



## **Influência das diferentes faces de exposição ao sol nos índices vegetativos e relativo de clorofila em cafés especiais**

*Eduardo Antonio Speranza<sup>1</sup>, Célia Regina Grego<sup>1</sup>, Gustavo Costa Rodrigues<sup>1</sup>, Ariovaldo Luchiari Junior<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, São Paulo, Brasil,  
eduardo.speranza@embrapa.br, celia.grego@embrapa.br, gustavo.rodrigues@embrapa.br,  
ariovaldo.luchiari@embrapa.br

### **RESUMO**

A cafeicultura tem se destacado no Brasil nos últimos anos, atingindo altos níveis de exportação. Desse modo, a busca por tecnologias que permitam melhorar a produtividade e a qualidade do produto final é uma realidade. Nesse contexto, ferramentas de Agricultura de Precisão (AP) possuem papel estratégico, pois possibilitam ao produtor obter informações georreferenciadas com alta precisão de atributos referentes ao solo e à cultura que podem ser analisadas e transformadas em informações úteis para o manejo da produção. Neste artigo, foi realizado um processo de mineração de dados obtidos em campos experimentais de cafeicultura por meio de sensores proximais que permitem o cálculo de índices de vegetação e de clorofila presente nas plantas. Foram utilizadas diferentes combinações de atributos para a geração de mapas potenciais de zonas de manejo que permitem caracterizar a variabilidade espacial da cultura com relação à diferentes faces de exposição ao sol. Como resultado, foi verificado que as faces de exposição ao sol das duas áreas analisadas influenciam muito no índice relativo de clorofila (IRC) presente nas plantas, potencializando a utilização desse atributo para o delineamento de zonas de manejo que permitam diferenciar a qualidade do produto final obtido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cafeicultura, Agricultura de precisão, Mineração de dados, Sensoriamento Proximal, Zonas de Manejo.

## ABSTRACT

Coffee cultivation has been notable in Brazil in recent years, achieving high exportation levels. In this way, the search for technologies to improve yield and the quality of the final product is a reality. In this context, Precision Agriculture (PA) tools have a strategic role, since they enable the farmer to obtain high precision and georeferenced information of soil and crop attributes which we can analyze and transform into useful information for crop management. In this paper, we performed a data mining process using proximal sensors data from experimental fields of coffee cultivation, which allow the calculation of vegetation and chlorophyll indices present in the plants. We used different sets of attributes to build potential management zone maps describing the spatial variability of the crop regarding different faces of sun exposure. As a result, we verified that the sun exposure of the two analyzed experimental areas greatly influence the relative index of chlorophyll (IRC) present in the plants, boosting the use of this attribute for the delineation of management zones to distinguish the quality of the final product.

**KEYWORDS:** Coffee cultivation, Precision agriculture, Data mining, Proximal Sensing, Management Zones.

## INTRODUÇÃO

O Brasil tem se destacado nos últimos anos como maior produtor e exportador mundial de café, possuindo cerca de 300 mil estabelecimentos produtores onde mais de 80% deles são considerados produção familiar (CONCAFÉ, 2019). Os tipos de café classificados como especiais possuem valores de venda até 40% maiores do que os convencionais, o que desperta maior interesse por parte dos produtores. Apesar dos aspectos sensoriais serem os mais utilizados para identificar um café especial, aspectos ambientais do local de produção, tais como microclima, tipo de solo, altitude, direção do vento, umidade, radiação solar e face de exposição ao sol, podem influenciar diretamente na qualidade do produto final (GASPARI-PEZZOPANE et al., 2005; FERREIRA et al., 2012).

Nesse sentido, ferramentas de Agricultura de Precisão (AP) podem ser utilizadas para auxiliar na caracterização ambiental dos sistemas de produção de café, permitindo caracterizar a variabilidade espacial da cultura agrícola com relação aos aspectos supracitados (SILVA; ALVES, 2013). No contexto da AP, sensores proximais que permitem verificar a

variabilidade dos índices de vegetação e relativo de clorofila presentes na cultura, em conjunto com técnicas de geoestatística e de mineração de dados, podem auxiliar na identificação de regiões dentro de uma mesma área de cultivo, com potencial para obtenção de um produto final de maior qualidade. Na literatura, existem diversos trabalhos realizados com esse tipo de sensor para identificação da variabilidade espacial em fruticultura. Trought e Bramley (2011) utilizaram sensoriamento proximal para mapeamento do vigor das plantas em viticultura para correlacionar essa variável com atributos importantes para detecção da qualidade dos frutos, tais como disponibilidade de sólidos solúveis, acidez e pH. Rodrigues Junior et al. (2011) utilizaram sensores proximais de índice de clorofila e análise foliar para definir zonas de manejo para uma cultura de café. Oldoni et al. (2017) utilizaram sensores de índice de clorofila e vegetação para definir zonas de manejo para irrigação em viticultura, com a expectativa de se obter regiões diferenciadas de produção relacionadas à qualidade do vinho que será produzido. Com relação à utilização desses dados, Souza et al. (2010) relatam que métodos geoestatísticos e de mineração de dados, quando combinados, podem transformá-los em informações mais robustas e assertivas.

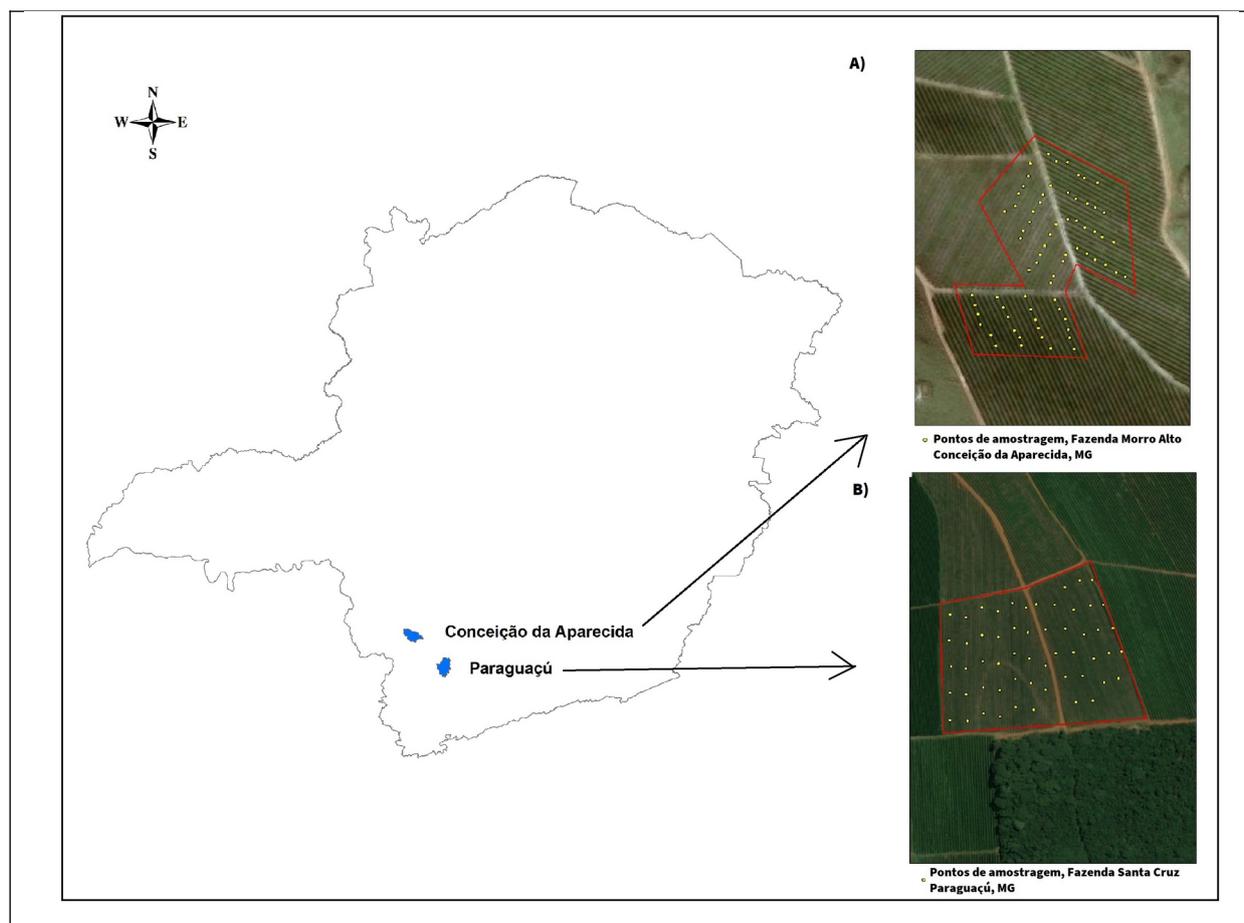
Diante desse contexto, este trabalho descreve um processo de mineração de dados realizado para investigar a correlação existente entre índices de vegetação e índice relativo de clorofila (IRC) com relação à face de exposição ao sol em culturas de café especiais, com o objetivo de definir variáveis capazes de auxiliar no delineamento de zonas de manejo que permitam diferenciar a qualidade do café produzido.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### ***Áreas de estudo***

Os dados analisados no âmbito deste estudo foram coletados em trabalho de campo realizado em novembro de 2017, em duas áreas de produção de cafés especiais localizadas no sul de Minas Gerais. A Área 1 corresponde a parcelas de dois talhões, com variedade Catuaí, totalizando aproximadamente 5 ha da área de produção da Fazenda Santa Cruz, localizada no município de Paraguaçu (Figura 1a). Nessa área, foram identificadas duas faces distintas de exposição ao sol. A Área 2 corresponde a parcelas de 3 talhões, com as variedades Catucaí IAC-144, Obatã e Catuaí Amarelo, totalizando aproximadamente 1,5 ha da área de produção da Fazenda Morro Alto, localizada no município de Conceição da Aparecida (Figura 1b). Nessa área, foram identificadas 3 faces distintas de exposição ao sol.

Figura 1 – Localização e pontos de medidas das áreas de café especial em estudo: (a) Fazenda Santa Cruz, em Paraguaçu (MG); (b) Fazenda Morro Alto, em Conceição da Aparecida (MG).



Fonte: dos autores

### ***Metodologia de coleta de dados***

Considerando as diferentes faces de exposição ao sol para as duas áreas de estudo, foram definidos pontos para coleta de dados relacionados à biomassa e clorofila das plantas. Para a Área 1, foram georreferenciados 32 pontos localizados na face 1 e 24 na face 2. Para a área 2, foram georreferenciados 24 pontos localizados na face 1, 22 pontos na face 2 e 24 pontos na face 3.

Nos pontos amostrais, as medidas com o sensor Crop Circle<sup>1</sup> foram realizadas no terço médio das plantas (Área 1) e no terço superior (Área 2). Esse sensor mede seis diferentes bandas espectrais que cobrem as regiões do verde, vermelho, azul, infravermelho próximo e *red-edge*. Combinações dessas bandas permitiram a obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada pelo Vermelho (NDVI) (ROUSE et al., 1973) e do Índice de Vegetação da

<sup>1</sup> Crop Circle, Holland Scientific, Lincoln, Nebraska, USA

Diferença Normalizada pelo *Red-Edge* (NDRE). Os dados de IRC foram coletados com o sensor SPAD-502<sup>2</sup>, sendo as medidas realizadas em 10 folhas completamente expandidas, nos mesmos pontos e posições nos quais foram tomadas as medidas para o Crop Circle. Esses três atributos da cultura (NDVI, NDRE e IRC) foram selecionados e utilizados no trabalho de mineração de dados, que se iniciou com a análise estatística descrita a seguir.

### ***Análise estatística***

Os dados coletados em campo foram inicialmente analisados de maneira exploratória utilizando-se estatística descritiva. A seguir, foi realizada uma análise geoestatística composta pelo semivariograma experimental e ajustado para cada um dos atributos selecionados conforme indicado por Vieira (2000). Os semivariogramas forneceram os parâmetros de ajuste utilizados pelo método de interpolação espacial por krigagem ordinária (Oliver e Webster, 1990), para que fossem gerados os mapas de NDVI, NDRE e IRC para as três áreas com 1 metro de resolução espacial.

### ***Análise de agrupamento e correlação entre mapas***

A partir dos mapas gerados para os índices NDVI, NDRE e IRC, foram planejadas as análises de agrupamento considerando diferentes combinações de atributos de entrada, proporcionando a obtenção de potenciais mapas de zonas de manejo. Para a execução dos agrupamentos, foi utilizado o algoritmo Fuzzy c-means (FCM) (KITCHEN et al., 2005; CÓRDOBA et al. 2013; PERALTA et al., 2015; SCHENATTO et al., 2017). Por se tratar de um algoritmo de agrupamento particional, o FCM exige que seja definida a quantidade de grupos (neste contexto, zonas de manejo) em que o conjunto de dados de entrada deve ser dividido. Assim, especificamente para este trabalho, foram estabelecidas duas zonas para a Área 1 e três zonas para a Área 2, que correspondem à quantidade de faces de exposição ao sol pré-definidas para essas áreas.

Para efeito de comparação com os mapas de agrupamento gerados, as faces de exposição ao sol de cada uma das áreas foram rotuladas manualmente com a utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), considerando a mesma grade de pontos utilizada para a geração dos mapas de NDVI, NDRE e IRC. A correlação entre os mapas potenciais de zonas de manejo obtidos com diferentes combinações das variáveis NDVI, NDRE e SPAD com relação aos mapas rotulados de faces de exposição ao sol foi verificada a partir de duas

---

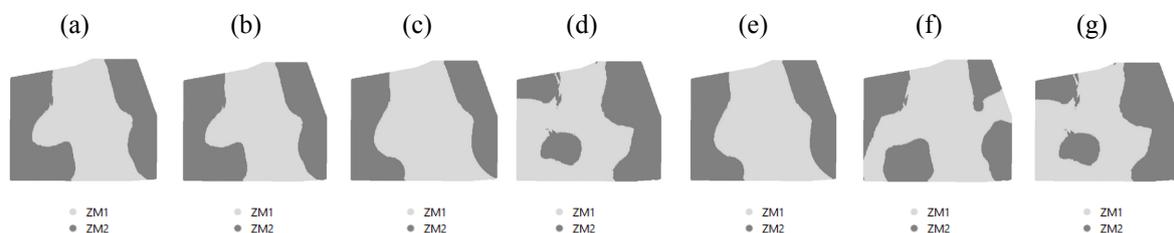
<sup>2</sup> SPAD-502, Konica Minolta, Tokyo, Japan

medidas distintas de concordância: função *agree*, disponível no pacote *irr* do software R (GAMER et al., 2012), que retorna a porcentagem de concordância entre os mapas; e a partir do índice *kappa* (COHEN, 1960), disponível no pacote *psych* do software R (REVELLE; REVELLE; 2015), cujo valor retornado permite classificar a concordância entre mapas em seis classes: pobre, leve, boa, moderada, substancial e quase perfeita.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

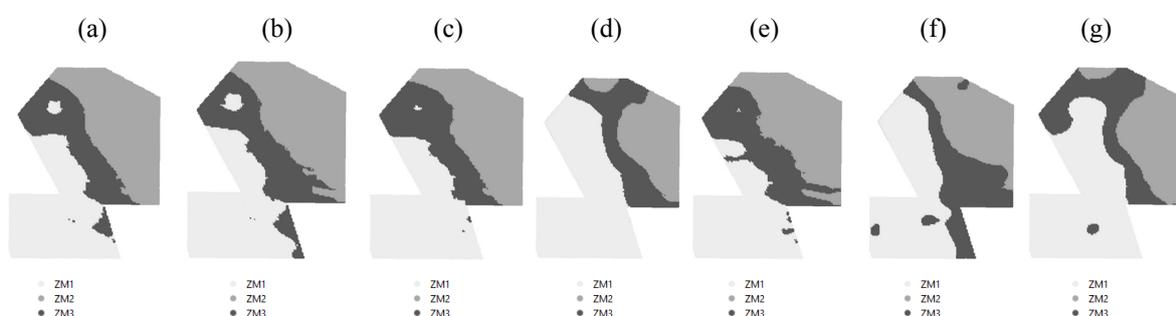
A partir da metodologia descrita na seção anterior, foram executadas análises de agrupamento considerando dados das duas áreas estudadas, utilizando sete combinações de atributos como dados de entrada para o algoritmo de agrupamento: I) NDVI, NDRE e IRC; II) NDVI e NDRE; III) NDVI e IRC; IV) NDRE e IRC; V) NDVI; VI) NDRE; e VII) IRC. Como resultado, foram obtidos mapas de potenciais zonas de manejo considerando as diferentes combinações de atributos para as Áreas 1 e 2 (Figura 2 e Figura 3).

Figura 2 – Potenciais zonas de manejo para a Área 1 (identificadas por diferentes tons de cinza), considerando diferentes combinações de índices de vegetação e clorofila: (a) I; (b) II; (c) III; (d) IV; (e) V; (f) VI; (g) VII.



Fonte: dos autores

Figura 3 – Potenciais zonas de manejo para a Área 2 (identificadas por diferentes tons de cinza), considerando diferentes combinações de índices de vegetação e clorofila: (a) I; (b) II; (c) III; (d) IV; (e) V; (f) VI; (g) VII.



Fonte: dos autores

A partir desses resultados, foram realizadas análises correlacionando os mapas de potenciais zonas de manejo com os mapas compostos pelas faces de exposição ao sol de cada

área. A Tabela 1 exibe os resultados obtidos, considerando os critérios de concordância descritos na seção anterior e as combinações de atributos de I a VII para a Área 1.

Tabela 1 – Resultados de concordância – Área 1

Índice	Combinações (Atributos de Entrada)						
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)	(VII)
<i>agree</i> (%)	45.1	54.8	51.2	71.9	50.8	54.7	76.1
<i>kappa</i>	-0.09	0.09	0.04	0.44	0.03	0.11	0.52
classe ( <i>kappa</i> )	pobre	leve	leve	moderada	leve	leve	moderada

Por apresentar apenas duas faces distintas de exposição ao sol, a concordância dos potenciais mapas com duas zonas de manejo para a Área 1 com relação às faces utilizando o método *agree* apresentou valores maiores que 50% na maioria dos casos. Entretanto, como o cálculo do índice *kappa* é ponderado pela probabilidade de concordância entre rótulos das amostras, que nesse caso é de 50%, os resultados mostraram concordâncias no máximo moderadas, quando foram utilizados os atributos NDRE e IRC (IV) combinados e, principalmente, quando foi utilizado o atributo IRC de maneira isolada (VII). As combinações de atributos que utilizaram o NDVI (I, II, III e V) apresentaram concordância apenas leve na maioria dos casos. A mesma análise foi realizada para a Área 2, e os resultados obtidos são exibidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de concordância – Área 2

Índice	Combinações (Atributos de Entrada)						
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)	(VII)
<i>agree</i> (%)	46.3	6.68	2.56	8.76	12.7	7.99	66.8
<i>Kappa</i>	0.52	-0.47	-0.51	-0.79	-0.41	-0.44	0.77
classe ( <i>kappa</i> )	moderada	pobre	pobre	pobre	pobre	pobre	substancial

Para o caso da Área 2, a probabilidade de concordância entre os pontos diminuiu, pelo fato de estarem sendo utilizadas três faces de exposição ao sol. Desse modo, os índices obtidos pelo método *agree* se aproximaram mais dos índices fornecidos pelo método *kappa*. Para essa área, os melhores resultados foram obtidos utilizando-se todos os atributos (I), com concordância moderada entre os mapas; e utilizando apenas o atributo IRC (VII), com concordância substancial. Nesse caso, para as combinações restantes, que se utilizaram apenas dos índices NDVI e NDRE, a concordância foi pobre em todos os casos.

Em resumo, os resultados obtidos para as duas áreas mostraram alta correlação das faces de exposição ao sol com o índice IRC, medido pelo sensor SPAD-502. Os resultados mais próximos aos obtidos única e exclusivamente com os valores de IRC são por meio de

combinações que consideram também esse atributo como entrada, como nos casos da combinação IV para a Área 1 e da combinação I para a Área 2. Outra questão importante observada nos resultados é um melhor desempenho geral do índice NDRE com relação ao NDVI para esse contexto. Essa diferença pode ser explicada pelo fato dos dados terem sido coletados no início do período reprodutivo, logo após a floração, onde existia uma mistura de folhas completamente expandidas e outras com crescimento vegetativo inicial. Entretanto, por existirem poucos trabalhos na literatura com análises similares (RODRIGUES JUNIOR et al., 2011), as respostas ao NDVI e NDRE devem ser melhor exploradas em análises futuras, considerando cada estágio de desenvolvimento do café.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste artigo mostraram uma correlação substancial entre os dados obtidos com o sensor SPAD-502 e as faces de exposição ao sol estabelecidas nas duas áreas de cultivo. Desse modo, pode-se concluir que a variabilidade espacial da quantidade de clorofila presente nas plantas é importante para o delineamento de zonas de manejo individuais para as diferentes faces, com o objetivo de identificar cafés de maior e menor qualidade dentro de uma mesma área de cultivo. Os índices de biomassa NDVI e NDRE, amplamente utilizados para identificação de variabilidade espacial de diferentes culturas agrícolas, quando combinados com a quantidade de clorofila disponível, também apresentaram resultados satisfatórios. Entretanto, sua utilização para o delineamento de potenciais zonas de manejo capazes de determinar cafés de diferentes qualidades precisa ser melhor investigada.

O trabalho descrito neste artigo é apenas o início de atividades de pesquisa que ainda serão realizadas nas áreas piloto. Como trabalhos futuros, além da inclusão e análise de atributos de solo, tais como textura e condutividade elétrica, também está prevista a utilização de sensores capazes de monitorar o microclima das áreas. Esses dados servirão para potencializar as análises realizadas até o momento, proporcionando a tomada de decisão mais precisa com relação ao manejo da cultura e que priorize melhorias na qualidade do produto final obtido.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos proprietários e funcionários das Fazendas Santa Cruz e Morro Alto, pela disponibilidade das áreas para realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

COHEN, Jacob. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.

CONCAFÉ. Observatório do Café. Evolução da cafeicultura brasileira nas duas últimas décadas. Disponível em <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes\\_tecnicas/Consorcio-Embrapa-Cafe-Evolucao-12-3-19.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Consorcio-Embrapa-Cafe-Evolucao-12-3-19.pdf)>. Acesso em 25 jun. 2019.

CÓRDOBA, M. et al. Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. *Computers and electronics in agriculture*, v. 97, p. 6-14, 2013.

FERREIRA, W.P.M. et al. As características térmicas das faces noruega e soalheira como fatores determinantes do clima para a cafeicultura de montanha. *Série Documentos*, v. 10. Brasília, DF: Embrapa Café, 2012, 34 p.

GAMER, Matthias et al. Package ‘irr’. Various coefficients of interrater reliability and agreement, 2012.

GASPARI-PEZZOPANE, Cristina de et al. Influências ambientais no rendimento intrínseco do café. *Bragantia*, Campinas, v. 64, n. 1, p. 39-50, 2005.

KITCHEN, N. R. et al. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 46, n. 1-3, p. 285-308, 2005.

OLDONI, H. et al. Vegetation indexes for management of irrigated wine vine orchard. In: *II Latin-American Conference on Plant Phenotyping and Phenomics for Plant Breeding*, 2, 2017, São Carlos, SP. *Proceedings...* São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017, 2017.

OLIVER, Margaret A.; WEBSTER, Richard. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, v. 4, n. 3, p. 313-332, 1990.

PERALTA, N. R. et al. Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 110, p. 103-113, 2015.

REVELLE, W.; REVELLE, M. W. Package ‘psych’. The Comprehensive R Archive Network, 2015.

RODRIGUES JUNIOR, F. A. et al. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.15, n.8, pp. 778-787, 2011.

ROUSE JR, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 1974.

SCHENATTO, K. et al. Normalization of data for delineating management zones. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 143, p. 238-248, 2017.

SOUZA, Z. M. et al. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural*, v. 40, n. 4, p. 840-847, 2010.

SILVA, F. M.; ALVES, M. C. *Cafecultura de precisão*. Lavras: Editora UFLA, 227 p., 2013.

TROUGHT, M. C. T; BRAMLEY, R. G. V. Vineyard variability in Marlborough, New Zealand: characterising spatial and temporal changes in fruit composition and juice quality in the vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, v. 17, n. 1, p. 79-89, 2011.

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