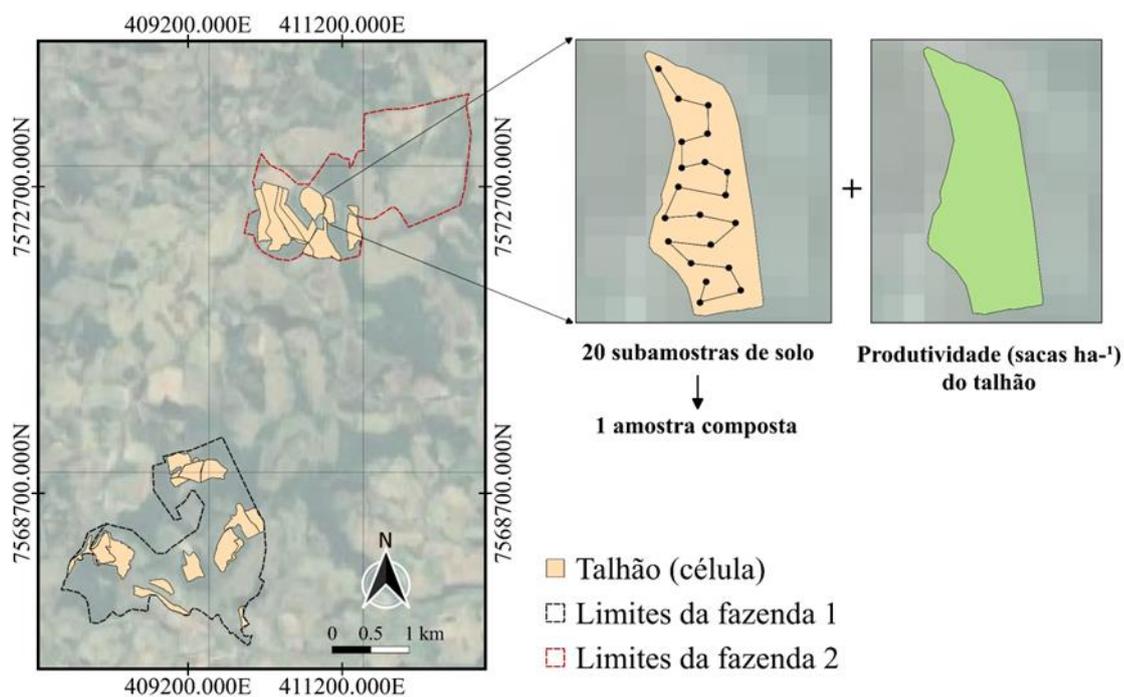


FIGURA 3. Obtenção das amostras de solo por amostragem por células e obtenção dos dados de produtividade do café considerando os talhões como células. **Obtaining soil samples by cell sampling and obtaining coffee yield data considering the fields as cells.**

Stevens (1949) sugeriu que a magnitude da bienalidade do café pode ser medida pela subtração da média da produção dos anos de alta produção pelos anos de baixa produção, trabalhando em números pares. Desta maneira, subtraiu-se os dados médios de produtividade dos anos de alta e de baixa produção para cada talhão nas fazendas 1 e 2 (Eq. 1).

$$P_{\text{talhão}} = \frac{(P_1 + P_2)}{2} - \frac{(P_3 + P_4)}{2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:  $P_1, P_2$  = valor médio da produtividade no talhão nos anos de maiores produções, sacas  $\text{ha}^{-1}$ ;  $P_3, P_4$  = valor médio da produtividade no talhão nos anos de menores produções, sacas  $\text{ha}^{-1}$ .

Foram realizadas análises de atributos químicos dos solos ao longo dos anos em cada talhão. Os atributos analisados foram pH em água, cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al) e potássio (K) trocáveis, fósforo (P) assimilável e acidez potencial (H+Al) segundo Teixeira et al. (2017). A partir dos teores de nutrientes no solo foram obtidos os dados sobre a capacidade de troca de cátions total (CTC) e saturação por bases (V%) (GARÇONI & SOBREIRA, 2017; TEIXEIRA et al., 2017). Para a avaliação da análise descritiva e exploratória dos dados utilizou-se o programa R Studio 3.5.1. Foram obtidos de cada atributo os valores mínimos, médios, máximos, coeficiente de variação (CV), desvio padrão, assimetria e curtose, assim como identificados valores discrepantes. Os mapas de variabilidade espacial e temporal das variáveis de interesse foram gerados por meio do programa Quantum Gis 3.10.10 (QGIS).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os resultados da estatística descritiva estão apresentados na Tabela 1. Observou-se que durante as safras dos quatro anos estudados houve variabilidade na produtividade entre as fazendas 1 e 2.

TABELA 1. Estatística descritiva da produtividade do café nas safras de 2018 a 2021 nas fazendas 1 e 2. **Descriptive statistics of coffee yield in the 2018 to 2021 crops on farms 1 and 2**

Produtividade nas safras de 2018, 2019, 2020 e 2021 (Sacac $\text{ha}^{-1}$ )							
	Mínimo (sacas $\text{ha}^{-1}$ )	Máximo (sacas $\text{ha}^{-1}$ )	Média	Total (sacas $\text{ha}^{-1}$ )	Desvio padrão	Assimetria	Coeficiente de variação (%)
Fazenda 1	0	129,55	29,21	1.752,54	26,17	1,69	89,61
Fazenda 2	0	85,81	19,59	783,38	20,88	0,83	100,00

Verifica-se que o coeficiente de variação apresentou valores acima de 60% indicando alta variabilidade pela classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), indicando a heterogeneidade de produtividade dos talhões nas fazendas 1 e 2. A variabilidade da produtividade toma como base a amplitude dos valores mínimos e máximos verificados nos talhões, como valores mínimos iguais a zero (0) e máximos iguais a 129,00 e 85,81 sacas  $\text{ha}^{-1}$ , respectivamente nas fazenda 1 e 2, corroborando com altos valores de desvio padrão, coeficiente de variação e a assimetria afastada de zero, indicando um distanciamento da distribuição normal. As produtividades nulas são resultado do esqueletamento praticado nestes talhões. A variabilidade da produtividade verificada nas fazendas pode ser decorrente da variação de estande, espaçamentos entre plantas e classes de solos presentes nos talhões, além da influência do manejo de adubação estabelecido para cada talhão e da bienalidade. Segundo Andrade et al. (2015) a influência do arranjo espacial menores do café na produtividade pode ser positiva entre plantas na linha, porém conclusões sobre variabilidade de produtividade em café não podem ser baseado apenas em combinações de espaçamentos devido à complexidade de interações que envolve o sistema de produção. Os valores de produtividades médias da produção de café nas fazendas nos anos de 2018 a 2021 podem ser visualizados na Figura 4.

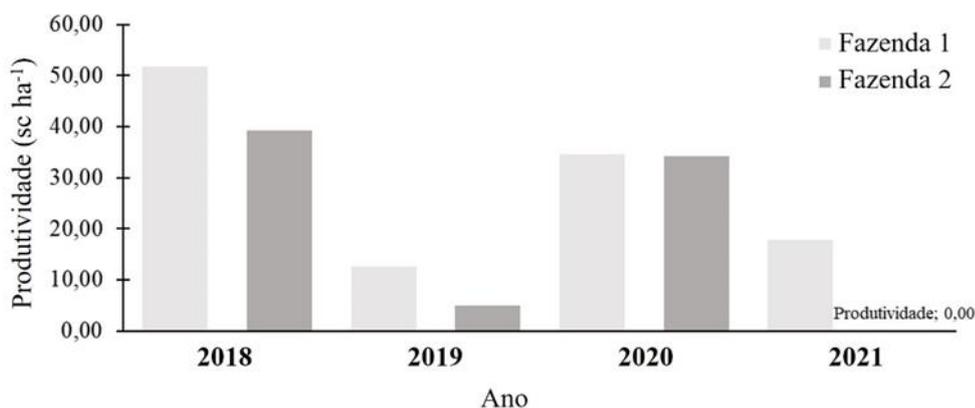


FIGURA 4. Produtividades médias (sacas ha<sup>-1</sup>) da produção de café nas fazendas 1 e 2 nos anos de 2018 a 2021. **Average coffee yield (sacas ha<sup>-1</sup>) on farms 1 and 2 in the years 2018 to 2021.**

A partir dos valores médios de produtividade do café observados é possível verificar a variação temporal da produtividade dos cafezais, caracterizada pela bienalidade positiva nos anos de 2018 e 2020 nas fazendas 1 e 2. Para ser entendida, a variabilidade da produtividade necessita de ferramentas tecnológicas de auxílio devido à complexidade das interações existentes entre variáveis de solo, clima e o comportamento agrônômico da cultura. Segundo Ferraz et al. (2017) informações retiradas de dados de produtividade em conjunto com a observação de mapas podem contribuir para encontrar os motivos da ocorrência da variabilidade da produtividade, principalmente em se tratando de baixas produtividades, como as ocorridas em 2019 e 2021, e permitem que na próxima safra estes problemas possam ser minimizados. Desta forma, o cafeicultor pode planejar de forma eficaz com base em informações históricas das áreas mapeadas e tomar as decisões que proporcionem um melhor desempenho produtivo da cultura. Os mapas da variabilidade temporal e espacial são ferramentas de orientação para o sistema de produção da cafeicultura, pois podem demonstrar fatores que influenciam na variabilidade da produtividade como a bienalidade, fertilidade do solo, nutrição das folhas, pragas e doenças (CARVALHO et al., 2017). As Figuras 5 e 6 apresentam os mapas de produtividade das fazendas 1 e 2, respectivamente, de 2018 a 2021.

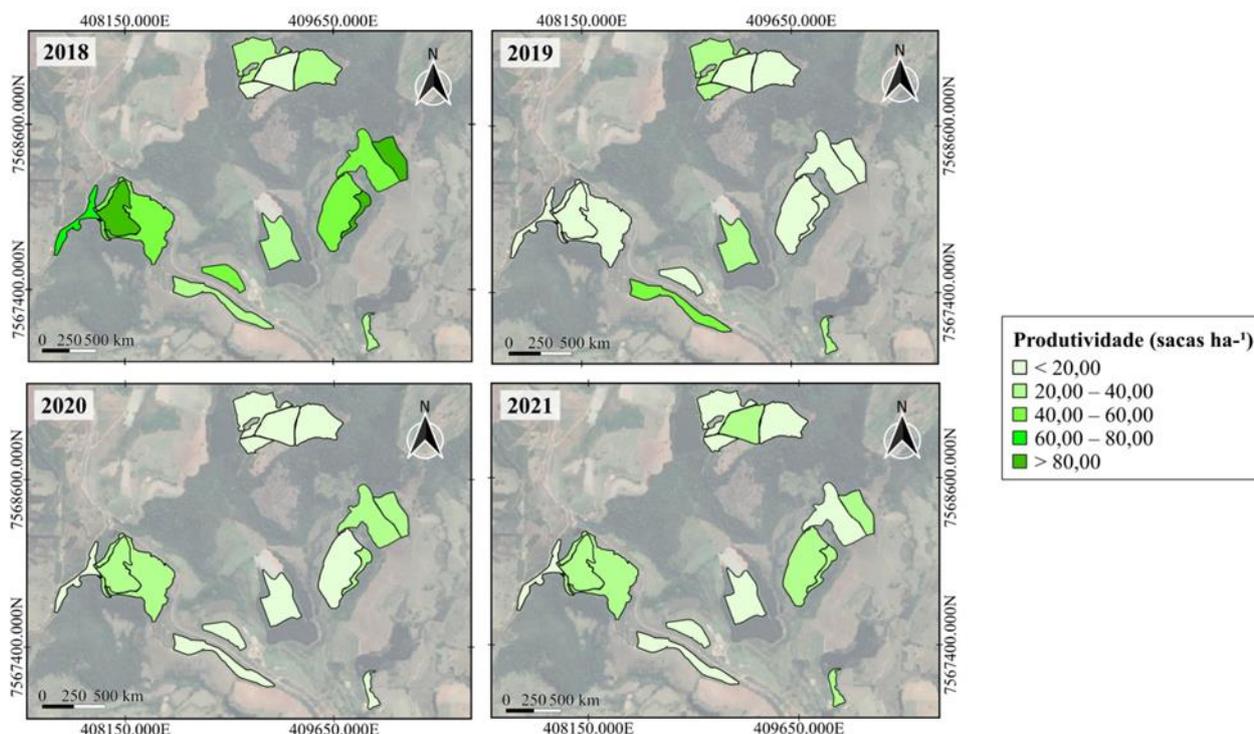


FIGURA 5. Mapas da variabilidade espacial e temporal da produtividade de café na fazenda 1 nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021. **Maps of spatial and temporal variability of coffee yield on farm 1 in the years 2018, 2019, 2020 and 2021.**

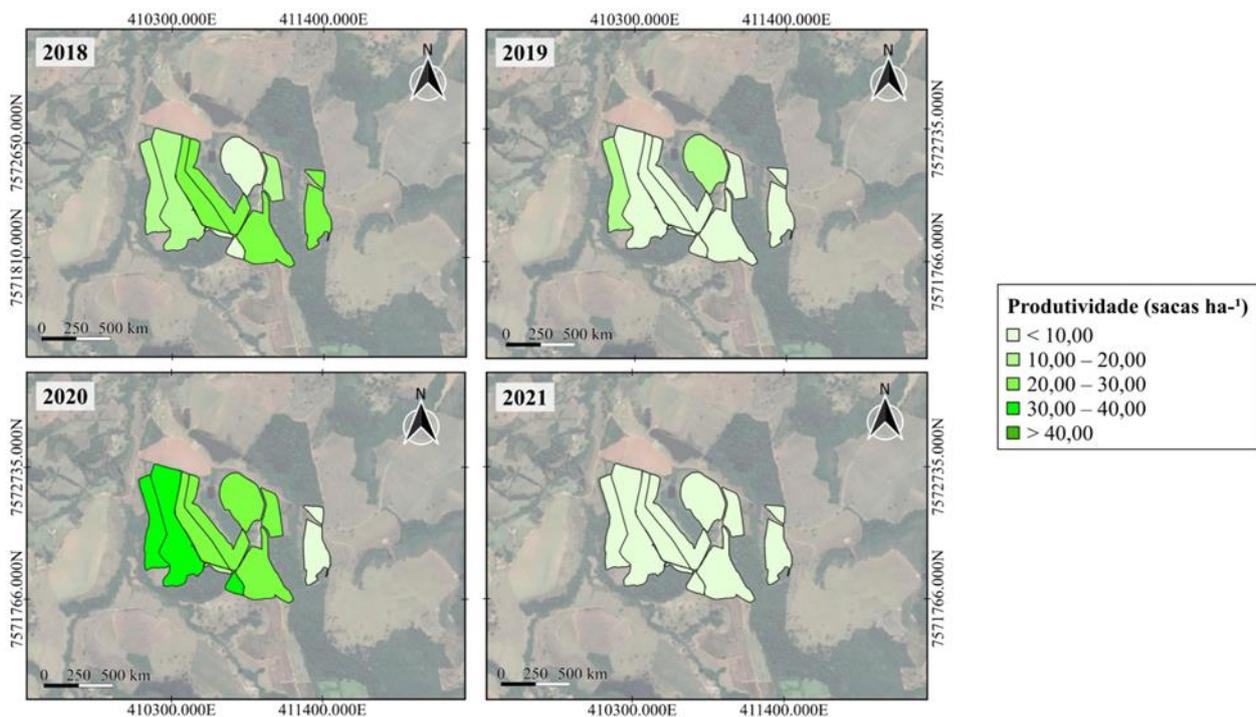


FIGURA 6. Mapas da variabilidade espacial e temporal da produtividade de café na fazenda 2 nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021. **Maps of spatial and temporal variability of coffee yield on farm 2 in the years 2018, 2019, 2020 and 2021.**

Verifica-se que nos anos de bialidade positiva (2018 e 2020) existe produtividade maior, possivelmente influenciado por talhões onde grande parte das plantas conseguiram recuperação fisiológica para expressão de maior produtividade na bialidade ou mesmo responderam positivamente ao manejo de poda e adubações aplicadas durante o período de bialidade negativa. Para Carvalho et al. (2017) uma comparação visual entre mapas pode demonstrar a ocorrência de bialidade na produtividade, pois as regiões que tiveram as maiores produtividades apresentaram os maiores valores. Neste caso, observa-se que os talhões que utilizaram suas reservas para frutificação, influenciando negativamente no crescimento dos ramos e, conseqüentemente, reduzindo a produtividade em anos de bialidade negativa, foram observados no mapa nos anos de 2019 e 2021. No ano de 2019 e 2021, anos de bialidade negativa, observa-se uma variabilidade e produtividade menor nos talhões. Para Rodrigues et al. (2013) esta característica na cultura do café ocorre devido ao processo de alocação dos fotoassimilados em anos de alta produtividade para enchimento dos grãos e isso prejudica o crescimento das partes vegetativas da cultura, apresentando um rendimento menor no ano subseqüente. Nos anos de bialidade negativa, além das características fisiológicas da cultura, o produtor aplica tratos culturais mais específicos como correções e podas influenciando na produtividade. O esgotamento nas safras de 2018 e 2020 pode explicar valores baixos de produtividade dos talhões nos anos de bialidade negativa. Equilíbrio da disponibilidade de nutrientes no solo também pode influenciar na variabilidade da produtividade nas fazendas. Para contribuir no entendimento dos fatores que influenciam a variabilidade da produtividade, a Figura 7 exibe a variabilidade espacial e temporal da saturação por bases (V%) nos talhões das fazendas 1 e 2.

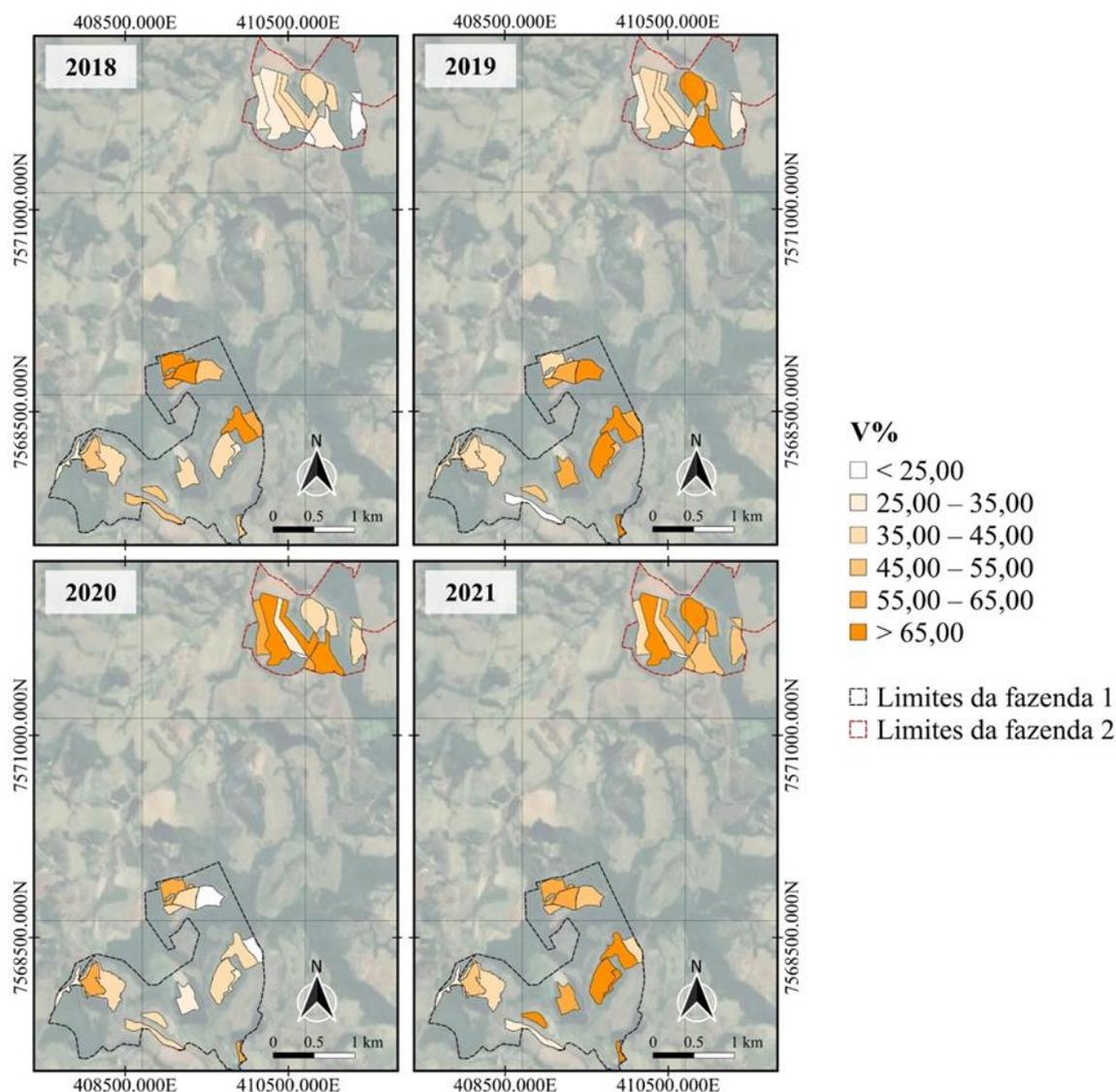


FIGURA 7. Variabilidade espacial e temporal da saturação de bases (V%) do solo nas fazendas 1 e 2. **Spatial and temporal variability of soil base saturation (V%) in farms 1 and 2.**

Os valores encontrados na análise do solo que apresentam V% abaixo de 60% podem ter contribuído para a observação desta variabilidade. Segundo Ribeiro et al. (1999) para a cultura do cafeeiro, o ideal de saturação por bases fica em torno de 60%, disponibilidade abaixo deste valor pode influenciar na produtividade e, conseqüentemente, aumentar a variabilidade dentro dos talhões. Utilizado no método da elevação da saturação de bases (GARÇONI & SOBREIRA, 2017), o mapeamento da V% permite identificar a variabilidade deste atributo no solo para a correção da acidez ou evitar supercalagem nas épocas de planejamento para preparação de safra. Estes dados juntamente aos dados de produtividade podem orientar os produtores na aplicação de insumos, assim como na redução de custos em operações nos cafezais. A magnitude da oscilação da bienalidade na produtividade do café pode contribuir para o entendimento do comportamento das safras (Figura 8).

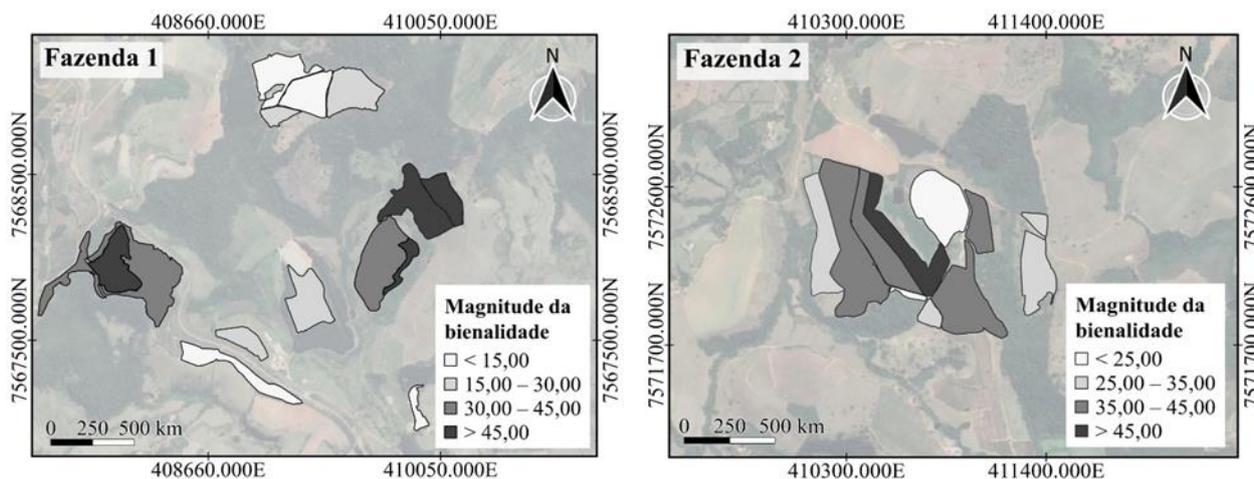


FIGURA 8. Magnitude da oscilação da bienalidade nos talhões nas fazendas 1 e 2 para os anos 2018, 2019, 2020 e 2021. **Magnitude of the biennial oscillation in the fields on farms 1 and 2 for the years 2018, 2019, 2020 and 2021.**

Verifica-se que a magnitude da oscilação da bienalidade do café foi obtida pela média dos anos de alta (2018 e 2020) e de baixa (2019 e 2021) produtividade do cafeeiro (STEVENS, 1949). Para magnitude da bienalidade, valores mais próximos a zero (0) significa que houve menor variabilidade na produtividade, ou seja, a alternância entre altas e baixas produtividades no ano subsequente foram próximas. Valendo-se também do contrário para os maiores valores de magnitude da bienalidade. É possível verificar que os talhões na fazenda 1 exibiram valores de magnitude da bienalidade que variaram em menos que 15 a maiores que 45, atingindo valores de 71,9. A fazenda 2, mesmo com um menor número de talhões quando comparados a fazenda 1, exhibe oscilações da variabilidade da magnitude da bienalidade menores que 25 a maiores que 45, atingindo magnitudes de 58,8. Segundo Pereira et al. (2011), o arranjo espacial mais adensado acentua os efeitos da bienalidade, pois nestes cultivos a variabilidade entre as colheitas é maior provocando a oscilação produtiva e gerando maior magnitude da bienalidade. Com a informação da variabilidade espacial e temporal dos efeitos da magnitude da bienalidade é possível dimensionar ações localizadas em nível de talhão que orientem o produtor. Uma vez que podem contribuir na realização de estratégias para lidar com os efeitos da bienalidade nas próximas safras. De maneira geral, a abordagem da variabilidade entre talhões de café por células pode auxiliar os produtores no manejo em pequenos talhões nas fazendas, sobretudo às ações relacionadas ao planejamento de adubação do solo, estabelecimento de tratos culturais e de novos espaçamentos no processo de renovação do cafezal, tendo um maior controle e gestão dos cafezais mesmo que em baixa resolução espacial.

**CONCLUSÃO:** Na ausência de recursos para monitoramentos e intervenções em elevada resolução espacial, a abordagem tendo os talhões como unidades representa um avanço. A investigação e identificação da variabilidade espacial e temporal da produtividade do café nas fazendas e dos atributos químicos do solo, como a saturação por bases (V%), apresentou-se como ferramenta eficaz e que pode contribuir na gestão localizada em cafezais em nível de talhão. O mapeamento da magnitude do efeito bienal do café em nível de talhão demonstrou ser uma potencial ferramenta que possibilita a geração de estratégias pelo produtor para lidar com este efeito na cultura do café.

#### REFERÊNCIAS

- BAZAME, H.C.; MOLIN, J.P.; ALTHOFF, D.; MARTELLO, M. Detection, classification, and mapping of coffee fruits during harvest with computer vision. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.183, 2021.
- CARVALHO, L.C.C.; SILVA, F.M.; FERRAZ, G.A.S.; STRACIERI, J.; FERRAZ, P.F.P.; AMBROSANO, L. Geostatistical analysis of Arabic coffee yield in tow crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.6, p.410–414, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira café, v.9 – Safra 2022**, n. 1, Primeiro levantamento, Brasília-DF, p.1–60, 2022.

FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.M. da; OLIVEIRA, M.S. de; CUSTÓDIO, A.A.P.; FERRAZ, P.F.P. Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.1, p.81-91, 2017.

GIMENEZ, L.M.; ZANCANARO, L. Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica da amostragem em grade. **Informações Agronômicas**, n. 138, p 19–25, 2012.

GUARÇONI, A.; SOBREIRA, F.M. Classical methods and calculation algorithms for determining lime requirements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.41, p.1-11, 2017.

MARTINS, T.B.; ALMEIDA, G.C.; AVELAR, F.G.; BEIJO, L.A. Predição da precipitação máxima no município de Silvianópolis-MG: Abordagens clássica e bayesiana. **Irriga**, v.23, n.3, p.467–479, 2018.

MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. **Agricultura de Precisão**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015. p.238.

PEREIRA, S.P.; BARTHOLO, G.F.; BALIZA, D.P.; SOBREIRA, F.M.; GUIMARÃES, R.J. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.2, p.152–160, 2011.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação: Viçosa, CFSEMG, 1999. p.359.

RODRIGUES, W.N. et al. Crop yield bienniality in groups of genotypes of conilon coffee. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, p.4422–4426, 2013.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

STEVENS, W. L. Análises estatísticas do ensaio de variedades de café. **Bragantia**, v.9, n.5-8, p.103–123, 1949.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 344p, 1980.