

# Variabilidade espacial dos atributos da planta de uma lavoura cafeeira<sup>1</sup>

## Spatial variability of plant attributes in a coffee plantation

Gabriel Araújo e Silva Ferraz<sup>2\*</sup>, Fábio Moreira da Silva<sup>2</sup>, Marcelo Silva de Oliveira<sup>3</sup>, Adriano Augusto Paiva Custódio<sup>4</sup> e Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz<sup>2</sup>

**RESUMO** - Objetivou-se com esse trabalho caracterizar a estrutura e a magnitude da distribuição espacial de atributos da planta em lavoura cafeeira e realizar o mapeamento desses atributos de forma a visualizar a distribuição espacial, considerando a dependência espacial destes atributos, demonstrando a importância deste mapeamento. Este trabalho foi conduzido na fazenda Brejão no município de Três Pontas, Minas Gerais, utilizando-se os seguintes atributos da planta: Produtividade, Índice de Maturação, Enfolhamento, Força de Desprendimento de Frutos Verde, Força de Desprendimento de Frutos Maduros, Diferença entre a Força de Desprendimento de Frutos Verde e Maduros, Altura de Planta e Diâmetro de Copa amostrados em uma malha amostral de 100 pontos georreferenciados (64 pontos da malha base e 36 pontos de zoom). A análise destes dados por meio das técnicas estatísticas e da geoestatística possibilitaram caracterizar a variabilidade espacial dos atributos da planta em estudo, permitindo o mapeamento destas variáveis. Foi possível observar a importância da cafeicultura de precisão no manejo de uma lavoura cafeeira tanto no gerenciamento da colheita quanto no acompanhamento do desenvolvimento da planta.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão. Geoestatística. Gerenciamento. Cafeeiro.

**ABSTRACT** - The aim of this study was to characterise the structure and magnitude of the spatial distribution of plant attributes in a coffee plantation, and carry out the mapping of these attributes so as to visualise their spatial distribution, considering the spatial dependence of the attributes and demonstrating the importance of mapping. The study was conducted on the Brejão farm in the municipality of Três Pontas, in the State of Minas Gerais, using the following plant attributes: productivity, maturation index, leafiness, green-fruit detachment force, ripe-fruit detachment force, difference between the green-fruit and ripe-fruit detachment force, plant height and canopy diameter, sampled on a grid of 100 georeferenced points (64 points from the base grid and 36 zoom points). Analysis of the data by means of statistical and geostatistical techniques made it possible to characterise the spatial variability of the plant attributes under study, allowing mapping of the variables. It was possible to see the importance of precision agriculture in the management of a coffee plantation for both management of the harvest and monitoring plant development.

**Key words:** Precision Agriculture. Geostatistics. Management. Coffee plant.

DOI: 10.5935/1806-6690.20170009

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 24/10/2013; aprovado em 12/05/2016

Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras/UFLA

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037 Lavras-MG, Brasil, 37.200-000, gabriel.ferraz@deg.ufla.br, famsilva@ufla.br, patricia.ponciano@deg.ufla.br

<sup>3</sup>Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037 Lavras-MG, Brasil, 37.200-000, marcelo.oliveira@dex.ufla.br

<sup>4</sup>Área de Proteção de Plantas, Instituto Agronômico do Paraná, Caixa Postal 10030 Londrina-PR, Brasil 86057-970, custodio@iapar.br

## INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das atividades de elevada relevância para o Brasil, tendo contribuído para crescimento econômico de notória importância ao longo da história do país e possibilitou-o se destacar como maior produtor de café do mundo (LOPES *et al.*, 2012; REIS *et al.*, 2001). Segundo Molin *et al.* (2010), estão envolvidos aproximadamente dez milhões de pessoas direta ou indiretamente na atividade cafeeira, incluindo-se produção, industrialização e comercialização. De acordo com Bliska *et al.* (2009), nos últimos anos, o agronegócio do café brasileiro internalizou novas técnicas de produção que promoveram impactos positivos sobre produtividade, competitividade e qualidade final do produto.

A necessidade de modernização da produção agrícola tem encorajado produtores rurais a aderirem a uma nova geração de práticas agrícolas chamada de Agricultura de Precisão (DONG; VURAN; IRMAK, 2012). Ferraz *et al.* (2012c) citam que a aplicação da Agricultura de Precisão no agronegócio café vem sendo chamada de Cafeicultura de Precisão. Ferraz *et al.* (2012b) definem Cafeicultura de Precisão como um conjunto de técnicas e tecnologias capaz de auxiliar o cafeeiro a manejar sua lavoura, baseando-se na variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta, visando a maximizar a rentabilidade, a aumentar eficiência da adubação, pulverização e colheita, culminando na elevação da produtividade e da qualidade final do produto.

Além do uso mais comum da cafeicultura de precisão, que é o estudo da variabilidade espacial do solo como consequente ferramenta de subsídio para a aplicação de adubos em taxa variável, essa técnica pode ser aplicada para atributos da planta, de forma a possibilitar o gerenciamento mais preciso do processo de colheita e, também, o acompanhamento do desenvolvimento da planta.

A Geoestatística é uma metodologia importante para análise de dados no âmbito da agricultura de precisão. Segundo Vieira (2000), o objetivo da Geoestatística aplicada à agricultura de precisão é caracterizar a magnitude da variabilidade espacial dos atributos do solo e das plantas e fazer mapas (pelo método de estimação denominado krigagem), utilizando o princípio da variabilidade espacial, a fim de se identificarem interrelações desses atributos no espaço e, se interessante, também no tempo.

No mapeamento dos atributos da planta cafeeira, a geoestatística tem sido utilizada principalmente no mapeamento da produtividade, tais como observados nos trabalhos de Ferraz *et al.* (2012a, b, c), Molin *et al.* (2010), Silva *et al.* (2010), Silva, Fábio *et al.* (2007, 2008, 2010).

A força de desprendimento dos frutos verdes e maduros de cafeeiros foi mapeada por Ferraz *et al.* (2012a), enquanto a desfolha causada pela derrida manual de frutos do cafeeiro foi mapeada por Silva *et al.* (2010).

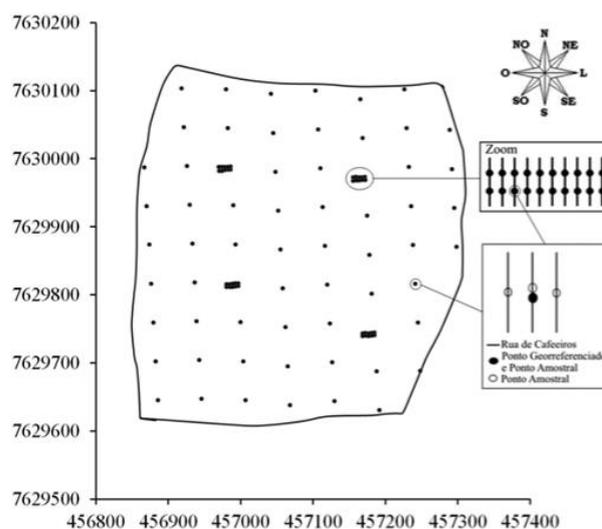
Dado o exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar a estrutura e a magnitude da distribuição espacial de atributos da planta em lavoura cafeeira e realizar o mapeamento desses atributos de forma a visualizar a distribuição espacial, considerando a dependência espacial destes atributos, demonstrando o quão importante é este mapeamento para gestão de uma lavoura cafeeira.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na fazenda Brejão, localizada no município de Três Pontas, sul de Minas Gerais (Figura 1), em uma área de 22 hectares de lavoura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) da cultivar Topázio, transplantada em dezembro de 2005, no espaçamento de 3,8 m entre linhas e 0,8 m entre plantas, totalizando 3.289 plantas ha<sup>-1</sup>. As coordenadas geográficas do ponto central da área são de 21°25'58" de latitude Sul e 45°24'51" de longitude Oeste de Greenwich. Os pontos limítrofes da área foram obtidos por meio do uso de GPS topográfico.

O clima do local é caracterizado como ameno, tropical de altitude, com temperaturas moderadas, verão quente e chuvoso, classificado por Köppen como Cwa. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Argiloso.

**Figura 1** - Malha Amostral e detalhamento da amostragem, realizados na Fazenda Brejão, Três Pontas, MG



Demarcou-se na área em estudo, com a utilização do GPS topográfico (com erro médio de 10 cm), uma malha amostral regular, com pontos espaçados de 57 x 57 m, totalizando 64 pontos amostrais georreferenciados (em média 2,9 pontos por hectare). No interior desta malha, foram criadas mais quatro malhas amostrais regulares, cujos pontos eram espaçados de 3,8 x 3,8 m, denominadas de *zoom*. Estas malhas foram posicionadas em quatro pontos da malha principal. Cada *zoom* corresponde a 10 pontos amostrais georreferenciados (um ponto da malha principal e nove pontos da nova malha). Desta forma, a malha foi composta por 100 pontos amostrais georreferenciados.

O uso das malhas *zoom* tem por objetivo detectar variações em pequenas distâncias, colaborando para a redução do efeito pepita, e conseqüentemente aprimorar a malha utilizada. Este tipo de amostragem onde se utilizam malhas menores (*zoom*) dentro de uma malha maior, também foi utilizado nos trabalhos de Gontijo *et al.* (2007) e Sampaio *et al.* (2010).

Cada ponto amostral corresponde a quatro plantas: duas plantas localizadas na rua de cafeeiros onde o ponto foi georreferenciado e as outras duas plantas localizadas em cada rua lateral ao ponto de referência (Figura 1).

Neste trabalho foram avaliados: a produtividade, a força de desprendimento dos frutos verdes, a força de desprendimento dos frutos maduros, a diferença entre a força de desprendimento dos frutos verde e maduros, o índice de maturação, a altura de planta, o diâmetro de copa e o enfolhamento.

A produtividade (PROD) de café (L planta<sup>-1</sup>) foi obtida por meio da colheita manual sobre panos das quatro plantas em torno do ponto amostral, e o volume colhido de cada planta, após a abanação, foi medido em um recipiente graduado em litros. Após esta medição, foi obtida a média de produtividade destas quatro plantas, resultando no valor de produtividade para o ponto amostral.

Em cada ponto amostral, após as medições de produtividade, os frutos derriçados das quatro plantas componentes a este ponto foram colocados em um mesmo recipiente, onde foram homogeneizados para se retirar uma amostra de 0,5 L de frutos (CARVALHO *et al.*, 2003; SILVA, FLAVIO, 2008). Com este volume foi realizada a contagem de frutos para cada maturação (seco, passa, maduro e verde) e transformando-os em porcentagem para que desta maneira pudesse ser utilizada a equação descrita por Alves *et al.* (2009b), calculando-se assim, o índice de maturação (IMAT) (1):

$$IMAT = \sum \%maduro, \%passa, seco \quad (1)$$

Para a obtenção dos dados de Força de Desprendimento dos frutos do cafeeiro foi realizada a coleta de cinco frutos (dois frutos do terço superior, um fruto do terço médio e dois frutos do terço inferior) para cada estágio de maturação (Verde e Maduro) em cada planta componente do ponto amostral. Após a coleta destes frutos foi obtida a média da força de desprendimento das quatro plantas para cada estágio de maturação.

A determinação dessa força de desprendimento foi realizada por meio de um dinamômetro digital portátil, que oferece medidas em Newton.

Após a obtenção da Força de Desprendimento dos Frutos Verde (FDFV) e da Força de Desprendimento do Fruto Maduro (FDFM) foi possível obter a diferença da força de desprendimento (DIFD) que é dado por (2):

$$DIFD = FDFV - FDFM \quad (2)$$

Nas quatro plantas que compunham o ponto amostral foram medidos, por meio de uma régua graduada em milímetros, a altura de planta e o diâmetro de copa. A medida da altura da planta (ALTU) foi obtida da superfície do solo até a parte superior da planta. O diâmetro de copa (DCOP) é a medida do ramo de maior comprimento. Após esta medição foi obtida a média da altura e do diâmetro de copa de cada ponto amostral dado em metros.

Para avaliação do enfolhamento (ENFO) foi utilizada a escala visual proposta por Boldini (2001) cujas variações se dão de 0 a 20%, de 21 a 40%, de 41 a 60%, de 61 a 80% e de 81 a 100%.

Para caracterização da estrutura e da magnitude da dependência espacial dos atributos do solo e da planta da lavoura de cafeeira, foram realizados os ajustes de semivariograma, cuja semivariância é estimada como segue (3):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

em que,  $N(h)$  é o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$ ;  $Z$  pode ser qualquer um dos atributos estudados;  $x_i$  é a posição georreferenciada em que ocorreu a variável (atributo)  $Z$ ; O semivariograma é representado pelo gráfico  $\hat{\gamma}^{(h)}$  versus  $h$ ; Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\hat{\gamma}^{(h)}$ , são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma denominado de efeito pepita ( $C_0$ ); patamar ( $C_0 + C_1$ ); e o alcance ( $a$ ), conforme descrito por Bachmaier e Backers (2008). Foi utilizado o método dos quadrados mínimos ordinários para este ajuste de um modelo matemático.

O modelo matemático para semivariogramas escolhido foi o esférico, para todos os atributos estudados. Este modelo é muito utilizado em trabalhos de estudo de

variabilidade espacial em lavouras cafeeiras de atributos do solo, produtividade, desfolha, força de desprendimento de frutos e infestação de praga (ALVES *et al.*, 2009a; FERRAZ *et al.*, 2012a; MOLIN *et al.*, 2010; SILVA, A. *et al.*, 2010; SILVA, FÁBIO *et al.*, 2007, 2008, 2010).

Após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária de forma a possibilitar a visualização dos padrões de distribuição espacial dos atributos na lavoura, por meio de mapas. Ademais, foram gerados mapas de erro-padrão da predição por krigagem. Tais mapas referem-se ao desvio-padrão da predição para qualquer ponto individual (CUNHA *et al.*, 2013), são obtidos para que sirvam de fonte de informação acerca da confiança dos valores interpolados na área em estudo (FERRAZ *et al.*, 2015).

Para a análise geoestatística e para a confecção dos mapas, foi utilizado sistema computacional R Development Core Team (2011), por meio da biblioteca geoR (RIBEIRO JUNIOR; DIGGLE, 2001). Os mapas foram gerados na coordenada Universal Transversa de Mercator (UTM), na zona 23 K, na qual está inserida a região de Três Pontas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da análise descritiva dos atributos da planta em estudo estão na Tabela 1. A partir da análise dos valores mínimos e máximos da média e, também, da variância dos valores dos atributos da planta é possível perceber que existe variação considerável nos dados. Porém, apenas o conhecimento desta variação não é suficiente para identificar os locais onde se encontram os valores altos de um atributo, e nem os locais onde se encontram os valores mais baixos. Neste caso, o uso da geoestatística, se torna necessário para identificar se há

variabilidade espacial e como esta variabilidade se dá na área em estudo, com a consequente confecção de mapas, de forma a permitir o gerenciamento mais preciso das intervenções de campo necessárias.

Baseando-se na metodologia de análise geoestatística, foi possível quantificar a magnitude e a estrutura de dependência espacial de todas as variáveis em estudo (Tabela 2 e Figura 2).

O efeito pepita ( $C_0$ ) é um importante parâmetro do semivariograma, e indica variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada. Como é impossível quantificar a contribuição individual desses erros, o efeito pepita pode ser expresso como porcentagem do patamar facilitando, assim, a comparação do grau de dependência espacial (GD) das variáveis em estudo (TRANGMAR; YOST; UEHARA, 1985).

Pela classificação de Cambardella *et al.* (1994), são considerados dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita < 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca > 75%. Segundo esta classificação os valores das variáveis Enfolhamento e Altura de Planta, apresentaram GD forte, enquanto que o Índice de Maturação (IMAT), a Força de Desprendimento dos frutos verdes (FDFV) e o Diâmetro de Copa apresentaram o GD moderado. A Produtividade, a Força de Desprendimento dos Frutos Maduros (FDFM) e a Diferença da Força de Desprendimento entre os frutos Verde e Maduros (DIFD) apresentaram GD fraco, que ainda assim apresentam dependência espacial e podem ser interpoladas utilizando-se a krigagem ordinária.

Os valores do alcance relativos aos semivariogramas têm uma importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, o que pode ser também um indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento de solos (TRANGMAR;

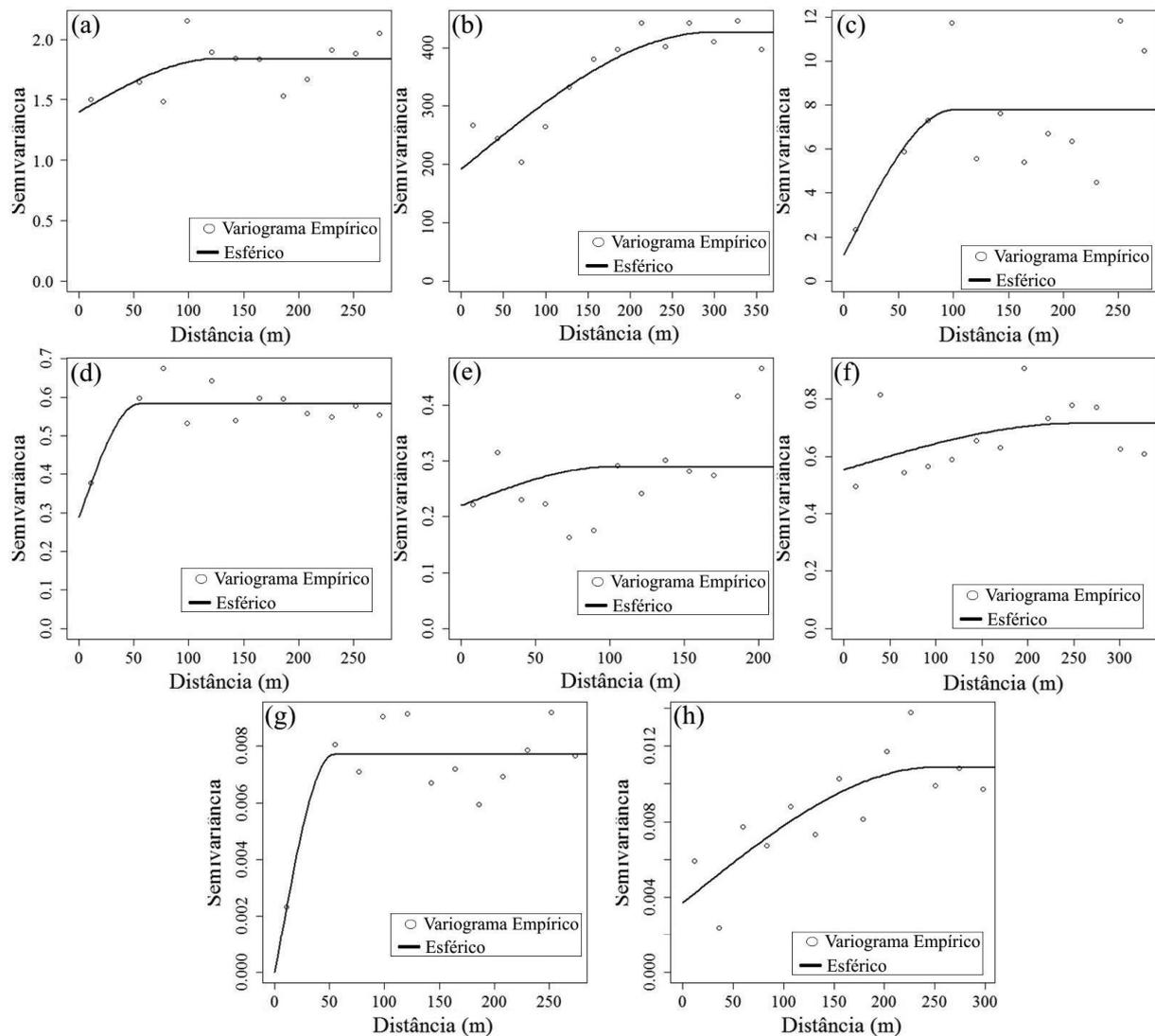
**Tabela 1** - Estatística descritiva para as variáveis: Produtividade (PROD) (L planta<sup>-1</sup>), Índice de Maturação (IMAT) (%), Enfolhamento (ENFO) (%), Força de Desprendimento de Frutos Verde (FDFV) (N), Força de Desprendimento de Frutos Maduros (FDFM) (N), Diferença entre a Força de Desprendimento (DIFD) (N), Altura de Planta (ALTU) (m) e Diâmetro de Copa (DCOP) (m)

Variável	Mín	Max	Média	DP	Var	CV (%)	K	Assimetria
PROD	1,40	7,60	4,21	1,34	1,80	31,85	-0,29	0,29
IMAT	8,21	92,96	66,89	19,03	362,17	28,45	0,45	-0,91
ENFO	78,75	95,00	86,76	2,88	8,31	3,32	0,41	0,41
FDFV	5,41	8,81	6,78	0,76	0,58	11,20	-0,47	0,30
FDFM	2,68	5,80	4,13	0,66	0,43	15,89	-0,35	0,17
DIFD	0,28	4,65	2,66	0,82	0,68	31,03	-0,34	0,00
ALTU	1,67	2,17	1,94	0,09	0,01	4,50	1,14	-0,52
DCOP	1,52	2,01	1,75	0,10	0,01	5,69	-0,38	-0,18

**Tabela 2** - Parâmetros estimados para o semivariograma experimental das variáveis: Produtividade (PROD) ( $L\ planta^{-1}$ ), Índice de Maturação (IMAT) (%), Enfolhamento (ENFO) (%), Força de Desprendimento de Frutos Verde (FDFV) (N), Força de Desprendimento de Frutos Maduros (FDFM) (N), Diferença entre a Força de Desprendimento (DIFD) (N), Altura de Planta (ALTU) (m) e Diâmetro de Copa (DCOP) (m)

Variável	$C_0$	$C_0 + C_1$	$C_1$	A	GD	EA	$DP_{EA}$
PROD (a)	1,40	0,438	1,839	125,74	76,19	Fra	0,001
IMAT (b)	191,96	234,366	426,327	295,26	45,03	Mod	-0,113
ENFO (c)	1,18	6,605	7,785	99,60	15,16	For	0,075
FDFM (d)	0,220	0,070	0,290	101,00	76,00	Fra	0,003
FDFV (e)	0,29	0,295	0,584	54,67	49,49	Mod	0,009
DIFD (f)	0,554	0,161	0,715	250,92	77,50	Fra	0,002
ALTU (g)	0,000	0,008	0,008	53,07	0,00	For	-0,002
DCOP (h)	0,004	0,007	0,011	249,93	33,94	Mod	-0,001

**Figura 2** - Semivariograma da produtividade ( $L\ planta^{-1}$ ) (a), Índice de Maturação (%) (b), Enfolhamento (%) (c), Força de Desprendimento de Frutos Verde (N) (d), Força de Desprendimento de Frutos Maduros (N) (e), Diferença entre a Força de Desprendimento (N) (f), Altura de Planta (m) (g) e Diâmetro de Copa (m) (h)



YOST; UEHARA, 1985) ou também dos atributos relacionados às plantas (FERRAZ *et al.*, 2012b). O alcance encontrado pelas variáveis variou de 53,07 m (Altura de Planta) à 295,26 m (IMAT). Desta maneira, o planejamento de uma amostragem de planta na área que contemplasse a variabilidade espacial existente de uma determinada variável ou mesmo de múltiplas variáveis, teria de levar em conta o valor do alcance, buscando-se definir uma malha cujo distancia seja menor que o menor valor de alcance encontrado, ou mesmo indicando a necessidade do uso das malhas *zoom* para poder melhorar o ajuste do semivariograma.

Após o ajuste do semivariograma para cada variável da planta foram estimados valores da produtividade, do IMAT, da FDFM, da FDFV, da DIFD, do Enfolhamento, da Altura de Planta e do Diâmetro de Copa por meio da krigagem ordinária. Desta maneira, foi possível construir mapas de distribuição espacial para todas as variáveis deste estudo (Figuras 3a, 3c, 3e, 4a, 4c, 4e, 5a, 5c e 5e), que permitiram visualizar a variabilidade espacial na área. Ademais, foram confeccionados os mapas de erro-padrão da predição (Figuras 3b, 3d, 3f, 4b,4d, 4f, 5b, 5d e 5f) de forma a observar os erros da estimativa dos mapas de distribuição espacial.

A produtividade média encontrada na área foi de 4,21 L planta<sup>-1</sup> (Tabela 1). Quando se analisa o mapa de variabilidade espacial da produtividade, pôde-se perceber que as regiões leste e nordeste da área apresentaram as maiores produtividades da lavoura, e também na porção oeste e noroeste. Os menores valores de produtividade foram observados na região central e também na parte sudeste da área.

A observação de um mapa de produtividade (Figura 3a), em conjunto com a observação de outros tipos de mapas, tais como os de atributos químicos do solo, podem contribuir para encontrar os motivos da ocorrência da variabilidade da produtividade, principalmente em se tratando de baixas produtividades, o que possibilitará a correção das falhas, permitindo que na próxima safra estes problemas possam ser minimizados. Desta forma, o cafeicultor pode tirar proveito das informações históricas da área providas de mapeamentos anteriores para tomar as decisões necessárias para o bom andamento da cultura.

Estes mapas podem ainda ser utilizados no gerenciamento da colheita, tanto manual, quanto mecanizada ou semimecanizada. Na colheita manual estes mapas contribuirão na estimativa de produtividade e na contratação de pessoal para a colheita. Na colheita semimecanizada serão importantes, além dos citados para a colheita manual, na aquisição ou aluguel de derrçadoras portáteis. Na colheita mecanizada do café, esses mapas podem ser utilizados na logística das carretas e trator de

apoio à colhedora, ou em caso de colhedoras que possuem reservatórios próprios, na logística e determinação do ponto de descarga da colhedora, o que pode reduzir paradas e manobras desnecessárias.

O Índice de Maturação (IMAT) médio da área foi de 66,89%. De acordo com Silva, Fábio *et al.* (2006), o índice de maturação permite definir o período de colheita de um determinado talhão. Quando o talhão apresentar em suas plantas 20 a 25% de frutos verdes (IMAT de 75 a 80%) este se caracterizaria por estar no início da colheita, se estiver entre 10 a 15% de frutos verdes estará caracterizado como meio da colheita (IMAT de 85 a 90%) e menos que 5% caracterizam o fim da colheita (IMAT de 95%).

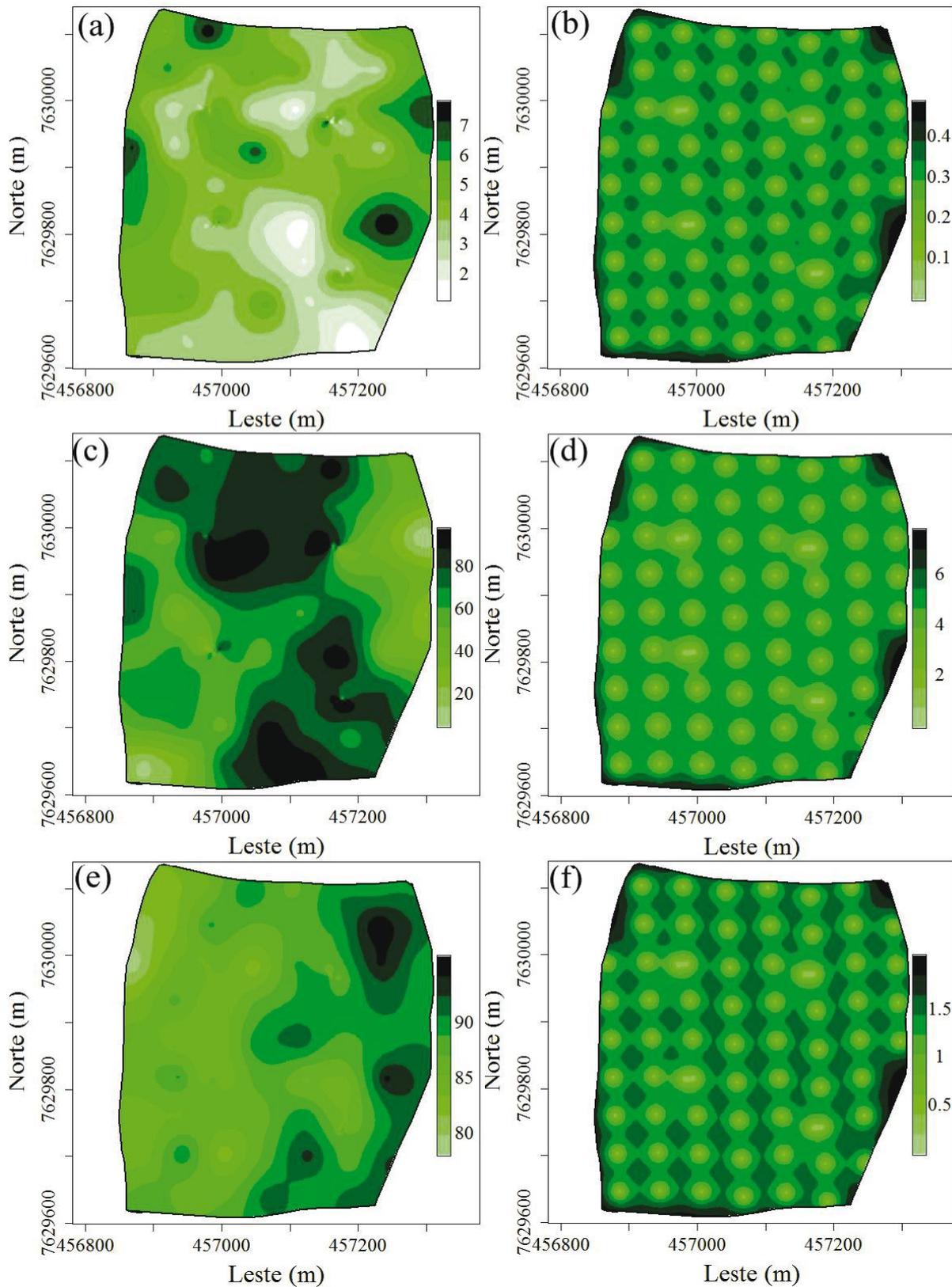
Observando-se o mapa de distribuição espacial do IMAT (Figura 3c) pode-se perceber que boa parte da área se encontra classificada como início de colheita, assim, caso seja possível, o produtor poderá aguardar um pouco mais para colher estas regiões. Plantas com maturação classificada como estando no meio de colheita puderam ser observadas em alguns pontos da região sul, da região sudoeste e em algumas manchas nas regiões nordeste e noroeste. Nenhuma área pode ser classificada como fim de colheita. Pelo mapa pode-se ainda perceber que a colheita não poderia ser iniciada, ou ser realizada nas localidades próximas às bordas leste e nordestes, na extremidade sudoeste e em algumas manchas ao longo do mapa. Desta maneira fica clara a importância do estudo da variabilidade espacial do Índice de Maturação no gerenciamento da colheita de frutos de cafeeiro, seja ela manual, semimecanizada ou mecanizada.

Boldini (2001) desenvolveu uma escala de notas para classificar o enfolhamento de uma planta cafeeira: quando a planta apresentar de 0 a 20% de enfolhamento dá-se a nota um, de 21 a 40% nota dois, de 41 a 60% nota três, de 61 a 80% nota quatro e de 81 a 100% nota cinco. Ao se analisar o mapa de variabilidade espacial do enfolhamento (Figura 3e) observa-se que grande parte da área apresentou enfolhamento variando de 81 a 100%, ou seja, recebendo a nota cinco e o restante pode ser classificado na nota quatro. Desta maneira, pode-se perceber que esta área possui uma boa condição de enfolhamento.

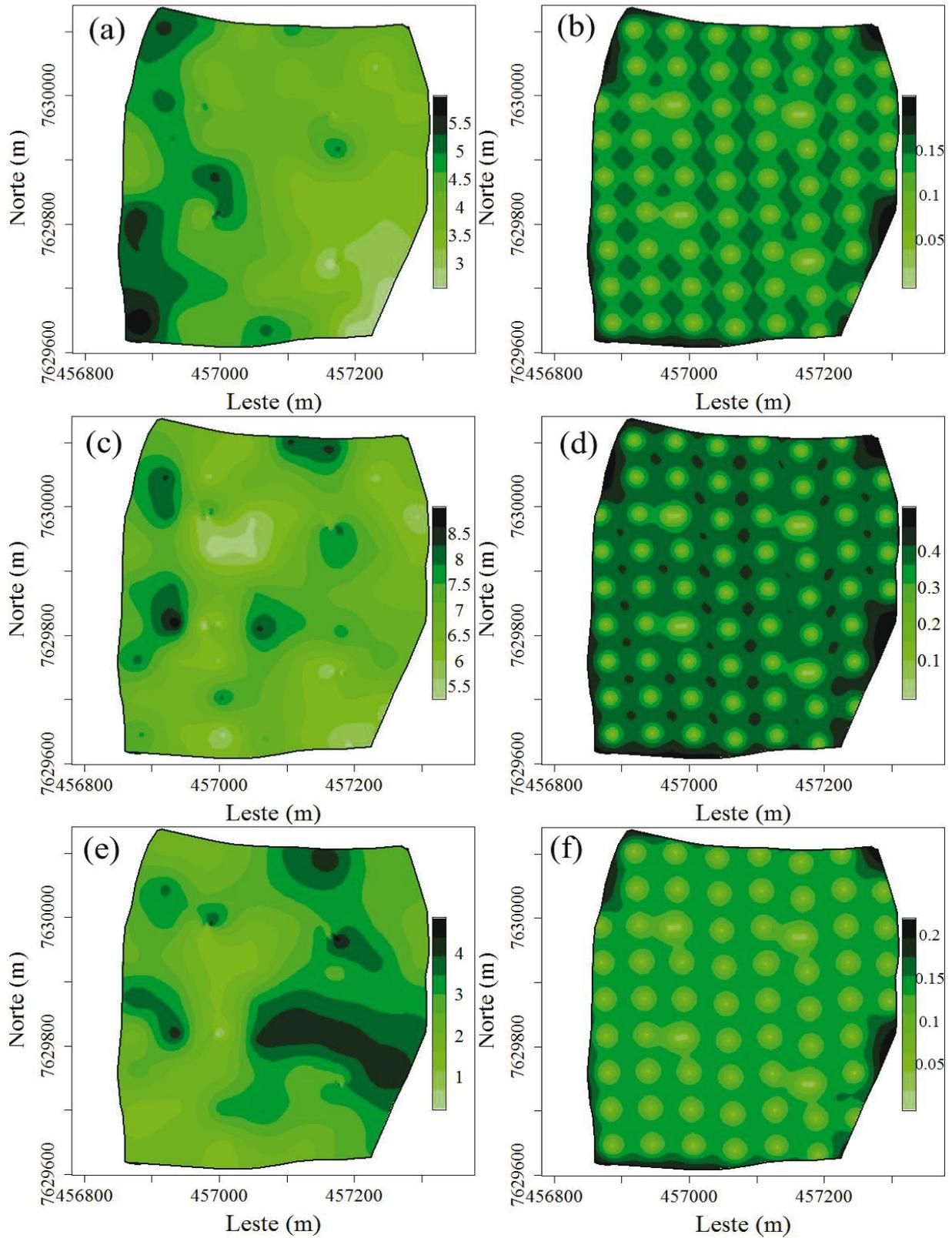
O estudo da Força de Desprendimento dos frutos de cafeeiro, tanto verde quanto maduro, pode ser um importante indicador para realizar a colheita mecanizada e seletiva. Além disto, podem ser utilizados para indicar o momento de se iniciar esta forma de colheita (SILVA, FLÁVIO, 2008).

Percebeu-se que os maiores valores de Força de Desprendimento de Frutos Maduros (FDFM) foram encontrados na região central, norte e na borda noroeste e oeste da área (Figura 4a). Os menores valores de FDFM

**Figura 3** - Distribuição espacial da produtividade ( $L\ planta^{-1}$ ) (a), mapa de erro-padrão da predição da produtividade (b), distribuição espacial do Índice de Maturação (%) (c), mapa de erro-padrão da predição do Índice de Maturação (d), distribuição espacial do Enfolhamento (%) (e) e mapa de erro-padrão da predição do Enfolhamento (f)



**Figura 4** - Distribuição espacial da Força de Desprendimento de Frutos Maduros (N) (a), mapa de erro-padrão da predição da Força de Desprendimento de Frutos Maduros (b), distribuição espacial da Força de Desprendimento de Frutos verdes (N) (c), mapa de erro-padrão da predição da Força de Desprendimento de Frutos Verdes (d), distribuição espacial da Diferença entre a Força de Desprendimento (N) (e) e mapa de erro-padrão da predição da Diferença entre a Força de Desprendimento (f)



foram encontrados na região sudeste, leste e nordeste. Na Figura 4c observa-se que os maiores valores de Força de Desprendimento de Frutos Verde (FDFV) foram encontrados na região noroeste, sudoeste e oeste da área enquanto que os menores valores foram identificados na região sudeste, leste e nordeste. Os valores elevados de força de desprendimento representam maiores dificuldades de se retirar o fruto da planta.

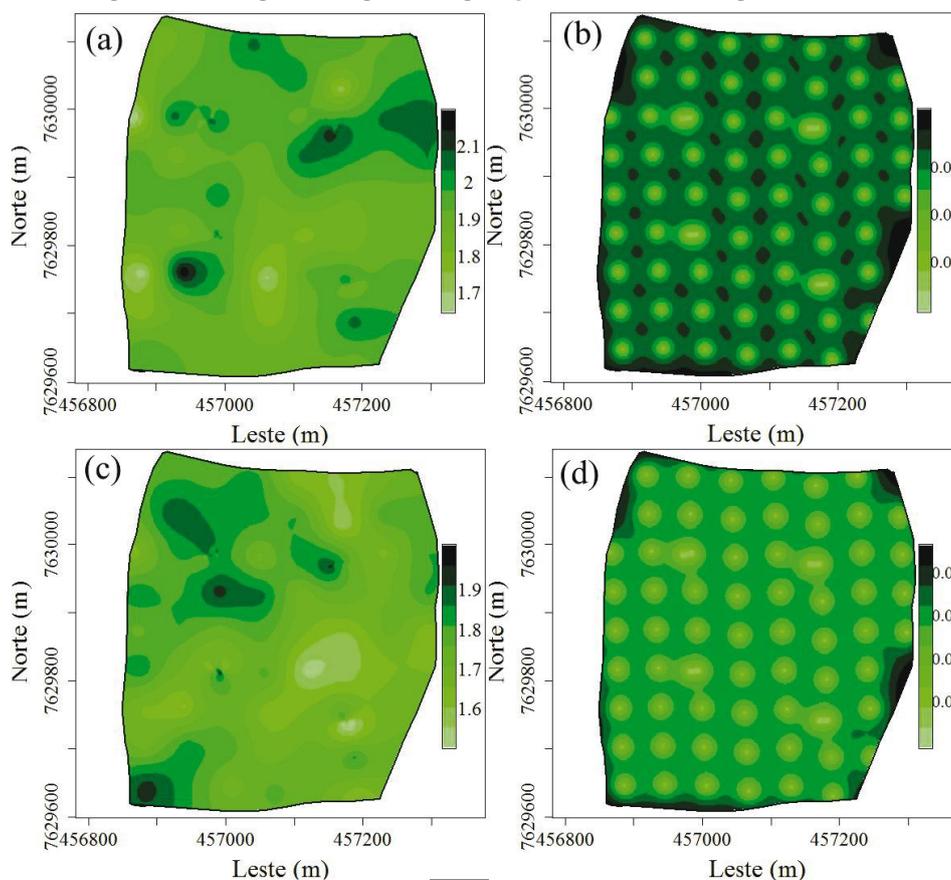
Para que se realize a colheita mecanizada e seletiva, os cafeicultores devem ser capazes de regular suas colhedoras para esta operação. Na colheita seletiva deseja-se colher apenas os frutos maduros, ou o máximo de frutos maduros com o mínimo de frutos verdes. Silva, Flávio, *et al.* (2010) citam que quanto maior a diferença entre a força de desprendimento dos frutos verdes e maduros, melhor será a colheita mecanizada seletiva dos frutos do cafeeiro. Dessa forma, os mapas da diferença entre a força de desprendimento podem ser utilizados pelos cafeicultores para regular suas colhedoras, além de permitirem a escolha do melhor momento e dos melhores locais para se iniciar a colheita mecanizada e seletiva do café.

A partir da análise do mapa da Diferença da Força de Desprendimento dos Frutos Verde e Maduro (DIFD) do cafeeiro (Figura 4e), o melhor local para iniciar a colheita pode ser a região central, leste e/ou sul, que apresentam uma grande diferença entre a força de desprendimento entre frutos verde e maduro, ou seja, maior valor de DIFD, que permitiram a manutenção dos frutos verdes na planta e a colheita dos frutos maduros.

A Altura de Planta e o Diâmetro de Copa são importantes características de crescimento da planta que indicam seu desenvolvimento. Estas características estão intimamente relacionadas ao manejo imposto à lavoura. Desta forma, a identificação da variabilidade espacial destes atributos e seu consequente mapeamento podem colaborar com os cafeicultores na identificação de distorções de crescimento que estão ocorrendo em campo de forma a possibilitar sua correção.

Os maiores valores de Altura de Planta (ALTU) puderam ser observados alguns pontos espalhados pela área na porção leste, sudeste e sudoeste (Figura 5a) e os menores valores identificados na borda oeste da área e na

**Figura 5** - Distribuição espacial da Altura de Planta (m) (a), mapa de erro-padrão da predição da Altura de Planta (b), distribuição espacial do Diâmetro de Copa (m) (c) e mapa de erro-padrão da predição do Diâmetro de Copa (d)



parte sul. Para o Diâmetro de Copa (DCOP, Figura 5c) os maiores valores foram identificados na porção norte, noroeste e oeste e os menores valores apresentados na região central e região leste.

Os mapas de erro-padrão da predição apresentados nas Figuras 3b, 3d, 3f, 4b, 4d, 4f, 5b e 5d, medem a confiança dos valores interpolados nos quais, foi possível observar que os maiores erros para todas as variáveis em estudo, se encontram nas bordaduras da área e que nos locais mais próximos aos pontos amostrais, observa-se os erros-padrão menores. Desta maneira, observa-se que as estimativas dos mapas das Figuras 3a, 3c, 3e, 4a, 4c, 4e, 5a e 5c foram bem realizadas, pois os erros foram relativamente baixos com relação às variações apresentadas pelos atributos em estudo já descritos na Tabela 1.

## CONCLUSÕES

1. Caracterizou-se a magnitude e a estrutura de dependência espacial dos atributos da planta em lavoura cafeeira por meio de ajuste de semivariograma;
2. Por meio da análise dos mapas da distribuição espacial das variáveis da planta de cafeeiro em estudo, obtidos por krigagem, foi possível visualizar a variabilidade espacial de todas as variáveis em estudo;
3. Os mapas de distribuição espacial dos atributos da planta estudados neste trabalho, são de fundamental importância para a cafeicultura de precisão pois auxiliam no gerenciamento da colheita dos frutos de cafeeiros e também no acompanhamento do desenvolvimento da cultura. Desta maneira, os mapas de Produtividade, Índice de Maturação, Força de desprendimento de Frutos Verde, Força de Desprendimento de Frutos Maduros e a Diferença da Força de Desprendimento do Fruto Verde e Maduro, permitem o gerenciamento da colheita dos frutos de cafeeiro. Já os mapas de Enfolhamento, Altura de Planta e Diâmetro de Copa podem ser utilizados na identificação de distorções no desenvolvimento da planta.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C. *et al.* Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. **Precision Agriculture**, v. 10, n. 12, p. 1-14, 2009b.
- ALVES, M. C. *et al.* Neuro-fuzzy operational performance of a coffee harvester machine. **Journal of Convergence Information Technology**, v. 4, n. 2, p. 52-59, 2009a.

BACHMAIER, M.; BACKERS, M. Variogram or semivariogram? Understanding the variances in a variogram. **Precision Agriculture**, v. 9, 2008.

BLISKA, F. M. M. *et al.* Custos de produção de café nas principais regiões produtoras do Brasil. **Informações Econômicas**, v. 29, n. 8, p. 5-20, 2009.

BOLDINI, J. M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado**. 2001. 67 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2001.

CAMBARDELLA, C. A. *et al.* Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, G. R. *et al.* Eficiência do Ethephon na uniformização e antecipação da maturação de frutos de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e na qualidade da bebida. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 1, p. 98-106, 2003.

CUNHA, A. de M. *et al.* Espacialização da precipitação pluvial por meio de krigagem e cokrigagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 9, p. 1179-1191, 2013.

DONG, X.; VURAN, M. C.; IRMAK, S. Autonomous precision agriculture through integration of wireless underground sensor network with center pivot irrigation systems. *Ad Hoc Networks*, 2012.

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, 2012c.

FERRAZ, G. A. S. *et al.* Geostatistical analysis of fruit yield and detachment force in coffee. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 76-89, 2012a.

FERRAZ, G. A. S. *et al.* Variabilidade espacial da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> E K<sub>2</sub>O para adubação diferenciada e convencional em lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v. 10, n. 3, p. 346 - 356, 2015.

FERRAZ, G. A. S. *et al.* Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 140-150, 2012b.

GONTIJO, I. *et al.* Planejamento amostral da pressão de preconsolidação de um latossolo vermelho distroférrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1245-1254, 2007.

LOPES, P. R. *et al.* Produção de café agroecológico no sul de Minas Gerais: sistemas alternativos à produção intensiva em agroquímicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 1, p. 25-38, 2012.

MOLIN, J. P. *et al.* Teste procedure for variable rate fertilizer on coffee. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 569-575, 2010.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 13 mar. 2011.

- REIS, R. P. et al. Custos de produção da cafeicultura no sul de Minas Gerais. *Organizações Rurais e Agroindustriais*, v. 3, n. 1, 2001.
- RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. *R-News*, v. 1, n. 2, p. 14-18, 2001.
- SAMPAIO, F. M. T. *et al.* Variabilidade espacial da umidade de um latossolo vermelho-amarelo sob plantio direto. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 5, p. 854-861, 2010.
- SILVA, A. F. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com café arábica (*Coffea arabica* L.) sob diferentes manejos. *Coffee Science*, v. 5, n. 2, p. 173-182, 2010.
- SILVA, F. C. **Efeito da força de desprendimento e maturação dos frutos de cafeeiros na colheita mecanizada**. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2008.
- SILVA, F. C. *et al.* Comportamento da força de desprendimento dos frutos do cafeeiro ao longo do período da colheita. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, p. 468-474, 2010.
- SILVA, F. M. da *et al.* Desempenho operacional e econômico da derriça do café com uso da derriçadora lateral. *Coffee Science*, v. 1, n. 2, p. 119-125, 2006.
- SILVA, F. M. *et al.* Efeitos da colheita manual na bienalidade do cafeeiro em Ijaci, Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 3, p. 625-632, 2010.
- SILVA, F. M. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. *Ciência Rural*, v. 37, n. 2, p. 401-407, 2007.
- SILVA, F. M. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 1, p. 231-241, 2008.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.