

## VARIABILIDADE ESPACIAL DO EFEITO DO RELEVO E DA TEMPERATURA NA PRODUTIVIDADE DO CAFÉ NO MACIÇO DE BATURITÉ

Thereza Cristina de Assis Botelho<sup>1</sup>, Francisco Ivan Carlos de Oliveira<sup>1</sup>, Antonio Patrick  
Meneses de Brito<sup>2</sup>, Fred Denilson Barbosa da Silva<sup>3</sup>, Rafaella da Silva Nogueira<sup>3</sup>

**RESUMO:** A pesquisa objetiva analisar a variabilidade espacial do relevo e da temperatura bem como a influência que tais fatores exercem na produtividade da cultura do café no município de Mulungu-CE. A área de estudo foi dividida em três unidades experimentais de acordo com a declividade. Aplicou-se dois índices fenológicos de produtividade/m<sup>2</sup> analisando as variáveis: temperatura da folha(°C), temperatura do solo (°C), altura (m), diâmetro da copa (m) e diâmetro do caule (cm). Os resultados foram submetidos à análise geoestatísticas para a modelagem dos semivariogramas e interpolação dos mapas por krigagem. Identificou-se que as plantas com maiores alturas e diâmetros do caule estão situadas no relevo suave-ondulado e ondulado. As maiores temperaturas foram encontradas na classe de relevo forte-ondulado, que apresentou índices fenológicos de produção inferiores em comparação às áreas com relevo suave-ondulado e ondulado.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Coffea arabica* L., Geoestatística, Análise espacial

## SPATIAL VARIABILITY OF THE EFFECT OF RELIEF AND TEMPERATURE ON COFFEE PRODUCTIVITY IN THE BATURITÉ MASSIVE

**ABSTRACT:** The research aims to analyze the spatial variability of relief and temperature as well as the influence that such factors have on the productivity of coffee culture in the municipality of Mulungu-CE. The study area was divided into three experimental units according to the slope. Two phenological productivity indexes / m<sup>2</sup> were applied analyzing the variables: leaf temperature (° C), soil temperature (° C), height (m), crown diameter (m) and stem diameter (cm). The results were submitted to geostatistical analysis for the modeling of semivariograms and interpolation of maps by kriging. It was identified that plants with greater

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo(a), Instituto de Desenvolvimento Rural, UNILAB, Redenção, Ceará.

<sup>2</sup>Graduando, Instituto de Desenvolvimento Rural UNILAB, CEP 62790-000, Redenção, CE, Fone (85)985923472. Email: patrickmeneses675@gmail.com.

<sup>3</sup>Prof. Doutor(a), Instituto de Desenvolvimento Rural, UNILAB, Redenção, Ceará.

heights and stem diameters are located in the smooth-wavy and wavy relief. The highest temperatures were found in the class of strong-wavy relief, which presented lower phenological indices of production compared to areas with smooth-wavy and wavy relief.

**KEYWORDS:** *Coffea arabica* L., Geostatistics, Spatial analysis

## INTRODUÇÃO

Durante muitas décadas o café foi o principal produto das exportações nacionais e apesar da perda de sua importância relativa na pauta das exportações brasileiras nas últimas décadas, este produto ainda é muito importante para o país (SAKON et al., 2012). Contudo, com o avanço das mudanças climáticas a produtividade e a qualidade do café vêm perdendo espaço para outras culturas reduzindo as possibilidades de intensificar e restabelecer a cafeicultura no Brasil.

Devido à diversidade de fatores que influenciam a produtividade do cafeeiro, o manejo da lavoura de forma homogênea pode acarretar na redução de rentabilidade do produtor rural. Nesse sentido, análises espaciais de produtividade podem possibilitar o gerenciamento mais eficiente do processo produtivo (FERRAZ et al., 2012). O conhecimento do ambiente em que o cafeeiro está inserido permite um melhor planejamento da produção, visando o desenvolvimento sustentável e a obtenção de produtos com qualidade, uma vez que os fatores ambientais exercem grande influência sobre a qualidade da bebida (ALVES et al., 2011).

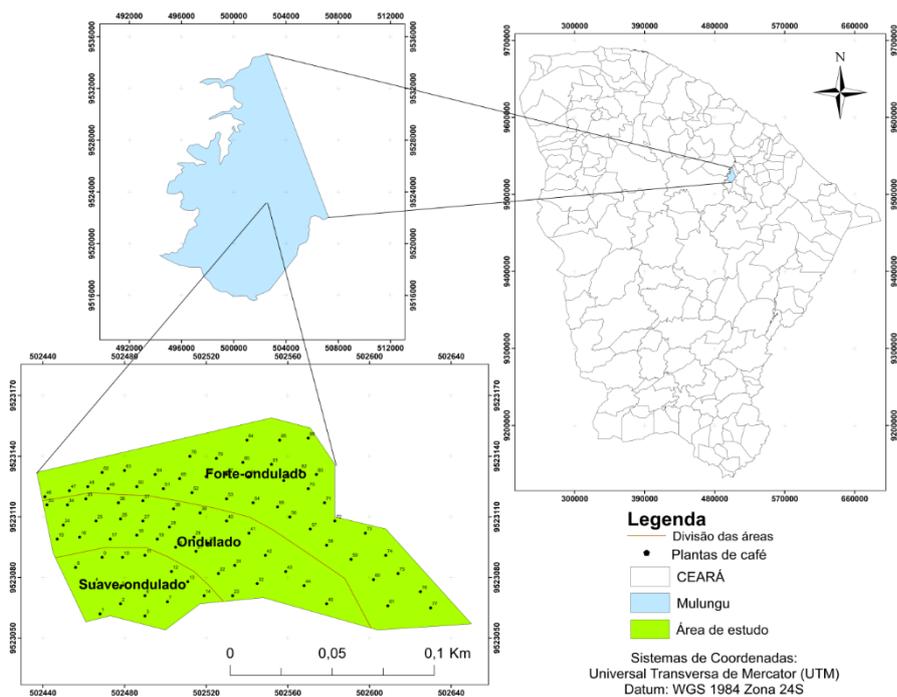
Tradicionalmente, as regiões consideradas aptas ao cultivo do *Coffea arabica* L. são aquelas que apresentam temperatura média anual entre 19° C e 22° C e déficit hídrico inferior a 150 mm anuais (VENTURIN et al., 2013), as temperaturas mais elevadas reduzem os ciclos entre florada e a maturação de grãos, especialmente na fase final do ciclo. Conforme Mesquita et al. (2016) a condição hídrica ideal para o café arábica está entre 1.200 mm e 1.800 mm anuais, podendo suportar um déficit hídrico de até 150 mm, sem grandes prejuízos.

Apesar de existirem estudos relacionados à previsão de safra na cultura do café, ainda não se tem um consenso sobre a melhor metodologia a ser empregada. Isto é devido, basicamente às características da cultura do café, como a existência de bianualidade, a produção ser afetada pelas condições climáticas e do solo, estado fisiológico da lavoura, arquitetura das plantas, espaçamentos de plantio, bem como ao potencial produtivo das diferentes cultivares, o que dificulta o estabelecimento de um modelo de previsão de safra (ROCHA et al., 2016). O relevo também é importante na instalação de novos cafezais, quando se consideram aspectos relacionados com mecanização e conservação do solo (ALVES et al., 2011).

Como existem diversos fatores que influenciam a produtividade do café, pesquisas têm utilizado tanto modelos matemáticos para a estimativa da produtividade do café (FAHL et al., 2005; OLIVEIRA, 2007; MIRANDA, 2014) como técnicas de geoprocessamento para verificar a variabilidade espacial de uma lavoura de café a fim de identificar a influência que os fatores climáticos e de relevo exercem na produtividade da cultura. Com isso esta pesquisa objetiva analisar a variabilidade espacial do relevo e da temperatura bem como a influência que tais fatores exercem na produtividade da cultura do café no município de Mulungu-CE.

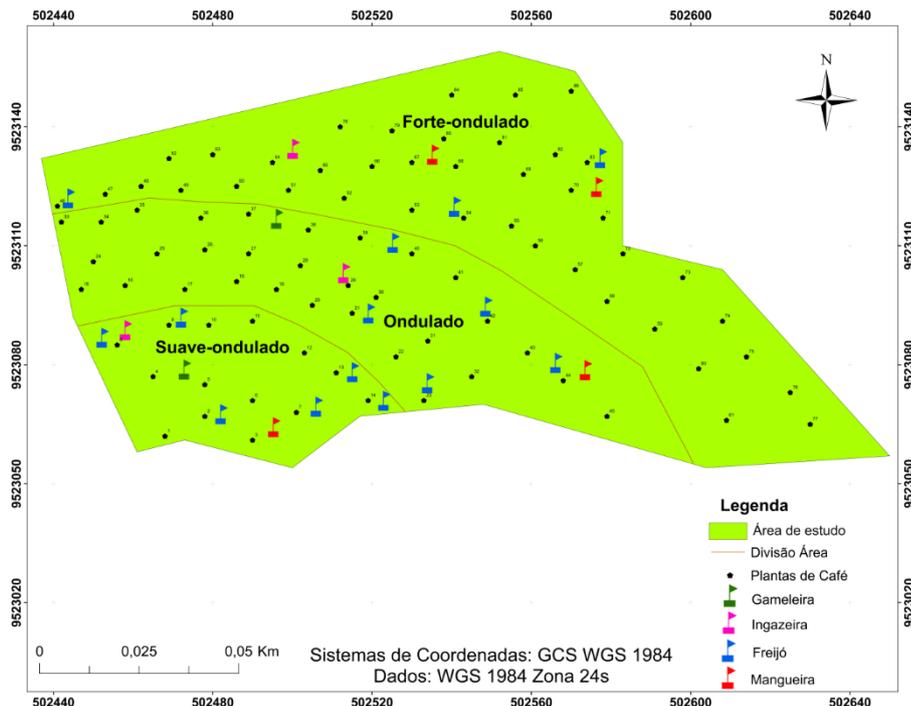
## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no sítio Bem-Te-Vi localizado no município de Mulungu-CE situado entre as coordenadas geográficas (UTM) 052530 de latitude Sul e 9523108 de longitude Oeste (Figura 1). A área em estudo é de 1,4 ha cultivada com *C. arabica* L., cv. Paraíso.



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

A área foi dividida em três Unidades Experimentais (UEs) levando-se em consideração a declividade do terreno (Figura 2): relevo suave-ondulado (3-8%), relevo ondulado (8-20%) e relevo forte ondulado (20-45%). Dentro de cada UE foram avaliadas, aleatoriamente, 10 plantas e selecionados 6 ramos plagiotrópicos, sendo 3 ramos de cada lado da rua, situados no terço superior, central e inferior do cafeeiro, totalizando 60 ramos plagiotrópicos por UE, conforme Miranda (2014).



**Figura 2.** Divisão das unidades experimentais e demarcação das áreas sombreadas.

A obtenção dos índices fenológicos de produtividade (IFP) foi realizada com a aplicação de dois modelos matemáticos intitulados de índice fenológico de produção 1 (IFP1) e índice fenológico de produção 2 (IFP2). O IFP1 baseou-se no modelo proposto por Fahl et al. (2005) sendo a estimativa da produção, calculada através da equação 1. O IFP2 seguiu o modelo proposto por Miranda (2014), conforme descrito na equação 2.

$$IFPI = MF45 * (ALT * 2) * CML \quad (1)$$

Em que:

*IFPI* - índice fenológico produtivo de um hectare de café;

*MF45* - média de frutos presentes nos 4º e 5º nós produtivos a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos;

*ALT x 2* - dobro da altura média das plantas, em metros em cada EU;

*CML* - comprimento (m) de linha de cafeeiro por hectare obtido pela divisão de 10.000 pelo espaçamento (m) entre linhas das plantas.

$$P2 = \left[ \frac{\pi * D^2 * ALT}{4} \right] * (MF45 * CML) \quad (2)$$

Em que:

*IFP2* - índice fenológico produtivo de um hectare de café;

$\pi$  - número irracional de valor aproximado e fixo igual a 3,14;

$D^2$  - diâmetro do cafeeiro medido na altura da saia elevado ao quadrado;

*ALT* - altura média das plantas, em metro de cada UE;

*MF45* - média de frutos presentes nos 4° e 5° nós produtivos a partir do ápice, dos ramos plagiotrópicos;

*CML* - comprimento (m) de linha de cafeeiro por hectare obtido pela divisão de 10.000 pelo espaçamento (m) entre linhas das plantas.

Após a obtenção dos resultados dos Índices Fenológicos de Produção, os valores de cada índice foram divididos pelas suas áreas equivalentes obtendo assim o Índice Fenológico de Produção por metro quadrado (IFP/m<sup>2</sup>). A estimativa dos índices fenológicos de produtividade (IFP) foi realizada *in loco* e tratados em plataforma Excel.

Avaliou-se a temperatura (°C) na superfície do solo e nas folhas das plantas, com auxílio do termômetro infravermelho com mira laser - DT -8550 nos meses de setembro, outubro e novembro. A altura das plantas, o diâmetro da copa na região do terço central da planta e o diâmetro do caule (dezembro).

As variáveis analisadas foram submetidas à análise geoestatística, obtendo-se assim os semivariogramas. Foram testados os modelos gaussianos, esférico, exponencial e linear. Ajustou-se o modelo com o maior valor do coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) e menor soma de quadrados dos resíduos (SQR) e determinou-se os parâmetros: efeito pepita (*C<sub>0</sub>*), patamar (*C<sub>0</sub>* + *C*) e alcance (*a*). A análise da dependência espacial foi realizada através do *software Gamma Design GS+* (versão 10). Os dados foram interpolados por meio da técnica da krigagem. Para elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis avaliadas, foi utilizado o programa SURFER 8.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores da estatística descritiva das variáveis temperatura da folha e do solo (°C) no período de setembro a novembro, altura (Alt), diâmetro da copa (DCopa) e do caule (Dcaule) da planta de café.

**Tabela 1.** Estatística descritiva para as variáveis de temperatura e parâmetros morfológicos.

Variáveis	Meses	Média	S	Variância	CV	Mín	Máx	Cs	Ck
Tf (°C)	Set	28,18	3,10	9,62	11	24,70	39,05	1,58	2,35
	Out	30,36	2,11	4,43	7	26,75	38,10	1,35	2,15
	Nov	27,78	1,31	1,71	5	25,70	32,70	1,50	3,54
Ts (°C)	Set	29,28	5,33	28,49	18	23,60	53,00	1,96	4,61
	Out	30,82	3,01	9,06	10	26,40	40,90	1,30	2,13
	Nov	27,14	1,88	3,56	7	23,20	35,10	0,88	3,05
Alt (m)	Dez	2,05	0,44	0,19	21	0,54	3,20	-0,22	0,83
DCopa (m)	Dez	1,26	0,24	0,06	19	0,48	1,65	-0,74	0,14

DCaule (cm)	Dez	10,75	2,59	6,71	24	2,50	17,5	0,02	0,33
-------------	-----	-------	------	------	----	------	------	------	------

S- Desvio padrão; CV - Coeficiente de Variação (%); Mín - Mínima; Máx - Máxima; Cs- Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose; Set - setembro; Out- outubro; Nov – novembro; Dez-dezembro.

A maior média encontrada para as variáveis temperatura da folha e temperatura do solo ocorreu no mês de outubro, com 30,36° C e 30,82° C, respectivamente. A média da temperatura da folha variou de 27,78 a 30,36° C, apresentando valor mínimo de 24,70° C no mês de setembro e valor máximo de 39,05° C em outubro, com 2,05° C de amplitude térmica. Conforme Moreira (2008) em regiões com temperatura média anual acima de 25° C e de clima seco, os cafeeiros são propensos a sofrerem o abortamento das flores, o que prejudica a frutificação. No extremo oposto, temperaturas inferiores a 17° C proporcionam baixos níveis de produtividade. Além disso, ocorre o atraso no desenvolvimento dos frutos e a maturação pode sobrepor-se ou ultrapassar a florada seguinte, prejudicando a vegetação e a produção do cafeeiro.

Para temperatura do solo, a média variou de 27,14 a 30,82° C, sendo no mês de novembro o que apresentou a menor temperatura (23,20° C) e no mês de setembro a temperatura mais elevada (53,00° C). O CV teve baixa variabilidade para a temperatura da folha e do solo em outubro e novembro, indicando homogeneidade. Observou-se variação média na temperatura da folha e do solo (setembro) e para o diâmetro da copa. A altura e diâmetro do caule apresentaram variabilidade alta.

A assimetria e a curtose apresentaram distribuição normal (maioria das variáveis), sendo a temperatura do solo em setembro que apresentou maior curtose (4,61). Houve distribuição assimétrica positiva na área. A assimetria negativa foi encontrada apenas na altura das plantas e no diâmetro da copa. De acordo com Assunção (2014) quanto mais próximo de zero estão os valores de assimetria, mais se aproximam da normalidade.

Os semivariogramas que se ajustaram ao modelo gaussiano foram temperatura da folha nos meses de outubro e novembro e temperatura do solo no mês de setembro, sendo este o modelo teórico que apresentou melhor ajuste para a semivariância empírica das temperaturas (Tabela 2). Segundo Bottega et al. (2013) o modelo gaussiano é representativo de fenômenos extremamente contínuos, indicando suave variação em pequenas distâncias de observação. Para o modelo exponencial, apenas a temperatura do solo em outubro se ajustou a esse modelo, já a temperatura do solo em novembro e a altura se ajustaram ao modelo esférico. Os parâmetros temperatura do solo em setembro, diâmetro da copa e do caule foram classificados como modelo linear.

**Tabela 2.** Parâmetros dos modelos de semivariância ajustados para os atributos analisados.

Parâmetros	Meses	Modelo	SQR	R <sup>2</sup>	C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> +C)	C <sub>0</sub>	(C <sub>0</sub> +C)	a (m)
Tf (°C)	Set	Linear	8,03	0,01	0,00	8,87	8,87	94,65

	Out	Gaussiano	2,04	0,76	1,00	0,01	4,60	17,15
	Nov	Gaussiano	0,42	0,64	1,00	0,00	1,68	16,45
	Set	Gaussiano	56,50	0,83	0,69	16,70	54,40	223,95
Ts (°C)	Out	Exponencial	3,00	0,84	0,73	2,49	9,35	47,70
	Nov	Esférico	1,41	0,40	0,98	0,07	3,53	15,50
Alt (m)	Dez	Esférico	0,00	0,00	0,93	0,01	0,20	8,30
DCopa (m)	Dez	Linear	0,00	0,36	0,00	0,06	0,06	94,65
Dcaule (cm)	Dez	Linear	2,41	0,00	0,00	6,90	6,90	94,65

R<sup>2</sup>-coeficiente de correlação; SQR-soma de quadrados dos resíduos; C<sub>0</sub>-efeito pepita; C<sub>0</sub> + C-patamar; a-alcance; Tf-temp. da folha; Ts- temp. do solo; Alt- altura; Dcopa- diâmetro da copa; Dcaule-diâmetro do caule.

Os valores de efeito pepita (C<sub>0</sub>) se mantiveram baixos para a maioria das variáveis, apresentando valores próximos de zero. Conforme Vieira (2000) quanto menor for o efeito pepita do semivariograma, menor será a variância da estimativa, ou seja, quanto menor for a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior a confiança que se pode ter na estimativa. O alcance apresentou variação de 215,65 m entre as variáveis, sendo o maior para temperatura do solo em setembro (223,95 m), já a altura das plantas apresentou menor alcance (8,30 m). O patamar apresentou maior valor (54,40) para temperatura do solo em setembro e menor valor (0,06) para a variável diâmetro da copa.

Em ambos os modelos matemáticos as áreas de relevo suave-ondulado (13,20 e 4,35) e ondulado (13,21 e 3,53) apresentaram índices superiores ao relevo forte-ondulado (12,60 e 3,47), no entanto, as três áreas apresentaram valores próximos (Tabela 3). O modelo matemático IFP1 apresentou valores superiores para os diferentes tipos de relevos em comparação com o IFP2.

Por meio dos resultados dos modelos matemáticos (IFP1 e IFP2) foi possível obter os valores de Índice Fenológico de Produção/m<sup>2</sup> das áreas divididas em relevo suave-ondulado, relevo ondulado e relevo forte-ondulado como mostra a tabela 3.

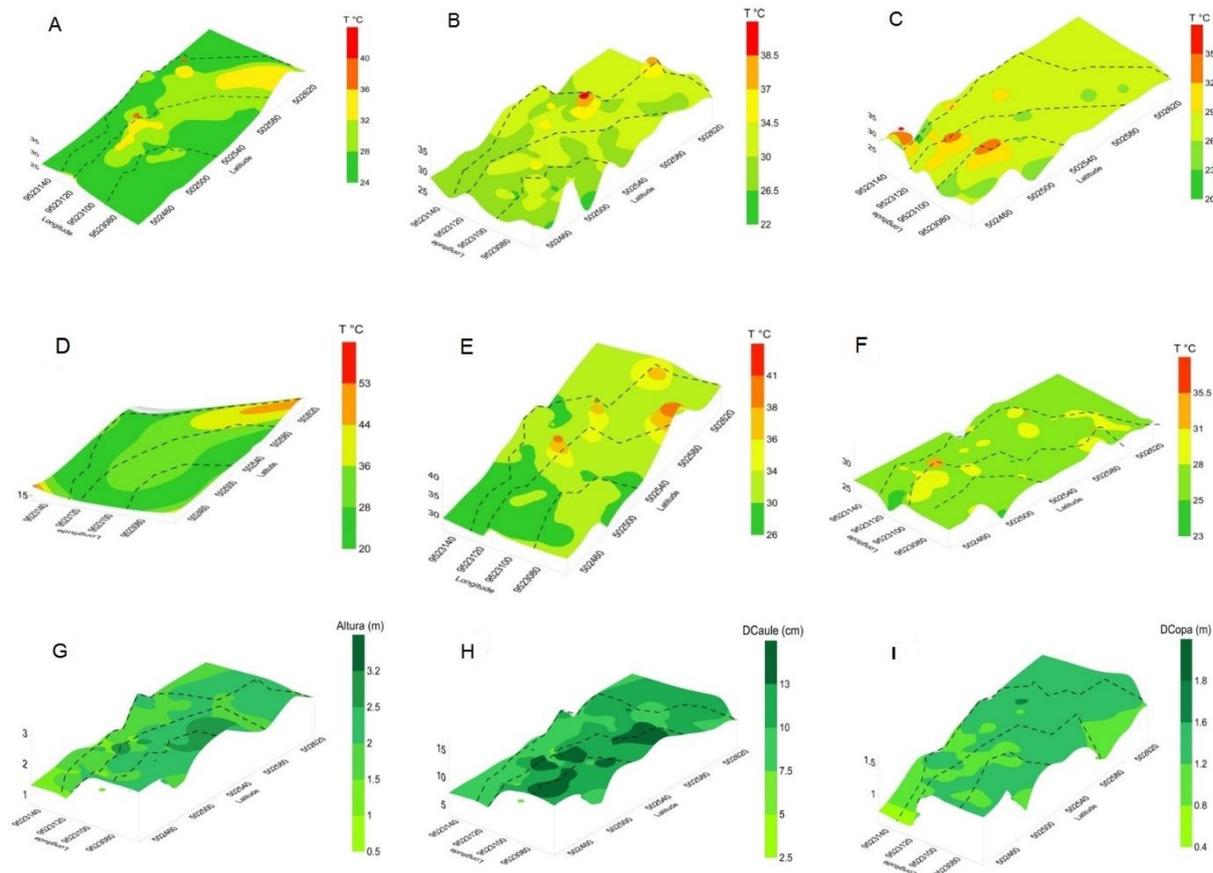
**Tabela 1.** Índice fenológico de produção nas áreas com diferentes declividades.

		Relevo Suave-ondulado	Relevo ondulado	Relevo Forte-ondulado
Área (m <sup>2</sup> )		1440	2880	5400
Índice/m <sup>2</sup>	IFP1	13,20	13,21	12,60
	IFP2	4,35	3,53	3,47

Em ambos os modelos matemáticos as áreas de relevo suave-ondulado (13,20 e 4,35) e ondulado (13,21 e 3,53) apresentaram índices superiores ao relevo forte-ondulado (12,60 e 3,47), no entanto, as três áreas apresentaram valores próximos entre si. O modelo matemático IFP1 apresentou valores superiores para os diferentes tipos de relevos comparado ao IFP2.

A distribuição espacial da produtividade em trabalho realizado por Burack; Santos & Passos (2016) demonstrou que onde a declividade foi menor e a altitude maior, ocorreram maiores valores de produtividade. Conforme esses autores, tais resultados são associados às maiores concentrações de argila, microporosidade e umidade do solo nesses locais, o que favorece a esse aumento da produtividade.

A amplitude térmica foi de 16° C em setembro, 16,5° C em outubro e 15° C no mês de novembro (Figura 3A, B, C). A distribuição espacial no mês de setembro indicou que as variações de temperatura na área com relevo suave-ondulado apresentaram valores mais amenos e constantes, diferentemente da área de relevo forte-ondulado em que as temperaturas se mantiveram mais elevadas. O mesmo pode ser observado para a temperatura no mês de outubro, onde o maior pico de temperatura da área concentrou-se no relevo forte-ondulado.



**Figura 3.** Mapas de distribuição espacial da temperatura da folha das plantas de café nos meses de setembro (A), outubro (B) e novembro (C); da temperatura do solo nos meses de setembro (D), outubro (E) e novembro (F); Altura (G), Diâmetro do Caule-DCaule (H), Diâmetro da Copa-DCopa das plantas de café (I).

No mês de setembro a temperatura teve tendência de se manter constante em ambas as áreas, no entanto a porção Leste do relevo forte-ondulado apresentou pico de temperatura na região onde as plantas estavam próximas de afloramentos rochosos e algumas clareiras. A temperatura do solo no mês de outubro apresentou maiores quantidades de picos e variações de temperaturas na região Leste do relevo forte-ondulado (Figura 3E). Já no mês de novembro as temperaturas se mantiveram mais amenas e com pequenas variações.

Através da observação dos mapas (Figura 3G, H, I) pode-se constatar que as plantas com maiores alturas e diâmetros do caule estão situadas no relevo suave-ondulado e ondulado, cujo apresenta grande área sombreada. Morais et al. (2003) corrobora que o sombreamento induz

uma maior altura nas plantas de café e área foliar, devido ao mecanismo conhecido como estiamento o qual tende a otimizar a captação de luz. No relevo forte-ondulado estes valores são inferiores tendo destaque para a porção Oeste de ambos os mapas. Esse fato também pode estar relacionado à menores quantidades de clareiras nas áreas referentes aos relevos suave-ondulado e ondulado, diferentemente do relevo forte-ondulado que detinha maiores quantidades de clareiras e afloramentos rochosos.

## CONCLUSÕES

As maiores temperaturas foram encontradas na classe de relevo forte-ondulado, apresentando índices fenológicos de produção inferiores em comparação às áreas com relevo suave-ondulado e ondulado. O estudo da variabilidade espacial por meio da geoestatística, utilizando a krigagem, demonstrou-se ser uma importante ferramenta na compreensão da distribuição espacial da temperatura e do relevo, podendo ser utilizada na implantação e no manejo dos cafezais visando uma melhor produtividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, H. M. R. Geoprocessamento para determinação da distribuição de cafés com qualidade sensorial no estado de Minas Gerais no ano de 2007. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 15., 2011b, Paraná. **Anais...** Paraná: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- ASSUMPCÃO, H. C. P. **Modelagem geoestatística de variáveis geoquímicas em solos e sedimentos no município de Madre de Deus, BA.** 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador, 2014.
- BOTTEGA, E. L. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- BURAK, D. L.; SANTOS, D. A.; PASSOS, R. R. Variabilidade espacial de atributos físicos: relação com relevo, matéria orgânica e produtividade em café Conilon. **Coffee Science**, v. 11, n. 4, p. 455-466, 2016.
- FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; ALFONSI, E. L.; CAMARGO, M. B. P. de. Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estimativa da produtividade do cafeeiro, utilizando as

características fenológicas determinantes do crescimento e produção. In: Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil, 4., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília, 2005.

FERRAZ, G. A. S. et al. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v. 7, n. 1, p. 59-67, 2012.

MESQUITA, C. M. de. et al. **Manual do café: implantação de cafezais *Coffea arabica* L.** Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 50 p.

MIRANDA, J. M.; REINATO, R. A. O.; SILVA A. B. da. Modelo matemático para previsão da produtividade do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 353–361, 2014.

MORAIS, H. et al. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.

MOREIRA, A. C. **História do café no Brasil**. 1.ed. São Paulo: Magma Editora Cultural, 2008.

OLIVEIRA, D. A. **Estimativa da produção de café por meio de Índices Fenológicos**. 2007. 20 f. Dissertação (mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ROCHA, H. G. et al. Mapeamento da produtividade do cafeeiro a partir de modelos matemáticos de previsão de safra. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 108-116, 2016.

SAKON, F. M. et al. A Produção e Industrialização do Café no Brasil e a Economia Nacional: Simulações sob um Modelo Inter-Regional de Insumo-Produto. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 43, n. 3, p. 101-132, 2012.

VENTURIN, R. P. et al. A pesquisa e as mudanças climáticas na cafeicultura. **Informe Agropecuário**, v. 34, p. 34-43, 2013.

VIEIRA, S. R.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1, p. 1-54.