

CAFEICULTURA DE PRECISÃO: METODOLOGIA DE ROTAS DE CAMINHAMENTO OTIMIZADAS PARA AMOSTRAGEM¹

Rafael de Oliveira Faria²; Fábio Moreira da Silva³, Miguel Ángel Díaz Herrera⁴, Gabriel Araújo e Silva Ferraz⁵; Daniel Veiga Soares⁶; Marcelo de Carvalho Alves⁷; Diego José Carvalho Alonso⁸

¹ Trabalho financiado FAPEMIG e Fazenda Samambaia

² Doutorando, DEA UFLA, Lavras-MG, rafael.ufla@gmail.com

³ Professor Pesquisador, PhD, DEA UFLA, Lavras-MG, famsilva@ufla.br

⁴ Professor, MS, Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana, Neiva, Huila, Colômbia, miguel.diaz@estudiante.ufla.br

⁵ Professor Pesquisador, PhD, DEA UFLA, Lavras-MG, gabriel.ferraz@ufla.br

⁶ Mestrando, DEA UFLA, Lavras-MG, daniel.veiga@rehagro.com.br

⁷ Professor Pesquisador, PhD, DEA UFLA, Lavras-MG, marcelo.alves@ufla.br

⁸ Doutorando, DEA UFLA, Lavras-MG, dj.ufla@gmail.com

RESUMO: A produção de café está cada dia mais tecnológica em busca da otimização do uso dos insumos e também do uso sustentável dos recursos naturais. Para isso, uma das formas que os agricultores estão investindo em seus cafezais são as técnicas de agricultura de precisão, denominado de “Cafeicultura de Precisão”. Ao longo dos últimos anos foram desenvolvidas pesquisas para viabilizar a aplicação desta tecnologia, assim, grades amostrais com dois pontos por hectare têm sido recomendadas por diversos autores. Estas demarcações georreferenciadas no talhão geralmente são de forma quadrada ou retangular equidistantes e o ponto amostral é ao centro desta área. Normalmente os cafeicultores instalam suas lavouras acompanhando a linha de nivelamento, que dificulta muito a navegação dos pontos equidistantes dentro da lavoura. A vista disso, este trabalho tem como prerrogativa desenvolver uma metodologia de rotas de caminhada otimizadas com finalidade de diminuir a distância de amostragem, tanto de solo, folha e produtividade. As áreas experimentais foram implantadas em nível no ano 2000 na Fazenda Samambaia, Santo Antônio do Amparo-MG, com a cultivar Acaia IAC 479-19, totalizando 56,65 ha. Os 111 pontos amostrais foram distribuídos no terreno seguindo a nova metodologia proposta neste trabalho, e após simulações de caminhada pelo programa FARMWORKS pôde comparar com a metodologia convencional utilizando a média de deslocamento entre pontos. O teste de F a nível de 5% de probabilidade demonstrou diferenças significativas para os resultados. Conclui-se que a nova metodologia de rotas otimizada de caminhada, reduziu em 50,1% o deslocamento médio de percurso dos pontos amostrais.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão, tempo de amostragem, lavouras em nível.

PRECISION COFFEE FARMING: METHODOLOGY OF OPTIMIZED WALKING ROUTES FOR SAMPLING

ABSTRACT Over the years coffee production is becoming increasingly technological and seeking to optimize the use of inputs and sustainable use of natural resources. For this, one of the ways farmers are investing in their coffee plantations is precision farming techniques, called precision coffee farming. Over the last few years research has been developed to enable the application of this technology, thus, sampling grids with two points per hectare have been recommended by several authors. These georeferenced boundaries in the field are usually square or rectangular equidistant and the sampling point is in the center of this area. There are currently some coffee growers install their crops along the leveling line and many coffee plantations have been installed in this way, which makes navigating the equidistant points within the crop very difficult. In view of this, this work has the prerogative of developing a methodology of optimized walking routes in order to reduce the sampling distance, both soil, leaf and productivity. The experimental areas were leveled in 2000 in Fazenda Samambaia Santo Antônio do Amparo-MG, with the cultivar Acaia IAC 479-19 with 56.65 hectares. The 111 points were distributed on the ground following the new methodology developed in this work, and after walking simulations by FARMWORKS program can compare the new methodology with the most usual in the field, always comparing the average displacement per point per crop. F test at 5% probability level found significant differences for the result. It is concluded that the new methodology of optimized walking routes was able to reduce by 50,1% the displacement of samplers per point.

KEY WORDS: Precision agriculture, sampling time, leveling line crops.

INTRODUÇÃO

A modernização do setor agrícola, principalmente no setor cafeeiro está sendo impulsionado pela agricultura de precisão (AP) nas lavouras de café (FERRAZ et al., 2017). A AP baseia-se na variabilidade espacial na área de cultivo, em contraposição da agricultura convencional que trabalha com médias da lavoura, reduzindo assim perdas na aplicação de insumos e redução de danos ao meio ambiente (MOLIN et al., 2007). A adoção de técnicas de manejo do tipo sítio-específico, tem como objetivo reduzir os custos operacionais de uma atividade agrícola, otimizando o empreendimento (COSTA et al., 2014). A Cafeicultura de Precisão (CP) é um conceito que implica na utilização de técnicas de agricultura de precisão na lavoura cafeeira (SILVA; ALVES, 2013). O entendimento da variabilidade espacial na lavoura exige uma maior quantidade de informações, obtidas a partir de amostragens em malhas representativas (FERRAZ et al., 2012). Além das análises de solo georreferenciadas e aplicações de fertilizantes em taxa variável, o mapa de produtividade é de grande importância para o ciclo da cafeicultura de precisão. Principalmente, com intuito de comparar os produtos aplicados com a produtividade localizada do cafeeiro e para se conhecer os padrões de produção de uma lavoura (FAULIN; MOLIN, 2007; FERRAZ et al., 2012, 2017b; FIGUEIREDO et al., 2013; MOLIN et al., 2010; MOLIN; FAULIN; STANISLAVSKI, 2009; SILVA; ALVES, 2013). Estudos desenvolvidos por Carvalho et al. (2017b, 2017a); Ferraz et al. (2017) e Figueiredo et al. (2018) verificaram que a aplicação da metodologia de 2 pontos por hectare foi a mais recomendada, possibilitando observar a variabilidade espacial de alguns atributos químicos do solo e da folha e a produtividade do cafeeiro. Na geoestatística a malha amostral mais utilizada é a sistemática, onde os pontos avaliados são obtidos de forma equidistantes bidimensional (quadrado ou retangular), porém a equidistância entre os pontos não é obrigatória, mas é necessário a referência geográfica dos dados para se proceder a análise espacial. Oliveira et al. (2011), realizaram levantamento do tipo de malha amostral, tamanho de área e número de pontos utilizados, em trabalhos de geoestatística publicados na plataforma Scielo, entre os anos de 1997 a 2010 e verificaram, que 82,54% dos artigos publicados utilizaram malha regular, enquanto 17,46% utilizaram malhas irregulares de amostragem do solo. As estratégias para amostragem em grade mais utilizada é a amostragem pontual, ou seja, amostras são coletadas no ponto central da quadricula (COLAÇO; MOLIN, 2015; INAMASU; MOLIN, 2013; OLIVEIRA et al., 2011). Atualmente na implantação do cafeeiro em áreas declivosas ainda usual o sulcamento do terreno obedece a um alinhamento feito pelas niveladas básicas, ou em terrenos com topografia favorável pode fazer alocação e o sulcamento, em linhas retas e paralelas (MESQUITA et al., 2016; NOGUEIRA, 1998). Porém, em ambos os casos a alocação dos pontos de amostragem de forma equidistantes, dificulta o caminhamento do amostrador dentro da lavoura. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de amostragem por rotas de caminhamentos otimizadas na lavoura cafeeira, a fim de diminuir o tempo e deslocamento da operação.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na fazenda Samambaia, no município de Santo Antônio do Amparo, Sul do Estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas médias 20°58'19.92" latitude Sul e 44°53'24.18" longitude Oeste de Greenwich. A área experimental possui 56,65 hectares de cafeeiros *Coffea arabica* L. do cultivar Acaia IAC 474-19, implantada no ano de 2000 com espaçamento 3,6m entre linhas e 0,8m entre plantas. A área é dividida em quatro glebas nomeadas por ZE02 (5,9ha), ZE03 (30,25ha), ZE06 (8,5ha) e ZE08 (10,0ha). A lavoura em estudo foi demarcada em malha amostral regular com metodologia adaptada, com dois pontos por hectare, conforme preconizado para a cafeicultura de precisão e apontado nos estudos de índice de malha ótima (CARVALHO et al., 2017a; FERRAZ et al., 2017; FIGUEIREDO et al., 2018). Foram demarcados 111 pontos amostrais georreferenciados nos talhões para amostragens de campo. No desenvolvimento dessa nova metodologia necessitou-se de imagem de satélite atualizada e com boa resolução da gleba, assim foi possível distinguir as entre linhas do cafeeiro, carreadores, falhas, entre outros. A primeira rota de caminhamento foi traçada a partir da metade da distância entre pontos, neste caso 35m, em relação a bordadura da gleba. A partir desta primeira linha, paralelas subsequentes tentaram-se traçar a cada 70m. As “linhas de auxílio” foram iniciadas paralela ao outro lado do terreno, ou seja, o lado perpendicular às rotas de caminhamento, sendo que a primeira manteve também a distância mínima de 35 metros da borda do talhão e preferencialmente passando a 90° das linhas de caminhamento. Para esta gleba foi traçado linhas paralelas (à 50m) a esquerda e a direita até cobrir todo o terreno. Nos cruzamentos da rota de caminhamento e linha auxiliar foram alocados os pontos de amostragem, contudo a numeração dos pontos de amostragem deve seguir a ordem de caminhamento a fim de evitar transtornos no momento da amostragem de campo, vide Figura 1.



Figura 1 - Demarcação dos pontos no talhão ZE08 seguindo a sequência de amostragem.

Após a alocação dos pontos é recomendado retirar as linhas de auxílio e manter as linhas de navegação, estas que posteriormente serão utilizadas para auxiliar a navegação no campo. As malhas amostrais quadradas equidistantes foram geradas de forma automática pelo software FARMWORKS com dois pontos por hectare. A simulação de caminhamento da metodologia proposta e convencional foram também desenhadas no software FARMWORKS, considerando quais os percursos ideais de caminhamento para atingir o ponto amostral. Cada talhão gerou duas distâncias para percorrer a mesma quantidade de pontos, sendo uma delas na metodologia convencional e outra na metodologia proposta. A comparação entre as metodologias é impossibilitada pois os talhões têm áreas distintas, para contornar isto, criou um índice dividindo a distância percorrida de cada método pelo número de pontos do talhão, que resulta em distância média percorrida para a amostragem do ponto. Estes valores foram submetidos ao teste F utilizando o Software SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na demarcação das linhas de caminhamento na lavoura, foi observado certa variação de distância de uma linha dos cafeeiros para outra, que se dá pela variação da distância de plantio, declividade e da largura dos carregadores, o que demonstra a necessidade de traçar as rotas de caminhamento. A simulação da metodologia convencional resultou em um deslocamento médio entre pontos amostrais de 263,2 metros, lembrando que foi considerado que o amostrador conhece de antemão as entre linha que irá percorrer. Nas simulações para a metodologia proposta, o amostrador percorre em média 132,8 metros entre pontos amostrais (Tabela 1), diminuindo abruptamente o deslocamento em 130,4 metros e por conseguinte o tempo e custo de amostragens.

Tabela 1 - Distância percorrida em cada lavoura para alcançar o ponto de amostragem.

Lavoura	Metodologia Convencional*	Metodologia Proposta*
ZE06	191,7	136,1
ZE08	215,0	117,5
ZE03	199,3	103,9
ZE02	448,3	170,8
Média	263,2**	132,8**

*Distância percorrida entre pontos em metros

** significativo ao teste de F ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando a Tabela 1, verifica-se que a metodologia proposta apresentou resultados com diferenças significativas pelo teste de F a nível de 5% de probabilidade, com média de redução do percurso de 50,1% entre pontos amostrais. Esta redução de percurso e tempo resulta em diminuição dos custos de amostragem em campo, viabilizando ainda mais a aplicação das tecnologias em “Cafeicultura de Precisão”. É possível considerar ainda a criação virtual das rotas recomendadas de caminhamento, através de aplicativos de navegação, em *smartphone* ou equipamento com sistema de navegação global por satélites (GNSS). A exemplo pode-se citar o aplicativo *MAPinr* (XYLEM, 2019) e para a navegação entre os pontos amostrais e o aplicativo *Android: C7 GPS Malha*, desenvolvido pelo Laboratório de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, 2017), todos aplicativos gratuitos e de fácil acesso aos

agricultores.

CONCLUSÃO

1 - A metodologia proposta possibilitou reduzir o deslocamento entre os pontos amostrais em 50,1%, relativamente a demarcação convencional, corroborando com a aplicação das técnicas de cafeicultura de precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, L. C. C. **Determinação da densidade amostral ótima para a geração de mapas temáticos na cafeicultura de precisão.** [s.l.] UFLA, 2016.
- CARVALHO, L. C. C. et al. Comparação entre amostragem foliar convencional e de precisão para análise de micronutrientes na cafeicultura. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 272–281, 2017a.
- CARVALHO, L. C. C. et al. Geostatistical analysis of Arabic coffee yield in two crop seasons. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 410–414, 2017b.
- COLAÇO, A. F.; MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão - Boletim Técnico 02**Piracicaba-SP, 2015. Disponível em: <http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/pub_boletim-tecnico-02---amostragem-georreferenciada-03-02-2015.pdf>
- COSTA, N. R. et al. Produtividade de laranja correlacionada com atributos químicos do solo visando a zonas específicas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 391–398, 2014.
- FAULIN, G. D. C.; MOLIN, J. P. Utilização dos conceitos da agricultura de precisão na cultura do café (*Coffea arabica* L.). **5 simposio de pesquisas dos cafes do Brasil**, n. 1998, p. 70–75, 2007.
- FERRAZ, G. A. E. S. et al. Comparativo entre os atributos químicos do solo amostrados de forma convencional e em malha. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 17–29, 2017a.
- FERRAZ, G. A. E. S. et al. Agricultura de precisao no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v. 7, n. 1, p. 59–67, 2012.
- FERRAZ, G. A. E. S. et al. Methodology to determine the soil sampling grid for precision agriculture in a coffee field. **Dyna**, v. 84, n. 200, p. 316–325, 2017b.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.
- FIGUEIREDO, V. C. et al. Levantamento da fertilidade do solo de lavouras cafeeiras em produção, no sul de minas gerais. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 306–313, 2013.
- FIGUEIREDO, V. C. **Estudo de malhas amostrais em cafeicultura de precisão.** [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2016.
- FIGUEIREDO, V. C. et al. Analysis of spatial variability of force detachment of coffee fruits in central pivot. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 84–92, 2017.
- FIGUEIREDO, V. C. et al. Development of a methodology to determine the best grid sampling in precision coffee growing. **Coffee Science**, v. 13, n. 3, p. 312–323, 2018.
- INAMASU, R. Y.; MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão - Boletim Técnico.** Brasília DF: [s.n.].
- MESQUITA, C. M. DE et al. Manual do Café: Implantação de Cafezais. p. 50, 2016.
- MOLIN, J. P. et al. Variação Espacial Na Produtividade De Milho Safrinha Devido Aos Macronutrientes E À População De Plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 3, p. 309–324, 2007.
- MOLIN, J. P. et al. Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 4, p. 569–575, 2010.
- MOLIN, J. P.; FAULIN, G. D. C.; STANISLAVSKI, W. M. Yield mapping and variable rate of fertilizers for coffee in brazil. **Acta Horticulturae**, n. 824, p. 261–266, abr. 2009.
- NOGUEIRA, F. A. A. **A Cultura do Café no Sul de Minas Gerais.** Florianópolis-SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.
- OLIVEIRA, R. B. DE et al. **Levantamento do tipo de malha amostral, tamanho de área e número de pontos utilizados em análise geoestatísticaII Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias**Botucatu-SP, 2011.
- SILVA, F. M. DA; ALVES, M. DE C. **Cafeicultura de Precisão.** Lavras: Editora UFLA, 2013.
- UFSM, L. DE G. **Software CR Campeiro: C7 GPS Malha para a plataforma Android.** Disponível em: <http://www.crcampeiro.net/novo/Pages/apps_android.>.
- XYLEM. **MAPinr-KML/KMZ/WMS/GPX/OFFLINE.** Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=at.xylem.mapin&hl=pt_BR>. Acesso em: 1 fev. 2019.