



HELON SANTOS NETO

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO
PATOSSISTEMA
COLLETOTRICHUM EM CAFEIEIRO E SUA
RELAÇÃO COM OS NUTRIENTES MINERAIS
MAGNÉSIO, CÁLCIO E POTÁSSIO**

**Lavras - MG
2017**

HELON SANTOS NETO

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO PATOSSISTEMA
COLLETOTRICHUM EM CAFEIEIRO E SUA RELAÇÃO COM OS
NUTRIENTES MINERAIS MAGNÉSIO, CÁLCIO E POTÁSSIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Doutor.

Dr. Mário sobral de Abreu
Orientador

Lavras - MG
2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Neto, Helon Santos.

Análise espaço temporal do patossistema colletotrichum em
cafeeiro e sua relação com os nutrientes minerais magnésio, cálcio e
potássio : / Helon Santos Neto. - 2016.

87 p. : il.

Orientador(a): Mário Sobral de Abreu.

Coorientador(a): Edson Ampélio Pozza

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2016.

Bibliografia.

1. Antracnose. 2. Necrose de frutos. 3. Complexo
colletotrichum. I. de Abreu, Mário Sobral. II. Pozza, Edson
Ampélio. III. Título.

HELON SANTOS NETO

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO PATOSSISTEMA
COLLETOTRICHUM EM CAFEIEIRO E SUA RELAÇÃO COM OS
NUTRIENTES MINERAIS MAGNÉSIO, CÁLCIO E POTÁSSI**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 15 de setembro de 2016.

Dra. Sara Maria Chalfoun de Souza EPAMIG

Dr. Vicente Paulo Campos UFLA

Dr. Rubens José Guimarães UFLA

Dr. Marcelo Carvalho Alves UFLA

Dr. Mário sobral de Abreu

Orientador

Edson Ampélio Pozza

Coorientador

**Lavras - MG
2017**

Aos meus pais José Horácio e Teresinha.
À família de minha irmã Iala.

DEDICO

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, por sempre iluminar o meu caminho.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade oferecida à realização deste curso.

À CAPES, pela concessão de bolsa e à FAPEMIG, CNPq e o INCT-CAFÉ, pelo auxílio financeiro na execução do Trabalho.

Ao Professor Dr. Mário Sobral de Abreu o grande incentivador deste trabalho, a paciência, os valiosos ensinamentos, a amizade e a orientação para a qual não mediu esforços.

Ao Professor Dr. Edson Pozza que, como coorientador esteve sempre à disposição para discussões, oferecendo apoio e excelentes sugestões.

À Professora Dr^a. Adélia Aziz Alexandre Pozza, pelo constante apoio no que diz respeito à nutrição mineral de plantas.

Ao Professor Dr. Marcelo Carvalho Alves, pela disponibilidade e paciência na ajuda para as análises geoestatísticas.

Aos membros da banca, Sara Maria Chalfoun Souza, Marcelo Carvalho Alves, Rubéns José Guimarães, Vicente Paulo Campos, pelas valiosas sugestões.

Aos meus pais José Horácio Neto e Teresinha Isabel dos Santos, pelo carinho, incentivo, exemplo e o apoio sem medidas.

A minha irmã Iala e ao meu genro Pedro, pelo apoio e incentivo constante.

Aos meus sobrinhos Isabel e José Pedro, pelos momentos de descontração e inspiração.

À Fazenda Padre Victor e a Fazenda Boa Esperança, no município de Carmo do Rio Claro MG, pelo apoio nos experimentos de campo.

A todos os amigos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho, sem os quais não seria possível esta conquista.

RESUMO GERAL

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito da nutrição mineral, na suscetibilidade de plantas de café (*Coffea arabica* L.) a doenças do Complexo Colletotrichum. Parte deste trabalho foi realizada em solução nutritiva, sob condições controladas em câmara de crescimento. Nesta parte, foi avaliada a susceptibilidade a antracnose em folhas de mudas de cafeeiro submetidas a diferentes níveis de magnésio e a interação entre diferentes níveis de cálcio e potássio. Foi observado que, tanto deficiência quanto o excesso de magnésio, aumentam a susceptibilidade do cafeeiro a antracnose em folhas, sendo que, foi observado o nível crítico mínimo $0,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ como nível ótimo para a resistência a antracnose em folhas. Em relação à interação cálcio e potássio, somente para os diferentes níveis de potássio existiram diferenças significativas, com o aumento da intensidade da doença, à medida que se aumentaram as doses de potássio. Em campo, realizou-se a análise da distribuição espaço temporal da necrose de frutos em uma lavoura de café, com manejo convencional, na cidade de Carmo do Rio Claro/ MG, em função da nutrição mineral das plantas. Como ferramenta para a análise, foi utilizada a geoestatística, foram propostos e comparados dois métodos de avaliação para frutos necrosados em cafeeiros. No primeiro, se avaliou o número de frutos mumificados no nó produtivo pré-determinado e, no segundo, a incidência média de nós produtivos com frutos mumificados em ramos pré-determinados. Foi utilizado o método de estimação da máxima verossimilhança restrita e ajustado o modelo esférico. A análise espacial como usada neste estudo, possibilitou a correlação espacial de dois métodos de avaliação da necrose em frutos de cafeeiro com o teor foliar dos nutrientes Mg, Ca e K, produtividade, enfolhamento e distribuição da doença ao longo do tempo. Os dois métodos de avaliação de frutos necrosados utilizados, neste trabalho, proporcionam resultados correspondentes no espaço para a detecção de focos da doença. A necrose em frutos apresentou um padrão agregado com progresso ao longo do tempo. A análise geoestatística possibilitou identificar uma região em que o foco inicial da doença foi ocasionado provavelmente pela deficiência de Mg nos tecidos foliares.

Palavras-chave: Antracnose. Nutrição do cafeeiro. Complexo colletotrichum, Mumificação de chumbinhos, Necrose de frutos.

GENERAL ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the effect of mineral nutrition on coffee plants (*Coffea arabica* L.) susceptibility to Colletotrichum Complex diseases. Part of this work was carried out in nutrient solution, under controlled conditions in a growth chamber. In this part, were set up two assays to evaluate coffee leaves susceptibility to anthracnose, in the first one, coffee plants were submitted to different levels of magnesium, in the second one, plants were submitted to interaction between 5 different levels of both calcium and potassium. It was observed that as excess as deficiency of magnesium increase the susceptibility of coffee plants to anthracnose in leaves, it was observed the minimum critical level ($0,5 \text{ mmol.L}^{-1}$) and optimal level ($1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$) for anthracnose resistance in leaves. In relation to calcium and potassium interaction, only for the different levels of potassium there were significant differences, the increase of the intensity of the disease increased by the addition of potassium. In the second part, analysis of temporal distribution of fruit necrosis in a coffee plantation with conventional management was carried out in Carmo do Rio Claro, MG, Brazil. Geostatistics were used as a tool for analysis. Were proposed and compared two evaluation methods for necrotic fruits in coffee trees. The first one evaluated the number of mummified fruits in one pre-determined productive node, the second one evaluate the average incidence of productive node with mummified fruits in the same branch used in the first one method. Maps of different methods of disease evaluation were compared with each other, with leaf nutrient contents (Mg, Ca and K), production, and leafiness maps. Spatial analysis as used in this study allowed evaluate the spatial correlation between two evaluation methods to coffee necrotic fruits, foliar nutrient content (Mg, Ca and K), leafiness and distribution of disease during the time. Both methods used to evaluate necrotic fruits showed correspondent results for the detection of disease foci. Fruit necrosis presented an aggregate pattern of distribution with progress over time. Kriging maps make possible identify a region in which the initial focus of the disease was likely caused by Mg deficiency in leaf tissues.

Key words: Anthracnose. Coffee nutrition. Colletotrichum complex. Berry disease. Fruit necrosis.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1	Área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPSD) em função das concentrações de magnésio (Mg), em solução nutritiva.....	39
Figura 2	Peso da parte aérea seca, em função das concentrações de magnésio (Mg), em solução nutritiva.....	41
Figura 3	Área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPSD) em função das concentrações de Potássio (K) em solução nutritiva.....	43
Figura 4	Peso da parte aérea seca, em função das concentrações de Cálcio (Ca), em solução nutritiva.....	45

CAPÍTULO 3

Figura 1	A – Localização do Experimento	56
	B – Malha amostral representando os 52 pontos amostrais	56
Figura 2	Ponto amostral com a localização das 5 plantas amostradas com referências nas linhas de plantio.....	57
Figura 3	Incidência média de FN em cada nó produtivo a partir da ponta de ramos plagiotrópicos do terço médio 1° ao 17° nó produtivo.....	62
Figura 4	Mapas de quartis para a distribuição espacial da doença ao longo do tempo.....	65
Figura 5	Mapas de quartis para a distribuição espacial dos teores foliares de magnésio, cálcio e potássio, ao longo do tempo.....	66
Figura 6	Mapas de quartis para a distribuição espacial da produtividade ao longo do tempo.....	67

CAPÍTULO 3

Figura 7	Mapas de quartis para enfolhamento ao longo do tempo.....	67
Figura 8	Mapas de krigagem da distribuição espacial da doença ao longo do tempo.....	70
Figura 9	Variograma esférico estimado utilizando a máxima verossimilhança restrita para a intensidade de doença (%).....	72
Figura 10	Variograma esférico estimado utilizando a máxima verossimilhança restrita para os teores foliares de Mg, Ca e K (g.kg^{-1}).....	73
Figura 11	Variograma esférico estimado utilizando a máxima verossimilhança restrita para a produtividade (sc/ha).....	74
Figura 12	Variograma esférico estimado utilizando a máxima verossimilhança restrita para o enfolhamento (%).....	74
Figura 13	Mapas de Krigagem para os teores foliares dos nutrientes Mg, Ca e K (g.kg^{-1}).....	78
Figura 14	Mapas de Krigagem para a produtividade (sc/ha).....	80
Figura 15	Mapas de Krigagem para enfolhamento.....	80
Figura 16	Mapas de erro de Krigagem para avaliação da doença...	81
Figura 17	Mapas de erro de Krigagem para teor foliar de nutrientes.....	82
Figura 18	Mapas de erro de Krigagem para produtividade.....	83
Figura 19	Mapas de erro de Krigagem para enfolhamento.....	83

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Critérios de avaliação do espectro de reação ao <i>Colletotrichum spp.</i> , em folhas de café	37
--	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Defensivos utilizados na lavoura para o controle de doenças.....	57
Tabela 2. Adubação Mineral.....	57
Tabela 3. Coeficientes de correlações de Pearson entre número de frutos por nó, produtivo e incidência de FN.....	63
Tabela 4. Correlação entre os métodos de avaliação M1 e M2	64
Tabela 5. Parâmetros de variograma esférico estimados por máxima verossimilhança restrita para a intensidade da doença nos métodos de avaliação M1 e M2, para os teores foliares de nutrientes (Mg, Ca e K) produtividade e enfolhamento.....	71
Tabela 6. Propriedades das variáveis produtividade, enfolhamento e teores Foliares de Mg, Ca e K.....	75
Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis produtividade, Teores foliares de nutrientes (Mg, Ca e K) e enfolhamento com os métodos de avaliação.....	77

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 <i>Colletotrichum</i> spp. em cafeeiro	15
2.2 Nutrição mineral do cafeeiro	19
2.3 Análise geoestatística no estudo de doenças de plantas	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
CAPÍTULO 2: INFLUÊNCIA DO MAGNÉSIO E DA INTERAÇÃO CÁLCIO E POTÁSSIO NA SUSCETIBILIDADE DO CAFEIEIRO A ANTRACNOSE EM SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	31
1 INTRODUÇÃO	33
2 MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1 Produção de mudas	35
2.2 Inoculação.....	36
2.3 Avaliação da doença.....	36
2.4 Avaliação do peso da matéria seca	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
3.1 Experimento de Mg	38
3.2 Interação entre Ca e K	42
4 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
CAPÍTULO 3: ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA NECROSE DE FRUTOS DO CAFEIEIRO EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE, ENFOLHAMENTO E DOS NÍVEIS FOLIARES DE MG, CA E K.....	51
1 INTRODUÇÃO	53
2 MATERIAL E MÉTODOS	55
2.1 Localização da área experimental georreferenciamento	55
2.2 Pontos amostrais	57
2.3 Tratos culturais utilizados na lavoura	57
2.4 Avaliação da incidência de FN	58
2.4.1 Método 1.....	58
2.4.2 Método 2.....	59
2.5 Avaliações	59
2.6 Avaliação da nutrição mineral	59
2.7 Avaliação do Enfolhamento	60
2.8 Avaliação da Produção	60
2.9 Correlações	60
2.10 Análise geoestatística.....	60
3 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	62
3.1 Métodos de avaliação da doença	62
3.1.1 Método de Avaliação 1 (M1).....	62
3.1.2 Método de Avaliação 2 (M2).....	64
3.2 Distribuição espaço temporal da doença	64
3.3 Relação FN X Cálcio X Potássio X Magnésio	74
3.4 Relação FN X Produtividade	79

3.5 Relação FN X Enfolhamento.....	80
4 CONCLUSÃO.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior exportador e produtor de café do mundo, e a cafeicultura se destaca entre as principais atividades agrícolas do País. Além de gerar divisas, a cadeia produtiva de café é responsável pela geração de mais de oito milhões de empregos no país, proporcionando renda, acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias. São cerca de 287 mil cafeicultores, predominando mini e pequenos, em aproximadamente 1900 municípios, que, fazendo parte de associações e cooperativas, distribuem-se em 15 estados: Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia e São Paulo. (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2016).

No entanto, apesar de a cafeicultura brasileira estar entre as mais modernas do mundo, a produtividade e a qualidade das lavouras brasileiras ainda são limitadas por doenças, dentre elas, aquelas do Complexo Colletotrichum, que engloba as antracnoses em folhas e frutos, mumificação de chumbinhos, mancha manteigosa e a seca de ponteiros.

Nos últimos anos, provavelmente, devido à mudanças climáticas, novas regiões de cultivo e a maior busca por produtividade com a utilização de novas tecnologias, perdas significativas, decorrente das doenças do Complexo Colletotrichum têm sido relatadas por produtores. A situação da cafeicultura

brasileira atual é preocupante, em relação ao Complexo *Colletotrichum*, são escassos os estudos epidemiológicos de *Colletotrichum* spp. associados ao cafeeiro e 95% da área cultivada com café arábica são compostas por cultivares de germoplasma de Catuaí e Mundo Novo, representando um grande problema, já que essas duas cultivares, aparentemente, não são resistentes a *Colletotrichum* spp. (SERA et al., 2008).

Como a busca constante pela conservação dos recursos naturais impõe à atividade agrícola novas tecnologias de produção de maior eficiência e controle dos resultados obtidos no campo, a nutrição de forma adequada e equilibrada se enquadra como uma alternativa de manejo para essas doenças, além de produzir respostas na produção, influencia diretamente na sanidade da planta, conferindo maior resistência ao estresse biótico e abiótico. Dentre os fatores bióticos destaca-se o aumento da resistência das plantas às doenças, protegendo-as de novas infecções e reduzindo a intensidade das infecções já existentes (VELASCO, 1999).

Diante do exposto, objetivou-se, com este trabalho, analisar o efeito da nutrição mineral, na suscetibilidade de plantas de café (*Coffea arabica* L.) à doenças do Complexo *Colletotrichum*, tanto em condições controladas quanto no campo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Colletotrichum* spp. em cafeeiro

A primeira descrição de *Colletotrichum*, em cafeeiro, foi feita por Noack, em 1901, referente a um isolado do Brasil, denominado de *C. coffeanum*. No Kenya, em 1926, foi relatada a variante “virulans” de *Colletotrichum* em café, associada a “*Coffee Berry Disease*” (MCDONALD, 1926).

Vários autores relatam que espécies de *Colletotrichum* spp. ocorrem como saprófitas e parasitas em todas as regiões produtoras de café do mundo. Atualmente, cinco espécies do gênero *Colletotrichum* estão associadas a doenças do café. *C. kahawae* (HINDORF E OMONDI, 2011), *C. gloeosporioides*, *C. acutatum*, *C. capsici* e *C. boninense* (PHUONG et al, 2010). Entre essas espécies, o *C. gloeosporioides* é a espécie mais relacionada a doenças do cafeeiro fora do continente africano. Com o avanço da biologia molecular, tem se notado que dentro de *Colletotrichum gloeosporioides* há numerosas espécies filogenéticas (WEIR et al., 2012). Os principais sintomas observados que estão associados ao gênero *Colletotrichum* em cafeeiro são: a antracnose, seca de ponteiro, queima dos frutos, mancha manteigosa e doença da baga do café CBD (*Colletotrichum Kahawae*).

No Quênia e em outros países da África, a CBD é o principal fator limitante à produção dos cafeeiros, podendo levar a uma redução na produtividade entre 50 a 80 % (CHEN, 2002). O fungo infecta frutos verdes em todos os estágios de desenvolvimento, os quais podem cair prematuramente ou permanecerem mumificados na planta (CHEN, 2002). No entanto, até o momento, a presença do *Colletotrichum Kahawae* está restrita ao continente africano.

No Vietnam, país asiático, apesar de ser um país livre do *C. Kahawae*, perdas, em decorrência da antracnose em frutos, variam de 15 a 60% entre

regiões (TRAN *et al.*, 1998). No Brasil, poucos são os relatos que caracterizam estudos epidemiológicos de *Colletotrichum* spp. associados ao cafeeiro, mesmo sabendo da importância desse gênero (ABREU *et al.*, 2008).

No Brasil, as lesões mais críticas e prejudiciais para o cafeeiro são aquelas nas quais o fungo (*Colletotrichum* spp.) incide sobre as gemas, flores e frutos novos, provocando a morte e queda, bem como, o enegrecimento e morte dos ramos (PARADELA FILHO *et al.*, 2001). Esses autores, relataram que espécies de *Colletotrichum* encontram-se presentes em praticamente todas as plantas de café, ocorrendo sob três diferentes formas: patogênica que se desenvolve em condições de alta umidade e temperaturas amenas; pouco agressiva considerada sua forma normal para sobrevivência na planta; e a forma saprofítica, na qual podem ser desenvolvidas estruturas que podem ser importantes fontes de inoculo para disseminação.

Espécies de *Colletotrichum*, colonizando os tecidos de cafeeiros no Brasil são consideradas de importância secundária por alguns pesquisadores, porém, a ocorrência de danos ocasionados por essa espécie na cultura do café está aumentando com o passar dos anos, fato que se torna preocupante. Perdas significativas relacionadas à ação de *Colletotrichum* spp. em frutos e ramos têm sido relatadas por cafeicultores.

A transmissibilidade de *Colletotrichum* spp. por meio de sementes nas cultivares Catuaí Vermelho e Amarelo foi verificada por Orozco Miranda *et al.* (2002). Esses autores observaram que as sementes dessas cultivares inoculadas com *Colletotrichum gloeosporioides*, depois de germinadas, apresentaram necrose nos primeiros pares de folhas e, após o isolamento em meio de cultura, observando a presença do fungo com as mesmas características morfológicas das colônias originais.

A interação entre *Colletotrichum* spp. e plântulas de cafeeiro é muito variável, dependendo sobretudo da suscetibilidade do hospedeiro, da

variabilidade genética dos isolados e do período necessário para a expressão dos sintomas após inoculação (FERREIRA et al., 2004). A doença mais estudada até o presente momento causada pelo Complexo *Colletotrichum* é a mancha manteigosa. A primeira descrição dessa enfermidade foi feita na Costa Rica, acreditando ser uma doença de natureza virótica (WELLMAN, 1957). Em 1972, a etiologia da doença foi elucidada como sendo de origem fúngica, cujo patógeno era *Colletotrichum* spp. (VARGAS; GONZALES, 1972). Esses autores iniciaram o estudo da doença, mas como não conseguiram reproduzir os sintomas inoculando o patógeno, sugeriram que, provavelmente, essa doença era condicionada por um caráter genético, o qual refletia na suscetibilidade da planta.

No Brasil, a doença foi descrita primeiramente no estado de São Paulo (BITANCOURT, 1958) e, posteriormente, foram relatados novos focos em outros estados brasileiros. No Espírito Santo, foi detectada a doença em *Coffea canephora* (MANSK; MATIELLO, 1977) e, em Minas Gerais, no ano de 1990, foi constatada perda total da produção em uma lavoura no município de Cristais (OROZCO, 2003). Dias (2002) verificou que o isolado proveniente da mancha manteigosa foi patogênico em hipocótilos e constatou que o agente causal da mancha manteigosa era *Colletotrichum gloeosporioides*. Esse resultado foi reforçado por Orozco (2003), que ainda sugeriu a denominação de *Colletotrichum gloeosporioides* raça mancha manteigosa. Segundo Bitancourt (1958), a manifestação de sintomas da mancha manteigosa pode estar relacionada a alguns fatores ambientais capazes de favorecer a manifestação da doença, como a deficiência nutricional da planta e condições climáticas adversas.

Ainda são escassas as informações de perdas causadas por *Colletotrichum* spp. em cafeeiro. Segundo Dorizzoto (1993), as perdas são relatadas nos diferentes estágios de desenvolvimento da planta, principalmente, durante o

crescimento vegetativo, onde a queda prematura de frutos e inflorescências ocorre em conjunto com disfunções fisiológicas e fotossintéticas.

Segundo Orozco (2003), *C. gloeosporioides* e *C. acutatum* são os principais patógenos responsáveis por doenças em diferentes partes de plantas de café. Testes de patogenicidade de isolados de *Colletotrichum gloeosporioides* em cafeeiro têm sido realizados e com bastante êxito. No cafeeiro, eles são feitos em hipocótilos, plântulas e em frutos têm revelado variados graus de suscetibilidade em função do genótipo estudado (DORIZZOTO, ABREU, 1993; NECHET, 1999; OROZCO, 2003). No Brasil, estudos realizados para caracterizar a patogenicidade de *Colletotrichum* spp. em hipocótilos de cafeeiros, mostraram sintomas característicos da doença, em torno de 15 a 30 dias, após a inoculação do patógeno (DORIZZOTO, 1993; NECHET, 1999; DIAS, 2002; OROZCO, 2003).

Dorizzoto (1993) estudou a patogenicidade de isolados de *Colletotrichum* spp. em plântulas de café dos genótipos Sarchimor e Catimor. As inoculações foram feitas nos estágios de “palito de fósforo” e “orelha de onça”, com suspensão de 2×10^6 esporos mL^{-1} e foi analisado o índice da doença. De acordo com resultados, todas as progênes e a linhagens testadas mostraram-se suscetíveis, tanto em plântulas como em frutos verdes. Os isolados considerados patogênicos foram associados ao agente da mancha manteigosa.

Nguyen et al. (2009) determinaram a capacidade patogênica dos isolados responsáveis pela antracnose do café no Vietnã e observou que essa enfermidade é causada principalmente por *C. gloeosporioides*, entretanto, os autores ressaltam que outras espécies também podem estar envolvidas para agilizar o processo de infecção, especialmente sob deficiência de nutrientes e estresse fisiológico.

Testes de patogenicidade de *Colletotrichum* spp. em frutos de café têm demonstrado que frutos inoculados pelo método de ferimento apresentam maior

incidência da doença quando comparados a frutos inoculados pelo método sem ferimentos (PRIHASTUTI, et al., 2009; NGUYEN, et al., 2009). Segundo Nguyen (2009), a camada de cera cuticular pode inibir o processo de infecção dos patógenos.

Marques (2009), estudou a patogenicidade de isolados de *Colletotrichum*, em frutos verdes de cafeeiro, relatando a variabilidade na reprodução dos sintomas de antracnose, entre as diferentes cultivares de cafeeiros utilizadas, sendo que a cultivar IAPAR 59 mostrou maior resistência dentre as utilizadas. Sera et al. (2005), estudaram a resistência de cultivares de *Coffea arabica* L. a *Colletotrichum* spp. em campo, e encontraram diferentes níveis de resistência parcial à necrose de frutos associada à presença do patógeno, variando desde altamente suscetível até moderadamente resistentes. Esses autores concluíram que está ocorrendo segregação para a resistência à necrose de frutos, dentro das cultivares e seleções dos germoplasmas Sarchimor, Catucaí, Icatu e Catuaí.

2.2 Nutrição mineral do cafeeiro

Em todo ser vivo, a resistência às doenças é condicionada, principalmente, pela genética, no entanto, a capacidade de expressar a resistência genética é fortemente influenciada pela nutrição mineral. A nutrição de forma adequada e equilibrada, além de produzir respostas na produção, influencia diretamente na sanidade da planta, conferindo maior resistência a estresses bióticos e abióticos. Dentre os fatores bióticos, destaca-se o aumento da resistência das plantas às doenças, protegendo-as de novas infecções e reduzindo a intensidade das infecções já existentes (VELASCO, 1999).

Os nutrientes estão diretamente envolvidos, em praticamente, todos os mecanismos de defesa das plantas (HUBER, 2005). Além da interferência nas estruturas anatômicas, tais como: espessura de células epidérmicas e cutícula,

silificação, suberização e lignificação das paredes celulares, a nutrição pode afetar propriedades bioquímicas como produção de compostos fenólicos e orgânicos (MARSCHNER, 1995), porém o equilíbrio entre os nutrientes se faz necessário.

Tanto o excesso quanto a escassez de nutrientes podem favorecer doenças tornando as plantas mais predispostas à infecção. Segundo Huber (1980), o nível de K em plantas depende da disponibilidade de Ca. O Ca altera a proporção de Ca:K e interage com outros elementos. A função do K na organização celular e na permeabilidade é complementada, por meio de grandes reservas de Ca no tecido maduro da planta.

O K, desempenha diversas funções nas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013), atua como ativador enzimático e participa de processos como abertura e fechamento de estômatos, fotossíntese, transporte de carboidratos e respiração (MARSCHNER, 2012; SHIMAZAKI). Além dessas funções, o K também aumenta a resistência de plantas a patógenos, elevando a disponibilidade de proteínas e aminoácidos, entre elas, as envolvidas em constituir barreiras de resistência. Além disso, aumenta os teores de fitoalexinas e fenóis, ao redor dos locais de infecção, de forma a reduzir a colonização dos patógenos (HUBER; ARNY, 1985). Indiretamente, o K reforça a parede celular e a formação de material inter e intracelular, dificultando a penetração e promovendo a cicatrização de ferimentos (LI et al., 2010).

De acordo com Rahman e Punja 2007, o principal papel do cálcio consiste no fortalecimento da parede celulósica, conferindo a ela uma maior resistência à penetração por patógenos. Seus íons são utilizados na síntese de novas paredes celulares, em particular a lamela média. Ele é necessário para o funcionamento normal das membranas vegetais e tem papel de mensageiro secundário, em várias respostas das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo Marschner (2012), a concentração de Ca nos tecidos das plantas afeta a

incidência de doenças, por meio de três mecanismos: desempenha papel chave no reconhecimento de patógenos invasores na membrana plasmática, atuando como mensageiro secundário (YANG; SHAH; KLESSIG, 1997), mantém a estabilidade de biomembranas, evitando o efluxo de compostos de baixo peso molecular do citoplasma para o apoplasto (Marschner, 2012) e fortalece a parede celular, dificultando a infecção de patógenos (BATEMAN e LUMSDEN, 1965).

A utilização apenas de K ou a combinação dele com outros nutrientes, pode alterar a intensidade de doenças associadas a diversos patógenos. Garcia Junior et al. (2003) avaliaram o efeito de diferentes doses de potássio e de cálcio na incidência e na severidade da cercosporiose em mudas de café cultivadas em solução nutritiva. Esses autores verificaram redução linear da incidência da doença com o aumento das doses de cálcio até a dose máxima de cálcio fornecida. Em relação a K, a menor incidência foi obtida com a dose 4 mmol/L comprovando a competição entre esses nutrientes (MARSCHNER, 1995).

Catarino (2011) avaliou a intensidade da mancha de Phoma do cafeeiro e a nutrição em mudas supridas com doses de Ca e de K em solução nutritiva. Esse autor observou para a menor de Ca (2mmol.L^{-1}) e maior dose de K (7mmol.L^{-1}) a menor intensidade da doença obtida, em razão do equilíbrio entre esses nutrientes. No entanto, a menor severidade da doença e maior produção de matéria seca total foram obtidas com as menores doses de K e de Ca.

Em viveiro, Pozza et al. 2001 observaram o controle da cercosporiose em função do aumento da nutrição nitrogenada, e o favorecimento da doença em função da aumento da nutrição potássica. Para a mancha de Phoma, Lima et al., 2010 observaram que o desequilíbrio da relação N/K promove alterações no estado nutricional e favorece a infecção de *P. tarda* em mudas de cafeeiro. Com o aumento das doses de N, houve aumento linear na intensidade da doença.

Aumentando as doses de K, verificou-se redução da doença de forma quadrática até a dose de 7 mmol/L, a partir da qual ocorreu aumento da doença.

Em relação ao Mg, existem poucos relatos de efeitos diretos da deficiência ou excesso de Mg sobre doenças de plantas comparando-se a outros nutrientes, como, por exemplo, o K e o Ca. Segundo Huber & Jones, 2013, tal fato se deve ao amplo espectro de participação do Mg em funções fisiológicas, quando a planta está envolvida em atividades de defesa, virulência ou patogênese sua atuação não é facilmente caracterizada, ou seja, os benefícios gerais do Mg para atividades normais da planta encobrem efeitos do Mg na resistência das plantas a doenças, embora seja um importante nutriente para a resistência das plantas. Huber & Jones, 2013 dizem que o manejo da nutrição considerando o Mg para o controle de doenças, em equilíbrio com outros nutrientes minerais, é uma ferramenta subutilizada para o controle de doenças.

2.3 Análise geoestatística no estudo de doenças de plantas

A geoestatística surgiu na África do Sul quando KRIGE (1951), ao trabalhar com dados referentes à concentração de ouro, não conseguia encontrar sentido nas variâncias calculadas, se não levasse em conta também a distância entre as amostras (VIEIRA, 2000), Matheron (1963), baseado nessas observações, desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas. Ela foi definida como uma função espacial numérica, variando de um local para outro, com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma simples função matemática, sendo essa continuidade estimada por um semivariograma (MELLO, 2004).

Com o suporte dos dados amostrados da variável regionalizada e das propriedades estruturais do semivariograma obtido, havendo dependência espacial entre as amostras pode-se utilizar a Krigagem para estimar dados em pontos não amostrados a partir de pontos amostrados, considerando a estrutura

de dependência espacial do fenômeno (MELLO, 2004). A Krigagem é um método de interpolação que usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (BURGESS; WEBSTER, 1980), ela permite visualizar o comportamento da variável na região por meio de um mapa de isolinhas ou de superfície.

Na área de fitopatologia a geoestatística é utilizada como uma importante ferramenta de análise da distribuição espacial e temporal de doenças, a geoestatística permite quantificar a magnitude e o grau de dependência espacial e, também, descrever, detalhadamente, a variabilidade espacial dos atributos relacionados ao desenvolvimento de doenças, a partir de um interpolador exato e preciso.

Em cafeeiro, Alves 2009, observou por meio da geoestatística, padrão de variabilidade espacial com correspondência inversa entre a intensidade da doença nas áreas com menor teor foliar de N, P, Ca, Mg, S, Cu, índice de área foliar em 6/2005; S, Cu, índice de área foliar em 12/2005 e N, P, Ca, Mg, S, índice de área foliar em 5/2006. Com relação à cercosporiose, o mesmo autor observou, padrão de variabilidade espacial com correspondência direta entre a incidência da doença nas folhas e a incidência, severidade nos frutos, com a produtividade tanto anterior como posterior às avaliações e inversa com o índice de área foliar, nesse mesmo período. Também observou correspondência inversa da variabilidade espacial da doença com os teores foliares de P, Ca, Mg, S, Cu, índice de área foliar. Em 12/2006 verificou relação inversa da incidência da cercosporiose com o teor foliar de Mn e da severidade da doença com o teor foliar de N, K, Ca e Mg.

Alves et al. (2006) estudaram o progresso espaço-temporal da severidade da antracnose do feijoeiro comum e da ramulose do algodoeiro. Com os mapas de krigagem, os autores constataram a transmissibilidade dos

patógenos da semente infectada para as plântulas e, posteriormente, entre plantas no campo, ao longo do tempo e, conseqüentemente, foi confirmada a natureza policíclica das doenças.

Vasco, 2016, avaliou o padrão espacial da relação entre a ferrugem e a nutrição do cafeeiro com P, K e B em uma lavoura cafeeira comercial, sob irrigação por pivô central, no município de Carmo do Rio Claro (MG). O autor constatou que a maior incidência de ferrugem ocorreu nas áreas com os menores teores de P e K e os maiores teores de B.

Freitas et, al 2015, utilizando análise geostatística diagnosticou áreas favoráveis ao desenvolvimento de Sigatoka Amarela, por meio da correlação da taxa de infecção com a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas.

A possibilidade de quantificar a magnitude e o grau de dependência espacial e descrever detalhadamente a variabilidade espacial dos atributos relacionados ao desenvolvimento de doenças a partir de um interpolador exato e preciso colabora para um manejo mais efetivo de doenças de plantas, com a utilização de balanceada de fertilizantes e redução de aplicação de defensivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. S. FREITAS; E. A. POZZA; M. C. ALVES; G. COELHO; H. S. ROCHA; A. A. A. POZZA. Spatial distribution of Yellow Sigatoka Leaf Spot correlated with soil fertility and plant nutrition. **Precision Agriculture**, 16 July, 2015. 14p.
- ABREU, M. S.; FERREIRA, J. B.; MARTINS, F. G. Mancha manteigosa no contexto do complexo *Colletotrichum* em cafeeiros. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DE PLANTAS: MANEJO FITOSSANITÁRIO DO CAFEIRO, 8. 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2008. p. 105-126.
- ALVES MC, POZZA EA, MACHADO JC, ARAÚJO DV, TALAMINI V, OLIVEIRA MS (2006) Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, v.31 p.557- 563.
- ALVES, M. C.; SILVA, F. M.; POZZA, E. A.; OLIVEIRA, M. S. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Berlin, v.82, n.2, p.137-148, May 2009b.
- BATEMAN, D. F. ; VAN ETTEN, H. D. ; ENGLISH, P. D. ; NEVINS, D. J.; and ALBERSHEIM, P. 1969. Susceptibility to enzymatic degradation of cell walls from bean plants resistant and susceptible to *Rhizoctonia solani* Kihn. **Plant Physiol.** v.44 p.641-648.
- BITANCOURT, A. A. As manchas da folha do cafeeiro. **O Biológico**, São Paulo, v. 24, n. 10, p. 191-201, out. 1958.
- BURGESS, T.M.; WEBSTER, R.; McBRATNEY, A.B. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties IV. Sampling Strategy. **Journal of Soil Science**, v.32, n.4, p.643-659, 1981.
- CATARINO, A, M. **Intensidade de mancha de Phoma em mudas de cafeeiro em função de doses de cálcio e potássio.** 2011. 53p. Dissertação (mestrado em fitopatologia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- CHEN, Z. J. **Morphocultural and pathogenic comparisons between *Colletotrichum kahawae* and *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from coffee berries.** 2002. 163 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002. *Colletotrichum* spp. **Fitopatologia Brasileira**, v.31 n.6, p.557-563.

DIAS, M. D. **Caracterização morfológica, bioquímica e patogênica de isolados de *Colletotrichum* spp. em *Coffea arabica* L.** 2002. 64 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

DORIZZOTTO, A. **Caracterização morfológica e patogenicidade de *Colletotrichum* spp. associados a cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em dois municípios de Minas Gerais.** 1993. 66 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1993.

DUARTE, J.B. **Sobre o emprego e a análise estatística do delineamento em blocos aumentados no melhoramento genético vegetal.** Piracicaba, 2000. 292p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

FERREIRA, J. B.; PEREIRA, I. S.; FERNANDES, K. D. ; ABREU, M. S. Prejuízos ocasionados pela mancha manteigosa em cafeeiros (*Coffea arábica* L.). In: ENCONTRO SUL MINEIRO DE CAFEICULTURA, 10; SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFEIEIRA DO SUL DE MINAS, 5, 2004 **Anais...** Lavras: Necaf. 2004. (CD-ROM).

FERREIRA, J. B.; SILVIA, E. H.; FERNADES, K. D.; PEREIRA, R. B.; ABREU, M. S.; PEREIRA, I. S. Efeito de fungicidas no controle da seca de ramos do cafeeiro (*C. arábica* L.) com mancha manteigosa (*Colletotrichum* spp.). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, ago. 2005. p. 111-111.

GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A, SOUZA, P.E.; CARVALHO, J.G.; BALIEIRO, A.C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, p. 286-291. 2003.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2016. <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais> acessado em 03/09/2016

HUBER, D. M. The role of nitrogen and sulfur on plant disease incidence and resistance. In: SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO MINERAL E DOENÇAS DE PLANTAS, 2005. Piracicaba: **Anais...** POTAFOS. CD-ROM.

HUBER, D.M. ; D.C. ARNY. 1985. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R.D (isso, o excesso de adubação potássica, do uso de calcário calcítico, superfosfato e gesso também são apontados como causas ed). **Potassium in Agriculture**. ASA, CSSA, SSA (Madison), p. 467-488.

- HUBER, D.M. ; JONES, J. B. The role of magnesium in plant disease. **Plant Soil**, p.73–85, 2013.
- HUBER, D.M. 1980. The role of mineral nutrition in defense. Pp 381406. In J.G. Horsfall and E.B. Cowling (eds.). *Plant Disease, An Advanced Treatise*, Vol. 5, How Plants Defend Themselves. **Academic Press**, New York.
- JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. Mining geostatistics. London: **Academic Press**, 1978. 600p.
- KRIGE, D.G. A statistical approach to some Witwatersrand. **Journal of the Chemical**, South Africa, v.52, p.119-139, 1951.
- LUCIANA MARIA DE LIMA. **Variabilidade espacial mancha de Phoma relacionada à nutrição do cafeeiro e incidência de cercosporiose na qualidade do café**. 2009. 109 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- MANSK, Z.; MATIELLO, J. B. Ocorrência de mancha manteigosa em café “Conilon” (*Coffea canephora*, Pierre) no Estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 5, 1977, Guarapari. **Anais...** Guarapari: IBC/GERCA, 1977. p. 172-173.
- MARQUES, V. V. **Patogenicidade e variabilidade genética de *Colletotrichum* spp. em cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2009. 114 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London. **Academic Press**, 1995.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3.ed London: **Elsevier**, 2012. 643p.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v.58, p.1246-1266,
- MCDONALD, J. A preliminary account of a disease of green coffee berries in Kenya colony. **Transactions of the British Mycological Society**, Manchester, v. 11, n. 1, p. 145-154, Aug. 1926.
- MELLO, J. M. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 110 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais, Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

NECHET, K. S. **Caracterização biológica e isoenzimática de isolados de *Colletotrichum* sp. em cafeeiro (*Coffea arábica* L.)**. 1999. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

NGUYEN, T. H. P.; SÄLL, T. ; BRYNGELSSON, T.; LILJEROTH, E. (2009). Variation among *Colletotrichum gloeosporioides* isolates from infected coffee berries at different locations in Vietnam. **Plant Pathology**, 58, 898–909.

NOACK, F. As manchas das folhas dos cafeeiros. **Boletim da Agricultura**, São Paulo, n. 1, jan. 1902

OROZCO, E. F. M. **Caracterização morfológica, molecular, bioquímica e patogênica de isolados de *Colletotrichum* spp. associados ao cafeeiro em Minas Gerais e comparação com *Colletotrichum kahawae***. 2003. 147 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

OROZCO, E. F. M. et al. Incidência de *Colletotrichum* spp. em frutos cereja e sementes de café arábica (*Coffea arabica*). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 7. 2002, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2002. p. 59.

PARADELA FILHO, O. et al. O complexo *Colletotrichum* do cafeeiro. Campinas: IAC, 2001. 11 p. (**Boletim Técnico IAC**, 191).

POZZA, A.A.A., MARTINEZ, H.E.P., CAIXETA, S.L., CARDOSO, A.A., ZAMBOLIM, L., POZZA, E.A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n. 1, p.53-60, 2001.

PRIHASTUTI, H.; CAI, L.; CHEN, H.; MCKENZIE, E.H.C.; HYDE, K.D. (2009). **Characterization of resistance**. In: Simpósio sobre relações entre nutrição mineral e incidência de doenças de plantas, Piracicaba, 2005.

RAHMAN, M.; PUNJA, Z. K. (2007). Calcium and plant disease. In L. E. DATNOFF, W. H. ELMER,; D. M. HUBER (Eds.), Mineral nutrition and plant disease (pp. 79–93). St. Paul: **American Phytopathological Society Press**.

SERA, G. H. et al. Correlação entre a necrose de frutos associada ao *Colletotrichum* spp. com as características frutos por nó e produtividade entre genótipos de café arábica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 48-54, jan./fev. 2008.

- WEIR, B.S.; JOHNSTON, P.R.; DAMM, U. The *Colletotrichum* gloeosporioides species complex Stud. **Mycol**, 73 (2012), pp. 115–180
- SERA, G. H. et al. Correlação entre a ocorrência de *Colletotrichum* spp. e outras características agronômicas em cafeeiros. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 435-440, 2005.
- SERA, G. H. et al. Resistência de campo ao *Colletotrichum* spp. entre genótipos de café (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4. 2005, Londrina. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2005b. 1 CD-ROM.
- SHIMAZAKI K, et al. Light regulation of stomatal movement. **Annu Rev Plant Biol.** 2007; v.58, 219–47.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.
- TRAN, K.L.; VU, T.T.N.; NGO, T.X.T. (1998). Results of investigation of coffee berry disease and dieback on Arabica coffee var. Catimor. *Monthly Journal of Science, technology and economic management (in Vietnamese)* six, 253-255.
- VARGAS, G. E.; GONZALEZ, U. L. C. La mancha mantecosa del café causada por *Colletotrichum* spp. **Turrialba**, San José, v. 22, n. 2, p. 129-135, Apr. /June 1972.
- VASCO, G. B. **Análise espaço temporal da ferrugem do cafeeiro e sua relação com o clima e a nutrição mineral com K e B**. 2016. 116 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- VELASCO, V.A.V. Papel de la nutricion mineral em la tolerância a las enfermedades de las plantas. **Terra**, v.17, n.3, p.193-200, 1999.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAES, R.S.; ALVAREZ V, V.H.; SCHAESER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. cap.1, p.1- 54.
- WELLMAN, F. L. Blister spot of arabica coffee from virus in Costa Rica. **Turrialba**, San José, v. seven, n. 4, p. 115-116. Oct./Dec. 1957.

WEN-JUAN LI; PING HE; JI-YUN JIN. Effect of Potassium on Ultrastructure of Maize Stalk Pith and Young Root and Their Relation to Stalk Rot Resistance **Agricultural Sciences in China** P1467 – 1474, 2010.

YANG, Y., SHAH, J.; KLESSIG, D.F. Signal perception and transduction in plant defense responses. **Genes Dev.** 11, 1621–1639

CAPÍTULO 2

INFLUÊNCIA DO MAGNÉSIO E DA INTERAÇÃO CÁLCIO E POTÁSSIO NA SUSCETIBILIDADE DO CAFEIEIRO A ANTRACNOSE EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a severidade da antracnose causada por *Colletotrichum* spp. em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuai IAC-144, em função do suprimento de magnésio (Mg), cálcio (Ca) e potássio (K) em solução nutritiva. Para o Mg instalou-se o experimento em DBC, com 5 tratamentos, quatro repetições e duas plantas por repetição. Foram utilizadas as doses 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 mmol.L⁻¹ de Mg. Para a avaliação do suprimento de Ca e K, instalou-se o experimento em DBC, com 25 tratamentos, três repetições e duas plantas por repetição. Utilizou-se esquema fatorial 5 x 5, com cinco doses de K (1; 2; 4; 6 e 8 mmol.L⁻¹) e cinco doses de Ca (1; 3; 5; 7 e 9 mmol.L⁻¹). As mudas foram inoculadas com suspensão de esporos de *Colletotrichum* sp. na concentração de 4. 10⁶ conídios, mL⁻¹. Foram realizadas 5 avaliações, para se obter a área abaixo da curva de progresso da doença. Foi observado que tanto a deficiência como o excesso de Mg influenciam na severidade da antracnose em folhas do cafeeiro. Na dose 0,5 mmol.L⁻¹ foi observada a maior AACPSD e a dose 1,5 mmol.L⁻¹ foi a responsável pela menor AACPSD. Na interação entre Ca e K, somente o K influenciou a área abaixo da curva de progresso severidade, apresentando um aumento linear da doença com o aumento das doses de k. As doses de Ca, isoladamente, influenciaram a matéria seca da parte aérea, houve a diminuição da matéria seca da parte aérea com o incremento das doses de Ca.

Palavras Chave: *Colletotrichum* sp. Nutrição do cafeeiro.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the severity of anthracnose caused by *Colletotrichum* spp. in coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuai IAC-144 due to the supply of magnesium (Mg), calcium (Ca) and potassium (K) in nutrient solution. For Mg experiment, was used completely randomized design, with 5 treatments (0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 mmol.L⁻¹ of Mg, 4 replicates with 2 plants per replicate. For evaluation of the supply of Ca and K, was used a completely randomized design with 25 treatments, three replicates, and two plants per plot, using a 4x4 factorial scheme with five levels of potassium (1, 2, 4, 6 and 8 mmol.L⁻¹) combined with five levels of Calcium (1, 3, 5, 7 and 9 mmol.L⁻¹). Seedlings were inoculated with spore suspension of *Colletotrichum* sp. at the concentration of 4x10⁶ conidia.mL⁻¹. Five evaluations were performed to obtain an area under disease severity progress curve. It was observed that both deficiency and excess of Mg influenced the severity of the anthracnose in coffee leaves. At the level of 0,5 mmol.L⁻¹ was observed the higher area under severity disease progress curve. To 1,5 mmol.L⁻¹ was observed the lower area under disease severity progress curve. In Ca and K experiment, only K influenced area under disease severity progress curve, presenting a linear increase of disease with increasing levels of K. Only Ca levels influenced the dry matter weight of aerial plants part, was observed a decrease of the dry matter with the increase of the Ca.

Key words: *Colletotrichum* sp. mineral nutrition. coffee

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café. Além de gerar divisas para o país, a cadeia produtiva de café é responsável pela geração de empregos, proporcionando renda, acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2016). No entanto, deficiências de Mg são comumente observadas em lavouras cafeeiras do Brasil, em decorrência de grande parte das lavouras encontrarem-se sobre solos ácidos, com baixa disponibilidade de cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Para corrigir a acidez do solo e, simultaneamente, fornecer Ca e Mg, a calagem é uma prática de uso generalizado, porém, na cafeicultura, ainda são questionáveis as doses recomendáveis, o efeito residual e a localização ideal para a aplicação do corretivo. Muitos calcários apresentam baixos teores de Mg, baixa reatividade e solubilidade, limitando o fornecimento imediato do nutriente às plantas. Além de deficiência de Mg em lavouras de café. Segundo Malavolta, 1996, Ca, Mg e K competem pelo mesmo sítio de absorção nas raízes.

Com a crescente demanda do mercado mundial por cafés produzidos de forma sustentável, o estudo dos efeitos dos nutrientes minerais sobre a suscetibilidade do cafeeiro ao *Colletotrichum* auxilia na elaboração de estratégias de manejo mais eficientes e contribuem para a redução das aplicações de defensivos agrícolas e, conseqüentemente, do impacto ambiental provocado pela cafeicultura. Portanto, neste trabalho, procurou-se avaliar o efeito de diferentes níveis de potássio na severidade da antracnose em mudas de café, cultivadas em solução nutritiva.

As doenças ocasionadas por *Colletotrichum* spp. afetam diretamente a produtividade e a qualidade das lavouras cafeeiras. No Brasil, as doenças do cafeeiro relacionadas ao *Colletotrichum* spp. são as antracnoses em folhas e

frutos, mancha manteigosa e a seca de ramos (OROZCO, 2003), elas interferem tanto na produtividade como na qualidade do produto final. Os maiores danos ocorrem quando a lavoura está sujeita a injúrias mecânicas, físicas ou químicas (CARVALHO; CHALFOUN; CUNHA, 2010), sendo essas injúrias comumente ocasionadas ao longo do ciclo da lavoura, em razão da mecanização da colheita, pulverização, podas, chuvas de granizo, ventos fortes, entre outros.

Nesse interim, lance-se a hipótese de que, recentes perdas significativas relativas a doenças causadas por *Colletotrichum* spp. relatadas por produtores, podem estar relacionadas ao desequilíbrio nutricional. Objetivou-se, com esse trabalho, estudar a resistência do cafeeiro ao *Colletotrichum* spp. em diferentes níveis de disponibilidade Mg, Ca e K e acrescentar informações na busca de soluções mais apropriadas para o manejo de doenças ocasionadas por *Colletotrichum* spp.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em câmara de crescimento. Sementes de café (*Coffea arabica* L.), da variedade Catuaí Vermelho IAC-144, foram semeadas em bandejas de plástico, que continham areia esterilizada. Para a avaliação de diferentes níveis de Mg o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 5 tratamentos (0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 mmol.L⁻¹), quatro repetições e duas plantas por parcela. Cada vaso com duas plantas constituiu uma parcela. Em experimentos à parte dos de Mg, foi avaliada a interação entre Ca e K, os experimentos foram montados em esquema fatorial 5X5, com 25 tratamentos e 3 repetições, com 2 plantas por unidade experimental. Os tratamentos consistiram de doses de K (1,2,4,6 e 8 mmol.L⁻¹ e cinco doses de Ca (1, 3, 5, 7 e 9 mmol.L⁻¹) em esquema fatorial.

2.1 Produção de mudas

Sessenta dias após a semeadura em areia, as plântulas, quando se encontravam com o primeiro par de folhas verdadeiras, foram selecionadas e transferidas para a adaptação em vasos de plástico pintados com tinta reflexiva, contendo 5 litros de solução Hoagland & Arnon (1950), onde permaneceram, por 20 dias, na solução com concentração de 30% e, posteriormente, 20 dias na solução de 60%. Os vasos eram conectados por mangueiras que tinham por finalidade aerar a solução, sendo que as mangueiras estavam conectadas em um compressor de ar. Quando as mudas emitiram o segundo par de folhas verdadeiras, as mudas foram transferidas para os vasos com os tratamentos. Os tratamentos foram constituídos de soluções nutritivas com doses crescentes de Mg calculadas a partir da solução de Hoagland & Arnon (1950), utilizando os seguintes sais KH₂PO₄, KNO₃, MgSO₄·7H₂O, Ca(NO₃)₂·4H₂O, NH₄NO₃, CaCl₂·2H₂O, (NH₄)₂SO₄, Mg(NO₃)₂·6H₂O. As mudas foram mantidas em

solução nutritiva até o final do experimento, com o pH da solução ajustado, semanalmente, entre 5,6 e 6,0.

2.2 Inoculação

Foi utilizado um isolado oriundo de um sintoma de antracnose no ramo do cafeeiro, em uma lavoura comercial do município de Carmo do Rio Claro MG e sua patogenicidade testada na inoculação de mudas em laboratório. Nos experimentos de Mg mudas com 6 pares de folhas totalmente expandidas foram inoculadas no quinto par de folhas, nos experimentos de interação entre Ca e K mudas com 5 pares de folhas totalmente expandidas foram inoculadas no quarto par de folhas. Antes e após a inoculação, as mudas foram mantidas em câmara úmida durante 24 horas. A inoculação seguiu a metodologia proposta por Freitas, M. L. O. (2014). Uma gota de 50 µL da suspensão de *Colletotrichum* spp. (4×10^6 esporos/mL), depositada na face abaxial das folhas, em uma região com 1,4 cm de diâmetro. Nos locais onde o inoculo foi depositado, haviam sido feitos ferimentos leves com o auxílio de uma esponja de aço esterilizada. Os ferimentos foram feitos com a finalidade de permitir a penetração e colonização do fungo. Posteriormente, sobre a área inoculada, colocou-se um disco de papel semipermeável com 1,4 cm de diâmetro, previamente umedecido em água destilada esterilizada para formar uma microcâmara úmida (ABREU, 1988), a qual foi retirada, juntamente com o saco plástico, 48 horas após a inoculação.

2.3 Avaliação da doença

As avaliações da severidade da doença foram realizadas aos 5, 10, 15, 20 e 25 dias após a inoculação de *Colletotrichum* sp. utilizando-se a escala de notas, descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios de avaliação do espectro de reação ao *Colletotrichum* spp., em folhas de café

Nota (Grau de sintomas)	Severidade / Sintomas
0	Ausência de reação visível
1	Pequenas e poucas (1 a 2) lesões cloróticas ou acastanhadas
2	Mais de 2 lesões acastanhadas ou lesões coalescentes. O diâmetro da lesão excede 0,5 mm
3	Extensas lesões acastanhadas com numerosos pontos pretos ou lesões escuras. Mais de 50% de áreas inoculadas lesionadas.
4	Área totalmente necrosada

Fonte: (Ogoshi et al., 2015)

A partir desses dados, foi determinado o índice de intensidade da doença (IID), conforme a fórmula: $ID = \sum (F \times V) / (N \times X) \times 100$, onde F número de plantas com determinado grau de sintomas; V representa o grau de sintomas; N é o número total de plantas inoculadas e X corresponde ao grau máximo de sintomas.

A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPS) foi obtida com base no IID, de acordo com Shaner e Finney (1977).

Os dados obtidos para severidade (IID) foram submetidos ao teste de regressão, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

2.4 Avaliação do peso da matéria seca

Após o término das avaliações, as folhas, as raízes e os caules foram lavados e acondicionados em sacos de papel e secos em estufa a 60 °C até atingirem peso constante. Procedeu-se à pesagem separadamente da parte aérea e das raízes.

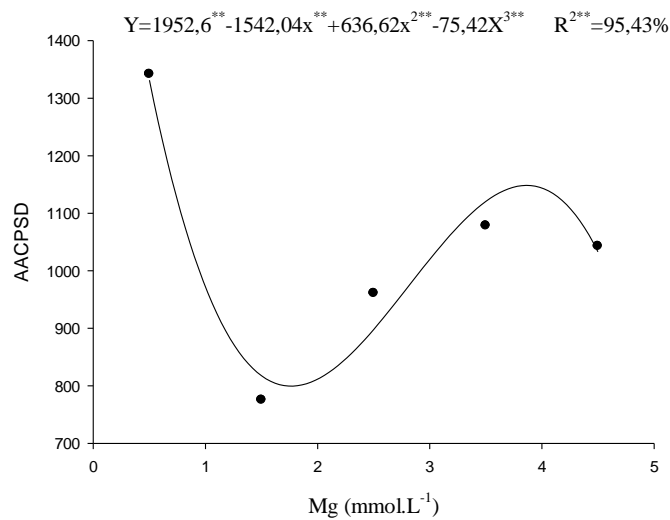
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 5 dias, foram observados e avaliados os primeiros sintomas de necrose, nas áreas inoculadas com o patógeno.

3.1 Experimento de Mg

A disponibilidade de Mg influenciou diretamente na susceptibilidade do cafeeiro ao *Colletotrichum* sp. Foi observado um efeito tanto positivo quanto negativo em função do aumento das doses de Mg na solução nutritiva. A dose 1,5 mmol, L⁻¹ se mostrou como a mais apropriada para favorecer a resistência do cafeeiro ao *Colletotrichum* sp., na menor dose de Mg (0,5 mmol.L⁻¹) foi observado a maior AACPS, o que indica que a deficiência de magnésio está diretamente ligada à susceptibilidade do cafeeiro ao *Colletotrichum* spp. No entanto, com o aumento da dose de MG de 1,5 mmol, L⁻¹ até 3,5 mmol,L⁻¹ observou-se um aumento progressivo da AACPS e entre as doses de mmol,L⁻¹ 1 e 4,5 a AACPS se manteve constante (Figura 1).

Figura 1. Área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPSD), em função das concentrações de magnésio (Mg), em solução nutritiva.



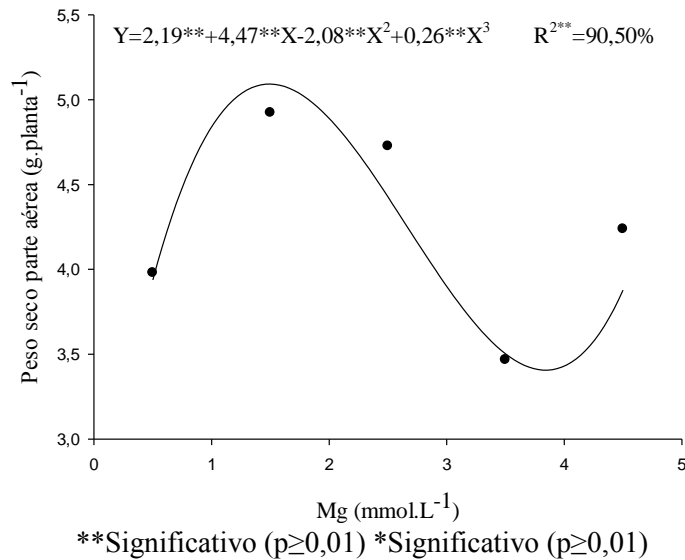
*Significativo ($p \geq 0,01$)

As doses 1,5 e 2,5 se mostraram como as mais propícias para o incremento da matéria seca das plantas. Ao observar as doses 0,5, 3,5 e 4,5 se constata que tanto a deficiência como o excesso do Mg comprometem o desenvolvimento do cafeeiro. Nesse ponto, fica claro que não existe correlação entre a resistência do cafeeiro à antracnose com o aumento das doses de Mg. A resistência do cafeeiro à antracnose é mais sensível ao excesso de Mg em solução do que o aumento da matéria seca. Provavelmente, isso é decorrente do desequilíbrio na absorção de outros nutrientes como Ca, K e Mn provocado pelo excesso de Mg. O Mg é um nutriente essencial para as plantas. É um componente de tecidos estruturais e participa em várias funções fisiológicas e processos bioquímicos. É um dos componentes da lamela média e um constituinte da molécula de clorofila. É também requerido para a preservação da estrutura e integridade do ribossomo e está envolvido nas reações de

transferência de energia, respiração, formação de RNA e DNA e, além disso, é cofator de várias enzimas (MARSCHNER 2011). Todos esses processos são influenciados por doenças de plantas e estão envolvidos com a resposta de defesa das plantas (HORSFALL & COWLING 1978, 1980). Provavelmente, a maior severidade da doença na dose 0,5 mmol, L⁻¹ está ligada a deficiência de Mg. Além da deficiência de Mg influenciar a resistência das plantas a doenças, o excesso de Mg também pode influenciar no ambiente em que o hospedeiro está inserido, em razão de sua interação com Ca, K e Mn (JAMES et al.1995). Mg, Ca, K e Mn competem por sítios de absorção nas raízes das plantas e, em decorrência desse fato, o incremento de Mg no solo ou solução nutritiva nem sempre favorece a planta contra patógenos. Fato observado com o aumento da severidade da doença com doses de Mg maiores que 1,5 mmol.L⁻¹.

Apesar da severidade da doença ter aumentado entre as doses de 1,5 mmol.L⁻¹ e 2,5 mmol.L⁻¹ o maior teor de matéria seca foi observado em ambas as doses (Figura 2). Isso mostra que, mesmo uma planta com crescimento normal pode ser mais suscetível a doenças, devido ao excesso de Mg disponível, sendo que o incremento de Mg não proporciona uma correlação entre a resistência à antracnose e o teor de matéria seca.

Figura 2. Peso da parte aérea seca, em função das concentrações de magnésio (Mg), em solução nutritiva.



Em relação ao Mg existem poucos relatos de efeitos diretos da deficiência ou excesso de Mg sobre doenças de plantas, comparando-se a outros nutrientes, como, por exemplo, o K e o Ca. Segundo Huber e Jones, 2013, tal fato se deve ao amplo espectro de participação do Mg em funções fisiológicas, quando a planta está envolvida em atividades de defesa, virulência ou patogênese. Sua atuação não é facilmente caracterizada, ou seja, os benefícios gerais do Mg para atividades normais da planta encobrem efeitos do Mg na resistência das plantas a doenças, embora seja um importante nutriente para a resistência das plantas. Huber e Jones, 2013 dizem que o manejo da nutrição considerando o Mg para o controle de doenças, em equilíbrio com outros nutrientes minerais, é uma ferramenta subutilizada para o controle de doenças.

Levando-se em consideração que os solos brasileiros utilizados para a cafeicultura apresentam geralmente acidez elevada e que a correção da acidez é uma prática rotineira, uma maior atenção deveria ser dada ao fornecimento

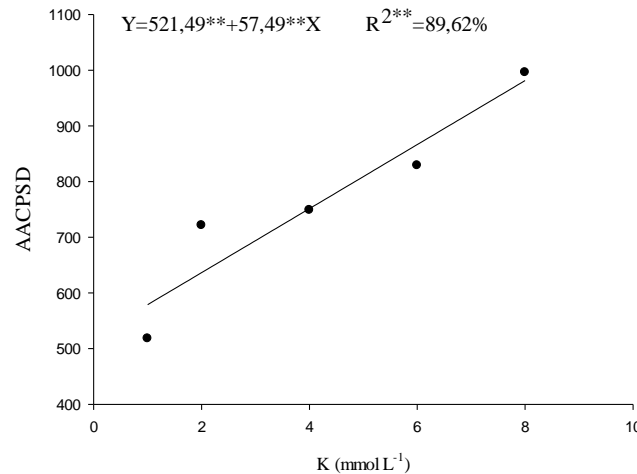
adequado do Mg em se tratando de doenças causadas pelo *Colletotrichum* spp. Em razão das novas práticas de manejo utilizadas na cafeicultura, a incidência das doenças relacionadas ao *Colletotrichum* spp. tem aumentado e a nutrição adequada apresenta-se como uma estratégia eficiente para o manejo sustentável de doenças causadas por *Colletotrichum* spp. na lavoura cafeeira.

3.2 Interação entre Ca e K

Não foi observada a interação significativa ($p \leq 0,05$) entre as concentrações de K e de Ca para AACPS peso da raiz e da parte aérea seca. Para cada variável, foi observado o efeito isolado do nutriente Ca ou K.

Para a variável AACPS observou-se interação significativa somente para o K ($p \leq 0,01$), e o aumento das concentrações de Ca não influenciou na susceptibilidade das plantas a antracnose. Com o aumento das concentrações de K observou-se um aumento da AACPS até a maior dose de K utilizada, 9 mmol.L⁻¹ (Figura 3).

Figura 3. Área abaixo da curva de progresso da severidade da doença (AACPSD), em função das concentrações de Potássio (K), em solução nutritiva.



*Significativo ($p \geq 0,01$)

Para a mancha de Phoma, Catarino (2010), ao observar isoladamente K, verificou a maior área abaixo da curva de progresso da incidência com a dose 3 mmol.L⁻¹ e redução da intensidade da doença, a partir dessa dose até a dose 6 mmol.L⁻¹, aumentando novamente a partir dessa dose.

Lima et al. (2010), avaliaram a relação N/K com mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva e verificaram a redução da intensidade (AACPI e AACPS) da mancha de Phoma, com aumento das doses de K até 6,59 mmol.L⁻¹, havendo aumento da intensidade a partir dessa dose.

Para a cercosporiose do cafeeiro, Garcia Junior, 2003, obteve a menor área abaixo da curva de progresso do total de lesões foi obtida com as doses 7 mmol.L⁻¹ de K e 6,35 mmol.L⁻¹ de Ca. Em relação ao K, esse resultado é diferente daquele encontrado por Pozza (1999) que obteve a menor área abaixo da curva de progresso do total de lesões, com a menor dose de K. Segundo

Garcia Junior (2003), provavelmente, o K em altas concentrações, interferiu na absorção do nitrogênio e do Ca pela planta, tornando está mais suscetível à cercosporiose.

Os resultados obtidos, neste trabalho, corrobora com o resultado obtido por Pozza, 1999, em relação à intensidade da doença, a menor intensidade da antracnose foi observada na menor dose de K utilizada, 1 mmol, L^{-1} , com a maior AACPS para antracnose observada na dose 8 mmol, L^{-1} , maior dose de K utilizada.

Freitas 2016, utilizou tratamentos idênticos aos deste trabalho para avaliar a susceptibilidade da bananeira a Sigatoka amarela em solução nutritiva, conseqüentemente para a intensidade da doença, encontrando resultados semelhantes ao deste trabalho. Ele, não observou interação entre K e Ca para AACPS, sendo somente o efeito das doses de K significativo ($p \leq 1$), foi observado um aumento linear da AACPS em função do incremento das doses de K.

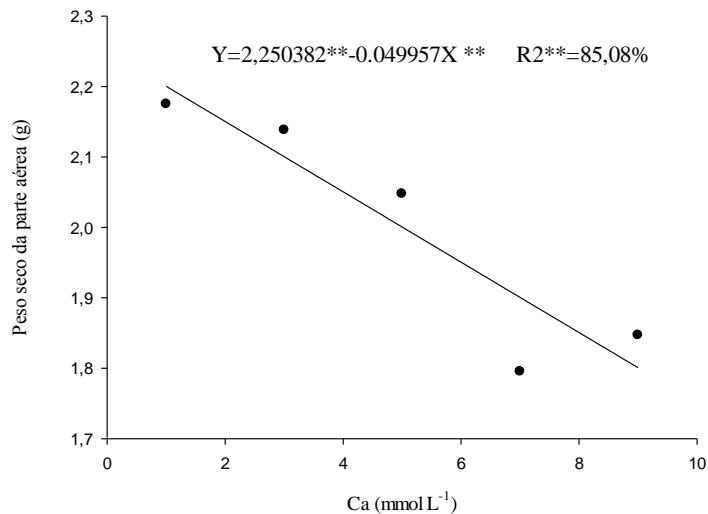
O desequilíbrio nutricional afeta a resistência de plantas a doenças tanto como a deficiência nutricional (HUBER & HANEKLAUS, 2007). POZZA 1999, observou o decréscimo no teor de cálcio em 26%, com o aumento nas doses de potássio (3, 5, 7 e 9 mmol, L^{-1}) sugerindo que a menor dose de potássio na solução nutritiva (3 mmol, L^{-1}) foi suficiente para nutrir a planta.

Pozza, 1999, explica que, as doses 5, 7 e 9 mmol, L^{-1} de potássio foram excessivas, causaram redução da absorção de cálcio e, provavelmente, refletiram na maior predisposição das mudas à infecção. Além disso, o autor considera que a dose 3 mmol.L^{-1} foi a dose ideal para a manutenção da planta. Neste trabalho, doses de menores que 3 mm.L^{-1} foram utilizadas e não foi observado nenhum sinal de deficiência de K.

A produção de matéria seca da parte aérea das mudas de cafeeiro foi significativamente influenciada pelo Ca. Na Figura 2, representa-se a diminuição

linear do peso da matéria seca da parte aérea em função do aumento dos níveis de Ca. Para a matéria seca da raiz, não houve efeito significativo em relação aos nutrientes utilizados (Figura 1). Não foi observada correlação entre AACPS e o peso da matéria seca tanto para a parte aérea quanto para a raiz.

Figura 4. Peso da parte aérea seca, em função das concentrações de Cálcio (Ca), em solução nutritiva.



**Significativo ($p \geq 0,01$)

No estudo da avaliação da produção de matéria seca do café, sob a influência de doses de Ca e de K no patossistema *Cercóspera* do cafeeiro, Garcia Júnior et al., 2003, observou que a matéria seca total das mudas de cafeeiro foi significativamente influenciada pelo K e a maior produção de matéria seca total (6,11 g/planta) foi obtida com a dose 1 mmol.L⁻¹, menor dose e, o incremento das doses de K de 3 para 7 mmol.L⁻¹ reduziu linearmente a produção de matéria seca total.

Porém, Pozza et al. (2001) e Lima et al. (2010), em trabalhos realizados com incremento de N e de K na nutrição de mudas de cafeeiro em solução

nutritiva, não observaram diferença significativa para o K na quantidade de matéria seca total.

A produção de matéria seca total do cafeeiro pode alterar-se, conforme a cultivar, sendo que diferenças significativas foram observadas entre cultivares quanto à produção de matéria seca total (POZZA et al., 2009). Neste trabalho, não houve correlação entre a AACPS e o teor de matéria seca da parte aérea, provavelmente porque o patógeno e a cultivar utilizada proporcionaram repostas diferentes aos trabalhos anteriores em relação ao teor de matéria seca.

4 CONCLUSÃO

Foram observados, neste trabalho, os valores críticos para o Mg em solução nutritiva, em relação a resistência do cafeeiro a antracnose, em $0,5 \text{ mm.L}^{-1}$ ocorreu a maior AACPS. A dosagem de 1,5 foi a dosagem ótima. Não houve correlação entre a resistência à antracnose e o teor de matéria seca em função das doses de Mg.

A dose de 1 mmol.L^{-1} foi a dose ideal de K para a planta em solução nutritiva, levando-se em consideração a resistência a antracnose do cafeeiro, a partir desse ponto, o incremento de K favorece a maior suscetibilidade da planta a doença.

Na interação Ca e K, o Ca isoladamente, pode influenciar negativamente no peso da matéria seca da parte aérea,

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M.; CUNHA, L. C. Manejo de doenças do cafeeiro in: **Café Arábica do Plantio a Colheita**. Lavras: EPAMIG. 689 p. 2010.

CATARINO, A, M. **Intensidade de mancha de Phoma em mudas de cafeeiro em função de doses de cálcio e potássio**. 2011. 53p. Dissertação (mestrado em fitopatologia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

DORIZZOTTO, A. **Caracterização morfológica e patogenicidade de *Colletotrichum* spp. associados a cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em dois municípios de Minas Gerais**. 1993. 66 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1993.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FREITAS M. L. O. **Etiologia, inoculação e escala diagramática no patossistema (*Colletotrichum* spp.) X Cafeeiro**. 2014. 122 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

FREITAS, A. S. **Processo infeccioso de *Pseudocercospora musae* e severidade da Siatoka Amarela da bananeira em função do silício, potássio e cálcio em solução nutritiva**. 2016. 101 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A, SOUZA, P.E.; CARVALHO, J.G.; BALIEIRO, A.C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, p. 286-291. 2003.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. The water culture method of growing plants without soil. Berkeley CA. **University of California**. 1950.

HORSFALL JG, COWLING EB (1978) Plant Disease An Advanced Treatise. How Plants Suffer from Disease, vol 3. Academic Press, New York

HUBER, D. M.; HANEKLAUS, S. (2007). Managing nutrition to control plant disease. **Landbauforschung Volkenrode**, 57, 313.

HUBER, D.M.; Jones, J. B. The role of magnesium in plant disease. **Plant Soil**, p.73–85, 2013.

JAMES DW, HURST CJ, TINDALL TA (1995) Alfalfa cultivar response to phosphorus and potassium deficiency: elemental composition of the herbage. *J Plant Nutr* 18:2447–2464

LIMA, L. M.; POZZA, E. A.; TORRES, H. N.; POZZA, A. A.; SALGADO, M. PFENNING, PFENNING, L. H.. Os resultados com Relação nitrogênio/potássio com mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, vol. 35, 4, 223-228 (2010).

MALAVOLTA, E. Sisal (*Agave sisalana* Perr.). In: International Fertilizer Industry Association (IFA) World Fertilizer Use Manual. Paris, 1996. s/p. Disponível em: <http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/html/pubman/sisal.htm>

MARSCHNER P (ed) (2011) Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd edn. **Academic**, London.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3.ed London: **Elsevier**, 2012. 643p.

MATIELLO, J. B. et al. Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações. Rio de Janeiro: **MAPA/PROCAFE**, 2010. 542 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2016. <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais> acessado em 03/09/2016.

NECHET, K. S. **Caracterização biológica e isoenzimática de isolados de *Colletotrichum* sp. em cafeeiro (*Coffea arábica* L.)**. 1999. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OGOSHI, C.; PINTO, F. A. M. F.; SANTOS NETO, H.; SILVA, B. M.; ABREU, M. S.; RESENDE, M. L. V de. Viability and susceptibility of propagation material from coffee plants to *Colletotrichum* sp. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 36, n. 6, p. 3539-3552, Nov. /dez. 2015

OROZCO, E. F. M. **Caracterização morfológica, molecular, bioquímica e patogênica de isolados de *Colletotrichum* spp. associados ao cafeeiro em Minas Gerais e comparação com *Colletotrichum kahawae***. 2003. 147 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

PARADELA FILHO, O. et al. O complexo *Colletotrichum* do cafeeiro. Campinas: IAC, 2001. 11 p. (**Boletim Técnico IAC, 191**).

POZZA, A.A.A. **Influência da nutrição nitrogenada e potássica na intensidade da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola* Berk. e Cook.) em mudas de cafeeiro.** (Tese de Mestrado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1999.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, Aug. 1977.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA NECROSE DE FRUTOS DO CAFEIEIRO EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE, ENFOLHAMENTO E DOS NÍVEIS FOLIARES DE MG, CA E K.

RESUMO

Este trabalho analisou a distribuição espaço temporal da necrose de frutos em uma lavoura de café, com manejo convencional, na cidade de Carmo do Rio Claro MG, em função da nutrição mineral de Mg, Ca e K, produtividade e enfolhamento. Como ferramenta para a análise, foi utilizada a geoestatística, sendo propostos e comparados dois métodos de avaliação para frutos necrosados em cafeeiros. Um avaliou o número de frutos mumificados em um nó produtivo pré-determinado e o outro a incidência média de nós produtivos com frutos mumificados em ramos pré-determinados. Foi utilizado o método de estimação da máxima verossimilhança restrita e ajustado o modelo esférico. Os mapas de Krigagem, dos métodos de avaliação foram comparados entre si e com a produtividade, teores foliares de nutrientes (Mg, Ca e K) e enfolhamento. A análise espacial, como usada neste estudo, possibilitou a correlação espacial de dois métodos de avaliação da necrose em frutos de cafeeiro, com o teor foliar dos nutrientes Mg, Ca e K, produtividade e enfolhamento. Os dois métodos de avaliação de frutos necrosados utilizados, neste trabalho, proporcionam resultados correspondentes no espaço, o que faz do M2 o método mais viável para o estudo da distribuição espacial da doença por ser mais rápido. A necrose em frutos apresentou um padrão agregado com progresso, ao longo do tempo. A análise geoestatística possibilitou identificar uma região em que o foco inicial da doença foi ocasionado provavelmente pela deficiência de Mg nos tecidos foliares, a relação entre produção e a doença.

Palavras-chave: Geoestatística. Krigagem. Mumificação de chumbinhos

ABSTRACT

This work analyzed the space temporal distribution of fruit necrosis in a coffee crop, with conventional management, located in Carmo do Rio Claro, MG, Brazil. Were evaluated disease intensity, leaf contents of Mg, Ca and K, productivity and leafiness. Were proposed two evaluation methods for necrotic fruits in coffee trees. One of them evaluated the number of mummified fruits in a pre-determined productive node and the other one evaluate the average incidence of productive nodes with necrosis fruits in pre-determined branches. As a tool for analysis, it was used geostatistics. The maximum likelihood restricted estimation method was used and the spherical model was adjusted. Kriging maps of the evaluation methods were compared among themselves and with leaf contents of (Mg, Ca and K), productivity and leafiness. The spatial analysis, as used in this study, allowed the spatial correlation of two methods to disease evaluate, with leaf contents of Mg, Ca and K nutrients, productivity and leafiness. The two methods of evaluation to necrotic fruits used in this study provide corresponding results in the space. Fruit necrosis showed an aggregate pattern with progress over time. Disease distribution was influenced by coffee production and it was possible to identify a region in which the initial focus of the disease was probably caused by Mg deficiency in leaf tissues.

Keywords: Geostatistics. Kriging. Mummification of fruits.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma bebida valorizada e apreciada, por isso, destaca-se como um dos principais produtos agrícolas do mundo. No Brasil, maior produtor e exportador mundial, a cadeia produtiva de café além de gerar divisas para o país, é responsável por gerar milhões de empregos, proporcionando renda, acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias.

No entanto, apesar de a cafeicultura brasileira ser considerada de alta tecnologia, a produtividade é limitada, em razão da necrose “mumificação” e queda de frutos do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. A causa dessa queda de frutos do cafeeiro ainda é polêmica, e entre as vertentes estão as causas abióticas e bióticas.

Para as causas abióticas, estão àquelas relacionadas à fisiologia do cafeeiro, por exemplo: o déficit hídrico, e altas temperaturas, deficiência nutricional e efeito da bienalidade. Para as causas bióticas, os principais agentes associados à mumificação de frutos do cafeeiro são *Colletotrichum* spp. e *Phoma* spp.

É difícil definir o agente etiológico da doença, quando todos esses fatores citados acima têm potencial para isoladamente provocar a queda dos frutos. A mumificação pode ser o reflexo de um problema fisiológico, no qual um fungo oportunista coloniza um fruto já propenso à queda ou, até mesmo, da ação de um fitopatógeno, quando o hospedeiro e o ambiente oferecem condições favoráveis para a colonização.

Embora esse patossistema seja importante dentro da cadeia produtiva do café, ainda há carência de informações para a busca de soluções mais apropriadas para o manejo, soluções essas que possam contribuir para a otimização do emprego de defensivos, aumento da produtividade e rentabilidade.

Nesse contexto, a agricultura de precisão disponibiliza ferramentas importantes para medir a variação espacial e temporal dos fatores envolvidos no rendimento das culturas. Essa ferramenta torna possível correlacionar causas e efeitos a partir de séries históricas de dados e de sua distribuição espacial como, por exemplo, correlacionar à nutrição mineral com a severidade das doenças de plantas.

A nutrição de forma adequada e equilibrada, além de produzir respostas na produtividade, influencia diretamente na sanidade da planta, conferindo maior resistência a estresses bióticos e abióticos. Assim, o conhecimento da distribuição espaço temporal de frutos de cafeeiro necrosados e da relação com os nutrientes é essencial e pode auxiliar na elaboração de estratégias de manejo, visando a aumentar a produtividade, reduzir as aplicações de defensivos agrícolas e, conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental da cafeicultura.

Sendo assim, objetivou-se avaliar a distribuição espacial de FN em uma lavoura de café irrigada por gotejamento, considerando a influência da nutrição, produtividade, enfolhamento e fitopatógenos no progresso da enfermidade, por meio da estatística e da geoestatística.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área experimental georreferenciamento.

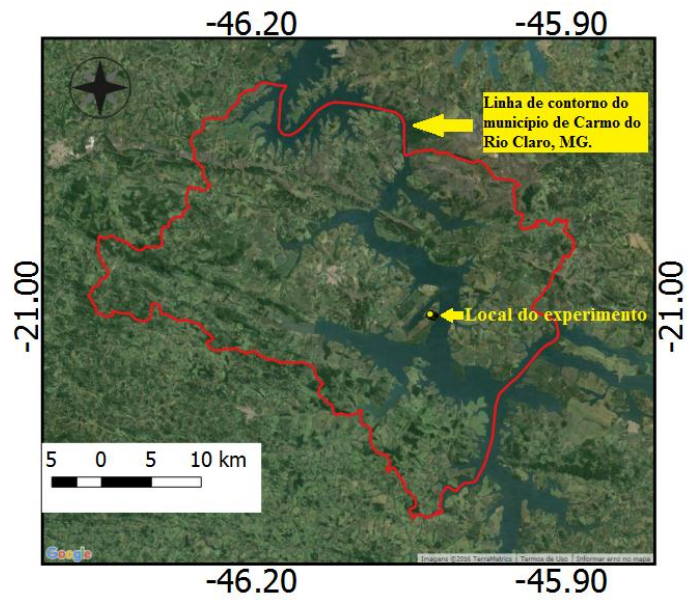
O experimento foi conduzido no Sul de Minas Gerais, de dezembro de 2014 a janeiro de 2015, em uma lavoura localizada no município de Carmo do Rio Claro, com altitude de 850m, com o sistema de irrigação por gotejamento, latitude de 21°00'28'' Sul e longitude de 46°01'30'' Oeste. A área consistia de 11 ha de lavoura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) da cultivar Acaiá 474/19, com 3 anos de idade, com espaçamento de 3,6 m entre linhas e 0,70 m entre plantas, totalizando 3968 plantas.ha⁻¹, declividade de 7% e sua produção iniciou em 2013, um ano antes das avaliações. A irrigação foi realizada o ano todo, de acordo com a necessidade, baseada na aferição de baterias de tensiômetros.

Os dados climáticos foram obtidos com o auxílio da estação microclimatológica (Campbel Scientific®) instalada na área experimental, com sensores para temperatura, umidade relativa do ar e molhamento foliar.

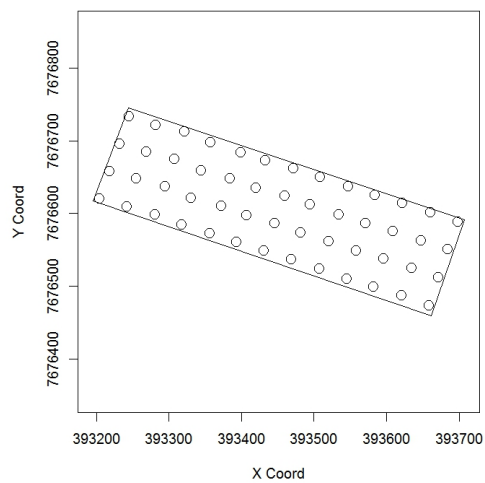
Durante a condução do experimento, as lavouras receberam os tratamentos culturais para controle de pragas e plantas daninhas de acordo com o nível de controle.

Os pontos de amostragem foram georreferenciados com GPS TRIMBLE 4600 LS® e Estação Total Leica TC600®. A área possuía 52 pontos amostrais em malha de 40 x 40 metros.

Figura 1. A) Localização do experimento.



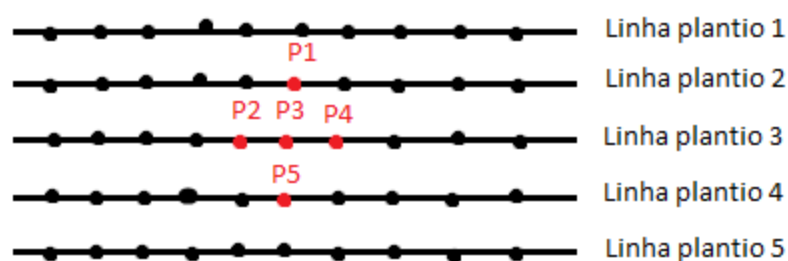
B) Malha amostral representando os 52 pontos amostrais.



2.2 Pontos amostrais

Em cada ponto amostral foram avaliados 10 ramos em cinco plantas. Em cada planta, os ramos foram marcados com tecido com a finalidade das avaliações serem realizadas sempre no mesmo ramo e nó produtivo.

Figura 2. Ponto amostral com a localização das 5 plantas amostradas com referência nas linhas de plantio.



2.3 Tratos culturais utilizados na lavoura

Tabela 1. Defensivos utilizados na lavoura para o controle de doenças

Ano / Época	Produtos	Mês
2013 – Pré-Florada	Cantus 150 g/há*	Setembro
2013 – Pós-Florada	Cantus 150 g/ha + Comet 300 ml/há*	Outubro
2013 – Enchimento de Grãos	Impact Mix5L/há	Novembro
2013 – Enchimento de Grãos	Aproach Prima	Dez/Fev.

* vazão de 400 L de calda/há

Tabela 2. Adubação Mineral

Ana Safra	N-kg/ha*	P-kg/ha	K-kg/ha*
2013/2014	400	0	400

*Adubação realizada por fertirrigação.

2.4. Avaliação da incidência de FN

A lavoura avaliada apresentou sintomas de necrose em frutos e para verificar os agentes bióticos envolvidos nos sintomas, frutos sintomáticos foram levados para o laboratório de diagnose e controle de enfermidade de plantas da Universidade Federal de Lavras. Nas áreas lesionadas dos frutos foram observadas as estruturas fungo *Colletotrichum* spp., que foi isolado e capaz de provocar a necrose em frutos inoculados artificialmente.

Foram utilizadas duas metodologias para a avaliação da intensidade da doença em campo:

2.4.1 Método 1

Foram amostrados 50 ramos plagiotrópicos do terço médio da planta escolhidos ao acaso na lavoura, sendo que para cada nó produtivo foi determinada a incidência de FN, de acordo com a (Campbell & Madden, 1990).

$$I(\%) = \frac{NFN}{NFT} * 100$$

Em que:

I = incidência (%)
NFN = número de FN em cada nó produtivo;
NFT = número total de frutos por nó produtivo.

O nó produtivo com a maior incidência média de FN foi determinado como padrão para todas as avaliações.

Para cada ramo marcado foi contado no nó produtivo padronizado o número total de frutos e o número de FN. Com os dados obtidos foi determinada para cada ponto a incidência média de FN no nó produtivo pré-determinado.

2.4.2 Método 2

Para cada ramo marcado, foram contados os nós produtivos (NP) com FN e com base no número total de NP por ramo foi determinada a incidência de NP infectados por *Colletotrichum* spp. e gerada a incidência média por ponto amostral.

2.5 Avaliações

Foram realizadas 3 avaliações da necrose de frutos: Avaliação 1: 15 de dezembro de 2013, Avaliação 2: 18 de janeiro de 2014 e Avaliação 3: 26 de fevereiro de 2014. Para detalhar o período reprodutivo do cafeeiro, utilizou-se a escala de avaliação de estágios fenológicos proposta por Pezzopane et al. (2003).

2.6 Avaliação da nutrição mineral

Laviola et al., 2007 observaram que a presença de frutos na planta de café resulta em uma forte competição fruto/folha por partição dos micronutrientes, independente do estágio fenológico do fruto. Assim, com os dados da análise do teor foliar de nutrientes, pode-se inferir sobre o estado nutricional do fruto, no caso deste trabalho, justifica a avaliação da nutrição foliar considerando que o alvo principal do patógeno é o fruto.

Para a análise do teor foliar de nutrientes, foram coletadas, em junho de 2014, cinco folhas de cada lado da rua, na direção leste e oeste, nas cinco plantas por ponto amostrado, do 3º ou 4º par de folhas, a partir do ápice de ramos plagiotrópicos produtivos, localizados no terço médio da planta. As amostras foram encaminhadas para laboratório e as determinações dos teores foliares e da quantidade no solo, foram feitas conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Foram, então, obtidos os teores foliares dos nutrientes potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg).

2.7 Avaliação do Enfolhamento

O enfolhamento foi avaliado duas vezes: dezembro de 2013 e fevereiro de 2014, segundo escala proposta por Boldini, 2001.

2.8 Avaliação da produção

A produtividade de café ($L.planta^{-1}$) foi obtida por meio da derrça manual, das cinco plantas de café, amostradas anteriormente em cada um dos 52 pontos do experimento e, em seguida, verificou-se o volume em litros coletado, por meio de um recipiente graduado. A produtividade (sacos/ha) foi calculada de acordo com:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Média de litros de café colhido por planta} \times \text{Número de plantas/ha}}{480}$$

2.9 Correlações

Foi, então, realizada a correlação de Pearson da incidência média de FN nas três avaliações com os teores foliares de nutrientes, produtividade e número total de frutos por nó produtivo.

2.10 Análise geoestatística

A análise geoestatística foi utilizada para descrever a variabilidade espacial e para escolher o modelo do variograma e ajustar o método que melhor descreveria a variabilidade dos dados. A dependência espacial com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com metodologia de Burrough and McDonnell (1998).

O método de estimação da máxima verossimilhança foi utilizado em razão do número de pontos amostrados ser menor que 100 (ALVES et al. 2011; WEBSTER e OLIVER 2007; PARDO- IGU'ZQUIZA 1998). Várias funções isotrópicas foram ajustadas, por meio da máxima verossimilhança restrita (MVR), as funções esféricas (OLEA, 2003) foram ajustadas.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases}$$

Onde, C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C$ o patamar, “a” é alcance e h é a distância.

Após o ajuste dos semivariogramas, realizou-se a interpolação dos dados por krigagem ordinária para estimar os valores das variáveis não medidas baseadas nos valores adjacentes (ALVES et al. 2006). Para as análises de correlação, estatística descritiva e geoestatística foi utilizado o software R geoR (DIGGLE & RIBEIRO 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

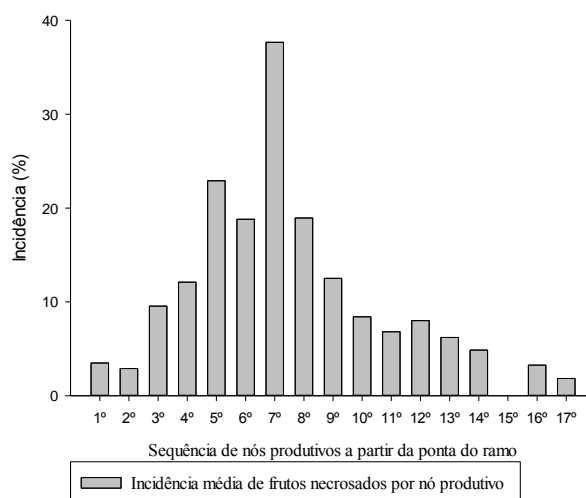
As condições climáticas predominantes, durante a condução da cultura no campo foram favoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento dos frutos. A umidade relativa, a pluviosidade e a temperatura média registradas de novembro de 2013 até março de 2014, foram de 72,5%, 1150,4 mm e 23,8 °C, respectivamente. As temperaturas máximas e mínimas ficaram, respectivamente, em 35,0 °C e 17,0 °C.

3.1 Métodos de avaliação da doença

3.1.1 Método de avaliação 1 (M1)

Foi observada a maior incidência de necrose em frutos no sétimo nó produtivo (Figura 3). De posse dessa informação, as avaliações de incidência de FN foram realizadas no sétimo nó produtivo, a partir da ponta de ramos plagiotrópicos do terço médio da planta em 52 pontos georreferenciados dentro da lavoura.

Figura 3. Incidência média de FN em cada nó produtivo a partir da ponta de ramos plagiotrópicos do terço médio, 1° ao 17° nó produtivo.



No sétimo nó produtivo, houve correlação positiva entre o número total de frutos e o número de FN para todas as avaliações (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre número de frutos por nó, produtivo e incidência de FN

Avaliação	(r)
1	0,44*
2	0,33*
3	0,39*

*P significativo a 1%.

Sera et al. 2008, também observaram uma correlação positiva entre FN e a quantidade de frutos por nó produtivo. Segundo Sara et al. 2008, a maior quantidade de frutos por nó proporciona o maior acúmulo de água nos pedúnculos dos frutos, o qual faz com que aumente o período de molhamento no fruto, com conseqüente aumento da severidade na necrose dos frutos causada por *Colletotrichum* spp. Segundo Paradela-Filho e Paradela (2001), quanto maior o período de molhamento dos tecidos das plantas, maior é a colonização por *Colletotrichum* spp.

A correlação entre o número de frutos por nó produtivo e a incidência de FN também pode estar relacionada ao fato de o alto número de frutos em um nó produtivo proporcionar uma competição entre os próprios frutos, seja por espaço ou por nutrientes, assim, frutos desfavorecidos nessa competição se tornam mais suscetíveis a patógenos e, conseqüentemente, ao *Colletotrichum* sp. Esse fato pode estar relacionado ao aumento da incidência de FN entre as avaliações durante o período de expansão dos frutos (Figura 3).

Diante dos fatos apresentados, este trabalho reforça a sugestão de Sara et al. 2008, e diz que não só para a avaliação da resistência genética ao *Colletotrichum* sp., mas para qualquer avaliação relacionada à necrose de frutos do cafeeiro, a avaliação seja realizada em cafeeiros com alta produção, para uma

maior eficiência na avaliação, se possível nos ramos com maior quantidade de frutos.

3.1.2 Método de avaliação 2 (M2)

Quando se avaliou a porcentagem de NP infectados por ramo, nos ramos marcados foi observada uma alta correlação de Pearson com o método 1 (Tabela 4).

Tabela 4. Correlação entre os métodos de avaliação M1 e M2.

	M1 12/2013	M1 01/2014	M1 03/2014
M2 12/2013	0,66**	0,44**	0,39**
M2 01/2014	0,43**	0,63**	0,43**
M2 03/2014	0,57**	0,67**	0,79**

**($p \leq 0,01$)

Em um primeiro momento, pode-se considerar os dois métodos de avaliação, de acordo com a tabela 4.

3.2 Distribuição espaço temporal da doença

Variáveis avaliadas por análise exploratória espacial e mapas quantitativos mostraram evidências de dependência espacial para todas as variáveis. (Figura 4,5, 6 e 7).

Figura 4. Mapas de quartis para a distribuição espacial da doença ao longo do tempo.

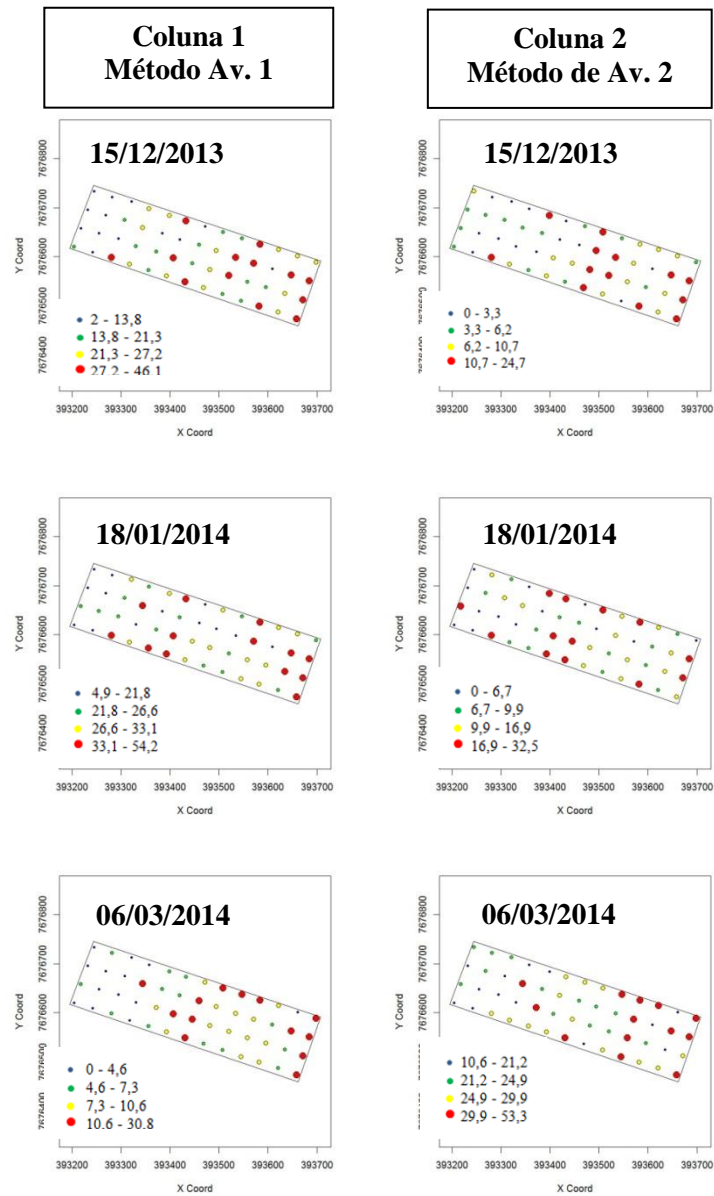


Figura 5. Mapas de quartis para a distribuição espacial dos teores foliares de magnésio, cálcio e potássio ao longo do tempo.

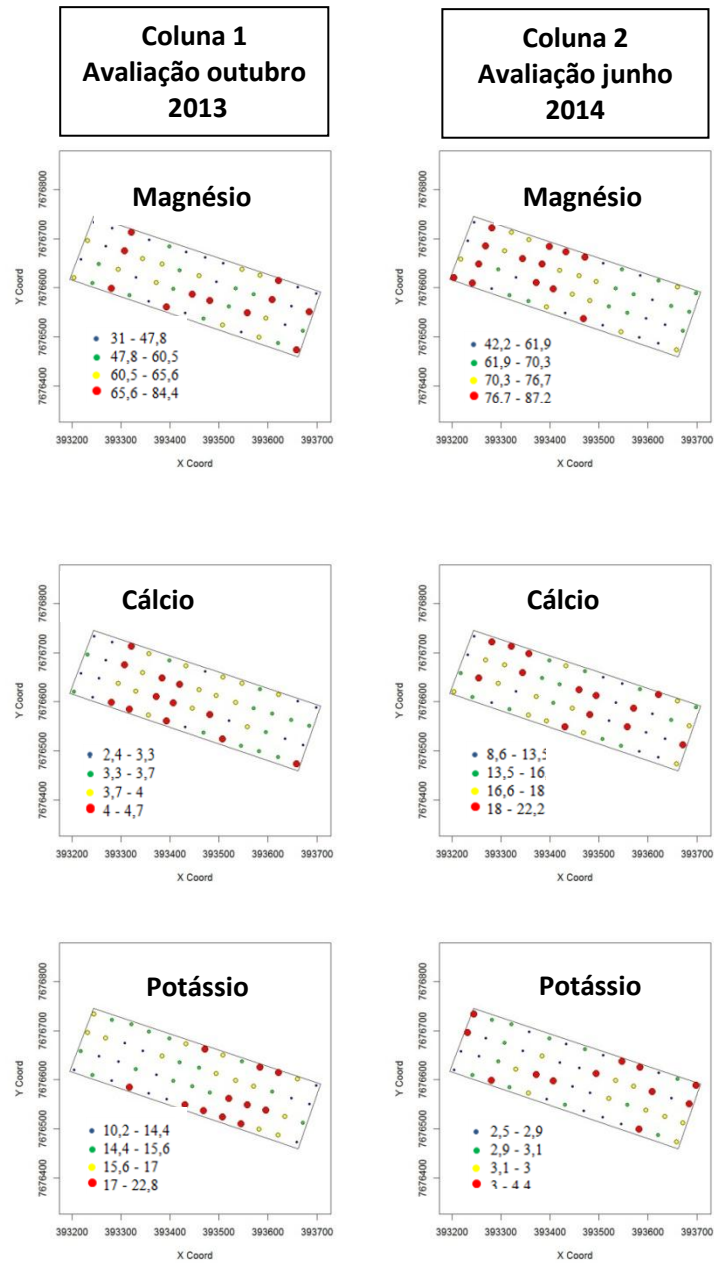


Figura 6. Mapas de quartis para a distribuição espacial da produtividade ao longo do tempo.

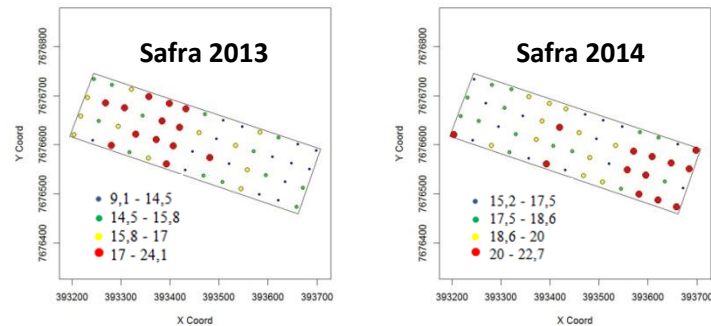
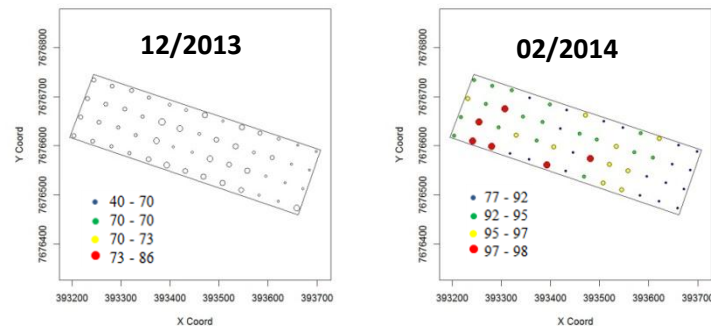


Figura 7. Mapas de quartis para enfolhamento ao longo do tempo.



Com a geostatística, foi possível visualizar a dependência espacial das variáveis. O modelo esférico foi ajustado para os dados de todas as variáveis para o variograma isotrópico e para a confecção dos mapas de krigagem (tabela 5 e figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15). Na área de fitopatologia, este modelo tem sido ajustado com frequência para doenças com padrão de distribuição agregado, como, por exemplo, para o nematoide do cisto na soja (*Heterodera glycines*) (PINHEIRO et al. 2008), antracnose em feijão (*Colletotrichum lindemuthianum*) (ALVES et al. 2006), requeima da batata e do tomate (*Phytophthora infestans*) (JAIME-GARCIA et al. 2001) e sigatoka amarela em bananeira (*Mycosphaerella musicola*) (FREITAS et al., 2015), segundo Webster

e Oliver (2007), o modelo esférico é amplamente usado em geoestatística. De maneira geral, foi observado efeito pepita baixo para as variáveis (Tabela 5; Figura 9, 10, 11 e 12). Segundo McBratney and Webster (1986), o efeito pepita é um parâmetro importante do variograma, ele indica variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada.

Para a avaliação da distribuição da doença ao longo do tempo, no método de avaliação 1, foi observado um comportamento diferenciado da distribuição da doença ao longo da lavoura, apresentando um padrão de distribuição agregado (Figura 8, coluna 1). Ao comparar as 3 avaliações realizadas, ao longo do tempo, no método de avaliação 1, nota-se um aumento na incidência da doença entre a primeira e a segunda avaliação, com um decréscimo entre a segunda e terceira avaliação (Figura 8 coluna 1). Esse fato provavelmente está relacionado ao estágio fenológico do fruto de cafeeiro, a primeira avaliação foi realizada na fase de expansão dos frutos, a segunda e a terceira avaliações foram feitas na fase de grão verde dos frutos, porém com mais de 30 dias de diferença.

Para a avaliação da distribuição da doença, ao longo do tempo, com o método de avaliação 2, também foi observado um comportamento diferenciado da distribuição da doença, ao longo da lavoura, apresentando um padrão agregado. Porém, para esse método de avaliação, houve um constante aumento dos índices da doença, ao longo do tempo, ou seja, a doença se espalhou entre os NP do ramo. Fica evidente que a doença se inicia nos NP com o maior número de frutos, os frutos doentes tendem a cair, ocasionando queda na intensidade da doença, a partir de um pico máximo (Figura 8, coluna 1). O patógeno, por encontrar um microclima menos favorável nos NP com um menor número de frutos, como foi discutido no item anterior, demanda um tempo maior para infectar e colonizar frutos em outros NP do ramo.

Segundo Laviola et al., 2007, cada estágio de formação do fruto possui funções fisiológicas e metabólicas próprias, essenciais à formação final da semente de café. Nesse caso, as diferenças fisiológicas e metabólicas entre os estágios de formação do fruto do cafeeiro podem ter sido os responsáveis da diferença na incidência de doença entre as avaliações, ao longo do tempo. A maior suscetibilidade dos frutos à doença ocorreu, durante a sua fase de expansão dos frutos, e na fase de frutos verdes houve um decréscimo na taxa de incidência da doença, embora ela tenha se espalhado ao longo do ramo.

Apesar de ser possível detectar um padrão epidemiológico diferente entre os dois métodos de avaliação, ao longo do tempo, os dois métodos detectaram os focos da doença na lavoura, utilizando a geoestatística (Figura 8), isso reforça as correlações apresentadas na Tabela 4. Nos mapas de krigagem, o método 1 foi mais preciso, porém para esse método de avaliação foi exigido um tempo e esforço muito maior ao avaliador se comparado ao método 2. A avaliação da incidência de NP infectados (NPI) é muito mais rápida e fácil, no entanto, apesar da doença estar associada a NP com maior número de frutos ela também ocorre em nós com menor número de grãos revelando que, além do microambiente encontrado pelo patógeno em um nó produtivo o ambiente em que a planta hospedeira está inserida, também tem relativa importância para que a doença ocorra.

Figura 8 Mapas de krigagem da distribuição espacial da doença ao longo do tempo.

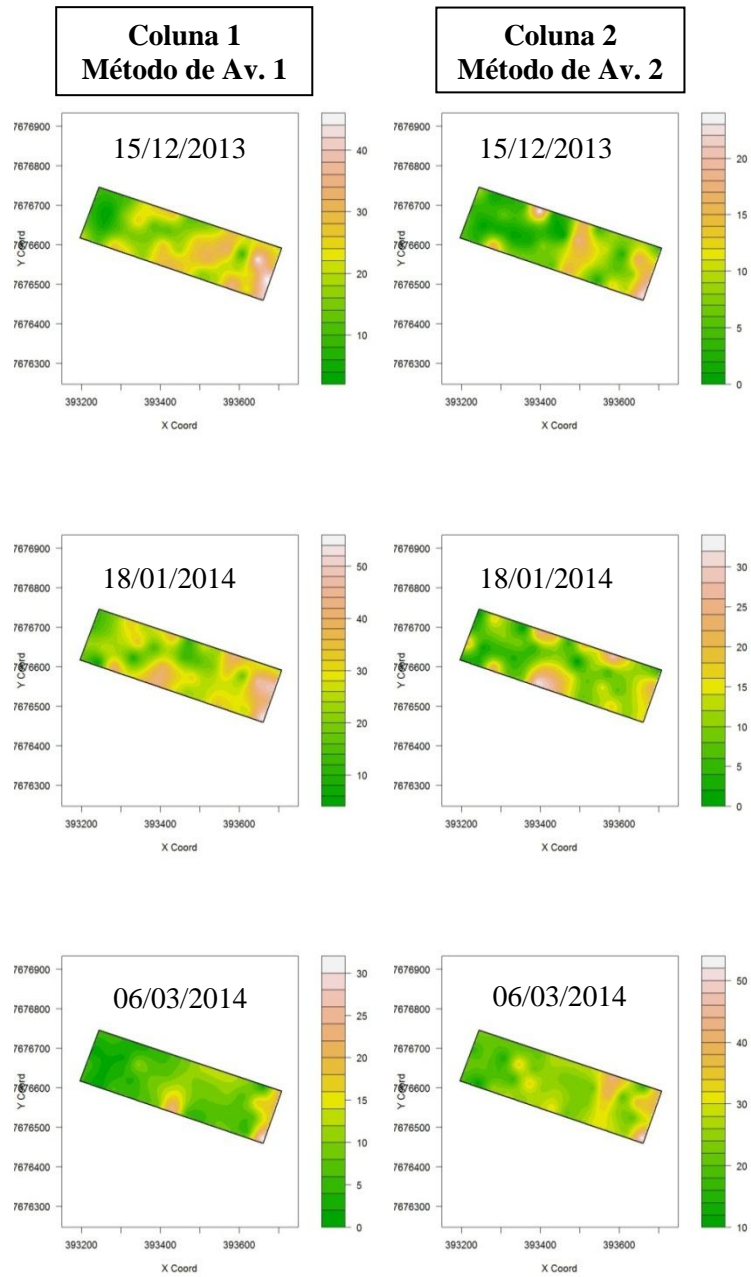


Tabela 5. Parâmetros do variograma esférico estimados por máxima verossimilhança restrita para a intensidade da doença nos métodos de avaliação M1 e M2, para os teores foliares de nutrientes (Mg, Ca e K), produtividade e enfolhamento.

Variável	Patamar (C+Co)	Alcance (a)	Efeito pepita (Co)	AIC*
Métodos de avaliação M1 e M2				
M1 12/2013	112,46	340	48,9	369,5
M2 12/2013	37,55	138,8	24,19	332,5
M1 01/2014	131,82	252,7	72,13	387,7
M2 01/2014	61,48	84,19	34,03	360,2
M1 03/2014	35,77	214,8	13,38	303,3
M2 03/2014	46,768	40,69	43,3	339,5
Produtividade				
Safra 2013	194,94	182	152	418
Safra. 2014	118,58	174,4	42,07	378,1
Teores foliares outubro de 2013				
Mg 2013	0,28	124,1	0,1272	79,02
Ca 2013	9,759	68,48	0	263,5
K 2013	6,243	67,17	0,388	241,8
Teores foliares junho de 2014				
Mg 2014	0,141	54,46	0	53,45
Ca 2014	6,515	70,73	0	235,5
K 2014	4,744	299,2	1,353	199,5
Enfolhamento				
ENF 12/2013	76,54	97,63	0	343
ENF 02/2014	28,396	190,6	1,876	270,8

*Critérios de informação de Akaike

Figura 9. Variograma esférico estimado utilizando a máxima verossimilhança restrita para a intensidade de doença (%).

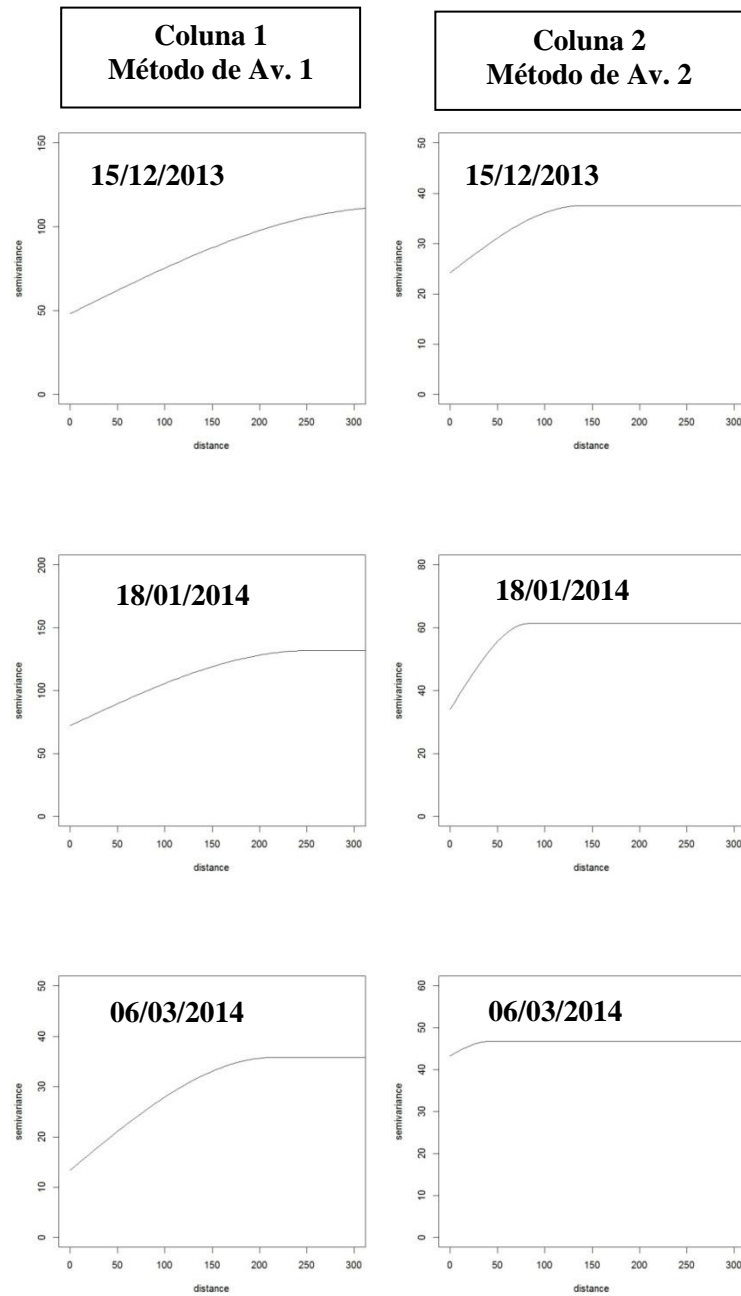


Figura 10. Variograma esférico estimado utilizando a máxima verossimilhança restrita para os teores foliares de Mg, Ca e K ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

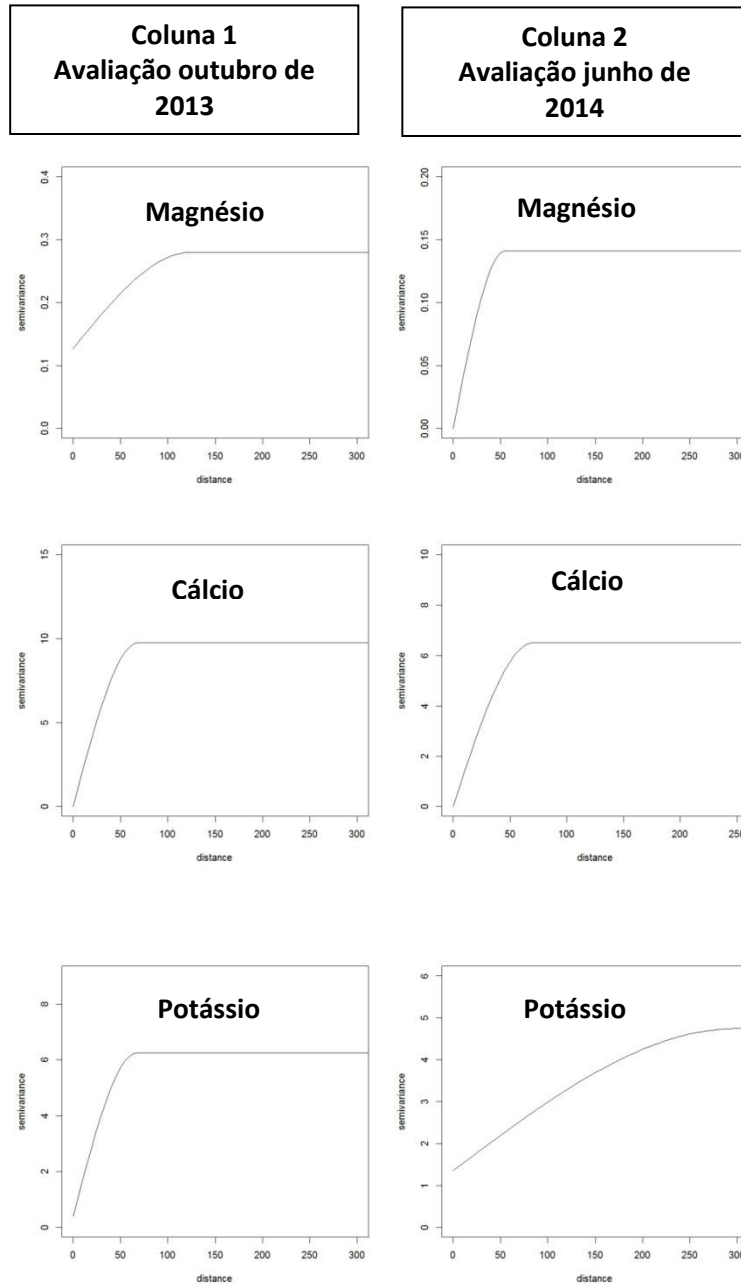


Figura 11. Variograma esférico estimado utilizando a máxima verossimilhança restrita para produtividade (sc/ha).

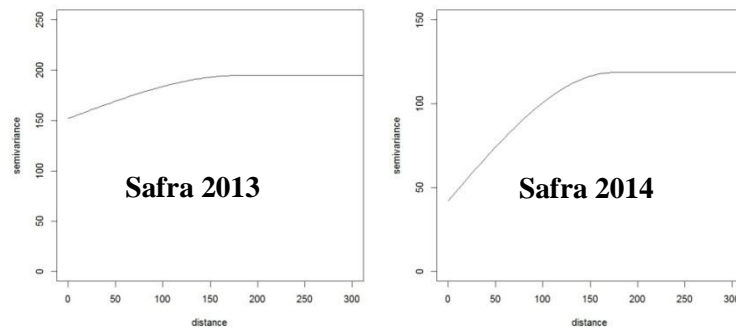
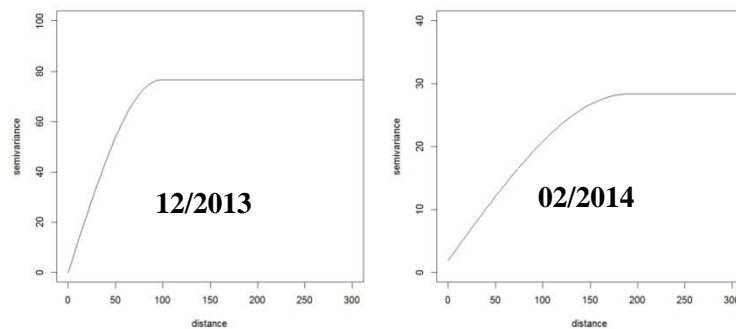


Figura 12. Variograma esférico estimado pela máxima verossimilhança restrita para enfolhamento (%).



3.3 Relação FN X Cálcio X Potássio X Magnésio

Na lavoura amostrada, foram observadas regiões apresentando tanto deficiência quanto excesso dos teores foliares dos nutrientes Mg, Ca e K quando utilizados os valores propostos por Alvarez et al., 1999 como referência (Tabela 6). Como observado nos capítulos anteriores, tanto a deficiência como o excesso desses nutrientes podem comprometer o equilíbrio nutricional do cafeeiro e levá-lo à suscetibilidade a Antracnose. Foram observadas regiões com teores foliares

de Mg 20% menores, Ca 70% maiores e K 31 % menores que os valores de referência (Tabela 3).

Tabela 6. Propriedades das variáveis produtividade, enfolhamento e teores foliares de Mg, Ca e K.

Variáveis	Mínimo	Máximo	Mínimo*	Máximo*	Média	Desvio padrão
Produtividade (sc/ha)						
Safra 2013	30,96	84,43			57,87	13,67
Safra 2014	42,21	87,24			69,92	11,10
Teor de nutrientes foliares em outubro 2013 (g.kg ⁻¹)						
Mg	2,4	4,7	3,1	4,5	3,69	0,52
Ca	8,6	22,2	10	13	15,92	3,06
K	10,2	22,8	18	22	15,65	2,45
Teor de nutrientes foliares em junho de 2014 (g.kg ⁻¹)						
Mg	2,5	4,4	3,1	4,5	3,14	0,38
Ca	9,1	24,1	10	13	15,92	3,06
K	15,2	22,7	18	22	18,75	2,45
Enfolhamento (%)						
12/2013	40	86			69,48	9,16
02/2014	77	98			92,62	5,47
04/2014	42	87			73,42	13,46

*Valores de referência propostos por Alvarez et al., 1999

Para o Mg, Ca e K não foram observadas grandes variações nos valores dos teores foliares entre as avaliações de outubro de 2013 e junho de 2014, quando se observam os valores mínimos e máximos e as médias. Porém, ao se comparar a distribuição espacial dos teores foliares dos nutrientes nas duas avaliações, se constata que os padrões de distribuição são diferentes (Figura 13).

Ao verificar a distribuição espacial dos teores de nutrientes nos mapas de krigagem da Figura 13, pode-se observar a interação entre esses nutrientes na

assimilação pela planta. Para Mg e Ca não houve competição (Figura 14 A e 14B respectivamente), para as regiões com os níveis máximos e mínimos desses nutrientes observa-se um padrão de variabilidade espacial correspondente entre os mapas de krigagem. O mesmo não acontece quando se compara o mapa de krigagem do K (Figura 13). Em relação ao mapa de krigagem do K, existe um padrão de variabilidade espacial com correspondência negativa com os mapas de krigagem do Mg e Ca. Essa observação fica mais evidente quando levada em consideração a avaliação foliar de outubro de 2013 (Figura 13 coluna 1), período em que existe a maior disponibilidade de Mg e Ca, no solo, para suprir as necessidades reprodutivas do cafeeiro, em junho de 2014, a colheita da lavoura já havia sido realizada.

Ao observar o mapa de krigagem Mg foliar 2013 (Figura 14 coluna 1), considerando que duas regiões apresentam os menores índices de teor foliar de Mg na avaliação de outubro de 2013, na região com coordenadas aproximadas 393281,0105X e 7676598,553 Y, se encontra o ponto com o menor teor de Mg, em outubro de 2013 e com deficiência leve de Ca, em junho de 2014, o mesmo ponto apresenta valores de Mg dentro do normal proposto por Alvarez et al. 1999, porém com o maior teor de Ca entre todas as regiões. Coincide que essa região está entre as de maior intensidade da antracnose nas três avaliações para ambos os métodos de avaliação (Figura 9 e 14 colunas 1 e 2; Tabela 6). Pode-se constatar que a deficiência de Mg nessa região foi primordial para que ocorresse um foco inicial da doença. Foi observada também, correlação positiva entre os teores de Mg da avaliação de junho de 2014 e a doença na avaliação de janeiro de 2014 (Tabela 7).

Laviola et al., 2007 observou que independentemente da altitude, os maiores acúmulos relativos de Ca e Mg foram observados no estágio de granação-maturação do fruto, considerando que esses nutrientes tem sua principal função no fortalecimento da parede celular, o patógeno tende a

encontrar maior dificuldade para a colonização do fruto, a partir de um determinado estágio de granação, à medida que ocorre o maior acúmulo de Ca e Mg, ambos os nutrientes estão ligados ao fortalecimento da parede celulósica. Em soja, baixos níveis de Mg e Ca são atribuídos a suscetibilidade a *Rhizoctonia solania* (KERNKAMP et al. 1952).

Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis produtividade, teores foliares de nutrientes (Mg Ca e K) e enfolhamento com os métodos de avaliação

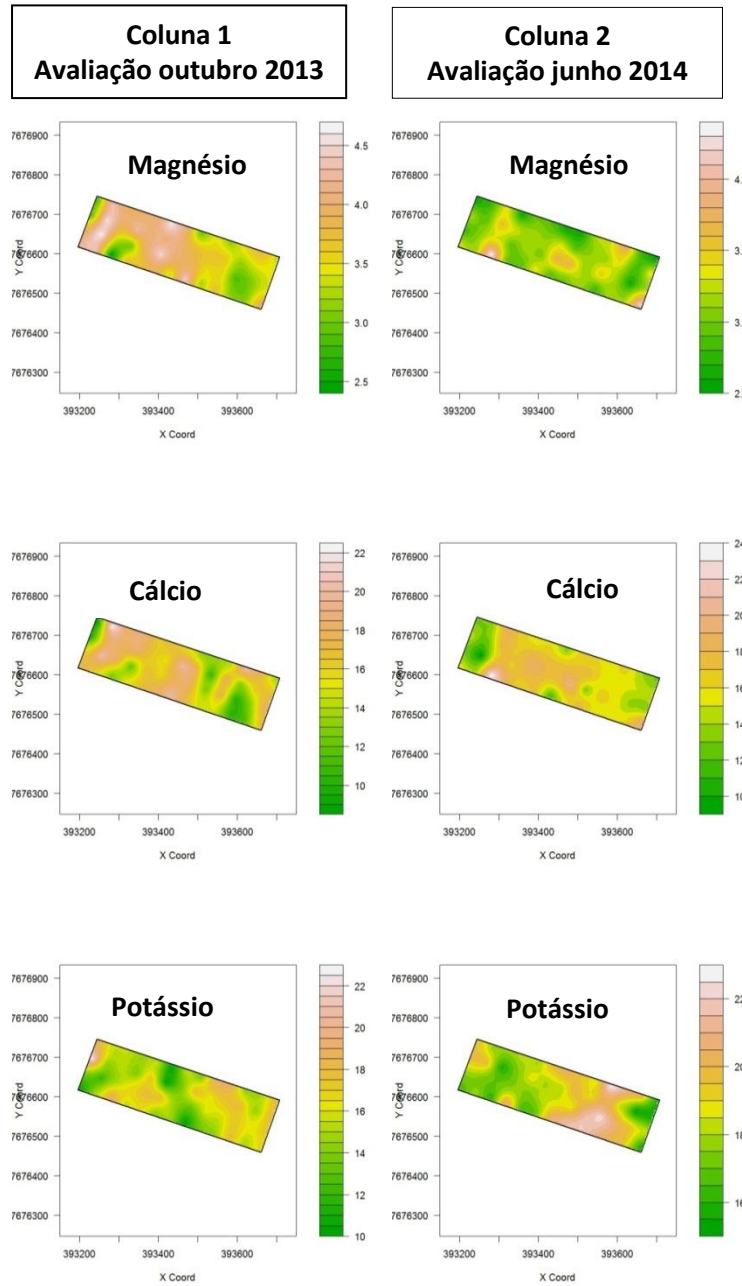
Variáveis	M1	M2	M1	M2	M1	M2
	12/2013	12/2013	01/2014	01/2014	03/2014	03/2014
Produtividade						
2013			0,31*			0,28*
2014					-0,33*	
Análise foliar junho 2014						
Mg			0,35*	0,29*		
Enfolhamento						
02/2014	-0,42**	-0,31*	-0,41**		-0,54**	-0,41**

**P significativo a 1%; *P significativo a 5%

Para o Ca, foi observado que mesmo apresentando valores acima dos valores de referência propostos por Alvares et al., 1999 (Tabela 2), nas regiões com os maiores teores de Ca não houve correspondência dos mapas de distribuição espacial de doença (Figura 8 e 13).

Para o potássio, foram encontradas regiões de foco da doença em áreas com os menores teores foliares de K, no entanto, isso não foi uma regra (Figura 8 e 13). O que reforça a ideia que existem outros fatores que favorecem as doenças.

Figura 13. Mapas de Krigagem para os teores foliares dos nutrientes Mg, Ca e K (g.Kg^{-1}).

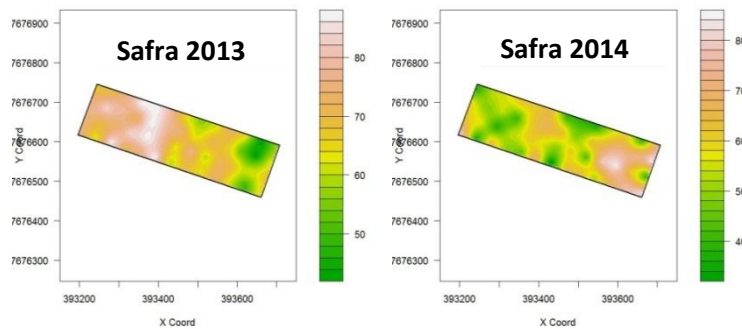


3.4 Relação FN X Produtividade

Ao observar os mapas de krigagem para a produção, é possível observar que houve o efeito da bienalidade dentro da lavoura, ou seja, as regiões com maiores produções na safra 2013 não foram as mesmas com maior produtividade na safra 2014 (Figura 14). Apesar de ter sido observada a bienalidade espacial, não foi observada a bienalidade para a produtividade média da lavoura (Tabela 6).

Entre as variáveis produção e FN, foram observadas correlações positivas para a safra 2013 e negativas para a safra 2014 (Tabela 7). A correlação foi comprovada ao comparar os mapas de krigagem para as duas variáveis, sendo que houve correspondência positiva entre os mapas (Figura 14). Para a safra 2014 houve correlação negativa com a terceira avaliação da doença, utilizando-se a metodologia 1 (Tabela 6), ao se observar os mapas krigagem fica evidente a correspondência espacial negativa entre a produção na safra 2014 e doença na terceira avaliação M1 (Figura 8 e 14). As regiões correspondentes foram as regiões onde a doença se manteve com maior intensidade ao longo do tempo. Embora para o cafeeiro a produtividade seja importante, a qualidade do produto é tão importante quanto à produtividade e, em se tratando de FN. Estes possuem um grande impacto na qualidade da bebida do cafeeiro, o número de grãos ardidos é o fator de maior peso na quantificação dos defeitos do café beneficiado e conseqüentemente no preço final do produto.

Figura 14. Mapas de krigagem para a produtividade (sc/ha).



3.5 Relação FN X Enfolhamento

Para o enfolhamento, não houve correlação e correspondência entre os mapas de krigagem para a primeira avaliação de enfolhamento e início da doença, ambas as avaliações foram realizadas no mesmo mês (Figura 8 e 15). No entanto, foi observada uma correlação negativa entre enfolhamento e doença (Tabela 7). Ao comparar os mapas de krigagem (Figura 8 e 15) é possível observar um padrão de correspondência negativo para uma das regiões onde foram observados os maiores níveis de doença.

Figura 15. Mapas de krigagem para enfolhamento.

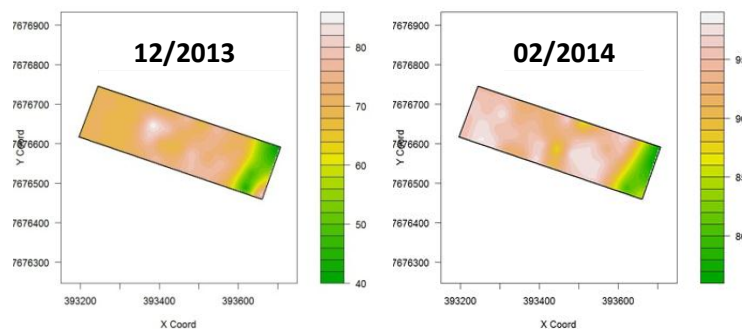


Figura 16. Mapas de erro de Krigagem para avaliação da doença.

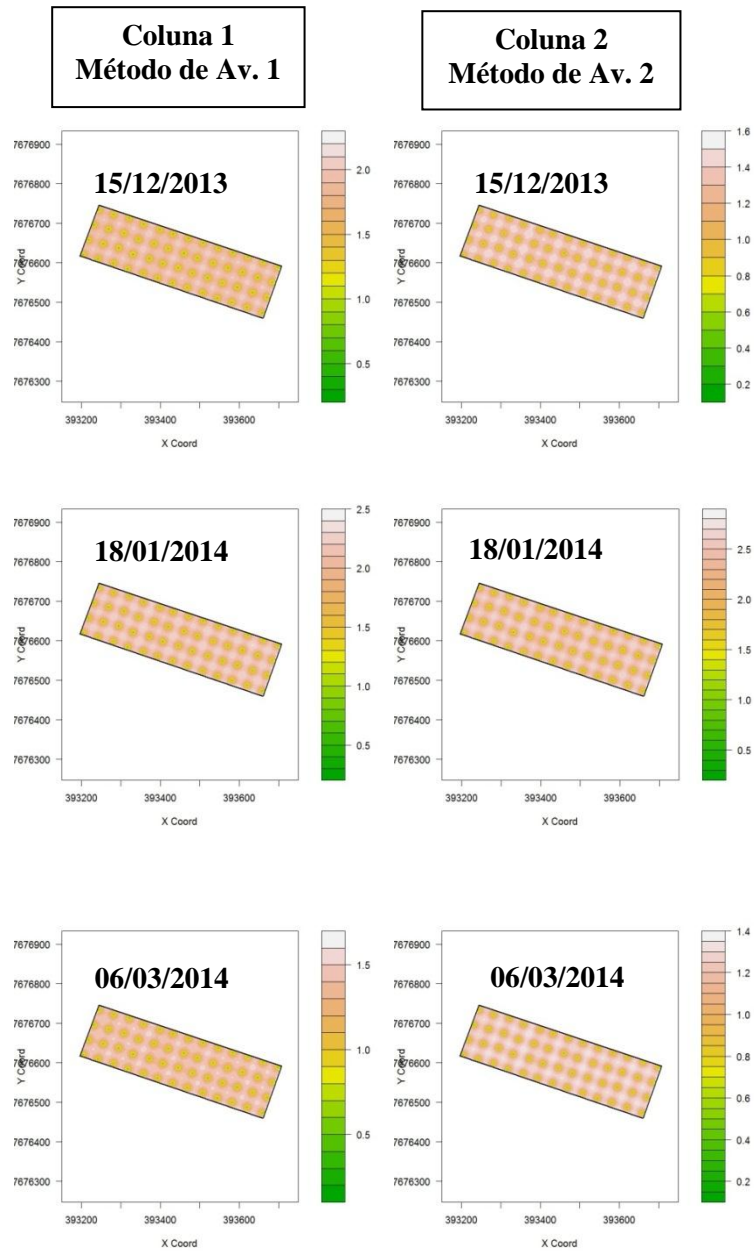


Figura 17. Mapas de erro de krigagem para teor foliar de nutrientes

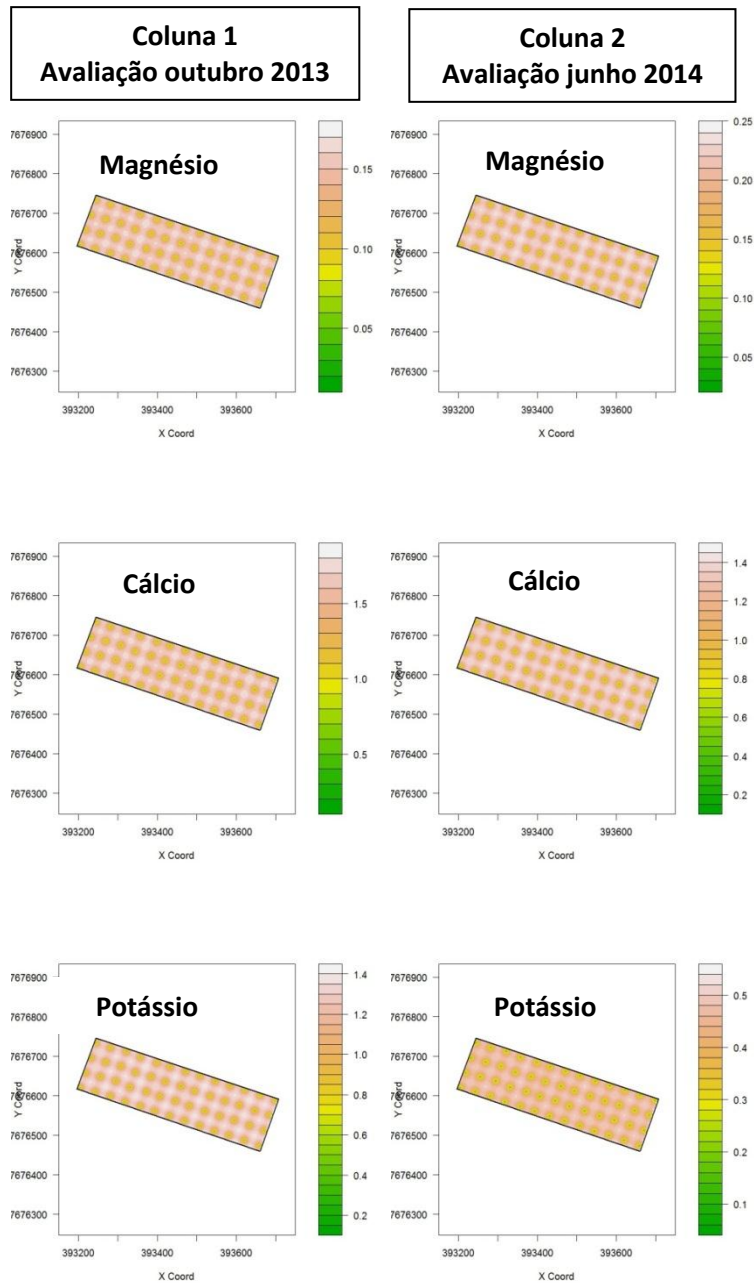


Figura 18. Mapas de erro de krigagem para produtividade.

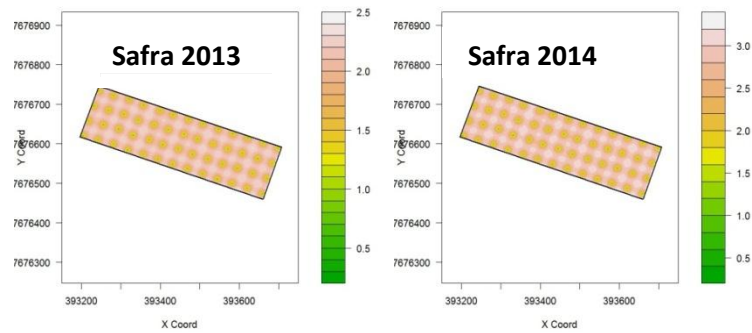
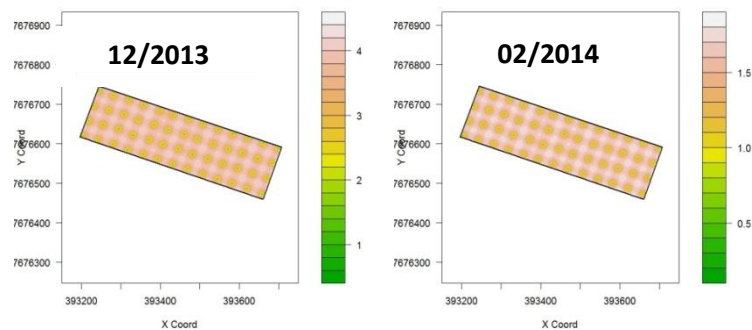


Figura 19. Mapas de erro de krigagem para enfolhamento.



Os maiores erros de krigagem ocorreram em locais mais distantes dos pontos amostrados, no entanto, não foram observados grandes erros. A ocorrência de erros é natural, predições espaciais referem a inferência com a realização de um processo de um sinal não observado (ALVES et al. 2012). Figura 16, 17, 18 e 19.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi possível identificar o padrão agregado da distribuição da antracnose em frutos de cafeeiro em uma lavoura de cultivo convencional e relacionar essas regiões com fatores favoráveis à doença. Diante dos resultados encontrados, para que o manejo da necrose dos frutos do cafeeiro seja mais eficiente, é importante considerar regiões dentro da lavoura, ao invés da área total para a elaboração de estratégias de manejo. Determinadas técnicas de manejo se realizadas somente nas regiões específicas, dentro da lavoura geram economia e agridem menos o meio ambiente, por exemplo, com a diminuição da utilização de agrotóxicos. Em se tratando dos nutrientes Mg, Ca e K a adubação em taxa variada pode apresentar bons resultados.

O M1 foi o método de avaliação de FN mais preciso, porém, o M2 também deve ser considerado devido a maior facilidade de execução, em ambos os métodos de avaliação os focos da doença foram correspondentes para as avaliações ao longo do tempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação. Viçosa: **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**, 1999. p.25-32.

ALVES, M. C., POZZA, E. A., MACHADO, J. C., ARAÚJO, D. V., TALAMINI, V., OLIVEIRA, M. S. (2006). Geoestatistics as methodology to study the space-time dynamics of diseases transmitted by seed-borne *Colletotrichum* spp. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, n.6, p.557–563.

ALVES, M. C., POZZA, E. A., SILVA, F. M., OLIVEIRA, M. S., CARVALHO, L. G., & SANCHES, L. (2012). Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. **Simpósio avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**, 12, 283–302.

ALVES, M. C., SILVA, F. M., MORAES, J. C., POZZA, E. A., OLIVEIRA, M. S., SOUZA, J. C., & ALVES, L. S. (2011). Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. **Precision Agriculture**, v.12, n.1, p.18–31.

ALVES, M. C., SILVA, F. M., POZZA, E. A., & OLIVEIRA, M. S. (2009). Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eyespot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, v.82, n.2, p.137–148.

BOLDINI, J.M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado**. 2001. 67p. (Dissertação – Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. (1998). Principles of geographical information systems. New York: **Oxford University Press**.

CAMPBELL, C.L. ; MADDEN, L.V. Introduction to plant disease epidemiology. New York. **J. Wiley e Sons**. 1990.

FREITAS, A.S.E.A.; POZZA, M. C. ; ALVES, G. ; COELHO, H. S. ; ROCHA, A.A.A. Spatial distribution of Yellow Sigatoka Leaf Spot correlated with soil fertility and plant nutrition. **Precision Agric**, July 2016.

JAIIME-GARCIA, R.; ORUM, T. V.; FELIX-GASTELUM, R.; TRINIDAD-CORREA, R.; VANETTEN, H. D.; NELSON, M. R. (2001). Spatial analysis of *Phytophthora infestans* genotypes and late blight severity on tomato and potato in the Del Fuerte Valley using geostatistics and geographic information systems. **Phytopathology**, v.91, n.12, p.1156–1165.

KERNKAMP M.F, DEZEEUW DJ, CHEN SM, ORTEGA BC, TSING CT, KHAN AM (1952) Investigations on physiologic specialization and parasitism of *Rhizoctonia solani*. **Minn Agric Exp Stn Tech Bull** 200:36

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 1451-1462, 2007.

MALAVOLTA, E. Nutrição Mineral e adubação do cafeeiro. São Paulo: **Editora Agronômica CERES Ltda**, 1993. 210p.

MCBRATNEY, A. B., & WEBSTER, R. (1983). How many observations are needed for regional estimation of soil properties. **Soil Science**, Baltimore, v.135, n.3, p.177–183.

PARDO-IGU'ZQUIZA, E. (1998). Inference of spatial indicator covariance parameters by maximum likelihood using MLREML. **Computers e Geosciences**, v.24, n.5, p.453–464.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; THOMAZIELLO, R.A.; CAMARGO, M.B.P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.499-505, 2003.

PINHEIRO, J. B., POZZA, E. A., POZZA, A. A. A., MOREIRA, A. S., & ALVES, M. C. (2011). Effect of potassium and calcium supplied via nutrient solution on the severity of Asian soybean rust. **Revista Ceres**, v.58, n.1, p.43–50.

SERA, G. H. et al. Correlação entre a necrose de frutos associada ao *Colletotrichum* spp. com as características frutos por nó e produtividade entre genótipos de café arábica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 48-54, jan./fev. 2008.

WEBSTER, R., OLIVER, M. (2007). Sample adequately to estimate variograms of soil properties. **Journal of Soil Science**, v.43, p.177–192.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para trabalhos futuros, poderão ser utilizados outros níveis de Ca, K e Mg em solução nutritiva, aliados à avaliação das influências específicas nas respostas de defesa da planta. Para trabalhos de campo, é importante considerar que outros fatores do ambiente, além dos estudados neste trabalho também possam favorecer a antracnose em frutos.

Em relação aos dois métodos de avaliação da antracnose em frutos apresentados, deva-se considerar como regra que a doença tende a ocorrer em nós produtivos com a maior quantidade de frutos e que a contagem dos frutos é como consequência mais precisa, porém, a contagem de nós produtivos com a presença de frutos necrosados em um ramo proporcionam um esforço muito menor no processo de avaliação e sua precisão pode ser aumentada, por meio da avaliação de um maior número de ramos por planta.

Este foi o primeiro trabalho realizado no patossistema colletotrichum em cafeeiro correlacionando, por meio da análise espacial e temporal a necrose em frutos com as variáveis: nutrição mineral, enfolhamento e produção.