

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ABEL SOUZA DA FONSECA**

**MAPEAMENTO DO ESTADO NUTRICIONAL, PRODUTIVIDADE E  
QUALIDADE DE BEBIDA DO CAFÉ CONILON**

**ALEGRE  
2018**

**ABEL SOUZA DA FONSECA**

**MAPEAMENTO DO ESTADO NUTRICIONAL, PRODUTIVIDADE E  
QUALIDADE DE BEBIDA DO CAFÉ CONILON**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

**Orientador:** Prof. Dsc. Julião Soares de Souza Lima.

**Coorientador:** Prof. Dsc. Samuel de Assis Silva.

**ALEGRE  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP) (Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

F676m Fonseca, Abel Souza da, 1989-  
Mapeamento do estado nutricional, produtividade e qualidade de bebida do café conilon / Abel Souza da Fonseca. – 2018.  
121 f. : il.

Orientador: Julião Soares de Souza Lima.

Coorientador: Samuel de Assis Silva.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Café conilon. 2. Lógica difusa. 3. Alimentos – Avaliação sensorial. 4. Cultivos agrícolas – Rendimento. I. Lima, Julião Soares de Souza. II. Silva, Samuel de Assis. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

---

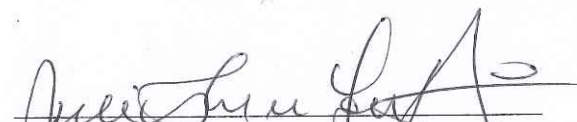
Bibliotecária: Lizzie de Almeida Chaves – CRB-6 ES-000871/O

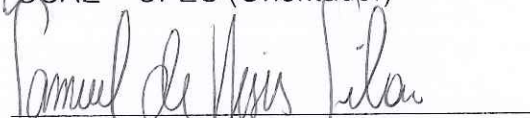
ABEL SOUZA DA FONSECA

**MAPEAMENTO DO ESTADO NUTRUCIONAL, PRODUTIVIDADE E  
QUALIDADE DE BEBIDA DO CAFÉ CONILON**


Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal

Aprovada em 13 de Abril de 2018.

  
Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima  
CCAIE – UFES (Orientador)

  
Prof. Dr. Samuel de Assis Silva  
CCAIE – UFES (Co-orientador)

  
Prof. Dr. Alexandre Candido Xavier  
CCAIE – UFES (Membro interno)

  
Prof. Dra. Maria Christina J. D. Dardengo  
IFES – Campus Alegre - (Membro externo)

A DEUS,  
Pai todo poderoso!

À minha compreensiva e amorosa mãe,  
Vania Souza da Silva Fonseca;  
Ao meu incansável e grande Pai José Beraldo da Fonseca;  
Aos meus irmãos,  
Adaias Souza Fonseca e Rafael Alves Santos;  
Ao Luan Santana pela parceria e colaboração;  
Aos meus Avós, Antenor e Vanderlina (*in memoriam*), que não mediram esforços para ver  
minha alegria e minhas conquistas;  
Aos Amigos que sempre me apoiaram e me deram força;

Ao Prof. Julião e demais  
professores e amigos que participaram  
comigo desta jornada,

*DEDICO*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que sempre iluminou meus passos;

Ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do CCA-UFES (PPGPV), pela oportunidade de estudo;

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo para cursar o doutorado e ao CNPQ e a FAPES pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa;

Ao Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima, Professor CCAE-UFES e amigo, que sempre me apoiou e orientou desde o início de minha graduação, como também pelos conselhos e apoio em minhas escolhas;

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Samuel de Assis Silva pela disponibilidade e boa vontade de sempre me ajudar;

Ao cafeicultor e proprietário da área em que o experimento foi realizado, Sergio Luis Felipe, que foi de extrema importância para a execução do projeto;

A todos os meus amigos e companheiros do Curso de Pós-Graduação, em especial Dr<sup>a</sup> Paula Mauri, Dr. Sebastião Vinícius Brinati, Marjorie Spadetto, Sara Brinati, Lucas Rosa, Ariany Teixeira e Marlla Hott pelo companheirismo e pelas Gargalhadas;

A todos os demais amigos que sempre me apoiaram e me ajudaram em momentos de necessidade e angústia;

À minha família, que sempre esteve presente e se disponibilizou a me ajudar de todas as formas possíveis;

A todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“Grande é aquele cuja força conquista mais corações pela atração do próprio coração.”

Extraordinário

## **BIOGRAFIA**

Abel Souza da Fonseca, filho de José Beraldo da Fonseca e Vania Souza da Silva Fonseca, nascido em 27 de setembro de 1989, em Muniz Freire, ES.

Em 2006, formou-se em Técnico em Agropecuária, concomitante ao ensino médio, na Escola Agrotécnica Federal de Alegre, ES.

No ano de 2007, ingressou-se no curso de Agronomia na Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, onde foi bolsista de Iniciação Científica e Monitor, obtendo o Título de Agrônomo em 2012.

Em fevereiro de 2014 concluiu o Mestrado no Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo.

Em março de 2014, ingressou no Doutorado no mesmo programa, submetendo-se à defesa em abril de 2018.



## LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I.....	25
Geostatística na análise espacial do estado nutricional do cafeeiro utilizando o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e o desvio percentual do ótimo (DOP) .....	25
Tabela 1. Nível crítico (NC) de nutrientes para interpretação da análise foliar na cultura do cafeeiro conilon.....	30
Tabela 2. Faixas de suficiência (FS) de nutrientes para interpretação de análise foliar na cultura do cafeeiro conilon.....	31
Tabela 3. Faixa ideal para os índices DOP de cada nutriente. ....	32
Tabela 4. Estatística descritiva dos macro e micronutrientes foliares do cafeeiro conilon nas safras de 2015/16 <sup>(1)</sup> e 2016/17 <sup>(2)</sup> .....	34
Tabela 5. Frequência (%) das concentrações das 80 amostras conforme a faixa de suficiência (FS), para macros e micronutrientes em plantas do cafeeiro conilon.....	38
Tabela 6. Valores médios dos índices DOP e Dris na lavoura.....	40
Tabela 7. Ordem de limitação por deficiência dos nutrientes segundo cada Índice.....	40
Tabela 8. Correlação significativa pelo método de Spearman dos índices DOP e DRIS com o IBN e a Produtividade. ....	42
Tabela 9. Frequência de índices de nutrientes em que as ordens de limitação se apresentaram com índices mais negativos (+N) e mais positivos (+P), nos 80 pontos amostrados, considerando os métodos DRIS e DOP. ....	43
Tabela 10. Valores de correlação de Spearman entre o teor dos nutrientes e seu respectivo índice no método DRIS.....	44
Tabela 11. Estatística descritiva do IBN, $\Sigma$ DOP e da produtividade (sc beneficiada de 60 kg ha <sup>-1</sup> ) do café conilon beneficiado.....	45
Tabela 12. Parâmetros e modelo dos semivariogramas escalonados ajustados para os valores de IBN, $\Sigma$ DOP e Produtividade do cafeeiro (Prod).....	47
CAPÍTULO II .....	59
Correlação canônica entre atributos de solo e nutrientes foliares de cafeeiros conilon .....	59
Tabela 1. Estatística descritiva dos macros e micronutrientes foliares da lavoura cafeeira.....	64
Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos de solo da lavoura cafeeira.....	65
Tabela 3. Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) entre os atributos de solo e os nutrientes no tecido foliar para a safra 1. ....	66
Tabela 4. Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) entre os atributos de solo e os nutrientes no tecido foliar para a safra 2. ....	67
Tabela 5. Correlação canônica e teste de significância para as funções canônicas.....	68
Tabela 6. Pesos, cargas canônicas e cargas canônicas cruzadas para as funções canônicas nas duas safras. ....	70

Tabela 7. Variância compartilhada explicada e índice de redundância para as funções canônicas nas duas safras. ....	73
CAPITULO III.....	80
Análise espacial de variáveis biométricas, rendimento e produtividade do cafeeiro conilon .....	80
Tabela 1. Análise descritiva das variáveis biométricas do cafeeiro conilon e das produtividades, índice de quebra e % de casca em duas safras consecutivas.....	87
Tabela 2. Distribuição de frequência das variáveis biométricas do cafeeiro conilon em duas safras consecutivas. ....	89
Tabela 3. Correlações significativas de Pearson (r) (valor- $p \leq 0,05$ ) entre as variáveis em estudo para safra 1 (2015/16) .....	90
Tabela 4. Correlação de Pearson (r) (valor- $p \leq 0,05$ ) entre as variáveis em estudo para safra 2 (2016/17).....	91
Tabela 5. Modelo de regressão para a produtividade e massa de café beneficiado em função da massa úmida para as duas safras estudadas. ....	92
Tabela 6. Modelo de regressão múltipla passo a passo entre a produtividade e as variáveis biométricas para as duas safras estudadas .....	92
Tabela 7. Modelos e parâmetros dos semivariogramas escalonados simples e cruzados .....	93
CAPÍTULO IV.....	105
Tabela 1. Classificação da qualidade da bebida para <i>C. canephora</i> .....	110
Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos da análise sensorial e nota global da bebida do café conilon na safra 1 e 2 .....	111
Tabela 3. Modelos e parâmetros dos semivariogramas escalonados para a bebida do café conilon, em duas safras .....	115

## LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I.....	25
Geoestatística na análise espacial do estado nutricional do cafeeiro utilizando o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e o desvio percentual do ótimo (DOP) .....	25
Figura 1. Modelo de elevação da área em estudo.....	28
Figura 2. Precipitação e Temperaturas máximas e mínimas estimadas no período de setembro de 2015 a agosto de 2017.....	28
Figura 3. Valores médios dos macronutrientes (dag kg <sup>-1</sup> ) e o nível crítico adotado para cafeeiro conilon (dag kg <sup>-1</sup> ) nas safras de 2016 (ano 1) e 2016/17 (ano 2). .....	36
Figura 4. Valores médios dos micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> ) no tecido foliar e o nível crítico (NC) adotado para cafeeiro conilon (dag kg <sup>-1</sup> ) nas safras de 2015/16 (ano 1) e 2016/17 (ano 2).....	36
Figura 5. semivariogramas escalonados da Prod, do IBN DRIS e $\Sigma$ DOP da safra 2015/16.....	47
Figura 6. semivariogramas escalonados da Prod, do IBN DRIS e $\Sigma$ DOP da safra 2016/17. ....	47
Figura 7. Distribuição espacial da produtividade (sc de 60kg ha <sup>-1</sup> ) de café conilon beneficiado 2015/16.....	49
Figura 8. Distribuição espacial da produtividade (sc ha <sup>-1</sup> ) de café conilon beneficiado 2016/17.....	49
Figura 9. Distribuição espacial do IBN 2015/16.....	50
Figura 10. Distribuição espacial do IBN 2016/17 (safra 2). ....	50
Figura 11. Distribuição espacial do $\Sigma$ DOP 2015/16 (Safra 1).....	51
Figura 12. Distribuição espacial do $\Sigma$ DOP 2016/17 (Safra 2).....	51
CAPÍTULO II .....	59
Correlação canônica entre atributos de solo e nutrientes foliares de cafeeiros conilon .....	59
CAPITULO III.....	80
Análise espacial de variáveis biométricas, rendimento e produtividade do cafeeiro conilon .....	80
Figura 1. Mapas da distribuição espacial da massa de frutos (kg) por ponto nas duas safras de cafeeiro conilon.....	95
Figura 2. Mapas da distribuição espacial do índice de quebra (relação) e do percentual de casca nas duas safras de cafeeiro conilon.....	96
Figura 3. Mapas da distribuição espacial média do número de frutos por ponto nas duas safras de cafeeiro conilon.....	96
Figura 4. Mapas da distribuição espacial das variáveis biométricas nas duas safras de cafeeiro conilon.....	98
Figura 5. Mapas de distribuição espacial da Prod1 e Prod2 estimados por krigagem ordinária, e mapas da produtividade estimada por RP e RO utilizando cokrigagem. ....	99
Figura 6. Mapas de distribuição espacial da Prod1 e Prod2 (sc ha <sup>-1</sup> ) estimados por krigagem ordinária, e mapas da produtividade estimada por ROS/RP12 e FRU/ROS12 utilizando cokrigagem.....	100
CAPÍTULO IV.....	105
Logica fuzzy na distribuição espacial e temporal na qualidade da bebida em lavoura de café conilon.....	105

Figura 1. Valores médios dos atributos da análise sensorial e nota global (NG) da bebida do café conilon, em duas safras. ....	112
Figura 2. Mapas da distribuição espacial do grau de pertinência (GP) para a bebida do cafeeiro conilon, nas safras de 2015/2016 (a) e 2016/2017 (b). ....	116
Figura 3. Mapa da correlação espacial dos graus de pertinência (GP) para a bebida do café conilon nas safras 1 e 2 (2015/2016 e 2016/2017). ....	117

## SUMÁRIO

RESUMO .....	15
ABSTRACT .....	17
INTRODUÇÃO GERAL .....	19
REFERÊNCIAS .....	23
CAPÍTULO I.....	25
Geostatística na análise espacial do estado nutricional do cafeeiro utilizando o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e o desvio percentual do ótimo (DOP) .....	25
RESUMO .....	25
ABSTRACT .....	25
1. INTRODUÇÃO .....	26
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3. RESULTADO E DISCUSSÃO .....	34
4. CONCLUSÃO .....	51
5. REFERÊNCIAS .....	53
CAPÍTULO II .....	59
Correlação canônica entre atributos de solo e nutrientes foliares de cafeeiros conilon .....	59
RESUMO .....	59
ABSTRACT .....	59
1. INTRODUÇÃO .....	60
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	61
3. RESULTADOS E DISCUSSAO .....	63
4. CONCLUSÃO .....	75
5. REFERÊNCIAS .....	76
CAPITULO III.....	80
Análise espacial de variáveis biométricas, rendimento e produtividade do cafeeiro conilon .....	80
RESUMO .....	80
ABSTRACT .....	80
1. INTRODUÇÃO .....	81
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	82
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	86
4. CONCLUSÃO .....	101
5. REFERÊNCIAS .....	102
CAPÍTULO IV.....	105

Logica fuzzy na distribuição espacial e temporal na qualidade da bebida em lavoura de café conilon	105
RESUMO .....	105
ABSTRACT .....	105
1. INTRODUÇÃO .....	106
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	107
3. RESULTADOS E DISCUSSAO .....	111
4. CONCLUSÃO .....	117
5. REFERÊNCIAS .....	118

## RESUMO

O Brasil é responsável por cerca de um terço da produção mundial de café, o que o torna o maior produtor e exportador do produto. As localidades onde se cultivam o café têm grande diversidade de características edafoclimáticas, permitindo o cultivo de diversos genótipos com diferentes qualidades de bebida. Essa característica de produção coloca o país em uma condição confiável para atender as diversas demandas dos compradores nacionais e internacionais. Dentre os fatores que influenciam o crescimento, o desenvolvimento e a composição química dos frutos do cafeeiro, têm-se: água, luz, temperatura, genótipo, manejo cultural e nutrição mineral, tidos como necessários para maximizar a produtividade do cafeeiro de maneira sustentável. O objetivo do estudo foi estudar a variabilidade espacial do estado nutricional, produtividade e análise sensorial de bebida do cafeeiro conilon, com auxílio dos métodos DRIS e DOP e utilizando a geoestatística e a lógica *fuzzy*, bem como avaliar a relação entre os nutrientes no tecido foliar e os atributos químicos do solo utilizando a correlação canônica. O trabalho foi desenvolvido no município de Cachoeiro de Itapemirim, na comunidade Boa Vista, Distrito de São Vicente (20°37'31'' de latitude S e 41°05'22'' de longitude W) e altitude média de 520,0 m. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (1928), a região possui categorização Cwa. O solo da área foi classificado como Cambissolo, de textura argilo-arenosa. A espécie vegetal utilizada foi a *Coffea canephora* Pierre, de propagação por sementes no espaçamento de 1,5m x 1,5m (4.444 plantas ha<sup>-1</sup>). As temperaturas, máxima e mínima, na safra 2015/16 foram de 33,23°C e 15,8°C, respectivamente, com uma precipitação pluvial anual acumulada de 820 mm. Na safra 2016/17 a temperatura máxima foi de 32,71°C e mínima de 14,72°C, com uma precipitação anual acumulada de 1167 mm. Na área experimental foram utilizados 80 pontos amostrais que constituíram a grade irregular, identificados com marcadores de metal, sendo o levantamento topográfico realizado por meio de uma estação total, com área útil de cada ponto amostral de 6,75 m<sup>2</sup>. A colheita dos frutos foi não seletiva com derriça manual em peneira nas safras 2015/16 e 2016/17. Os resultados do estudo mostraram que a lavoura apresenta desequilíbrio nutricional pela variação da deficiência e excesso de nutrientes. Os métodos DRIS e DOP apresentaram diferença significativa quando comparou a frequência em que os índices de nutrientes se apresentaram como mais negativos ou mais positivos na safra 2015/16. As metodologias DRIS e DOP complementam a avaliação pela faixa de suficiência por permitir o cálculo do  $\Sigma$ DOP e IBN. Esses índices de balanço nutricional são usados para comparar o estado nutricional de diferentes lavouras. Os índices avaliados apresentaram variabilidade

espacial da área de estudo. Na análise canônica, houve relação direta entre a concentração de potássio no tecido foliar com o potássio no solo nas duas safras. Sendo que outros atributos de solo, como Matéria Orgânica, Ferro, Manganês e Enxofre também influenciaram nessa relação, mostrando que os atributos de solo no grupo independente interagem em conjunto sobre os nutrientes no tecido foliar. Os resultados obtidos demonstram a possibilidade de utilização da correlação canônica para realizar inferências a respeito da interação entre nutrientes no tecido foliar e atributos de solo em *Coffea canephora*. A produtividade do cafeeiro, massa de grãos, variáveis de rendimento e variáveis biométricas apresentaram dependência espacial nas duas safras estudadas, com ajuste de semivariograma aos modelos esférico e exponencial. A estimativa da produtividade utilizando variáveis biométricas apresenta similaridade com a cokrigagem, indicando que as covariáveis são eficientes na estimativa da produtividade. As médias da nota global para a bebida de café conilon de propagação seminal encontram-se no intervalo classificado como “café muito bom” (CMB), nas duas safras. Não houve variação temporal entre as médias das notas globais e atributos da análise sensorial que caracterizam a qualidade da bebida do café conilon, nas duas safras estudadas. Com a aplicação da classificação fuzzy observou-se variabilidade espacial para a nota global da bebida na área nas duas safras, o que não ocorreu quando se utilizou os valores observados na análise sensorial.

**Palavras chave:** DRIS; Balanceamento nutricional; Rendimento; Análise sensorial; Correlação Canônica; Lógica Fuzzy.



## ABSTRACT

Brazil accounts for about one third of the world coffee production, making it the largest producer and exporter of coffee. The localities where coffee is grown have a great diversity of edaphoclimatic characteristics, allowing the cultivation of several genotypes with different qualities of drink. This characteristic of production places the country in a reliable condition to meet the diverse demands of domestic and international buyers. Among the factors that influence the growth, development and chemical composition of the fruits of coffee, we have: water, light, temperature, genotype, cultural management and mineral nutrition, considered as necessary to maximize coffee productivity in a sustainable way. The objective of the study was to study the spatial variability of nutritional status, productivity and sensory analysis of coffee conilon beverage, using DRIS and DOP methods and using geostatistics and fuzzy logic, as well as to evaluate the relationship between nutrients in leaf tissue and soil chemical attributes using canonical correlation. The work was carried out in the municipality of Cachoeiro de Itapemirim, in the Boa Vista community, São Vicente district (20°37'31 " S latitude and 41°05'22 " W longitude) and average altitude of 520.0 m. According to the climatic classification of Köppen-Geiger (1928), the region has Cwa categorization. The soil of the area was classified as Cambisol, of clay-sandy texture. The plant species used was *Coffea canephora* Pierre, propagated by seeds at a spacing of 1,5m x 1,5m (4,444 plants ha<sup>-1</sup>). The maximum and minimum temperatures in the 2015/16 crop were 33.23 ° C and 15.8 ° C, respectively, with a cumulative annual rainfall of 820 mm. In the 2016/17 harvest, the maximum temperature was 32.71 ° C and minimum 14.72 ° C, with an accumulated annual precipitation of 1167 mm. In the experimental area were used 80 sampling points that constituted the irregular grid, identified with metal markers, and the topographic survey was carried out by means of a total station, with a useful area of each sampling point of 6.75 m<sup>2</sup>. Fruit harvest was non-selective with manual sifting in the 2015/16 and 2016/17 seasons. The results of the study showed that the crop presents nutritional imbalance due to the variation of deficiency and excess of nutrients. The DRIS and DOP methods presented a significant difference when we compared the frequency in which nutrient indices were more negative or more positive in the 2015/16 crop. The DRIS and DOP methodologies complement the evaluation by the sufficiency range by allowing the calculation of  $\Sigma$ DOP and IBN. These nutrient balance indices are used to compare the nutritional status of different crops. The indices evaluated presented spatial variability of the study area. In the canonical analysis, there was a direct relationship between the potassium concentration in the leaf tissue and the

potassium in the soil in the two harvests. Other soil attributes, such as Organic Matter, Iron, Manganese and Sulfur, also influenced this relationship, showing that the soil attributes in the independent group interact together on the nutrients in the leaf tissue. The results obtained demonstrate the possibility of using the canonical correlation to make inferences regarding the interaction between nutrients in the leaf tissue and soil attributes in *Coffea canephora*. Coffee productivity, grain mass, yield variables and biometric variables showed spatial dependence in the two harvests studied, with semivariogram adjustment to spherical and exponential models. The estimation of the productivity using biometric variables presents similarity with the cokrigagem, indicating that the covariates are efficient in the estimate of the productivity. The averages of the global note for the seminal propagation conilon coffee drink are in the range classified as "very good coffee" (CMB) in the two harvests. There was no temporal variation between the mean of the global grades and attributes of the sensorial analysis that characterize the quality of the conilon coffee beverage, in the two harvests studied. With the application of the fuzzy classification, spatial variability was observed for the overall note of the beverage in the area in the two harvests, which did not occur when the values observed in the sensorial analysis were used.

**Keywords:** DRIS; Nutritional balance; Yield; Sensory analysis; Canonical Correlation; Fuzzy logic.

## INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor e exportador de café, este fato ocorre em virtude das condições edafoclimáticas favorecerem a prática da cafeicultura. Uma das exigências de mercado é a produção de café com potencial para a bebida, o que vem transformando a cadeia produtiva deste produto, com pesquisas sendo realizadas em várias regiões do país. Essa característica de produção coloca o país em uma condição confiável para atender as diversas demandas dos compradores internacionais.

A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do estado do Espírito Santo, tendo grande importância econômica e social. O estado do Espírito Santo é o maior produtor de café conilon do Brasil, sendo responsável por 75% a 78% da produção nacional e cerca de 20% da produção mundial (INCAPER, 2017) e é a principal fonte de renda em 80% das propriedades rurais localizadas em terras quentes, sendo responsável por 35% do PIB agrícola capixaba.

Dentre os fatores que influenciam o crescimento, o desenvolvimento e a composição química dos frutos do cafeeiro, têm-se: água, luz, temperatura, genótipo, manejo cultural e nutrição mineral, tidos como necessários para maximizar a produtividade do cafeeiro de maneira sustentável.

A nutrição mineral do cafeeiro vem sendo abordada com prioridade em uma visão inovadora do equilíbrio nutricional, levando em conta os mecanismos de absorção dos nutrientes e das suas funções no metabolismo das plantas (AMARAL et al., 2012).

O cafeeiro conilon é uma espécie que apresenta elevado potencial produtivo, alta exigência nutricional e acumula grande quantidade de nutriente em seus órgãos, sobretudo nos frutos (PARTELLI et al., 2014a). A quantidade de nutriente exportada com a colheita é muito maior no cafeeiro conilon em relação ao cafeeiro arábica (MARTINS e PREZOTTI, 2009).

Devido à grande importância econômica e social da cafeicultura para o país e para o estado do Espírito Santo, o estudo da nutrição mineral dessa cultura tem sido de grande relevância. O estado nutricional influencia na produtividade da lavoura, e conhecer a concentração dos nutrientes nos tecidos vegetais é uma das formas de recomendar os fertilizantes necessários para a correção dos nutrientes em deficiência na cultura. Reis Junior et al. (2002) argumentam que a identificação dos nutrientes limitantes tem sido cada vez mais apoiada para o diagnóstico nutricional das plantas por meio do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS), como proposto por Beaufils (1973).

O DRIS utiliza a relação entre os nutrientes presentes nos tecidos foliares, comparando essas relações com uma população referência de elevado rendimento, para

diagnosticar a deficiência e o excesso de nutrientes na planta. Sua metodologia diferencia dos métodos mais usuais por considerar a inter-relação entre os nutrientes. O sistema permite identificar os desequilíbrios nutricionais, a fim de aumentar o rendimento das culturas por meio de uma utilização mais eficiente do aporte de nutrientes indicados pelo diagnóstico (REIS JUNIOR e MONNERAT, 2003).

As aplicações de fertilizantes, com base na deficiência de plantas específicas recomendadas pelo DRIS, podem ser otimizadas utilizando conceitos da agricultura de precisão. As informações sobre a distribuição espacial de nutrientes no campo e as melhores práticas de gestão resultam em um aumento significativo da rentabilidade para os produtores de café (SILVA, LIMA e QUEIROZ, 2011).

Tão importante quanto entender o estado nutricional da planta é saber sua relação com atributos de solo. O cafeeiro tem como característica uma grande exportação de nutrientes do solo, necessitando de adequada aplicação de corretivos e fertilizantes para alcançar alta produtividade (FARNEZI, SILVA e GUIMARÃES, 2009). Estudos confirmaram que as análises dos sistemas de fertilização do café devem envolver informações conjuntas do solo e do estado nutricional das plantas (FARNEZI et al., 2010; SILVA e LIMA, 2012).

Uma ferramenta que permite estudar a interação entre grupos de variáveis e um dos métodos de análise multivariada é a correlação canônica. Esta correlação prevê múltiplas variáveis dependentes a partir de múltiplas variáveis independentes simultaneamente (HAIR JUNIOR et al., 2009) e tem capacidade de avaliar relações lineares entre os nutrientes, bem como a relação entre os grupos de variáveis escolhidas.

A avaliação do estado nutricional é importante e reflete na produtividade da lavoura. Estudos complementares sobre a produtividade são importantes para compreender a mesma e para auxiliar o produtor na tomada de decisão. Oliveira (2007) afirma que bons resultados para entender a produtividade passam pelo entendimento da distribuição espacial do número de ramos produtivos. Além dos ramos produtivos têm outras variáveis relacionadas com a produtividade que podem auxiliar o produtor a estimar sua produtividade, a saber: ramos ortotrópicos, número de rosetas, frutos por rosetas entre outras.

Em muitas pesquisas sobre análise de dependência espacial, tem-se utilizado o método da cokrigagem, que descreve as variações espacial e/ou temporal simultaneamente de duas variáveis aleatórias que têm forte associação entre si (SILVA et al., 2010). Bottega et al. (2011) estimaram por cokrigagem os teores de Cálcio e Magnésio, utilizando, como covariável, o pH do solo, o que se mostrou eficiente nas estimativas. Lima et al. (2016)

estimaram a produtividade de uma lavoura de café conilon em três safras consecutivas considerando o número de ramos ortotrópicos por planta e conseguiram bons resultados com o método da cokrigagem.

Além da produtividade, a qualidade do café vem se tornando uma exigência cada vez maior. O café é considerado uma das commodities mais comercializadas no mundo e a principal demanda desse produto são os grãos crus para o preparo de sua bebida. A atribuição da qualidade do grão de café se dá pela expressão agradável e acentuada da bebida, por meio das características sensoriais de aroma, sabor, acidez, doçura, entre outros.

Recentemente, no ano de 2010, a International Coffee Organization (ICO) publicou o primeiro protocolo para a degustação de bebida de café da espécie *Coffea canephora*. Desde então, os grãos dessa espécie despertaram a possibilidade de identificar e registrar a possível diversidade da qualidade das características sensoriais da bebida de grãos produzidos em diferentes ambientes e provindos de diferentes genótipos e processos (EQUIPE CONILON BRASIL, 2011a, 2011b).

A lógica fuzzy é um referencial teórico que é utilizado principalmente de duas formas: uma é representar a extensão da lógica clássica para uma mais flexível, com objetivo de formalizar conceitos imprecisos, e outra é onde se aplicam conjuntos fuzzy, a diversas teorias e tecnologias para processar informações imprecisas, por exemplo, em processos de tomada de decisão (KLIR e YUAN, 1995).

A metodologia fuzzy pode ser utilizada na interpretação das notas globais (NG) da bebida do café conilon obtidas na análise sensorial (“prova de xícara”), definindo o grau de pertinência (GP) dos valores observados, uma vez conhecendo os limites inferiores e superiores de classes para a classificação das notas para a bebida e, posteriormente, avaliar a variabilidade espacial em uma escala padronizada.

As hipóteses consideradas nesta pesquisa foram: os índices DRIS e DOP (*Deviation from Optimum Percentage*) estimam o estado nutricional e apresentam variabilidade espacial na lavoura do cafeeiro conilon; dados biométricos da planta do cafeeiro podem ser utilizados para estimar a produtividade; a análise de correlação canônica capta as interações entre os nutrientes do tecido foliar e os nutrientes químicos do solo; e a classificação fuzzy aplicada às notas globais (NG) da bebida na “prova de xícara” apresenta variabilidade espacial na área cultivada com cafeeiro conilon de propagação por sementes (seminal).

Com intuito de contribuir para pesquisa, transmitir conhecimentos aos produtores e incentivar a adoção de práticas culturais que incrementem a produtividade e a qualidade dos

grãos da espécie *Coffea canephora* (café conilon), objetivou-se com este trabalho estudar o estado nutricional, utilizando os métodos DRIS e DOP, a produtividade e a análise sensorial da bebida (nota global=NG) nas safras de 2015/16 e 2016/17, aplicar a classificação fuzzy nas NG e utilizar as ferramentas da geoestatística para quantificar a variabilidade espacial das variáveis em estudo. Também, avaliar a relação entre os nutrientes no tecido foliar e os atributos químicos do solo utilizando a correlação canônica.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, JD. F. T.; NOGUEIRA, N. O.; TOMAZ, M. A.; SCHMILDT, E. R.; WERNER, E. T. Interpretação da análise foliar dos cafeeiros arabica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). In: PRATISSOLI, D. et al. (Eds.). **Tópicos especiais em produção vegetal III**. Alegre: CAUFES, 2012. p. 519–542.
- BEAUFILS, E. R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. **Soil Science Bulletin**, Pietermaritzburg, v. 1, n. 1, p. 1-132, 1973.
- BOTTEGA, E. L.; SILVA, A. S, COSTA M. M.; BOTTEGA, S. P. Cokrigagem na estimativa dos teores de Ca e Mg em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Ciência Agronômica**, 42:821-828, 2011.
- EQUIPE CONILON BRASIL. Instituto de Qualidade do Café dos Estados Unidos firma parceria com a Conilon Brasil. Vitória, ES: Revista Conilon Brasil. p. 10–15. . 2011b.
- EQUIPE CONILON BRASIL. Robusto e fino: Os robusto ganham cada vez mais espaço no mercado de cafés especiais. **Revista Conilon Brasil**, 2011a.
- FARNEZI, M. M. de M.; SILVA, E. de B.; GUIMARÃES, P. T. C. Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): normas DRIS e faixas críticas de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 969- 978, 2009.
- FARNEZI, M. M. M.; SILVA, E. B.; GUIMARAES, P. T. E.; PINTO, N. Levantamento da qualidade da bebida do café e avaliação do estado nutricional dos cafeeiros do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, através do DRIS. **Ciencia Agrotecnica**, v.34, p.1191-1198, 2010.
- HAIR JUNIOR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.
- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA ASSISTENCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER - **Cafeicultura - Café Conilon**. 2017. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>>
- KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1995, 324 p.
- LIMA, J. S. S; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B.; FONSECA, A. S. Estimativa da produtividade de café conilon utilizando técnicas de cokrigagem. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, p. 54–61, 2016.
- MARTINS, A. G.; PREZOTTI, L. C. Fertilização do Café Conilon. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias para produção do café conilon**. UFV ed. Viçosa: [s.n.]. p. 249–293.
- OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.
- PARTELLI, F. L. ESPINDULA, M. C.; MARRÉ, W. B.; VIEIRA, H. D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 214–222, 2014.

REIS JUNIOR, R. dos A.; MONNERAT, P. H. Norms establishment of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for nutritional diagnosis of sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 277-282, 2003.

REIS JUNIOR, R.A.; CORRÊA, J.B.; CARVALHO, J.G.; GUIMARÃES, P.T.G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: Normas DRIS e teores foliares adequados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 26, p. 801-808, 2002

SILVA, S. A. LIMA, J. S. S. Análise multivariada e geoestatística da fertilidade de um Latossolo Vermelho Hérico sob cultivo de café. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.36, p. 467-474, 2012.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S., OLIVEIRA, R. B.; SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agrônômica**, 41:1-8, 2010.

SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. de S.; QUEIROZ, D. M. de. Spatial variability in nutritional status of arabic coffee based on dris index. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 256-261, 2011.



## CAPÍTULO I

### **Geoestatística na análise espacial do estado nutricional do cafeeiro utilizando o sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) e o desvio percentual do ótimo (DOP)**

**RESUMO:** A sustentabilidade, novas tecnologias e a qualidade do café produzido devem ser consideradas na evolução dos estudos referentes ao estado nutricional do cafeeiro conilon. Neste trabalho objetivou-se comparar os métodos DRIS e DOP para avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon, bem como identificar a estrutura de dependência espacial do índice de balanço nutricional para DRIS (IBN) e para o DOP ( $\Sigma$ DOP) e suas correlações com a produtividade da lavoura, auxiliando na interpretação do estado nutricional e no manejo da lavoura. Comprovada a dependência espacial pelos ajustes dos semivariogramas fez-se os mapas por krigagem ordinária. O trabalho foi desenvolvido em uma lavoura comercial no Distrito de São Vicente, Cachoeiro de Itapemirim-ES, nas coordenadas centrais: 20°37'31''S e 41°05'22''O e na altitude média de 520,0 m. Na lavoura construiu-se uma malha amostral irregular, totalizando 80 pontos georreferenciados, nas safras de 2015/16 e 2016/17. Cada ponto foi composto por três plantas de café conilon seminal, no espaçamento 1,50 x 1,50. Na análise dos tecidos foliares foram avaliadas as concentrações dos macros e micronutrientes em cada ponto amostral. Com base nos resultados avaliados, a lavoura apresenta desequilíbrio nutricional mostrado pela variação da deficiência e excesso de nutrientes. Houve diferenças entre os nutrientes em excesso e déficit de acordo com o método utilizado para a interpretação dos resultados da análise do tecido foliar. Os métodos DRIS e DOP apresentaram diferenças significativas quando se observa a frequência em que os índices dos nutrientes apresentaram como mais negativos ou mais positivos na safra 2015/16. O IBN e  $\Sigma$ DOP não apresentaram correlação linear e espacial com a produtividade. Na safra 2015/16, O IBN e Produtividade apresentaram dependência espacial com ajuste ao modelo teórico de semivariograma esférico e o  $\Sigma$ DOP ao modelo exponencial, com alcances de 99, 54 e 30m, respectivamente. Na safra 2016/17, o IBN e  $\Sigma$ DOP se ajustaram ao modelo esférico e a Produtividade ao modelo exponencial, com os respectivos alcances: 22, 70 e 38m.

**Palavras-chave:** *Coffea canephora*; Estado nutricional; Índice de Balanceamento Nutricional; Krigagem.

**ABSTRACT:** Sustainability, new technologies and the quality of coffee produced should be considered in the evolution of the studies concerning the nutritional status of conilon coffee. The objective of this study was to compare the DRIS and DOP methods for evaluating the nutritional status of conilon coffee, as well as to identify the spatial dependence structure of the nutritional balance index for DRIS (IBN) and DOP ( $\Sigma$ DOP) and its correlations with the productivity of the crop, helping in the interpretation of the nutritional status and the management of the crop. Once the spatial dependence was determined by the semivariogram adjustments, the maps were made by ordinary kriging. The work was developed in a commercial crop in the District of São Vicente, Cachoeiro de Itapemirim-ES, in the central coordinates: 20°37'31 "S and 41°05'22"O and in the average altitude of 520,0 m. In the crop an irregular sampling mesh was constructed, totaling 80 georeferenced points, in the harvests of 2015/16 and 2016/17. Each point was composed of three seminal conilon coffee plants, at a spacing of 1.50 x 1.50. Macros and micronutrients concentrations were evaluated at each sampling point. Based on the evaluated results, the crop presents nutritional imbalance shown by the variation of deficiency and excess of nutrients. There were differences between excess nutrients and deficits according to the method used for the interpretation of the results of leaf tissue analysis. The DRIS and DOP methods presented significant differences when the frequency of nutrient indexes was observed to be more negative or more positive in the

2015/16 crop. The IBN and  $\Sigma$ DOP did not present linear and spatial correlation with productivity. In the 2015/16 crop, IBN and Productivity presented spatial dependence with adjustment to the theoretical spherical semivariogram model and the  $\Sigma$ DOP to the exponential model, with ranges of 99, 54 and 30m, respectively. In the 2016/17 harvest, the IBN and  $\Sigma$ DOP adjusted to the spherical model and Productivity to the exponential model, with the respective ranges: 22, 70 and 38m.

**Keywords:** *Coffea canephora*; Nutritional status; Nutritional Balance Index; Kriging.

## 1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura tem cada vez mais importância na economia brasileira em função da geração de empregos diretos e indiretos e vem contribuindo para a melhoria da economia do país com o aumento da renda no meio rural. Devido a essa importância, estudos são desenvolvidos no sentido de avaliar os métodos de manejos adotados na condução da cultura e, também, conhecer o seu estado nutricional e suas relações com a produtividade da lavoura. A sustentabilidade na cafeicultura deve ser uma busca constante no sentido de preservar o meio ambiente visando minimizar a aplicação de insumos no setor cafeeiro.

O Estado do Espírito Santo é o maior produtor nacional de café conilon (*Coffea canephora*), o que leva a intensificar a pesquisa sobre essa espécie visando melhorias na sua produtividade e na qualidade do produto final, agregando valor para o produtor rural. Devido a seu alto potencial produtivo, rusticidade e sua exigência nutricional, o cafeeiro conilon vem apresentando acréscimos significativos na sua produtividade, em resposta, entre outras práticas, à aplicação adequada de nutrientes (BRAGANÇA et al., 2007). Portanto, a avaliação e entendimento da nutrição mineral e de métodos para avaliá-la são fundamentais no estudo sobre o estado nutricional da lavoura e sua correlação com a produtividade.

O uso de alguns métodos de manejo, tais como: calagem, análise química do solo e foliar para adubação de produção tem contribuído significativamente para o aumento da produção de café conilon (COVRE et al., 2015; GOMES et al., 2016; PARTELLI et al., 2014). Para Fonseca et al. (2016), a nutrição da planta é uma das áreas que exige grande atenção no ciclo do cafeeiro, onde a diagnose foliar é essencial para entender o estado nutricional da lavoura de interesse.

O sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS – *Diagnosis and Recommendation Integrated System*) utiliza as relações entre as concentrações dos nutrientes, padronizando os valores, em vez de usar o valor absoluto da concentração individual na interpretação do estado nutricional. O DRIS apresenta como vantagem a possibilidade de identificar a ordem de limitação nutricional (BATAGLIA, DECHEN e SANTOS, 1992),

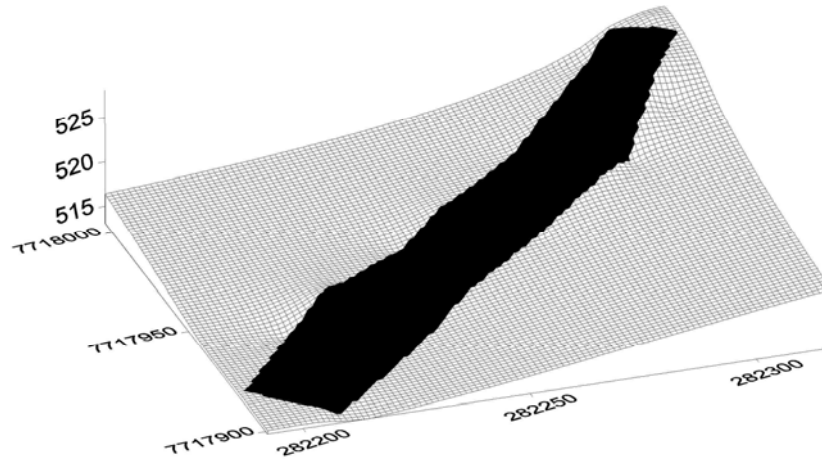
permitindo agrupar os nutrientes desde o mais limitante por deficiência até aquele que está em níveis excessivos de acordo com o Índice de Balanço Nutricional (IBN). A metodologia DRIS vem sendo utilizada para avaliar o estado nutricional de diferentes culturas, tais como: Arroz (GUINDANI, ANGHINONI e NACHTIGALL, 2009); Uva (TEIXEIRA et al., 2015; MENEGHELLI, 2017); Feijão (PARTELLI et al., 2014b); Batata (QUEIROZ et al., 2014); Palma óleo (MATOS, FERNANDES e WADT, 2016); cafeeiro arábica (SILVA et al., 2015; SILVA, LIMA e QUEIROZ, 2011) e cafeeiro conilon (FONSECA, LIMA e SILVA, 2018; FONSECA et al., 2015).

O Desvio Percentual do Ótimo (*Deviation from Optimum Percentage - DOP*) é uma metodologia de interpretação do estado nutricional alternativa ao nível crítico, à faixa de suficiência e ao DRIS e que é pouco utilizada, mesmo tendo potencial na avaliação do estado nutricional do cafeeiro. É um método de análise que quantifica a diferença entre uma concentração de nutrientes e seu valor de referência, conforme literatura, usando uma expressão percentual, classificando os índices de nutrientes individuais de acordo com a ordem de limitação (MONTAÑES et al., 1993), o que permite estabelecer um valor do desequilíbrio na cultura, sendo usado para comparar o estado nutricional entre diferentes lavouras ( $\sum DOP$ ). Existem trabalhos utilizando DOP em culturas como a uva (BENITO et al., 2015; MARTÍN et al., 2016); maçã (ATTAR e JOOLKA, 2015); Pera (MIRABDULBAGHI, 2014), Pêssego (MONGE et al., 1995) e *Tribulus terrestris* (MATHUR e SUNDARAMOORTHY, 2013).

Neste contexto, objetivou-se neste trabalho comparar os métodos DRIS e DOP na avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon de propagação por sementes e avaliar a distribuição espacial e suas correlações com a produtividade da lavoura.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

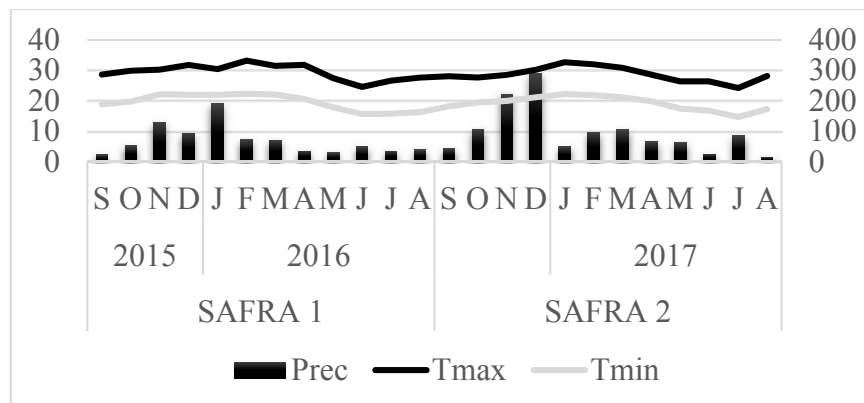
O trabalho foi desenvolvido em uma lavoura comercial do cafeeiro conilon de propagação seminal, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, na comunidade Boa Vista, Distrito de São Vicente (20°37'31'' de latitude S e 41°05'22'' de longitude W) e altitude média de 520,0 m (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Koppen-Geiger (1928), a região possui categorização Cwa. O solo da área foi classificado como Cambissolo, de textura argilo-arenosa com 460 g kg<sup>-1</sup> de argila; 90 g kg<sup>-1</sup> de silte; e 450 g kg<sup>-1</sup> de areia total.



**Figura 1.** Modelo de elevação da área em estudo

A espécie vegetal utilizada foi a *Coffea canephora* Pierre, de propagação seminal, adotando-se o espaçamento de 1,5m x 1,5m (4.444 plantas ha<sup>-1</sup>). A aplicação de corretivos e adubos químicos foi realizada conforme análise química do solo (PREZOTTI et al., 2007) e os tratos culturais e fitossanitários conforme Ferrão et al. (2007).

Os valores de precipitação foram estimados pelo método de interpolação Inverso da Distância Ponderada (IDP), com o grau expoente três, utilizando dados de 17 estações climáticas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) conforme realizado por Drumond Neto (2017). Os dados de temperatura foram obtidos segundo Xavier et al. (2015). As temperaturas, máxima e mínima, na safra 2015/16 (<sup>1</sup>) foram de 33,23°C e 15,8°C, respectivamente, com uma precipitação pluvial anual de 820 mm. Na safra 2016/17 (<sup>2</sup>), a temperatura máxima foi de 32,71°C e mínima de 14,72°C, com uma precipitação acumulada de 1167 mm, conforme Figura 2.



**Figura 2.** Precipitação e Temperaturas máximas e mínimas estimadas no período de setembro de 2015 a agosto de 2017

Na área experimental foram demarcados 80 pontos amostrais que constituíram a grade irregular, identificados com marcadores de metal, sendo o levantamento topográfico realizado por meio de uma estação total, sendo cada ponto amostral com área de 6,75 m<sup>2</sup>.

A análise foliar foi utilizada para caracterização do estado nutricional de cada ponto amostral, sendo que para a obtenção desses dados, retirou-se, no terço médio de cada planta, dois pares de folhas dos ramos laterais (3º e 4º pares contando da ponta para a base do plagiotrópico), nos quatro pontos cardeais (PREZOTTI e BRAGANÇA, 1995; ANDRADE, 2001) no mês de fevereiro de 2016 e 2017.

As folhas coletadas foram acondicionadas em envelope de papel e identificadas, secas em estufa a 65 °C até massa constante, no Laboratório de Hidráulica, Recurso Hídrico da Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharia - LHRG/UFES-CCAEE. Posteriormente, foram encaminhadas para análise em laboratório particular, credenciado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para determinação dos teores dos nutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Cobre (Cu). As análises foram realizadas segundo o Manual de Métodos de Análises apresentado pela Embrapa (2011).

Os dados para cálculo de produtividade da lavoura foram coletados nas safras de 2015/16 e 2016/17. A colheita foi não seletiva e realizada manualmente em peneiras, no mês de julho, sendo ensacados e sua massa determinada para definição da produção do ponto (PP). Da massa de café colhido em cada ponto amostral (PA) retirou-se uma submostra úmida ou “café da roça” (SU), que teve sua massa quantificada em balança digital, sendo que a mesma foi levada para o laboratório da UFES (LHRG/UFES-CCAEE) para determinação da massa seca em estufa. Utilizou-se para secagem das subamostras uma estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 45° C (± 2°C) até umidade constante de 11-12°C (b.u). Em cada subamostra seca (SS) foi determinada sua massa e, na sequência, foi feito o beneficiamento (pilada para retirada da casca e do pergaminho) em um descascador elétrico. Após o beneficiamento determinou-se a massa do café beneficiado (SB) e foi calculada a produtividade do ponto (sc de 60 kg ha<sup>-1</sup>), conforme a equação 1:

$$\text{Prod} = [(10000 * \text{PP} * \text{AP}^{-1}) * (\text{SU}/\text{SB})^{-1}] / 60 \quad (01)$$

em que: Prod: produtividade do ponto (sc de café 60 kg beneficiado ha<sup>-1</sup>); PP: produção no ponto (kg); AP: área do ponto (m<sup>2</sup>); SB: subamostra beneficiada (kg); SU: subamostra úmida (kg).

As análises foliares do cafeeiro foram interpretadas segundo: o critério de nível crítico (NC), de acordo com Costa e Bragança (2000), e faixa de suficiência (FS), considerando os valores adaptados de Bragança, Prezotti e Lani (2007) para cada nutriente em cada amostra na lavoura. Os valores de referência para a interpretação da análise foliar estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

O Cálculo dos índices DRIS baseou-se na fórmula geral proposta por Beaufils (1973), de acordo com Silva, Nogueira e Guimarães (2003), Bataglia et al. (2004), Barbosa et al. (2006), Fonseca et al. (2015), Silva et al. (2015) e Partelli et al. (2016). A população de referência DRIS (norma) foi utilizada de acordo com Partelli et al. (2002), que estabeleceram normas DRIS para o cafeeiro conilon produzido no Município de Vila Valério - ES. O uso dessa população de referência se justifica pela ausência de normas específicas para o cafeeiro conilon na região sul do estado e, como estudado por Wadt e Dias (2012) a utilização de norma DRIS inter-regional não causa aleatoriedade no diagnóstico nutricional.

**Tabela 1.** Nível crítico (NC) de nutrientes para interpretação da análise foliar na cultura do cafeeiro conilon.

Nutrientes	Nível Crítico	
	Macro (dag kg <sup>-1</sup> )	
N	3,00	
P	0,12	
K	2,10	
Ca	1,40	
Mg	0,32	
S	0,24	
Micro (mg kg <sup>-1</sup> )		
Fe	131,00	
Zn	12,00	
Mn	69,00	
B	48,00	
Cu	11,00	

Fonte: Costa e Bragança (2000).

**Tabela 2.** Faixas de suficiência (FS) de nutrientes para interpretação de análise foliar na cultura do cafeeiro conilon.

Nutriente	Classe de Interpretação		
	Baixo	Adequado	Alto
-----dag kg <sup>-1</sup> -----			
N	< 2,9	2,9 - 3,2	> 3,2
P	< 0,12	0,12 - 0,16	> 0,16
K	< 2,0	2,0 - 2,5	> 2,5
Ca	< 1	1,0 - 1,5	> 1,5
Mg	< 0,35	0,35 - 0,40	> 0,40
S	< 0,20	0,20 - 0,25	> 0,25
-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
Fe	< 120	120 – 150	> 150
Zn	< 10	10 – 15	> 15
Mn	< 60	60 -80	> 80
B	< 50	50 – 60	>60
Cu	< 10	10 – 20	>20

Adaptado de Bragança, Prezotti e Lani (2007).

Para a aplicação do índice DRIS foram calculadas as funções das razões entre dois nutrientes DRIS, conforme a equação 2 (JONES, 1981):

$$f(A/B) = (A/B - a/b).k/s \quad (02)$$

em que:  $f(A/B)$  = função da proporção entre os dois nutrientes A e B da amostra a ser diagnosticada;  $A/B$  = valor da relação entre os dois nutrientes nas folhas sob diagnóstico;  $a/b$  = valor da norma (lavoura de referência);  $k$  = uma constante arbitrária (1) e  $s$  = o desvio padrão da proporção da população de referência.

Na sequência foram calculados os índices DRIS seguindo as recomendações de Alvarez e Leite (1992), pela equação 3:

$$\text{Índice A} = \{[f(A/B)+...+f(A/Z)] - [f(B/A)+...+f(Z/A)]\} / (n+m) \quad (03)$$

em que:  $f(A/B)$ ;  $f(A/Z)$  = função normal reduzida da relação direta entre os teores de dois nutrientes A e B até A e Z;  $f(B/A)$ ;  $f(Z/A)$  = função normal reduzida da relação inversa entre os teores de dois nutrientes B e A até Z e A;  $n$  = número de funções onde o nutriente A em análise aparece no numerador (relações diretas) e  $m$  = número de funções onde o nutriente A em análise aparece no denominador (relações inversas).

O DRIS fornece também o índice de balanço nutricional (IBN) ou índice de equilíbrio nutricional (IEN) da cultura, calculado pela equação 4:

$$\text{IBN} = |\text{índices A}| + |\text{índices B}| + \dots + |\text{índices Z}| \quad (04)$$

Esse índice permite verificar se as limitações na produtividade são de ordem nutricional ou não. Quanto menor os valores de IBN mais balanceados os nutrientes na lavoura.

O DOP foi calculado utilizando a equação 5 de acordo com Montañés et al. (1993):

$$\text{DOP} = [(C * 100) / C_{\text{ref}}] - 100 \quad (05)$$

em que: C = concentração dos nutrientes observada em cada amostra foliar; C<sub>ref</sub> = Concentração do nutriente preconizada pela norma. A C<sub>ref</sub> utilizada foi a média entre a concentração do limite mínimo e o máximo da faixa de suficiência (FS) para o cafeeiro.

A faixa ideal para os índices DOP foi calculada usando o limite máximo e mínimo da FS como concentração de referência (Tabela 3).

**Tabela 3.** Faixa ideal para os índices DOP de cada nutriente.

Faixa Ideal para os índices DOP		
Macronutrientes		
N	-4,92	- 4,92
P	-14,29	- 14,29
K	-11,11	- 11,11
Ca	-20,00	- 20,00
Mg	-6,67	- 6,67
S	-11,11	- 11,11
Micronutrientes		
Fe	-11,11	- 11,11
Zn	-20,00	- 20,00
Mn	-14,29	- 14,29
B	-9,09	- 9,09
Cu	-33,33	- 33,33

Com os valores dos índices DOP para cada ponto amostral foi calculado o  $\sum \text{DOP}$ , por meio da soma do módulo dos índices obtidos para cada nutriente, possibilitando verificar se as limitações na produtividade são de ordem nutricional ou não.



Para as variáveis em estudo nas duas safras fez-se a análise descritiva para determinar as medidas de posição e dispersão (média, mediana, valor mínimo, valor máximo e desvio padrão) e os coeficientes de assimetria, de curtose e de variação. A normalidade dos dados foi testada pelo teste Kolmogorov-Smirnov ( $p \leq 0,05$ ). A presença de pontos discrepantes (*outliers*) no conjunto de dados foi verificada utilizando o limite superior ( $LS = (Q3 - Q1) * 1,5 + Q3$ ) e limite inferior ( $Li = Q1 - (Q3 - Q1) * 1,5$ ), em que Q3 é o terceiro quartil e Q1 o primeiro quartil.

A correlação de Spearman ( $p \leq 0,05$ ) foi realizada para analisar a interação dos índices DOP e DRIS com o IBN,  $\Sigma$ DOP e a produtividade da lavoura nas duas safras de estudo (2015/16 e 2016/17).

A frequência em que os índices de nutrientes apresentaram com índices mais negativos (+N) ou mais positivos (+P) observada para cada tipo de diagnóstico foi avaliada por meio do teste de Qui-Quadrado adotando o DRIS como frequência esperada e o DOP como frequência observada, para verificar se os dois métodos diferem ou não entre si.

O grau da dependência espacial foi quantificado para os atributos estudados por meio do ajuste de semivariogramas teóricos, com base no pressuposto de estacionaridade intrínseca (equação 6):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [(Z_1(x_i) - Z_2(x_i + h))^2] \quad (06)$$

em que:  $\gamma(h)$  é a semivariância estimada;  $N(h)$  é o número de pares do atributo estudado; e  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$  são os valores dos atributos medidos na posição  $x_i$  e  $x_i + h$ , separados por um vetor  $h$  (distância entre os pontos amostrais).

Nos ajustes dos semivariogramas experimentais foram testados os modelos teóricos: esférico, exponencial e gaussiano. O modelo foi escolhido pela minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e pelo coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ), resultantes dos ajustes. O escalonamento dos semivariogramas foi realizado com a divisão da semivariância pela variância dos dados de forma a padronizar a escala da semivariância, visando comparar o padrão de distribuição espacial entre os nutrientes foliares. As correlações significativas entre os valores observados e os estimados pela validação cruzada, em cada ponto amostral, foram consideradas na escolha do modelo de ajuste.

O grau de dependência espacial (GDE) foi considerado pela relação  $[C_0 / (C_0 + C)] * 100$  e classificado conforme Cambardella et al. (1994), que consideram a dependência espacial como fraca ( $GDE > 75\%$ ), moderada ( $25\% \leq GDE \leq 75\%$ ) e forte ( $GDE < 25\%$ ). Com a

dependência espacial confirmada confeccionou-se pelo método de interpolação krigagem ordinária os mapas de distribuição espacial para as variáveis estudadas.

### 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 observa-se os dados da análise descritiva dos nutrientes foliares do cafeeiro conilon nas safras de 2015/16 (1) e 2016/17 (2).

**Tabela 4.** Estatística descritiva dos macro e micronutrientes foliares do cafeeiro conilon nas safras de 2015/16(1) e 2016/17(2).

Nutriente	Média	Md	S	Valores		Coeficientes			Teste
				Min	Máx	CV(%)	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>	
N <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	2,95	2,87	0,22	2,59	3,50	7,45	0,52	-0,54	ns
N <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	2,90	2,87	0,27	2,31	3,57	9,44	0,15	-0,17	ns
P <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,17	0,17	0,02	0,13	0,22	11,76	0,32	-0,46	*
P <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,15	0,15	0,02	0,09	0,19	14,29	-0,23	0,26	ns
K <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	1,64	1,67	0,16	1,40	2,00	10,36	0,23	-0,82	*
K <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	1,65	1,63	0,26	1,20	2,54	15,95	1,02	2,14	ns
Ca <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	1,35	1,35	0,18	1,000	1,67	13,33	-0,03	-0,94	ns
Ca <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	1,54	1,53	0,32	0,91	2,23	20,74	0,18	-0,51	ns
Mg <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,37	0,37	0,03	0,30	0,43	8,11	-0,19	-0,74	ns
Mg <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,38	0,39	0,04	0,26	0,47	12,35	-0,57	-0,15	ns
S <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,22	0,22	0,03	0,17	0,30	13,63	0,58	-0,50	ns
S <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,21	0,21	0,02	0,17	0,28	11,82	0,42	-0,04	ns
Fe <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	108,33	108,92	19,07	65,60	149,05	17,61	-0,15	-0,53	ns
Fe <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	149,56	142,5	28,99	110,00	245,00	19,38	0,59	-0,69	ns
Zn <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	7,79	7,52	1,45	5,10	11,35	18,58	0,54	-0,14	ns
Zn <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	14,13	12,53	9,57	8,95	92,50	67,75	-0,52	-0,31	ns
Mn <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	90,17	90,00	32,38	28,20	165,00	35,92	0,30	-0,29	ns
Mn <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	106,43	100,00	45,61	45,00	325,00	42,86	0,26	-0,60	ns
B <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	39,51	39,23	6,15	26,59	54,75	15,56	0,32	-0,52	ns
B <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	67,58	66,76	9,74	37,01	99,23	14,41	0,23	1,57	ns
Cu <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	18,67	17,22	6,40	7,15	35,50	34,26	0,68	0,02	ns
Cu <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	13,35	11,35	10,00	7,05	95,60	74,90	0,61	-0,41	ns

Md: Mediana; S: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; C<sub>s</sub>: Coeficiente de simetria; C<sub>k</sub>: coeficiente de curtose; ns: distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) em 5% de probabilidade; e \* Distribuição não normal.

Adotou-se, para o coeficiente de variação (CV), como referência a escala de classificação proposta por Pimentel-Gomes e Garcia (2002) em: baixo (CV<10%) para o N<sup>1</sup> e N<sup>2</sup> e Mg<sup>1</sup>; médio (10%≤CV<20%) para o P<sup>1,2</sup>, K<sup>1,2</sup>, S<sup>1,2</sup>, Fe<sup>1,2</sup> e B<sup>1,2</sup>, Ca<sup>1</sup>, Zn<sup>1</sup> e Mg<sup>2</sup>; alto (20≤CV<30) para o Ca<sup>2</sup> e muito alto (CV≥30%) para os demais nutrientes (Zn<sup>2</sup>, Mn<sup>1</sup>, Mn<sup>2</sup>, Cu<sup>1</sup> e Cu<sup>2</sup>). Valores de um CV baixo para N e médio para S em folhas do cafeeiro conilon também

foram encontrados por Oliveira (2007) e Fonseca et al. (2015). O coeficiente de variação é uma medida de dispersão empregada para estimar a precisão de experimentos (MOHALLEM et al., 2008) e é uma boa indicação da variabilidade existente em um conjunto de dados (SANTOS et al., 2017).

Considerando os atributos foliares nas duas safras tem-se que 72,7% apresentaram assimetria positiva, com a média maior que a mediana dos dados e com concentração de valores abaixo da média. Com relação à curtose tem-se 81,8% dos dados com achatamento da curva normal caracterizando-a como platicúrtica, ou seja, com concentração de valores distantes do valor central. O  $K^2$  e o  $B^2$  apresentaram distribuição leptocúrtica pronunciada com coeficientes de 2,14 e 1,57, respectivamente, indicando grande concentração de valores em torno das suas médias. No geral, os coeficientes  $C_s$  e  $C_k$  estão próximos de zero, o que caracteriza distribuição simétrica e mesocúrtica dos dados, respectivamente.

Apenas o  $P^1$  e o  $K^1$  (safra 1) apresentaram distribuição não normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) ( $p \leq 0,05$ ) com assimetria à direita (positivo) e distribuição platicúrtica (negativa), apesar da média e mediana apresentarem valores próximos e dos baixos coeficientes  $C_s$  e  $C_k$  encontrados.

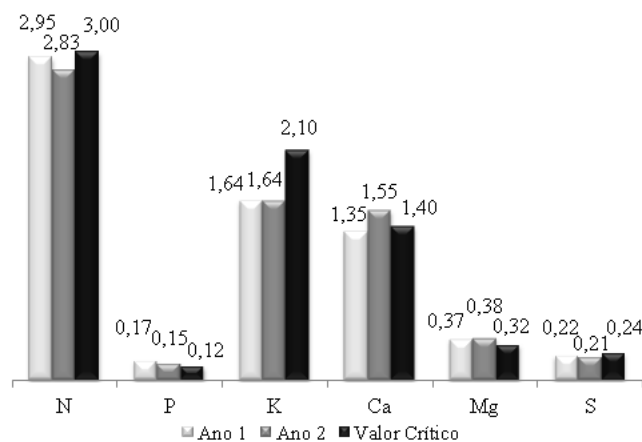
### **3.1. Interpretação da média das concentrações foliares pelo nível crítico (NC)**

Os macronutrientes  $N^1$ ,  $N^2$ ,  $K^1$ ,  $K^2$ ,  $S^1$ ,  $S^2$  e  $Ca^1$  apresentam média inferior ao valor de NC. A avaliação pela média indica que não se faz necessário a aplicação de fertilizantes contendo P ou Mg. A aplicação desses nutrientes fará com que a planta entre em consumo de “luxo” ou que possa, futuramente, apresentar toxidez causada por esses macronutrientes.

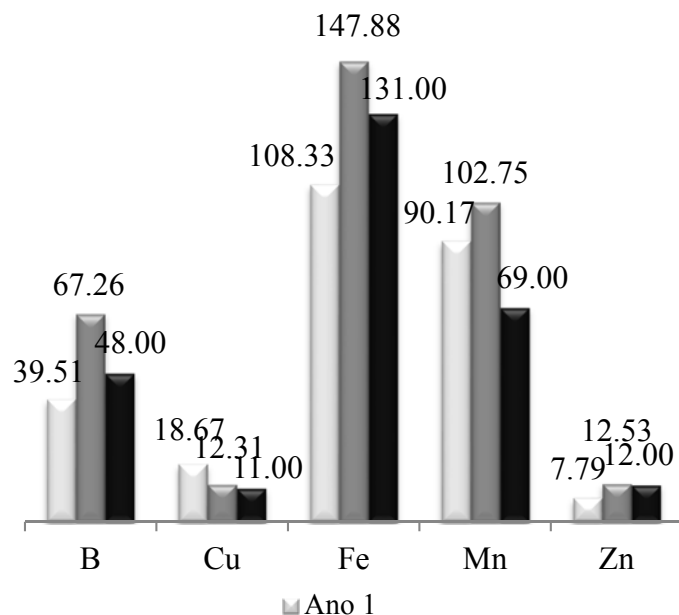
O nitrogênio (N) atua no crescimento da planta, no aumento da vegetação com maiores ramificações, formação de folhas verdes e brilhantes, expansão da área foliar, na formação de botões florais, promovendo ainda maior atividade fotossintética pelo aumento da clorofila e maior produção de carboidratos necessários à frutificação (SANTOS, 2005). Dessa forma, a disponibilidade desse nutriente é de extrema importância para o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, de ramos plagiotrópicos onde se estabelecem as rosetas com os frutos, o que influencia a produção do cafeeiro.

Na Figura 3 observa-se que o Ca fornecido para a planta no ano de 2016 foi suficiente para que seu valor em 2017 estivesse acima do NC, apesar do quantitativo consumido pela planta. Esse aumento na concentração de nutrientes no tecido foliar também ocorreu com o Mg. Para o K, a concentração se manteve constante nos dois anos.

Na Figura 4, verifica-se a situação nutricional em relação aos micronutrientes. Observa-se que os valores médios de B<sup>1</sup>, Fe<sup>1</sup> e Zn<sup>1</sup> estão abaixo do NC proposto. Para Tomaz et al. (2009), teores inadequados de micronutrientes têm efeito direto sobre o desenvolvimento da cultura e, também, reduzem a eficiência de uso dos fertilizantes contendo macronutrientes. Os valores médios de Cu<sup>12</sup> (safras 1 e 2) e Mn<sup>12</sup> se encontram acima do NC estabelecido. Em consequência da aplicação de fertilizantes realizada na lavoura após a colheita de 2016, tem-se que no ano de 2017 as concentrações desses micronutrientes estão acima do NC proposto. A concentração de Mn também foi maior no segundo ano de experimento, porém esse nutriente já estava em concentração superior ao NC em 2016.



**Figura 3.** Valores médios dos macronutrientes (dag kg<sup>-1</sup>) e o nível crítico adotado para cafeeiro conilon (dag kg<sup>-1</sup>) nas safras de 2016 (ano 1) e 2016/17 (ano 2).



**Figura 4.** Valores médios dos micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>) no tecido foliar e o nível crítico (NC) adotado para cafeeiro conilon (dag kg<sup>-1</sup>) nas safras de 2015/16 (ano 1) e 2016/17 (ano 2).

### **3.2. Interpretação da média das concentrações foliares segundo a faixa de suficiência (FS)**

Avaliando a média dos dados pela faixa de suficiência (FS), dentre os macronutrientes, apenas o  $K^{12}$  se encontra em deficiência de acordo com a faixa proposta por Bragança, Prezotti e Lani, (2007). O Potássio (K) é o segundo nutriente mais absorvido pelo cafeeiro e sua concentração se encontra aproximadamente 18% abaixo do ideal (2,0-2,5 dag  $kg^{-1}$ ). Esse nutriente apresenta importância nas atividades de fotossíntese, respiração e circulação de seiva na planta, com efeito na formação de amido nas folhas e contribuição na fase de granação dos frutos, se translocando com facilidade das folhas adjacentes para os frutos (SANTOS, 2005).

Avaliando os micronutrientes  $Fe^1$ ,  $Zn^1$  e  $B^1$  verifica-se que estão em déficit na lavoura. Já os que se encontram em concentração alta são:  $P^1$ ,  $Ca^2$ ,  $Mn^1$ ,  $Mn^2$  e  $B^2$ .

Quando usa a faixa de suficiência (FS) as concentrações do  $N^1$  e  $N^2$ ,  $Ca^1$ ,  $S^1$  e  $S^2$  encontraram dentro do ideal para a lavoura cafeeira. Isso porque a FS é mais flexível para a diagnose, o que é uma vantagem. Isso faz com que a mesma seja mais utilizada para avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon. Este fato se dá por se trabalhar com o limite inferior e superior, facilitando que o valor encontrado na análise foliar esteja compreendido entre os limites, com maior amplitude. Já o NC é um valor fixo definido, o que dificulta encontrar, na análise, resultado exato para cada nutriente foliar, sendo corriqueiro encontrar ou acima ou abaixo deste. E, diante disso, utilizou-se a FS na interpretação do conjunto de amostras (80 pontos) da lavoura em estudo.

### **3.3. Interpretação do conjunto de amostras pela faixa de suficiência (FS)**

Conforme a interpretação da análise foliar do cafeeiro, segundo o critério de faixa de suficiência (Tabela 2) e com o auxílio da Tabela 5 observa-se que o K é o macronutriente com maior deficiência na lavoura nas duas safras em estudo. Do total de amostras coletadas em 2016, 96,25% apresentaram baixa concentração deste nutriente, sendo que no ano de 2017 esse valor foi de 93,75%. Este fato mostra o quanto o K é demandado pelas plantas nas várias fases fenológicas do cafeeiro.

Elevar a concentração do K na planta é fundamental diante de sua importância na produtividade. O K aparece com maior concentração nos frutos, em particular na polpa do café, mas sem participar de moléculas orgânicas (SILVA et al., 2001). Ainda segundo esses autores, as quantidades de K nas partes vegetativas são suficientes para mostrar que esse nutriente desempenha um papel importante na nutrição dessa cultura. Em geral, altos teores de

K estão associados com colheitas elevadas (MALAVOLTA et al., 1993). A presença de K na palha de café é elevada, o que mostra a importância do seu retorno para a lavoura com adubação orgânica, visando reduzir a sua exportação do reservatório do solo (GUARÇONI, 2011). Além disso, elevar o teor de K no formulado aplicado é outra forma de disponibilizar esse nutriente para a planta. Mas, sempre observando os resultados encontrados nas análises químicas do solo.

**Tabela 5.** Frequência (%) das concentrações das 80 amostras conforme a faixa de suficiência (FS), para macros e micronutrientes em plantas do cafeeiro conilon.

	Baixo	Adequado	Alto
Macronutrientes (%)			
K <sup>1</sup>	96,25	3,75	00,00
K <sup>2</sup>	93,75	6,25	00,00
N <sup>1</sup>	51,25	32,50	16,25
N <sup>2</sup>	60,00	35,00	05,00
S <sup>1</sup>	32,50	51,25	16,25
S <sup>2</sup>	21,25	70,00	08,75
Mg <sup>1</sup>	18,75	60,00	21,25
Mg <sup>2</sup>	21,25	37,50	41,25
P <sup>1</sup>	00,00	43,75	56,25
P <sup>2</sup>	03,75	85,00	11,25
Ca <sup>1</sup>	00,00	78,75	21,25
Ca <sup>2</sup>	01,25	42,50	56,25
Micronutrientes (%)			
B <sup>1</sup>	95,00	05,00	00,00
B <sup>2</sup>	01,25	20,00	78,75
Zn <sup>1</sup>	90,00	10,00	00,00
Zn <sup>2</sup>	11,25	77,50	11,25
Fe <sup>1</sup>	67,50	32,50	00,00
Fe <sup>2</sup>	02,50	97,50	00,00
Mn <sup>1</sup>	20,00	21,25	58,75
Mn <sup>2</sup>	07,50	26,25	66,25
Cu <sup>1</sup>	05,00	58,75	36,25
Cu <sup>2</sup>	26,25	73,75	00,00

<sup>1</sup>safra 2015/16 e <sup>2</sup>safra 2016/17.

O segundo macronutriente com maior percentual de amostras em baixa concentração é o N<sup>12</sup> (51,25 e 60,00%). O Ca<sup>1</sup> apresentou 78,75% das amostras dentro da faixa adequada, sendo que no segundo ano foram 42,50%, e havendo um aumento de 35,0% de amostras com concentrações acima da faixa ideal da safra 1 para a 2. O P<sup>1</sup> foi o macronutriente com maior percentual de amostras com alta concentração (56,25%) e o Ca<sup>2</sup> com 56,25%.

Os micronutrientes de acordo com o total de amostras o B<sup>1</sup>, o Zn<sup>1</sup> e o Fe<sup>1</sup> são os nutrientes que apresentam maiores porcentagens de amostras abaixo da faixa de suficiência (95; 90; e 67,5%, respectivamente). Essa frequência foi reduzida no ano de 2017. Sendo que dentre todos os micronutrientes, apenas o Cu teve um aumento de pouco mais de 20% na frequência de amostras em baixa concentração.

A deficiência de micronutrientes em uma cultura pode causar desequilíbrio no metabolismo vegetal, tornando as plantas mais sensíveis a pragas e doenças, ocasionando aumento nos gastos com defensivos e onerando o custo da cultura (TOMAZ et al., 2011). Na cultura do café, a falta de micronutrientes pode provocar diminuição no crescimento da planta e quebra na produção (MALAVOLTA, 1986).

O B participa do crescimento celular, da biossíntese de componentes da parede celular, do metabolismo de fenóis, dos ácidos nucleicos, dos carboidratos e do ácido indolacético (AIA), além de conferir estabilidade e estrutura na parede celular (BUCHANAN, GRUISSEN e JONES, 2000; MARSCHNER, 1995; TAIZ e ZEIGER, 2002). Ao lado do Mn e do Zn, é um micronutriente que tem proporcionado respostas significativas, com acréscimos de até 43% na produtividade do cafeeiro conilon (BRAGANÇA et al., 1995), quando fornecido juntamente com os macronutrientes, calcário na calagem e boa concentração de matéria orgânica no solo.

A deficiência de Zinco (Zn) é comum nas lavouras cafeeiras e segundo Reis Jr e Martinez (2002) esse micronutriente tem comprometido a produtividade da cafeicultura brasileira, pois nossos solos são, de modo geral, pobres neste elemento. A deficiência desse micro é uma das mais generalizadas e limitantes para a cultura do café, causando a morte dos ponteiros, superbrotção (MALAVOLTA et al., 1993) e limitação do crescimento da parte aérea (IBC, 1985). Graves distúrbios, tais como: menor pagamento de florada e frutos menores são resultados da deficiência de Zn na cultura do café (MALAVOLTA et al., 1993).

A deficiência de Ferro confirma os estudos de Costa, Bragança e Lani (2000), que por meio de um diagnóstico em lavouras de cafeeiro conilon no Espírito Santo, concluíram que em grande número de lavouras o Fe é limitante de produção dos frutos. Porém, para Matiello e Garcia (2015) a carência do Fe pode estar muito crítica e mesmo assim, em curto prazo, a planta continuar frutificando bem.

Estudos de Fonseca et al. (2015) e Oliveira et al. (2010) também mostram a deficiência dos micronutrientes Zn e Fe em lavoura de café conilon em diferentes colheitas. Para Oliveira et al. (2010), a deficiência destes nutrientes está relacionada à baixa

concentração dos mesmos no solo, por origem e/ou por cultivos sucessivos, sendo adicionados em baixas concentrações ou não adicionados de acordo com a necessidade.

Em contrapartida à deficiência de Zn, B e Fe em 2016, foram encontrados valores muito altos para o Mn, havendo pontos com concentração duas vezes maior que o limite superior da faixa proposto por Bragança, Prezotti e Lani (2007), que é de 80 mg kg<sup>-1</sup>. Silva, Lima e Queiroz (2011), estudando a variabilidade espacial em estado nutricional de café arábica com base no índice DRIS, também encontram excesso de Mn limitando a produção. Para café conilon, Oliveira (2007) também encontrou o Mn como nutriente em excesso em uma lavoura cafeeira no sul do Espírito Santo.

A frequência de amostras com alta concentração de Mn, em 2017, foi ainda maior que 2016, atingindo 66,25%, sendo menor apenas do que a do B no mesmo ano, que foi de 78,75%. A toxidez por B é mais problemática em plantas jovens, mas assim como qualquer macro ou micronutriente, merece a atenção no manejo, para que não possa se tornar um problema na lavoura, o que não é caso da lavoura no presente estudo.

### 3.4. Interpretação de nutrientes nas amostras pelos métodos DRIS e DOP

Os valores médios dos índices DOP e DRIS calculados a partir das concentrações dos nutrientes foliares estão na Tabela 6. Os índices DRIS e DOP permitem ordenar os nutrientes mais limitantes na lavoura por deficiência ou excesso (Tabela 7).

**Tabela 6.** Valores médios dos índices DOP e Dris na lavoura.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Índices DOP <sup>1</sup>	-3,43	22,32	-27,18	7,90	-0,50	-2,78	-28,15	24,50	-19,76	28,80	-37,65
Índices DOP <sup>2</sup>	-5,50	5,39	-26,74	23,78	2,30	-5,28	22,86	-11,32	10,79	52,05	13,07
Índices DRIS <sup>1</sup>	0,94	1,21	-0,79	0,79	0,39	0,98	-2,76	1,31	0,07	0,12	-2,14
Índices DRIS <sup>2</sup>	-3,10	-5,71	-17,21	7,82	-4,24	3,19	-2,80	-1,04	13,05	2,72	6,31

<sup>1</sup>safra 2015/16 e <sup>2</sup>safra 2016/17.

**Tabela 7.** Ordem de limitação por deficiência dos nutrientes segundo cada Índice.

	Ordem de Limitação																				
Índice DOP <sup>1</sup>	Zn	>	B	>	<u>K</u>	>	<u>Fe</u>	>	N	>	S	>	Mg	>	Ca	>	P	>	Cu	>	Mn
Índice DOP <sup>2</sup>	<u>K</u>	>	Cu	>	N	>	S	>	Mg	>	P	>	Fe	>	Zn	>	B	>	<u>Ca</u>	>	Mn
Índice DRIS <sup>1</sup>	B	>	Zn	>	<u>K</u>	>	<u>Fe</u>	>	Mn	>	Mg	>	Ca	>	N	>	S	>	P	>	Cu
Índice DRIS <sup>2</sup>	<u>K</u>	>	P	>	Mg	>	N	>	B	>	Cu	>	Mn	>	S	>	Zn	>	<u>Ca</u>	>	Fe

<sup>1</sup>safra 2015/16 <sup>2</sup>safra 2016/17.

Considerando a posição para um mesmo nutriente na ordem de limitação quando comparou os métodos de cálculos dos índices DOP e DRIS tem sublinhados na safra 1 K e Fe.



Na safra 2 tem-se o K e o Ca nas mesmas posições. Os demais nutrientes não apresentam o mesmo comportamento entre os dois métodos.

Cada índice DOP indica a porcentagem que a concentração de cada nutriente está abaixo ou acima do valor padrão usado no cálculo. Nesse estudo, considerando o índice DOP no ano de 2016, o Zn é o nutriente que está em maior deficiência na área considerando a média dos 80 pontos, como é mostrado na Tabela 6. O Zn está 37,65% abaixo do valor ideal para a lavoura. Os nutrientes que também limitam por deficiência são B (28,15%), K (27,18%) e Fe (19,76%), respectivamente.

No ano de 2017, o K é o nutriente mais limitante, estando 26,74% abaixo do valor padrão considerado nos cálculos. Comparando os dois anos, apenas o K permaneceu em deficiência de um ano para o outro, mostrando que a aplicação desse nutriente não foi suficiente para suprir sua carência.

O Índice DOP no experimento foi calculado utilizando a média do intervalo ideal da faixa de suficiência (FS) como a concentração de referência. Desse modo, assim como a interpretação pela FS, o N<sup>1</sup>, o Ca<sup>1</sup>, o Mg<sup>1</sup> e o S<sup>1</sup> encontram-se dentro da faixa ideal para lavoura. E, o P<sup>1</sup> (22,32%), o Cu<sup>1</sup> (24,50%) e o Mn<sup>1</sup> (28,8%) são limitantes por excesso na lavoura. No ano de 2017, o Cu<sup>2</sup>, S<sup>2</sup>, Mn<sup>2</sup>, P<sup>2</sup>, Fe<sup>2</sup> e Zn<sup>2</sup> estão dentro da faixa considerada adequada, os limitantes por excesso nesse ano foram: o B<sup>2</sup> (22,86%), o Ca<sup>2</sup> (23,78%) e o Mn<sup>2</sup> (52,05%).

A avaliação do estado nutricional explorando a relação dois a dois dos nutrientes da lavoura apresentou diferença quando se avalia os nutrientes de forma isolada. Observa-se na Tabela 7 que a ordem de limitação quando usa o índice DRIS é diferente de quando usa o índice DOP nos dois anos de estudo. A ordem de limitação entre o Zn<sup>1</sup> e o B<sup>1</sup>, por exemplo, foi invertida. Isso mostra que quando avalia a interação entre os nutrientes, mesmo a concentração do Zn<sup>1</sup> estando 9,50% mais deficiente que o B<sup>1</sup>, mesmo assim o B ainda é mais limitante nessa lavoura.

O nutriente mais limitante por excesso quando avaliado pelo índice DOP é o Mn<sup>1</sup> que é substituído pelo Cu<sup>1</sup> e pelo Fe<sup>2</sup> quando avaliado pelo método DRIS. Ou seja, levando em consideração as interações entre os nutrientes, o excesso de Cu e Fe contribui mais para o desbalanço nutricional do que o excesso de Mn.

O DRIS, quando comparado com a faixa de suficiência (FS) ou Índice DOP, complementa o diagnóstico nutricional porque estabelece uma ordem de deficiência ou excesso com base nas interações entre os nutrientes e detecta deficiências ou excessos não considerados pelos outros métodos. Quando avaliou a correlação entre os índices DOP e

DRIS, a diferença entre os métodos fica clara, quatro dos nutrientes que não apresentavam correlação entre os Índices DOP e o  $\Sigma$ DOP passam a ter correlação significativa quando avaliados os índices DRIS com o IBN, sendo esses: N<sup>1</sup>, Ca<sup>1</sup>, Mg<sup>1</sup> e Mn<sup>1</sup> e N<sup>2</sup>, P<sup>2</sup>, Ca<sup>2</sup> e Zn<sup>2</sup> (Tabela 8).

**Tabela 8.** Correlação significativa pelo método de Spearman dos índices DOP e DRIS com o IBN e a Produtividade.

Índices DOP												$\Sigma$ DOP <sup>3</sup>
$\Sigma$ DOP <sup>1</sup>	ns	0,58	-0,24	ns	ns	-0,26	-0,28	0,60	-0,24	ns	ns	
$\Sigma$ DOP <sup>2</sup>	ns	ns	-0,29	ns	ns	ns	0,30	-0,38	0,23	0,55	ns	-
Prod. <sup>1</sup>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
Prod. <sup>2</sup>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
Índices DRIS												IBN <sup>3</sup>
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
IBN <sup>1</sup>	0,32	0,64	0,25	0,28	0,49	ns	-0,25	0,49	-0,43	-0,67	ns	-
IBN <sup>2</sup>	-0,40	-0,50	-0,64	0,38	ns	ns	ns	ns	0,52	ns	0,35	-
Prod. <sup>1</sup>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,22	ns	ns
Prod. <sup>2</sup>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>1</sup>safra 2015/16; <sup>2</sup>safra 2016/17; <sup>3</sup> comparou-se o  $\Sigma$ DOP e IBN de cada safra com a produtividade da respectiva safra.

Quando se avalia a correlação entre os índices (DOP e DRIS) com o IBN e  $\Sigma$ DOP nota-se que apenas o Índice DRIS do Mn<sup>1</sup> apresentou correlação significativa com a produtividade. A correlação foi negativa, indicando que a redução do índice DRIS do Mn pode resultar no aumento da produtividade. Veloso et al. (1995) discorrem sobre a dificuldade de estudar isoladamente os efeitos da toxidez por Mn devido às interações existentes entre ele e outros elementos, tais como: Fe, Al, Si e Ca. Essas interações são responsáveis pela diversidade de sintomas e pelos diferentes graus de redução no crescimento em espécies e cultivares diferentes (FOY, CHANEY e WHITE, 1978). Sua toxidez é corrigida pela calagem que, por elevar o pH, precipita o excesso de Mn disponível, reduzindo sua absorção pela planta (KUPPER; SACCHETTO; RAIJ, 1968).

Pelo teste de Qui-Quadrado observou-se diferença significativa, em nível de 5% de significância, entre os métodos DRIS e DOP quando comparou a frequência em que os índices de nutrientes apresentaram com índices mais negativos (+N) ou mais positivos (+P) nas ordens de limitação nos 80 pontos amostrados no ano de 2016. Considerando os dois métodos, apenas o P não apresentou diferença na quantificação (Tabela 9), sendo que em

ambos os métodos ele não apareceu como mais negativo (mais deficiente) na safra 1 e apareceu 11 vezes como mais positivo (excesso) na safra 1 e duas vezes na safra 2, em ambos os métodos.

**Tabela 9.** Frequência de índices de nutrientes em que as ordens de limitação se apresentaram com índices mais negativos (+N) e mais positivos (+P), nos 80 pontos amostrados, considerando os métodos DRIS e DOP.

		DRIS <sup>1</sup>	DRIS <sup>2</sup>	DOP <sup>1</sup>	DOP <sup>2</sup>
N	+N	1	0	0	0
	+P	9	1	0	0
P	+N	0	12	0	2
	+P	11	2	11	2
K	+N	3	46	12	36
	+P	0	1	0	0
Ca	+N	0	0	0	0
	+P	9	17	4	17
Mg	+N	0	7	0	1
	+P	1	0	0	0
S	+N	0	1	0	3
	+P	17	4	2	0
B	+N	50	3	9	1
	+P	0	2	0	6
Cu	+N	0	2	3	29
	+P	24	3	27	4
Fe	+N	0	0	6	1
	+P	4	34	0	7
Mn	+N	0	3	3	3
	+P	4	7	36	38
Zn	+N	26	6	47	4
	+P	1	9	0	6

No ano de 2017, a diferença entre os dois métodos foi significativa pelo teste de Qui-quadrado. Comparando os dois métodos de diagnósticos estudados, apenas o Ca não apresentou diferença em sua quantificação, seja como nutriente mais negativo, seja como o mais positivo. Essa igualdade de ocorrência foi encontrada para o N e Mn quando avaliado o índice mais positivo (+P) e para o P e o Mg quando avaliado o índice mais negativo (+N).

Apesar da diferença significativa entre a ordem de limitação pelos dois métodos no ano de 2016, encontrou-se uma correlação de Spearman significativa entre os valores de IBN e  $\sum$ DOP (0,61). No ano de 2017, em que não houve diferença significativa entre os métodos, a correlação foi maior que no ano anterior, igual a 0,83. Alguns autores mostram alta

correlação entre esses índices às vezes com  $r$  (coeficiente de correlação) superiores a 0,95 (MONGE et al., 1995; MONTAÑES et al., 1993). Martín et al. (2016), estudando parreiras de uva, obtiveram correlação entre os dois métodos de 0,68 para a lâmina da folha e 0,45 para o pecíolo da folha na floração.

Devido à metodologia envolvida no cálculo do índice DRIS foi feita uma correlação entre o índice calculado para cada nutriente e a concentração de cada nutriente no tecido foliar na lavoura. Houve correlação linear significativa de Spearman entre os teores dos nutrientes e seus índices (Tabela 10), sugerindo que tais índices podem ser utilizados no diagnóstico nutricional, concordando com os resultados de Partelli et al. (2006). Isso permite que a interação dos nutrientes seja explorada sem que haja perda da informação inicial da concentração de nutrientes da lavoura.

**Tabela 10.** Valores de correlação de Spearman entre o teor dos nutrientes e seu respectivo índice no método DRIS.

	DRIS <sup>1</sup>	DRIS <sup>2</sup>
N x IN	0,70	0,69
P x IP	0,88	0,83
K x IK	0,84	0,83
Ca x ICa	0,92	0,93
Mg x IMg	0,83	0,50
S x IS	0,93	0,80
B x IB	0,94	0,84
Cu x ICu	0,98	0,94
Fe x IFe	0,95	0,92
Mn x IMn	0,98	0,92
Zn x IZn	0,94	0,99

<sup>1</sup>safra 2015/16 e <sup>2</sup>safra 2016/17.

### 3.5. Índice de Balanço nutricional (IBN), $\Sigma$ DOP e produtividade (Prod)

A produtividade média da lavoura em 2016 foi de 58,30 sc de 60 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 11), valor bem acima da produtividade média do estado no ano anterior, conforme relatado pela CONAB (2015), que foi de 27,41 sc ha<sup>-1</sup>. Na lavoura foi possível encontrar produtividade máxima de 102,60 sc de 60 kg ha<sup>-1</sup> e mínima de 20,37 sc ha<sup>-1</sup>, mostrando grande variabilidade da mesma na área. No ano de 2017 a produtividade teve média menor (33,23 sc de 60 kg ha<sup>-1</sup>), com valor mínimo de 3,95 e máximo de 69 sc de 60 kg ha<sup>-1</sup>, sendo essa redução devido à poda que foi realizada após a colheita de 2016, o que influenciou e muito na produtividade seguinte, além de considerar a bienalidade da cultura.

Quanto menores os valores de IBN mais balanceados os nutrientes na lavoura, o mesmo se aplica ao  $\Sigma$ DOP. A média do  $\Sigma$ DOP na lavoura foi de 256,51 no ano de 2016 e 252,77 no ano de 2017. Para o IBN os valores foram de 13,35 e 9,24, respectivamente. Os valores de IBN e  $\Sigma$ DOP são bem diferentes quando comparados um com outro e o método DOP informa maior desequilíbrio quando comparado com o método DRIS, por não levar em consideração a interação dois a dois entre os nutrientes.

**Tabela 11.** Estatística descritiva do IBN,  $\Sigma$ DOP e da produtividade (sc beneficiada de 60 kg ha<sup>-1</sup>) do café conilon beneficiado.

	Média	Md	S	Valores		Coeficientes			Teste
				Mínimo	Máximo	CV(%)	C <sub>s</sub>	C <sub>k</sub>	KS
Prod <sup>1</sup>	58,30	55,29	21,75	20,37	102,60	37,30	0,27	-0,95	ns
Prod <sup>2</sup>	33,23	32,69	16,24	3,95	69,00	48,87	0,32	-0,50	ns
$\Sigma$ DOP <sup>1</sup>	256,51	263,73	53,80	135,46	355,96	20,97	0,01	-0,65	ns
$\Sigma$ DOP <sup>2</sup>	252,77	232,12	134,01	126,85	60	22,45	0,75	1,00	*
IBN <sup>1</sup>	13,35	13,18	3,35	6,89	27,89	38,09	0,71	0,10	ns
IBN <sup>2</sup>	9,24	8,68	2,63	3,71	16,09	28,49	0,50	0,16	*

<sup>1</sup>: safra 2015/16; <sup>2</sup>: safra 2016/17; Md: Mediana; S: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; C<sub>s</sub>: Coeficiente de simetria; C<sub>k</sub>: coeficiente de curtose; ns: distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) em 5% de probabilidade; e \* Distribuição não normal.

A

nalizando o mesmo método nos dois anos, verifica-se que o desbalanço nutricional foi menor no ano de 2017 quando comparado com o ano de 2016. Houve uma redução de menos de 2% do valor do índice DOP no ano de 2016 para 2017. Quando considera o Índice DRIS, essa redução foi de mais de 30% no desbalanço nutricional da lavoura, mostrando a influência da relação entre os nutrientes.

Em lavouras de café conilon de alta produção, transformando os dados para corresponder à constante arbitrária k=1 usada nesse estudo, a amplitude dos valores do IBN, calculado pelo método DRIS, variou de 3,9 a 9,4 em estudo feito por Alvarez e Leite (1992), mostrando menor desequilíbrio nutricional da lavoura. Altoé et al. (2002) verificaram valores entre 1,1 a 9,7 em café conilon em Vila Valério. Em cafeeiros arábicas, Martinez et al. (2003) encontraram IBN variando de 2,5 a 19,4. Neste estudo a amplitude foi um pouco maior com um valor mínimo bem elevado (6,89) em 2016. Esse valor reduziu para 3,71 em 2017, sendo que o valor máximo reduziu de 27,89 para 16,09. Valores superiores a esses foram encontrados por Fonseca et al. (2015) em uma lavoura de café conilon de propagação por

sementes apresentando desequilíbrio nutricional em Cachoeiro de Itapemirim na altitude de 120 m, onde se encontrou valores variando de 12,2 a 39,0.

De acordo com Pimentel-Gomes e Garcia (2002), os valores de CV do  $\Sigma$ DOP para as duas safras e IBN na safra 2015/16 foram altos, as demais variáveis apresentaram CV muito alto. Isso demonstra a variabilidade dessas variáveis em torno da média, dentro da área, e a importância do estudo dessa presente variabilidade. Valores de CV da produtividade (Prod) com variação alta foram relatados por Silva; Lima e Alves (2010), Lima et al. (2014), Fonseca et al. (2015).

A Prod e os valores de IBN<sup>1</sup> e  $\Sigma$ DOP<sup>1</sup> apresentaram normalidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) ( $p \leq 0,05$ ). Essa normalidade não foi encontrada para o IBN<sup>2</sup> e  $\Sigma$ DOP<sup>2</sup>. A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística e sim conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas na interpolação pelo método da krigagem ordinária (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

### 3.6. Análise espacial do IBN, $\Sigma$ DOP e da produtividade

Na análise da distribuição espacial considerou-se a Prod, IBN e  $\Sigma$ DOP. A produtividade (Prod) não apresentou correlação espacial com o IBN e  $\Sigma$ DOP. A correlação linear também não foi significativa entre essas variáveis. A ausência de correlação entre a Prod e os valores de índices de balanceamento nutricional (IBN) é um comportamento comum nos estudos com essas variáveis em culturas agrícolas. Mourão Filho; Azevedo; Nick, (2002) não encontraram boa correlação linear entre IBN e produtividade em laranjas Valência. Amaral et al. (2011) e Fonseca et al. (2015) também verificaram que o IBN não apresenta correlação significativa com a produtividade. Diante dessas baixas correlações linear e espacial, depreende-se que os locais onde há produtividade baixa é devido a fatores de ordem não nutricional. O comportamento foi semelhante quando usou o  $\Sigma$ DOP.

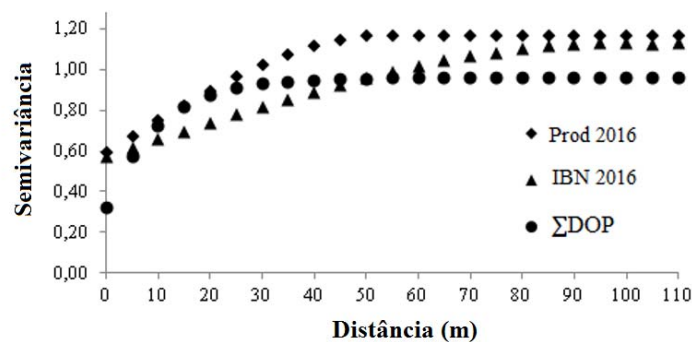
O IBN<sup>1</sup>, o IBN<sup>2</sup>, o  $\Sigma$ DOP<sup>2</sup> e a Prod<sup>1</sup> se ajustaram ao modelo Esférico. Já o  $\Sigma$ DOP<sup>1</sup> e Prod<sup>2</sup> se ajustaram ao modelo exponencial. O maior alcance encontrado foi de 99,0 m (IBN<sup>1</sup>) e o menor foi de 22,0 m (IBN<sup>2</sup>) (Tabela 12). Verifica-se que para um mesmo atributo entre os dois anos não foi verificado o mesmo padrão de distribuição espacial em função dos valores discrepantes entre os alcances encontrados quando para ajuste ao mesmo modelo, como IBN<sup>1</sup> e <sup>2</sup>.

**Tabela 12.** Parâmetros e modelo dos semivariogramas escalonados ajustados para os valores de IBN,  $\Sigma$ DOP e Produtividade do cafeeiro (Prod).

	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	a (m)	GDE (%)	R <sup>2</sup> (%)
IBN <sup>1</sup>	ESF	0,57	1,13	99	50	92
IBN <sup>2</sup>	ESF	0,54	1,07	22	50	81
$\Sigma$ DOP <sup>1</sup>	EXP	0,32	0,96	30	33	80
$\Sigma$ DOP <sup>2</sup>	ESF	0,56	1,13	70	40	70
Prod <sup>1</sup>	ESF	0,59	1,17	54	50	94
Prod <sup>2</sup>	EXP	0,42	1,16	38	36	88

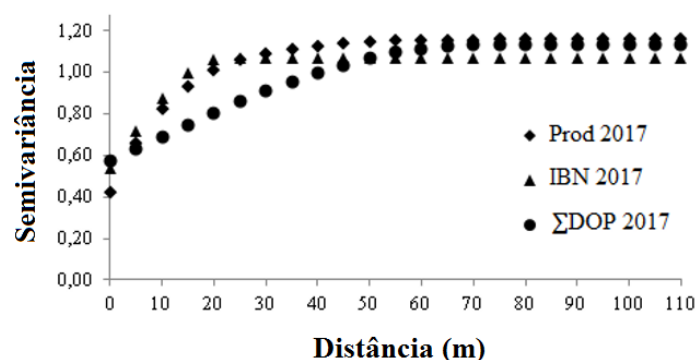
<sup>1</sup>: safra 2015/16; <sup>2</sup>: safra 2016/17; EXP: modelo exponencial; ESF: modelo Esférico; GDE: grau de dependência espacial (%); R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação múltipla.

Nas Figuras 5 e 6 estão apresentados os semivariogramas escalonados ajustados para produtividade (Prod), IBN e  $\Sigma$ DOP nos anos de 2016 (safra 1) e 2017 (safra 2).



**Figura 5.** semivariogramas escalonados da Prod, do IBN DRIS e  $\Sigma$ DOP da safra 2015/16.

Verifica-se que o IBN como a Prod (safra 1) apresentaram ajustes ao modelo esférico (ESF), porém não apresentando o mesmo padrão espacial, uma vez que o alcance de dependência espacial apresentou dissimilaridade.



**Figura 6.** semivariogramas escalonados da Prod, do IBN DRIS e  $\Sigma$ DOP da safra 2016/17.

No ano de 2017 (safra 2) o IBN e o  $\Sigma$ DOP apresentaram ajustes ao modelo esférico (ESF) e com alcances de 22,0 e 70,0 m, respectivamente, não configurando o mesmo padrão espacial. Esta não similaridade espacial é proveniente da metodologia adotada no cálculo dos respectivos índices.

O alcance de dependência espacial de um atributo garante que todos os pontos amostrais dentro do seu raio de ação apresentem certa similaridade e os valores estimados por interpolação para locais não amostrados com distâncias menores que a menor adotada na amostragem são mais precisos (MACHADO et al., 2007). O alcance tem grande importância no estudo da variabilidade, pois indica a distância a partir da qual as amostras são independentes estatisticamente (FONSECA et al., 2015). Amostras coletadas em distâncias maiores que o alcance, têm distribuição espacial aleatória, e a média é a estatística utilizada para representar o campo amostral. Sendo assim, a maior continuidade espacial foi encontrada para o IBN<sup>1</sup> com alcance de 99,0 m, ou seja, mostrando maior continuidade no ano de 2016 que no ano de 2017. No entanto, o  $\Sigma$ DOP em 2017 representou maior continuidade na lavoura com alcance de dependência espacial de 70,0 m. Este fato é reflexo da diferença entre as duas metodologias utilizadas no presente estudo. A Prod apresenta diferentes modelos de ajustes e, também, alcances distintos, o que está correlacionado com a questão da poda distinta dos ramos não produtivos nas diferentes safras e de fatores climáticos.

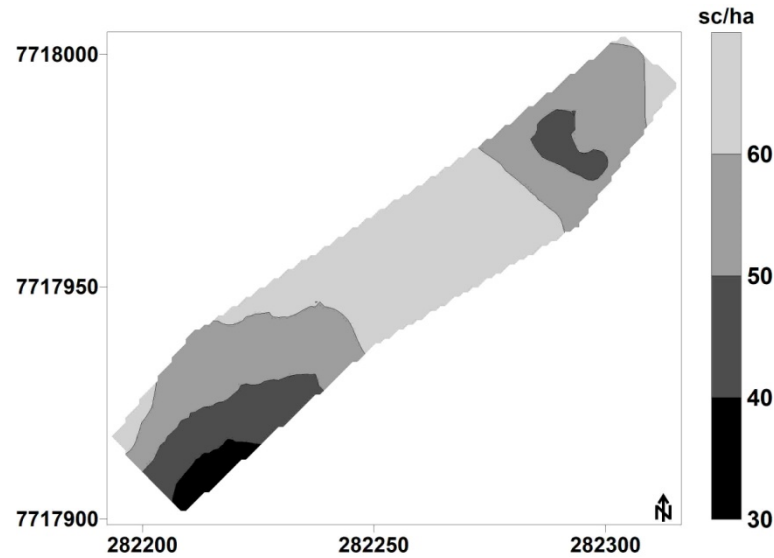
A classificação da dependência espacial, conforme Cambardella et al. (1994) mostra GDE moderado para todas as variáveis ( $25\% \leq \text{GDE} \leq 75\%$ ). Seguindo os critérios adotados por Azevedo (2004), os ajustes dos semivariogramas para todas as variáveis apresentaram valores bons de  $R^2$ , que considera valores ideais aqueles maiores que 50%, neste estudo.

Dado o aumento do custo da gestão de insumos na agricultura, o gerenciamento preciso de nutrientes é a necessidade do momento para aumentar a eficiência do seu uso (VASU et al., 2017).

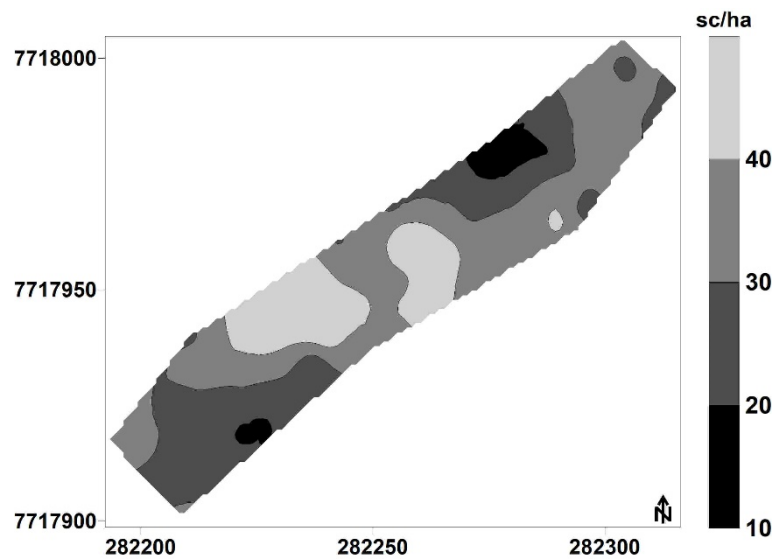
Uma vez constatada a dependência espacial construiu-se pelo método de interpolação krigagem ordinária os mapas da distribuição espacial para cada atributo. O mapa da produtividade (Prod) mostra a sua distribuição espacial na área (Figura 7 e 8). De acordo com Oliveira (2007), a variabilidade está relacionada pelo fato do manejo da lavoura não utilizar aplicação à taxa variada, ou seja, localizada de insumos por planta. Outro fato que pode ocasionar a variabilidade espacial da produtividade no cafeeiro conilon é o número de ramos ortotrópicos não ser o mesmo em cada planta do ponto amostral (FONSECA et al., 2015;



LIMA et al. 2016). Cabe ressaltar que as condições de clima, também, causam grandes influências no rendimento da lavoura, como mencionado anteriormente.



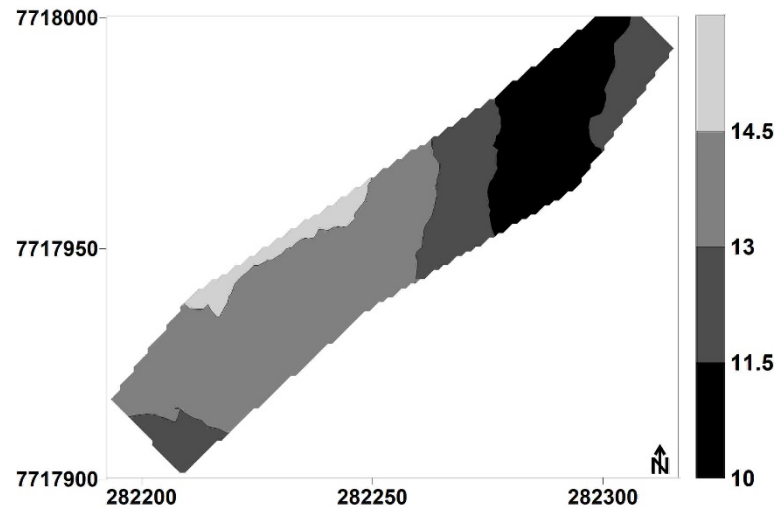
**Figura 7.** Distribuição espacial da produtividade (sc de 60kg ha<sup>-1</sup>) de café conilon beneficiado 2015/16.



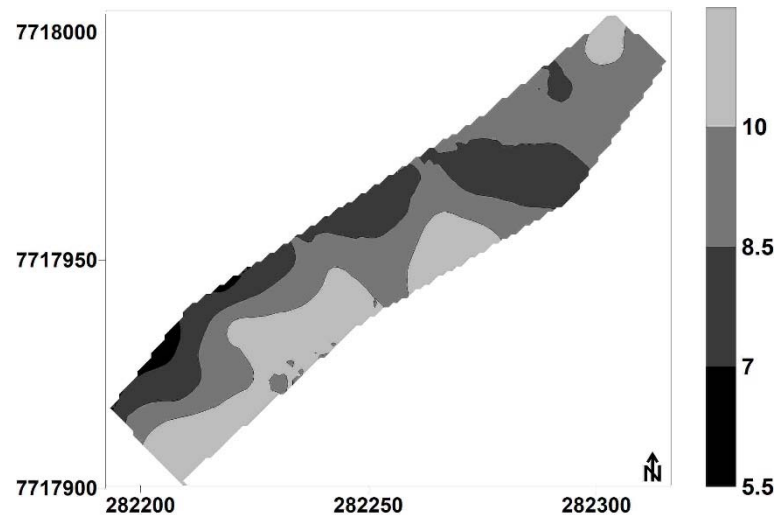
**Figura 8.** Distribuição espacial da produtividade (sc ha<sup>-1</sup>) de café conilon beneficiado 2016/17.

As menores produtividades (Prod) da área representada pelas cores mais escuras variam de 30 a 45 sc de 60 kg ha<sup>-1</sup> e de 10 a 20 nas safras 1 e 2, respectivamente. Os maiores valores de Prod presentes no mapa são oriundos da parte plana central da área de estudo em ambas as safras, com valores acima de 60 sc de 60 kg ha<sup>-1</sup> na safra 1e acima de 40 sc de 60 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2.

O mapa do IBN (Figuras 9 e 10) também demonstra a variabilidade espacial do índice dentro da lavoura. Na safra 2015/16 observou-se zonas de baixo IBN, cor preta, na parte superior da área, onde a altitude é maior. O valor médio do IBN (13,35) está compreendido na área plana central e inferior com as menores altitudes. Na safra 2016/17 os valores de IBN foram reduzidos em praticamente toda a lavoura.



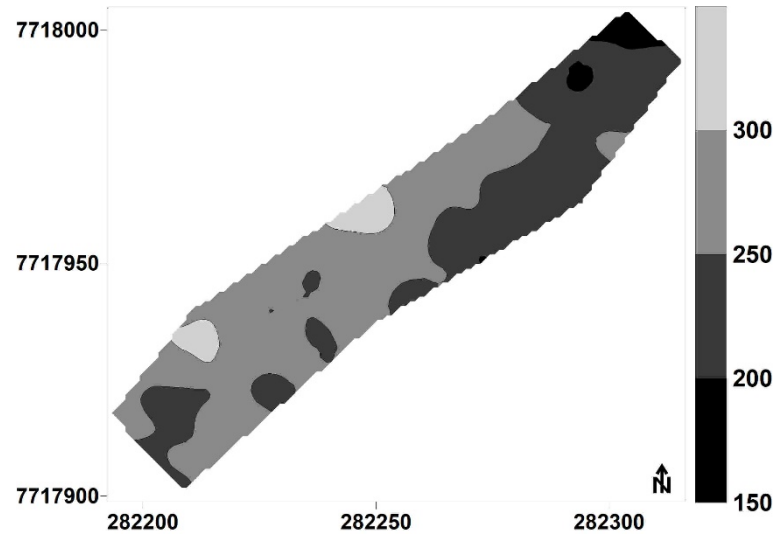
**Figura 9.** Distribuição espacial do IBN 2015/16.



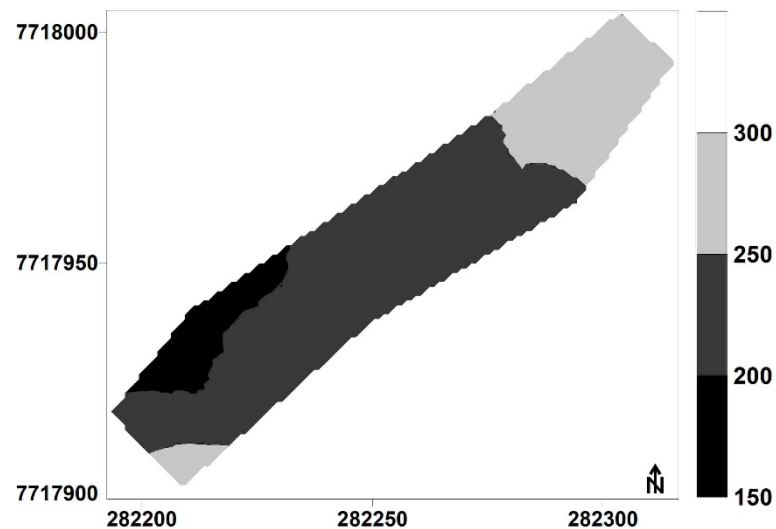
**Figura 10.** Distribuição espacial do IBN 2016/17 (safra 2).

O mapa da distribuição espacial do  $\Sigma$ DOP na safra 2015/16 (Figura 11) apresenta certa semelhança quanto à forma com o IBN DRIS, com valores elevados na parte inferior da área e maior equilíbrio na parte superior da mesma. Porém, não apresentam a mesma distribuição espacial, conforme discutido anteriormente. Enquanto na safra 2015/16, maior parte da área possui valores de  $\Sigma$ DOP acima de 250. Na safra 2016/17 (Figura 12) áreas com

valores menores que 250 são predominantes. O desequilíbrio nutricional está visível em ambos os mapas, sendo a parte superior da área a que deveria receber maior atenção no ano de 2018 com relação à aplicação de insumos agrícolas.



**Figura 11.** Distribuição espacial do  $\Sigma$ DOP 2015/16 (Safrá 1).



**Figura 12.** Distribuição espacial do  $\Sigma$ DOP 2016/17 (Safrá 2).

#### 4. CONCLUSÃO

A lavoura apresenta desequilíbrio nutricional mostrado pela variação da deficiência e excesso de nutrientes.

Os métodos DRIS e DOP apresentaram diferenças significativas quando comparou a frequência em que os índices de nutrientes se apresentaram como mais negativos ou mais positivos na safra 2015/16.

O IBN e  $\Sigma$ DOP não apresentaram correlação linear e nem espacial com a produtividade do café (Prod).

O IBN,  $\Sigma$ DOP e a produtividade (Prod) do cafeeiro conilon apresentaram dependência espacial.

As metodologias DRIS e DOP complementam a avaliação pela faixa de suficiência por permitir o cálculo do  $\Sigma$ DOP e IBN. No entanto, apresentam inferências dissimilares do estado nutricional da lavoura do cafeeiro conilon.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALTOÉ, J. A.; PARTELLI, F. L.; AMARAL, J. A. T. do; AMARAL, J. F. T. do; LOPES, J. C. L.; SCHMILDT, E. R.; CATEN, A. Diagnose nutricional do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) em Vila Valério, região Norte do Estado do Espírito Santo, pelo método DRIS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28, 2002, Caxambu. **Anais ...** Rio de Janeiro: SARC/PROCAFÉ, 2002. p. 325-326.
- ALVAREZ V., V.H. e LEITE, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices dos nutrientes no sistema integrado de diagnose e recomendação - DRIS. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 20, 1992, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba, 1992. p.186-188.
- AMARAL, J. A. T.; AMARAL, J. F. T.; SCHMILDT, E. R.; LOPES, J. C.; COELHO, R. I. Alguns atributos do dris para a interpretação da análise foliar do cafeeiro. In: ANDRADE, F. V.; PASSO, R. R.; MENDONÇA, E. S.; LIMA, J. S. S. L.; FERREIRA, A. **Tópicos especiais em produção vegetal II**. Alegre: UFES, 2011. p. 101–115.
- ANDRADE, C. E. **Calagem e adubação do café**. Viçosa: Aprenda Fazer, 2001. 130p.
- ATTAR, S. K.; JOOLKA, N. K. Trends in Biosciences. **Trends in Biosciences**, v. 8, n. 11, p. 2957–2963, 2015.
- BARBOSA, D. H. S. G.; VIEIRA, H. D.; PARTLLI, F. L.; SOUZA, R. M. Estabelecimento de normas DRIS e diagnóstico nutricional do cafeeiro arábica na região noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1717–1722, 2006.
- BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; SANTOS, W. R.; ABREU, M. F. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**, v. 63, n. 2, p. 253–263, 2004.
- BATAGLIA, O.C.; DECHEN, A.R.; SANTOS, W.R. Diagnose visual e análise de plantas. In: DECHEN, A.R.; BOARETTO, A.E. & VERDADE, F.C., eds. **Adubação, produtividade e ecologia**. Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.369-393.
- BEAUFILS, E. R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. South Africa: **Soil Science Bulletin**, Pietermararitzburg, v. 1, n. 1, p. 1-132, 1973.
- BENITO, A.; GARCÍA-ESCUADERO, E.; ROMERO, I.; DOMÍNGUEZ, N.; MARTÍN, I. Sufficiency Ranges (SR) and Deviation from Optimum Percentage (DOP) references for leaf blade and petiole analysis in “red Grenache” grapevines. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin**, v. 49, n. 1, p. 47–58, 2015.
- BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ, V. H.; MOSQUIM, P. R.. Nutrição e adubação do café *Coffea canephora* cv. Conilon, cultivado em Latossolo Amarelo coeso. II. Zinco-boro-palha de café. In: 21o Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras: Caxambú. **Anais**, IBC/GERCA., 1995

- BRAGANÇA, S. M.; PREZOTTI, L. C.; LANI, J. A. Nutrição do cafeeiro conilon. In: FERÃO et. al. **Café Conilon**. Incaper ed. Vitória: p. 299–327, 2007.
- BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ, V. H.; LANI, J. A. ACÚMULO DE B, CU, FE, MN E ZN PELO CAFEEIRO CONILON. **Ceres**, v. 54, n. 314, p. 398–404, 2007.
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSSEN, W.; JONES, R. L. Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville, Maryland: **American Society of Plant Physiologists**, 2000.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-Scale Variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Sci. Soc. Am.J.**, v. 58, p. 1501–1511, 1994.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2015, quarto levantamento**. Brasília, 2015.
- COSTA, A. N. da; BRAGANÇA, S. M. Software DRIS Café: sistema integrado de diagnose e recomendação de adubação para o café conilon. Vitória, ES: INCAPER, 2000. (INCAPER: Documentos, 001) 1 **CD-ROM**.
- COVRE, A.M.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; ZUCOLOTO, M. Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. v. 50, n. 11, p. 1006–1016, 2015.
- DRUMOND NETO, A. P. Qualidade física e sensorial de grãos de *Coffea canephora* Pierre Ex. Froehner de diferentes ambientes. **Tese**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2017. 77f.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. 702 p.
- FONSECA AS, LIMA JSS, SILVA AS. Use of the Integrated Diagnosis and Recommendation System and Sufficiency Band for Nutritional Status of Conilon Coffee. **Journal of Experimental Agriculture International**. 2018; 22(2): 1-7.
- FONSECA, A. S.; LIMA, J. S. S.; JESUS, M. L.; SILVA, S. A. Variabilidade espacial do Índice DRIS do Nitrogênio, Fósforo e Potássio na cultura do cafeeiro Conilon. In: FERREIRA, A. et al. (Eds.). **Tópicos especiais em produção vegetal VI**. CAUFES ed. Alegre. 2016. p. 447–455.
- FONSECA, A. S.; SOUZA, J. S. S.; ASSIS, S. A.; XAVIER, AL. C.; DRUMOND NETO, A. P. Spatial variability of the productivity and the nutritional condition of coffee canephora. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 420–428, 2015.
- FOY, C. D.; CHANEY, R. L.; WHITE, M. C. The Physiology of Metal Toxicity in Plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 29, n. 1, p. 511–566, 1978.
- GOMES, W. R.; RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; OLIVEIRA, M. G.; DIAS, J. R. M.; PARTELLI, F. L. Genetic diversity of standard leaf nutrients in *Coffea canephora* genotypes during phenological phases. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 154, 2016.

- GUARÇONI, M. A. Nutrição e adubação do café. In: TOMAZ, M. A. et al. (Eds.). . **Tecnologia para Sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre/ES: CAUFES, 2011. p. 125–154.
- GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G. R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 109–118, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. **Cultura do Café no Brasil: Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro: IBC, 1985.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. Oxford Uni ed. New York: Oxford University Press, 1989.
- JONES, C. A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 12, n. 8, p. 785–794, 1981.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- KUPPER, A.; SACCHETTO, M. T. D.; RAIJ, B. V. Formas e níveis de manganês em alguns solos. **Bragantia**, v. 27, n. 15, p. 15–17, 1968.
- LIMA, J. S. S.; COSTA, F. P.; XAVIER, A. C.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, S. A. Spatial and temporal variability of the productivity of coffee canephora variabilidade espacial e temporal da produtividade do cafeeiro canephora. **Coffee Science**, v. 3, p. 400–407, 2014.
- MACHADO, L. O. LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 591–599, 2007.
- MALAVOLTA, E. et al. Seja o doutor do seu cafezal. *Informações Agronomicas*, v. 64, p. 1–10, 1993.
- MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia: Nutriplant Indústria e Comércio, 1986.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic P ed. San Diego: Academic Press, 1995.
- MARTÍN, I.; ROMERO, I.; DOMÍNGUEZ, N.; BENITO, A.; GARCÍA-ESCUADERO, E. Comparison of DOP and DRIS Methods for Leaf Nutritional Diagnosis of *Vitis vinifera* L., Cv. Tempranillo. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 3, p. 375–386, 2016.
- MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, Y. P.; ZABINI, A. V. Produção integrada do cafeeiro: diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed). **Produção Integrada de Café**. Viçosa: UFV/DFP, 2003, p. 397-441.
- MATHUR, M.; SUNDARAMOORTHY, S. Mineral Concentration and their Deviation from Optimum Percentage in *Tribulus terrestris*. **Indian Journal of Ecology** , v. 40, n. 1, p. 19–23, 2013.

- MATOS, G. S. B. DE; FERNANDES, A. R.; WADT, P. G. S. Níveis críticos e faixas de suficiência de nutrientes derivados de métodos de avaliação do estado nutricional da palmeira-de-óleo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1557–1567, 2016.
- MIRABDULBAGHI, M. Investigations on Determination of Nutritional Status of Pear Trees According to a New Index - Deviation From Optimum Percentage (DOP). **Cercetari Agronomice in Moldova**, v. 47, n. 4, 2014.
- MOHALLEM, D. F.; TAVARES, M.; SILVA, P. L.; GUIMARÃES, E. C.; FREITAS, R. F. Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos com frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, n. 2, p. 449–453, 2008.
- MONGE, E.; MONTAÑÉS, L.; VAL, J.; SANZ, M. A comparative study of the dop and the dris methods, for evaluating the nutritional status of peach trees. **Acta Horticultura**, v. 383, p. 191–199, 1995.
- MONTAÑÉS, L.; HERAS, L.; ABADÍA, J.; SANZ, M. Plant analysis interpretation based on a new index: Deviation from optimum percentage (DOP). **Journal of plant nutrition**, v. 16, n. 7, p. 1289–1308, 1993.
- MOURÃO FILHO, F. DE A. A.; AZEVEDO, J. C.; NICK, J. A. Funções e ordem da razão dos nutrientes no estabelecimento de normas DRIS em laranjeira “Valência”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 185–192, 2002.
- OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.
- OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; ANTUNIASSE, U. R.; SILVA, A. F. Spatial variability of the nutritional condition of canephora coffee aiming specific management. **Coffee Science**, n. 3, p. 190–196, 2010.
- PARTELLI, F. L.; ALTOÉ, J. A.; AMARAL, J. A. T. do; AMARAL, J. F. T. do; SCHMILDT, E. R.; LOPES, J. C. L.; CATEN, A. Normas de referência do DRIS para o cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre exFroehner). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: SARC/PROCAFÉ, 2002. p. 326-328.
- PARTELLI, F. L.; DIAS, J. R. M.; VIEIRA, H. D.; WADT, P. G. S.; PAIVA JÚNIOR, E. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos cnd, dris e faixas de suficiência. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, n. 4, p. 858–866, 2014.
- PARTELLI, F. L.; MONZOLI, C. A.; OLIVEIRA, M. G.; ALEXANDRE, R. S.; VITORIA, E. L.; SILVA, M. B. Root system distribution and yield of “Conilon” coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 5, p. 349–355, 2014.
- PARTELLI, F. L.; GOMES, W. R.; OLIVEIRA, M. G.; DIAS, J. R. M.; ESPINDULA, M. C. Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon na pré-florada e granação, no espírito santo. **Coffee Science**, v. 11, n. 4, p. 544–554, 2016.



PIMENTEL GOMES, F. GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Fealq ed. Piracicaba. 2002. 309p.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/ CEDAGRO, 2007. 305p.

QUEIROZ, A. A.; LUZ, J. M. Q.; OLIVEIRA, R. C.; FIGUEIREDO, F. C. Produtividade e estabelecimento de índices DRIS para tubérculos de batata cultivar Ágata. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 2, p. 351–360, 2014.

REIS JR, R. DOS A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scentia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 537–542, 2002.

SANTOS, J. C. F. Principais funções dos nutrientes do café. **Cafeicultura**, 2005. Disponível em: <<http://revistacafeicultura.com.br/?mat=3699>>. Acesso em 12/12/2017.

SANTOS, R. O.; FRANCO, L. B.; SILVA, S. A.; SODRÉ, G. A.; MENEZES, A. A. Spatial variability of soil fertility and its relation with cocoa yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 88–93, 2017.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Uso do dris na avaliação do estado nutricional do cafeeiro em resposta à adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 247–255, 2003.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E. Fontes e doses de potássio na produção do cafeeiro cultivado sobre latossolo roxo e latossolo vermelho-amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 288–298, 2001.

SILVA, R. A.; CRESTE, J. E.; TIRITAN, C. S.; GUERRA, W. E. X.; ECKER, A. E. A. Diagnóstico nutricional de variedades de cafeeiro pelo método Dris na região norte do Paraná, Brasil. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 204–213, 30 maio 2015.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. DE S.; QUEIROZ, D. M. Spatial variability in nutritional status of arabic coffee based on dris index. **Ceres**, v. 58, n. 2, p. 256–261, 2011.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. L.; ALVES, A. I. Estudo espacial do rendimento de grãos e porcentagem de casca de duas variedades de *Coffea arabica* L. visando a produção de café de qualidade. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 558–565, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers, 2002. 690p.

TEIXEIRA, L. A. J.; TECCHIO, M. A.; MOURA, M. F.; TERRA, M. M.; PIRES, E. J. P. Normas dris e níveis críticos de nutrientes para videira “niagara rosada” cultivada na região de jundiáí-sp. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 247–255, 2015.

TOMAZ, M. A.; MARTINEZ, H. E. P.; RODRIGUES, W. N.; FERRARI, R. B.; PEREIRA, A. A.; SAKIYAMA, N. S. Eficiência relacionada à absorção e utilização de nitrogênio, fósforo e enxofre, em plantas de cafeeiros enxertadas, cultivadas em vasos. **Ciência Agronômica**, v. 33, n. 4, p. 993–1001, 2009.

TOMAZ, M. A.; MARTINEZ, H. E. P.; RODRIGUES, W. N.; FERRARI, R. B.; PEREIRA, A. A.; SAKIYAMA, N. S. Eficiência de absorção e utilização de boro, zinco, cobre e manganês em mudas enxertadas de cafeeiro. *Ceres*, v. 58, n. 1, p. 108–114, 2011.

VASU, D.; SINGH, S.K.; SAHU, N.; TIWARY, P.; CHANDRAN, P.; DURAISAMI, V. P. Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management. *Soil & Tillage Research*, v. 169, p. 25–34, 2017.

VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; DE CARVALHO, J. G. Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.). *Scientia Agricola*, v. 52, n. 2, p. 376–383, 1995.

WADT, P. G. S.; DIAS, J. R. M. Normas DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café Conilon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 6, p. 822–830, 2012.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013), *International Journal of Climatology*, 2016, 36 (6), 2644–2659.

## CAPÍTULO II

### Correlação canônica entre atributos de solo e nutrientes foliares de cafeeiros conilon

**RESUMO:** O estado nutricional do cafeeiro é influenciado pela concentração dos nutrientes no solo da área de cultivo. Objetivou-se com este trabalho avaliar, utilizando correlação canônica, as relações lineares existentes entre atributos químicos de solo e os nutrientes dos tecidos foliares em cafeeiro seminal. O trabalho foi desenvolvido em uma lavoura comercial localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, região Sul do estado do Espírito Santo. Na Lavoura construiu-se uma malha amostral irregular, totalizando 80 pontos georreferenciados. A análise de correlação canônica foi realizada considerando os dados originais observados em duas safras consecutivas de café conilon, 2015/16 e 2016/17, para verificar as associações existentes entre um grupo (dependente) formado pelos nutrientes foliares (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) do cafeeiro e um grupo (independente) formado pelos atributos químicos do solo (pH, Ca, Al, K, S, P, Pr em, MO, B, Cu, Fe, Mn e Zn). Mesmo que os nutrientes estejam disponíveis, ou seja, disponibilizados em quantidade satisfatória no solo, pode acontecer que ele não chegue ao tecido foliar, resultando em deficiência para alguns nutrientes. Houve relação direta entre a concentração de K no tecido foliar com o K no solo nas duas safras. Sendo que outros atributos de solo, como Matéria Orgânica, Fe, Mn e S também influenciaram nessa relação, mostrando que os atributos de solo no grupo independente interagem em conjunto sobre os nutrientes no tecido foliar. Há uma relação inversa entre as concentrações de K no tecido foliar e o Mn no solo nas duas safras, mostrando que o excesso de Mn no solo está influenciando na deficiência de K no tecido foliar.

**Palavras-chave:** *Coffea canephora*; Análise multivariada; Estado nutricional.

**ABSTRACT:** The nutritional status of the coffee tree is influenced by the concentration of nutrients in the soil of the growing area. The objective of this work was to evaluate, using canonical correlation, the linear relationships between chemical attributes of soil and nutrients of leaf tissues in seminal coffee. The work was developed in a commercial crop located in the municipality of Cachoeiro de Itapemirim, southern region of the state of Espírito Santo. In the Plantation, an irregular sampling mesh was constructed, totalizing 80 georeferenced points. The canonical correlation analysis was performed considering the original data observed in two consecutive conilon coffee harvests, 2015/16 and 2016/17, to verify the associations between a (dependent) group formed by foliar nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn), Fe, Mn and Zn). Even if nutrients are available, that is, available in a satisfactory amount in the soil, it can happen that it does not reach the leaf tissue, resulting in deficiency for some nutrients. There was a direct relationship between the concentration of K in the leaf tissue and K in the soil in the two harvests. Other soil attributes, such as Organic Matter, Fe, Mn and S, also influenced this relationship, showing that the soil attributes in the independent group interact together on the nutrients in the leaf tissue. There is an inverse relationship between the concentrations of K in the leaf tissue and the Mn in the soil in the two harvests, showing that the excess of Mn in the soil is influencing the K deficiency in the leaf tissue.

**Keywords:** *Coffea canephora*; Multivariate analysis; Nutritional status.

## 1. INTRODUÇÃO

O café conilon (*Coffea canephora*) é uma cultura de destaque no Espírito Santo e de importância na economia do Brasil, que é o maior país produtor e exportador de café. O café é responsável por gerar empregos no campo e é de extrema relevância na receita econômica de vários municípios, sendo de grande importância a realização de estudos que possam contribuir para melhorar o entendimento sobre a cultura e o manejo adotado.

O estudo do estado nutricional é de extrema importância para compreender o comportamento da lavoura cafeeira e saber quais nutrientes devem ser supridos e os que estão em excesso. O cafeeiro tem como característica uma grande exportação de nutrientes do solo, necessitando de adequada aplicação de corretivos e fertilizantes para alcançar alta produtividade (FARNEZI, SILVA e GUIMARÃES, 2009). Para Fagundes (2016), a adubação e calagem devem suprir os nutrientes em quantidade suficiente sem esquecer o equilíbrio adequado entre os mesmos, visando seu melhor aproveitamento, sendo que o excesso de alguns é prejudicial, tanto pelo maior investimento necessário, como pelos desequilíbrios e antagonismos causados. Já a deficiência afeta o desenvolvimento e a produção de café, reduzindo produtividade e qualidade do café colhido.

Estudos confirmaram que as análises dos sistemas de fertilização do café devem envolver informações conjuntas do solo e do estado nutricional das plantas (FARNEZI et al., 2010; SILVA e LIMA, 2012). Desta forma, é de extrema importância estudos que busquem entender a relação existente entre os nutrientes no tecido foliar e os atributos de solo, como o estudo realizado por Silva e Lima (2014), que encontraram relação entre a variabilidade de P<sub>em</sub> no solo e o P na planta.

Uma ferramenta que permite estudar a interação entre grupos de variáveis é a correlação canônica, um método da estatística multivariada. Esta correlação prevê múltiplas variáveis dependentes a partir de múltiplas variáveis independentes simultaneamente (HAIR JUNIOR et al., 2009). A função canônica é formada por um par de variáveis estatísticas, sendo uma dependente e outra independente (FERREIRA, 2008; HAIR JUNIOR et al., 2005; HAIR JUNIOR et al., 2009; MINGOTI, 2005).

A correlação canônica é um dos métodos da análise multivariada, em que o número máximo de funções canônicas que se obtém é igual ao número de variáveis do menor grupo em estudo. A primeira função canônica é obtida de forma a apresentar a maior correlação possível com os grupos de variáveis (PROTÁSIO et al., 2012). Outras funções podem ser significativas, contendo informações que não tenham sido explicadas na primeira função.

Coimbra et al. (2000) encontraram 3 funções significativas estudando a correlação canônica na análise do rendimento de grãos de feijão e seus componentes. Outros bons resultados em pesquisas anteriores envolvendo correlações canônicas foram obtidos para mamoneira (BRUM et al., 2011), melão (NUNES et al., 2008), cana-de açúcar (SILVA et al., 2007), trigo (MILOCA et al., 2007) e pimentão (TAVARES, DE MELO e SCIVITTARO, 1999).

A existência de interações entre os atributos químicos do solo e os nutrientes do tecido foliar auxilia na tomada de decisão da fertilização do solo e permite entender o desenvolvimento do cafeeiro e a interação com a produtividade. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho utilizar a correlação canônica para determinar as relações existentes entre atributos químicos do solo e nutrientes foliares do cafeeiro conilon de propagação por sementes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em uma lavoura comercial do cafeeiro conilon de propagação seminal, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, na comunidade Boa Vista, Distrito de São Vicente (20°37'31'' de latitude S e 41°05'22'' de longitude W) e altitude média de 520,0 m. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (1928), a região possui categorização Cwa. O solo da área foi classificado como Cambissolo, de textura argilo-arenosa com 460 g kg<sup>-1</sup> de argila; 90 g kg<sup>-1</sup> de silte; e 450 g kg<sup>-1</sup> de areia total.

A espécie vegetal utilizada foi a *Coffea canephora* Pierre, de propagação seminal, adotando-se o espaçamento de 1,5m x 1,5m (4.444 plantas ha<sup>-1</sup>). A aplicação de corretivos e adubos químicos foi realizada conforme análise química do solo (PREZOTTI et al., 2007) e os tratos culturais e fitossanitários conforme Ferrão et al. (2007).

Os valores de precipitação foram estimados pelo método de interpolação Inverso da Distância Ponderada (IDP), com o grau expoente três, utilizando dados de 17 estações climáticas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme Drumond Neto (2007). Os dados de temperatura foram obtidos segundo Xavier et al. (2015). As temperaturas, máxima e mínima, na safra 2015/16 (1) foram de 33,23°C e 15,8°C, respectivamente, com uma precipitação pluvial anual de 820 mm. Na safra 2016/17 (2), a temperatura máxima foi de 32,71°C e mínima de 14,72°C, com uma precipitação acumulada de 1167 mm.

Na área experimental foram utilizados 80 pontos amostrais que constituíram a grade irregular, identificados com marcadores de metal, sendo o levantamento topográfico realizado por meio de uma estação total, com cada ponto amostral tendo uma área de 6,75 m<sup>2</sup>.

A análise foliar foi utilizada para caracterização do estado nutricional de cada ponto amostral, sendo que para a obtenção desses dados, retirou-se, no terço médio de cada planta, dois pares de folhas dos ramos laterais (3° e 4° pares contando da ponta para a base do plagiotrópico), nos quatro pontos cardeais (PREZOTTI e BRAGANÇA, 1995; ANDRADE, 2001) no mês de fevereiro de 2016 e 2017.

As folhas coletadas foram acondicionadas em envelope de papel e identificadas, secas em estufa a 65 °C até massa constante no Laboratório de Hidráulica, Recurso Hídrico da Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - LHRG/UFES-CCAEE. Posteriormente, foram encaminhadas para análise em laboratório particular, credenciado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para determinação dos teores dos nutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio, Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Cobre (Cu). As análises foram realizadas segundo o Manual de Métodos de Análises apresentado pela Embrapa (2011).

Em cada ponto georreferenciado foi coletada uma amostra de solo no mês de fevereiro de 2016 e 2017, na camada de 0-0,20 m de profundidade, com um trado inoxidável, na projeção da copa do cafeeiro. Para caracterização química do solo, foram mensurados os valores de acidez ativa em água (pH), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al), fósforo pelo método Mehlich (P<sup>+</sup>), fósforo remanescente (Prem), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (cu), Boro (B) matéria orgânica (MO), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (t), capacidade de troca de cátions a pH 7 (T), saturação por bases (V%).

Os dados obtidos foram analisados por meio das medidas de posição (média e mediana); medidas de dispersão (valores máximo e mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação); e a normalidade multivariada foi avaliada pelo gráfico Quantil-Quantil (Q-Q Plot).

De forma preliminar à análise de correlação canônica foram estimadas as correlações lineares simples entre as variáveis pela correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) para verificar se há multicolinearidade. Em caso de alta correlação entre as variáveis, a análise canônica foi realizada sem uma das variáveis, para verificar a influência dessa correlação na análise canônica, caso a retirada da variável tenha surtido pouco efeito na correlação, manteve-se o grupo de variáveis originais.

A análise de correlação canônica foi realizada considerando os dados originais, para verificar as associações existentes entre o grupo de atributos químicos do solo (pH, Ca, Al, K, S, P, Prem, MO, B, Cu, Fe, Mn e Zn) com um segundo grupo formado pelos nutrientes foliares (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) do cafeeiro. O primeiro grupo representa as variáveis independentes (X) e o segundo as dependentes (Y). Dessa forma, determinou-se 11 funções canônicas, de acordo com o menor grupo.

Após definir os grupos, gerou-se as funções canônicas e a significância das funções foram testadas pelo teste de Qui-quadrado ( $p \leq 0,01$ ).

Foram estimadas as cargas canônicas, que são as correlações entre as variáveis originais e suas respectivas funções canônicas e as cargas canônicas cruzadas que representam a correlação entre uma variável original de um determinado grupo e a função canônica do outro grupo.

A quantidade de variância compartilhada explicada entre as variáveis observadas dependentes e independentes e as suas respectivas variáveis estatísticas canônicas foi determinada elevando-se ao quadrado as cargas canônicas. O mesmo foi realizado para as cargas canônicas cruzadas com o intuito de estimar a variância compartilhada explicada entre a variável dependente ou independente observada com a variável estatística canônica oposta.

Os procedimentos utilizados para as análises estatísticas foram baseados nos trabalhos de diversos autores (PROTASIO et al. 2012; FERREIRA, 2008; HAIR JUNIOR et al., 2009; HAIR JUNIOR. et al., 2005; MINGOTI, 2005; TRUGILHO et al., 1997; TRUGILHO, LIMA e MORI, 2003).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Considerando os valores médios dos nutrientes dos tecidos foliares (Tabela 1), dentre os macronutrientes, apenas o  $K^1$  e  $K^2$  se encontram em deficiência, abaixo do intervalo adequado. Os macronutrientes que se encontram em concentração alta são:  $P^1$  e  $Ca^2$ , de acordo com a faixa proposta por Bragança, Prezotti e Lani (2007).

Elevar a concentração do K na planta é fundamental diante de sua importância na produtividade. O K aparece com maior concentração nos frutos, em particular na polpa do café, mas sem participar de moléculas orgânicas (SILVA et al., 2001). Ainda segundo esses autores, as quantidades de K nas partes vegetativas são suficientes para mostrar que esse nutriente desempenha um papel importante na nutrição dessa cultura. Em geral, altos teores de K estão associados com colheitas elevadas (MALAVOLTA et al., 1993). A presença de potássio na palha de café é elevada, sendo importante seu retorno para a lavoura, visando

reduzir a sua exportação do reservatório do solo (GUARÇONI, 2011). Além disso, elevar o teor de K no formulado aplicado é outra forma de disponibilizar esse nutriente para a planta.

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos macros e micronutrientes foliares da lavoura cafeeira.

Nutriente	Média	Md	S	Valores		CV (%)	Teste
				Mín	Máx		KS
N <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	2,95	2,87	0,22	2,59	3,50	7,45	ns
N <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	2,90	2,87	0,27	2,31	3,57	9,44	ns
P <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,17	0,17	0,02	0,13	0,22	11,76	ns
P <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,15	0,15	0,02	0,09	0,19	14,29	ns
K <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	1,64	1,67	0,16	1,40	2,00	10,36	ns
K <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	1,65	1,63	0,26	1,20	2,54	15,95	ns
Ca <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	1,35	1,35	0,18	1,00	1,67	13,33	ns
Ca <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	1,54	1,53	0,32	0,91	2,23	20,74	ns
Mg <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,37	0,37	0,03	0,30	0,43	8,11	ns
Mg <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,38	0,39	0,04	0,26	0,47	12,35	ns
S <sup>1</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,22	0,22	0,03	0,17	0,30	13,63	ns
S <sup>2</sup> (dag kg <sup>-1</sup> )	0,21	0,21	0,02	0,17	0,28	11,82	ns
Fe <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	108,33	108,92	19,07	65,60	149,05	17,61	ns
Fe <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	149,56	142,5	28,99	110,00	245,00	19,38	ns
Zn <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	7,79	7,52	1,45	5,10	11,35	18,58	ns
Zn <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	14,13	12,53	9,57	8,95	92,50	67,75	ns
Mn <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	90,17	90,00	32,38	28,20	165,00	35,92	ns
Mn <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	106,43	100,00	45,61	45,00	325,00	42,86	ns
B <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	39,51	39,23	6,15	26,59	54,75	15,56	ns
B <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	67,58	66,76	9,74	37,01	99,23	14,41	ns
Cu <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	18,67	17,22	6,40	7,15	35,50	34,26	ns
Cu <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	13,35	11,35	10,00	7,05	95,60	74,90	ns

<sup>1</sup>safra 2015/16; <sup>2</sup>safra 2016/17; Md – Mediana; S – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; ns – distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) em 1% de probabilidade.

Para os micronutrientes (Tabela 1) verifica-se que o Fe<sup>1</sup>, Zn<sup>1</sup> e o B<sup>1</sup> apresentam níveis médios abaixo do recomendado para cafeeiros conilon. O Mn<sup>1,2</sup> (safra 1 e 2) e B<sup>2</sup> apresentam concentrações maiores ou iguais ao recomendado.

A deficiência de micronutriente em uma cultura pode causar desequilíbrio no metabolismo vegetal, tornando as plantas mais sensíveis a pragas e doenças, ocasionando aumento nos gastos com defensivos e onerando o custo da cultura (TOMAZ et al., 2011). Na cultura do café, a falta de micronutrientes pode provocar diminuição no crescimento da planta e quebra na produção (MALAVOLTA, 1986). Diante disso, a correção dos micronutrientes em deficiência é fundamental para o bom desenvolvimento da lavoura.

O resultado da análise descritiva dos atributos de solo do cafeeiro conilon nas safras de 2015/16 (<sup>1</sup>) e 2016/17 (<sup>2</sup>) está na Tabela 2. Segundo classificação proposta por Prezotti et al. (2007) e de acordo com a análise, o solo apresenta média acidez, com baixas concentrações de Cu<sup>s</sup> e P<sup>s</sup> (s = solo) e altas concentrações de Fe<sup>s</sup>, Mn<sup>s</sup> e S<sup>s</sup>. Para o Zn<sup>s</sup> a concentração foi média na safra 1 e alta na safra 2. Todos os demais atributos apresentaram média concentração em



ambas as safras.

Como enfatizado por Santos et al. (2008) quando o teor do nutriente é baixo, a dose deve ser ajustada para recompor a exportação pela cultura e alcançar ou manter o teor ótimo no solo. Dessa forma, há necessidade imediata de fornecer Cu e P no solo.

Os coeficientes de correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) para as variáveis de solo e de plantas estão apresentados nas Tabelas 3 e 4. Com relação à magnitude das correlações significativas entre todas as variáveis avaliadas, variaram de 0,22 a 0,94 na primeira safra e entre 0,22 a 0,95 na segunda safra.

**Tabela 2.** Estatística descritiva dos atributos de solo da lavoura cafeeira.

Nutriente	Média	Md	S	Valores		CV (%)	Teste
				Mín	Máx		KS
pH <sup>1</sup> (em H <sub>2</sub> O)	5,26	5,30	0,42	4,40	6,40	8,05	ns
pH <sup>2</sup> (em H <sub>2</sub> O)	5,38	5,40	0,18	5,00	5,90	3,37	ns
Al <sup>1</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,42	0,35	0,21	0,10	1,10	50,77	ns
Al <sup>2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,30	0,26	0,16	0,10	0,84	55,40	ns
B <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	0,42	0,40	0,10	0,30	0,70	24,08	ns
B <sup>2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	0,54	0,50	0,29	0,11	1,28	54,16	ns
Ca <sup>1</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,41	2,30	0,95	0,80	5,10	39,69	ns
Ca <sup>2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,84	2,00	0,35	1,00	2,50	19,21	ns
Cu <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	0,60	0,60	0,16	0,40	1,00	26,20	ns
Cu <sup>2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	0,62	0,60	0,33	0,10	1,80	53,08	ns
Fe <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	93,19	94,00	25,85	35,00	150,00	27,74	ns
Fe <sup>2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	155,43	152,50	45,95	73,00	252,00	29,56	ns
K <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	136,20	118,50	54,89	52,00	287,00	40,30	ns
K <sup>2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	115,41	111,50	42,35	42,00	224,00	36,70	ns
Mn <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	28,16	27,55	14,43	6,60	71,80	51,23	ns
Mn <sup>2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	39,59	35,90	19,05	11,60	107,90	48,12	ns
MO <sup>1</sup> (dag dm <sup>-3</sup> )	2,52	2,50	0,39	1,50	3,40	15,69	ns
MO <sup>2</sup> (dag dm <sup>-3</sup> )	1,65	1,70	0,17	1,20	2,00	10,48	ns
P <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	7,40	6,55	4,07	1,70	20,10	54,95	ns
P <sup>2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	9,47	8,65	3,51	4,20	21,00	37,06	ns
Prem <sup>1</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	21,36	22,15	4,21	10,90	31,00	19,71	ns
Prem <sup>2</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	25,79	25,95	2,82	19,30	33,30	10,93	ns
S <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	39,74	37,50	17,96	12,00	70,00	45,21	ns
S <sup>2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	25,99	26,00	5,16	15,00	38,00	19,86	ns
Zn <sup>1</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	1,51	1,40	0,63	0,00	3,00	41,53	ns
Zn <sup>2</sup> (mg dm <sup>-3</sup> )	2,30	2,20	0,69	0,90	4,10	30,04	ns

<sup>1</sup>safra 2015/16; <sup>2</sup>safra 2016/17; Md – Mediana; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; ns – distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) em 1% de probabilidade.

O Ca<sup>s</sup> (0,94<sup>1</sup>; 0,95<sup>2</sup>) e Al<sup>s</sup> (-0,93<sup>1</sup>; -0,81<sup>2</sup>) mantiveram alta correlação, segundo classificação de Callegari-Jaques (2003), nas duas safras com o pH do solo, sendo os valores entre parênteses a correlação na safra 1 e 2, respectivamente. Apesar da alta correlação do Ca<sup>2+</sup> e do Al<sup>3+</sup> com o pH, a retirada da variável pH não influenciou o suficiente para que fosse retirada da análise. O número de funções significativas se manteve, e os pesos dos nutrientes não tiveram grandes modificações, dessa forma, optou-se por manter o pH na análise.

**Tabela 3.** Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) entre os atributos de solo e os nutrientes no tecido foliar para a safra 1.

	pH <sup>s</sup>	Ca <sup>s</sup>	Al <sup>s</sup>	K <sup>s</sup>	S <sup>s</sup>	P <sup>s</sup>	Prem <sup>s</sup>	MO <sup>s</sup>	B <sup>s</sup>	Zn <sup>s</sup>	Cu <sup>s</sup>	Fe <sup>s</sup>	Mn <sup>s</sup>	N <sup>t</sup>	P <sup>t</sup>	K <sup>t</sup>	Ca <sup>t</sup>	Mg <sup>t</sup>	S <sup>t</sup>	B <sup>t</sup>	Cu <sup>t</sup>	Fe <sup>t</sup>	Mn <sup>t</sup>	Zn <sup>t</sup>	
pH <sup>s</sup>	1,00	0,94	-0,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca <sup>s</sup>		1,00	-0,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al <sup>s</sup>			1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K <sup>s</sup>				1,00	0,49	0,44	-	-	-0,24	0,22	-	0,33	-	-	-	-0,31	-0,23	-	-0,32	-	-	-0,29	-	-	-
S <sup>s</sup>					1,00	0,61	-0,23	-	-0,24	0,39	-	0,32	-	-	-	-	-0,40	-	-	-	-	-	-	-	-
P <sup>s</sup>						1,00	-	-	-	-	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prem <sup>s</sup>							1,00	-	0,26	-0,29	-	-0,33	-	-	-	-	0,23	-	-	-	-	-	-	-	-
MO <sup>s</sup>								1,00	-	-	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,25	-0,24	-	-
B <sup>s</sup>									1,00	-0,37	-	-0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn <sup>s</sup>										1,00	0,63	0,33	-	-0,29	-	-	-0,26	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu <sup>s</sup>											1,00	-	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	-
Fe <sup>s</sup>												1,00	-	-	-	-	-	-	-0,23	-	-	-0,35	-0,25	-0,30	-
Mn <sup>s</sup>													1,00	-	-0,30	-	-	0,23	0,32	0,29	-0,39	0,37	0,58	-	-
N <sup>t</sup>														1,00	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P <sup>t</sup>															1,00	-	-	-	-	-	0,34	-0,23	-	-	-
K <sup>t</sup>																1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca <sup>t</sup>																	1,00	-	-	0,28	-	-	-	-	0,22
Mg <sup>t</sup>																		1,00	-	-	-	-	-	-	-
S <sup>t</sup>																			1,00	0,15	-0,31	0,37	-	-	-
B <sup>t</sup>																				1,00	-0,28	0,35	0,36	0,26	-
Cu <sup>t</sup>																					1,00	-	-0,34	-	-
F <sup>t</sup>																						1,00	0,48	0,27	-
Mn <sup>t</sup>																							1,00	0,32	-
Zn <sup>t</sup>																									1,00

<sup>s</sup> : atributo de solo; <sup>t</sup>: nutriente no tecido foliar.

**Tabela 4.** Correlação de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) entre os atributos de solo e os nutrientes no tecido foliar para a safra 2.

	pH <sup>s</sup>	Ca <sup>s</sup>	Al <sup>s</sup>	K <sup>s</sup>	S <sup>s</sup>	P <sup>s</sup>	Prem <sup>s</sup>	MO <sup>s</sup>	B <sup>s</sup>	Zn <sup>s</sup>	Cu <sup>s</sup>	Fe <sup>s</sup>	Mn <sup>s</sup>	N <sup>t</sup>	P <sup>t</sup>	K <sup>t</sup>	Ca <sup>t</sup>	Mg <sup>t</sup>	S <sup>t</sup>	B <sup>t</sup>	Cu <sup>t</sup>	Fe <sup>t</sup>	Mn <sup>t</sup>	Zn <sup>t</sup>	
pH <sup>s</sup>	1,00	0,95	-0,81	0,28	-0,25	-	-0,28	-	-	0,36	-	-	-	-	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca <sup>s</sup>		1,00	-0,77	0,33	-0,23	-	0,25	-	-	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	-	-	-	-	-	-
Al <sup>s</sup>			1,00	-	-	-	-	-	-	-0,24	-	-	-	-	-0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K <sup>s</sup>				1,00	-	-	-	0,28	-	0,38	-	0,24	-	-0,25	-	-	0,29	-0,30	-	-	-	-	-	-	-
S <sup>s</sup>					1,00	-	-0,45	-	-	-	-	-0,25	-	-	-	-	-0,25	-	-	-	-	-	-0,34	-	-
P <sup>s</sup>						1,00	-	-	-	-	0,23	-	-	-	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,22	-
Prem <sup>s</sup>							1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MO <sup>s</sup>								1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,24	-	-	-	-	-	-	-
B <sup>s</sup>									1,00	-	-	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn <sup>s</sup>										1,00	0,41	0,24	-	-	-	-	-	-	0,34	-	0,34	-	-0,37	-	-
Cu <sup>s</sup>											1,00	0,28	-	-	-	-	-	-	0,34	-	0,29	-	-0,33	-	-
Fe <sup>s</sup>												1,00	-	-	-	-	0,41	-	-	-	-	0,24	-0,33	-	-
Mn <sup>s</sup>													1,00	-	-	-0,38	-	-	-	-	-0,39	-	0,42	-	-
N <sup>t</sup>														1,00	0,25	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22
P <sup>t</sup>															1,00	0,24	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-
K <sup>t</sup>																1,00	-	-	-	-	-	-0,33	-	-	-
Ca <sup>t</sup>																	1,00	0,27	-	0,32	-	0,47	-0,29	-	-
Mg <sup>t</sup>																		1,00	-	-	-	-	-	-	0,31
S <sup>t</sup>																			1,00	-	0,32	-	-0,23	-	-
B <sup>t</sup>																				1,00	-	-	-	-	-
Cu <sup>t</sup>																					1,00	-	-0,50	-	-
Fe <sup>t</sup>																						1,00	-	0,25	-
Mn <sup>t</sup>																							1,00	-	-
Zn <sup>t</sup>																									1,00

<sup>s</sup>: atributo de solo; <sup>t</sup>: nutriente no tecido foliar.

A primeira função canônica na safra 1 e as duas primeiras funções canônicas na safra 2 (Tabela 5) foram significativas em nível de 1% de probabilidade ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste de Qui quadrado, conseqüentemente, essas serão as funções canônicas de interesse do estudo. A significância dessas funções indica que quando essas são removidas, não há significância para o restante do conjunto de raízes.

**Tabela 5.** Correlação canônica e teste de significância para as funções canônicas.

Função canônica	Correlação canônica	R <sup>2</sup> canônico	Qui quadrado	GL	p
Safra 1					
<b>1</b>	<b>0,85</b>	<b>0,72</b>	<b>242,62</b>	<b>143,00</b>	<b>0,000*</b>
2	0,70	0,49	156,82	120,00	0,014
3	0,62	0,39	111,65	99,00	0,182
4	0,56	0,31	79,15	80,00	0,506
5	0,49	0,24	54,37	63,00	0,772
6	0,44	0,19	36,38	48,00	0,890
7	0,37	0,14	22,14	35,00	0,955
8	0,28	0,08	12,09	24,00	0,979
9	0,23	0,05	6,69	15,00	0,966
10	0,16	0,03	2,99	8,00	0,935
11	0,13	0,02	1,18	3,00	0,758
Safra 2					
<b>1</b>	<b>0,77</b>	<b>0,59</b>	<b>240,49</b>	<b>143,00</b>	<b>0,000*</b>
<b>2</b>	<b>0,74</b>	<b>0,55</b>	<b>180,39</b>	<b>120,00</b>	<b>0,000*</b>
3	0,64	0,41	127,71	99,00	0,028
4	0,59	0,35	92,42	80,00	0,162
5	0,53	0,28	64,24	63,00	0,433
6	0,46	0,21	42,16	48,00	0,710
7	0,39	0,15	26,46	35,00	0,850
8	0,34	0,12	15,78	24,00	0,896
9	0,26	0,07	7,41	15,00	0,945
10	0,15	0,02	2,57	8,00	0,958
11	0,12	0,01	0,96	3,00	0,811

Em negrito significativo pelo teste de Qui quadrado.

O R canônico ou correlação canônica na safra 1 é significativo e igual a 0,85 para a primeira e mais importante função canônica. Esse valor mostra a intensidade da relação entre a variável estatística canônica dependente e independente. Na segunda safra têm duas funções significativas com R canônico de 0,77 e 0,74, respectivamente.

Os resultados mostram valores de R<sup>2</sup> de 0,72 para a primeira função na safra 1 e de 0,59 e 0,55 para as duas funções da safra 2. Um elevado R<sup>2</sup> canônico indica que a quantidade de variância explicada entre as variáveis estatísticas canônicas independente e dependente da

função foi expressiva para os grupos de características analisadas (PROTÁSIO et al., 2012). Esse alto valor de  $R^2$  é um indicativo da influência dos atributos de solo nos nutrientes presentes no tecido vegetal do cafeeiro.

As funções canônicas representam a soma ponderada das variáveis em cada conjunto, ou seja, cada variável possui peso diferente, como mostrado na Tabela 6. Para Protasio et al. (2014), a análise e interpretação de pesos canônicos implica examinar o sinal e sua magnitude, de forma que as variáveis com pesos canônicos relativamente maiores contribuam mais para as variáveis estatísticas e vice-versa.

Os nutrientes no tecido foliar da safra 1 com maiores pesos são  $K^t$ ,  $S^t$  e  $Mn^t$  que possuem pesos, em valores absolutos, maiores que 0,30. Para atributos de solo, têm  $Ca^{2+s}$ ,  $MO^s$  e  $Mn^s$  com maiores pesos. Na safra 2 têm o  $Ca^t$ ,  $Mg^t$ ,  $S^t$ ,  $Fe^t$  e  $Mn^t$  como os nutrientes no tecido foliar que mais contribuem para a função 1 e  $P^t$ ,  $K^t$ ,  $Ca^t$  e  $Fe^t$  para a função 2. Os atributos de solo que mais contribuem na função 1 são  $Ca^s$ ,  $Al^s$ ,  $Prem$  e  $Mn^s$ . Para a função 2 são  $pH$ ,  $K^s$ ,  $S^s$ ,  $MO$ ,  $B^s$ ,  $Fe^s$  e  $Mn^s$ .

Brandelero et al. (2016) estudando caracteres de plantas do brócolis determinantes da produção de cabeça, encontraram peso de 0,64 na variável que mais contribui na correlação. Neste estudo o maior peso foi de 0,87 para o  $Mn^s$  na safra 1, seguido pelo  $Mn^t$  na safra 1 (0,58),  $Mn^t$  na safra 2 na primeira e segunda função (0,51). Para a primeira e segunda função canônica na safra 2, os atributos de solo que apresentaram maior peso foram  $Prem^s$  (-0,50) e  $Fe^s$  (-0,39).

Na Tabela 6 também se encontram as cargas canônicas e as cargas canônicas cruzadas. Quanto maior a carga canônica de uma variável dentro de um grupo, maior a correlação dessa variável com as demais variáveis do grupo. Quando usou a correlação canônica, relações diretas que não foram encontradas na correlação de Pearson foram observadas, como a relação do  $Mn^t$  com o  $S^t$  e o  $P^t$ . Os resultados encontrados na safra 1 evidenciam que o  $Mn^t$  possui relação direta com  $S^t$ ,  $B^t$  e  $Fe^t$ , e inversa com  $P^t$  e  $Cu^t$ . Isso mostra que apesar de o  $Mn^t$  estar em excesso, ele ainda não atingiu o ponto de reduzir o nível de  $Fe^t$ , mostrando que a deficiência de  $Fe^t$  na safra 1 não ocorreu devido ao excesso de Mn. Outra relação que fica evidenciada nessa lavoura pela correlação canônica é o antagonismo existente entre o  $Fe^t$  e o  $Cu^t$ . Assim, o excesso de  $Cu^t$  pode estar contribuindo para a deficiência de  $Fe^t$ .

Ao analisar os atributos de solo, vê uma relação direta entre  $MO$ ,  $K^{+s}$  e  $Fe^s$ . Já o  $Cu^s$  tem relação inversa com o mesmo. A relação inversa entre a  $MO$  e o  $Cu^s$  é esperada uma vez que a qualidade e quantidade de matéria orgânica no solo podem afetar a disponibilidade e mobilidade de metais como o Cu (LEITA et al., 1999). Segundo Prado et al. (2006), há

interações entre o Cu e ácidos húmicos formando complexos AH-Cu. Assim como a interação com a MO, a análise canônica também evidenciou o antagonismo entre o Fe<sup>s</sup> e o Cu<sup>s</sup>, mostrando que o excesso de Cu pode provocar deficiência em Fe e que essa relação acontece tanto no solo quanto no tecido foliar. O Mn<sup>s</sup> teve relação inversa com o Fe<sup>s</sup>.

**Tabela 6.** Pesos, cargas canônicas e cargas canônicas cruzadas para as funções canônicas nas duas safras.

	Pesos	Cargas	Cargas canônicas	Pesos canônicos	Cargas canônicas	Cargas canônicas			
	Canônicos	Canônicas	cruzadas			cruzadas			
	SAFRA 1			SAFRA 2					
	Funções								
	1	1	1	1	2	1	2	1	2
N <sup>t</sup>	0,05	0,00	0,00	-0,06	0,00	-0,13	-0,08	-0,10	-0,06
P <sup>t</sup>	-0,18	-0,36	-0,31	0,17	0,30	0,30	0,15	0,23	0,11
K <sup>t</sup>	-0,34	-0,25	-0,21	-0,01	-0,85	0,17	-0,56	0,13	-0,43
Ca <sup>t</sup>	0,10	0,10	0,08	0,32	-0,40	0,11	-0,54	0,08	-0,42
Mg <sup>t</sup>	0,05	0,17	0,15	-0,41	-0,10	-0,37	-0,17	-0,28	-0,13
S <sup>t</sup>	0,30	0,51	0,43	0,47	-0,01	0,47	0,02	0,36	0,02
B <sup>t</sup>	0,02	0,41	0,35	0,06	0,17	0,05	-0,16	0,04	-0,12
Cu <sup>t</sup>	-0,24	-0,57	-0,49	0,13	0,09	0,60	0,00	0,46	0,00
Fe <sup>t</sup>	0,17	0,62	0,52	-0,51	-0,51	-0,30	-0,42	-0,23	-0,32
Mn <sup>t</sup>	0,58	0,80	0,68	-0,45	0,14	-0,65	0,32	-0,50	0,25
Zn <sup>t</sup>	-0,16	0,17	0,15	-0,06	0,29	-0,20	0,04	-0,16	0,03
pH <sup>s</sup>	-0,02	0,04	0,03	-0,01	-0,34	0,50	-0,19	0,39	-0,14
Ca <sup>s</sup>	-0,33	0,01	0,01	0,82	0,21	0,60	-0,17	0,46	-0,13
Al <sup>s</sup>	-0,22	-0,07	-0,06	0,30	-0,22	-0,32	-0,05	-0,25	-0,04
K <sup>s</sup>	-0,23	-0,41	-0,35	0,08	-0,43	0,35	-0,37	0,27	-0,28
S <sup>s</sup>	0,25	-0,10	-0,09	0,00	0,33	0,05	0,52	0,04	0,40
P <sup>s</sup>	-0,15	-0,06	-0,05	0,29	0,05	0,39	0,03	0,30	0,02
Prem	0,03	0,14	0,12	-0,50	-0,13	-0,31	-0,32	-0,24	-0,24
MO	-0,38	-0,31	-0,26	0,22	0,45	0,30	0,42	0,23	0,33
B <sup>s</sup>	0,03	0,09	0,08	0,23	0,34	0,29	0,18	0,22	0,14
Zn <sup>s</sup>	-0,25	0,03	0,03	-0,03	0,04	0,57	-0,10	0,44	-0,08
Cu <sup>s</sup>	0,22	0,31	0,26	0,25	0,19	0,34	0,01	0,26	0,01
Fe <sup>s</sup>	-0,04	-0,35	-0,30	-0,05	-0,39	0,24	-0,39	0,18	-0,30
Mn <sup>s</sup>	0,87	0,82	0,70	-0,32	0,44	-0,41	0,44	-0,32	0,34

Na avaliação da safra 2, houve relação direta do Mn<sup>t</sup> com Mg<sup>t</sup> e inversa com o S<sup>t</sup> e Cu<sup>t</sup>. A relação inversa entre o Mn<sup>s</sup> e o Cu<sup>s</sup> também foi observada. Veloso et al. (1995) notaram tendência de decréscimo na concentração de Cu em pimenta-do-reino à medida que se aumenta a concentração de Mn. O Fe<sup>t</sup> e o Mn<sup>t</sup>, assim como na safra 1, possuem relação direta.

As interações entre o pH,  $\text{Ca}^s$  e  $\text{Al}^s$  podem ser vistas na primeira função canônica na safra 2, uma relação direta do pH com o  $\text{Ca}^s$  e inversa com o  $\text{Al}^s$ . Essa correlação é importante para explicar a necessidade da calagem nos solos com baixo pH, mostrando que ela deve ser realizada constantemente para evitar que o solo chegue em um estado que possa prejudicar a cultura. A relação inversa entre o pH e o Al foi estudada por Malavolta (1989), que mostrou que à medida que o pH aumenta, até um pH em torno 6,0, a concentração de Al no solo é reduzida de forma linear. A correção da acidez do solo, se realizada corretamente, pode corrigir os efeitos negativos do Al, elevando o potencial agrícola dos solos e, conseqüentemente, aumentando a produtividade das lavouras. Segundo Cyamweshi et al. (2014) sob condições ácidas, alguns dos nutrientes essenciais, como P, Ca e Mg, são feitos indisponíveis na solução do solo para a absorção da planta devido à abundância de elementos como Al e Mn. A correlação canônica confirma essa afirmação através da relação direta entre o  $\text{Al}^s$  e  $\text{Mn}^s$  e inversa dos dois com o  $\text{Ca}^s$  e  $\text{P}^s$ .

A segunda função canônica mostra a relação direta entre os  $\text{K}^t$ ,  $\text{Ca}^t$  e  $\text{Fe}^t$  e relação inversa desses com o  $\text{Mn}^t$ . No solo há relação direta entre  $\text{K}^{+s}$ ,  $\text{P}^m$  e  $\text{Fe}^s$ , e esses se relacionam de forma inversa com  $\text{S}^s$ ,  $\text{MO}$  e  $\text{Mn}^s$ . Assim, o Mn e o  $\text{K}^+$  têm relação inversa no solo e no tecido foliar. Ramani e Kannan (1974) observaram que K, Ca e Mg desempenham um importante papel na absorção do Mn pelas plantas. Os cátions promovem a absorção quando Mn está presente em pequenas quantidades ou diminui efetivamente a absorção de Mn, quando esse está presente em quantidades elevadas e que podem ser tóxicas. O Mn está em excesso tanto no tecido foliar quanto no solo, dessa forma o K está agindo como nutriente antagônico, para evitar que a absorção do Mn possa prejudicar a planta.

Fageria, Baligar e Wright (1990) relataram que a adição de Mn no solo foi atribuída à redução da concentração de Fe. Fageria e Rabelo (1987) informaram que a absorção de S pela alfafa, trigo, arroz e trevo vermelho diminuiu ao aumentar os níveis de Fe no meio de crescimento. Da mesma forma, em alfafa, trevo vermelho e trigo a absorção de Mn diminuiu em alta concentração de Fe. Apesar de serem diferentes culturas, na lavoura cafeeira a análise canônica mostrou resultados semelhantes, mostrando essa relação inversa entre  $\text{S}^s$  e  $\text{F}^s$  e entre  $\text{Mn}^s$  e  $\text{Fe}^s$ .

Avaliando a carga canônica cruzada, o  $\text{K}^+$  no tecido foliar teve relação com a variável estatística independente nas duas safras. Os atributos de solo que mais influenciaram na concentração de K no tecido foliar nas duas safras foram  $\text{Mn}^s$ , K, MO e Fe. Grunes et al. (1992) descobriram que a adubação com  $\text{K}^+$  aumentou significativamente as concentrações de K no tecido foliar a custa das concentrações de  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  em três gramíneas de estação

fresca. As relações diretas do K no tecido foliar com o  $K^s$  e o  $Ca^s$  confirmam a relação existente entre esses dois nutrientes para a cultura do cafeeiro. Ishizuka e Tanaka (1960) estudaram as interações de Ca com outros nutrientes e relataram que o Ca estimulou a absorção de K em determinadas concentrações de íons.

O  $P^t$  foi influenciado pela variável estatística independente, sendo  $P^s$ ,  $K^s$ ,  $Ca^s$ ,  $Zn^s$ , pH, MO,  $Fe^s$  e  $Mn^s$  os atributos de solo que contribuíram nessa interação. O  $Mn^s$  foi o atributo de solo que mais influenciou no  $P^t$ , tendo uma relação inversa entre os dois. Para Silva e Lima (2012), níveis insuficientes do P no tecido vegetal afetam a absorção de outros elementos essenciais que são importantes protetores durante as fases de crescimento e desenvolvimento da cultura. Segundo Amaral, Rena e Amaral (2006), interações entre P e outros elementos na planta podem ocorrer durante a absorção e transporte radial por longas distâncias, e no metabolismo do elemento dentro das cadeias metabólicas do café.

A correlação linear entre a variável independente e dependente teve forte influência do  $K^t$  e  $Mn^s$ . A análise de correlação canônica evidenciou uma relação inversa entre as concentrações de  $K^t$  e  $Mn^s$  nas duas safras, mostrando que o excesso de  $Mn^s$  está influenciando na deficiência de K no tecido foliar.

As concentrações de  $Cu^t$ ,  $Fe^t$  tiveram relação direta com a concentração desses atributos no solo ( $Cu^s$  e  $Fe^s$ ) nas duas safras. A vantagem de interpretar a relação entre os atributos de solo e os nutrientes foliares pela correlação canônica é ter uma dimensão de quais os elementos no solo estão influenciando a absorção dos demais. Por exemplo, apesar do Fe estar em concentração elevada no solo, ele se encontra em deficiência no tecido foliar, isso porque ele está sendo afetado pelo excesso de  $S^s$  e  $Mn^s$ , como é possível ver na carga canônica cruzada da função 2.

Durante a análise dos dados encontrou sinergismo, antagonismo e relação neutra entre os nutrientes, porém essas relações são complexas e devem ser avaliadas com cuidado. Em todas as análises foi possível observar que um nutriente interage simultaneamente com mais de um atributo, assim como relatado por Fageria (2001).

O resultado encontrado mostra a importância de avaliar a interação dos nutrientes para a tomada de decisão no manejo da lavoura. O Cu está em deficiência no solo, e uma das fontes inorgânicas desse nutriente é o sulfato de cobre ( $CuSO_4$ ), porém é possível ver na carga canônica da segunda função da safra 2 que o teor de S no solo foi um dos atributos do grupo de variáveis independentes que afetou o teor de K no tecido foliar, dessa forma, recomendar o óxido cúprico é a melhor opção. Essa mesma avaliação pode ser usada como escolha de fórmulas de óxidos silicatados (“fritas”) que apresentam diferentes teores de micronutrientes.



A quantidade de variância compartilhada explicada pela variável estatística canônica dependente na safra 1 foi, em média de 18,45% (Tabela 7). Observa-se que o Mn<sup>t</sup> apresentou o maior percentual de variância explicada na variável estatística canônica dependente (64%). Desse modo, o Mn<sup>t</sup> pode ser considerado o nutriente mais relevante na variável estatística canônica dependente. O Mn<sup>s</sup> também foi o atributo mais relevante na variável estatística independente, tendo 67% de variância explicada. A variância média compartilhada pela variável estatística canônica independente foi de 4,42%.

Na safra 2, a média da variância compartilhada foi de 12,91% variável estatística canônica dependente e 14,58% na independente na primeira função. O Mn<sup>t</sup> e o Ca<sup>s</sup> foram os mais relevantes em seus grupos, com 42% e 36% de variância explicada, respectivamente. Na segunda função canônica obteve-se uma média de variância compartilhada explicada de 8,82% para variável estatística canônica dependente e de 12,91 para a independente. Sendo o K<sup>t</sup> (31%) e o Ss (27%) os mais relevantes quanto à variância compartilhada explicada.

**Tabela 7.** Variância compartilhada explicada e índice de redundância para as funções canônicas nas duas safras.

	1		1		1		2		1		2	
	CC <sup>2</sup>	VCE	CCC <sup>2</sup>	IR	CC <sup>2</sup>	VCE	CC <sup>2</sup>	VCE	CCC <sup>2</sup>	IR	CCC <sup>2</sup>	IR
N <sup>t</sup>	0,00		0,00		0,02		0,01		0,01		0,00	
P <sup>t</sup>	0,13		0,10		0,09		0,02		0,05		0,01	
K <sup>t</sup>	0,06		0,04		0,03		0,31		0,02		0,18	
Ca <sup>t</sup>	0,01		0,01		0,01		0,29		0,01		0,18	
Mg <sup>t</sup>	0,03		0,02		0,14		0,03		0,08		0,02	
S <sup>t</sup>	0,26	18,45	0,18	13,27	0,22	12,91	0,00	8,82	0,13	7,64	0,00	5,09
B <sup>t</sup>	0,17		0,12		0,00		0,03		0,00		0,01	
Cu <sup>t</sup>	0,32		0,24		0,36		0,00		0,21		0,00	
Fe <sup>t</sup>	0,38		0,27		0,09		0,18		0,05		0,10	
Mn <sup>t</sup>	0,64		0,46		0,42		0,10		0,25		0,06	
Zn <sup>t</sup>	0,03		0,02		0,04		0,00		0,03		0,00	
pH	0,00		0,00		0,25		0,04		0,15		0,02	
Ca <sup>s</sup>	0,00		0,00		0,36		0,03		0,21		0,02	
Al <sup>s</sup>	0,00		0,00		0,10		0,00		0,06		0,00	
K <sup>s</sup>	0,17		0,12		0,12		0,14		0,07		0,08	
S <sup>s</sup>	0,01		0,01		0,00		0,27		0,00		0,16	
P <sup>s</sup>	0,00		0,00		0,15		0,00		0,09		0,00	
Prem	0,02	4,42	0,01	3,17	0,10	14,58	0,10	12,91	0,06	12,91	0,06	7,64
MO	0,10		0,07		0,09		0,18		0,05		0,11	
B <sup>s</sup>	0,01		0,01		0,08		0,03		0,05		0,02	
Zn <sup>s</sup>	0,00		0,00		0,32		0,01		0,19		0,01	
Cu <sup>s</sup>	0,10		0,07		0,12		0,00		0,07		0,00	
Fe <sup>s</sup>	0,12		0,09		0,06		0,15		0,03		0,09	
Mn <sup>s</sup>	0,67		0,49		0,17		0,19		0,10		0,12	

CC<sup>2</sup> : carga canônica quadrada; VCE: variância compartilhada explicada; CCC<sup>2</sup>: carga canônica cruzada quadrada; IR:

Avaliando o índice de redundância na safra 1 observa-se que 13,27% da variância dos nutrientes no tecido foliar foram explicadas pelos atributos de solo, sendo que 46% da variância do  $Mn^t$  podem ser explicadas pelos atributos de solo. Esse resultado reforça a necessidade de controle da concentração de Mn no solo. 3,17% da variância da variável estatística canônica independente foi explicada pela dependente.

Na segunda safra tem-se 7,64% e 5,09% da variância dos nutrientes explicadas pelos atributos de solo na primeira e segunda função canônica, respectivamente. As variáveis dependentes explicaram 12,91% e 7,64% das variáveis independentes. O índice de redundância é semelhante ao  $R^2$  de uma regressão múltipla, porém a análise canônica trabalha com um grupo de variáveis dependente, dessa forma o índice de redundância.

Segundo Hair Junior et al. (2009), nenhuma orientação generalizada foi estabelecida sobre o índice de redundância mínimo aceitável, sendo que na avaliação das funções canônicas, o pesquisador deve julgar a sua significância teórica e prática perante a pesquisa realizada. Protásio et al. (2012) encontraram índices de redundância de 8,68% para o grupo de variáveis dependentes usando a análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. Protasio et al. (2014) encontraram valores de 50% e 26% em duas funções canônicas quando usaram a correlação canônica para avaliar características do carvão de *Qualea parviflora* Mart.

Neste estudo, o percentual de variância explicada não apresentou valores elevados, mas isso é esperado devido ao grande número de variáveis em cada grupo. Mas, a interação entre os nutrientes ficou evidente com embasamento teórico para explicar a relação existente entre os nutrientes.

#### 4. CONCLUSÃO

Houve relação direta entre a concentração de potássio no tecido foliar com o potássio no solo nas duas safras. Sendo que outros atributos de solo, como Matéria Orgânica, Ferro, Manganês e Enxofre também influenciaram nessa relação, mostrando que os atributos de solo no grupo independente interagem em conjunto sobre os nutrientes no tecido foliar.

Na safra 1 o  $Mn^t$  pode ser considerado o nutriente mais relevante na variável estatística canônica dependente. O  $Mn^s$  também foi o atributo mais relevante na variável estatística independente, tendo 67% de variância explicada. Na safra 2, na primeira função canônica o  $Mn^t$  e o  $Ca^s$  foram os mais relevantes em seus grupos, com 42% e 36% de variância explicada, respectivamente. Na segunda função canônica o  $K^t$  (31%) e o  $Ss$  (27%) os mais relevantes quanto à variância compartilhada explicada.

Os resultados obtidos demonstram a possibilidade de utilização dessa técnica de análise multivariada para realizar inferências a respeito da interação entre nutrientes no tecido foliar e atributos de solo em *Coffea canephora*.

## 5. REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, F. A. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:377-384, 2006.
- ANDRADE, C. E. **Calagem e adubação do café**. Viçosa: Aprenda Fazer, 2001. 130p.
- BRAGANÇA, S. M.; PREZOTTI, L. C.; LANI, J. A. **Nutrição do cafeeiro conilon**. In: *Café Conilon*. Vitória: Incaper, 2007. p. 299–327.
- BRANDELERO, F. D.; BRUM, B.; STORCK, L.; CARDOSO, J.; KUTZ, T. S.; VARGAS, T. O. Plant characters of broccoli determinants of head production. **Ciência Rural**, v. 46, n. 6, p. 963–969, 2016.
- BRUM, B.; LOPES, S. J.; STORCK, L.; LUCIO, A. D.; OLIVEIRA, P. H.; MILANI, M. Correlações canônicas entre variáveis de semente, plântula, planta e produção de grãos em mamoneira. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 3, p. 404–411, 2011.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
- COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; CARVALHO, F. I. F.; AZEVEDO, R. Correlações canônicas: II - análise do rendimento de grãos de feijão e seus componentes. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 31–35, 2000.
- CYAMWESHI, R. A.; NABAHUNGU, N. L.; MUKASHEMA, A.; RUGANZU, V.; GATARAYIHA, M.C.; NDUWUMUREMYI, A.; BONIGABA, J. J. Enhancing nutrient availability and coffee yield on acid soils of the central plateau of southern Rwanda. **Global journal of Agricultural Research**, v. 2, n. 2, p. 44–55, 2014.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 230 p.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. Iron Nutrition of Plants: An Overview on the Chemistry and Physiology of Its Deficiency and Toxicity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, p. 553–570, 1990.
- FAGERIA, N. K.; RABELO, N. A. Tolerance of rice cultivars to iron toxicity. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, n. 6, p. 653–661, 1987.
- FAGERIA, V. D. nutrient interactions in crop plants. **Journal of plant nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1269–1290, 2001.
- FAGUNDES, A. V. Cuidados com o equilíbrio nutricional do cafeeiro. **CaféPoint**. 2016. Disponível em: <<https://www.cafepoint.com.br/radares-tecnicos/solos-e-nutricao/cuidados-com-o-equilibrio-nutricional-do-cafeeiro-70285n.aspx>>. Acesso em: 22 jan. 2018.
- FARNEZI, M. M. de M.; SILVA, E. de B.; GUIMARÃES, P. T. C. Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): normas DRIS e faixas críticas de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 969- 978, 2009.

- FARNEZI, M. M. M.; SILVA, E. B.; GUIMARAES, P. T. E.; PINTO, N. Levantamento da qualidade da bebida do café e avaliação do estado nutricional dos cafeeiros do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, através do DRIS. **Ciencia Agrotecnica**, v.34, p.1191-1198, 2010.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Ed.). **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. 702 p.
- FERREIRA, D. F. **Estatística Multivariada**. Lavras: UFLA, 2008. 662p.
- FONSECA, A. S.; SOUZA, J. S. S.; ASSIS, S. A.; XAVIER, AL. C.; DRUMOND NETO, A. P. Spatial variability of the productivity and the nutritional condition of coffee canephora. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 420–428, 2015.
- GRUNES, D. L.; HUANG, H; SMITH, F. W.; JOO, P. K.; HEWES, D. A. Potassium effects on minerals and organic acids in three cool-season grasses. **Journal of Plant Nutrition**, v. 15, n. 6–7, p. 1007–1025, 1992.
- GUARÇONI, M. A. Nutrição e adubação do café. In: TOMAZ, M. A. et al. (Eds.). **Tecnologia para Sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre/ES: CAUFES, 2011. p. 125–154.
- HAIR JUNIOR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.
- HAIR JUNIOR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.
- ISHIZUKA, Y.; TANAKA, A. Studies on the Metabolism of Nutritional Elements in Rice Plants. **Journal of the Science of Soil and Manure**, v. 31, p. 491–494, 1960.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- LEITA, L.; DE NOBILI, M.; MONDINI, C.; MUHLBACHOVA, G.; MARCHIOL, L.; BRAGATO, G.; CONTIN, M. Influence of inorganic and organic fertilization on soil microbial biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 28, n. 4, p. 371–376, 1999.
- MALAVOLTA, E. et al. Seja o doutor do seu cafezal. **Informações Agronomicas**, v. 64, p. 1–10, 1993.
- MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia: Nutriplant Indústria e Comércio, 1986.
- MILOCA, S. A.; CHAVES NETO, A.; VOLPI, N. M.; CONEJO, P. D. Relação entre variáveis meteorológicas e a qualidade industrial do trigo. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 31–37, 2007.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297p.
- NUNES, G. H. DE S.; BARROS, A. K. de A.; QUEIROZ, M. A. de; SILVA, R. A.; LIMA, L. L. DE L. Correlações entre características de meloeiro. **Revista caatinga**, v. 21, n. 1, p. 107–112, 2008.

- PRADO, A.G. S.; TORRES, J. D.; MARTINS, P. C.; PERTUSATTI, J.; BOLZON, L. B.; FARIA, E. A. Studies on copper(II)-and zinc(II)-mixed ligand complexes of humic acid. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, p. 585–588, 2006.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória: SEEA; INCAPER; CEDAGRO. 2007. 301p.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/ CEDAGRO, 2007. 305p.
- PROTASIO, T. de P.; GUIMARÃES NETO, R. M.; SANTANA, J. DE D. P. de; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; TRUGILHO, P. F. Canonical correlation analysis of the characteristics of charcoal from *Qualea parviflora* Mart. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 81–88, 2014.
- PROTÁSIO, T. de P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 317–326, 2012.
- RAMANI, S.; KANNAN, S. Effects of certain cations on manganese absorption by excised rice roots. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 5, n. 5, p. 427–436, 1974.
- SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n.2, 2008.
- SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E. Resposta do cafeeiro à adubação potássica em safras de baixa e alta produção. Brasília: **Pesquisa Agropecuária**, v.36, n.11, p. 1331-1337, nov., 2001
- SILVA, J. W. DA; SOARES, L.; FERREIRA, P. V.; SILVA, P. P. DA; SILVA, M. J. C. Correlações canônicas de características agroindustriais em cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 345–349, 2007.
- SILVA, S. A. LIMA, J. S. S. Análise multivariada e geoestatística da fertilidade de um Latossolo Vermelho Hérico sob cultivo de café. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.36, p. 467-474, 2012.
- SILVA, S.A.; LIMA, J. S. S. Spatial estimation of foliar phosphorus in different species of the genus Coffea based on soil properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.5, p.1439-1447, 2014.
- TAVARES, M.; DE MELO, A. M. T.; SCIVITTARO, W. B. Efeitos diretos e indiretos e correlações canônicas para caracteres relacionados com a produção de pimentão. **Bragantia**, v. 58, n. 1, p. 41–47, 1999.
- TOMAZ, M. A.; MARTINEZ, H. E. P.; RODRIGUES, W. N.; FERRARI, R. B.; PEREIRA, A. A.; SAKIYAMA, N. S. Eficiência de absorção e utilização de boro, zinco, cobre e manganês em mudas enxertadas de cafeeiro. **Ceres**, v. 58, n. 1, p. 108–114, 2011.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **CERNE** (UFL), v. 9, n. 1, p. 81–91, 2003.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B. R.; REGAZZI, A. J.; GOMIDE, J. L. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 259–267, 1997.

VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; DE CARVALHO, J. G. Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira do reino (*Piper nigrum* L.). **Scientia agricola**, v. 52, n. 2, p. 376–383, 1995.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013), **International Journal of Climatology**, 2016, 36 (6), 2644–2659.

## CAPITULO III

### Análise espacial de variáveis biométricas, rendimento e produtividade do cafeeiro conilon

**RESUMO:** A estimativa da produtividade no cafeeiro é de grande importância para o produtor tomar decisões prévias sobre o manejo da lavoura, colheita e no processamento pós-colheita. Objetivou-se com este trabalho estudar a variabilidade espacial da produtividade, variáveis biométricas (número de: ramos ortotrópicos, ramos plagiotrópicos, rosetas por ramo plagiotrópico e frutos por rosetas), rendimento (massa de grãos, índices de quebra e percentual de casca) e estimar a produtividade em duas safras utilizando como covariáveis as variáveis biométricas do cafeeiro conilon seminal. O experimento foi realizado no sul do Espírito Santo, em uma área cultivada com cafeeiro conilon seminal, em uma malha amostral, totalizando 80 pontos georreferenciados. As variáveis biométricas foram obtidas por contagem nas safras de 2015/16 e 2016/17. Na colheita determinou-se a produção conhecendo a massa úmida de frutos por ponto amostral. Após secagem determinou-se a massa seca com casca e beneficiada (pilada) para calcular o índice de quebra por ponto amostral na lavoura. Todas as variáveis apresentaram diferença significativa entre as duas safras, pelo teste de t ( $p \leq 0,05$ ). A produtividade do cafeeiro, massa de grãos, variáveis de rendimento e variáveis biométricas apresentaram dependência espacial nas duas safras estudadas, com ajuste de semivariograma aos modelos esférico e exponencial. As variáveis (massa seca) MS1 (massa seca safra 1), MS2 (massa seca safra 2), IQU/B (índice de quebra) e RO (ramo ortotrópico) apresentam o mesmo padrão de distribuição espacial nas duas safras. A estimativa da produtividade utilizando variáveis biométricas apresenta similaridade com a cokrigagem, indicando que as covariáveis são eficientes na estimativa da produtividade.

**Palavras chave:** *Coffea canephora*; Índices de quebra; Dados biométricos.

**ABSTRACT:** The estimation of coffee productivity is of great importance for the producer to make previous decisions on crop management, harvesting and post-harvest processing. The objective of this study was to study the spatial variability of productivity, biometric variables (number of: orthotropic branches, plagiotropic branches, rosettes by plagiotropic branch and fruits by rosettes), yield (grain mass, break index and percentage of bark) and to estimate the yield in two harvests using the covariates of the biometric variables of the seminal conilon coffee. The experiment was carried out in the South of Espírito Santo, in an area planted with conilon seminal coffee, in a sample mesh, totaling 80 georeferenced points. The biometric variables were obtained by counting in the harvests of 2015/16 and 2016/17. At harvest the production was determined knowing the wet mass of fruits per sampling point. After drying, the dry mass with bark and benefited (pounded) was determined to calculate the rate of breakage per sampling point in the crop. All variables showed a significant difference between the two harvests, t-test ( $p \leq 0.05$ ). Coffee productivity, grain mass, yield variables and biometric variables showed spatial dependence in the two harvests studied, with semivariogram adjustment to spherical and exponential models. The variables (dry mass) MS1 (crop dry mass 1), MS2 (crop dry mass 2), IQU / B (breaking index) and RO (orthotropic branch) present the same pattern of spatial distribution in the two harvests. The estimation of the productivity using biometric variables presents similarity with the cokrigagem, indicating that the covariates are efficient in the estimate of the productivity.

**Keywords:** *Coffea canephora*; Break rates; Biometric data.



## 1. INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos agrícolas exportados, agregando considerável volume de recursos à balança comercial nacional, com grande influência nos aspectos sociais, econômicos e no agronegócio do País. A estimativa da produtividade tem grande importância na agricultura, ajudando o produtor a tomar decisões prévias sobre, transporte, armazenamento e lucros na comercialização.

Pesquisas têm sido realizadas com o cafeeiro conilon no intuito de determinar a dependência espacial de variáveis do solo e as relativas às plantas, em separado ou correlacionadas, na tentativa de interpretar e otimizar a aplicação de insumos na lavoura (LIMA et al., 2016). A utilização conjunta de diferentes variáveis do sistema solo-planta pode conduzir a resultados mais confiáveis no levantamento de dados, oferecendo informações mais precisas para o gerenciamento do agronegócio cafeeiro (SILVA et al., 2014) identificando e interpretando, por exemplo, zonas de diferentes produtividades.

A busca por variáveis da planta que afetam a produtividade e possam ser utilizadas para estimar e entender a mesma, tem aumentado consideravelmente, apesar de conhecer que variáveis climáticas também influenciam e muito na cultura do cafeeiro. Um método que vem sendo utilizado com sucesso para estimar espacialmente uma variável que apresenta um certo grau de correlação linear com uma outra (covariável) é denominado de cokrigagem. Esta metodologia foi utilizada por Farnell, Rigo e Martin-Vide (2018) na estimativa do tamanho do granizo usando dados de observação de superfície; Yang et al. (2016) estimaram a densidade aparente do solo utilizando o teor de água no solo; Manthena, Kadiyala e Kumar (2009) para obtenção de concentrações de Radônio usando o Urânio como covariável. Na cafeicultura, Lima et al. (2016) estimaram a produtividade do cafeeiro conilon em três safras consecutivas, utilizando a cokrigagem, considerando o número de ramos ortotrópicos em cada safra.

A análise do comportamento vegetativo por meio das variáveis biométricas do cafeeiro é de grande importância para auxiliar em práticas de manejo da lavoura e na compreensão da produtividade de café. Severino et al. (2002) estudaram correlações genotípicas entre características agronômicas da copa de café arábica (*Coffea arabica* L.) e as relações causa-efeito com a produtividade de café beneficiado.

Em relação à produtividade do cafeeiro conilon, Oliveira (2007) afirma que bons resultados para esta característica passam pelo entendimento da distribuição espacial do número de ramos ortotrópicos. Sendo assim, tem-se a premissa que a produtividade da lavoura do cafeeiro conilon é estimada espacialmente considerando as variáveis biométricas

da planta (número de: ortotrópicos, plagiotrópicos, rosetas e frutos por rosetas) no seu ciclo produtivo.

Neste contexto, objetivou-se estudar a variabilidade espacial da produtividade, variáveis biométricas (ramos ortotrópicos, ramos plagiotrópicos, rosetas por ramo plagiotrópico e de frutos por roseta) e rendimento (massa de grãos, índices de quebra e percentual de casca) em uma área sob cultivo de café conilon em duas safras consecutivas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em uma lavoura comercial do cafeeiro conilon de propagação seminal, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, na comunidade Boa Vista, Distrito de São Vicente (20°37'31'' de latitude S e 41°05'22'' de longitude W) e altitude média de 520,0 m. De acordo com a classificação climática de Koppen-Geiger (1928), a região possui categorização Cwa. O solo da área foi classificado como Cambissolo, de textura argilo-arenosa com 460 g kg<sup>-1</sup> de argila; 90 g kg<sup>-1</sup> de silte; e 450 g kg<sup>-1</sup> de areia total.

A espécie vegetal utilizada foi a *Coffea canephora* Pierre, de propagação seminal, adotando-se o espaçamento de 1,5m x 1,5m (4.444 plantas ha<sup>-1</sup>). A aplicação de corretivos e adubos químicos foi realizada conforme análise química do solo (PREZOTTI et al., 2007) e os tratos culturais e fitossanitários conforme Ferrão et al. (2007).

Os valores de precipitação foram estimados pelo método de interpolação Inverso da Distância Ponderada (IDP), com o grau expoente três, utilizando dados de 17 estações climáticas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) conforme Drumond Neto (2007). Os dados de temperatura foram obtidos segundo Xavier et al. (2015). As temperaturas, máxima e mínima, na safra 2015/16 <sup>(1)</sup> foram de 33,23°C e 15,8°C, respectivamente, com uma precipitação pluvial anual de 820 mm. Na safra 2016/17 <sup>(2)</sup>, a temperatura máxima foi de 32,71°C e mínima de 14,72°C, com uma precipitação acumulada de 1167 mm.

Na área experimental foram utilizados 80 pontos amostrais que constituíram a grade irregular, identificados com marcadores de metal, sendo o levantamento topográfico realizado por meio de uma estação total, com cada ponto fazendo uma área de 6,75 m<sup>2</sup>.

As variáveis biométricas do cafeeiro determinadas na malha amostral foram, tais como: número de ramos plagiotrópicos por planta (RP) e número de ramos ortotrópicos por planta (RO) que foram obtidos por contagem direta. Para o número de rosetas por ramo plagiotrópico (ROS/RP) e o número de frutos por roseta (FRU/ROS) contou-se o número de

rosetas e os frutos em 12 ramos plagiotrópicos em cada planta dos respectivos pontos amostrais, nos 4 pontos cardeais, totalizando 36 ramos que foram usados para representar no ponto. A contagem foi realizada nos anos de 2016 e 2017, uma semana antes da colheita.

Para melhor interpretação dos dados, ainda foram determinadas as variáveis que representam a massa total de grãos em cada ponto: massa úmida de grãos por ponto (MU), massa seca de grãos por ponto (MS) e massa de grãos beneficiados por ponto (MB). A massa úmida (MU) foi obtida em campo por pesagem com Mini Balança Digital WeiHeng 4 dígitos de precisão. Em laboratório subamostras foram retiradas em cada ponto amostral e levadas a estufa para secagem à 45°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) até umidade de 11-12 % (b.u) para determinar a massa seca (MS). Os dados obtidos foram transformados com base no total colhido por ponto para determinação da massa seca (MS). As subamostras pontuais foram beneficiadas (piladas) e determinada a massa beneficiada (MB). O índice de quebra (IQU/B) foi determinado pela relação em MU/MB. As variáveis de massa dos grãos representam o ponto e, portanto, é a massa em kg para uma área equivalente a 6,75 m<sup>2</sup>.

O percentual de casca (%Casca) foi calculado de acordo com a equação 1:

$$\%Casca = (SS-SB)/SS*100 \quad (1)$$

em que: SS é a subamostra seca (kg); e SB é a subamostra beneficiada (kg).

O total médio do número de frutos de café por ponto (FRUt) no total de ramos plagiotrópicos por ponto foi obtido de acordo com a equação 2:

$$FRUt = (FRU/ROS)*(ROS/RP)*RPt \quad (2)$$

em que: FRUt = total de frutos por ponto amostral; FRU/ROS= número de frutos por rosetas ; ROS/RP= número de roseta por ramo plagiotrópico e RPt = total de ramos plagiotrópicos por ponto.

Após o beneficiamento da subamostra (SB) foi feito um cálculo para determinar a produtividade do ponto amostral conforme equação 3:

$$Prod = [(10000 * MU * AP^{-1}) * (MB/MU)^{-1}]/60 \quad (3)$$

em que: Prod = produtividade do ponto (sc ha<sup>-1</sup>); MU = massa úmida do ponto (kg); AP = área do ponto (m<sup>2</sup>); MB = massa de café beneficiada (kg); MU = massa de café úmido com casca (kg).

Após processamento dos dados fez-se uma análise descritiva para determinação das medidas de posição (média, mediana, valor mínimo, valor máximo, primeiro quartil e terceiro quartil) e de dispersão (desvio padrão, coeficientes de assimetria, curtose e variação). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste Kolmogorov-Smirnov (valor-p ≤ 0,05). A comparação entre as médias das variáveis nos dois anos (safra) foi realizada pelo teste de t (valor-p ≤ 0,05).

Análise de correlação linear de Pearson (valor-p ≤ 0,05) foi realizada para determinação da relação entre as variáveis das plantas, considerando-se a classificação de Callegari-Jaques (2003). Pelo fato das variáveis biométricas serem variáveis discretas (RO, RP, ROS/RP, FRU/ROS) o valor das estatísticas foram arredondados para um valor inteiro próximo, e foi feita uma distribuição de frequência dessas variáveis para complementar a análise.

Uma análise de regressão múltipla foi utilizada para estimar a produtividade (sc ha<sup>-1</sup>) por ponto amostral, como variável dependente, e tendo como variáveis independentes as variáveis biométricas estudadas. Antes da validação dos resultados da análise de regressão, foram verificadas as suposições exigidas pela mesma, como: homogeneidade de variância; distribuição normal dos resíduos; ausência de multicolinearidade; e existência de observações influentes. No processo de regressão múltipla utilizou-se para a inserção das variáveis independentes o método passo-a-passo (*stepwise forward*).

A análise espacial foi realizada com intuito de determinar o grau da dependência espacial entre as amostras, sendo utilizados ajustes de semivariogramas teóricos aos dados experimentais, com base no pressuposto de estacionaridade intrínseca (equação 4):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [(Z_1(x_i) - Z_2(x_i + h))^2] \quad (4)$$

em que:  $\gamma(h)$  é a semivariância estimada;  $N(h)$  é o número de pares do atributo estudado; e  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$  são os valores dos atributos medidos na posição  $x_i$  e  $x_i + h$ , separados por um vetor  $h$  (distância entre amostras).

Nos ajustes dos semivariogramas foram testados os modelos teóricos: esférico, exponencial e gaussiano. O modelo foi escolhido pela minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e pelo coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ) resultante do ajuste aos semivariogramas experimentais pelo método dos mínimos quadrados. Os semivariogramas

simples e cruzados foram escalonados pela variância e covariância, respectivamente, dos dados para efeito de padronização da escala da semivariância.

O grau de dependência espacial (GDE) foi considerado pela relação  $[C_0/(C_0+C)]*100$  e classificado conforme Cambardella et al. (1994), que considera a dependência espacial como fraca ( $GDE > 75\%$ ), moderada ( $25\% \leq GDE \leq 75\%$ ) e forte ( $GDE < 25\%$ ). Com a dependência espacial confirmada foram confeccionados, por krigagem ordinária, os mapas de distribuição espacial para os valores das variáveis biométricas e a produtividade de café (Prod).

Para estimar a produtividade (sc ha<sup>-1</sup>) em função das covariáveis, tais como: ramos plagiotrópicos (RP), ramos ortotrópicos (RO), número de rosetas por ramo plagiotrópico (ROS/RP) e frutos por roseta (FRU/ROS) em cada safra, utilizou-se a extensão multivariada da krigagem, conhecida como cokrigagem, como demonstrado por Isaaks e Srivastava (1989); Silva et al., (2010a) e Lima et al. (2016). Este método baseia-se nos parâmetros expressos por um semivariograma cruzado entre duas variáveis, para a estimativa de novos valores em locais não amostrados, conforme a equação 5.

$$\gamma_{12}(h) = \frac{1}{2N_h} \left\{ \sum_{i=1}^{N_h} [Z_1(x_i + h) - Z_1(x_1)] * [Z_2(x_i + h) - Z_2(x_1)] \right\} \quad (5)$$

em que:  $\gamma_{12}(h)$  é a covariância existente entre a variável e a covariável em função do vetor distância entre elas.

O método cokrigagem é utilizado quando amostras são coletadas, de preferência na sua totalidade, dentro de um mesmo domínio espacial e apresentam significativo grau de correlação (GOOVAERTS, 1997; LANDIM, STURARO e MONTEIRO, 2002; SOARES, 2006). A estimativa de uma variável  $Z^*(x_0)$ , para qualquer local  $x_0$ , deve ser uma combinação linear das variáveis aleatórias  $Z_1$  e  $Z_2$ , conforme equação 6:

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \gamma_{1i} Z_1(X_{1i}) + \sum_{j=1}^{N_2} \gamma_{2j} Z_2(X_{2j}) \quad (6)$$

em que:  $N_1$  e  $N_2$  são os números de vizinhos medidos de  $Z_1$  e  $Z_2$  (variável aleatória), respectivamente, e  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  são os ponderadores associados a  $Z_1$  e  $Z_2$ , os quais são distribuídos de acordo com a dependência espacial de cada uma das variáveis entre si e com a correlação cruzada entre elas. Da mesma forma que na krigagem, para que este estimador seja ótimo, ele também deve ter variância mínima e ser não tendencioso (LANDIM, STURARO e MONTEIRO, 2002).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva dos dados está apresentada na Tabela 1, sendo que todas as variáveis em estudo apresentaram diferenças significativas entre as duas safras pelo teste de t (valor- $p \leq 0,05$ ), sendo maiores valores médios na safra 2015/16, com exceção para ROS/RP que apresentou maior na safra 2016/17.

Na safra 1 houve uma produção maior de grãos (MU) em relação à safra 2, o que refletiu na produtividade também maior na safra 1. Isso também fica visível quando observamos o número de frutos total por ponto (FRUt), que o valor médio na safra 1 é 2,73 vezes superior à quantidade na safra 2. É esperado esse maior número de frutos, já que o RP na safra 1 também foi superior ao da safra 2. Sabe-se que fatores climáticos, tratos culturais e a bienalidade da cultura do café influenciou nas diferenças apresentadas entre as duas safras, tanto nas variáveis biométricas como na produtividade.

Em geral, como apresentado por Ferrão et al. (2007) para o café conilon a proporção entre café cereja (MU) e café beneficiado (MB) apresenta um índice de quebra (IQU/B) variando na relação de 3,3:1 a 5,2:1, o que é influenciado pelo seu material genético e que este índice aumenta à medida que se colhem frutos verdes em quantidade. Neste estudo, o valor do IQU/B1 (safra 1) foi igual a 4,0:1 e o IQU/B2 (safra 2) igual a 3,63:1, estando dentro da proporção esperada para o café conilon e apresentando diferença significativa pelo teste t entre as duas safras. Galote et al. (2013) encontraram um índice de quebra de 4,62:1, enquanto que Dardengo (2012) encontrou o valor de 4,5:1 avaliando o rendimento do café conilon variedade Robusta Tropical (seminal), ambos os valores acima do encontrado neste estudo para café seminal. Pereira (2015) conseguiu encontrar uma quebra de 3,9:1 no conilon vitória (clonal) irrigado.

Observa-se a quebra do café seco para o beneficiado mensurada pelo percentual de casca na safra 1 foi de 45,25% e na safra 2 foi de 43,36%, o que gera uma quebra de  $(1 - 0,4525 = 0,5475$  ou 54,75% de café grãos cru), ou seja, 1,83/1 e  $(1 - 0,4336 = 0,5664$  ou 56,64% de grãos cru), ou seja, 1,76/1, respectivamente. Galote et al (2013) encontraram um valor de quebra de 1,95:1 para o café Robusta Tropical. Portanto, nas duas safras em estudo, o café conilon seminal foi melhor em relação ao Robusta Tropical (seminal) quando comparamos os índices de quebra.

**Tabela 1.** Análise descritiva das variáveis biométricas do cafeeiro conilon e das produtividades, índice de quebra e % de casca em duas safras consecutivas.

	<b>M</b>	<b>Md</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>s</b>	<b>CV</b>	<b>Cs</b>	<b>Ck</b>	<b>KS</b>
<b>MU1 (kg)</b>	10,11 <sup>a</sup>	9,69	3,18	18,41	3,63	35,94	0,23	-0,70	ns
<b>MU2 (kg)</b>	5,57 <sup>b</sup>	5,48	0,36	12,91	2,86	51,40	0,37	-0,02	ns
<b>MS1 (kg)</b>	4,71 <sup>a</sup>	4,67	1,50	8,35	1,68	35,62	0,16	-0,90	ns
<b>MS2 (kg)</b>	2,70 <sup>b</sup>	2,70	0,17	6,57	1,39	51,67	0,52	0,26	ns
<b>MB1 (kg)</b>	2,59 <sup>a</sup>	2,49	0,83	4,62	1,01	38,94	0,22	-0,99	ns
<b>MB2(kg)</b>	1,54 <sup>b</sup>	1,52	0,09	3,94	0,81	52,55	0,51	0,36	ns
<b>IQU/B1</b>	4,00 <sup>a</sup>	3,97	2,72	5,58	0,68	17,02	0,27	-0,31	ns
<b>IQU/B2</b>	3,63 <sup>b</sup>	3,63	2,86	5,00	0,31	8,44	0,82	0,40	ns
<b>Casca1 (%)</b>	45,25 <sup>a</sup>	45,17	29,85	63,30	6,40	14,15	0,14	0,20	ns
<b>Casca2 (%)</b>	43,36 <sup>b</sup>	42,71	36,55	55,63	4,22	9,74	0,76	0,18	ns
<b>RO1</b>	5,00 <sup>a</sup>	5,00	2,00	7,00	1,03	20,72	0,47	0,28	ns
<b>RO2</b>	3,00 <sup>b</sup>	3,50	1,00	6,00	0,93	27,78	0,67	0,59	ns
<b>RP1</b>	75,00 <sup>a</sup>	73,0	39,0	153,00	23,66	31,42	0,83	0,82	ns
<b>RP2</b>	44,00 <sup>b</sup>	44,0	3,00	88,00	13,70	30,84	0,24	1,29	ns
<b>ROS/RP1</b>	7,00 <sup>b</sup>	7,00	4,00	10,00	1,14	15,89	0,27	0,10	ns
<b>ROS/RP2</b>	8,00 <sup>a</sup>	7,50	3,00	14,00	1,90	24,74	0,71	1,00	ns
<b>FRU/ROS1</b>	12,00 <sup>a</sup>	11,0	3,00	20,00	2,80	23,79	0,31	0,81	ns
<b>FRU/ROS2</b>	7,00 <sup>b</sup>	6,00	2,00	13,00	2,16	32,80	1,09	1,09	ns
<b>FRUt1</b>	19.686 <sup>a</sup>	18,289	2,264	54,578	9,820,76	49,89	1,10	1,34	ns
<b>FRUt2</b>	7.185 <sup>b</sup>	5.965	946	20.188	4.443,30	61,84	1,21	1,23	ns
<b>Prod1(sc ha<sup>-1</sup>)</b>	58,30 <sup>a</sup>	55,29	20,37	102,60	21,75	37,30	0,27	-0,95	ns
<b>Prod2(sc ha<sup>-1</sup>)</b>	33,23 <sup>b</sup>	32,69	3,95	69,00	16,24	48,87	0,32	-0,50	ns

**M:** média; **Md:** mediana; **s:** desvio padrão; **CV:** coeficiente de variação; **Cs:** Coeficiente de simetria; **Ck:** coeficiente de curtose; **ns:** distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras diferentes, em coluna, para uma mesma variável, diferem significativamente pelo teste de t (valor-p≤0,05)

A produtividade média da lavoura em 2015/16 foi de 58,30 sc ha<sup>-1</sup> (saca de 60 kg) (Tabela 2), valor bem acima da produtividade média do estado no ano anterior relatado pela CONAB (2015) que foi de 27,41 sc ha<sup>-1</sup> e, também, acima da média estadual da safra 2015/16, que foi de 26 sc kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016). Na lavoura foi possível encontrar produtividade máxima de 102,60 sc ha<sup>-1</sup> e mínima de 20,37 sc ha<sup>-1</sup>, mostrando grande variabilidade da mesma na área. Como mencionado anterior, esta variabilidade é influenciada por fatores climáticos, tratos culturais e a bienalidade da cultura.

Na safra 2016/17 a produtividade teve média significativamente menor (33,19 sc ha<sup>-1</sup>), com valor mínimo de 3,95 e máximo de 69 sc ha<sup>-1</sup>, sendo essa redução influenciada diretamente pela poda que foi realizada após a colheita de 2015/16, que foi considerada bem acentuada, disponibilizando menos ramos produtivos em relação à safra anterior. A estimativa para o estado era de recuperação de parte do potencial de produtividade em 2017, com produtividade média estadual de 25,13 sc ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2017). Apesar da menor

produtividade em relação à safra anterior, mesmo assim, a produtividade da lavoura em estudo foi 30,0% maior que a média estadual.

Na safra de 2016/17 foi um ano de bienalidade negativa, o que também contribuiu para a menor produtividade da lavoura. Apesar de a bienalidade ser menos expressiva no cafeeiro conilon, ela ainda está presente. Este fato é comumente atribuída à diminuição das reservas das plantas em anos de safra com altas produtividades, o que faz com que, em virtude do menor crescimento dos ramos plagiotrópicos e, conseqüentemente, menor número de rosetas, o que afeta a produção no ano seguinte.

Os coeficientes de variação (CV) para a variável %casca2 (safra 2016/17) apresentou baixa variação ( $CV < 12\%$ ), e média variação ( $12\% < CV < 60\%$ ) para as demais variáveis conforme classificação proposta por Warrick e Nielsen, (1980). Silva et al. (2010b) também encontraram média variação estudando a produtividade de café conilon. Segundo Berlato, Farenzena e Fontana (2005), a instabilidade climática influencia acentuadamente a variabilidade da produtividade das culturas.

Todas as variáveis apresentaram distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (valor- $p \leq 0,05$ ). Segundo Isaaks e Srivastarava (1989), quando os dados não apresentarem distribuição normal, o importante é que a distribuição não apresente cauda muito alongada, o que pode influenciar a definição do patamar e o ajuste do semivariograma, o que não ocorreu. Lima et al. (2016) também encontraram distribuição normal para produtividade e ramos ortotrópicos para o cafeeiro conilon Robusta Tropical (seminal).

Para a curtose, as variáveis MU1, MU2, MS1, MB1, IQU/B1, Prod1 e Prod2 apresentaram distribuição platicúrtica ( $Ck < 0$ ), correspondendo a 31,8% dos dados. As demais variáveis possuem distribuição leptocúrtica ( $Ck > 0$ ) (68,2% dos dados com concentração em torno do valor médio). Quanto à assimetria (Cs) todas as variáveis apresentaram distribuição com assimetria à direita, com média maior que a mediana e com concentração de valores abaixo da média.

No auxílio da interpretação da análise descritiva das variáveis biométricas discretas, na Tabela 2 verifica-se a distribuição de frequência das variáveis do cafeeiro nas safras 2015/16 e 2016/17.

Levando em conta o espaçamento do cafeeiro em estudo, o ideal para esta lavoura seria possuir 3 ramos ortotrópicos (RO) por planta, levando em consideração que o sistema de cultivo predominante para o café conilon utiliza um total de 10.000 a 16.000 ramos ortotrópicos por hectare, conforme Fonseca et al. (2007). Considerando que a área de estudo é pequena e não adequada para a mecanização, o aumento da densidade da cultura é,



particularmente, desejável, como enfatizado por Verdin Filho et al (2014), o que faz com que plantas com o número de RO entre 3 e 4 sejam a melhor opção para esta lavoura. Na safra 1 temos 48,75% dos pontos com essa média de ramos ortotrópicos. Após a poda realizada no fim da safra 1, esse valor aumentou para 66,25%. Além disso, houve uma redução de 43,0% no número de pontos com média maior que 5 ramos ortotrópicos. Em consequência dessa redução de RO, também há redução das demais variáveis, o que, a curto prazo, acarreta em uma menor produtividade, como visto na Tabela 2.

**Tabela 2.** Distribuição de frequência das variáveis biométricas do cafeeiro conilon em duas safras consecutivas.

Safra 1 (2015/16)									
RO1		RP1		ROS/RP1		FRU/ROS1		FRUt1	
Classes	Freq.	Classes	Freq	Classes	Freq	Classes	Freq	Classes	Freq
1 —4	0	20 —65	30	3 —7	33	2 —9	9	900 —18900	44
3 —5	39	65 —110	46	7 —11	47	9 —16	65	18900 —36900	29
5 —7	41	110 —155	4	11 —15	0	16 —24	6	36900 —54900	7
Safra 2 (2016/17)									
RO2		RP2		ROS/RP2		FRU/ROS2		FRUt2	
Classes	Freq.	Classes	Freq	Classes	Freq	Classes	Freq	Classes	Freq
1 —3	21	20 —65	74	3 —7	29	2 —9	69	900 —18900	77
3 —5	53	65 —110	6	7 —11	45	9 —16	11	18900 —36900	3
5 —7	6	110 —155	0	11 —15	6	16 —24	0	36900 —54900	0

Freq. Frequência de amostras dentro da classe indicada

Apesar da poda, o número de ROS/RP não sofreu muita alteração de uma safra para outra, já o número FRU/ROS diminuiu consideravelmente. A produção do cafeeiro, e, conseqüentemente, do cafezal, atende a uma fórmula matemática, em que a sua área produtiva, representada pelo número de ramos laterais, ao ser multiplicada pelo número médio de rosetas e pelo número de FRU/ROS resulta no total de frutos por planta (MATIELLO et. al., 2015), o que determina a importância da quantidade dessas variáveis. Para esses autores uma boa quantidade de frutos, normal em plantas que vão ser bem produtivas, é aquele acima de 10 a 15 frutos/roseta.

As correlações entre as produtividades das duas safras e as variáveis das respectivas safras estão na Tabela 3 e 4. De acordo com a classificação proposta por Callegari-Jacques (2003), as correlações entre MU1xMS1, MU1xMB1, MS1xMB1, Prod1xMS, Prod1xMB1, MU2xMS2, MU2xMB2, MS2xMB2, Prod2xMU2, Prod2xMS2 e Prod2xMB2 foram muito fortes ( $0,90 \leq r < 1,0$ ). A MS e MB é resultado da perda de umidade e de casca da MU,

respectivamente, e a produtividade foi calculada com base produção do ponto (MU), o que justifica a alta correlação com as variáveis de massa dos pontos.

**Tabela 3.** Correlações significativas de Pearson (r) (valor- $p \leq 0,05$ ) entre as variáveis em estudo para safra 1 (2015/16)

	MU1	MS1	MB1	RO1	RP1	ROS/RP1	FRU/ROS1	FRUt1	IQU/B1	%Casca1	Prod1
MU1	1	0,94	0,90	0,27	0,53	0,24	0,29	0,51	ns	ns	0,88
MS1	-	1	0,96	0,36	0,67	0,24	0,31	0,61	-0,23	ns	0,94
MB1	-	-	1	0,35	0,69	0,27	0,33	0,63	-0,4	-0,42	0,98
RO1	-	-	-	1	0,43	0,26	ns	0,41	-0,28	ns	0,33
RP1	-	-	-	-	1	0,24	0,26	0,83	-0,41	-0,25	0,67
ROS/RP1	-	-	-	-	-	1	ns	0,47	ns	ns	0,23
FRU/ROS1	-	-	-	-	-	-	1	0,64	-0,23	ns	0,31
FRUt1	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,36	-0,25	0,61
IQU/B1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,72	-0,41
%Casca1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,42
Prod1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

As correlações entre RP1xMS1, RP1xMB1, FRUt1xMS1, FRUt1xMB1, FRUt1xRP1, FRUt1xFRUt/ROS1, Casca1xIQU/B1, Prod1xMU1, Prod1xRP1, Prod1xFRUt1, FRUt2xRP2, FRUt2xFRU/ROS2, foram fortes ( $0,60 \leq r < 0,90$ ). A correlação forte e positiva entre FRUt com RP e FRU/ROS se repetiu nas duas safras, e mostra que o número de ramos plagiotrópicos é importante no total de frutos na planta.

Para RO1xMS1, RO1xMB1, RP1xMU1, RP1xRO1, FRU/ROS1xMS1, FRU/ROS1xMB1, FRUt1xMU1, FRUt1xRO1, FRUt1xROS/RP1, IQU/B1xMB1, IQU/B1xRP1, IQU/B1xFRUt1, Casca1xMB1, Prod1xRO1, Prod1xFRU/ROS1, Prod1xIQU/B1, RP2xMU2, RP2xMS2, RP2xMB2, ROS/RP2xRO2, FRU/ROS2xMU2, FRU/ROS2xMS2, FRU/ROS2xMB2, FRU/ROS2xRP2, FRU/ROS2xROS/RP2, FRUt2xMU2, FRUt2xMS2, FRUt2xMB2, FRUt2xROS/RP2, Casca2xMU2, Casca2xMB2, Prod2xRP2, Prod2xFRU/ROS2, Prod2xFRUt2, Prod2xCasca2 apresentaram moderada correlação ( $0,30 \leq r < 0,60$ ). As demais correlações significativas foram fracas.

**Tabela 4.** Correlação de Pearson (r) (valor- $p \leq 0,05$ ) entre as variáveis em estudo para safra 2 (2016/17)

	MU2	MS2	MB2	RO2	RP2	ROS/RP2	FRU/OS2	FRUt2	IQU/B2	%Casca2	Prod2
MU2	1	0,99	0,99	Ns	0,49	0,27	0,35	0,48	ns	-0,32	0,98
MS2	-	1	0,99	Ns	0,48	0,28	0,39	0,5	ns	-0,23	0,95
MB2	-	-	1	Ns	0,48	0,26	0,35	0,47	ns	-0,35	0,96
RO2	-	-	-	1	0,22	0,39	ns	ns	ns	ns	ns
RP2	-	-	-	-	1	ns	0,36	0,67	ns	ns	0,41
ROS/RP2	-	-	-	-	-	1	0,42	0,57	ns	nss	0,28
FRU/ROS2	-	-	-	-	-	-	1	0,84	ns	ns	0,36
FRUt2	-	-	-	-	-	-	-	1	ns	ns	0,44
IQU/B2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	ns	ns
%Casca2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,32
Prod2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Os modelos de regressão linear simples para estimar a produtividade (Prod) e a massa de café beneficiado (MB) e em função da massa úmida (MU) se encontram na Tabela 6.

Na Tabela 5 estão os modelos obtidos no ajuste da regressão linear simples para estimar a produtividade (Prod) em função de MU e MB. Os coeficientes estimadores em cada modelo foram significativos. O menor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi 77,16% para MU1.

As equações de regressões linear múltipla da produtividade (Prod) (Y) e as variáveis biométricas (independentes) (X) para as duas safras pelo método *stepwise* estão na Tabela 7. A primeira variável a entrar no modelo é o RO, que explica sozinha 12% da produtividade na safra 1 e 21% na safra 2. A variável FRU/ROS acrescenta 6% na safra 1 e 10,5% na safra 2. Dessa forma, o modelo final com as duas variáveis explica 18,0% na safra 1 e 31,5% na safra 2 das variações da produtividade e o resíduo, 82,0 e 68,5%, respectivamente. Isso demonstra que o resíduo tem maior influência nas variações da produtividade do que os valores das variáveis independentes.

As variáveis biométricas que entraram no modelo para estimar a produtividade nas duas safras foram RO e FRU/RO, significativos (valor- $p \leq 0,05$ ), porém com baixos coeficientes de determinação múltipla, indicando que as variáveis em questão não foram consistentes na explicação da produtividade observada.

**Tabela 5.** Modelo de regressão para a produtividade e massa de café beneficiado em função da massa úmida para as duas safras estudadas.

Safras	N	Equação	R <sup>2</sup>
Safra 1	80	Prod1= 5,1146+5,2614*MU1	77,16%
Safra 2	80	Prod2 =1,0433+5,6497*MU2	96,00%
Safras 1 e 2	160	Prod = 2,3242+5,4951*MU	88,88%
Safra 1	80	MB1 = 0,0619+0,2505*MU1	81,00%
Safra 2	80	MB2 = -0,0382+0,2804*MU2	93,43%
Safra 1 e 2	160	MB = 0,0769+0,2530*MU	89,05%

**Tabela 6.** Modelo de regressão múltipla passo a passo entre a produtividade e as variáveis biométricas para as duas safras estudadas

		Safra 1			
Atributos a entrar	Modelo (Y=Prod)	R <sup>2</sup>	Pr>F	F-tabela (5%)	
RO	Y = 17,36 + 0,349*RO	12,0%	10,84	1,78	
FRU/ROS	Y = -2,02 + 0,300*RO+0,257FRU/ROS	18,0%	8,77	2,77	
		Safra 2			
RO	Y = 4,35 + 0,462*RO	21,0%	21,10	1,78	
FRU/ROS	Y = -11,13 + 0,410*RO+0,323FRU/ROS	31,5%	17,70	2,77	

R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação múltipla

As variáveis também foram avaliadas quanto à dependência espacial e esses resultados são mostrados na Tabela 7.

Na análise espacial com ajuste dos dados aos semivariogramas simples (isotrópicos) de cada variável verificou-se que elas apresentam dependência espacial. Os modelos de semivariogramas ajustados foram o esférico (ESF), para 54,5%, e o exponencial (EXP), para 45,5%, dos dados.

Para todas as variáveis estudadas e com ajustes de semivariogramas teóricos aos dados, escalonou-se o patamar (C<sub>0</sub>+C) pela variância dos dados para padronização da escala da semivariância.

O alcance (a) de dependência espacial é um parâmetro importante no estudo da variabilidade espacial (FERRAZ et al., 2017a; FONSECA et al., 2015; LIMA et al., 2016), e medições realizadas em distâncias maiores que o alcance não apresentam dependência espacial, sendo a distribuição espacial aleatória. O alcance também indica que as amostras dentro do seu raio de ação são mais similares. Sendo assim, maior alcance, quando comparado com os obtidos entre as variáveis, representa um fenômeno de maior continuidade espacial na área, ou seja, amostras mais similares, na respectiva malha amostral utilizada. As variáveis

MU2, MB1, %Casca1 e 2, RP1, RP2, ROS/RP1, ROS/RP2, FRU/ROS2 e Prod2 se ajustaram ao modelo exponencial com alcances variando de 13,0 a 52,0 m. As demais variáveis se ajustaram ao modelo esférico com alcance variando de 20,0 a 56,0 m.

**Tabela 7.** Modelos e parâmetros dos semivariogramas escalonados simples e cruzados

	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	a (m)	GDE (%)	R <sup>2</sup> (%)	r-VC
Semivariograma Simples							
MU1	ESF	0,51	1,09	30,0	46,0	91,0	36
MU2	EXP	0,60	1,14	52,0	52,0	80,0	20
MS1	ESF	0,51	1,09	42,0	46,0	95,0	36
MS2	ESF	0,59	1,15	41,0	51,0	83,0	15
MB1	EXP	0,10	1,08	25,0	10,0	86,0	27
MB2	ESF	0,8	1,14	37,0	51,0	81,0	15
IQU/B1	ESF	0,49	1,03	55,0	48,0	89,0	47
IQU/B2	ESF	0,42	1,06	56,0	39,0	83,0	40
%Casca1	EXP	0,15	1,13	18,0	40,0	81,0	17
%Casca2	EXP	0,52	1,10	90,0	47,0	89,0	40
RO1	ESF	0,45	1,12	49,0	40,0	93,0	46
RO2	ESF	0,51	1,08	50,0	47,0	88,0	32
RP1	EXP	0,20	1,00	16,0	20,0	96,0	30
RP2	EXP	0,10	1,03	27,0	10,0	87,0	34
ROS/RP1	EXP	0,35	1,01	18,0	34,0	83,0	20
ROS/RP2	EXP	0,01	1,05	13,0	1,0	82,0	20
FRU/ROS1	ESF	0,46	1,14	37,0	40,0	93,0	46
FRU/ROS2	EXP	0,11	1,00	21,0	11,0	83,0	60
FRUt1	ESF	0,18	1,03	20,0	17,0	93,0	36
FRUt2	ESF	0,48	0,98	36,0	49,9	84,0	43
Prod <sup>1</sup>	ESF	0,59	1,17	54,0	50,0	94,0	40
Prod <sup>2</sup>	EXP	0,42	1,16	38,0	36,0	88,0	40
Semivariograma Cruzado							
Prod1xRO1	ESF	0,06	1,00	25,0	6,0	88,0	20
Prod1xRP1	ESF	0,02	1,00	23,0	2,0	90,0	25
Prod1xROS/RP1	ESF	0,02	1,00	28,0	2,0	80,0	40
Prod1xFRU/ROS1	ESF	0,03	1,00	45,0	3,0	89,0	36
Prod2xRO2	ESF	0,24	1,00	52,0	24	84,0	40
Prod2xRP2	ESF	0,01	1,00	17,0	1,0	75,0	41
Prod2xROS/RP2	ESF	0,01	1,00	62,0	1,0	83,0	42
Prod2xFRU/ROS2	ESF	0,05	1,00	21,0	5,0	90,0	41

EXP: modelo exponencial; ESF: modelo Esférico; e GDE: Grau de dependência espacial

Os semivariogramas obtidos para MS1 e MS2 apresentam o mesmo modelo de ajuste e alcances próximos, indicando assim o mesmo padrão de distribuição espacial nas duas safras. O mesmo acontece com IQU/B e RO, nas duas safras. A MS e o IQU/B são variáveis correlatas o que tende a se comportar similarmente espacialmente entre as safras. O RO apesar da poda realizada depois da colheita de 2016 manteve-se o mesmo padrão espacial de uma safra para outra, assim como para ROS/RP.

O efeito pepita (C<sub>0</sub>) representa a variabilidade não explicada e segundo Lima et al. (2006) quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior será a dependência espacial apresentada. O grau de dependência espacial (GDE)

apresentou-se moderado, segundo Cambardella et al. (1994), para 72,7% das variáveis e o restante com forte grau de dependência espacial. O GDE indica o grau de aleatoriedade dos dados, ou seja, indica o quanto de contribuição da variância espacial está na variância total dos dados, sendo  $GDE < 25\%$  indica forte contribuição.

Seguindo critério adotados por Azevedo (2004), os ajustes dos semivariogramas para todas as variáveis apresentaram  $R^2$  maior ou igual a 80%, pois considera valores ideais aqueles maiores que 50,0%.

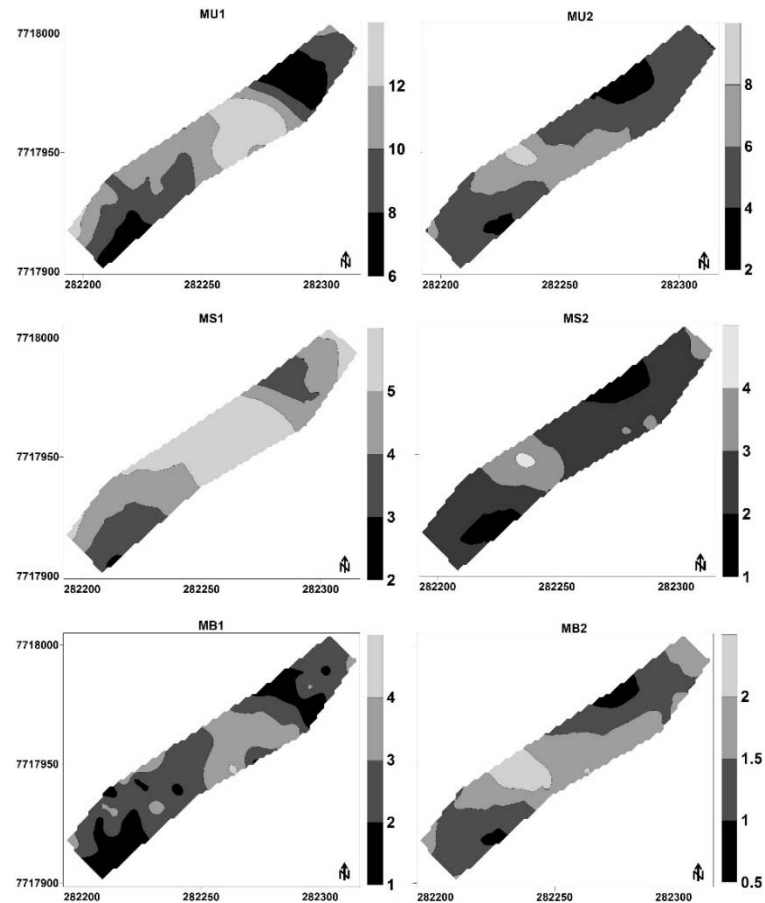
Para os semivariogramas cruzados, as produtividades estimadas em função das covariáveis biométricas das plantas de café se ajustaram ao modelo esférico com alcance variando de 17,0 a 62,0 m. Cabe ressaltar que para estes semivariogramas o patamar ( $C_0+C$ ) foi escalonado pela covariância existente entre a variável e a covariável para efeito de padronização da escala. Tanto para os semivariogramas simples como para os cruzados a correlação entre os valores observados e os estimados pela validação cruzada ( $r_{vc}$ ) apresentaram significativos, apesar de baixos coeficientes, indicando que o coeficiente angular da reta entre as variáveis é diferente de zero.

As produtividades (Prod12) (safras 1 e 2) foram estimadas pelas variáveis biométricas das plantas do cafeeiro. As Prod1 e 2 quando estimadas por krigagem apresentaram alcances de 54,0 e 38,0 m, respectivamente. Observa-se que a Prod1xFRU/ROS1 apresentou o alcance mais próximo, com 45,0 m, com ajuste também ao modelo esférico (ESF). Sendo que as demais covariáveis implicaram em menor continuidade espacial para a Prod1. Este fato se deve a variabilidade apresentada pelas covariáveis na área como apresentado na análise de correlação ser baixa com a produtividade. A Covariável RP1 apresentou alta correlação linear, no entanto contribuiu para diminuir a distância de continuidade da Prod1. Isto posto, verifica-se que os coeficientes de correlação linear encontrados entre a variável e as covariáveis não é refletido quando da análise espacial. Não quer dizer que altas correlações estimam a variável com maior continuidade. Como também um CV classificado como baixo não necessariamente leva a alcances maiores comparativamente com outras variáveis.

A Prod2 foi estimada na área pela covariável RO2 com alcance de 52,0 m bem acima dos 38,0 m encontrados pela krigagem, mesmo não apresentando correlação linear significativa com a Prod2. O número de rosetas por ramos plagiotrópicos (ROS/RP2) estimou um alcance de 62,0 m, enquanto que na krigagem seu alcance foi de 13,0 m.

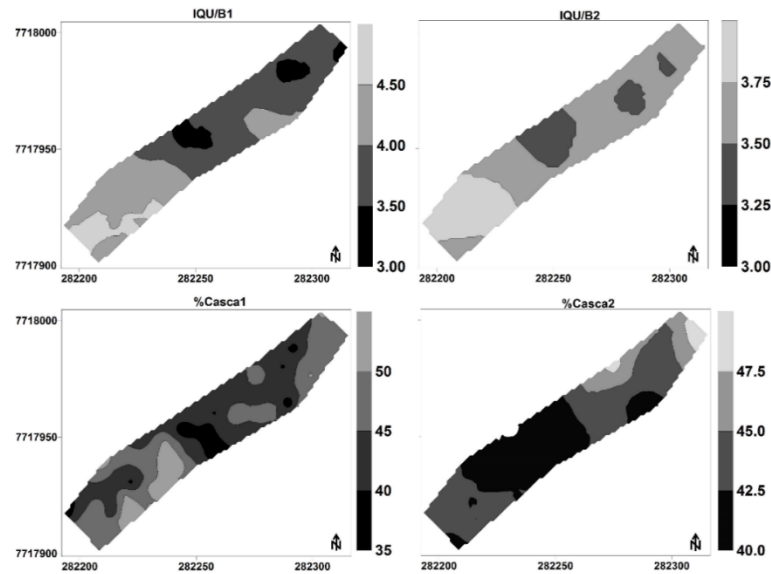
Os Mapas da distribuição espacial da massa de café (MU) (kg) nas duas safras do cafeeiro conilon, construídos por krigagem ordinária, são mostrados na Figura 1. Os valores de MU, MS e MB são visivelmente superiores na safra 1, sendo que os maiores valores de

massa estão na parte central da área, região plana, com pequenas manchas na extremidade superior. Na safra 2 também apresenta a região central da área com maiores massas de café colhido.



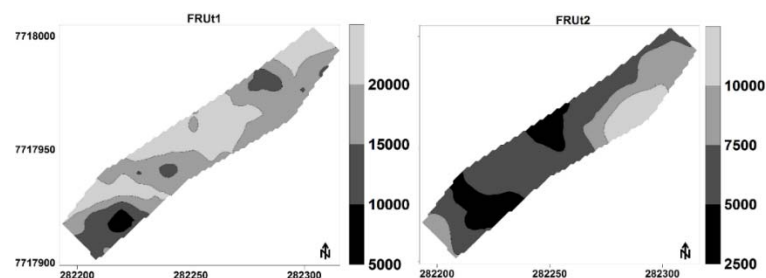
**Figura 1.** Mapas da distribuição espacial da massa de frutos (kg) por ponto nas duas safras de cafeeiro conilon.

Os Mapas da distribuição espacial dos índices de quebra e percentual de casca das duas safras do cafeeiro conilon, construídos por krigagem ordinária, estão na Figura 2. A desuniformidade da maturação do café é um problema na cultura também do conilon, isso ainda se agrava em uma lavoura seminal, onde a variabilidade genética é grande. Devido a variação na maturação, os números de grãos verdes na amostra também variam, e isso pode justificar a variabilidade nos índices de quebra e no percentual de casca mostrada no mapa. Na segunda safra o índice de quebra e o percentual de casca foram menores. Verifica-se que nas regiões com maiores massas de café úmido (MU) e beneficiado (MB) (Figura 1), nas duas safras, correspondem com as de menores índices de quebra e de % de casca, onde se conclui ser região com maiores frutos (grãos).



**Figura 2.** Mapas da distribuição espacial do índice de quebra (relação) e do percentual de casca nas duas safras de cafeeiro conilon.

A Figura 3 mostra a distribuição do número total de frutos (FRUt) por ponto na área. O pegamento de frutos em café, embora baixo, depende tanto do número de flores como do número de folhas no ramo (ALMEIDA et al., 1983), sendo também afetado por outros fatores, tais como: atrofia de flores e presença de chuvas pesadas durante a expansão do botão floral (HUXLEY & ISMAIL, 1969), umidade, estado vegetativo, fertilidade do solo (REIS & ARRUDA, 1956), e repentinas quedas de temperatura (MEZA, 1981) e do estado nutricional da lavoura. Varia, ainda, com espécies e cultivares (SRINIVASAN, 1972) ou mesmo com a posição da flor no cafeeiro (REIS & ARRUDA, 1956). A diversidade de fatores que afetam o pegamento do cafeeiro resulta na variabilidade mostrada no mapa.



**Figura 3.** Mapas da distribuição espacial média do número de frutos por ponto nas duas safras de cafeeiro conilon.

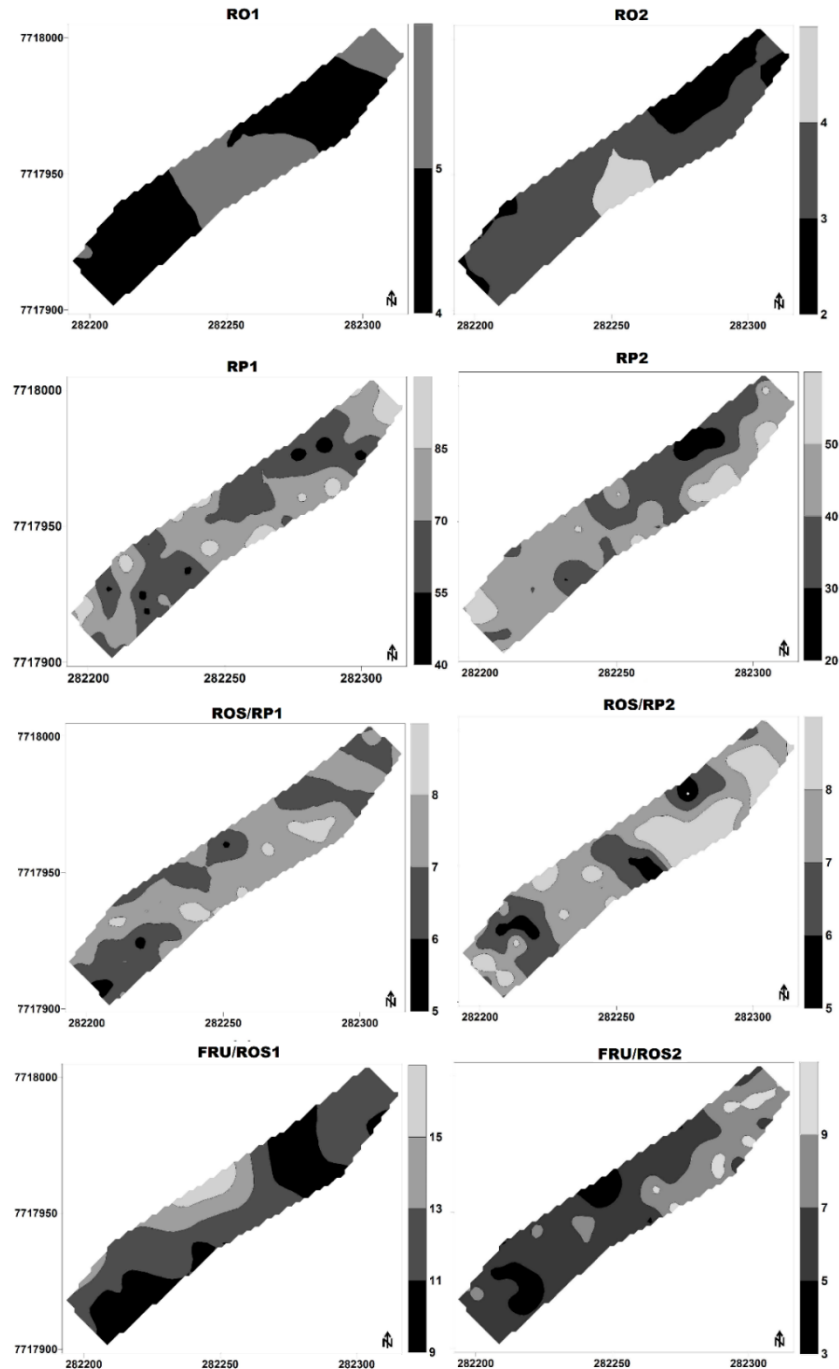


Observa-se nas Figuras 1 e 3, quanto à forma, uma correlação espacial significativa entre a massa de café colhido (úmido) com o número de frutos por planta, o que era de se esperar.

Os Mapas da distribuição espacial das variáveis biométricas nas duas safras do cafeeiro conilon, construídos por krigagem ordinária, são mostrados na Figura 4. Na primeira safra, o maior número de ramos produtivos (ortotrópicos) (RO) situou-se na parte central do mapa e na parte superior da área. Na segunda safra a maior parte na área possui entre 3 e 4 RO em média, o que foi considerado ideal para essa área. O reflexo da poda realizada na lavoura de uma safra para outra, eliminando RO, é visível nos mapas, juntamente com a eliminação de ramos de RP que frutificaram em mais de 50% da sua capacidade. Observa-se no mapa, que na safra 1, grande parte da área possuía em média entre 55,0 e 85,0 ramos plagiotrópicos por planta, já na safra 2, quase totalidade da área possui menos de 50,0 ramos plagiotrópicos por planta.

Na Figura 4 observa-se que na safra 1 grande parte da área ficou entre 11 a 13 FRU/ROS, com média de 12 FRU/ROS. Na safra 2 o FRU/ROS ficou entre 5 a 7, com valor médio de 7, o que refletiu em menor produtividade.

Após a realização da krigagem ordinária e da cokrigagem e comparando-se os resultados da validação cruzada, observa-se que as maiores similaridades nos coeficientes de correlação ( $r_{vc}$ ) foram da Prod1 com a Prod1xFRU/ROS1 e ROS/RP1 e da Prod2 com todas as variáveis biométricas. Isso indica que essas variáveis apresentam bons resultados na estimação da produtividade do cafeeiro conilon seminal (pool genético).

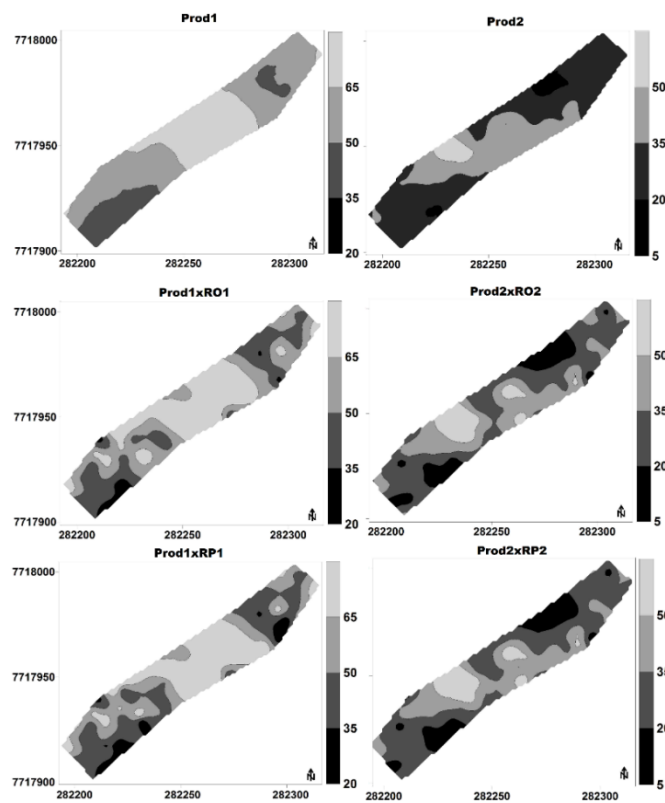


**Figura 4.** Mapas da distribuição espacial das variáveis biométricas nas duas safras de cafeeiro conilon.

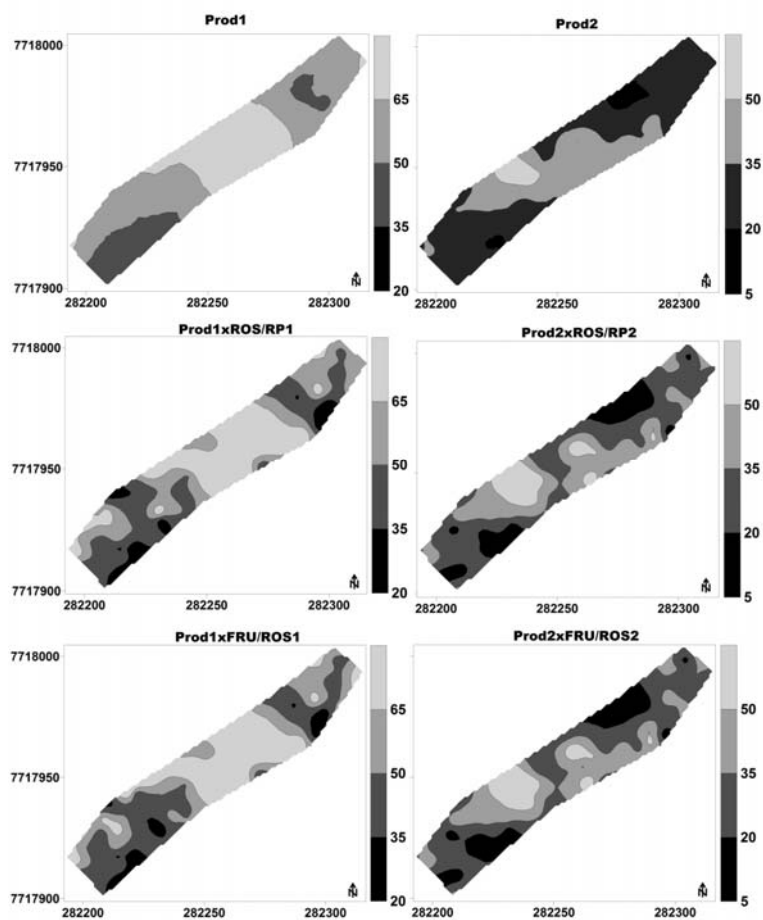
Nas Figuras 5 e 6 estão os mapas da distribuição espacial da produtividade construídos por krigagem ordinária e cokrigagem. Observa-se, quanto à forma, semelhança entre os mapas de Prod1 e Prod2 com os mapas e a produtividade estimados por cokrigagem para cada safra. Os valores médios das Prod1 e Prod2 ( $58,30$  e  $33,19$  sc  $ha^{-1}$ ) situam-se na maior região da área de cada mapa, parte central.

Analisando os mapas das produtividades construídos por krigagem ordinária, observa-se o mesmo padrão de distribuição espacial dessa variável, quando estimada pelas variáveis

biométricas por cokrigagem. Assim como observado por Lima et al. (2016) na estimativa da produtividade por ramos ortotrópicos, isso confirma a correlação espacial positiva entre as variáveis, evidenciando a importância de se considerar a dependência espacial, uma vez que essas observações não seriam possíveis, caso fossem considerados somente os valores médios das variáveis em estudo. Quanto maior a correlação entre as covariáveis e a variável a ser estimada, maior o potencial dessas covariáveis em serem utilizadas como fontes de dados auxiliares para a aplicação da cokrigagem. No entanto, não implica em determinar aumento no alcance de dependência espacial da variável a ser estimada.



**Figura 5.** Mapas de distribuição espacial da Prod1 e Prod2 estimados por krigagem ordinária, e mapas da produtividade estimada por RP e RO utilizando cokrigagem.



**Figura 6.** Mapas de distribuição espacial da Prod1 e Prod2 (sc ha<sup>-1</sup>) estimados por krigagem ordinária, e mapas da produtividade estimada por ROS/RP12 e FRU/ROS12 utilizando cokrigagem.

#### 4. CONCLUSÃO

A produtividade do cafeeiro, massa de grãos, variáveis de rendimento e variáveis biométricas apresentaram dependência espacial nas duas safras estudadas, com ajustes aos semivariogramas esférico e exponencial.

As variáveis biométricas não apresentaram coeficientes de correlação altos, apesar de significativo, na estimativa da produtividade.

As variáveis MS, MS, IQU/B e RO apresentam o mesmo padrão de distribuição espacial nas duas safras.

A estimativa da produtividade utilizando variáveis biométricas apresenta similaridade com a cokrigagem, indicando que as covariáveis são eficientes na estimativa da produtividade.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. R.; MATIELLO, J. B.; MIGUEL, A. E. Efeito da densidade foliar sobre a queda de frutos e a produção do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1983. p. 389-391.
- AZEVEDO, E. C. Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso. 2004. 132 f. **Tese** (Doutorado) - Unicamp, Campinas, 2004.
- BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39: p. 423-432. 2005.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
- CAMBARDELLA, C. A. . et al. Field-Scale Variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Sci. Soc. Am.J.**, v. 58, p. 1501–1511, 1994.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompamento da safra brasileira**, v. 4 – Safra 2017, n.3- Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-107, 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompamento da safra brasileira** : café – v. 1 - Safra 2016, n. 1 Quarto levantamento – Brasília, p. 1-82.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompamento da safra brasileira** : café – v. 1 - Safra 2016, n. 1 Quarto levantamento – Brasília, p. 1-82
- DARDENGO, M. C. J. D. Crescimento, produtividade e consumo de água do cafeeiro conilon sob manejo irrigado e de sequeiro. 2012. Ano de obtenção: 2012. 97p. **Tese** (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.
- DRUMOND NETO, A. P. Qualidade física e sensorial de grãos de *Coffea canephora* Pierre Ex. Froehner de diferentes ambientes. **Tese**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2017. 77f.
- FARNELL, C.; RIGO, T.; MARTIN-VIDE, J. Application of cokriging techniques for the estimation of hail size. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 131, n. 1–2, p. 133–151, 19 jan. 2018.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Eds). **Café conilon**. Vitória, ES: Incaper, 702p. 2007
- FERRAZ, G. A. S.; OLIVEIRA, M. S.; SILVA, F. M.; AVELAR, R. C.; SILVA, F. C.; FERRAZ, P. F. P. Methodology to determine the soil sampling grid for precision agriculture in a coffee field. **DYNA**, v. 84, p. 316–325, 2017.
- FONSECA, A. S.; SOUZA, J. S. S.; ASSIS, S. A.; XAVIER, AL. C.; DRUMOND NETO, A. P. Spatial variability of the productivity and the nutritional condition of coffee canephora. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 420–428, 2015.
- FONSECA, A.F.A; FERRÃO, R.G; LANI, J.A; FERRÃO, M.A.G; VOLPI, P.S; VERDIN FILHO, A.C; RONCHI, C.P; MARTINS, A.G. Manejo da cultura do café conilon: espaçamento, densidade de plantio e podas. In: FERRÃO, R.G; FONSECA, A.F.A;

BRAGANÇA, S.M; FERRÃO, M.A.G; MUNER, L.H.D. **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2007. p. 257-278.

GALOTE, J. K. B.; NETO, A. J. M.; MENDES, D. F.; DARDENGO, M. C. J. D. Índices de qualidade e bebida dos frutos do conilon robusta Tropical por via seca. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v.9, n.17, p. 1647-1653, 2013.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York, Oxford University Press. 1997. 483p.

HUXLEY, P. A.; ISMAIL, S. A. H. Floral atrophy and fruit set in Arabica coffee in Kenya. **Turrialba**, San José, v. 19, p. 345-354, 1969.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. Oxford Uni ed. New York: Oxford University Press, 1989.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LANDIM, P. M. B.; Sturaro, J. R.; Monteiro R. C. **Exemplos de aplicação da cokrigagem**. Rio Claro, UNESP. 2002. 19p. (Texto didático, 9).

LIMA, J. S. S; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B.; FONSECA, A. S. Estimativa da produtividade de café conilon utilizando técnicas de cokrigagem. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, p. 54–61, 2016.

MANTHENA, D. V.; KADIYALA, A.; KUMAR, A. Interpolation of radon concentrations using GIS-based kriging and cokriging techniques. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 28, n. 4, p. 487–492, 2009.

MEZA, J. M. Estudio del efecto de las concentraciones de macro and microelementos en la hoya de Coffea arabica L. y de algunos factores ambientales en la abscisión de frutos. Guatemala, Simp. Latinoamer. **Cafeicult. Promecafé**, v. 322, p. 183-193, 1981.

OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.

PEREIRA, L. R. Crescimento, produção e rendimento dos clones da variedade ‘conilon vitória’ em condições de déficit hídrico e irrigado. 2015. 54F. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2015.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/ CEDAGRO, 2007. 305p.

REIS, A. J.; ARRUDA, H. V. Frutificação no cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 15, p. 93-98, 1956.

SEVERINO, L. S. ., SAKIYAMA, N. S. ., PEREIRA, A. A., MIRANDA, G. V. ., & ZAMBOLIM, L. (2002). Correlações genóticas e análise de trilha em café (Coffea arabica L.). Simpósio de in Simpósio de Pesquisa Dos Cafés Do Brasil, 527–530. Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb\\_anais/simposio1/Genet35.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio1/Genet35.pdf)>.

- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, A. F. VA, S. A. . et al. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 1–8, 2010a.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B; XAVIER, A. C. Lógica fuzzy na avaliação da fertilidade do solo e produtividade do café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 9–17, 2010b.
- SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SANTOS, N. T. Coffee quality and its relationship with Brix degree and colorimetric information of coffee cherries. **Precision Agriculture**, v. 15, n. 5, p. 543–554, 23 out. 2014.
- SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente**. Lisboa, IST Press. 2006. 214p.
- SRINIVASAN, C. S. Studies on yield components in *Coffea arabica* L.: observations on flower clusters and fruit set in 1344 S.12 **Kaffa**. **Turrialba**, San José, v. 22, p. 27-29, 1972.
- VERDIN FILHO, A. C. Influência do espaçamento e densidade de hastes em café conilon conduzido com a poda programada de ciclo. 2011. 67 p. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: **Applications of soil physics**. Academic P ed. New York. 1980. p. 350.
- XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013), **International Journal of Climatology**, 2016, 36 (6), 2644–2659.
- YANG, Q.; LUO, W.; JIANG, Z.; LI, W.; YUAN, D. Improve the prediction of soil bulk density by cokriging with predicted soil water content as auxiliary variable. **Journal of Soils and Sediments**, v. 16, n. 1, p. 77–84, 10 jan. 2016.



## CAPÍTULO IV

### Logica fuzzy na distribuição espacial e temporal na qualidade da bebida em lavoura de café conilon

**RESUMO:** Objetivou-se com este trabalho avaliar a variabilidade espacial e temporal da qualidade da bebida aplicando-se a classificação *fuzzy* nas notas globais finais da análise sensorial, para *Coffea canephora* Pierre, em duas safras consecutivas. O trabalho foi desenvolvido no município de Cachoeiro de Itapemirim, em uma lavoura comercial com cafeeiro conilon seminal, nas safras de 2015/16 e 2016/17. As variáveis estudadas foram: fragrância (aroma), sabor, amargor (doçura), conjunto, equilíbrio, limpeza, retrogosto, sensação, uniformidade, salinidade (acidez) e bebida (nota global). Aos resultados médios das notas globais das bebidas obtidas na prova de xícara nos 80,0 pontos de uma malha amostral aplicou-se a função de associação da classificação *fuzzy* linear para determinação do grau de pertinência. Os dados foram analisados pela estatística descritiva e em seguida pela geostatística para verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial das variáveis. A nota global média encontra-se no intervalo classificado como “café muito bom”, nas duas safras. A metodologia fuzzy aplicada na nota global da bebida do café conilon seminal possibilitou determinar a sua variabilidade espacial na lavoura com mesmo padrão de distribuição nas duas safras, alcances próximos e ajustes ao modelo esférico, o que foi confirmado pela correlação espacial de 61,6% entre os mapas fuzzyficados para a nota global.

**Palavras-chave:** Café de qualidade; Análise sensorial; Prova de xícara; *Coffea canephora*

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate spatial and temporal variability of the beverage quality by applying the fuzzy classification in the final global sensory analysis, for *Coffea canephora* Pierre, in two consecutive harvests. The work was developed in the municipality of Cachoeiro de Itapemirim, in a commercial farmed land with coffee conilon seminal, in the harvests of 2015/16 and 2016/17. The studied variables were: fragrance (aroma), flavor, bitterness (sweetness), set, balance, cleaning, aftertaste, sensation, uniformity, salinity (acidity) and drink (global score). To the average overall scores of the drinks obtained on the cup test at 80.0 points of a sampling mesh was applied the function of association of the fuzzy classification linear model to determine the degree of pertinence. The data were analyzed by the descriptive statistics and then by geostatistics to verify the existence and quantify the degree of spatial dependence of the variables. In the interval classified as "very good coffee" is found the global average grade, in the two harvests. The methodology fuzzy applied in the global beverage note of the coffee conilon seminal made it possible to determine their spatial variability in the same distribution pattern in the two harvests, close ranges and adjustments to the spherical model, which was confirmed by the spatial correlation of 61.6% among the fuzzy maps for the global score.

Keywords: Quality coffee; Sensory analysis; Cup test; *Coffea Canephora*

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda pelo mercado em consumir café de melhor qualidade está levando os agricultores a aprimorarem os processos de produção visando obterem resultados mais elevados na nota final global da bebida na escala hedônica.

O café conilon (*Coffea canephora* Pierre) tem características sensoriais na qualidade da bebida que, normalmente, apresentam neutralidade quanto à doçura, acidez e possui aroma marcante de cereais torrados, se destacando pelo corpo mais pronunciado que o café arábica (RIBEIRO et al., 2014). Devido às particularidades na sensibilidade degustativa e olfativa para esta variedade definiu-se o protocolo pela Coffee Quality Institute (CQI) (2010) para balizar a sua análise sensorial.

Schmidt e Miglioranza (2010) afirmam que a análise sensorial é uma ferramenta indispensável para a indústria de alimentos e dispõe de distintos métodos (discriminativos, descritivos e afetivos) utilizados por provadores credenciados. Para Schiano, Harwood e Drake (2017) a avaliação das características sensoriais dos produtos alimentícios é o melhor método para caracterizar a sua qualidade. Para esses autores a qualidade sensorial é uma avaliação que consiste numa série de ensaios ou ferramental aplicados na definição de procedimentos na definição da qualidade do produto.

A análise sensorial para o café é proveniente da “prova de xícara” e os resultados obtidos são apresentados em classes diferenciadas para a qualidade da bebida, tanto para café arábica como para o conilon. Interpretar os resultados obtidos pela sensibilidade humana necessita de instrumentos que possam traduzir as respostas de forma consistente e com menos incertezas. Sendo assim, estudos são realizados visando determinar a correlação existente entre a “prova de xícara” com métodos de análises químicas dos grãos torrados e com leitores computacionais na identificação do padrão da bebida. Segundo Schmidt e Miglioranza (2010) os resultados encontrados por estes leitores computacionais têm proporcionados altas correlações com a análise sensorial.

Considerando as incertezas contidas nas informações, o conjunto difuso (*fuzzy*) vem sendo utilizado como alternativa na interpretação dos resultados, visto que não são limitados a um valor determinístico, uma vez que a percepção humana sobre a qualidade dos alimentos leva a interpretações diferentes (LAZIM e SURIANI, 2009). Esse método visa resolver problemas onde a informação não é bem definida, e se baseia na modelagem do problema e traduz em termos matemáticos a informação imprecisa contida na linguagem natural, expressa

por variáveis linguísticas que podem ser transformadas (LIMA et al., 2018; SENTÜRK, 2017).

A variabilidade espacial e temporal de atributos de solo e os relativos às plantas vêm sendo realizada em vários trabalhos considerando a classificação fuzzy (WANG et al. 2018; KIM et al., 2013; GHAEMI et al., 2014). Com relação à cafeicultura encontra-se a aplicação da lógica fuzzy em vários trabalhos (FONSECA, JESUS e LIMA, 2016; JESUS et al., 2016; LIMA et al., 2016). A distribuição espacial da qualidade da bebida em lavouras de café arábica foi estudada por Silva et al. (2015), sendo que não foi detectado variação na nota global final em relação às distâncias entre as amostras dos frutos de café colhidos no estádio cereja, para um mesmo processamento pós-colheita.

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a variabilidade espacial e temporal da qualidade da bebida aplicando-se a classificação fuzzy nas notas globais finais da análise sensorial, para o café conilon, em duas safras consecutivas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no município de Cachoeiro de Itapemirim, na comunidade Boa Vista, Distrito de São Vicente. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (1928), a região possui categorização Cwa. O solo da área é classificado como Cambissolo, de textura argilo-arenosa, com as frações granulométricas média na camada de 0-0,20 m, sendo: argila = 460 (g kg<sup>-1</sup>), silte = 90 (g kg<sup>-1</sup>) e areia total = 450 (g kg<sup>-1</sup>).

A espécie vegetal estudada nas safras de 2015/2016 (<sup>1</sup>) e 2016/2017 (<sup>2</sup>) foi o cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre) de propagação seminal, lavoura comercial, cultivado no espaçamento de 1,5 x 1,5m (4.444 plantas ha<sup>-1</sup>), localizada na latitude S 20°37'31'' e na longitude W 41°05'22'', em altitude de 520 m. O manejo químico da lavoura foi conforme resultados da análise química do solo, seguindo recomendações de Prezotti et al. (2007), os tratamentos culturais e fitossanitários conforme Ferrão et al. (2007).

Os dados das temperaturas média máxima e mínima e da precipitação pluvial acumulada anual nas safras 1 e 2 foram determinados conforme Xavier et al. (2015) e Drumond Neto (2017), respectivamente. Na safra 1 a temperatura máxima média foi de 33,23°C e a mínima de 15,8°C e precipitação pluvial acumulada anual de 820 mm. Na safra 2 a temperatura média máxima foi de 32,71°C e mínima de 14,72°C, com precipitação pluvial acumulada anual de 1167 mm.

Na área experimental foi construída uma malha amostral de 80 pontos aleatórios marcados com estação total, sendo cada ponto composto por três plantas. O estado nutricional da lavoura nas safras 1 e 2 foi determinado com folhas amostradas no terceiro e quarto par, da extremidade do ramo plagiotrópico para o ortotrópico, realizado no mês de fevereiro de cada safra. A concentração dos nutrientes nos tecidos foliares dado pelo DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação), apresentou o K (potássio) e B (boro) como os macro e micronutrientes mais limitantes e o índice de balanço nutricional (IBN) de 13,5 e 9,24 para as safras 1 e 2, respectivamente.

A estrutura da arquitetura das plantas amostrais na lavoura nas safras 1 e 2, respectivamente, foi quantificada com 5,0 e 3,0 ramos ortotrópicos e 75,0 e 44,0 ramos plagiotrópicos em média por planta. As produtividades médias da lavoura foram de 58,3 sc ha<sup>-1</sup> (safra 1) e 33,2 sc ha<sup>-1</sup> (safra 2), em saco de 60 kg.

A colheita da lavoura foi realizada por derrça manual em peneira, no mês de junho, em ambas as safras, quando a lavoura apresentava aproximadamente 80% dos frutos no estágio cereja. Da massa total de frutos colhido em cada ponto amostral retirou-se 2 litros, que foram submergidos em água para eliminação do café boia e demais impurezas. Logo após, selecionou-se manualmente os frutos cereja e com condicionamento em sacolas de rede. As amostras foram pré-secas em um terreiro suspenso coberto, por um período de 24 horas, sendo revolvidas três vezes ao dia.

Após esta fase, as amostras foram levadas a uma estufa laboratorial com circulação e renovação de ar, numa temperatura de 45°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ), até os grãos atingirem 11,5% b.u ( $\pm 1\%$ ). O procedimento da secagem foi monitorado diariamente com um medidor digital do teor de água para cereais. Após secagem, as amostras foram embaladas em sacolas de papel e armazenadas por 45 dias em caixa de isopor lacrada, protegendo das variações ambientais (SILVA et al., 2015). Na sequencia as amostras foram beneficiadas (piladas) utilizando-se um descascador de acionamento elétrico com processo de descascamento mecânico. Uma massa de 0,30 kg de grãos crus de cada amostra foi embalada em sacola laminada metalizado prata (*Stand up pouch*), sendo estas destinadas a análise sensorial.

As análises sensoriais “prova de xícara” foram executadas por uma equipe de três degustadores especializados “*R-Grades*” certificados pelo *Coffee Quality Institute* (CQI). Assim, as análises sensoriais dos cafés foram preparadas e avaliadas à cega por meio da prova de xícara de acordo com a metodologia do protocolo de degustação para café *C. canephora* (ICO, 2010).

As variáveis informadas na “prova de xícara”, conforme protocolo, para os grãos

chatos retidos em peneira 13/64 avos de polegadas, são: fragrância (aroma), sabor, amargor (doçura), conjunto, equilíbrio, limpeza, retrogosto, sensação, uniformidade, salinidade (acidez) e bebida (Nota Global - NG). A estas variáveis fez-se análise descritiva para determinar as medidas de posição e dispersão (média, mediana, valor mínimo, valor máximo e desvio padrão) e os coeficientes de assimetria, de curtose e de variação. A normalidade dos dados foi testada pelo teste Kolmogorov-Smirnov (valor- $p \leq 0,05$ ). O teste t Student (valor- $p \leq 0,05$ ) foi utilizado para avaliar se os valores médios das variáveis, entre as duas safras consecutivas, apresentam diferença significativa.

Aos resultados médios das notas globais (NG) das bebidas obtidas na “prova de xicara” nos 80,0 pontos amostrais aplicou-se a função de associação da classificação *fuzzy* linear para determinação do grau de pertinência (GP) (índice *fuzzy* = IF), de acordo com Silva e Lima (2009), Souza et al. (2009) e Lima et al. (2018), conforme a seguir:

$$MF_A(Z) = 0 \quad \text{se } z < p \quad \text{eq. 01}$$

$$MF_A(Z) = \left(\frac{1}{\alpha}\right) * (z - p) \quad \text{se } p \leq z < q \quad \text{eq. 02}$$

$$MF_A(Z) = 1 \quad \text{se } z \geq q \quad \text{eq. 03}$$

em que:  $MF_A$  = grau de pertinência (GP = IF) do elemento Z (bebida) ao conjunto *fuzzy*;  $\alpha = q - p$ ;  $q$  e  $p$  = maior e menor valor do conjunto A (café conilon).

Os valores de  $p$  e  $q$  foram definidos segundo a classificação da qualidade da bebida de acordo com o protocolo de degustação para café *C. canephora* segundo (CQI) (EQUIPE CONILON BRASIL, 2011), UCDA (2010) e ICO (2010) (Tabela 1). Após a *fuzzy*ificação dos resultados da análise sensorial os intervalos ficam compreendidos entre zero e um (*crisp value*), respectivamente, definindo o grau de pertinência (GP) para cada NG, conforme descrição da qualidade [café muito bom (CMB), café fino (CF) e café excepcional (CE)]. Cabe ressaltar que valores de NG abaixo do limite mínimo assumiram valores zero (0,00) e acima do limite superior assumiram valores iguais a 1,00.

O uso da lógica *fuzzy* para lidar com essa incerteza da NG é altamente desejável. Isso não só ajuda a modelar a imprecisão de uma maneira lógica, mas também fornece uma justificativa consistente da área na lavoura em que se tem maior possibilidade de obter um café de melhor bebida em função de adoção de melhorias nas práticas de manejo, colheita e processamento do café.

Tabela 1. Classificação da qualidade da bebida para *C. canephora*

Nota global média	Descrição da qualidade
$90,0 \leq CE \leq 100,0$	Café excepcional (CE)
$80,0 < CF < 90,0$	Café fino (CF)
$70,0 \leq CMB \leq 80,0$	Café muito bom (CMB)

Fonte: Adaptado de UCDA (2010) e ICO (2010)

A análise espacial foi realizada com intuito de determinar o grau da dependência espacial da nota global (NG) da bebida após fuzzyficação, sendo utilizados ajustes de semivariogramas teóricos aos dados experimentais, com base no pressuposto de estacionaridade intrínseca (equação 04).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [(Z_1(x_i) - Z_2(x_i + h))^2] \quad \text{eq.04}$$

em que:  $\gamma(h)$  é a semivariância estimada;  $N(h)$  é o número de pares do atributo estudado; e  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i+h)$  são os valores dos atributos medidos na posição  $x_i$  e  $x_i + h$ , separados por um vetor  $h$  (distância entre amostras).

A escolha do modelo de semivariograma de melhor ajuste foi com base na minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ). Para a escolha definitiva baseou-se no coeficiente de correlação entre os valores observados e os estimados pela validação cruzada (r-vc) (LIMA et al., 2018). Os semivariogramas ajustados foram escalonados pela variância dos dados no intuito de verificar o padrão de distribuição espacial da NG da bebida fuzzyficada (grau de pertinência) entre as safras.

O grau de dependência espacial (GDE) foi considerado pela relação  $[C_0/(C_0+C)]*100$ , classificado conforme Cambardella et al. (1994), que considera a dependência espacial em fraca ( $GDE > 75\%$ ), moderada ( $25\% \leq GDE \leq 75\%$ ) e forte ( $GDE < 25\%$ ).

Com a dependência espacial confirmada foram confeccionados mapas da distribuição espacial dos graus de pertinências (GP) (fuzzyficados) para a NG da bebida dentro das respectivas classes de descrição de qualidade, para as duas safras, utilizando o método de interpolação krigagem ordinária. Aos mapas gerados aplicou-se a análise de correlação

espacial para quantificar o grau de correspondência temporal da NG, entre as safras, para o cafeeiro conilon seminal.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSAO

Os resultados da análise descritiva das variáveis que caracterizam a qualidade da bebida do café conilon estão apresentados na Tabela 2. Verifica-se que o maior coeficiente de variação (CV) foi 6,12% para amargor (doçura), na safra 2. Ferreira et al. (2016) ao estudarem variedades de café arábica, obtiveram valores de coeficientes de variação (CV) inferiores a 12% para todas as variáveis da análise sensorial. Esse valor foi considerado baixo e adequado para a estatística utilizada na classificação da bebida dos cafés avaliados. Tais resultados ressaltam a afinação entre os provadores nas suas sensibilidades degustativas e olfativas.

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos da análise sensorial e nota global da bebida do café conilon na safra 1 e 2

Variáveis	Média	Md	Min	Max	S	CV	Cs	Ck	KS
Amargor/Doçura <sup>1</sup>	6,88	6,88	6,08	7,75	0,38	5,45	0,08	-0,45	ns
Amargor/Doçura <sup>2</sup>	6,90	7,00	6,00	7,75	0,42	6,12	-0,27	-0,71	ns
Conjunto <sup>1</sup>	6,97	7,00	6,00	7,92	0,36	5,24	-0,20	0,08	ns
Conjunto <sup>2</sup>	6,92	7,00	6,00	7,75	0,40	5,71	-0,10	-0,71	ns
Equilíbrio <sup>1</sup>	6,92	6,92	6,00	7,83	0,36	5,27	-0,07	0,13	ns
Equilíbrio <sup>2</sup>	6,86	6,88	6,00	7,75	0,39	5,74	-0,03	-0,50	ns
Fragrancia/Aroma <sup>1</sup>	7,12	7,08	6,33	8,33	0,35	4,99	0,33	0,71	ns
Fragrancia/Aroma <sup>2</sup>	7,07	7,00	6,00	8,13	0,40	5,61	0,15	-0,17	ns
Limpeza <sup>1</sup>	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	0,00	-	-	ns
Limpeza <sup>2</sup>	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	0,00	-	-	ns
Retrogosto <sup>1</sup>	6,84	6,88	6,00	7,58	0,34	4,90	-0,28	-0,27	ns
Retrogosto <sup>2</sup>	6,89	6,88	6,00	8,25	0,42	6,04	0,52	0,20	ns
Sabor <sup>1</sup>	7,00	7,00	6,00	7,83	0,37	5,24	-0,15	-0,13	ns
Sabor <sup>2</sup>	6,99	7,00	6,00	7,75	0,38	5,42	0,03	-0,31	ns
Salinidade/Acidez <sup>1</sup>	6,89	6,92	6,00	7,75	0,36	5,28	0,22	-0,15	ns
Salinidade/Acidez <sup>2</sup>	6,89	6,88	6,00	7,75	0,42	6,10	0,10	-0,57	ns
Sensação na boca <sup>1</sup>	6,97	7,00	6,17	8,00	0,39	5,64	0,05	-0,26	ns
Sensação na boca <sup>2</sup>	6,89	6,88	6,00	7,75	0,42	6,08	-0,23	-0,67	ns
Uniformidade <sup>1</sup>	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	0,00	-	-	ns
Uniformidade <sup>2</sup>	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	0,00	-	-	ns
Nota Global <sup>1</sup>	75,58	75,63	68,75	81,75	2,65	3,51	-0,11	-0,03	ns
Nota Global <sup>2</sup>	75,37	75,44	68,00	81,88	2,95	3,91	0,01	-0,50	ns

M: média; Md: mediana; s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Cs: Coeficiente de simetria; Ck: coeficiente de curtose; ns: distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de probabilidade.

Observa-se que os valores da média e mediana de todas as variáveis foram próximos, caracterizando assimetria pouco acentuada, visto que seus valores foram próximos de zero. Nota-se que, 50% das variáveis em estudo apresentaram assimetria negativa. Por sua vez, o coeficiente de curtose caracteriza distribuição platicúrtica para 63,6% das variáveis. Assim, as variáveis Conjunto<sup>1</sup>, Equilíbrio<sup>1</sup>, Fragrancia<sup>1</sup> e Retrogosto<sup>2</sup> apresentaram distribuição leptocúrtica ( $C_k > 0$ ) e as demais variáveis tiveram variação para distribuição platicúrtica ( $C_k < 0$ ). Ressalta-se que os baixos valores de  $C_k$  e  $C_s$  demonstram uma variação pequena da distribuição das variáveis em relação à distribuição normal, confirmando assim a normalidade de todas as variáveis em estudo.

Os valores médios das notas dos degustadores para as variáveis que caracterizam a qualidade da bebida para o café conilon estão apresentados na Figura 1. Segundo EL HALAL (2008), a classificação por “prova de xícara” é uma operação importante em nível comercial, pois por meio dela é determinada a qualidade do café, que influenciará seu preço e sua aceitação no mercado. A sobreposição das notas, na Figura 1, indica similaridade na média para as variáveis em estudo.



Figura 1. Valores médios dos atributos da análise sensorial e nota global (NG) da bebida do café conilon, em duas safras.

A fragrância/aroma manteve nota acima de 7,00 nas duas safras e foi o atributo que teve maior nota depois da uniformidade e limpeza. A fragrância refere-se ao odor do café depois de moído e ainda seco e o aroma é o odor do café após adicionar água. O sabor, assim como os demais atributos, não apresentou diferença significativa entre as duas safras, [7,00<sup>(1)</sup> e 6,99<sup>(2)</sup>] mostrando que as condições da lavoura e os métodos do procedimento não foram



suficientes para alterar a qualidade da bebida de uma safra para outra. Assim, como a fragrância/aroma, o sabor sofre grande influência da torra, que neste caso utilizou-se torra média. A torrefação é uma das etapas de maior importância para se produzir um café de boa qualidade, gerando satisfação para o consumidor (MORAIS et al., 2007 e CHALFOUN et al, 2013). Para Scholz et al. (2011) o processo de torra do café tem objetivo principal de formação de aroma e sabor da bebida de café.

O Retrogosto teve notas 6,84 e 6,89 nas safras 1 e 2, respectivamente. Esse atributo complementa a avaliação do sabor do café e é a sensação que permanece na boca após ingerir a bebida (consumidores) ou descartar a bebida (avaliadores). Já a nota média para salinidade/acidez se manteve inalterada nas duas safras (6,89). A Relação Salinidade/Acidez é o equilíbrio relativo entre as sensações criadas pelo sal, principalmente em razão de níveis mais altos de potássio nos Robustas, em contraste com os níveis normalmente mais baixos de ácidos orgânicos, particularmente o ácido cítrico (UCDA, 2010).

O amargor/doçura refere-se ao agradável sabor doce, sendo sua percepção resultado da presença de carboidratos (SILVEIRA et al., 2016). O oposto de doçura, para bebida de café é o amargor (SCAA, 2008). Para este estudo o amargor (doçura) manteve-se o padrão nas duas safras com valores de 6,88 e 6,90. A Sensação na Boca é uma combinação de peso e textura, sendo que o peso provém das partículas fibrosas microfinas que os grãos absorvem do solo, e a textura provém dos óleos extraídos das partículas de café suspensos na bebida (UCDA, 2010).

O atributo Equilíbrio é uma avaliação entre a intensidade da combinação do Sabor, Retrogosto, Sensação na boca e Amargor (doçura). Deve se ter uma grande intensidade sem que haja dispersão do equilíbrio da bebida (UCDA, 2010). As notas para esse atributo foi 6,92 nas duas safras (Figura 1).

A secagem é um fator importante para determinar uniformidade e limpeza. Na secagem em terreiros é recomendável que quanto mais úmido estiver o café, menor deve ser a espessura da camada, para acelerar a remoção da água (FONSECA, 2015). Nesta pesquisa, a limpeza se justifica com valor de máximo pelo procedimento de manuseio das amostras e beneficiamento dos grãos na eliminação da casca e do pergaminho dos grãos.

O conjunto é o último atributo a ser determinado e a pontuação é dada de acordo com a combinação de todas as variáveis anteriores. Nesse quesito, todas as etapas de colheita e processamento influenciam, já que qualquer processo que atrapalhe um dos atributos anteriores ira mexer na combinação do conjunto final. Quanto maior o cuidado nas etapas

para produção de café de qualidade, melhor a pontuação do conjunto avaliado. A nota para o atributo conjunto foi 6,97 na primeira safra e 6,92 na segunda safra.

As notas de todas as variáveis obtidas foram superiores as encontradas por Galote et al. (2013). Isso porque no trabalho citado a colheita foi realizada de forma não seletiva, derriça manual em peneira, processamento pós-colheita por via seca sem separação dos frutos. Os frutos foram submetidos à secagem em terreiro de saibro-cimento. Isso mostra a superioridade em termos de pontuação, quando é realizada seleção de grãos cereja, cuidada rigorosa no processo de colheita, preparo das amostras dos frutos do cafeeiro conilon e o processo de secagem.

As condições climáticas também promovem a fermentação no período de colheita, processamento e/ou armazenamento (ANGÉLICO et al., 2008; GEROMEL et al., 2006; NOBRE et al., 2011), resultando em diferença em estudos comparativos. Porém, nesse estudo as condições climáticas apresentaram poucas variações entre as duas safras no ciclo fenológico do cafeeiro.

Em trabalho realizado por Ferreira et al. (2016), as notas obtidas para as variáveis avaliadas seguindo o protocolo para arábica, também, foram menores aos atributos obtidos para este estudo. Apesar de serem espécies e protocolos diferentes, a superioridade do café conilon em relação ao estudo realizado mostra a sua capacidade de estar no mercado como café muito bom (CMB), segundo a classificação para esta espécie. Cabe ressaltar que a comparação por si só da bebida para o café arábica e o café conilon, deve ser evitada para um mesmo mercado, uma vez que apresentam particularidades intrínsecas que os diferenciam. Mais importante que a comparação de bebida é buscar mercados consumidores que apreciam as características para ambos os cafés.

A média final da nota global (NG) foi 75,58 na primeira safra e 75,37 na segunda, não apresentando diferença significativa pelo teste t (valor- $p \leq 0,05$ ). Em estudo realizado por Drumond Neto (2017), na mesma área desta pesquisa e os frutos processados por via seca (café natural) obteve-se NG de 76,0 na safra de 2014/2015, mostrando que em três safras seguidas, a lavoura manteve similaridade na NG da bebida. O padrão de bebida nos três anos seguidos está relacionado à altitude, características climáticas peculiares da região, manejo (calagem, adubação e podas) e alta porcentagem de frutos maduros (cereja) na época da colheita, colocando a lavoura em questão na classe de café muito bom (CMB).

Observa-se nestes estudos que o café conilon tem potencialidade para melhoria na qualidade na sua bebida, que obteve NG média acima de 75,0. Cabe ressaltar que no estudo

realizado por Alves (2012) encontrou-se para cafés arábica NG de 72,0 para Catuai Amarelo, no cerrado; Mundo Novo NG de 76,5 e Topázio 75,8 no sul de Minas Gerais.

Cortez (2004) e CETCAF (2012) afirmam que marcas de cafés comercializadas com 100% de conilon vêm se obtendo grande aceitação do mercado consumidor quando todas as etapas de colheita e pós-colheita sejam realizadas adequadamente. Segundo Scholz et al., (2011) cafés cultivados em maiores altitudes o desenvolvimento dos grãos é mais lento, resultando em maior tamanho e em aumento de sacarose e acidez da bebida. Sabe-se que o cafeeiro conilon é cultivado no Espírito Santo em maiores áreas em altitudes menores que 400,0 m.

A amplitude entre o limite máximo e mínimo na faixa de café muito bom (CMB) é de 10 pontos ( $70 \leq \text{CMB} \leq 80$ ), gerando incerteza quanto à forma que essas notas estão distribuídas nos pontos amostrais na lavoura. As NG nos pontos amostrais ficaram na classificação de café muito bom (CMB) ( $70,0 \leq \text{CMB} \leq 80,0$ ), nas duas safras. Ao aplicar à lógica *fuzzy* nas NG da análise sensorial obtiveram-se graus de pertinência (GP) para cada ponto amostral. Feito isto, fez-se aos ajustes dos semivariogramas e os resultados da variabilidade espacial do GP estão na Tabela 3.

Tabela 3. Modelos e parâmetros dos semivariogramas escalonados para a bebida do café conilon, em duas safras

	Modelo	$C_0$	$C_0+C$	a (m)	GDE (%)	$R^2$ (%)
GP safra 1	ESF	0,36	0,95	15,0	38,0	50,0
GP safra 2	ESF	0,35	1,06	13,0	33,0	47,0

GP2016: grau de pertinência para safra 1 e GP2017: grau de pertinência para safra 2

O modelo de semivariograma teórico que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o esférico, com alcance de dependência espacial de 15,0 e 13,0 m para as safras 1 e 2, respectivamente, mostrando mesmo padrão de dependência espacial. As amostras separadas por distâncias menores que o alcance estão correlacionadas umas às outras, o que permite que sejam realizadas interpolações para espaçamentos menores do que o utilizado na amostragem (LIMA et al., 2009). Segundo Fonseca et al. (2015) o alcance é extremamente importante para avaliar o experimento, uma vez que indica a distância a partir do qual as amostras são independentes, ou seja, informa que a partir deste ponto o valor médio é estatística aceitável para avaliar o experimento.

O efeito pepita ( $C_0$ ) representa a variabilidade não explicada e segundo Lima et al. (2016), quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma,

maior será a dependência espacial apresentada, que neste estudo apresentou GDE igual a 38,0% e 33,0% para as safras 1 e 2, respectivamente. Essa dependência espacial é considerada moderada de acordo com a classificação de (CAMBARDELLA et al., 1994). Estes valores de GDE indicam o quanto da variância espacial está contribuindo na variância total dos dados, sendo de 59,0% e 71,0%, respectivamente, nas safras 1 e 2.

Quanto maior o grau de pertinência encontrado (NG de 80 = GP de 1,0) mais próximo do limite superior se encontram as NG, e a nota fica próxima do limite inferior para a classe de café fino (CF). Além disso, tem-se ideia de quão boas estão às notas dentro da faixa pré-estabelecida.

Considerando os valores fuzzyficados para NG da bebida e os ajustes dos semivariogramas a espacialização do grau de pertinência (GP), nas duas safras, na análise espacial e temporal está apresentada na Figura 2.

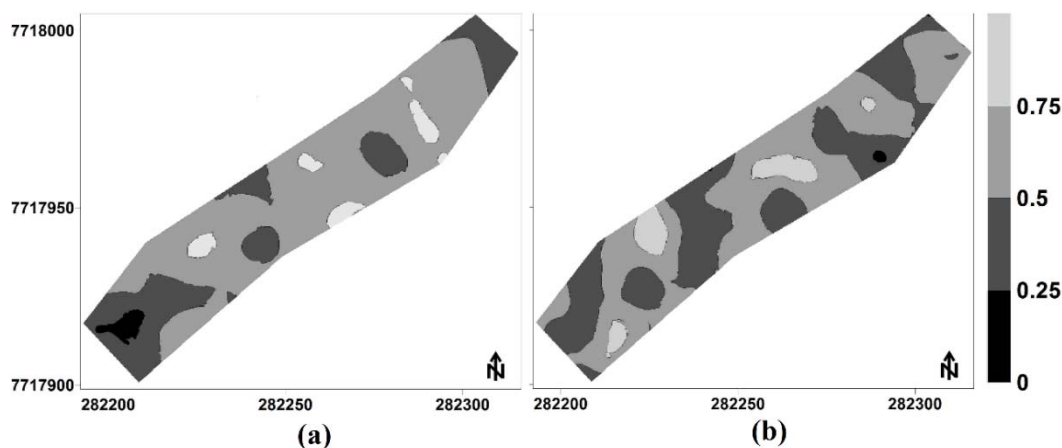


Figura 2. Mapas da distribuição espacial do grau de pertinência (GP) para a bebida do cafeeiro conilon, nas safras de 2015/2016 (a) e 2016/2017 (b).

Em ambas as safras, a maior parte da área apresentou grau de pertinência maior que 0,50, como se observa nas cores mais claras que estão presentes em toda a área. Nesse estudo, valores de GP acima de 0,50 evidenciam notas maiores que 75 pontos na classe de café muito bom (CMB), caracterizando maior parte da lavoura.

Ao comparar os mapas da distribuição espacial do GP, quanto à forma, verifica-se uma correlação na variabilidade temporal da bebida entre as safras. As funções de pertinência da análise sensorial da safra de 2015/2016 e a da safra de 2016/2017 apresentam correlação espacial significativa com  $r = 61,6\%$  (Figura 3). À medida que aumenta a NG (GP) dentro da área na safra de 2015/2016, ocorre também comportamento parecido na safra de 2016/2017, ou seja, as plantas produzem frutos que apresentam NGs próximas entre as safras.

Como a maioria das amostras estavam no intervalo de café muito bom (CMB), tendo 1 ponto com NG menor ou igual a 70 e 4 maiores ou iguais a 80 na safra 1 e 3 NG menores ou iguais a 70 e 6 maiores ou iguais a 80 na safra 2, a aplicação da lógica *fuzzy* diminuiu a perda de informações pela capacidade de obtenção do GP. O sucesso no uso da lógica *fuzzy* corrobora com os resultados apresentados por Lanzillotti e Lanzillotti (1999) que estudaram a aplicação da lógica *fuzzy* na tomada de decisão em análise sensorial como alternativa para avaliar alimentos e preparações alimentares. A lógica *fuzzy* também se mostrou eficiente em análise sensorial de pão em trabalho realizado por Cavalcanti et al. (2013).

Verifica-se na Figura 3 que os mapas fuzzyficados para NG nas safras 1 e 2, apresentam distribuição assimétrica à esquerda e à direita, respectivamente.

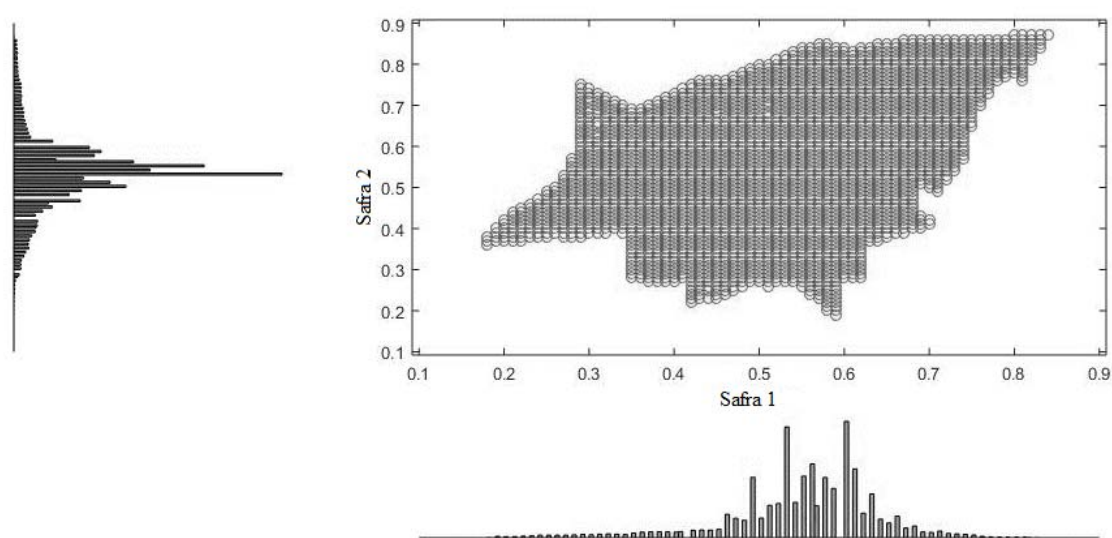


Figura 3. Mapa da correlação espacial dos graus de pertinência (GP) para a bebida do café conilon nas safras 1 e 2 (2015/2016 e 2016/2017).

#### 4. CONCLUSÃO

A nota global (NG) média para a bebida do café conilon de propagação seminal encontra-se no intervalo classificado como “café muito bom” (CMB), nas duas safras.

-Não houve variação temporal significativa entre as médias das notas globais (NG) e das variáveis que caracterizam a qualidade da bebida na análise sensorial (“prova de xícara”).

- A metodologia fuzzy aplicada na nota global (NG) da bebida dos frutos de café conilon seminal possibilitou determinar a sua variabilidade espacial na lavoura com mesmo padrão de distribuição nas duas safras, com correlação espacial-temporal de 61,6%.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALVES, B. H. P. (2012). Análise Química do Aroma e da Bebida de Cafés de Minas Gerais e Espírito Santo em Diferentes Graus de torra. **Tese**. Universidade Federal de Uberlândia, 2012. 162f.
- ANGÉLICO, CL; PIMENTA, CJ; CHALFOUN, SM; CHAGAS, SJR; PEREIRA, MC; CHALFOUN, Y. Diferentes estádios de maturação e tempos de ensacamento sobre a qualidade do café. *Coffee science*, 6 (1), p. 8-19, 2011.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E Field-Scale Variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal.**, v. 58, p. 1501–1511, 1994.
- CAVALCANTI, M. T.; SILVA, F. L. H.; CAVALCANTI, J. H. F.; FLORENTINO, E. R.; FLORENCIO, I. M.; MOREIRA, R. T. Aplicação da lógica fuzzy na análise sensorial de pão de forma enriquecido de pão de forma enriquecidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 208–215, 2013.
- CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CAFÉ - CETCAF. Estudo de qualidade dos diferentes tipos de café conilon produzidos no ES. 2012. Disponível em: <<http://www.cetcaf.com.br/padrao%20bebida%20conilon/projeto%20padraobebidaco%20nilon.htm>>. Acesso em: 25 out. 2017.
- CHALFOUN, S. M.; PEREIRA, M. C.; CARVALHO, G. R.; PEREIRA, A. A.; AVIAN, T. V.; BOTELHO, D. N. S. Sensorial characteristics of coffee (*Coffea arabica* L.) VARIETIES IN THE ALTO PARANAÍBA REGION. **Coffee Science**, v. 8, n. 1, p. 43–52, 2013.
- CORTEZ, J. G. Padrões de bebida para café conilon. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE CAFÉ, 6., 2004, Vitória, ES. **Anais...** Vitória, ES: 2004.
- DRUMOND NETO, A. P. (2017) Qualidade física e sensorial de grãos de *Coffea canephora* Pierre Ex. Froehner de diferentes ambientes. **Tese**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2017. 77f.
- EL HALAL, S. L. M. Composição, processamento e qualidade do café. 2008. 46f. Trabalho acadêmico - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. EMBRAPA. Histórico. 2009. Disponível em: <<http://www22.sede.embrapa.br/cafe/unidade/historico.htm>>. Acesso em: 25 out. 2017.
- EQUIPE CONILON BRASIL. Novo protocolo de degustação de robustas é testado: Cafés capixabas obtiveram resultados animadores. **Revista Conilon Brasil**. Vitória, ES. v.8, p10-11. 2011.
- FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Eds). **Café conilon**. Vitória, ES: Incaper, 702p. 2007
- FERREIRA, W. P. M.; QUEIROZ, D.M.; SILVA, S. A.; TOMAZ, R. S.; CORRÊA, P.C. Effects of the Orientation of the Mountainside, Altitude and Varieties on the Quality of the Coffee Beverage from the “Matas de Minas” Region, Brazilian Southeast. **American Journal of Plant Sciences**, 7, 1291-1303. 2016

FONSECA, A. S.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; XAVIER, A. C.; DRUMOND NETO, A. P. Spatial variability of the productivity and the nutritional condition of coffee canephora. **Coffee Science**, v.10, p.420-428, 2015

FONSECA, A. S.; JESUS, M. L.; LIMA, J.S.S. Lógica fuzzy na análise espacial dos teores de k e s no tecido foliar do mamoeiro. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 730, 2016.

FONSECA, J. O. M. **Pós-colheita: essencial para qualidade do seu café**. Disponível em: <<https://www.cafepoint.com.br/radares-tecnicos/nucleo-de-estudos-de-cafeicultura-ufla/poscolheita-essencial-para-qualidade-do-seu-cafe-90957n.aspx>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

GALOTE, J. K. B.; NETO, A. J. M.; MENDES, D. F.; DARDENGO, M. C. J. D. Índices de qualidade e bebida dos frutos do conilon robusta tropical por via seca. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 1647–1653, 2013.

GEROMEL, C.; FERREIRA, L. P.; GUERREIRO, S. M.; CAVALARI, A. A.; POT, D. PEREIRA, L. F.; LEROY, T.; VIEIRA, L. G.; MAZZAFERA, P. MARRACCINI, P. Biochemical and genomic analysis of sucrose metabolism during coffee (*Coffea arabica*) fruit development. **Journal of Experimental Botany**, 2006. v. 57, n. 12, p. 3243–3258.

Ghaemi, M; Astarai, AR; Mahalati, MN; Emami, H; Sanaeinejad, HH. Spatio-temporal soil quality assessment under crop rotation irrigated with treated urban wastewater using fuzzy modelling. **International Agrophysics**, v. 28, n. 3, p. 291–302, 2014.

ICO, I. C. O. **Protocolo para Degustação de Robusta Fino**. Uganda, África: [s.n.], 2010.

JESUS, M. L.; FONSECA, A. S.; MACHADO, T. S.; ROLDI JUNIOR, G; LIMA, J.S.S. Lógica fuzzy na análise espacial dos teores de boro e manganês no tecido foliar do cafeeiro conilon. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 240, 2016.

Kim, M; Inakazu, T; Koizumi, A; Koo, J; Statistical approach for corrosion prediction under fuzzy soil environment. **Environmental Engineering Research**, v. 18, n. 1, p. 37–43, 2013.

LANZILLOTTI, R. S.; LANZILLOTTI, H. S. Análise sensorial sob o enfoque da decisão fuzzy. **Revista de Nutrição**, v.12, p.145- 157, 1999.

LAZIM M. A.; SURIANI, M. Sensory evaluation of the selected coffee products using fuzzy approach. **World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mathematical and Computational Sciences**, v. 50, n.2. p.133–136, 2009.

LIMA, J. S. S.; SATTLER, A. A.; XAVIER, A. C.; OLIVEIRA, R. B.; PASSOS, R. R.; OLIVEIRA, P. C. Variabilidade espacial da textura de um Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo de pastagem e vegetação nativa. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2634–2637, 2009.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SANTOS, A. A; ALTOE, M. S. Fuzzy logic and geostatistics in studying the fertility of soil cultivated with the rubber tree. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 2, p. 228-238, 2018.

LIMA, J. S. S.; COSTA, F. P.; XAVIER, A. C.; SILVA, S. A. Fuzzy Classification in the Determination of Input Application Zones. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p.1-15, 2016.

- NOBRE, G. W.; BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; PEREIRA, R. G. F. A.; OLIVEIRA, P. D. Composição química de frutos imaturos de café arábica (*Coffea arabica* L.) processados por via seca e via úmida. **Coffee Science**, 6(2), 107-113, 2011
- MORAIS, SAL; AQUINO, FJT; CHANG, R; NASCIMENTO, EA; OLIVEIRA, GS; SANTOS, NV. Análise química de café arábica (*coffea arabica* l.) e grãos pretos, verdes e ardidos (pva) submetidos a diferentes graus de torração. *Coffee Science*, vol: 2 (2) pp: 97-11, 2007.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/ CEDAGRO, 2007. 305p.
- RIBEIRO, B. B.; MENDONÇA, L. M. V. L.; ASSIS, G. A.; MENDONÇA, J. M. A.; MALTA, M. R.; MONTANARI, F. F. Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* Pierre e *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 178-186, 2014.
- SCHIANO, A.N. HARWOOD, W.S. DRAKE, M.A. A. 100-Year Review: Sensory analysis of Milk. *Journal of Dairy Science*, v. 100, n.12, p. 9966-9986, 2017.
- SCHMIDT, C. A. P.; MIGLIORANZA, E. Análise sensorial e o café: uma revisão. **Revista Científica Inovação e Tecnologia**, v. 01, n.02. p. 16-24. 2010.
- SCHOLZ, MBS; FIGUEIREDO, VIRG; SILVA, JVN; KITZBERGER, CSG. Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) do IAPAR. *Coffee science*, 6(3); 245-255, 2011.
- SENTÜRK, S. Construction of fuzzy c control charts based on fuzzy rule method. **Anadolu University Journal of Science and Technology**, v.18, n.3, p. 563 – 572, 2017.
- SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M. DE; FERREIRA, W. P. M.; CORREA, P. C.; RUFINO, J. L. S. Mapping the potential beverage quality of coffee produced in the Zona da Mata , Minas Gerais , Brazil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, p. 3098–3108, 2015.
- SILVA, S. A; LIMA, J. S. S. Lógica fuzzy no mapeamento de variáveis indicadoras de fertilidade do solo. **IDESIA**, v. 27, n. 3, p. 41- 46, 2009.
- SILVEIRA, A. S., PINHEIRO, A. C. T., FERREIRA, W. P. M., SILVA, L. J., RUFINO, J. L. S., SAKIYAMA, N. S. Sensory analysis of specialty coffee from different environmental conditions in the region of Matas de Minas, Minas Gerais, Brazil. *Revista Ceres*, 63(4), 436-443. 2016.
- SOUZA, G. S; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A; XAVIER, A. C. Aplicação de lógica fuzzy e geoestatística na análise da fertilidade de um solo sob pastagem. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 3, p. 323-330, 2009.
- SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA- SCAA. **Protocolo para Análise Sensorial de Café-** Metodologia SCAA. Doc. V- Portuguese. Rev. December, 2008.
- UCDA - Uganda Coffee Development Authority. Protocolos para degustação do Robusta, Junho de 2010. Disponível em: <<http://www.ico.org/documents/pscb-123-p-robusta.pdf>>. Acesso em 01 jan. 2017.



WANG, Q.; WU, B.; STEIN, A.; ZHU, L.; ZENG, Y. Soil depth spatial prediction by fuzzy soil-landscape model. **J Soils Sediments** (2018) 18: 1041-1051.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013), **International Journal of Climatology**, 2016, 36 (6), 2644–2659.