

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

ABEL SOUZA DA FONSECA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO ESTADO NUTRICIONAL DO
CAFEIRO CONILON UTILIZANDO ÍNDICE DRIS**

**ALEGRE, ES
2014**

ABEL SOUZA DA FONSECA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO ESTADO NUTRICIONAL DO
CAFEIRO CONILON UTILIZANDO ÍNDICE DRIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima

**ALEGRE, ES
2014**

Fonseca, Abel Souza da, 1989-

F676v Variabilidade espacial do estado nutricional do cafeeiro conilon utilizando índice DRIS/ Abel Souza da Fonseca. – 2014. 64f.:il.

Orientador: Julião Soares de Souza Lima.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Agricultura de precisão. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Diagnóstico foliar. 4. Produtividade. 5. Café conilon. I. Lima, Julião Soares de Souza. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. III. Título.

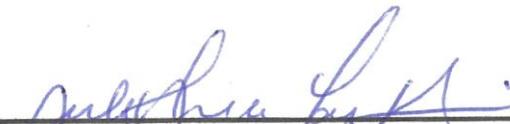
CDU: 63

ABEL SOUZA DA FONSECA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO ESTADO NUTRICIONAL DO
CAFEIRO CONILON UTILIZANDO ÍNDICE DRIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de *Magister Scientiae* em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

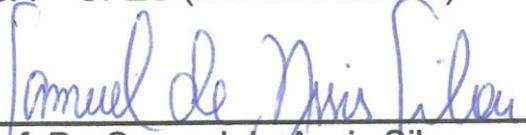
Aprovada em 20 de FEVEREIRO de 2014.



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



Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral
CCA – UFES (membro interno)



Prof. Dr. Samuel de Assis Silva
DCAA – UESC (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
Ao meu irmão,
Adaias Souza Fonseca
À Minha Carinhosa Tia Cleuzeni e ao Meu tio Adenilson (*in memoriam*).

Ao amigo Prof. Julião e
todos os professores e amigos
que participaram comigo nesta
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.

À CAPES, CNPQ e FAPES, pelo apoio financeiro à pesquisa.

Ao Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima, Professor e Diretor do Centro de Ciências Agrárias do CCA-UFES, que sempre me apoiou e me orienta desde o início de minha graduação. Sempre passando conselhos excelentes e apoiando em minhas escolhas.

Aos professores do curso de Agronomia e do curso de Pós-Graduação em produção Vegetal, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos meus irmãos de coração, Rafael Alves Santos e Thawler Andrade dos Santos, que sempre me apoiam, ajudam e expressam suas sinceras opiniões quando preciso.

A todos os meus amigos e companheiros do Curso de Pós-Graduação, em especial Paula Mauri Bernardes, Lilian Lagem Rodrigues e Sebastião Vinícius B. Brinati, pelo companheirismo e pelas Gargalhadas.

Aos meus companheiros de moradia, Flanderlon Costa, Lukas Vial, Ueverton Pimentel, Tiago Sousa e Willian Bruneli, por todos os momentos divertidos que eles me proporcionaram, que não foram poucos.

Ao grupo EJC que sempre me apoiou e sempre me ajudou nas decisões mais difíceis, em especial Tiago Machado, Josiane Rocha, Ramirys Barbosa, Isabel Barbosa, Leonardo Mendes, Rodrigo Sobreira e Valeria Suhette.

A todos da Família Favoreto e agregados, em especial Ivone, Aloisio (Didio), Diovani e Elzi, que sempre me apoiaram e me aceitaram como parte da família, sempre me dando bons conselhos e me mantendo motivado na minha caminhada.

À minha família, que sempre esteve junto comigo e se disponibilizou a me ajudar de todas as formas possíveis.

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

“A boa educação é moeda de ouro. Em toda a parte tem valor”.
Pe. Antônio Vieira

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 Março de 2012, ingressou-se no Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal em nível de mestrado, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, submetendo-se à defesa em fevereiro de 2014.

RESUMO

A combinação da agricultura de precisão e do Sistema Integrado de Recomendação Foliar (DRIS) possibilita monitorar espacialmente o balanço nutricional dos cafezais para fornecer recomendações de adubação mais equilibradas e mais ajustadas economicamente. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial do estado nutricional do cafeeiro conilon, utilizando o Índice de Balanço Nutricional (IBN) e sua relação com a produtividade. A produtividade das plantas em cada ponto amostral foi determinada e construiu-se o seu mapa considerando a variabilidade espacial; determinou-se o Índice de Equilíbrio Nutricional (IBN) das plantas em cada ponto amostral e construiu-se o seu mapa; e utilizou-se a análise de componentes principais (ACP) para estimar o IBN do cafeeiro por cokrigagem. Os dados do cafeeiro conilon foram coletados em fazenda experimental, no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES. O IBN do cafeeiro e a sua produtividade foram analisados por meio de geoestatística, com base nos modelos e parâmetros dos semivariogramas, utilizando o método de interpolação krigagem ordinária para estimar valores para locais não amostrados. O índice de Balanço Nutricional da lavoura do cafeeiro conilon apresentou dependência espacial, porém não apresentou correlação linear e nem espacial com a produtividade. A lavoura em estudo se encontra em desequilíbrio nutricional, sendo que entre os macronutrientes, o Potássio foi o que apresentou maior desequilíbrio na área, entre os micronutrientes, o Zinco e o Ferro foram os que apresentaram menores concentrações nas folhas. A confecção dos mapas possibilitou a distinção de regiões com maior e menor desequilíbrio nutricional e produtividade, o que possibilita adotar o manejo de forma diferenciada e localizada. A análise multivariada baseada em componentes principais fornece componentes com alta correlação com as variáveis originais P, Ca, Zn, Cu, K e B. A cokrigagem utilizando as componentes principais permite estimar o IBN e a produtividade da área.

Palavras-chave: *Coffea canephora*. Índice de Balanço Nutricional. Agricultura de precisão. Geoestatística

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the spatial variability of nutritional status conilon coffee using the Balance Nutritional Index (BNI) and its relationship with productivity. The combination of precision agriculture and Recommendation Integrated System Foliar (DRIS) enables spatially monitor the nutritional balance of the coffee plantations to provide fertilizer recommendations set more balanced and more economically. The productivity of plants at each sample point was determined and built your map considering the spatial variability; determined the Balance Nutritional Index (BNI) plants at each sample point and built your map; and used the principal component analysis (PCA) to estimate the IBN coffee by co-kriging. The data were collected conilon coffee in experimental farm in the municipality of Itapemirim - ES . The BNI the coffee and productivity were analyzed using geostatistical techniques, based on the models and parameters of semivariograms using the ordinary cokriging interpolation method to estimate values for non-sampled locations. The Balance Nutritional index of the crop conilon coffee showed spatial dependence, but no linear nor spatial correlation with productivity. The crop under study is in nutritional imbalance, and among the macronutrients, Potassium showed the greatest imbalance in the area, among the micronutrients, Zinc and Iron were those with lower concentrations in the leaves. The making of maps allowed the distinction of regions with higher and lower nutritional imbalance and productivity, enabling management to adopt a differentiated and localized manner. The multivariate analysis based on principal components provides components with high correlation with the original variables P, Ca, Zn, Cu, K and B. The cokriging using principal components allows estimating the IBN and the productivity of the area.

Keywords: *Coffea canephora*, Balance Nutritional Index, Precision Agriculture, Geostatistics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nível crítico de nutrientes para interpretação de análise foliar na cultura do cafeeiro conilon	28
Tabela 2 – Faixas de suficiência de nutrientes para interpretação de análise Foliar na cultura do cafeeiro conilon.....	29
Tabela 3 – Estatística descritiva dos macro e micronutrientes foliares da lavoura cafeeira.....	35
Tabela 4- Análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os atributos.....	38
Tabela 5 - Estatística descritiva do IBN e da produtividade do café conilon pilado.....	43
Tabela 6 – Resumo da ACP dos nutrientes foliares do cafeeiro conilon.....	43
Tabela 7 – Correlações das variáveis nutrientes foliares com as três primeiras componentes principais.....	44
Tabela 8 – Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para o Índice de Balanço Nutricional e a produtividade do cafeeiro conilon e semivariograma cruzado entre os atributos que apresentaram correlação	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação geral da relação entre o teor foliar e o crescimento ou produção das plantas.	18
Fonte: adaptada de Marschner (1995).	18
Figura 2 – Esquema da metodologia de amostragem.	26
Figura 3 – Gráfico Box plot das concentrações dos macronutrientes.	35
Figura 4 – Valores médios dos macronutrientes (dag kg^{-1}) e o nível crítico adotado para a lavoura cafeeira (dag kg^{-1}).....	39
Figura 5 - Valores médios dos micronutrientes (mg kg^{-1}) e o nível crítico adotado para a lavoura cafeeira (mg kg^{-1}).....	40
Figura 6 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos macronutrientes N e P.	41
Figura 7 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos macronutrientes K e Ca.	41
Figura 8 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos macronutrientes Mg e S.	41
Figura 9 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos micronutrientes Fe e Zn.	41
Figura 10 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos micronutrientes Mn e B.....	42
Figura 11 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares do micronutriente Cu.	42
Figura 12 – Semivariograma simples do IBN, CP1 e CP2.	46
Figura 13 – Semivariogramas cruzados entre IBNxCP1 e IBNxCP2.	47
Figura 14 – Semivariograma simples da produtividade e o cruzado da produtividade em função da CP3.	47

Figura 15 – Mapa do IBNxCP1.....	48
Figura 16 – Mapa do IBNxCP2.....	49
Figura 17 – Distribuição espacial do Índice de Balanceamento Nutricional (IBN) de café conilon var. Robusta Tropical.	49
Figura 18 – Distribuição espacial da produtividade (kg ha ⁻¹) de café conilon beneficiado var. Robusta Tropical.....	50
Figura 19 - Mapa da produtividade pelo semivariograma cruzado com a CP3.	51

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Massa total de café úmida para “i” estádios de maturação	26
Equação 2 –Produtividade de Café em coco (seco)	27
Equação 3–Funções das razões entre dois nutrientes DRIS	29
Equação 4–Índices DRIS	30
Equação 5–Índice de Balanço Nutricional (IBN).....	30
Equação 6–Limite Superior	31
Equação 7 –Limite Inferior.....	31
Equação 8–Semivariograma experimental.....	32
Equação 9 – Krigagem.....	33
Equação 10 –Semivariograma cruzado	33
Equação 10–Cokrigagem.....	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivo geral	15
1.2. Objetivos específicos	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1. Nutrição do cafeeiro conilon.....	16
2.2. DRIS.....	18
2.3. Agricultura de precisão (AP)	20
2.4. Geoestatística	21
2.5. Krigagem e cokrigagem	22
2.6. Análise de componentes principais.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Descrição da área experimental.....	25
3.2. Amostragens	26
3.3. Colheita e processamento.....	26
3.4. Caracterização do estado nutricional do cafeeiro	27
3.4.1 Interpretação por nível crítico e faixa de suficiência.....	28
3.4.2 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS).....	29
3.5. Análise exploratória e descritiva.....	30
3.6. Análise de correlação e análise de componentes principais	31
3.7. Análise geoestatística	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Análise exploratória e descritiva.....	34
4.2. Diagnose foliar por nível crítico e pelo critério da faixa de suficiência	38
4.3. Índice de Balanço Nutricional (IBN) e Produtividade.....	42
4.4. Análise de Componente Principal	43
4.5. Análise Espacial do IBN, da Produtividade e das componentes principais.....	44
5. CONCLUSÕES	51
6. REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma atividade complexa, influenciada por muitas variáveis, tais como: fatores climáticos, fertilidade do solo, equilíbrio nutricional, variedade, manejo adequado, entre outras. Algumas dessas variáveis são controláveis pelo agricultor, e o manejo utilizado pode resultar no aumento da produtividade ou no insucesso da atividade.

Alguns trabalhos têm sido realizados no Espírito Santo na cultura do cafeeiro conilon, estudando a sua produtividade e suas correlações com os atributos químicos e físicos do solo e os relativos à planta, considerando as técnicas utilizadas no estudo da variabilidade espacial.

Devido à grande importância econômica e social da cafeicultura para o país e para o Espírito Santo, o estudo da nutrição mineral dessa cultura tem sido de grande relevância. O estado nutricional do cafeeiro tem grande influência na produtividade da lavoura, e saber 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 na folha, 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 proporciona 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).

A aplicação em taxa variável de fertilizantes na adubação de uma determinada cultura está intimamente relacionada com os conceitos de agricultura de

precisão, que defende o tratamento diferenciado das áreas selecionadas de um campo de produção, com base na variabilidade intracampo da cultura e envolve todo um processo de investigação e diagnóstico (MOLIN e MENEGATTI, 2005).

As aplicações de fertilizantes, com base em deficiências 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, resultando em um aumento significativo da rentabilidade para os produtores de café (SILVA, LIMA e QUEIROZ, 2011).

1.1. Objetivo geral

Estudar a variabilidade espacial do estado nutricional do cafeeiro conilon utilizando técnicas geoestatística, considerando o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS).

1.2. Objetivos específicos

Determinar a distribuição espacial da produtividade e do Índice de Balanço Nutricional (IBN);

Estimar os valores do Índice de Balanço Nutricional (IBN) e produtividade em locais não medidos através do ajuste de semivariograma e confecção de mapas da distribuição espacial pelo método da krigagem;

Construir os mapas temáticos utilizando o método de interpolação krigagem ordinária;

Correlacionar o índice de Balanço Nutricional (IBN) com a produtividade do cafeeiro; e

Utilizar análise de componentes principais, considerando os nutrientes foliares, para estimar por cokrigagem o IBN e a produtividade do cafeeiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Nutrição do cafeeiro conilon

O cafeeiro conilon também é conhecido como "Robusta", uma denominação generalizada que agrupa as variedades da espécie *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. O gênero *Coffea*, família Rubiaceae, subfamília Cinchonoidea, é composto por aproximadamente 100 espécies (BARUAH et al., 2003; PINTO-MAGLIO, 2006), sendo *Coffea arabica* L. (cafeeiro arábica) e *Coffea canephora* Pierre as duas espécies mais comercializadas (CARVALHO et al., 2001).

A cafeicultura brasileira é considerada sustentável e uma das mais modernas do mundo (BESSA, 2012). Ela vem desempenhando função de vital relevância para o desenvolvimento social e econômico, garantindo a geração de empregos, fixação do homem ao campo, arrecadação de impostos e obtenção de divisas externas, sendo considerada uma das atividades mais importantes do setor agropecuário mundial e no Brasil, principalmente no estado do Espírito Santo (FERRÃO et al., 2011).

O sistema solo-planta é um sistema aberto em que os elementos são constantemente removidos de um lado, a fase sólida do solo, e acumulados no outro, a planta (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1989). 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).

A diagnose nutricional das plantas é realizada pela avaliação do resultado dos tecidos foliares, constituindo-se numa ferramenta que permite planejar, avaliar e calibrar a recomendação de adubação utilizada nas lavouras (CORRÊA et al., 2001).

Para Bataglia et al. (2004), o monitoramento nutricional de cafezais mediante análise química das folhas vem se transformando em prática essencial para recomendações de adubações mais equilibradas e economicamente mais ajustadas. Por meio da análise química dos tecidos vegetais é possível distinguir sintomas de deficiência nutricional e possibilitar sua correção, de

forma a reduzir o seu impacto sobre a produtividade das culturas, por meio da aplicação foliar de fertilizantes que contenham os elementos minerais necessários ao reestabelecimento do equilíbrio das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O motivo pelo qual se analisam as folhas é conhecido: elas são os órgãos que, como regra geral, refletem melhor o estado nutricional, isto é, respondem mais às variações no suprimento de um dado nutriente qualquer, seja pelo solo, seja pelo adubo (MALAVOLTA, VITTI, e OLIVEIRA, 1997). As folhas constituem, junto com os frutos, os maiores reservatórios minerais do cafeeiro (CORRÊA, GARCIA e COSTA, 1986), além de serem os principais centros de atividades metabólicas das plantas (HAAG, 1987; TAIZ e ZEIGER, 2004).

Segundo Alvarez e Leite (1992), a contribuição da diagnose foliar, no auxílio da interpretação de desequilíbrios nutricionais das culturas, motivou pesquisadores do mundo inteiro a desenvolverem diversas metodologias de interpretação de resultados de análise foliar. Desta forma, os dados de análises químicas das plantas são interpretados por diversos métodos, sendo os mais usuais os métodos univariados, como o nível crítico e a faixa de suficiência ou multivariados, como o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS).

Segundo Martinez et al. (2008), o nível crítico é denominado como o teor de certo nutriente, em determinada parte da planta, que se associa a 90% da produtividade ou ao crescimento máximo. De acordo com Ulrich e Hills (1967), na zona de deficiência (teores inferiores ao nível crítico), a planta tende a responder ao fornecimento de nutrientes, aumentando sua produção, com pequeno aumento dos teores foliares. Esse aumento de produção tem um limite, a partir de determinado ponto (nível crítico) a planta não tende a responder mais a aplicação de fertilizantes. A Figura 1 representa o ponto de nível crítico e os intervalos existentes abaixo e acima desse valor. Os intervalos representam: I e II – deficiência severa; III – deficiência leve; IV e V – consumo de luxo; e VI – toxidez.

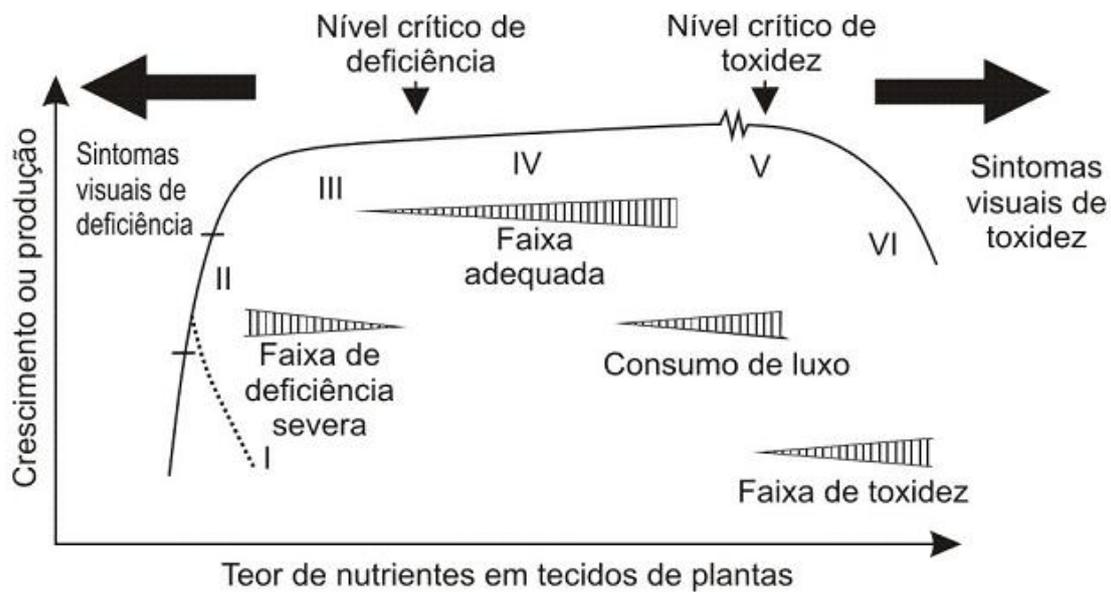


Figura 1 - Representação geral da relação entre o teor foliar e o crescimento ou produção das plantas.

Fonte: adaptada de Marschner (1995).

As faixas de suficiência possuem a mesma teoria do nível crítico, com a vantagem de melhorar a flexibilidade da diagnose, principal desvantagem no uso do nível crítico (MARTINEZ et al., 1999, 2000). Para o cafeeiro, o método das faixas de suficiência tem sido o mais empregado, apesar de que as faixas de suficiência empregadas não são específicas para uma dada região e, muitas vezes, derivam de trabalhos de pesquisa relativamente antigos (MARTINEZ et al. 2008).

2.2. DRIS

A produtividade da lavoura está intimamente ligada aos teores foliares de nutrientes no cafeeiro (RENA e MAESTRI, 1986; RENA e FÁVARO, 2000). Assim, a análise dos teores de nutrientes nos tecidos vegetais torna-se uma ferramenta importante, pois permite uma avaliação direta do equilíbrio nutricional em virtude da própria planta ser o extrator dos nutrientes no solo (BEAUFILS, 1973).

Segundo Evenhuis e Waard (1980), o uso da análise foliar como critério de diagnóstico baseia-se na premissa de existir relação entre o suprimento de nutrientes pelo solo e os seus teores na planta, e que aumentos ou decréscimos nas concentrações dos nutrientes se relacionam com produções mais altas ou mais baixas, respectivamente.

Como o teor crítico e a faixa de suficiência estão sujeitos a algumas limitações, por considerarem apenas a concentração isolada do nutriente em um determinado estágio fenológico (HANSON, 1981), os estudos focam o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS = *Diagnosis and Recommendation Integrated System*). Originalmente desenvolvido por Beaufils (1973) com o objetivo de melhor interpretação dos resultados da análise foliar relacionada a limitações na produtividade das culturas, o DRIS baseia-se no cálculo de índices para cada nutriente, avaliados em função das razões dos teores de cada elemento essencial com os demais, comparando-os dois a dois, com as razões médias correspondentes às normas pré-estabelecidas a partir de uma população de referência, que segundo Filho, Azevedo e Nick (2002) é selecionada a partir de uma população de alta produtividade com um conjunto de dados também criteriosamente selecionados.

O DRIS é um método que avalia as interações nutricionais mais precisamente, que estabelece a ordem de nutrientes limitantes, quer por insuficiência ou excesso, bem como a ordem relativa das necessidades de nutrientes da cultura (SILVA et al., 2003). O sistema calcula um índice para cada nutriente, com base na inter-relação entre os nutrientes e os compara com uma população de referência de alto rendimento.

Para Jones (1981), o DRIS se baseia em algumas considerações relativas à influência da concentração foliar de nutrientes no rendimento das culturas: a) as relações entre as concentrações de nutrientes são frequentemente, os melhores indicadores de deficiências nutricionais do que os valores isolados de concentrações; b) algumas relações entre nutrientes são mais importantes ou significativas do que outras; c) produtividades adequadas são atingidas apenas quando os valores de relações nutricionais aproximam-se de valores ótimos, que são as médias de valores determinados em populações selecionadas, de

alta produtividade;d) o valor ideal do índice DRIS para cada nutriente deve ser zero; e índices negativos apontam deficiências e índices positivos excesso. Portanto, quando os valores dos índices DRIS se aproximam do zero, há uma proximidade das relações duais das amostras com as referidas normas DRIS; com isso, infere-se que, quanto mais próximo de zero o índice, maior será o equilíbrio nutricional (WALWORTH e SUMNER, 1987; SERRA et al., 2010).

Baldock e Schulte (1996) relatam que as principais vantagens do DRIS são: a) a escala é contínua e facilmente interpretada; b) o DRIS classifica os nutrientes desde o mais deficiente até o mais excessivo; c) o DRIS pode identificar alguns casos onde a produtividade está limitada por um desbalanço de nutrientes mesmo que nenhum deles esteja abaixo de seu nível crítico; e d) o IBN dá uma medida do efeito conjunto dos níveis de nutrientes sobre a produtividade.

2.3. Agricultura de precisão (AP)

A agricultura de precisão permite aumento na produtividade e possibilita a produção com maior sustentabilidade, por esse motivo ela possui grande tendência a se tornar uma prática comum na cafeicultura (XAVIER et al., 2012). Sendo que a primeira medida a ser adotada é a construção do mapa da produtividade em uma determinada área de cultivo para depois fazer a sua interpretação com a correlação entre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

As formas variadas de uso e ocupação do solo, com o passar do tempo, tem contribuído para sua heterogeneidade. Esse processo é provocado pelo uso intenso da mecanização mal conduzida, manejos da cultura inadequados levando o solo a sofrer exposição direta à precipitação sem a presença da matéria orgânica, e cultivos em áreas com relevo acidentado, tudo isso vem favorecendo os processos erosivos.

O manejo regionalizado do solo e da cultura é parte integrante de um sistema de Agricultura de Precisão, o qual envolve conceitos de uso de informações sobre a variabilidade de propriedades locais e climáticas de uma área, visando ao aumento da produtividade, otimização no uso dos recursos e redução do impacto da agricultura ao meio ambiente (CORÁ et al. 2004).

Segundo Molin (2011), a agricultura de precisão (AP) é um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial de propriedades do solo e das plantas encontradas nas lavouras. Segundo o mesmo autor, trata-se de um conjunto de tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento que considere a variabilidade espacial da produção.

De acordo com Vieira (2000), a variabilidade espacial das propriedades do solo vem sendo uma das preocupações de pesquisadores, praticamente desde o início do século. A caracterização dessa variabilidade é essencial para alcançar a melhor compreensão das complexas relações entre as propriedades do solo e os fatores ambientais (GOOVERTS, 1998).

De acordo com Blackmore e Larscheid (1997), existem três tipos de variabilidade: a espacial, a temporal e a preditiva. A variabilidade espacial é observada no interior do campo de produção, como, por exemplo, as variabilidades de produtividade e de fertilidade do solo. Na agricultura de precisão, essa informação é utilizada na tomada de decisão sobre técnicas de manejo. A variabilidade temporal é observada, por exemplo, comparando-se mapas de produtividades de ano para ano. A análise de variabilidade temporal é importante para se analisar a tendência de produtividade. A variabilidade preditiva é a diferença entre a produtividade prevista e a que realmente ocorreu.

Queiroz et al. (2004) afirmam que a agricultura de precisão pode trazer inúmeros benefícios à cultura do cafeeiro, pois se trata de uma cultura de elevada receita por área, sendo seu preço baseado na qualidade dos grãos. O emprego das técnicas de agricultura de precisão pode auxiliar na identificação de áreas com potencial para produção de frutos com melhor qualidade e, até mesmo, no entendimento dos fatores inerentes à mesma, elevando a produtividade e a lucratividade dos produtores (SILVA, LIMA e TEIXEIRA, 2009)

2.4. Geoestatística

A presença de dependência espacial em um determinado atributo permite o uso de um tipo de estatística denominada geoestatística, a qual surgiu na

África do Sul, quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias, se não levasse em conta a distância entre as amostras.

Ribeiro Júnior (1995) afirma que a Geoestatística é definida como um conjunto de procedimentos estatísticos aplicados a problemas, onde os dados são referenciados espacialmente. Assim, as observações apresentam características de acordo com a posição e não somente com relação aos valores que assumem.

A geoestatística determina a estrutura de dependência espacial entre amostras e permite elaborar mapa temático de variável regionalizada por meio da interpolação por krigagem (CRESSIE, 1993). A mesma vem sendo utilizada para caracterizar e quantificar a variabilidade espacial, desenvolver uma interpolação racional e estimar a variância dos valores interpolados (FENG et al., 2004).

Entre os instrumentos geoestatísticos, o semivariograma vem sendo utilizado em trabalhos para estudo espacial de variáveis relativas à planta, como podemos observar nos trabalhos de Silva, Lima e Teixeira (2009), Oliveira et al. (2010) e Fonseca e Lima (2013). O semivariograma analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem (SALVIANO, 1996). Segundo Matos (2003), podemos imaginar que pontos que se encontrem mais próximos dos pontos a serem estimados possuam um maior peso do que amostras mais espaçadas do ponto que se deseja estimar.

2.5. Krigagem e cokrigagem

As propriedades naturais da superfície terrestre são espacialmente contínuas, sendo restritivo descrevê-las através de simples funções matemáticas (CAMARGO e FUKS, 2004). Conhecido o semivariograma da variável, e havendo dependência espacial entre as amostras, valores em qualquer posição

no campo de estudo podem ser estimados por interpolação. Modelos inferenciais para esse objetivo vêm sendo propostos, sendo a krigagem um desses modelos (OLIVEIRA, 2007).

A krigagem é um processo de interpolação para estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, e/ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma (LANDIM, 2003).

Rossi et al. (1994) destacam três características da krigagem que a distinguem dos outros métodos de interpolação: a) pode fornecer uma estimativa maior ou menor que o valor das amostras, sendo as técnicas tradicionais restritas às faixas de variações das amostras; b) tem a vantagem de usar a distância e a geometria entre as amostras, enquanto que os métodos tradicionais usam distâncias euclidianas para avaliar as amostras; e c) diferente dos métodos tradicionais, a krigagem leva em conta a minimização da variância do erro esperado, por meio de um modelo empírico da continuidade espacial existente ou do grau de dependência espacial com a distância ou direção, expresso pelo semivariograma.

Segundo Burrough e McDonnell (1998), quando os dados são abundantes, a maior parte dos métodos de interpolação produz valores semelhantes. Porém, segundo Vieira (2000) e Thompson (1992), a krigagem tem capacidade de produzir melhores estimativas em termos de interpolação, porque está embasada em duas premissas: não tendenciosidade do estimador e variância mínima das estimativas. Melo et al. (2003), estudando krigagem e o inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas, concluíram que embora ambos os métodos testados tenham apresentado baixos erros médios, a krigagem foi o método que propiciou os menores erros de interpolação dos parâmetros.

A cokrigagem é um procedimento geoestatístico, segundo o qual, duas variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto com base na correlação espacial entre si. É uma extensão multivariada do método da

krigagem quando para cada local amostrado obtém-se um vetor de valores em lugar de um único valor.

A cokrigagem descreve a variação espacial e/ou temporal simultânea de duas variáveis aleatórias que estão fortemente associadas entre si, portanto, é utilizada quando existe dependência espacial para cada variável em estudo e também entre as variáveis, sendo possível utilizar essa técnica na estimativa de valores não amostrados (GUIMARAES, 2004). Valores ausentes não se tornam problemáticos, pois o método deve ser usado exatamente quando uma das variáveis apresenta-se subamostrada em relação às demais. Essa variável é conhecida como “primária” e as demais como “secundárias”. O objetivo é, portanto, melhorar a estimativa da variável subamostrada utilizando aquelas mais densamente amostradas.

Trata-se de uma ferramenta geoestatística que vem sendo cada vez mais utilizada em diversas situações de estimativa ou de modelagem, existindo à disposição diversos programas computacionais (YATES; YATES, 1990; MARCOTTE, 1991; DEUTSCH e JOURNAL, 1992).

2.6. Análise de componentes principais

Quando um fenômeno em estudo depende de muitas variáveis, geralmente a análise univariada pode ser falha, pois não basta conhecer informações estatísticas isoladas, é necessário, também, conhecer a totalidade dessas informações fornecidas pelo conjunto das variáveis e suas relações (SOUZA e VICINI, 2005). A estatística multivariada consiste em um conjunto de métodos estatísticos utilizados em situações nas quais várias variáveis são medidas simultaneamente, em cada elemento amostral (MINGOTI, 2007).

A análise dos componentes principais (ACP) consiste numa transformação linear de “m” variáveis originais em até “m” novas variáveis, de tal modo que a primeira nova variável computada seja responsável pela maior variação possível existente no conjunto de dados, a segunda pela maior variação possível restante e assim por diante até que toda a variação do conjunto tenha sido explicada (TINO 2005). Dessa forma, deseja-se obter a redução do

numero de variáveis a ser avaliadas, o que explica a importância dessa análise (MASON e YOUNG, 2002).

A ACP é um método de ordenação e vem sendo muito estudado tanto para variáveis de solo com variáveis da planta. Como exemplo de seu uso com variáveis relativas à nutrição da planta, pode ser citado o estudo de Silva e Lima (2012) que avaliou a variabilidade do estado nutricional e produtividade de cafeeiro arábica por meio da análise de componentes principais (ACP). Como aplicação de ACP em atributos de solo, temos o estudo de Burak, Passos e Andrade (2012), que estudaram a variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro conilon.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área experimental

A coleta de dados foi realizada em uma fazenda experimental, no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, cultivada com a espécie *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (variedade Robusta Tropical – “Emcaper 8151”) no espaçamento 2,9 x 0,9, demarcada por Oliveira (2007). A área experimental, com área de 1 ha, está localizada a 20° 45'17,31" de Latitude Sul e 41° 17' 8,86" de Longitude Oeste, com altitude média de 113 m.

O material de origem na área experimental é do tipo granito-gnáissico de origem pré-cambriana (IBGE, 1987). O solo foi classificado como latossolo Vermelho-amarelo distrófico com a textura argilosa, com as frações granulométricas médias de argila = 415,6 g kg⁻¹, silte = 190,5 g kg⁻¹ e areia total = 393,9 g kg⁻¹ na camada de 0-0,20 m.

Anualmente, os tratos culturais de manutenção da área têm sido por métodos químicos e manuais para o controle das plantas daninhas, para o controle fitossanitário do cafezal e colheita. Também foi realizada a desbrota do cafeeiro nas demais safras, evitando que ramos não produtivos competissem por água e nutrientes com os demais ramos produtivos. Após a implantação da lavoura, em 2000, foi realizado o manejo da adubação nas demais safras, com 130

gramas por plantas do formulado 20-00-20 e uma aplicação de 80 gramas por plantas de super simples (SS) com as doses variando conforme a análise de solo.

3.2. Amostragens

Na área de estudo, uma malha irregular foi construída, sendo georreferenciados 140 pontos amostrais espaçados em aproximadamente 10 m na linha do cafeeiro. Cada ponto amostral foi composto por cinco plantas de café, totalizando uma área de 13,05 m² por ponto (Figura 2).

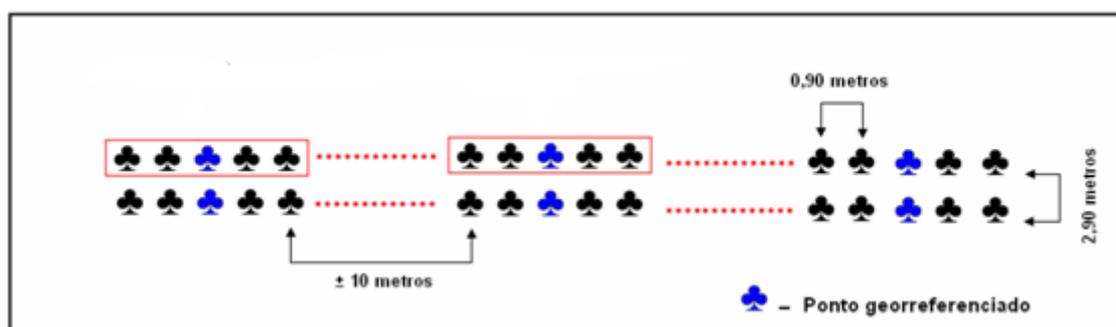


Figura 2 – Esquema da metodologia de amostragem.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2007).

3.3. Colheita e processamento

Os dados para cálculo de produtividade foram coletados na safra 2010/2011, sendo a colheita realizada no mês de julho de 2011. O café das cinco plantas que compõem o ponto foi derrizado manualmente em peneiras e em seguida colocado em sacos previamente identificados. Após o término da colheita, as amostras foram levadas para o laboratório do INCAPER para determinação da produção de café úmido e seco. Após retirar sub amostras dos sacos, determinou-se a massa estimada de café úmido verde + verdoengo, cereja e passa seco, de acordo com a Equação 1 (CAMPOS, 2005). O método de padrão estufa, 105 °C (± 3°C) por 24 horas, foi usado para determinar a umidade de cada estágio de maturação de acordo com Brasil (1992).

$$m_i = \frac{P_{sa} * m_{ja}}{m_a} \quad (1)$$

em que:

m_i = massa total de café úmido calculada para os estádios de maturação i (verde + verdoengo, cereja e passa seco), kg;

P_{sa} = produção total de café úmido no ponto, kg;

m_{ia} = massa de café úmido da amostra para o estágio de maturação i (verde + verdoengo, cereja e passa seco), kg;

m_a = massa total de café úmido da amostra, kg.

Para a obtenção da produtividade do café em coco (seco), conforme Equação 2, utilizou-se as umidades em base úmida (b.u.) e as massas estimadas de cada estágio de maturação para corrigir a produtividade para a umidade padrão de 12%, conforme descrito por campos (2005).

$$P_c = \frac{M_v * \left(\frac{100-U_v}{100-U_f}\right) + M_c * \left(\frac{100-U_c}{100-U_f}\right) + M_s * \left(\frac{100-U_s}{100-U_f}\right)}{A} \quad (2)$$

em que:

P_c = produtividade de café seco (coco) corrigida, kg ha^{-1} ;

U_v = umidade do café verde + verdoengo, % b.u.;

U_c = Umidade do café cereja, % b.u.;

U_s = Umidade do café seco, % b.u.;

U_f = Umidade padrão, % b.u.;

M_v = Massa total de café úmido calculada para os estádios de maturação verde + verdoengo, kg;

M_c = Massa total de café úmido calculada para os estádios de maturação cereja, kg;

M_s = Massa total de café úmido calculada para os estádios de maturação seco, kg;

A = Área do ponto, ha.

3.4. Caracterização do estado nutricional do cafeeiro

A análise foliar foi utilizada para a obtenção de dados que permitem a caracterização de cada ponto quanto ao seu estado nutricional. 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), nos 4 pontos cardeais (PREZOTTI e BRAGANÇA, 1995; ANDRADE, 2001), nos meses de janeiro e fevereiro de 2011. As folhas coletadas foram acondicionadas em envelope de papel, secas em estufa a 65 °C até massa

constante, moídas e, posteriormente, enviadas ao laboratório de análise LAFARSOL do Centro de Ciências Agrárias – UFES.

As amostras foram analisadas para a obtenção das concentrações em matéria seca dos macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S; e dos micronutrientes: Fe, B, Zn, Mn e Cu. Para a interpretação dos dados obtidos, foram utilizados três métodos de análise foliar: nível crítico, faixa de suficiência e índice DRIS.

3.4.1 Interpretação por nível crítico e faixa de suficiência

As análises foliares do cafeeiro foram interpretadas segundo o critério de nível crítico, de acordo com Costa e Bragança (2000), e faixa de suficiência, com valores adaptados de Ferrão et al. (2007) para cada nutriente nas amostras da lavoura. Os valores de referência para a interpretação da análise foliar são demonstrados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Nível crítico de nutrientes para interpretação de análise foliar na cultura do cafeeiro conilon

Nutrientes	Nível Crítico
	Macronutrientes (dag kg ⁻¹)
N	3,00
P	0,12
K	2,10
Ca	1,40
Mg	0,32
S	0,24
	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)
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 de nutrientes para interpretação de análise Foliar na cultura do cafeeiro conilon

Nutriente	Classe de Interpretação		
	Baixo	Adequado	Alto
-----dag kg ⁻¹ -----			
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 ⁻¹ -----			
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 Ferrão et al. (2007).

3.4.2 Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS)

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

Para a aplicação do DRIS, foram calculadas as funções das razões entre dois nutrientes DRIS, conforme a equação 3 (JONES, 1981):

$$f(A/B) = (A/B - a/b) .k/s \quad (3)$$

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 (10) e “ s ” o desvio padrão da proporção na população de referência.

Após foram calculados os índices DRIS, seguindo as recomendações de Alvarez e Leite (1992), pela equação 4:

$$\text{Índice A} = \{[f(A/B)+\dots+f(A/Z)] - [f(B/A)+\dots+f(Z/A)]\} / (n+m) \quad (4)$$

em que:

$f(A/B)$; $f(A/Z)$ = função normal reduzida da relação direta entre os teores de dois nutrientes A e B;

A e Z, respectivamente, $f(B/A)$; $f(Z/A)$ = função normal reduzida da relação inversa entre os teores de dois nutrientes B e A;

Z e A, respectivamente, n = número de funções onde o nutriente A em análise aparece no numerador (relações diretas);

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 5:

$$\text{IBN} = |\text{índices A}| + |\text{índices B}| + \dots + |\text{índices Z}| \quad (5)$$

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

3.5. Análise exploratória e descritiva

Para verificar a presença de *outliers*, a análise exploratória foi realizada antes que os dados coletados fossem submetidos à análise estatística descritiva. Para o cálculo dos dados discrepantes, utilizou-se o critério dos limites inferior

e superior da distribuição normal (HOAGLIN et al., 1983). Os limites superior e inferior foram obtidos pelas equações a seguir:

$$LS = Q3 + 1,5*(Q3-Q1) \quad (6)$$

$$LI = Q1 - 1,5*(Q3-Q1) \quad (7)$$

em que:

LS = limite superior;

LI = limite inferior;

Q3 = terceiro quartil;

Q1 = primeiro quartil.

Calcularam-se as medidas de posição (média e mediana); medidas de dispersão (valores máximo e mínimo, quartis superior e inferior, desvio padrão, variância e coeficiente de variação); forma da dispersão (coeficiente de assimetria e curtose); e a verificação da normalidade dos dados a 5% de significância pelo teste de Kolmogorov Smirnov (KS).

3.6. Análise de correlação e análise de componentes principais

Uma análise de correlação de Pearson ($P < 0,05$) entre os atributos foi realizada e, na sequência, fez-se análise de componentes principais (ACP), determinando a matriz de covariâncias com o objetivo de reduzir os atributos em estudo, utilizando as componentes principais para estimar o mapa da distribuição espacial do IBN e da produtividade (Prod). Os autovetores determinados correspondem às componentes principais e é o resultado do carregamento das variáveis originais, em cada um deles. A multiplicação da matriz de carregamento de cada variável nas componentes principais, pela matriz original dos dados, fornecerá a matriz de contagens (*scores*) de cada caso em relação às componentes principais.

A seleção do número de componentes principais foi baseada no critério de análise da qualidade de aproximação da matriz de correlação, denominado método de Kaiser ou Método da Raiz Latente, utilizando-se os componentes associados a autovalores superiores a 1 (HAIR et al., 2005; MINGOTI, 2007; SILVA et al., 2010) e na correlação das componentes com os atributos químicos do solo. Optou-se também por utilizar um número de componentes

que juntos representassem um valor superior a 60% da variância dos dados originais, de forma a reduzir perda de informações.

3.7. Análise geoestatística

O IBN e a produtividade foram analisados por geoestatística, a fim de verificar a ocorrência de dependência espacial e, em caso afirmativo, quantificar o grau da dependência utilizando a montagem de funções teóricas de modelos de semivariogramas experimentais, com base no pressuposto de estacionaridade intrínseca, conforme descrito por Vieira (2000), utilizando-se do semivariograma clássico de Matheron, dado pela equação 8:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [(Z(x_i) - Z(x_i + h))^2] \quad (8)$$

em que:

$\gamma(h)$ = Semivariância estimada;

$N(h)$ = número de pares do atributo;

$Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ = valores dos atributos medidos na posição x_i e $x_i + h$, separados por um vetor h (distância entre amostras).

Para escolher o modelo a ser adotado, baseou-se na minimização da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação múltipla (R^2) do ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais. Na sequência, também foi utilizado o coeficiente de correlação da validação cruzada (r_{vc}) (valores observados *versus* valores estimados), como critério de escolha (LIMA, OLIVEIRA e QUARTEZANI, 2007).

O índice de dependência espacial (IDE) foi considerado pela relação $C_0/(C_0+C)$ e os intervalos propostos por Cambardella et al. (1994), que considera a dependência espacial como forte ($IDE < 25\%$), moderada ($25\% \leq IDE \leq 75\%$) e baixa ($IDE > 75\%$). De acordo com Vieira (1997), quanto maior for a proporção da variância estrutural (C) para o patamar (C_0+C), maior será a semelhança entre os valores vizinhos e a continuidade do fenômeno e menor a variância da

estimativa e, portanto, maior a confiança que se pode ter nas estimativas em locais não amostrados pelo método da interpolação por krigagem ordinária.

Com a dependência espacial confirmada, os valores de IBN e os da produtividade do cafeeiro foram estimados para os locais não amostrados utilizando-se krigagem. A krigagem é um método geoestatístico univariado, que se utiliza de um estimador linear não viciado com variância mínima e leva em consideração a estrutura de variabilidade encontrada para o atributo e é definido pela equação 9:

$$Z^*(x_i, x_i+h) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i, x_i+h) \quad (9)$$

em que:

$Z^*(x_i, x_i+h)$ = estimador para um ponto (x_i, x_i+h) da região;

λ_i = pesos usados na estimativa.

Para estimar a produtividade (kg ha^{-1}) em função do IBN, utilizou-se a extensão multivariada da krigagem, conhecida como cokrigagem, como demonstrado por Isaaks e Srivastava (1989) e no estudo de Silva et al. (2010). Esse 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 10:

$$\gamma_{12}(h) = \frac{1}{2N(h)} \left\{ \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_1(X_i + h) - Z_1(X_i)] * [Z_2(X_i + h) - Z_2(X_i)] \right\} \quad (10)$$

em que:

$N(h)$ = número de valores de Z_1 e Z_2 separados por um vetor h .

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, 1998; LANDIM, MONTEIRO e CORSI, 2002; SOARES, 2006). A estimativa de uma variável $Z^*(x_0)$ para qualquer local x_0 deve ser uma combinação linear de Z_1 e Z_2 , ou seja:

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^{n_1} \lambda_{1i} Z_1(x_{1i}) + \sum_{j=1}^{n_2} \lambda_{2j} Z_2(x_{2j}) \quad (11)$$

em que:

n_1 e n_2 = números de vizinhos medidos de Z_1 e Z_2 , respectivamente;

λ_1 e λ_2 = 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 a krigagem, para que esse estimador seja ótimo, ele também deve ter variância mínima e ser não tendencioso (LANDIM, MONTEIRO e CORSI, 2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise exploratória e descritiva

A análise exploratória dos dados permitiu verificar que, para a maioria dos nutrientes foi encontrado *outliers* (Figuras 3). Os valores dos nutrientes em cada ponto amostral foi dividido por 2 vezes o desvio padrão de cada atributos, para padronizar a escala. Segundo Hoaglinet al. (1983), esses *outliers* alteram os valores de algumas medidas sensíveis a essas observações, como a média, a amplitude, o desvio padrão e a assimetria da distribuição dos dados. Na análise espacial, para Diggle e Ribeiro Júnior (2000), os *outliers* provocam um forte impacto, principalmente na parte inicial do semivariograma. Isso pode causar uma interpretação errada sobre o efeito pepita. Nos nutrientes que apresentaram *outliers*, os mesmos foram substituídos pela média dos quatro vizinhos próximos após a retirada dos *outliers*. Na Tabela 3 estão os dados da análise descritiva dos nutrientes foliares do cafeeiro conilon.

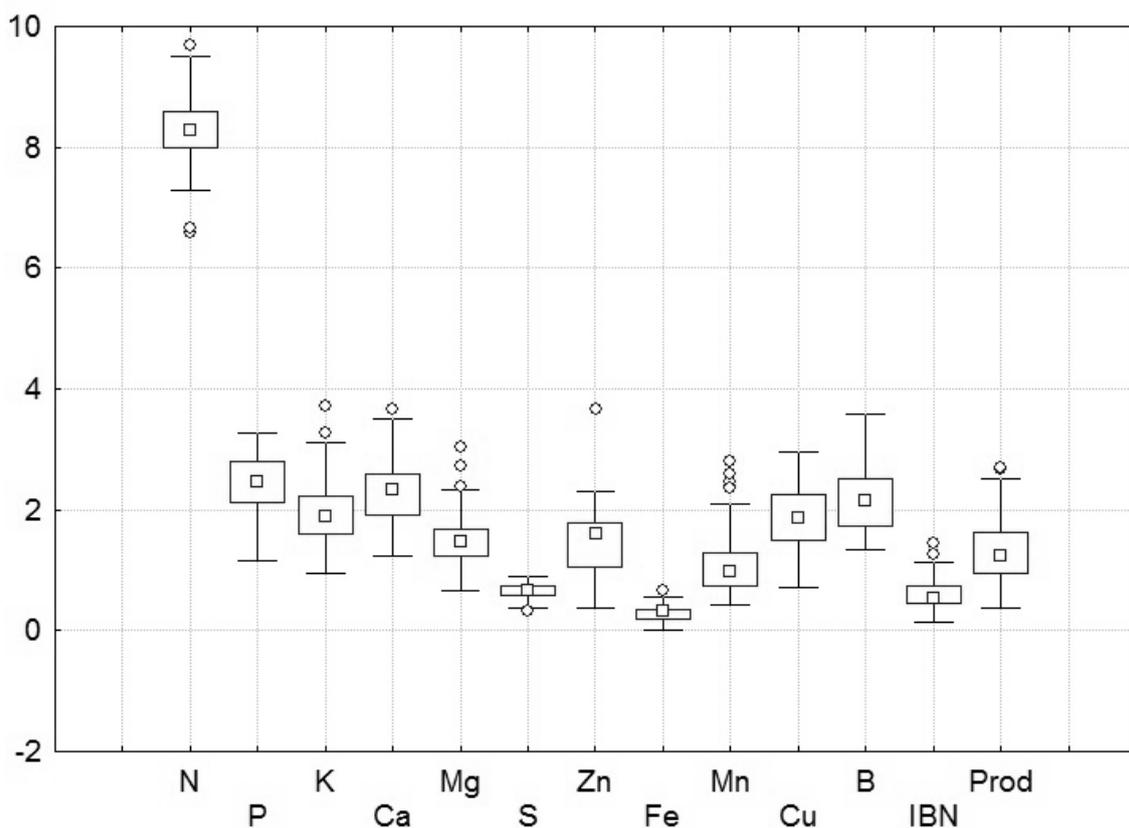


Figura 3 – Gráfico Box plot das concentrações dos macronutrientes.

Tabela 3 – Estatística descritiva dos macro e micronutrientes foliares da lavoura cafeeira

Nutriente	Média	Md	s	Valores		Coeficientes			Teste
				Mínimo	Máximo	CV(%)	C _s	C _k	KS
N (dag kg ⁻¹)	2,88	2,87	0,17	2,52	3,29	5,02	-0,29	1,11	p<0,05*
P (dag kg ⁻¹)	0,15	0,15	0,03	0,07	0,20	20,59	-0,48	-0,51	p<0,01*
K (dag kg ⁻¹)	1,02	1,00	0,24	0,50	1,64	23,89	0,47	0,00	p>0,20 ^{ns}
Ca(dag kg ⁻¹)	1,30	1,32	0,28	0,71	1,99	21,28	-0,09	-0,48	p>0,20 ^{ns}
Mg (dag kg ⁻¹)	0,33	0,34	0,08	0,15	0,51	22,16	0,41	0,12	p<0,10 ^{ns}
S (dag kg ⁻¹)	0,15	0,16	0,03	0,08	0,22	19,65	-0,37	-0,18	p<0,05*
B (mg kg ⁻¹)	105,19	105,10	24,31	65,80	174,00	23,11	0,38	-0,51	p>0,20 ^{ns}
Cu (mg kg ⁻¹)	15,80	15,81	4,26	6,13	25,18	26,95	0,00	-0,68	p>0,20 ^{ns}
Fe (mg kg ⁻¹)	48,60	54,00	18,65	2,50	93,00	38,40	-0,46	0,18	p<0,01*
Mn (mg kg ⁻¹)	203,60	205,50	54,83	89,00	323,00	26,93	0,17	-0,55	p>0,20 ^{ns}
Zn (mg kg ⁻¹)	6,83	7,54	2,19	1,82	10,87	31,99	-0,60	-0,65	p<0,01*

Md – Mediana; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; C_s – Coeficiente de simetria; C_k – coeficiente de curtose; ns – distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de probabilidade; e *Distribuição não normal.

Com exceção de Fe e Zn, todos os nutrientes apresentaram valores de medidas de tendência central (média e mediana) bem próximos. Em relação aos nutrientes para os quais essas medidas foram diferentes, os valores de assimetria apresentaram-se distantes de zero, levando a um afastamento da distribuição normal. Mesmo com medidas de tendência central próximas, o N, P e S também apresentaram distribuição não normal pelo teste de Kolmogorov Smirnov a 5% de probabilidade. O afastamento desses nutrientes da normalidade deve-se à associação entre altos valores de assimetria e curtose, indicando tanto o alongamento da cauda à esquerda da curva de distribuição normal, quanto à forma de achatamento da mesma.

Analisando-se o coeficiente de variação (CV), observa-se que, segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), com exceção do N (baixo = $CV < 12\%$), os demais nutrientes foliares encontram-se no intervalo de 12 a 60%, sendo, portanto, considerados de média variação. Essa menor variabilidade do N nas folhas em relação à média também foram encontrados por Souza, Vieira e Cogo (1997), Silva e Chaves (2001), Oliveira (2007) e Silva e Lima (2012).

Analisando a média de P encontrada nas folhas do cafeeiro, conforme descrito por Willson (1985) e Ferrão et al. (2007), pode-se considerar o teor desse macronutriente adequado para a lavoura cafeeira. A baixa exigência de P pelo cafeeiro foi, possivelmente, suprida pela adubação fosfatada do solo. Segundo Malavolta et al. (1981), o cafeeiro é altamente eficiente na extração do P do solo, e em termos quantitativos é o macronutriente menos exigido para o crescimento e produção. Porém, exerce grande importância na floração, frutificação e maturação dos frutos (GUIMARÃES e PONTE, 1978).

Entre os micronutrientes, o Fe e o Zn, considerando a média da lavoura, apresentam-se em nível baixo de acordo com Ferrão et al. (2007), resultado que confirma os estudos de Costa, Bragança e Lani (2000), que através de um diagnóstico em lavouras de café conilon no Espírito Santo, concluíram que, em grande número de lavouras, o Fe apresenta-se como limitante da produção. Porém, para Matiello e Garcia (2013), a carência do ferro pode estar muito crítica e mesmo assim, em curto prazo, a planta continuar frutificando bem.

Segundo Oliveira (2007), a deficiência desses nutrientes pode estar relacionada à baixa concentração dos mesmos no solo, por origem e/ou por cultivos sucessivos, sendo adicionados em baixas concentrações ou não adicionados.

Em contrapartida à deficiência de Fe e Zn, neste estudo foram encontrados valores muito altos para o Mn, sendo que a média da lavoura chega a ser 2,5 vezes maior que o limite máximo da faixa proposto por Ferrão et al. (2007), que é de 80 mg kg⁻¹. Diferente desses resultados, Leite (1993) e Costa, Bragança e Lani(2000) relataram que o Mn apresentou-se, em situações específicas, como um nutriente em deficiência nas lavouras do Espírito Santo. Partelli, Vieira e Costa (2005) também observaram que o Mn ocorreu como limitante ao realizar um diagnóstico nas lavouras orgânicas e convencionais do Estado. O resultado contrário encontrado neste estudo, que coincide com os resultados obtidos por Oliveira (2007), segundo esse mesmo autor, pode estar relacionado com a acidez do solo, devido ao uso contínuo de adubos nitrogenados acidificantes, o que levaria a uma grande disponibilidade de Mn.

Na Tabela 4 estão apresentadas as correlações de Pearson ($p < 0,05$) entre os atributos foliares e a produtividade (Prod) do café beneficiado. Observa-se que somente o Ca entre todos os nutrientes apresentou correlação significativa com a Produtividade. A correlação positiva e baixa entre esse nutriente e a produtividade indica que, em plantas com maiores concentrações desse nutriente, a produtividade foi ligeiramente maior do que no restante da área. Tomaz et al. (2003) ressaltam que variações na eficiência de uso de cálcio em tecidos vegetais não são ainda bem compreendidas.

Correlações altas com o coeficiente r entre 0,6 e 0,80 estão Zn x P ($r = 0,80$), Zn x Ca ($r = 0,74$), P x Ca ($r = 0,62$) e Cu x P ($r = 0,74$). As demais correlações significativas apresentaram de média a baixa correlação com r entre 0,4 a 0,6 e r entre 0,2 a 0,4, respectivamente, segundo critérios apresentados por Kitamura (2007). Assim como neste estudo, Lana et al. (2010) observaram correlação positiva entre as concentrações de K e P; B e Ca; Fe e Ca; Mn e Fe; Zn e Ca; e Mn e Ca, estudando 59 lavouras de café arábica.

Tabela 4- Análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os atributos

	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	IBN	Prod
N		-0,05	-0,17	0,11	0,06	0,00	0,01	-0,15	-0,04	-0,05	0,05	0,14	0,12
P			<u>0,42</u>	<u>0,62</u>	<u>0,39</u>	0,14	<u>0,80</u>	<u>0,27</u>	<u>0,26</u>	<u>0,74</u>	-0,07	<u>-0,46</u>	0,01
K				<u>0,24</u>	-0,03	-0,05	<u>0,40</u>	<u>0,38</u>	-0,03	<u>0,39</u>	<u>-0,36</u>	<u>-0,51</u>	-0,13
Ca					<u>0,66</u>	0,14	<u>0,74</u>	<u>0,27</u>	<u>0,40</u>	<u>0,47</u>	<u>0,17</u>	<u>-0,32</u>	<u>0,22</u>
Mg						0,11	<u>0,44</u>	0,08	<u>0,55</u>	<u>0,31</u>	<u>0,24</u>	-0,01	0,00
S							0,12	0,04	<u>0,21</u>	<u>0,21</u>	0,10	-0,01	0,16
Zn								<u>0,28</u>	<u>0,25</u>	<u>0,56</u>	-0,04	<u>-0,51</u>	0,07
Fe									<u>0,22</u>	<u>0,26</u>	0,00	-0,09	-0,06
Mn										<u>0,45</u>	<u>0,33</u>	0,14	-0,06
Cu											0,06	<u>-0,24</u>	-0,07
B												<u>0,33</u>	0,08
IBN													-0,04
Prod													

As médias em negrito e sublinhadas são significativas ao nível de 5% de probabilidade

Considerando o IBN, temos IBNxP ($r = -0,46$), IBNxK ($r = -0,51$), IBNxCa ($r = -0,31$), IBNxZn ($r = -0,51$) e IBNxCu ($r = -0,24$), todas correlações negativas e significativas, com exceção do IBNxB ($r = 0,33$), porém de baixas médias. Essa correlação negativa do IBN com o K e Zn prova que com o aumento da concentração desses nutrientes no tecido vegetal, há uma redução no valor do IBN, ou seja, melhora o equilíbrio nutricional da lavoura.

4.2. Diagnose foliar por nível crítico e pelo critério da faixa de suficiência

Analisando pelo nível crítico, entre os macronutrientes, N, K, Ca e S apresentaram médias inferiores ao nível crítico, com destaque para o Potássio, que teve média próxima à metade do nível crítico como podemos visualizar na Figura 4. Já a média de P e Mg na lavoura está acima do nível crítico. Dessa forma, a aplicação de fertilizantes contendo P e Mg não surtirá efeito na produtividade da cultura. A aplicação desses nutrientes fará com que a planta entre em consumo de luxo (Figura 1) ou até mesmo na faixa de toxidez, dependendo do nível de fertilizante aplicado.

Analisando a Figura 5, que mostra os níveis de micronutrientes da lavoura, notamos que apenas os valores médios de Zn e Fe encontram-se abaixo do

nível, crítico. Para Tomaz et. al. (2009), teores Inadequados de micronutrientes têm efeito direto sobre o desenvolvimento da cultura, e também reduz a eficiência de uso dos fertilizantes contendo macronutrientes. Segundo os mesmos autores, além disso, alguns micronutrientes como o Zn estão particularmente envolvidos na fase reprodutiva do crescimento e da qualidade da cultura. O Zn também é responsável por conferir resistência contra estresses bióticos e abióticos (KIRKBY e ROMHELD, 2007). Já segundo Ribeiro (2008), o Fe é importante na formação da clorofila e na respiração. É um nutriente de difícil translocação das partes mais velhas para as mais novas do cafeeiro, podendo ocorrer deficiência quando o crescimento da planta é rápido.

Conforme a interpretação da análise foliar do cafeeiro, segundo o critério da faixa de suficiência (Tabela 2) e com o auxílio das Figuras 6, 7 e 8, observa-se que o K é realmente o macronutriente em maior desequilíbrio na lavoura. Todas as amostras coletadas apresentaram baixo teor do nutriente. Isso pode estar relacionado à concentração excessiva de Mn, já que esse elemento pode estar reduzindo a absorção de K.

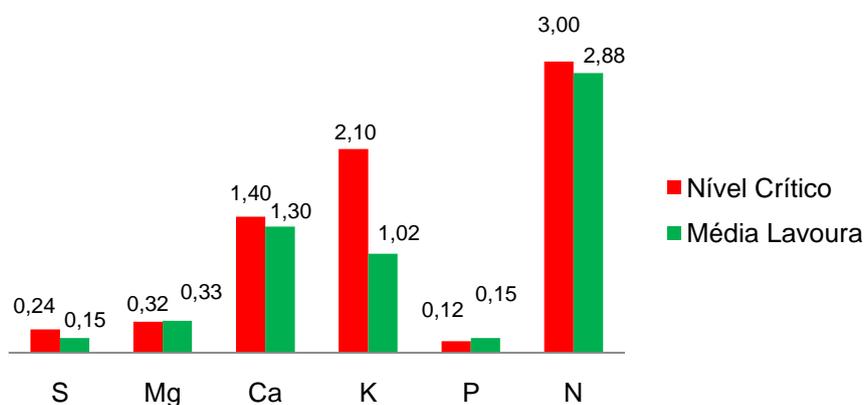


Figura 4 – Valores médios dos macronutrientes (dag kg⁻¹) e o nível crítico adotado para a lavoura cafeeira (dag kg⁻¹).

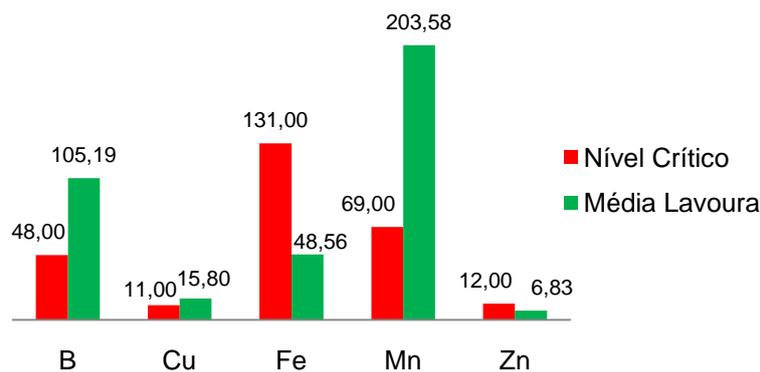


Figura 5 - Valores médios dos micronutrientes (mg kg⁻¹) e o nível crítico adotado para a lavoura cafeeira (mg kg⁻¹).

Logo depois temos o Se o N, respectivamente, com 92,14% e 61,43% das amostras com concentração baixa. O Ca e o P são os macronutrientes que apresentam maior percentagem da concentração de nutrientes dentro da faixa adequada para o cafeeiro (61,43% e 50%, respectivamente), sendo que o P é o nutriente que apresenta maior percentagem de amostras com concentração alta (33,53%).

Nas Figuras 9, 10 e 11, avalia-se a situação dos micronutrientes na lavoura cafeeira. O Fe e o Zn são os dois nutrientes que apresentam maiores percentagens de amostras abaixo da faixa de suficiência (100% e 96,43%, respectivamente). Todas as 140 amostras de Mg e B estavam acima da faixa de suficiência, ou seja, esses micronutrientes, podem estar causando toxidez na planta ou simplesmente na faixa de consumo de luxo, não sendo necessário aplicar fertilizantes que contenham os mesmo. O Cu é o nutriente em maior equilíbrio na lavoura, sendo que 71,43% das amostras estão dentro da faixa de suficiência.

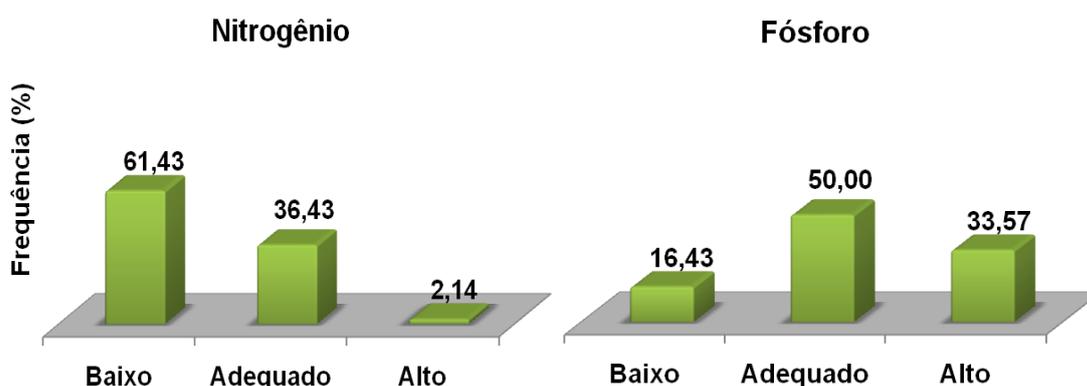


Figura 6 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos macronutrientes N e P.

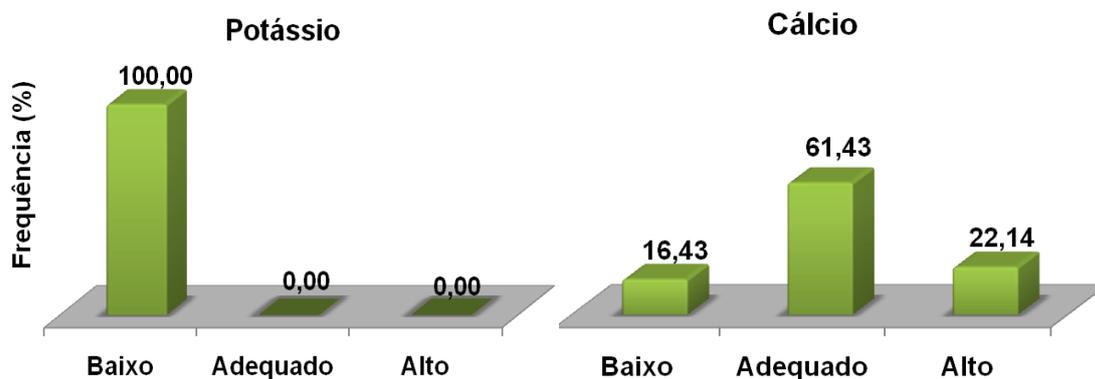


Figura 7 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos macronutrientes K e Ca.

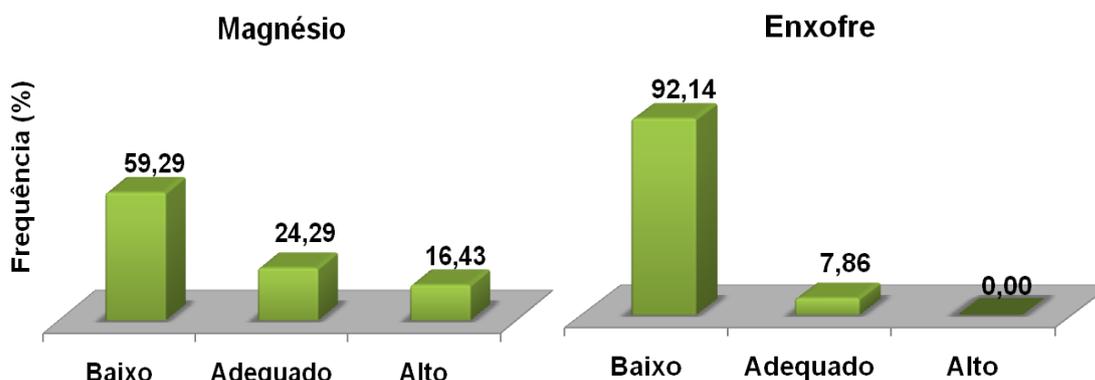


Figura 8 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos macronutrientes Mg e S.

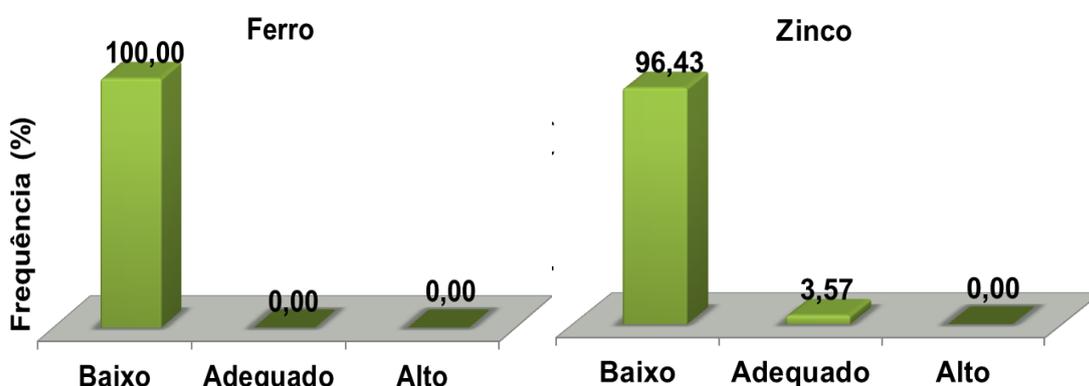


Figura 9 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos micronutrientes Fe e Zn.

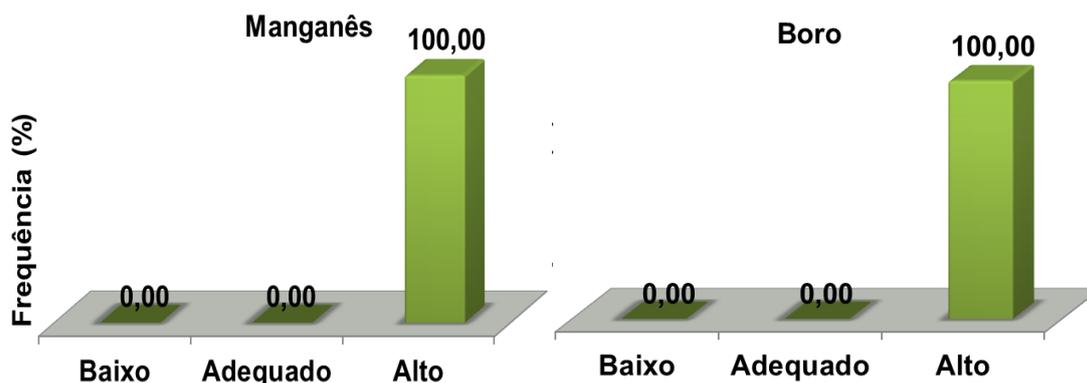


Figura 10 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares dos micronutrientes Mn e B.

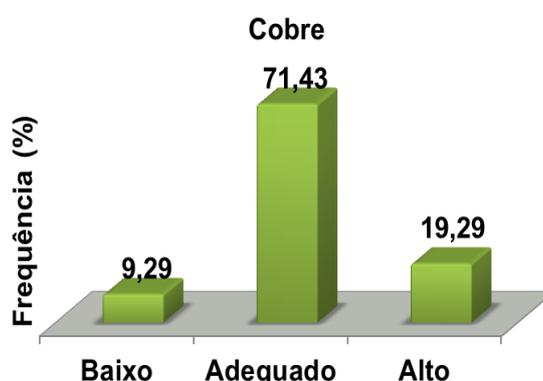


Figura 11 – Frequência das amostras, de acordo com a faixa de suficiência, para interpretação dos resultados das análises foliares do micronutriente Cu.

4.3. Índice de Balanço Nutricional (IBN) e Produtividade

Quanto menores os valores de IBN mais balanceados os nutrientes na lavoura. A média do IBN na lavoura foi 235,32, sendo que o valor mínimo foi 122,74 e o máximo atingiu 390,99 (Tabela 5). Esse índice permite verificar se as limitações na produtividade são de ordem nutricional ou não. Nesse caso, os nutrientes não se encontram balanceados, havendo deficiência ou excesso de nutrientes na cultura. Quanto menor o IBN melhor é o estado nutricional das lavouras, sendo que, em lavouras de café conilon de alta produção, a amplitude desses valores variou de 39 a 94 em trabalho realizado por Leite, 1992. Altoé et al. (2002) verificaram amplitudes maiores (11,1 a 97) em café conilon em Vila Valério. Em cafeeiros arábicas, Martinez et al. (2003) encontraram valores de IBN variando de 25 a 194 em Manhuaçu.

A produtividade do café beneficiado (sc ha^{-1}) apresentou distribuição normal pelo teste K-S e assimetria à direita, com média igual a 54,23, maior que a mediana. Quanto à normalidade, o IBN não apresentou normalidade pelo teste K-S.

Tabela 5 - Estatística descritiva do IBN e da produtividade do café conilon pilado

Atributo	Média	Md	s	Valores		Coeficientes			Teste
				Mínimo	Máximo	CV(%)	C _s	C _k	KS
IBN	235,32	231,67	55,52	122,74	390,99	23,59	0,56	0,10	$p < 0,05^*$
Prod.	54,23	52,32	19,20	15,83	105,29	35,41	0,43	-0,24	$p > 0,20^{ns}$

IBN – Índice de Balanço Nutricional; Prod– Produção de café beneficiado (sc ha^{-1}); Md – Mediana; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; C_s – Coeficiente de simetria; C_k – coeficiente de curtose; ns – distribuição normal pelo teste Kolmogorov Smirnov (KS) a 5% de probabilidade; e *Distribuição não normal.

O CV do IBN e da Prod se encontra entre 12 e 60%, sendo considerado de média variação de acordo com Warrick e Nielsen (1980), Isso demonstra a variabilidade dessas duas variáveis em torno da média, dentro da área, e a importância do estudo dessa variabilidade.

4.4. Análise de Componente Principal

Na análise multivariada das componentes principais (ACP) (Tabela 6), foram considerados todos os atributos da análise foliar, gerando onze componentes principais, com a primeira (CP1) explicando 35,65% da variância dos dados, a segunda (CP2) 16,86% da variância, e o terceiro explicando 10,48%. Sendo que as três juntas explicam 62,99% da variância acumulada.

Tabela 6 – Resumo da ACP dos nutrientes foliares do cafeeiro conilon

Componente Principal	Autovalor	% Total variância	Variância acumulada
1	3,92	35,65	35,65
2	1,85	16,86	52,51
3	1,15	10,48	62,99
4	0,96	8,77	71,75
5	0,81	7,32	79,07
6	0,66	6,03	85,10
7	0,63	5,70	90,80
8	0,42	3,82	94,61
9	0,27	2,48	97,08
10	0,20	1,79	98,87
11	0,13	1,13	100,00

Essas três primeiras componentes foram selecionadas por meio dos critérios citados anteriormente e, na Tabela 7, estão as correlações das variáveis originais (nutrientes) com essas componentes. No caso da correlação das variáveis originais utilizadas com as componentes, foram considerados significativos os valores superiores a 0,7, conforme Zwick e Velicer (1986). Nesse caso, foram significativos para aCP1 os macronutrientes P e Ca e os micros Zn e Cu. Para a CP2 foi o macronutriente K (- 0,718) e o B (0,725), essa correlação positiva para o B e negativa para o K indica que quando o nível de B aumenta o de K diminui, sendo o inverso também verdadeiro. O CP3 apresentou correlação somente com o N.

Tabela 7 – Correlações das variáveis nutrientes foliares com as três primeiras componentes principais

	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
CP 1	-0,034	0,854	0,444	0,833	0,641	0,234	0,847	0,426	0,560	0,782	0,103
CP 2	0,281	-0,224	-0,718	0,169	0,483	0,243	-0,161	-0,292	0,492	-0,097	0,725
CP 3	0,739	0,134	-0,055	0,231	0,125	-0,277	0,245	-0,437	-0,339	-0,100	-0,248

CP: componente principal.

4.5. Análise Espacial do IBN, da Produtividade e das componentes principais

Na análise espacial foram considerados, primeiramente, os atributos IBN e produtividade (Prod) do café beneficiado e depois se fez análise espacial multivariada utilizando a cokrigagem, adotando como covariáveis as componentes principais CP1 e CP2 para estimar a distribuição espacial do IBN. Esses dois componentes foram escolhidos por apresentarem, juntos, correlação com todos os nutrientes que tiveram uma correlação significativa com o IBN (Tabela 4).

O atributo Prod não apresentou correlação linear e espacial com o IBN. Esse comportamento do IBN e da produtividade é normal. Outros autores como Mourão Filho, Azevedo e Nick (2002), Silva et al. (2003), Nachtigall e Dechen

(2007) e Amaral et al. (2011) verificaram que o IBN não apresenta uma boa correlação com a produtividade. A Prod também não se correlacionou com as componentes principais CP1 e CP2. Os parâmetros e modelos dos ajustes dos semivariogramas simples e cruzados estão apresentados na Tabela 8.

Os atributos IBN, Prod e CP1 ajustaram-se ao modelo exponencial e alcances iguais (10 m), caracterizando o mesmo padrão de distribuição espacial entre eles. O alcance indica a distância a partir da qual as amostras são independentes (AMARO FILHO et al., 2007). O CP2 que apresentou alta correlação com os nutrientes K e B apresentou alcance de 24 m, indicando maior continuidade desses atributos na área de estudo.

Tabela 8 – Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para o Índice de Balanço Nutricional e a produtividade do cafeeiro conilon e semivariograma cruzado entre os atributos que apresentaram correlação

Atributo	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a (m)	IDE(%)	R ² (%)	r-vc (%)
IBN	EXP	201	2170	10	10	87	32
Prod	EXP	19	352	10	6	71	36
CP1	EXP	0,34	4	10	8,5	85	20
CP2	ESF	0,6	1,7	24	36	97	54
CP3	EXP	0,43	1,07	12	40	60	32
IBNxCP1	EXP	-5	-42	10	12	50	23
IBNxCP2	ESF	11	28	22	39	98	15
ProdxCP3	GAU	0,53	4,3	42	12	75	30

EXP: modelo exponencial; ESF: modelo esférico; IDE: índice de dependência espacial (%); R²: coeficiente de determinação múltipla; r-vc: correlação entre valores observados e estimados pela validação cruzada.

O alcance de um atributo garante que todos os pontos dentro de um círculo com este raio sejam tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (MACHADO et al., 2007). Dessa forma, o alcance tem grande importância para a avaliação do experimento. Segundo Vieira (2000), o valor do alcance indica até que distância os pontos são correlacionados entre si. Medições localizadas a distâncias maiores que o alcance têm distribuição espacial aleatória e por isto são independentes entre si. Para estas amostras, a estatística clássica pode ser aplicada sem restrições.

Por outro lado, amostras separadas por distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se faça interpolações para espaçamentos menores do que os amostrados.

Os semivariogramas univariados estão apresentados na Figura 12 e os semivariogramas cruzados na Figura 13. Considerando o semivariograma cruzado ajustado ao modelo exponencial para o IBNxCP1, temos uma correlação espacial negativa, comprovando a correlação linear de Pearson obtida para o IBN com os atributos P, Ca, Zn e Cu (Tabela 4). O semivariograma cruzado ajustado ao modelo esférico do IBNxCP2 apresentou correlação espacial positiva, o que pode estar relacionado com a correlação positiva do IBN com o B.

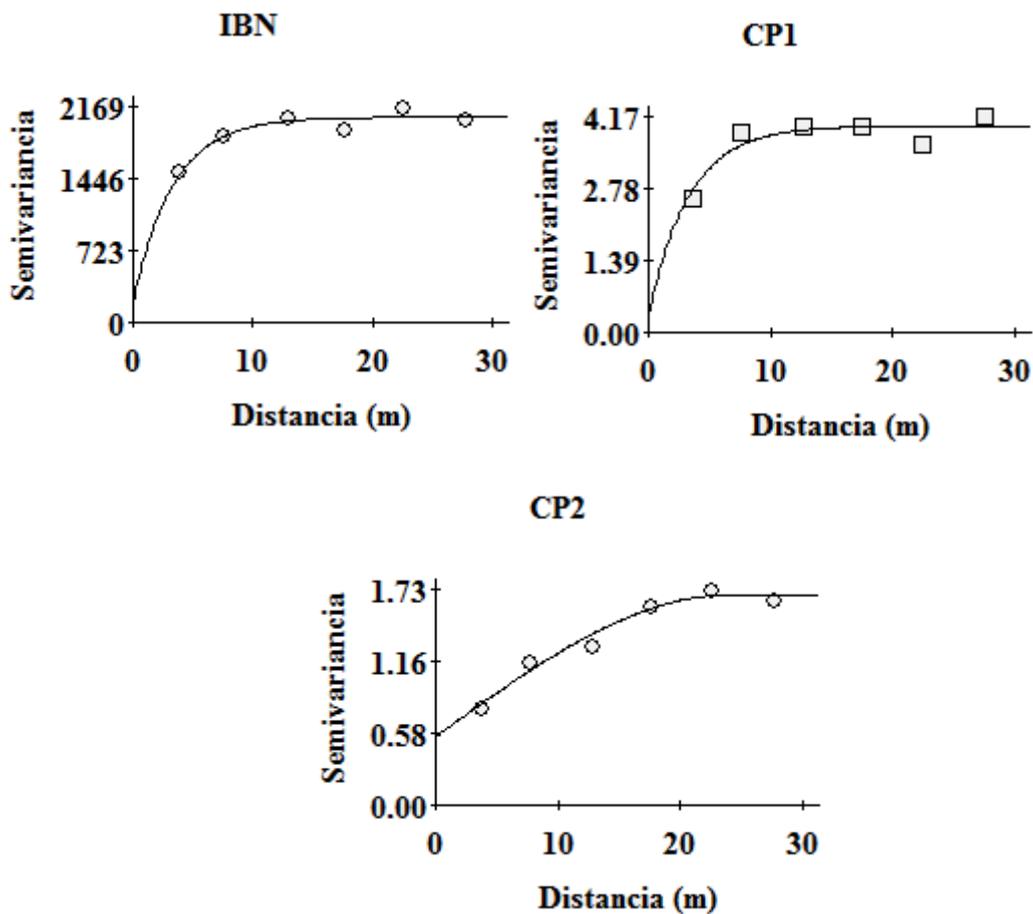


Figura 12 – Semivariograma simples do IBN, CP1 e CP2.

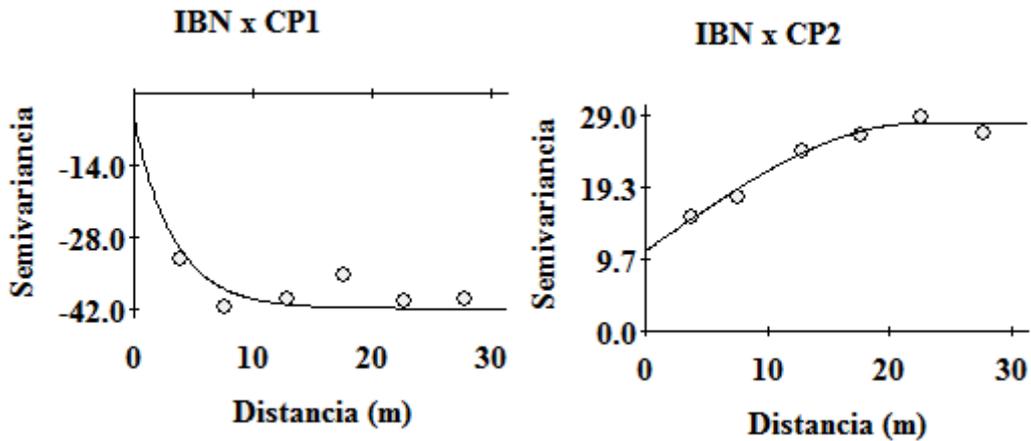


Figura 13 – Semivariogramas cruzados entre IBNxCP1 e IBNxCP2.

Na análise espacial da produtividade, obteve-se ajuste ao modelo exponencial com alcance de 10 m. Entretanto, o IBN e a Prod não apresentaram correlação linear e nem espacial. Esse fato pode ter sido influenciado, talvez, pelos valores dos nutrientes tomados como referencia para a cultura do café conilon. Cabe lembrar que a variedade em estudo foi o Robusta Tropical com propagação por semente, o que pode diferir da propagação por clone.

Na Figura 14, está o semivariograma simples e o cruzado da produtividade em função da CP3. Verifica-se uma correlação espacial positiva com o N, ou seja, pois este nutriente apresentou correlação com a CP3. O semivariograma cruzado ajustou-se ao modelo gaussiano, com alcance de 42 m.

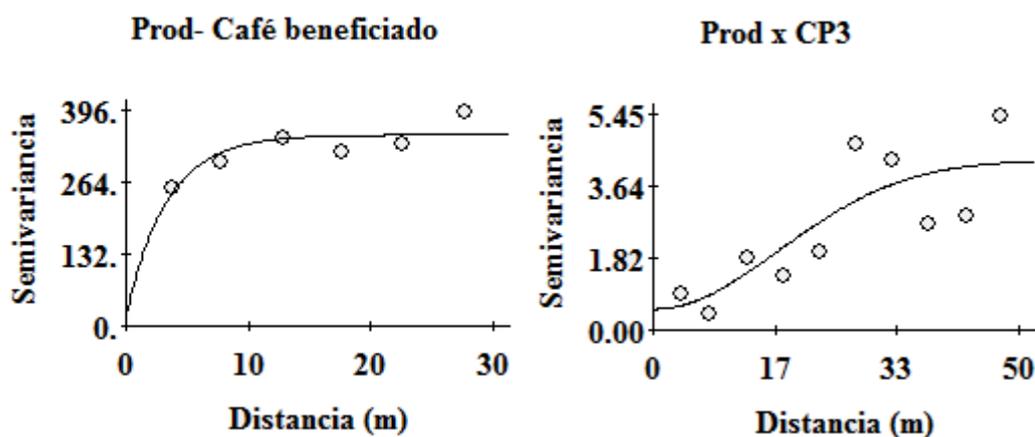


Figura 14 – Semivariograma simples da produtividade e o cruzado da produtividade em função da CP3.

O IBN, a produtividade, o CP1, o IBNxCP1 apresentaram forte dependência espacial ($IDE < 25\%$) e CP2 e IBNxCP2 com moderada dependência espacial ($25\% \leq IDE \leq 75\%$), segundo Cambardella et al. (1994). Seguindo os critérios adotados por Azevedo (2004), os semivariogramas para os dois atributos apresentaram valores bons de R^2 , que considera valores ideais aqueles maiores ou iguais a 50%. Os r-vc da validação cruzada apresentaram média correlação entre os valores observados e os estimados pela validação cruzada, porém significativos, com o coeficiente de inclinação da reta diferente de zero pelo teste t ($p < 0,05$).

Analisando as Figuras 15 e 16, percebe-se que ambos os mapas (IBNxCP1 e IBNxCP2) foram semelhantes ao mapa do IBN (Figura 17). Podendo esses componentes ser utilizados para representar o IBN.

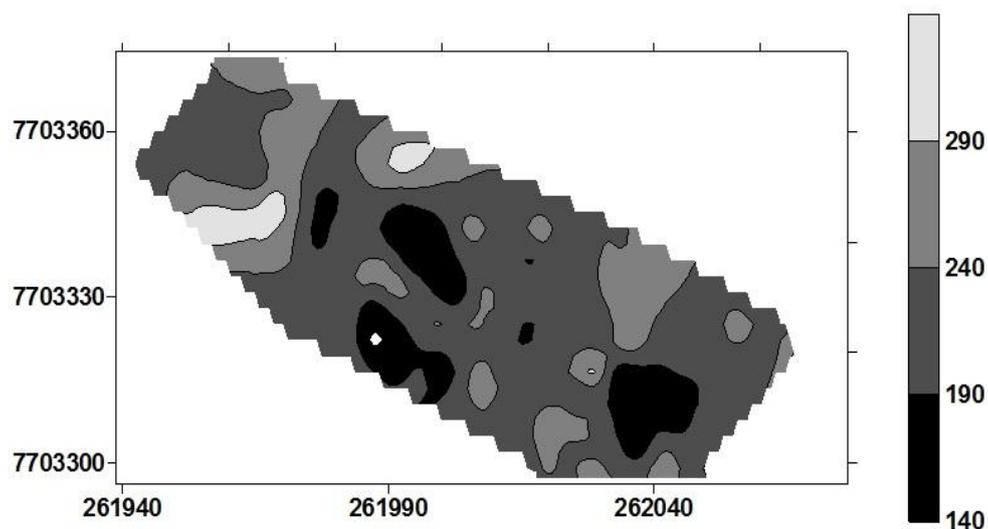


Figura 15 – Mapa do IBNxCP1.

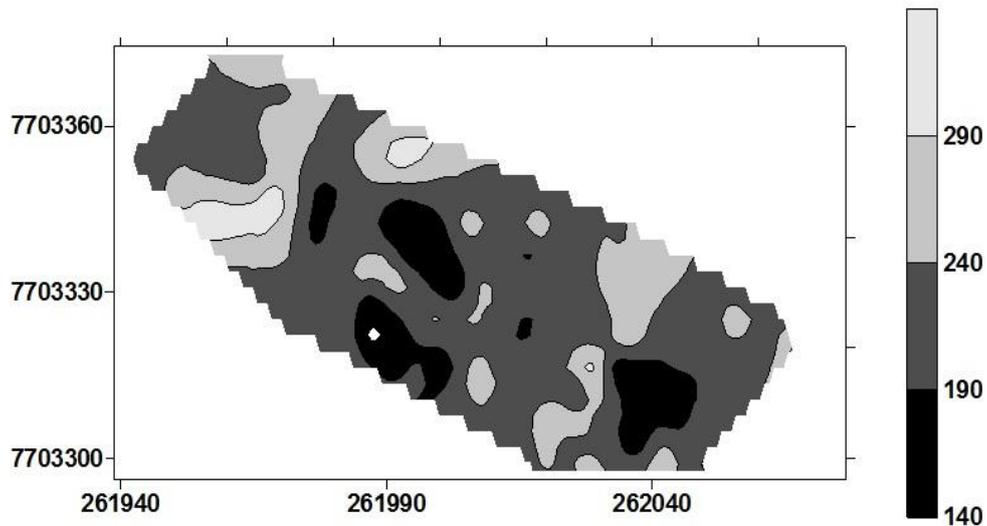


Figura 16 – Mapa do IBN x CP2.

O mapa do IBN (Figura 17) demonstra a variabilidade do índice dentro da lavoura. Dessa forma, podemos inferir que o desbalanceamento nutricional também varia dentro da área de estudo. É na parte mais baixa da lavoura, cor mais clara, que o desbalanço nutricional é maior, chegando a valores acima de 290.

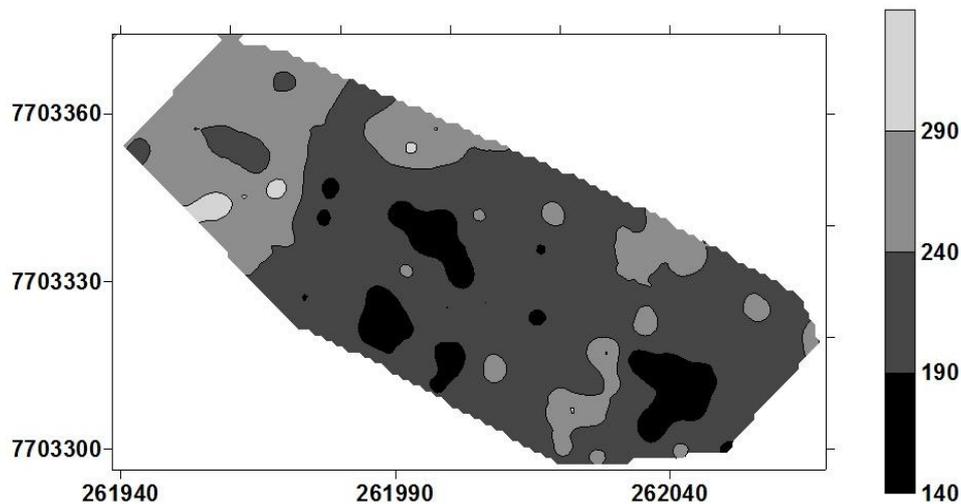


Figura 17 – Distribuição espacial do Índice de Balanceamento Nutricional (IBN) de café conilon var. Robusta Tropical.

Na Figura 18, é apresentado o mapa de produtividade, construído com uso da interpolação por krigagem, onde podemos observar a variabilidade da produtividade. Zonas semelhantes foram encontradas no mapa da produtividade pelo semivariograma cruzado com a CP3 (Figura 19). De acordo

com Oliveira (2007), essa variabilidade pode acontecer, por exemplo, pelos insumos aplicados, não terem sido utilizados de forma uniforme pelas plantas. A instabilidade na produtividade de culturas com mais de 3 safras consecutivas também foi encontrada por Stanford et al. (1999) em estudo realizado em diversas fazendas na Inglaterra.

Devido à variabilidade existente na área, formando diferentes zonas na propriedade, podemos afirmar que a estatística descritiva não informaria com precisão o comportamento da produtividade ao longo da propriedade.

Analisando o mapa, observamos que a menor produtividade da área, representado pela cor mais escura no mapa, se encontra na parte superior da lavoura, e a maior produtividade tem uma tendência de ocorrer na área mais baixa. O carreamento de nutrientes pode ser um dos fatores a contribuir com a maior produtividade na parte mais baixa da área. A bienalidade ajuda a justificar a instabilidade da produtividade do cafeeiro como descrito por Oliveira (2007). Rena e Maestri (1985) afirmam que, na cultura do café, um fator significativo que interfere na variação de sua produção é a bienalidade, própria de sua natureza biológica, mesmo que o conilon seja menos afetado pela bienalidade em relação ao arábica.

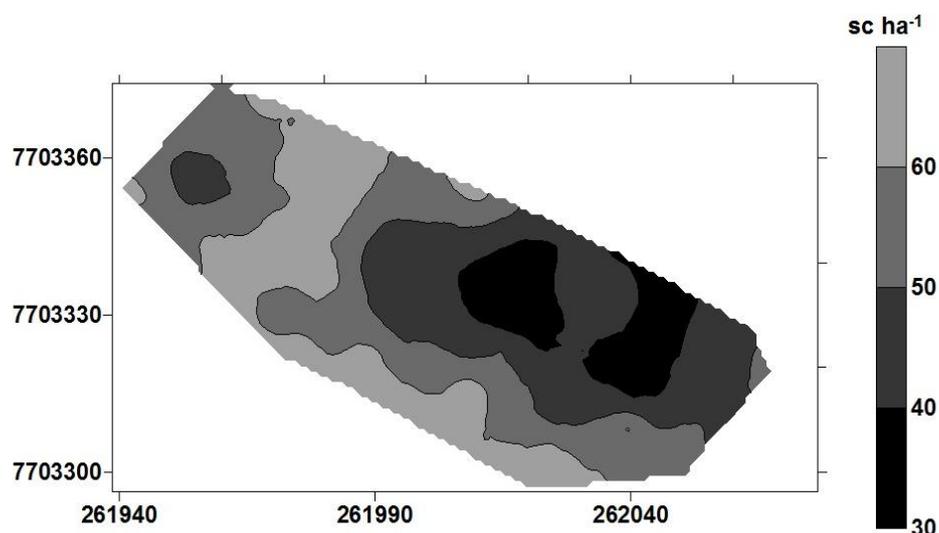


Figura 18 – Distribuição espacial da produtividade (kg ha⁻¹) de café conilon beneficiado var. Robusta Tropical.

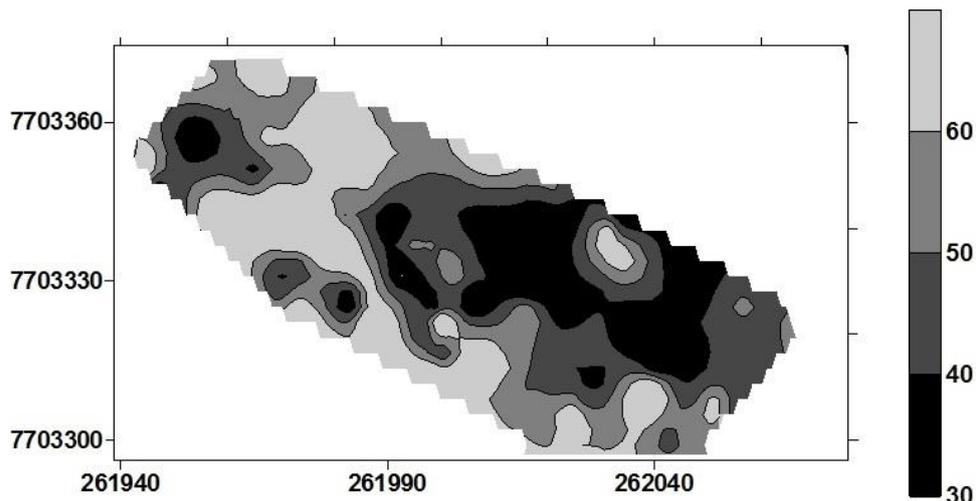


Figura 19 - Mapa da produtividade pelo semivariograma cruzado com a CP3.

5. CONCLUSÕES

A metodologia utilizando geoestatística e estatística multivariada no mapeamento da variabilidade espacial do estado nutricional do cafeeiro conilon usada neste trabalho permite concluir que:

- a análise geoestatística possibilita mapear a variabilidade espacial e identificar a dependência espacial do Índice de Balanço Nutricional (IBN) e da Produtividade. O que demonstra a importância dessa ferramenta para auxiliar na implantação da agricultura de precisão na cafeicultura;
- a confecção dos mapas possibilitou a distinção de regiões com maior e menor desequilíbrio nutricional e produtividade, o que possibilita adotar o manejo de forma diferenciada e localizada;
- houve desequilíbrio nutricional na lavoura, mostrado pela deficiência e excesso de alguns nutrientes na lavoura;
- a análise multivariada baseada em componentes principais fornece componentes com alta correlação com as variáveis originais P, Ca, Zn, Cu, K e B;
- a cokrigagem utilizando as componentes principais permite estimar o IBN e a produtividade da área.

6. 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 (*Coffeacanephora* Pierre ex Froehner) em Vila Valério, região Norte do Estado do Espírito Santo, pelo método DRIS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 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. DO; AMARAL, J. F. T. DO; SCHMILDT, E. R.; LOPES, J. C.; COELHO, R. I. Alguns atributos do dris para a interpretação da análise foliar do cafeeiro. In: ANDRADE et al. (Ed.) **Tópicos especiais em produção Vegetal II**. Alegre: Caufes, 2011. p. 101 – 115.

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R.F.D.; ASSIS JÚNIOR, R.N.& MOTA, J.C.A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:415-422, 2007.

ANDRADE, C. E. **Calagem e adubação do café**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 130 p.

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 em Engenharia Agrícola) - Unicamp, Campinas, 2004.

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, v.88, p.448-456, 1996.

BARBOSA, D.H.S.G.; VIEIRA, H.D.; PARTELLI, F.L.; SOUZA, R.M. de. Estabelecimento de normas DRIS e diagnóstico nutricional do cafeeiro arábica na região noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1717-1722, 2006.

BARUAH, A; NAIK, V; HENDRE, P.S; RAJKUMAR, R; RAJENDRAKUMAR, P; AGGARWAL, R.K. Isolation and characterization of nine microsatellite markers from *Coffea arabica* L., showing wide cross species amplifications. **Molecular Ecology Notes**, v.3, p.647-650, 2003.

BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; SANTOS, W. R. dos.; ABREU, M. F. de. 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**, Campinas, v.63, n.2, p. 253-263, 2004.

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.

BESSA, F. **Transferência de tecnologias reafirma a importância do Consórcio Pesquisa Café coordenado pela Embrapa**. Disponível em: <<http://www.sapc.embrapa.br/index.php/ultimas-noticias/transferencia-de-tecnologias-reafirma-a-importancia-do-consorcio-pesquisa-cafe-coordenado-pela-embrapa>> Acessado em 07/01/2012.

BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. Strategies for managing variability. In: **EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 1., 1997, Warwick University, UK, Oxford: Bios Scientific, 1997. v.2, p.851-859.v.2 - Precision agriculture'97 - Technology, it and management.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: CLAV/DNDV/SNAD/MA, 1992. 365p.

BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.538-547, 2012.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.. **Principles of Geographical Information Systems**.New York: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: FUKS, Suzana Druck; CARVALHO, Marília Sá; CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio Miguel Vieira (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2002. p. 133-161.

CAMARGO, E. C. G.; FUKS, S. D. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (Eds) **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília, Embrapa, 2004. p. 133-162.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLNE, D .L.; TURCO, R. F.; KONOPKA A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science SocietyAmericalJournal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, D. S. **Análise da variabilidade espacial da produtividade na cafeicultura de montanha com uso de técnicas de sensoriamento**. 2005. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, Viçosa, 2005.

CARVALHO, L. de; SILVA, E. A. M.; CECON, P. R.; AZEVEDO, A. A.; MOSQUIM, P. R. Aspectos morfofisiológicos das cultivares de cafeeiro Catuaí Vermelho e Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 411-416, 2001.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de

agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, 2004.

CORRÊA, J. B.; GARCIA, A. W. R.; COSTA, P. C. Extração de nutrientes pelo cafeeiro mundo novo e catuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 13,1986, São Lourenço. **Anais ...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1986. p.35-46.

CORRÊA, J.B.; REIS Jr., R.A.; CARVALHO, J.G.; GUIMARÃES, P.T.G. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1279-1286, 2001.

COSTA, A. N. da, BRAGANÇA, S. M. , LANI, J. A. Software DRIS para o diagnóstico do estado nutricional e recomendação de adubação para o cafeeiro conilon. In: SIMPÓSIO DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos ...** Brasília, DF: Embrapa Café e MINASPLAN, 2000. v.2. p. 1336-1338.

COSTA, A. N. da., BRAGANÇA, S. M. Levantamento nutricional do cafeeiro conilon pelo DRIS, no Espírito Santo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Poços de Caldas: Embrapa Café, 2000. p.1333-1335.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1993. 900p.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G.; **GSLIB - Geostatistical Software Library and User's Guide**.New York: Oxford University Press, 1992.340 p.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Model-based geostatistics. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 14., Caxambú, 2000. **Resumos...** Caxambu: Associação Brasileira de Estatística, 2000. 192 p.

EVENHUIS, B. e WAARD, P. W. F. **Principles and practices in plant analysis**. In: FAO. Soils. Rome, 1980. p.152-163.

FARNEZI, M. M. DE M.; SILVA, E. DE B.; GUIMARÃES P. T. G. Diagnóstico 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.

FENG, Q.; LIU, Y.; MIKAMI, M. Geostatistical analysis of soil moisture variability in grassland. **Journal of Arid Environments**, v.58, p.357-372, 2004.

FERRAO, R. G., FERRAO, M. A. G., FONSECA, A. F. A. da, LANI, J. A., FERRAO, L. F. V. Cafeicultura no estado do Espírito Santo: Tecnologias e Desafios. In: TOMAZ, M. A. et al. (Eds.). **Tecnologia para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre, ES: CAUFES, 2011. p. 19-50.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; BRAGANÇA. S. M.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**. Vitória: Incaper, 2007. 702p.

FILHO, F. DE A. A. M.; AZEVEDO, J. C.; NICK J. A. Funções e ordem da razão dos nutrientes no estabelecimento de normas DRIS em laranja 'Valência'. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 185-192, 2002.

FONSECA, A. S. da; LIMA, J. S. de S. Estudo da probabilidade de ocorrência de ferrugem no cafeeiro conilon com o uso da krigagem indicativa. **Nucleus**, Ituverava, v. 10, n. 1, 2013.

GOOVAERTS, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. **Biology and Fertility of Soils**, v.27, n.4, p.315-334, 1998.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística Básica e Aplicada**. Material didático. UFU/Uberlândia – MG. 2004. 78p.

GUIMARÃES, P. T. G.; PONTE, A. M. Adubação do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 4, n. 44, p. 20-36, 1978.

HAAG, H. P. A nutrição mineral e o ecossistema. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 49-69.

HAIR, J. R.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Buckman. 2005. 593p.

HANSON, R. G. DRIS evaluation on N, P, K status of determinants soy beans in Brazil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal**, v. 12, p. 933-948, 1981.

HOAGLIN, D.C.; MOSTELLER, F.; TYKEY, J.W. **Análise exploratória de dados: técnicas robustas, um guia**. Lisboa: Salamandra, 1983. 446p.

IBGE. Projeto **RADAM**. v. 34. **Folha SE 24 Rio Doce**. Rio de Janeiro, 1987. 540 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York, Oxford University Press, 1989. 560p.

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, p.785-794, 1981.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. 2007. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade**. Tradução: Suzana Oellers Ferreira. Encarte Técnico. Informações Agronômicas nº 118.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afri**. Johannesburg, v. 52, p. 151-163, 1951.

LANA, R. M. Q.; OLIVEIRA, S. A. de; LANA, A. M. Q.; FARIA, M. V. de. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS,

na região do Alto Paranaíba – Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34. p.1147-1156, 2010.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**.2.ed. São Paulo: UNESP, 2003. 253 p.

LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Laboratório Geomatemática, **Texto Didático**, 08, 21 p. 2002.

LEITE, R. A. **Avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon no Estado do Espírito Santo utilizando diferentes métodos de interpretação de análise foliar**. 1993. 87 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; QUARTEZANI, W. Z. Variabilidade espacial de atributos físicos de um solo sob cultivo de pimenta-do-reino. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15: p291-298. 2007.

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 de plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p.591-599, 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 1. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: IPF/IIP, 1981. 224 p.

MARCOTTE, D. - Cokriging with Matlab. **Computers&Geosciences**, v.17.p. 1265-1280, 1991.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 143-168.

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.

MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, Y. P.; ZABINI, A. V.; CLEMENTE, J. M.; PEDROSA, A. W. Diagnose foliar em cafeeiro. In. TOMAZ, M.A.; AMARAL,

J.F.T. do; JESUS Junior, W. C.; PEZZOPANE, J. R. M. **Seminário para a Sustentabilidade da Cafeicultura**. Alegre: UFES, 2008. p. 139-166.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; MENEZES, J. F. S.; OLIVEIRA, J. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARENGA, A. P.; FONTES, P. C. R. Avaliação da fertilidade, padrões para diagnose foliar e potencial de resposta à adubação de lavouras cafeeiras de Minas Gerais. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, 2000. p. 209-238.

MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; BAYONA, J. A.; VENEGAS, V. H. A.; SANZ, M. Coffee-tree floral analysis as a meanofnutritionaldiagnosis. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 7, p. 1467-1482, 2003.

MASON, RL, YOUNG, JC. **Multivariate Statistical Process Control with Industrial Applications**. Philadelphia: ASA/SIAM, 2002.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963.

MATIELLO, J.B.; GARCIA, A.W.R. Deficiências de ferro e manganês caminham juntas no cafeeiro. **PROCAFÉ Online**. Varginha, MG: MAPA. Disponível em: <<http://fundacaoprocafe.com.br/downloads/Folha012FeeMn.pdf>>. Visualizado em 19 nov. 2013.

MATOS, J. D. de. **Utilização de Semivariogramas como Redutor de Dimensionalidade no Reconhecimento de Padrões em Imagens Digitais Hiperespectrais**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) — UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003. 107 p.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2007, 295p.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão**. In: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Agricultura de precisão – Boletim Técnico. – Brasília: Mapa/ACS, 2011. p. 5 – 27.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: O Gerenciamento da Variabilidade**. Piracicaba, SP, 2001. 83p.

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. Aplicação com taxa variável: tratamento localizado. **Cultivar Máquinas**, Pelotas. v.3, n. 44, p. 22-26, 2005.

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 laranja

Valência. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 185-192, 2002.

NACHTIGALL, G. R.; DECHEN, A. R. Testing and validation of DRIS for apple tree. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 3, p. 288-294, 2007.

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.; 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 (*Coffeacaneophora Pierre ex Froehner*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Anais ...** Rio de Janeiro: SARC/PROCAFÉ, 2002. p.326-328.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; COSTA, A. N. Diagnóstico nutricional em cafeeiro conilon orgânico e convencional no Espírito Santo, utilizando o DRIS. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1456-1460, 2005.

PINTO-MAGLIO, C.A.F. Cytogenetics of coffee. **Brazilian Journal Plant Physiology**.v.18, p.37-44, 2006.

PREZOTTI, L.C.; BRAGANÇA, S.M. Nutrição do cafeeiro. In. COSTA, E.B.; SILVA, A.E.S.; ANDRADE NETO, A.P.M.; DAHER, F.A. (Org.). **Manual Técnico para a cultura do café no Espírito Santo**. Vitória: Graficunha, 1995, v.1, p. 42-53.

QUEIROZ, D. M.; PINTO, F.A.C; ZANDONADI,R.S.; EMERICH,I.N.;SENAJUNIOR, D.G. **Uso de Técnicas de Agricultura de Precisão para a Cafeicultura de Montanha**.In: ZAMBOLIM.(Ed.) Efeitos da Irrigação sobre a Qualidade e Produtividade do Café. Viçosa, MG. p. 77-108,2004.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, V. 26, p. 801-808, 2002.

RENA, A. B.; FÁVARO, J. R. A. Nutrição do cafeeiro via folha. In: ZAMBOLIM, L, (Ed.). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, 2000 p.149-208.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS. 1986. p.13-85.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**. Café, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 26-40, 1985.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do polo**. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1995.

RIBEIRO. F. M. **interferência nos atributos químicos do solo sob diferentes doses de termofosfato e superfosfato simples no cafeeiro**. 2008. 43 f. Trabalho de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Cafeicultura (Graduação) – Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, 2008.

ROSSI, R. E; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remotsens. Environ**, v. 49, p. 32-40, 1994.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de Crotalariajuncea em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. Piracicaba, 1996. 91p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1996.

SERRA , A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos CHM, CND e DRIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.105-113, 2010.

SILVA, A. de A.; LIMA, J. S. de S.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial da produtividade e teores de macronutrientes nas folhas de duas variedades de café arábica. **Engenharia na agricultura**, viçosa, v.17 n. 5, P. 337 – 345, 2009.

SILVA, A. S.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com café arábica (Coffea arabica) sob diferentes manejos. **Coffee Science**, Lavras, vol. 5, n. 2. p. 173 - 182, 2010.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D. and GUIMARAES, P. T. G.. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional do cafeeiro em resposta à adubação potássica. **Revista Brasileira Ciência do solo**. v.27, n.2, p. 247-255, 2003.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em alissolos. **Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.**, Campina Grande, v. 5, n.3, p. 431-436, 2001.

SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. de S. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.2, p. 271-277, 2012.

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.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolovermelhoamarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003

SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: IST Press, 2006. 214p.

SOUZA, A. M.; VICINI, L. **Análise Multivariada: da Teoria à Prática**. Santa Maria: UFSM, CCNE, Caderno Didático, 2005, 215p.

SOUZA, L. S.; VIEIRA, S. R.; COGO, N. P. Variabilidade dos teores de nutrientes na folha, entre plantas, em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n.3, p.373-377, 1997.

STAFFORD, J. V.; LARK, R. M.; BOLAM, H. C.; Using yield maps to recognize fields into potencial management unit. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, Madison, **Proceedings...** Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1999. v. 2, p. 225-237.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

THOMPSON, S.K. **Sampling**. New York: Wiley, 1992. 343p.

TINO, V. F. **Utilização de análise de componentes principais na regulação de máquinas de injeção plástica**. 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2005.

ULRICH, A.; HILLS, F.J. Principles and practices of plant analysis. In: **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA, 1967. p.11-24. (Special Publications Series).

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-53.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 56, n.1, p. 1-13, 1997.

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

WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Advances in Soil Science**, v. 6.p.149-188, 1987.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. p. 319-344.

WILLIS, P. R.; CARTER, P. G.; JOHANNSEN, C. J. Assessing yield parameters by remote sensing techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 1465 - 1973.

WILLSON, K. C. Mineral nutrition and fertiliser needs. In: CLIFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Ed). **Coffee - Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage.** London & Sidney: Croom Helm p., 1985. p. 135-156.

XAVIER, A. C.; LIMA, J. S. S.; FONSECA, A.S.; QUINTO, V. M. Aplicação da Agricultura de Precisão no Cafeeiro Conilon. In: PRATISSOLI, D.; JUNIOR, W. C. J.; ZAGO, H. B.; ALVES, F. R.; VIANA, U. R.; JUNIOR, H. J. G. S.; RODRIGUES, C. **Tópicos Especiais em Produção Vegetal III.** Alegre, ES: CAUFES. 2012. p. 800-809.

YATES, S.R. ; YATES, M.V. (1990) - **Geostatistics for Waste Management. A User's Manual for the GEOPAK (Version 1.0):** Geostatistical Software System: U.S. Environmental Protection Agency, Report no. EPA/600/8-9.

ZWICK, W. R.; VELICER, W. F. Factors influencing four rules for determining the number of components to retain. **Psychological Bulletin**, v. 99, n. 03, p. 432 - 442, 1986.