

CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE MODELOS DE SEMIVARIOGRAMA DE PRODUTIVIDADE E ESTÁGIO DE MATURAÇÃO DE FRUTOS DE CAFEIEIRO

Gabriela Yuri Inaba da Silva¹, Rouverson Pereira da Silva², Leonardo Campos de Assis³, Felipe Santinato⁴, e Aluísio Barbosa Taveira⁵

RESUMO: O mapa de isolinhas é uma ferramenta da Agricultura de Precisão que representa visualmente a distribuição dos valores de um determinado parâmetro de área. Os valores são classificados em classes, ou manchas, pré-estabelecidos agrupando valores próximos. Com base nestes mapas pode-se fazer recomendações agronômicas, como adubação e manejo da colheita. Os mapas são gerados com base na escolha dos modelos empíricos que representam semivariograma do parâmetro. O presente trabalho objetivou detalhar os critérios de escolha de tais modelos para a produtividade e estágio de maturação dos frutos do cafeeiro. Realizou-se o trabalho em lavoura de café de 49,0 ha, segmentada em áreas uniformes de 25 x 100 m (gride de 0,25 ha), no município de Patos de Minas, MG. Conclui-se que os valores dos parâmetros utilizados para a escolha dos modelos empíricos podem ser muito semelhantes, e que caso não se tenha criteriosidade para a sua escolha, pode-se ocorrer erros na geração dos mapas de isolinhas, refletindo em erros nas recomendações agronômicas.

PALAVRAS-CHAVE: variabilidade, café, Agricultura de Precisão

INTRODUÇÃO

O café é uma planta perene que apresenta uma série de particularidades referentes à forma como produz e amadurece os frutos. Vários são os fatores que interferem no crescimento da planta, e como parte desses fatores ocorre heterogeneamente na lavoura, a variabilidade do crescimento da planta e conseqüentemente a produtividade são elevados (FERRAZ et al., 2011). O cafeeiro frutifica e cresce simultaneamente, de forma que necessita dividir a demanda de seus metabólitos para estes dois setores exigentes. Conseqüentemente o cafeeiro tem elevada produtividade e pequeno crescimento e vice-versa anualmente (PEREIRA et al., 2011). A produtividade e os estágios de maturação dos frutos são fundamentais para as tomadas de decisão do manejo da lavoura cafeeira, bem como da sua comercialização. Um dos manejos que é altamente influenciado por esses dois fatores é a colheita do café (SANTINATO ET al., 2015). Dessa forma têm-se que a variabilidade espacial da produtividade e dos estágios de maturação dos frutos dos cafeeiros são elevados, e por tanto devem ser avaliados de forma mais precisa que nos métodos convencionais, com a finalidade de representar seus valores com maior confiabilidade, gerando mapas de distribuição e recomendações mais eficazes. O presente trabalho teve o objetivo de aplicar metodologia que precede a etapa da modelagem da geoestatística para os parâmetros de frutos do cafeeiro.

1. Gabriela Yuri Inaba da Silva – Acadêmica em Engenharia Agrônoma FCAV/UNESP Jaboticabal, Rua Campos Bicudo, 210 Recreio dos Bandeirantes – Jaboticabal – SP, gyinaba@gmail.com, (34)99190-8033
2. Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, docente do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP – Jaboticabal, SP
3. Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis – Professor da UNIUBE
4. Dr. Felipe Santinato, Diretor Santinato & Santinato Cafés Ltda, Presidente Associação dos Cafeicultores de Patos de Minas, MG (ASSOPATOS)
5. Aluísio Barbosa Taveira – Acadêmico em Engenharia Agrônoma FCAV/UNESP Jaboticabal, SP

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Catuaí, situada no município de Presidente Olegário, MG, nas coordenadas geográficas 18°17'49'' S e 46°32'52'' W. O clima da região, é do tipo mesotérmico com inverno seco (Cwa) (KOOPEEN, 1948). Utilizou-se uma lavoura de café da cultivar variedade Catuaí Vermelho, cultivado em Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), textura argilo-arenosa, a 1013 m de altitude, no espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, com 49 ha, plantada em círculo, irrigada sob Pivô Central, com emissores do tipo LEPA (Low Energy Pressurized Application). Foram demarcados 178 pontos, a uma distância mínima de 25 x100 m, resultando em um grid amostral de 0,25 ha. Para o georreferenciamento do experimento utilizou-se um par de receptores Trimble R8 dotado de posicionamento relativo cinético em tempo real, RTK (Real Time Kinematic). Cada ponto amostral foi constituído por dez plantas de café em duas linhas, sendo cinco plantas contínuas em cada lado da linha em plantio. Em cada ponto amostral avaliou-se visualmente a produtividade e, posteriormente, se obteve a produtividade real, por meio da derriça de dez plantas. Em cada um dos pontos amostrais realizou-se a mensuração da produtividade do cafeeiro. Para tanto colocou-se sob a copa de 10 cafeeiros em linha, dos dois lados da planta, panos de derriça de 5,0 x 5,2 m. Uma amostra de 0,5 L de cada ponto foi retirada, acomodada em sacolas teladas, secadas em terreiro de café durante quatro dias, até atingirem 11% de umidade. Para a determinação do estádios de maturação dos frutos nos mesmos pontos coletou-se 1,5 L de frutos de café. As amostras foram subdividas em café verde, cereja e seco. Os dados foram submetidos à análise geoestatística, com o objetivo de se definir o modelo de variabilidade espacial dos atributos do solo envolvidos neste estudo obtendo-se, os semivariogramas e, posteriormente, os mapas de isolinhas, através da krigeagem. Para esta pesquisa submeteu-se os dados à avaliação de autocorrelação espacial utilizando o Índice de Moran Global (IMG) e em seguida do padrão de agrupamento por meio do Índice de Moran Local (IML). Utilizou-se os softwares R e ArcGIS versão 10.1 para a análise exploratória dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas a produtividade e os estádios de maturação verde e seco apresentaram autocorrelação espacial segundo o Índice Global de Moran, o que pode ser um indício de dependência espacial. Os frutos no estádio de maturação cereja não apresentam autocorrelação, o que significa terem sua distribuição aleatória. Isso ocorreu devido a grande variabilidade espacial deste parâmetro nessa lavoura estudada. Em cada tipo de lavoura, e em cada período do ano, existirão variabilidades diferentes, ficando impossível determinar qual(is) parâmetros inerentes à maturação são mais o ou menos variáveis no espaço (Tabela 1).

Tabela 1. Índice de Moran Global para os parâmetros estudados.

Parâmetro e respectivo raio de busca (m)	Índice de Moran	z-score	p-valor
Produtividade 100	0,1617	4,56	0,0
Produtividade 200	0,1072	5,84	0,0
Estádio de maturação verde 100	0,0783	2,33	0,0198
Estádio de maturação verde 200	0,0607	3,49	0,0004
Estádio de maturação cereja 100	-0,0052	0,0144	0,988
Estádio de maturação cereja 200	0,0029	0,0455	0,648
Estádio de maturação seco 100	0,0659	1,96	0,988
Estádio de maturação seco 200	0,0456	2,66	0,0077

Para a produtividade do cafeeiro todos os modelos apresentam grau de dependência espacial forte (CAMBARDELLA, 1994). Os modelos esférico e gaussiano obtiveram o maior valor de R^2 , descartando o modelo exponencial. E apesar de bem semelhantes, o modelo gaussiano obteve o menor valor de AIC E BIC, sendo, portanto o modelo escolhido para representar a dependência espacial deste parâmetro (Tabela 2).

Tabela 2. Escolha de modelo empírico para produtividade do cafeeiro.

Parâmetro	Esférico	Exponencial	Gaussiano
Estimador	56,01	57,14	56,06
Pepita (C_0)	17,78	17,66	120,4
Patamar (C_0+C_1)	521,9	535,2	419,2
Alcance (a)	72,62	32,46	37,57
Alcance assintótico	72,61	97,24	65,03
Contribuição	504,12	517,54	298,8
¹ $[C_0/C_0+C_1] \times 100$	3,29	3,19	22,31
² R^2	0,82	0,81	0,82
³ AIC	1575	1574	1574
⁴ BIC	1587	1586	1587

¹ $[C_0/C_0+C_1] \times 100$ = Índice de dependência espacial dado pela Classificação de Cambardella; ² R^2 = Coeficiente de determinação; ³AIC = Critério de informação de Akaike; ⁴BIC = Critério de informação Bayesiana.

Para o estágio de maturação de frutos verdes a dependência espacial não foi verificada em nenhum dos modelos. Nos três modelos obteve-se o efeito pepita puro, onde a pepita tem valor de zero. O efeito pepita puro significa que um ponto que esteja mais próximo ao ponto amostral não tem necessariamente maior influência no valor estimado, o que se resume em desconsiderar a correlação espacial, ou seja, não há vantagem em se utilizar a ferramenta da geoestatística para o estudo do parâmetro (ANDRIOTTI, 2002). Como alternativa, pode-se fazer a interpolação por métodos determinísticos mais simples, como por exemplo, o inverso da distância ponderada. Porém, nesta pesquisa optou-se por continuar a utilizar a Krigagem. Essa análise evidenciou que a presença de autocorrelação espacial do parâmetro não é garantia de haver dependência espacial do modelo. O modelo escolhido foi o exponencial em função do maior valor de R^2 (Tabela3).

Tabela 3. Escolha de modelo empírico para estágio de maturação dos frutos verde.

Parâmetro	Esférico	Exponencial	Gaussiano
Estimador	8,98	8,94	8,99
Pepita (C_0)	0,0	0,0	0,0
Patamar (C_0+C_1)	54,95	54,93	55,51
Alcance (a)	58,26	20,23	27,92
Alcance assintótico	58,26	60,61	48,31
Contribuição	54,95	54,93	55,51
¹ $[C_0/C_0+C_1] \times 100$	0,0	0,0	0,0
² R^2	0,8	0,84	0,79
³ AIC	1187	1187	1186
⁴ BIC	1199	1200	1199

¹ $[C_0/C_0+C_1] \times 100$ = Índice de dependência espacial dado pela Classificação de Cambardella; ² R^2 = Coeficiente de determinação; ³AIC = Critério de informação de Akaike; ⁴BIC = Critério de informação Bayesiana.

Para o estágio de maturação de frutos secos ocorreu inconformidade nos valores do modelo gaussiano, com pepita superior ao patamar, o que é um dado inconsistente e impossibilita a validade do semivariograma, sendo portanto excluído. Os modelos esféricos e exponencial apresentaram efeito pepita puro, não apresentando dependência espacial. Novamente houve proximidade entre os valores de coeficiente de determinação (0,88 e 0,89), evidenciando a possibilidade de erros na escolha dos modelos. No caso o modelo escolhido foi o exponencial (Tabela 4).

Tabela 4. Escolha de modelo empírico para estágio de maturação dos frutos seco.

Parâmetro	Esférico	Exponencial	Gaussiano
Estimador	26,03	25,77	25,82
Pepita (C_0)	0,0	0,0	230,1
Patamar (C_0+C_1)	330,9	333,2	99,17
Alcance (a)	9,08	18,59	47,46
Alcance assintótico	9,08	55,68	82,15
Contribuição	330,9	333,2	-130,93
¹ $[C_0/C_0+C_1] \times 100$	0,0	0,0	69,88
² R^2	0,88	0,89	0,88
³ AIC	1501	1498	1498
⁴ BIC	1510	1507	1510

¹ $[C_0/C_0+C_1] \times 100$ = Índice de dependência espacial dado pela Classificação de Cambardella; ² R^2 = Coeficiente de determinação; ³AIC = Critério de informação de Akaike; ⁴BIC = Critério de informação Bayesiana.

Nota-se distribuição aleatória da produtividade do cafeeiro na área estudada. Houve uma maior concentração de produtividade de 35,0 a 69,0 sacas de café ben. ha⁻¹ em toda a área. Ocorreram zonas de maiores produtividades (acima de 81,0 sacas de café ben. ha⁻¹) ao norte e ao nordeste das áreas. Próximas as áreas de maior produtividade

encontramos áreas de baixa produtividade 12,0 a 35,0 sacas de café ben. ha⁻¹, evidenciando a elevada variabilidade deste parâmetro (Figura 4).

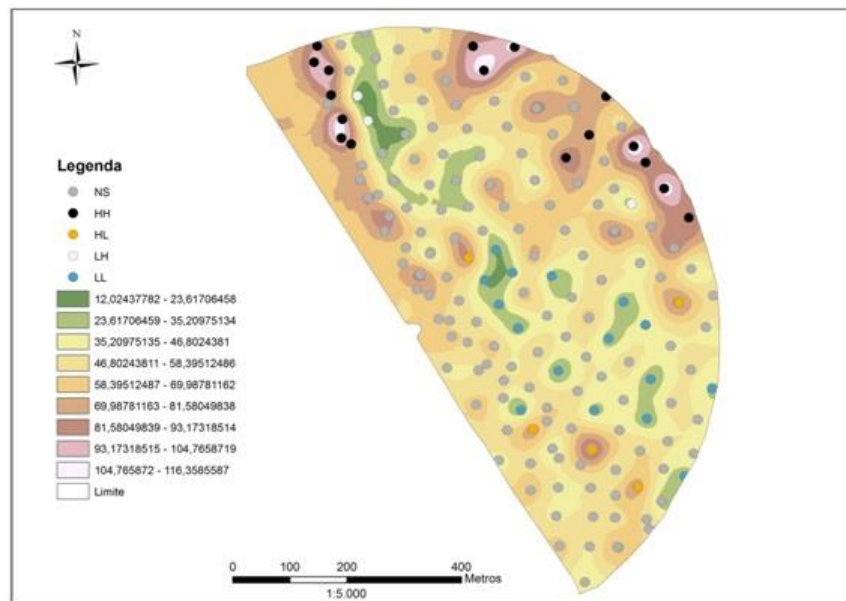


Figura 4. Mapa da distribuição espacial da produtividade do cafeeiro

Para os frutos verdes, houve predomínio de sua baixa ocorrência (0,08 à 9,69%), e em partes de 9,69 à 14,5%, no entanto também considerada baixa quantidade. Isso ocorreu por tratar-se de uma região cafeeira quente, e o estágio de maturação dos frutos estar mais avançado na época de realização do estudo (MATIELLO et al., 2015) (Figura 5).

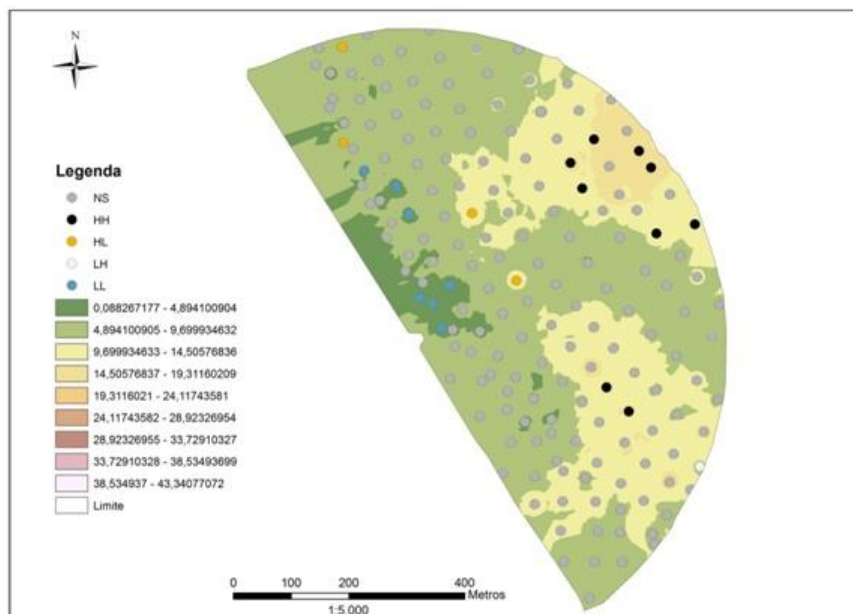


Figura 5. Mapa da distribuição espacial do estágio de maturação dos frutos verde

Para os frutos secos o predomínio foi de 19,77 a 35,6%, valor considerado moderado. No entanto houveram zonas de elevada quantidade de frutos secos, ao norte e noroeste

no mapa, com quantidades de 40,8 a 51,4%. Também houveram áreas com menor quantidade, apenas 9,22 a 19,77%. Isto significa que no momento do presente estudo havia a necessidade de realizar a colheita do café, visto a baixa quantidade de frutos verdes e moderada a elevada quantidade de frutos secos (MATIELLO et al., 2015) (Figura 6).

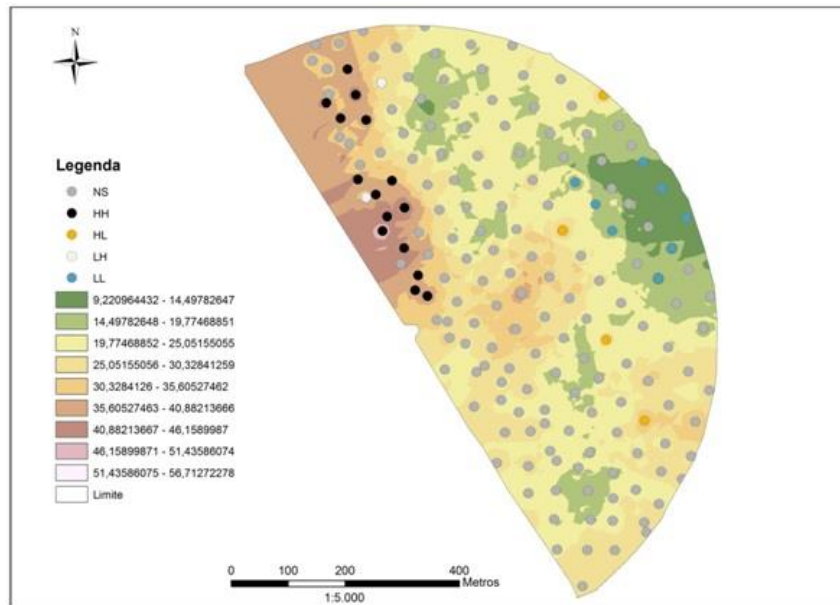


Figura 6. Mapa da distribuição espacial do estágio de maturação dos frutos seco

Foi possível, portanto, representar a produtividade e os estádios de maturação dos frutos verdes e secos através dos mapas de isolinhas. Além disto o presente trabalho expõe a importância da adoção de critérios para a escolha dos modelos empíricos do semivariograma, visto a proximidade entre os valores de seus parâmetros definidores, atendendo ao objetivo proposto. Haver autocorrelação não é garantia de haver dependência espacial, vide os estádios de maturação de frutos verdes e secos. Os valores dos critérios que escolhem os modelos empíricos de semivariogramas podem ser muito próximos, salientando a importância da capacitação para a tomada de decisão quanto à escolha do modelo.

CONCLUSÕES:

1 – Foi possível elaborar mapas de isolinhas para produtividade e estágio de maturação /de frutos verdes e secos, no entanto não foi possível para os frutos cereja, pois não apresentou autocorrelação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.M.; COSTA, P.A.N.; SILVA, A.C.; CARVALHO, F.M. 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.

KÖEPPEN, W. **Climatologia: con um estúdio de los climas de la Tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S.R.; GARCIA, A.W.R. **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações**: ed. 2015/ editor Futurama, 585 p.

PEREIRA SO, BARTHOLO GF, BALIZA DP, SOGREIRA FM, GUIMARÃES RJ (2011) Productivity and coffee biannuality depending on the crop spacing. **Pesqui Agropecuária Bras**. 46(2):152-160.

SANTINATO, F.; RUAS, R.A.A.; SILVA, R.P.; FILHO, A.C.; SANTINATO, R. Número de operações mecanizadas na colheita do café. **Ciência Rural**, v.22, n.2, p. 434 – 441, 2015.