



PAULO VICTOR AUGUSTO AZEVEDO DE PAULA

**MISTURA DE FUNGICIDAS SISTÊMICOS COM
CÚPRICOS E ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL
DE DOENÇAS DO CAFEEIRO**

**LAVRAS – MG
2018**

PAULO VICTOR AUGUSTO AZEVEDO DE PAULA

**MISTURA DE FUNGICIDAS SISTÊMICOS COM CÚPRICOS E
ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DE DOENÇAS DO CAFEIEIRO**

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

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza
Coorientador

**LAVRAS – MG
2018**

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

Paula, Paulo Victor Augusto Azevedo de.

Mistura de fungicidas sistêmicos com cúpricos e análise espaço
temporal de doenças do cafeeiro / Paulo Victor Augusto Azevedo de
Paula. - 2018.

122 p. : il.

Orientador: Edson Ampélio Pozza.

Coorientador: Paulo Estevão de Souza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Controle químico. 2. *Cercospora coffeicola*. 3. *Hemileia
vastatrix*. I. Pozza, Edson Ampélio. II. Souza, Paulo Estevão de. III.
Título.

PAULO VICTOR AUGUSTO AZEVEDO DE PAULA

**MISTURA DE FUNGICIDAS SISTÊMICOS COM CÚPRICOS E
ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DE DOENÇAS DO CAFEIEIRO**

**BLENDING OF SYSTEMIC FUNGICIDES AND CUPPER
COMPOUNDS AND SPACE-TIME ANALYSIS OF COFFEE DISEASES**

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

APROVADA em 30 de Agosto de 2018.

Prof. Dr. Mário Lúcio Vilela de Rezende	UFLA
Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Alves	UFLA
Prof. Dr. Rubéns José Guimarães	UFLA
Prof. Dr. Aurivan Soares de Freitas	Unincor

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza
Coorientador

**LAVRAS – MG
2018**

A Deus.

Aos meus pais, Pedro Augusto de Paula e Berenice Azevedo Paula, por todo o incentivo, ensinamento, amor, compreensão, carinho, amizade e esforços dedicados à realização dos meus objetivos.

Ao meu irmão Júlio Cesar Azevedo Paula, familiares, amigos e a minha namorada Rose Oliveira, pelo incondicional apoio.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, por todo apoio e força nas horas mais difíceis.

Aos meus pais, meu irmão, minha namorada e a toda minha família, pela força que sempre me deram e por sempre me apoiarem para alcançar meus objetivos.

Ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade da realização deste curso de Pós-Graduação e pelos conhecimentos adquiridos.

Ao orientador, Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza, pela orientação, amizade, respeito e confiança, prestados durante o desenvolvimento deste trabalho e de todo o curso.

Ao coorientador Prof. Dr. Paulo Estevão de Sousa, pela atenção, disponibilidade, confiança, orientação, crítica, incentivo, sugestões durante esta fase e pela contribuição imprescindível.

Aos amigos do Departamento de Fitopatologia (DFP)/UFLA, especialmente ao Leandro Alvarenga, Gabriel Dornelas, Gabriel Vasco, Eugênio Chaves, pela amizade e conversas inesquecíveis.

Aos estagiários Otávio, André Faustino e Júlio César, pelo grande apoio durante a realização dos experimentos.

Agradeço ao doutor Helon Santos, pela ajuda e ensinamentos na realização dos resultados da minha tese.

Aos amigos da República Barraca Armada pela grande amizade e companheirismo.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Fitopatologia da UFLA.

RESUMO GERAL

A cercosporiose e a ferrugem são as principais doenças do cafeeiro, causam desfolha, menor produtividade e perda na qualidade da bebida. A fertilidade do solo está correlacionada com o surgimento dessas doenças e o equilíbrio das bases do solo Ca, Mg e K podem predispor as plantas à infecção de fungos. Assim o controle químico é empregado para o controle das doenças no campo. Portanto, foram realizados dois experimentos, com objetivo de verificar a epidemiologia e forma de controle para a ferrugem e cercosporiose em folhas e frutos utilizando a fertilidade do solo e o controle químico. No primeiro experimento, objetivou-se avaliar o progresso espaço temporal da doença e a sua relação com a nutrição de plantas e a fertilidade do solo em lavouras irrigadas por gotejamento, empregando a geoestatística. A incidência da doença foi avaliada em 100 frutos, realizadas 30 dias antes da colheita e na colheita. Avaliou-se em cada ponto, produtividade e a fertilidade do solo. As incidências das doença nos pontos amostrados foram plotadas e realizou-se o ajuste de modelos de semivariogramas e a interpolação dos dados por krigagem ordinária, construí-se os mapas da doença, da produção e da fertilidade do solo para os macronutrientes %Mg, %K, Ca/Mg e Ca/K. Nas regiões de maior incidência foram observadas a maior participação de Mg e K na CTC pH 7 do solo e quando estreitou as relações Ca/Mg e Ca/K acentuou-se indisponibilidade do Ca para a planta. E as áreas com menor produtividade apresentavam maior incidência da doença. A incidência da cercosporiose em frutos de café, variou de 0 a 17% entre Abril a Maio de 2015. Houve variação na incidência da doença ao longo do espaço, com dependência espacial e a presença de focos. E no segundo experimento objetivou-se avaliar o controle das doenças com fungicida sistêmico associado ou não com protetores à base de cobre. Realizou-se dezessete avaliações em intervalos mensais da incidência da ferrugem e da cercosporiose em folhas do cafeeiro. Analisou-se o tamanho e a distribuição das partículas de cobre e o pH das caldas. Portanto a associação de fungicidas cúpricos aos sistêmicos foi eficiente no controle da cercosporiose, há diferença entre os produtos à base de cobre no controle da ferrugem e da cercosporiose, o pH da calda aumenta com o tempo em todas as misturas e perdas de produtividade em altos níveis das doenças superam 50% se comparado com o controle com fungicidas.

Palavras-chave: Controle químico. *Cercospora coffeicola*. *Hemileia vastatrix*. Geoestatística. Doenças.

GENERAL ABSTRACT

The brown eye spot and rust are the main diseases of coffee, causing defoliation and, consequently, lower productivity and loss of beverage quality. Moreover, soil fertility is directly correlated with the emergence of these diseases and the equilibrium of soil bases such as Ca, Mg, and K may predispose plants to fungal infection. In addition, chemical control is used to control diseases in the field. Thus, two experiments were carried out in the field to verify the epidemiology and form of control for rust and brown eye spot in leaves and fruits using soil fertility and chemical control. In the first experiment, the objective was to evaluate the temporal progress of the disease and its relationship with plant nutrition and soil fertility in drip irrigated crops using geostatistics. The incidence of the disease was evaluated in 100 fruits in the middle third of five plants / sampling point, performed 30 days before harvest and at harvest dates: April 20 and May 20, 2015, totaling two evaluations. This interval was necessary to verify the distribution of the disease over time. Soil productivity and soil fertility were also evaluated at each point annually. The incidence of the disease in the sampled sites was plotted and the semivariograms models were adjusted and the data interpolated by ordinary kriging, thus constructing the maps of the disease, production and soil fertility for the macronutrients % Mg, % K, Ca / Mg, and Ca / K. In the regions with higher incidence, the higher participation of Mg and K in the CEC pH 7 of the soil was observed, especially when the Ca / Mg and Ca / K ratios decreased, which made Ca unavailable to the plant. The areas with lower productivity had a higher incidence of the disease. The incidence of brown eye spot in coffee fruits in drip irrigation ranged from 0 to 17% between April and May 2015. There was a variation in the incidence of the disease throughout space, with spatial dependence and the presence of foci. The second experiment aimed to evaluate the control of these diseases with systemic fungicide associated or not with copper-based protectors. Seventeen evaluations were performed at monthly intervals of the incidence of rust and brown eye spot on coffee leaves. The size and distribution of the copper particles of each product with Mastersizer 2000® equipment and the pH of the syringes with digital pH meter were also evaluated. After statistical analysis, it was concluded that the association of copper and systemic fungicides was efficient in the control of brown eye spot. There is a difference between copper-based products in the control of rust and brown eye spot, the pH of the syrup increases with time in all the mixtures and losses of productivity in high levels of rust and brown eye spot reaches more than 50% less when compared to the control with fungicides. No symptoms of phytotoxicity were observed.

Keywords: Chemical control. *Cercospora coffeicola*. *Hemileia vastatrix*. Geostatistics. Disease.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Áreas com os pontos amostrais georreferenciados (pontos em amarelo) (A e B) na área com sistema gotejamento e o mapa de relevo com coordenadas em UTM gotejamento (C) em Carmo do Rio Claro – MG.....54
- Figura 2 - Médias mensais das variáveis climáticas temperatura máxima (T-max), média (T-med) e mínima (T-min), umidade relativa média e precipitação acumulada coletadas externamente à copa entre o período de 15/08/2012 a 23/05/2015, na área de gotejamento.59
- Figura 3 - Semivariogramas. A: Incidência da cercosporiose na Colheita; B: % Mg na CTC do solo; C: % K na CTC do solo; D: Relação Ca/K; E: Relação Ca/K; F:Produtividade.....62
- Figura 4 - Krigagem ordinária para a incidência da cercosporiose em frutos nas datas A: 20/04/2015 e B: na colheita 20/05/2015 (%). Mg (%): porcentagem de Mg presente na CTC do solo; K (%): porcentagem de K presente na CTC do solo; Ca/Mg: Relação entre os nutrientes Ca e Mg; Ca/K: Relação entre os nutrientes Ca e K. Sítio Boa Esperança, Carmo do Rio Claro – MG, 2014.63
- Figura 5 - Krigagem da produtividade (kg ha⁻¹) do biênio na área de gotejamento em 2014 (A) e 2015 (B).....65

CAPÍTULO 3

- Figura 1 - Variáveis climatológicas registradas no campo experimental durante a condução do ensaio: (A) temperatura (°C) máxima, média e mínima; (B) umidade relativa (%) e precipitação (mm). UFLA, Lavras, MG, 2015 a 2017.....96
- Figura 2 - Curva de progresso da incidência da ferrugem (*Hemileia vastatrix*), em folhas, na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica*), nas diferentes datas de avaliações, em função dos fungicidas aplicados. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras - MG, 2015/2016 e 2016/2017.....97
- Figura 3 - Curva de progresso da incidência da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*), em folhas, na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica*), nas diferentes datas de avaliações, em função dos fungicidas aplicados. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras - MG, 2015/2016 e 2016/2017..... 101
- Figura 4 - Curva de progresso do pH da calda de pulverização em função da mistura e do tempo para a aplicação..... 105
- Figura 5 - Distribuição do tamanho de partículas dos fungicidas cúpricos. A: Óxido Cuproso SC, B: Oxicloreto de Cobre PM, C: Hidróxido de Cobre SC e D: Óxido Cuproso PM 107
- Figura 6 - Produtividade (sacas beneficiadas de 60 kg ha⁻¹) e perdas de produção (%) do cafeeiro de acordo com os diferentes fungicidas aplicados. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017..... 110

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

- Tabela 1 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0,05$) entre a produtividade do cafeeiro (*C. arabica*) e incidência da cercosporiose em frutos do cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais. 60
- Tabela 2 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) dos nutrientes no solo e a incidência da cercosporiose em frutos (*C. coffeicola*) no cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais. 61
- Tabela 3 - Variáveis e coeficientes dos semivariogramas relativos a avaliação de incidência da cercosporiose em frutos, produtividade e os teores de cálcio, magnésio, potássio e as relações entre Ca/Mg e Ca/K no solo. 62

CAPÍTULO 3

- Tabela 1 - Fungicidas e suas respectivas doses, avaliados para o controle da ferrugem e da cercosporiose na cultura do cafeeiro. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, safras 2015/2016 e 2016/2017. 88
- Tabela 2 - Condições meteorológicas obtidas na área experimental, em função das aplicações realizadas. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, 2015/2016. 89
- Tabela 3 - Condições meteorológicas obtidas na área experimental, em função das aplicações realizadas. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, 2015/2017. 90
- Tabela 4 - Incidência (%) da ferrugem (*H. vastatrix*), em folhas, na cultura do cafeeiro (*C. arabica*) nas diferentes datas de

	avaliações em função dos fungicidas aplicados. UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.....	99
Tabela 5 -	Incidência em porcentagem (%) da ferrugem (<i>H. vastatrix</i>), em folhas, na cultura do cafeeiro (<i>C. arabica</i>) nas diferentes datas de avaliações em função dos fungicidas aplicados. UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.	100
Tabela 6 -	Incidência (%) da cercosporiose (<i>C. coffeicola</i>), em folhas, na cultura do cafeeiro (<i>C. arabica</i>) nas diferentes datas de avaliações em função dos fungicidas aplicados. UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.....	103
Tabela 7 -	Incidência (%) da cercosporiose (<i>C. coffeicola</i>), em folhas, na cultura do cafeeiro (<i>C. arabica</i>) nas diferentes datas de avaliações em função dos fungicidas aplicados. UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.....	104
Tabela 8 -	Efeito do pH na calda de pulverização após a mistura dos produtos à água. UFLA, Lavras, 2017.	106
Tabela 9 -	Distribuição do tamanho das partículas de cobre dos diferentes produtos.	108
Tabela 10 -	Produtividade (sacas beneficiadas de 60 kg ha ⁻¹) do cafeeiro de acordo com os diferentes fungicidas aplicados. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.....	109

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Coffea arabica Lineu, 1753	21
2.2 Cercosporiose e Ferrugem do cafeeiro: etiologia, sintomatologia e epidemiologia	22
2.3 Fertilidade do solo e nutrição mineral da planta	25
2.4 O cobre: nutriente e fungicida	29
2.5 Geoestatística	32
REFERÊNCIAS	37
CAPÍTULO 2 ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA CERCOSPORIOSE EM FRUTOS DO CAFEIEIRO E SUA RELAÇÃO COM A FERTILIDADE DO SOLO	47
1 INTRODUÇÃO	49
2 MATERIAL E MÉTODOS	53
3 RESULTADOS	59
4 DISCUSSÃO	67
5 CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS	75
CAPÍTULO 3 MISTURA DE FUNGICIDAS SISTÊMICOS COM CÚPRICOS NO CONTROLE DE DOENÇAS DO CAFEIEIRO	79
1 INTRODUÇÃO	81
2 MATERIAL E MÉTODOS	85
2.1 Características do campo experimental e tratos culturais	85
2.2 Descrição Técnica dos Produtos	85
2.3 Delineamento do campo experimental	87
2.4 Dados meteorológicos utilizados e aplicação dos fungicidas	89
2.5 Variáveis analisadas	91
2.6 pH de calda de pulverização	92
2.7 Medição do tamanho de partículas	93
2.8 Produtividade	93
2.9 Análise estatística	94
3 RESULTADOS	95
3.1 Curva de progresso da ferrugem e da cercosporiose	95
3.2 Efeito no pH da calda em relação ao tempo	105
3.3 Tamanho e distribuição do tamanho de partículas	107
3.4 Produtividade e perdas	108
4 DISCUSSÃO	111

5	CONCLUSÕES	115
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
	REFERÊNCIAS	119

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

Maior produtor e exportador mundial de café, o Brasil produziu na safra do ano (2016/2017) 44,97 milhões de sacos (60 kg) do produto beneficiado, produzidas em 2,21 milhões de hectares. O estado de Minas Gerais destaca-se, em decorrência da maior área cultivada com *Coffea arabica* e maior participação na produção do país com 55,9% e 54,4%, respectivamente (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2017). Além disso, é o maior mercado consumidor, sendo o café, uma cultura de grande importância socioeconômica para o país com um faturamento bruto de R\$ 22,2 bilhões (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA, 2017). Nesse contexto, qualquer perda pode afetar toda a cadeia desse importante item do agronegócio. Destacando-se as doenças, as principais responsáveis por reduzir a produtividade e a qualidade do café, dentre elas, a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) e a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Broome).

Sempre em busca de maior produtividade, os novos sistemas de produção podem, além de avançar sobre novos biomas, proporcionar condições ambientais favoráveis ao progresso de doenças, pois na grande maioria da área plantada os cultivares são os mesmos, em grande parte Catuaí e Mundo Novo, suscetíveis a essas doenças. O espaçamento da cultura, o tipo e a quantidade de irrigação, o manejo da adubação e da calagem, entre outros, podem alterar o período de molhamento foliar, a temperatura e a intensidade luminosa na copa do cafeeiro, a textura e a fertilidade do solo, além da nutrição mineral do hospedeiro (LORENZETTI et al., 2015; VASCO et al., 2015). A interação desses fatores pode resultar em maior ou menor intensidade da doença, variando,

principalmente, em função da intervenção do homem (POZZA et al., 2002; POZZA; POZZA, 2003).

O sistema de irrigação utilizado, seja por aspersão ou gotejamento, influencia o progresso de doenças. Quando irrigada por aspersão, a cultura fica submetida a microclima diferenciado, interferindo na umidade relativa do ar, no período de molhamento foliar e na temperatura (ROTEM; PALTI, 1969). Resultando em alterações nos aspectos fitotécnicos, fisiológicos e fitossanitários (CUSTÓDIO et al., 2009), conseqüentemente afetando a intensidade de doenças no cafeeiro, como constatado em estudos recentes (BARBOSA JÚNIOR et al., 2017; CUSTÓDIO et al., 2010; TALAMINI et al., 2001; SANTOS et al., 2014; SANTOS; SOUZA; POZZA, 2004).

Então, além do uso de irrigação para fornecer água, a fertilidade do solo e a nutrição mineral de plantas estão diretamente relacionados ao progresso de doenças (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007), sendo esses fatores determinantes para formar barreiras de resistência, principalmente as quantitativas, ou seja, se realizadas de forma correta e equilibrada podem ser utilizadas como complemento ou método alternativo na redução e no controle de doenças (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012; POZZA et al., 2000; POZZA; POZZA, 2012).

Dentre os nutrientes minerais essenciais para qualquer cultura vegetal crescer e desenvolver, destacam-se o cálcio (Ca), o magnésio (Mg), o potássio (K) e o cobre (Cu). A importância do equilíbrio das bases do solo para garantir a disponibilidade de nutrientes deve ser respeitada e a aplicação de corretivos como o calcário para suprir Ca e Mg, além de correção do pH é realizada logo após a colheita das lavouras cafeeiras. Porém, fornecer adubos de cobertura em aplicações localizadas e em grandes quantidades resulta no desequilíbrio do K com as demais bases. Na planta, o K é responsável por regulação osmótica, por abertura de estômatos e transporte de carboidratos solúveis. Recomenda-se o

parcelamento das adubações com potássio em três ou mais aplicações nas lavouras em produção (GUIMARÃES et al., 2011, 1999), pois, se aplicado em uma única vez, pode ocasionar desequilíbrios e deficiências pontuais de Ca na planta. A deficiência desse elemento pode tornar a parede celular frágil e impedir a formação de novas membranas, tanto a celular quanto a das organelas. Esse elemento simplesmente liga os fosfolipídios das membranas (TAIZ; ZIEGER, 2017).

Além das bases do solo, o Cu é um dos micronutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento de plantas e está envolvido em muitos processos fisiológicos e bioquímicos, em razão da sua capacidade de apresentar múltiplos estados de oxidação 'in vivo'. Sob condições fisiológicas, o Cu pode existir como Cu^{2+} e Cu^{+} (YRUELA, 2005). Várias proteínas contendo Cu desempenham papel fundamental em processos tais como: fotossíntese, respiração, desintoxicação de radicais superóxido e lignificação. Esse elemento está associado a algumas enzimas envolvidas nas reações redoxes. O principal exemplo é o complexo citocromo oxidase da cadeia de transporte de elétrons mitocondrial (respiração). Outro exemplo é a plastocianina, envolvida na transferência de elétrons, durante as reações de luz da fotossíntese. O Cu pode atuar como elemento estrutural em proteínas regulatórias e participa no metabolismo da parede celular e sinalização hormonal (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1999). Íons de Cu também atuam como cofatores em muitas enzimas tais como: Cu/Zn superóxido dismutase (SOD), citocromo oxidase, amino oxidase, plastocianinas e polifenol oxidase (YRUELA, 2005).

Mesmo com o conhecimento dos fatores ambientais e suas implicações no progresso de doenças, o uso de metodologias capazes de otimizar a aplicação de insumos, como fungicidas e fertilizantes, e reduzir custos torna-se cada vez mais necessário. A agricultura de precisão é uma das metodologias passíveis de cumprir essas premissas, capaz de agregar tecnologias para monitorar a

atividade agrícola com maior eficiência, com base no manejo diferenciado. Portanto, novos processos de apoio à decisão, como análises de sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto e a geoestatística, podem auxiliar a identificar as causas e os efeitos da variação do ambiente. Principalmente, ao longo da área de plantio e seu efeito no hospedeiro, no patógeno e na doença resultante dessa interação (BURROUGH; MCDONNELL, 1998) e, dessa forma, fornecer os locais ou reboleiras de maior incidência para a tomada de decisão ou o controle diferenciado no espaço. A geoestatística tem representado, de forma satisfatória, a existência de dependência espacial de doenças e sua relação com a nutrição de plantas em grandes áreas (ALVES et al., 2009; CARVALHO, 2008).

Além da adoção de boas práticas culturais para aumentar a resistência de plantas à patógenos, o controle químico ainda é muito utilizado. Além disso, após o implemento de fungicidas sistêmicos para controlar doenças do cafeeiro, houve diminuição no uso de fungicidas cúpricos na cafeicultura. Porém, com a necessidade do aumento de produtividade, em decorrência do importante papel do Cu, e a possibilidade de seleção direcional de patógenos, os fungicidas cúpricos, com ação multissítio passaram a ser utilizados com maior intensidade, na última década, na cafeicultura (FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE - FRAC, 2017). Os íons de cobre, Cu^{2+} , desnaturam as proteínas, durante o processo de germinação, destruindo assim as enzimas essenciais para o metabolismo das células dos patógenos (RODRIGUES, 2006). Portanto, a utilização desses fungicidas protetores inorgânicos pode auxiliar no controle de doenças (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

Justifica-se, assim, obter informações sobre o controle químico das doenças, a nutrição mineral e a sua interação, por meio de sistemas de informação geográfica, na maior região produtora de café do mundo, o sul do estado de Minas Gerais, no Brasil. Com isso, pretendeu-se elaborar novas estratégias para reduzir perdas na cafeicultura, com o manejo eficaz das

pulverizações com fungicidas cúpricos, da nutrição e também a importância do equilíbrio de bases no solo para construir a sua fertilidade, podendo refletir na redução de custos, menores impactos ambientais e maior sustentabilidade da cafeicultura.

Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram:

- a) Descrever a epidemia da cercosporiose na folha e no fruto, ao longo do tempo e do espaço, empregando o sistema de informação geográfica em cafeeiro irrigado por gotejamento;
- b) Estudar a eficiência de fungicidas cúpricos associados ou não a fungicidas sistêmicos no progresso e controle da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Coffea arabica* Lineu, 1753

O cafeeiro (*Coffea sp*) pertence à família Rubiaceae e é amplamente cultivado em países tropicais. Entre as espécies cultivadas, *Coffea arabica* e *Coffea canephora* são as mais importantes economicamente. A área plantada de café no Brasil tem 2,21 milhões de hectares, no entanto, a espécie *C. arabica* ocupa 1,78 milhões de hectares e o *C. canephora* 0,43 milhões de hectares (CONAB, 2017). Os principais estados produtores no Brasil, atualmente são: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná. Na safra 2017/2018, foram colhidos em 59,9 milhões de sacas de 60 kg do produto beneficiado, produzido em 2,2 milhões de hectares, no qual, 77% da produção são provenientes de lavouras formadas com cultivares de *Coffea arabica* e 23,0% de cultivares da espécie *Coffea canephora* (CONAB, 2017).

No estado de Minas Gerais, 98% da área cultivada com café, é da espécie *Coffea arabica*. Cultivado em mais de 80% dos países produtores, o café arábica vem sendo mais difundido no continente americano (CAMARGO, 2010). No Brasil, o cultivo de café arábica é amplamente realizado, sendo adaptado e generalizado para pleno sol (NOVAES; SOUZA; PRADO, 2011) em razão das altas latitudes (19° a 24° Sul) e altitudes mais baixas (500 a 1.300 m) em relação ao local de origem (FAZUOLI et al., 2007).

Dentre as cultivares mais plantadas no país, estão algumas de fruto vermelho como Mundo Novo e Catuaí vermelho e amarelo são as mais plantadas nas lavouras brasileiras. Dentre as cultivares apresentadas são suscetíveis à ferrugem (*Hemileia vastatrix*) à cercoporiose (*C. coffeicola*) (PEREIRA et al., 2010).

2.2 Cercosporiose e Ferrugem do cafeeiro: etiologia, sintomatologia e epidemiologia

O fungo *Cercospora coffeicola* é o agente etiológico da cercosporiose no cafeeiro. Uma das doenças mais antigas já relatadas em plantas de café. Foi descoberta pela primeira vez em 1881, na Jamaica (BERKELEY; COOKE, 1881).

Os sintomas da doença nas folhas são lesões circulares, com 0,5 a 1,5 cm de diâmetro, coloração pardo-clara a marrom escura, centro branco acinzentado e com anel arroxeadado (CHUPP, 1953). O patógeno é importante em cafeeiros estabelecidos em plena exposição solar ou com nutrição deficiente (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Infecta principalmente plântulas em formação e mudas no viveiro e em plantações definitivas, a infecção em folhas e frutos pode ocasionar grande perdas na produção. A desfolha é a principal consequência da doença (FERNANDEZ-BORRERO; MESTRE; DUQUE, 1966).

Nos frutos, os sintomas iniciam-se por pequenos pontos necróticos ou manchas anulares avermelhadas que aumentam de tamanho e alongam-se no sentido das extremidades dos frutos, principalmente na face exposta ao sol. Estes se apresentam ressecados e escuros, com a casca aderida à semente (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Segundo López-Duque e Fernández-Borrero (1969), começam a se manifestar quatro meses depois da floração. E Salazar-Gutierrez et al. (1994) encontraram, nessa fase, o máximo teor de umidade nos frutos, durante todo o período de desenvolvimento (84,25%). Os frutos em estágio de maturação não sofrem infecção intensa, mas necrose. Esses frutos crescem e desenvolvem-se em tempo normal, mas quando em estádios anteriores, ocorre maturação e queda precoce. A doença ocorre em viveiros e no

campo e resulta na perda de área foliar e conseqüente redução da produção (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

A sua disseminação pode ocorrer por vento, água, insetos e sob condições favoráveis, transportando seus conídios para outras plantas e sob condições ideais tem sua sobrevivência garantida (CARVALHO; CHALFOUN, 1998). De modo geral, os conídios podem sobreviver por mais de sete semanas em folhas destacadas e permanecerem viáveis por quase nove meses, na superfície foliar, aguardando condições favoráveis para germinarem, para crescimento e germinação do fungo são de 24 e 30 °C, respectivamente (ECHANDI-ZÜRCHER, 1959).

O progresso dessa doença é influenciado pela interação do patógeno, hospedeiro e ambiente. A máxima severidade da cercosporiose é alcançada quando se tem o período de molhamento foliar de 6 a 12 horas (FERNANDES et al., 1991). A maior exposição à radiação solar direta pode favorecer o progresso da cercosporiose em folhas do cafeeiro (CUSTÓDIO et al., 2011; SILVA et al., 2016). O estresse hídrico e o desequilíbrio nutricional propiciam maior severidade em folhas e frutos (BOLDINI, 2001) e, da mesma forma, a suscetibilidade do cafeeiro a cercosporiose pode ser reflexo de um desequilíbrio entre o cálcio e o potássio (GARCIA JÚNIOR et al., 2003).

Por outro lado, a ferrugem do cafeeiro ou ferrugem alaranjada (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) é a principal doença da cultura no Brasil, sendo responsável por causar grandes danos econômicos. O primeiro relato da doença no mundo no Ceilão no ano de 1869, atual Sri Lanka, feito por J.M. Berkeley (MCCOOK; VANDERMEEN, 2015). No Brasil, o primeiro relato foi em 1970 no estado da Bahia (WELLMAN, 1970).

O sintoma inicial da doença caracteriza-se por pequenos pontos circulares de cor amarelo alaranjado, mais visíveis contra a luz, de difícil diagnóstico, em decorrência da semelhança com outras doenças e deficiências

nutricionais. Em seguida, aumentam de tamanho e uma massa de aspecto pulverulento (uredósporos), na face abaxial das folhas, pode ser observada. Em estágio mais avançado, em razão da alta severidade da doença, algumas partes do tecido foliar são destruídas e necrosadas (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Os primeiros sinais da doença (esporulação) ocorrem entre dezembro a janeiro. Em seguida, ocorre aumento da taxa de progresso da doença, nos meses de março e abril, assumindo crescimento exponencial. Finalmente, nos meses de junho ou julho, observa-se a maior intensidade da doença (PINTO et al., 2002).

A carga pendente da lavoura, cultivares suscetíveis, plantios adensados, temperatura entre 21 a 25°C, sombreamento, desequilíbrio nutricional, déficit hídrico, umidade relativa elevada, baixa luminosidade e maior período de molhamento foliar favorecem a ocorrência e o progresso da doença (GODOY; BERGAMIN FILHO; SALGADO, 1997; ZAMBOLIM; VALE; ZAMBOLIM, 2005). O equilíbrio nutricional do cafeeiro se torna mais difícil quanto maior for a carga pendente, decorrente do dreno dos nutrientes e as reservas do solo, portanto, há uma tendência de aumento à susceptibilidade das plantas ao ataque das doenças (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Belan et al. (2015) destacaram a importância da nutrição equilibrada de Ca e K, visto que, houve a redução na concentração do potássio na região de transição do tecido assintomático para o sintomático nesse patossistema, observando-se um aumento na concentração de cálcio servindo de sinalizador para inibir o patógeno.

Outro fator importante para o desenvolvimento da doença é o molhamento foliar, ou seja, refere-se à presença de água no estado líquido, sendo esse o principal fator para ocorrer a germinação, o crescimento do tubo germinativo e a penetração nos estômatos, situados na face abaxial das folhas (WARD, 1882). A perda associada à doença pode atingir até 50%, sendo a principal injúria da ferrugem a desfolha, responsável por reduzir a área

fotossintética da planta, com conseqüente morte dos ramos plagiotrópicos e reflexos nas safras posteriores (GREE, 1993; POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

Atualmente, o controle da doença baseia-se no uso de calendário de pulverização, e são realizadas aplicações de fungicidas protetores e/ou sistêmicos, nos meses de maior intensidade da doença. Porém, vários fatores, descritos acima, podem favorecer a ocorrência ou não da doença. Com isso, existem outros métodos para manejar a doença, como o cultural e o genético. O primeiro consiste na realização da adubação equilibrada, desbrotas e podas periódicas, plantio em maiores espaçamentos tanto na linha quanto na entrelinha e o cultivo em áreas abertas. O segundo consiste no plantio de variedades resistentes ou tolerantes à doença (MCCOOK; VANDERMEER, 2015).

2.3 Fertilidade do solo e nutrição mineral da planta

A absorção dos nutrientes do solo via sistema radicular das plantas ocorre por fluxo de massa, interceptação e difusão na forma inorgânica. São 13 elementos minerais essenciais, divididos em dois grupos de exigência para as plantas, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) e o cafeeiro tem a seguinte ordem de exigência nutricional para os macronutrientes (N>K>Ca>Mg>S>P) e os micronutrientes (Fe>Mn>B>Cu>Zn) (GUIMARÃES et al., 1999; MATIELLO et al., 2016). Então, o manejo dos elementos minerais no campo pode interferir diretamente na sanidade das plantas como também na qualidade dos produtos agrícolas. A nutrição mineral deficiente ou desequilibrada pode predispor as plantas à infecção por patógeno, afetando suas estruturas histológicas, morfológicas e a composição química do tecido vegetal (MARSCHNER, 2012).

A fertilidade do solo e a nutrição mineral de forma adequada e equilibrada, são fatores determinantes do sucesso da produção agrícola,

influenciando diretamente na sanidade da planta, conferindo maior resistência ao estresse biótico e abiótico. Dentre os fatores bióticos, destaca-se o aumento da resistência de plantas às doenças, protegendo-as de novas infecções e reduzindo a intensidade das infecções já existentes (TAIZ; ZIGER, 2017). Por outro lado, tanto o excesso quanto a escassez de nutrientes podem favorecer as doenças, tornando as plantas mais predispostas à infecção (MARSCHNER, 2012).

Portanto, o equilíbrio das bases do solo, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) devem seguir padrões capazes de permitir maior disponibilidade de nutrientes e atender à demanda nutricional da cultura de forma equilibrada. No caso do cafeeiro, o solo deve atender à Lei do equilíbrio das bases de William Albrecht, na proporção de 40 a 60% de Ca^{++} , 15 a 20% de Mg^{++} e 3 a 5% de K^+ . O equilíbrio estará estabelecido quando a relação entre os nutrientes for de 9:3:1 (ALBRECHT, 1975; MATIELLO, 2016). O Ca e Mg têm dificuldade de caminhar em profundidade no solo além dos sítios de absorção, através das raízes, serem os mesmos e são absorvidos por interceptação e pelo fluxo de massa. Enquanto o K é preferencialmente absorvido por difusão (MARSCHNER, 2012).

Dentre os nutrientes minerais essenciais para qualquer cultura vegetal crescer e se desenvolver, destacam-se o cálcio (Ca), magnésio (Mg) e o potássio (K). Nas lavouras cafeeiras, o fornecimento de adubos de cobertura em aplicações localizadas e em grandes quantidades resulta em grande desequilíbrio do K ou seja, compete com as bases catiônicas Ca e Mg (MALAVOLTA, 2006). Na planta, o K desempenha importante papel como ativador enzimático. Sob condições de deficiência desse nutriente, ocorre acúmulo de carboidratos, de compostos nitrogenados solúveis e de aminoácidos, diminuindo assim, o teor de amido na atividade da quinase pirúvica e na síntese de proteínas (CARVALHO et al., 2010), sendo o segundo nutriente mais exigido, podendo proporcionar aumento ou redução da produtividade. O K é o responsável por regulação

osmótica, por abertura de estômatos e transporte de carboidratos solúveis. E o nutriente Ca, desempenha papel fundamental nas reações do metabolismo de plantas, considerado um dos nutrientes de maior influência sobre as doenças, é atribuído a ele o efeito benéfico na sanidade de plantas na maioria das espécies estudadas (TAIZ; ZEIGER, 2017), em razão do aumento da resistência à penetração e ao crescimento de muitos patógenos, resultado do aumento da espessura das paredes celulares da epiderme, na qual promove rigidez da estrutura dos tecidos e regula o funcionamento dos estômatos, além de promover rápida recuperação dos tecidos injuriados (CARVALHO et al., 2010; MARSCHNER, 2012; POZZA et al., 2000, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Marques, Faquin e Guimarães (1999) relataram que doses de calcário aumentaram os teores foliares de Ca e Mg e reduziram os teores de K. Segundo Huber (1980), a quantidade de K presente nas plantas depende da disponibilidade de Ca, alterando a proporção de Ca:K e interagindo com outros elementos. A função do K na organização celular e na permeabilidade é complementada através de grandes reservas de Ca no tecido maduro da planta. A adição de N causa efeito positivo no teor foliar de N e de Ca e negativo no teor foliar de K, de S e de B. A adição de P causa efeito positivo no teor foliar de P, Mo e Ca e negativo no teor foliar de K, Cl, Cu, Zn e B. A adição de K causa efeito positivo no teor foliar de K e negativo no teor foliar de Ca, Mg e a adição de Ca causa efeito positivo no teor foliar de Ca e negativo no teor foliar de K, Mg e Mn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Quando a planta de café está em pleno desenvolvimento e o fornecimento de K é elevado, ocorrem a redução de Ca e Mg em decorrência da competição nos sítios de absorção nas raízes (MARSCHNER, 2012). Malavolta (1965) demonstrou a quantidade de nutrientes removidos do solo pelo cafeeiro, sendo que o N, K e Ca aumentam nas partes aéreas das plantas de café de acordo com o aumento da idade do

cafeeiro, enquanto a absorção de P e magnésio (Mg) aumenta de modo menos pronunciado.

Em relação à resistência às doenças, a utilização isolada de K ou sua combinação com outros nutrientes pode afetar o patógeno e, conseqüentemente, alterar a intensidade de algumas doenças. Pozza et al. (2001), na avaliação do estado nutricional do cafeeiro quanto ao nutrientes N e K, observaram o aumento da nutrição potássica causando aumento da mancha-de-olho-pardo, e doses excessivas em viveiro favoreceram a doença, enquanto o aumento da nutrição nitrogenada reduz, mas não impede a incidência da mancha-de-olho-pardo em mudas. De acordo com Silva, Teodoro e Mello (2008), a maior predisposição dos cafeeiros à cercosporiose em frutos está relacionada com os elevados teores de K e baixos teores de Ca e de Mg foliares, em comparação com as demais relações entre os nutrientes.

O magnésio é o quarto nutriente mais exigido pela cultura do cafeeiro e responsável pela constituição da molécula da clorofila e dentre outras funções também se destaca pela partição da matéria seca na planta e distribuição de carboidratos. Assim, plantas deficientes podem ser mais susceptíveis a danos como escaldadura, em razão do acúmulo desses carboidratos e, possivelmente, tornar-se porta de entrada para os patógenos (CAKMAK; KIRKBY, 2008).

Dessa forma, existe a necessidade de se conhecer a importância do equilíbrio de bases do solo não somente para a disponibilidade de nutrientes quanto para se entender a intensidade e distribuição das doenças por cafeicultores no campo, como os macronutrientes cálcio (Ca), magnésio, (Mg) e potássio (K) e os reflexos de sua utilização em uma das principais enfermidades da cultura.

2.4 O cobre: nutriente e fungicida

O elemento cobre (Cu) é um micronutriente metálico essencial para o crescimento e desenvolvimento normal das plantas. Esse micronutriente no solo está mais disponível quando o pH do solo é menor que 5,0, pois está nas formas iônicas. Com o aumento do pH, ocorre a insolubilização desses íons para a forma de óxidos e hidróxidos, diminuindo, conseqüentemente, as suas disponibilidades (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). O cobre é absorvido como Cu^{2+} e Cu quelato por processo ativo e existem evidências do elemento inibindo fortemente a absorção do zinco e vice-versa (BOWEN, 1979).

Para a cultura do café o elemento Cu é requerido em pequenas quantidades nas plantas (GUIMARÃES et al., 1999), portanto sua aplicação deve ser criteriosa visando ao fornecimento adequado. Os níveis normais para a cultura variam entre 8 e 16 mg.Kg^{-1} de matéria seca. Mas, pela sua dinâmica no solo, é comum a prática da pulverização foliar com o elemento visando ao seu suprimento. No entanto, a prática de pulverização foliar com os fungicidas cúpricos no manejo de diversas doenças causadas por fungos e bactérias fornecem cobre suficiente para demanda nutricional do cafeeiro (GUIMARÃES et al., 1999).

As principais moléculas cúpricas utilizadas como fungicidas na agricultura para controlar doenças são: oxiclóreto, hidróxido, sulfato de Cu e óxido Cuproso (FRAC, 2017). Assim, são comercializados diversos fungicidas cúpricos, contendo diferentes moléculas, dosagens e granulometria (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA, 2017). Apesar dessa diversidade de formulações do grupo químico, eles devem formar uma película uniforme e duradoura sobre a folha, sem intoxicar a planta, para, assim, atingir seu objetivo fitossanitário (FRAC, 2017). Nesses casos, o Cu atua causando diferentes interferências simultâneas na célula

fúngica, afetando a respiração celular, a permeabilidade da membrana e, principalmente, na atuação de enzimas. Na forma de Cu^{2+} é prontamente acumulado nas células dos fungos sensíveis, formando complexos com enzimas que possuem grupos sulfidril, hidroxila, amino ou carboxila inativando essas enzimas, causando uma desordem generalizada no metabolismo e o rompimento da integridade da célula (JULIATTI, 2005; RODRIGUES, 2006). No caso do oxiclureto de cobre, o fungicida reduz significativamente o crescimento micelial do fungo com o aumento da sua concentração no meio de cultura. A 1500 mg/L, o crescimento micelial foi totalmente inibido (LOMBARDI, 2002). No caso de aplicações visando ao controle da cercosporiose no campo Pozza et al. (1997) sugeriram concentrações acima de 1500 g i.a. ha^{-1} para o melhor controle da doença. Essa concentração superior deve-se, provavelmente, à perda por deriva, por não atingir o alvo, por absorção da planta e por interagir com outros ânions, tanto da calda aplicada quanto nas superfícies foliares, impedindo obter a dose mínima de controle.

Esse micronutriente está envolvido, também, na formação de compostos fenólicos pelas plantas. Servem como defesa natural aos herbívoros e patógenos, pois observa-se que células saturadas com essa substância impedem a penetração de organismos nos tecidos vegetais (GRAHAM; WEBB, 1991). Estudos realizados sobre o assunto apresentaram resultados comprovando os aumentos dos compostos fenólicos estão diretamente relacionados com a resistência à infecção. Além disso, a concentração de cobre nas folhas e brotações influencia a atividade da peroxidase e da catalase, ou seja, são reduzidas sob alto teor de cobre, resultando no acúmulo de peróxidos, substância altamente bactericida, formada com o aumento da respiração em tecidos infectados. Os referidos autores observaram as folhas de macieira resistentes à *Erwinia amylovora*, as quais apresentaram um conteúdo superior desse nutriente. A resistência da batateira a requeima por *Phytophthora infestans* seria atribuída ao aumento da

atividade da peroxidase, proporcionada pela aplicação de cobre nas folhas da planta (ZAMBOLIM; VENTURA, 1996).

A mobilidade do Cu dentro das plantas é limitada e particularmente dependente do estado nutricional em termos de Cu e de N. Em razão de sua forte ligação com as paredes celulares, a translocação do Cu das raízes para as brotações é lenta. Além disso, um alto suprimento de N diminui a disponibilidade de Cu dentro das plantas com a consequência de um requerimento crítico maior de Cu para a máxima produtividade (YRUELA, 2005).

O Cu está envolvido em muitos processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas, em razão da sua capacidade de apresentar múltiplos estados de oxidação *in vivo*. Sobre condições fisiológicas, o Cu pode existir como Cu^{2+} e Cu^+ (YRUELA, 2005). Várias proteínas contendo Cu desempenham papel fundamental em processos tais como: fotossíntese, respiração, desintoxicação de radicais superóxido e lignificação. Esse elemento está associado a algumas enzimas envolvidas nas reações redox. O principal exemplo é o complexo citocromo oxidase da cadeia de transporte de elétrons mitocondrial (respiração). Outro exemplo é a plastocianina, a qual está envolvida na transferência de elétrons, durante as reações de luz da fotossíntese. O Cu pode atuar como elemento estrutural em proteínas regulatórias e participa no metabolismo da parede celular e sinalização hormonal (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1999). Íons de Cu também atuam como cofatores em muitas enzimas tais como: Cu/Zn superóxido dismutase (SOD), citocromo oxidase, amino oxidase, plastocianinas e polifenol oxidase (YRUELA, 2005).

Então, o efeito desse micronutriente no patógeno pode ser direto, haja vista a quantidade de cobre requerida pelos microrganismos ser baixa, comparativamente aos teores demandados pelas plantas e os microrganismos são pouco tolerantes ao excesso desse elemento (GRAHAM; WEBB, 1991). Um dos

efeitos indiretos do cobre na resistência à infecção deve-se a sua participação na síntese de lignina, uma barreira parcial à sua penetração (TAIZ; ZIGER, 2017).

2.5 Geoestatística

A geoestatística surgiu, na África do Sul, quando Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, não conseguia encontrar sentido nas variâncias se não considerasse a distância de amostragem (FARIAS et al., 2002, 2003; LANDIM, 2006). Matheron (1971) desenvolveu a “Teoria das Variáveis Regionalizadas”, contendo os fundamentos da geoestatística, definida como conjunto de métodos estatísticos apropriados para analisar atributos de fenômenos apresentam distribuição contínua numa área geográfica. Essa continuidade, ou dependência espacial, pode ser estimada por meio do semivariograma, principal componente da geoestatística (LANDIM, 2006; MACHADO; BERNARDI; SILVA, 2004).

A determinação do semivariograma é necessária para estimar a geoestatística, pois o modelo escolhido será utilizado na Krigagem. O semivariograma é caracterizado por três parâmetros sendo: i) efeito pepita, indica a descontinuidade na origem, proveniente de limitações na estimativa do semivariograma em pequenos espaçamentos (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; CURRAN, 1988; LANDIM, 2006); ii) patamar, representa o nível de variabilidade da estabilidade da semivariância. A distância aumenta, o valor do semivariância também aumenta, até um valor máximo do semivariograma se estabilizar. Esse valor chama-se patamar, sendo aproximadamente igual à variância dos dados (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; CURRAN, 1988; LANDIM, 2006); e iii) alcance, é a distância até a semivariância atingir o patamar. O alcance demonstra o intervalo de dependência espacial. Com isso, amostras separadas por distâncias menores ao valor do alcance são correlacionadas uma com a outra, e distâncias maiores apresentam uma

distribuição espacial aleatória sendo independentes entre si (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; CURRAN, 1988; LANDIM, 2006).

Após o conhecimento do semivariograma, havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores utilizando-se a técnica de Krigagem. Essa técnica consiste em interpolar valores em qualquer posição de uma propriedade em locais não amostrados, a partir de valores vizinhos resultantes da amostragem realizada sem tendência e com variância mínima. Assim, é possível confeccionar os chamados mapas de Krigagem, permitindo uma leitura direta do comportamento do atributo estudado (LANDIM, 2006). Essa técnica foi utilizada com sucesso no estudo de doenças de plantas.

Em cafeeiro, Alves et al. (2009) estudaram a intensidade da ferrugem e da cercosporiose, em folhas e em frutos. Segundo os autores, um dos fatores responsáveis na distribuição das enfermidades, foi possivelmente, a variabilidade espacial da nutrição mineral das plantas na lavoura, podendo ser realizado o manejo das doenças em pontos específicos na propriedade. Lima (2009), também estudando a distribuição espacial e temporal em cafeeiro, porém para mancha de phoma sob sistema de cultivo convencional e orgânico, observou tanto a AACPI quanto AACPS no primeiro período (agosto/2007 a fevereiro/2008), padrão de distribuição agregado no sistema convencional e aleatório, no sistema orgânico, havendo correlação negativa de Ca, Mg e B e positiva do N com a AACPS da mancha de phoma do cafeeiro e no segundo período (fevereiro/2008 a agosto/2008), tanto a AACPI quanto a AACPS apresentaram distribuição aleatória para os dois sistemas de cultivo e não houve correlação com a nutrição do cafeeiro.

Segundo Mouen Bedimo et al. (2007), a distribuição espacial da “Coffee Berry Disease”, causada por *Colletotrichum kahawae*, ao longo do tempo indicou a contaminação das plantas em parcelas por etapas a partir da primeira árvore de café infectado. Os autores fizeram uma análise dos semivariogramas e

os mapas de dispersão de doenças obtidas por krigagem foram observados focos de infecção primária em ambos os terrenos.

Sendo assim, Uchôa et al. (2011), estudando a modelagem geoestatística da Sigatoka-negra em relação com fertilidade do solo, verificaram uma forte dependência espacial da severidade da doença, com alcance de 25,26 m. Esses autores verificaram um padrão agregado dos os mapas de krigagem e uma relação negativa da severidade da doença com os teores de potássio e positiva com teores de enxofre no solo. E Freitas et al. (2016), trabalhando com a distribuição espacial da sigatoka-amarela e relacionando com a fertilidade do solo e nutrição de plantas, encontrou relação positiva entre severidade da sigatoka-amarela e os teores de fósforo, nitrogênio, potássio, boro e cálcio. No caso do P os autores observaram níveis entre 2,79 a 3,79 mg dm⁻³ apresentando de 37,39% a 39,10% e ao K com altos valores de severidade da doença variando 52,32% a 65,07% nas regiões de alta concentração de K com valores de 64,69 a 76,05 mg dm⁻³.

Aplicou-se a técnica de geoestatística no estudo do padrão espacial de isolados de *Aspergillus flavus*, produtores de toxinas com base no padrão de isolados não toxicogênicos (NELSON et al., 1999). Alves et al. (2006) utilizaram metodologia de análise geoestatística no estudo da dinâmica espaço-temporal de doenças causadas por *Colletotrichum* em sementes de feijão e algodão. Segundo os autores, as vantagens da geoestatística com relação aos métodos tradicionais é a possibilidade de identificar a magnitude e o grau de dependência espacial, mapear a variabilidade espacial das epidemias, além de observar o progresso espacial ao longo do tempo. Outra vantagem são modelos de semivariogramas que podem ser utilizados em trabalhos posteriores, principalmente em áreas naturalmente infectados.

Portanto, assim como foi possível caracterizar a relação entre a nutrição das plantas e a intensidade da doença em cada um desses patossistemas, espera-

se, neste trabalho, também ser possível no caso da cercosporiose em frutos do cafeeiro com outros nutrientes e suas interações. Além disso, acredita-se que as novas descobertas poderão ser utilizadas como medidas complementares no manejo da doença. Sendo assim, a geoestatística no estudo da variabilidade espacial e temporal da cercosporiose em frutos e da nutrição do cafeeiro em sistemas de manejo de irrigação via gotejamento fornecerá informações importantes auxiliando no manejo de uma das principais doenças do cafeeiro.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.
- ALBRECHT, W. A. **Albrecht's Foundation concepts**. Kansas: Acres USA, 1975. v. 1, 515 p.
- ALVES, M. C. et al. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 557-563, nov./dez. 2006.
- _____. The potential of geostatistics and geographic information systems in pest eradication. **CAB Reviews: perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources**, United States, v. 6, n. 54, p. 1-14, 2009.
- BARBOSA JÚNIOR, M. B. et al. Irrigação por gotejamento e manejo do fósforo no progresso da ferrugem do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 187-196, abr./jun. 2017.
- BAXTER, S. J.; OLIVER, M. A.; ARCHER, J. R. The representative soil sampling scheme of england and wales: the spatial variation of topsoil nutrient status and pH between 1971 and 2001. **Soil use and Management**, Oxford, v. 22, n. 4, p. 383-392, Dec. 2006.
- BEDIMO, J. A. M. et al. Spatio-temporal dynamics of arabica Coffee Berry Disease caused by *Colletotrichum kahawae* on a plot scale. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 91, n. 10, p. 1229-1236, Oct. 2007.
- BELAN, L. L. et al. Nutrientes distribution in diseased coffee leaf tissue. **Australasian Plant Pathology**, Clayton, v. 44, n. 1, p. 105-111, Jan. 2015.
- BERKELEY, J. M.; COOKE, M. C. *Cercospora coffeicola*. **Grevillea**, London, v. 9, n. 49/52, p. 99, 1881.
- BOLDINI, J. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e fertirrigado por gotejamento**. 2001. 68 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

BOWEN, H. J. M. **Environmental chemistry of the elements**. London: Academic Press, 1979. 333 p.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 133, n. 4, p. 692-704, Aug. 2008.

CAMARGO, A. P. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, mar. 2010.

CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C.; FAZUOLI, L. C. Melhoramento do cafeeiro: XL–Estudos de progênies e híbridos de café Catuaí. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 1, p. 202-216, 1979.

CARVALHO, E. A. **Modelagem geoestatística da distribuição espacial de doenças do feijoeiro comum e da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CARVALHO, J. G. et al. Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: Ed. UFLA, 2010. p. 69-101.

CARVALHO, V. D.; CHALFOUN, S. M. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 27-35, 1998.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. 2017. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

CHUPP, C. **A monograph of the fungus genus Cercospora**. Ithaca: C. Chupp, 1953. 667 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: café: quarto levantamento**: Brasília: CONAB, 2017. 84 p.

CROUS, P. W.; BRAUN, U. **Mycosphaerella and its anamorphs**: 1. Names published in Cercospora and Passarola. Wageningen: Centralalbureau voor Schimmelcultures, 2003. 871 p.

CURRAN, P. J. The semivariogram in remote sensing: an introduction. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 24, n. 3, p. 493-507, Apr. 1988.

CUSTÓDIO, A. A. de P. et al. Comparasion and validation of digrammatic scales for brown eye spots in coffee tree leaves. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p 1067-1076, nov./dez. 2011.

_____. Incidência do bicho-mineiro do cafeeiro em lavoura irrigada sob pivô central. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 16-26, jan./jun. 2009.

_____. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 214-228, set./dez. 2010.

DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: APS Press, 2007. 278 p.

DAUB, M. E.; HERRERO, S.; CHUNG, K. R. Photoactivated perylenequinone toxins in fungal pathogenesis of plants. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 252, n. 2, p. 197-206, Feb. 2006.

DORDAS, C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 28, n. 1, p. 33-46, Mar. 2008.

ECHANDI-ZÜRCHER, E. La chasparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk. Cooke. **Turrialba**, Costa Rica, v. 9, n. 2, p. 54-67, 1959.

FARIAS, P. R. S. et al. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241, ago. 2003.

_____. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Moscow, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2002.

FAZUOLI, L. C. et al. Cultivares de café arábica do IAC. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 12-15, 2007.

FERNANDES, C. D. **Effect of environmental factors and inoculum concentration on brown eye spot of coffee trees.** 1988. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

FERNANDES, C. D. et al. Influência da concentração de inoculo de *Cercospora coffeicola* e do período de molhamento foliar na intensidade da cercosporiose do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 1, p. 39-43, 1991.

FERNANDEZ-BORRERO, O.; MESTRE, A. M.; DUQUE, S. L. Efecto de la fertilizacion en la incidencia de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. **Cenicafé**, Colômbia, v. 47, p. 5-16, 1966.

FREITAS, A. S. et al. Spatial distribution of Yellow Sigatoka Leaf Spot correlated with soil fertility and plant nutrition. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 17, n. 1, p. 93-107, Feb. 2016.

FU, W. et al. Using Moran's I and geostatistics to identify spatial patterns of soil nutrients in two different long-term phosphorus-application plots. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 174, n. 5, p. 785-98, Oct. 2011.

FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE - FRAC. **Fungicides sorted by mode of action ((including FRAC Code numbering).** [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2017-final.pdf?sfvrsn=fab94a9a_2>. Acesso em: 11 fev. 2018.

GODOY, C. V.; BERGAMIN FILHO, A.; SALGADO, C. L. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: KIMATI, H. **Manual de fitopatologia: doenças de plantas e seu controle.** 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v. 2, p. 184-200.

GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J. J. et al. (Ed.). **Micronutrients in agriculture.** 2. ed. Madison: SSSA, 1991. p. 329-370.

GREE, G. Epidemiology of coffee leaf rust in the Eastern Highlands. **Coffee Research Institute Newsletter**, Ruiru, v. 2, n. 9, p. 16-20, Sept. 1993.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, mar./abr. 2011.

_____. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

HUBER, D. M. The role of mineral nutrition in defense. In: HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. (Ed.). **Plant disease: an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1980. p. 381-406.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007. 592 p.

JULIATTI, F. C. Modo de ação dos fungicidas sobre plantas e fungos. In: SIMPÓSIO SOBRE RELAÇÕES ENTRE NUTRIÇÃO MINERAL E INCIDÊNCIA DE DOENÇAS DE PLANTAS, 2005, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: Potafós, 2005. p. 1-19.

KRIGE, D. G. **A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand**. 1951. 139 p. Thesis (Ph.D. in Science) - University of the Witwatersrand, Johannesburg, 1951.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didactica**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LIMA, L. M. **Variabilidade espacial da mancha de Phoma relacionada à nutrição do cafeeiro e incidência da cercosporiose na qualidade do café**. 2009. 102 p. Tese -(Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

LOMBARDI, A. P. Z. **Caracterização patogênica, morfológica, fisiológica, molecular e sensibilidade a fungicida de Cercospora coffeicola**. 2002. 125 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2002.

LOPEZ-DUQUE, S; FERNANDEZ-BORRERO, O. Epidemiologia de la mancha de hierrodelcaféto (*Cercosporacoffeicola*Berk y Cook.). **Cenicafé**, Chinchina, v. 20, n. 1, p 3-19, mar. 1969.

LORENZETTI, E. R. et al. Effect of temperature and leaf wetness on *Phoma tarda* leaf spot in coffee seedlings. **Coffee Science**, v. 10, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2015.

MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C.; SILVA, A. C. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

_____. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. EUA: Instituto da Potassa & Fosfato, 1965.

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

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em resposta a calcário e gesso. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n.1, jan./mar. p. 140-151, 1999.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 2012. 889 p.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris: Le Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu, 1971. 211 p.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. São Paulo: Fundação Procafé, 2016. 584 p.

MCCOOK, S.; VANDERMEER, J. The big rust and the red queen: long-term perspectives on coffee rust research. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 105, n. 9, p. 1164-1173, Sept. 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Consulta de produtos formulados**. Brasília: MAPA, 2017. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/?p_id_produto_formulado_tecnico=5369&p_tipo_janela=NEW>. Acesso em: 10 jan. 2018.

NELSON, M. R. et al. Applications of geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and management. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 83, n. 4, p. 308-319, Apr. 1999.

NOVAES, P.; SOUZA, J. P.; PRADO, C. Grafting for improving net photosynthesis of coffee arabica in field in southeast of Brazil. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, n. 1, p. 53-68, Jan. 2011.

PEREIRA, A. A. et al. Cultivares: origem e suas características. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Ed.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 163-222.

PINTO, A. C. S. et al. Descrição da epidemia da ferrugem do cafeeiro com redes neuronais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 517-524, set./out. 2002.

POZZA, A. A. A. et al. Controle químico da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola*) do cafeeiro em condições de viveiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 543-545, 1997.

_____. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 26, p. 29-33, 2000.

_____. Suprimento de fósforo na produção e intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 970-976, maio 2002.

_____. 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, jan. 2001.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: Ed. UFLA, 2010. p. 69-101.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Manejo de doenças de plantas com macro e micronutrientes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 52-54, jan./abr. 2003. Suplemento.

_____. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: MACHADO, A. K. F. M. et al. (Ed.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos: Suprema, 2012. p. 259-282.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biology of plants**. 6. ed., New York: W.H. Freeman, 1999. 944 p.

RODRIGUES, M. A. T. **Classificação de fungicidas de acordo com o mecanismo de ação proposto pelo FRAC**. 2006. 249 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

ROTEM, J.; PALT, J. Irrigation and plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 7, p. 267-288, 1969.

SALAZAR-GUTIÉRREZ, M. R. et al. Crecimiento del fruto de café *Coffea arabica* L. var. Colombia. **Cenicafe**, Chinchina, v. 45, n. 2, p. 41-50, 1994.

SANTOS, F. da S.; SOUZA, P. E.; POZZA, E. A. Epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro fertirrigado. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 30, n. 1, p. 31-37, 2004.

SANTOS, L. S. D. et al. Incidência da Mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 77-89, jan./mar. 2014.

SILVA, C. A. D.; TEODORO, R. E. F.; MELLO, B. D. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 387-394, mar. 2008.

SILVA, M. G. et al. Temperature and light intensity interaction on *Cercospora coffeicola* sporulation and conidia germination. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 198-204, mar./abr. 2016.

TAIZ, L.; ZIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 55-62, jan./fev. 2001.

UCHÔA, C. N. et al. Modelagem geoestatística da Sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 357-362, 2011.

VASCO, G. B. et al.. Incidência da Cercosporiose em frutos de cafeeiro: Diferentes densidades de plantio e manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 38-45, jan./mar. 2015.

WARD, H. M. Research on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the coffee leaf disease. **Journal of the Linnean Society**, London, v. 12, n. 3, p. 299-335, Mar. 1882.

WELLMAN, F. L. The rust *Hemileia vastatrix* now firmly established on coffee in Brazil. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 54, n. 7, p. 539-541, Sept. 1970.

YRUELA, I. Copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, n. 1, p. 145-146, jan./mar. 2005.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* e *C. canephora*). In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 165-180.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A. Resistência a doenças induzidas pela nutrição mineral das plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 75, p. 1-16, 1996.

CAPÍTULO 2 ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA CERCOSPORIOSE EM FRUTOS DO CAFEIEIRO E SUA RELAÇÃO COM A FERTILIDADE DO SOLO

RESUMO

A cercosporiose do cafeeiro é uma das suas principais doenças causando desfolha, com conseqüente queda de produtividade, além de perda na qualidade da bebida. Dessa forma, objetivou-se avaliar o progresso espaço temporal da doença e a sua relação com a nutrição de plantas e a fertilidade do solo em lavouras irrigadas por gotejamento, empregando a geoestatística. O experimento foi implantado no município de Carmo do Rio Claro, região Sul do estado de Minas Gerais - Brasil. O grid amostral foi georrefenciado com 52 pontos em 11ha. A incidência da doença foi avaliada em 100 frutos, no terço médio de cinco plantas/ponto amostral, realizadas 30 dias antes da colheita e na data da colheita, 20 de abril e 20 de maio de 2015, totalizando 2 avaliações. Esse intervalo foi necessário para verificar a distribuição da doença no tempo. Avaliou-se também em cada ponto, a produtividade, a nutrição mineral das plantas e a fertilidade do solo, anualmente. As incidências da doença nos pontos amostrados foram plotadas e realizadas o ajuste de modelos de semivariogramas para as avaliações de maior incidência da doença ao longo do tempo. Em seguida, realizou-se a interpolação dos dados por krigagem ordinária, construindo assim os mapas da doença, da produção e da fertilidade do solo para os macronutrientes % Mg, % K, Ca/Mg e Ca/K (ArcGIS 9.3[®]). Nas regiões de maior incidência, foram observadas a maior participação de Mg e K na CTC pH 7 do solo e, principalmente, quando as relações Ca/Mg e Ca/K se estreitavam, o que indisponibiliza o Ca para a planta. E as áreas com menor produtividade apresentavam maior incidência da doença. A incidência da cercosporiose em frutos de café no irrigado por gotejamento, variou de 0 a 17% entre abril a maio de 2015. Houve variação na incidência da doença ao longo do espaço, com dependência espacial e a presença de focos. Inclusive mudança das áreas de maior intensidade ao longo dos meses de avaliação acompanhando a disponibilidade de nutrientes.

Palavras-chave: Frutos do cafeeiro. *Coffea arabica*. *Cercospora coffeicola*.

ABSTRACT

The coffee berry disease is one of its main diseases of coffee causing defoliation, with consequent decrease of productivity, besides loss in the quality of the drink. The objective of this study was to evaluate the temporal progress of the disease and its relation with plant nutrition and soil fertility in drip irrigated crops, using geostatistics. The experiment was carried out in the municipality of Carmo do Rio Claro, southern region of the state of Minas Gerais - Brazil. The sampling grid was georeferenced with 52 points in 11ha. The incidence of the disease was evaluated in 100 fruits, in the middle third of five plants / sampling point, performed 30 days before harvest and at harvest date, April 20 and May 20, 2015, totaling 2 evaluations. This interval was necessary to verify the distribution of the disease over time. The productivity, mineral nutrition of the plants and the soil fertility were evaluated at each point every year. The incidences of the disease in the sampled points were plotted and the adjustment of semivariograms models was performed for the evaluations of a higher incidence of the disease over time. Then, data interpolation was performed by ordinary kriging, thus constructing soil disease, production and fertility maps for the % Mg, % K, Ca / Mg and Ca / K macromolecules (ArcGIS 9.3®). In the regions of higher incidence, the higher participation of Mg and K in the CTC pH 7 of the soil was observed, and especially when the Ca / Mg and Ca / K ratios narrowed, which makes the Ca unavailable to the plant. And the areas with lower productivity had a higher incidence of the disease. The incidence of coffee berry disease in drip irrigated ranged from 0 to 17% between April and May 2015. There was a variation in the incidence of the disease throughout space, with spatial dependence and the presence of foci. Including change of the areas of greater intensity during the months of evaluation accompanying the availability of nutrients.

Keywords: Coffee berry. *Coffea arabica*. *Cercospora coffeicola*.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se consolida a cada ano como maior produtor e exportador mundial de café (*Coffea arabica* L.). Responsável por 30% da produção do mundo, as lavouras cafeeiras do país ocupam 2,2 milhões de hectares, onde foram produzidas 49,7 milhões de sacos de café de 60 kg em 2017 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2017). De todo o café produzido no Brasil, cerca de 25% é proveniente de lavouras irrigadas, porém em área plantada, corresponde a apenas 10% (FERNANDES et al., 2012). Esse aumento de produtividade deve-se ao fornecimento de água e nutrientes em fases importantes que definem esse acréscimo quantitativo e qualitativo se forem avaliadas as qualidades físicas dos grãos. E, ainda, de acordo com Faria e Rezende (1997), justifica-se o emprego de irrigação em áreas aptas para cultivar café, em decorrência da possibilidade de estiagens, nesses períodos críticos como a florada e o enchimento de grãos. Portanto, o emprego de sistemas de fornecimento de água por aspersão ou gotejamento em cafezais, tem crescido nos últimos anos, principalmente em decorrência do cenário de mudanças climáticas em muitas regiões cafeeiras proporcionando incremento de produtividade (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007).

Com isso, a adoção de sistemas de irrigação nas áreas produtoras de café aumentou e novos tetos produtivos são explorados influenciando na intensidade de doenças (CUSTÓDIO et al., 2010; SANTOS et al., 2014; TALAMINI et al., 2001), como a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke), a qual ocorre em todas as regiões produtoras e causa perdas quantitativas e qualitativas, desde o viveiro de mudas até a qualidade final do produto (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Em áreas irrigadas foi verificada menor incidência da cercosporiose em frutos do cafeeiro em relação a área não irrigada, caso a nutrição e o fornecimento sejam adequados para tal situação (VASCO et

al., 2015). Pois, com o aumento da produtividade ocorre o aumento do consumo de nutrientes pela planta, conseqüentemente alterando a taxa de trocas dos nutrientes nas raízes, podendo influenciar as barreiras de resistência horizontais (MARSCHNER et al., 2012).

Dentre os nutrientes minerais essenciais para qualquer cultura vegetal crescer e desenvolver, destacam-se o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o potássio (K). No entanto, é importante o equilíbrio na concentração dessas bases do solo para garantir a disponibilidade de nutrientes. O emprego de corretivos de pH, como o calcário, em aplicação única logo após a colheita é utilizado também para suprir Ca e Mg. Já para fornecer K predominantemente se utiliza o KCl (cloreto de potássio), aplicado, ao longo do período chuvoso, nas lavouras cafeeiras. No entanto, o uso em doses altas desse fertilizante pode acarretar desequilíbrios na disponibilidade das outras bases (GUIMARÃES et al., 1999).

O fornecimento adequado desses elementos, junto aos demais minerais essenciais, possibilita formar e fortalecer barreiras de resistência (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007), como a camada de cera e a parede celular, reduzindo a intensidade da doença (TAIZ; ZEIGER, 2017). Alguns nutrientes empregados na fertirrigação de cafeeiros foram estudados em solução nutritiva em ambiente controlado. Entre eles a interação do K com o N e com o Ca (GARCIA JUNIOR et al., 2003; POZZA et al., 2001). Em ambos os casos, houve interação da relação e da quantidade fornecida na incidência da cercosporiose na folha, porém ainda não foram avaliadas essas relações em frutos.

Apesar de estudos recentes sobre a doença, ainda existe o questionamento sobre a sua distribuição no campo e fatores que podem contribuir para o progresso da cercosporiose em frutos de café, em função da variabilidade dos nutrientes ao longo do solo. Informações sobre a distribuição da doença e sua dependência espacial com tais variáveis ao longo da área de plantio podem fornecer subsídios para o manejo da doença, de forma a

possibilitar adubações e pulverizações diferenciadas em áreas específicas ou reboleiras, portanto, uma prática capaz de aumentar a sustentabilidade ambiental do agroecossistema.

A geoestatística tem sido utilizada como ferramenta no estudo da dependência espacial entre as variáveis de interesse na lavoura cafeeira, auxiliando na decisão do manejo em grandes áreas no campo (ALVES et al., 2009). Esses autores observaram disseminação, variação e dependência espacial da cercosporiose e da ferrugem a partir de focos, porém em área sem irrigação.

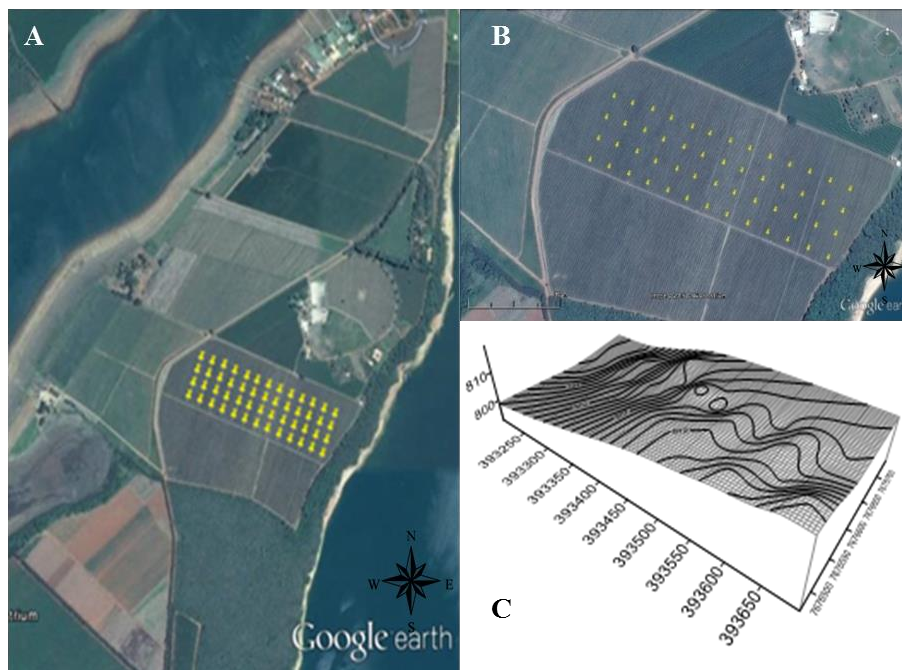
Diante disso, neste trabalho, objetivou-se avaliar a relação do progresso espaço-temporal da cercosporiose em frutos de café com a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas em lavouras cafeeiras irrigadas por gotejamento na região sul do estado de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido por três anos, entre agosto de 2012 e maio de 2015, duas safras, em razão da bienalidade na produção do cafeeiro (RENA; MAESTRI, 1987). Foi localizado no sul de Minas Gerais, em lavoura comercial, no município de Carmo do Rio Claro, com altitude média de 850 m, latitude 20°59'55'' Sul e longitude 46°02'52'' Oeste. A área com sistema de gotejamento foi de 11 há de lavoura cafeeira (*Coffea arabica* L.) da cultivar Acaiá 474/19, com 1,5 anos de idade na data da implantação, espaçamento de 3,6 m entre linhas e 0,7 m entre plantas, totalizando 3.968 plantash⁻¹, declividade de 7% e sua produção iniciou em 2013, durante a condução do experimento. A irrigação foi realizada ao longo do ano, baseada na aferição de tensiômetros.

Os pontos de amostragem foram georreferenciados com GPS TRIMBLE 4600 LS® e Estação Total Leica TC600®. A área foi composta por 52 pontos amostrais em malha de 40 x 40 metros (FIGURA 1).

Figura 1 - Áreas com os pontos amostrais georreferenciados (pontos em amarelo) (A e B) na área com sistema gotejamento e o mapa de relevo com coordenadas em UTM gotejamento (C) em Carmo do Rio Claro – MG.



Fonte: Google Earth (2018).

Durante a condução do experimento, o controle de pragas e de plantas daninhas foi realizado de acordo com o nível de controle.

Nessa área, foram monitoradas a cercosporiose em frutos do cafeeiro, o grau de enfolhamento, o teor de nutrientes nas folhas das plantas, a fertilidade do solo e as variáveis climatológicas na área experimental dentro e fora da copa das plantas.

Para avaliar a incidência da cercosporiose em frutos, foram realizadas amostragens 30 dias antes e na data da colheita, do ano de 2015, totalizando 2 avaliações. Em cada ponto georreferenciado, avaliaram-se cinco plantas, sendo

uma central, uma de cada lado desta e outras duas, perpendiculares à central, porém nas linhas de plantio laterais.

Para avaliar a incidência, foram amostrados 20 frutos por planta, por método não destrutivo, no terço médio da copa, a partir do terceiro e quarto nós produtivos, dos dois lados da linha de plantio, totalizando 100 grãos de café por ponto georreferenciado. Na colheita também foram avaliadas amostras de 100 frutos retirados ao acaso após a derriça (BOLDINI, 2001; VASCO et al., 2015).

A incidência da doença foi determinada por porcentagem de frutos com sintomas em relação ao total amostrado, conforme a Equação 1 (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

$$I (\%) = \frac{NFD}{NTF} * 100 \quad (1)$$

Em que:

I (%) = incidência da doença em porcentagem;

NFD = número de frutos doentes;

NTF = número total de frutos amostrados.

A colheita das cinco plantas de cada ponto amostral georreferenciado foi realizada com colhedora portátil. Após a derriça em pano, foi obtido o peso dos grãos, em kg, em cada ponto amostral.

Para as análises de solo, retirou-se uma amostra composta em cada ponto amostral. Essa amostra foi obtida pela retirada de cinco amostras simples de solo, em um balde, na projeção da copa das cinco plantas de cada ponto georreferenciado da área, em novembro de 2014. As amostras foram encaminhadas para o laboratório e as determinações da quantidade dos nutrientes presentes no solo foram feitas conforme metodologia proposta por CFSEMG (GUIMARÃES et al., 1999).

Pela análise de solo, obteve-se o potencial Hidrogeniônico (pH), teores de potássio (K), fósforo (P), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7.0 (T), porcentagem de saturação por bases (V), porcentagem de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B) e enxofre (S).

Os dados meteorológicos foram obtidos tanto do lado externo quanto internamente à copa do cafeeiro. Os dados externos à copa foram coletados em estação meteorológica microclimatológica (Campbel Scientific®) instalada a 1000 metros de distância da área experimental, na mesma altitude, para monitorar a temperatura e a umidade relativa do ar máxima, média e mínima, velocidade do vento, molhamento foliar e precipitação.

A média das variáveis climáticas coletadas foram plotadas junto com as curvas de progresso da incidência e do enfolhamento.

Para realizar a análise geoestatística e da dependência espacial, foram selecionadas as datas de 20/04/2015, ou seja, 30 dias antes da colheita e na colheita em 20/05/2015 para avaliar a incidência da doença.

Para a fertilidade do solo, foram verificados os teores dos nutrientes do solo, após analisar a correlação com a incidência na data selecionada anteriormente, escolheram-se os teores dos macronutrientes Mg e K, em porcentagem na CTC do solo em pH 7, e as relações Ca/Mg e Ca/K para realizar a análise geoestatística, por apresentarem o maior número de correlações significativas na área.

A dependência espacial foi analisada com o uso da geoestatística, por meio de ajustes de semivariogramas, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com a metodologia de Burrough e McDonnell (1998).

O grau de dependência espacial (GDE), do melhor modelo ajustado aos dados, ou proporção em porcentagem do efeito pepita (Co) em relação ao patamar (Co + C), foi calculado utilizando-se a Equação 3:

$$GDE = \left(\frac{Co}{Co+C} \right) * 100 \quad (3)$$

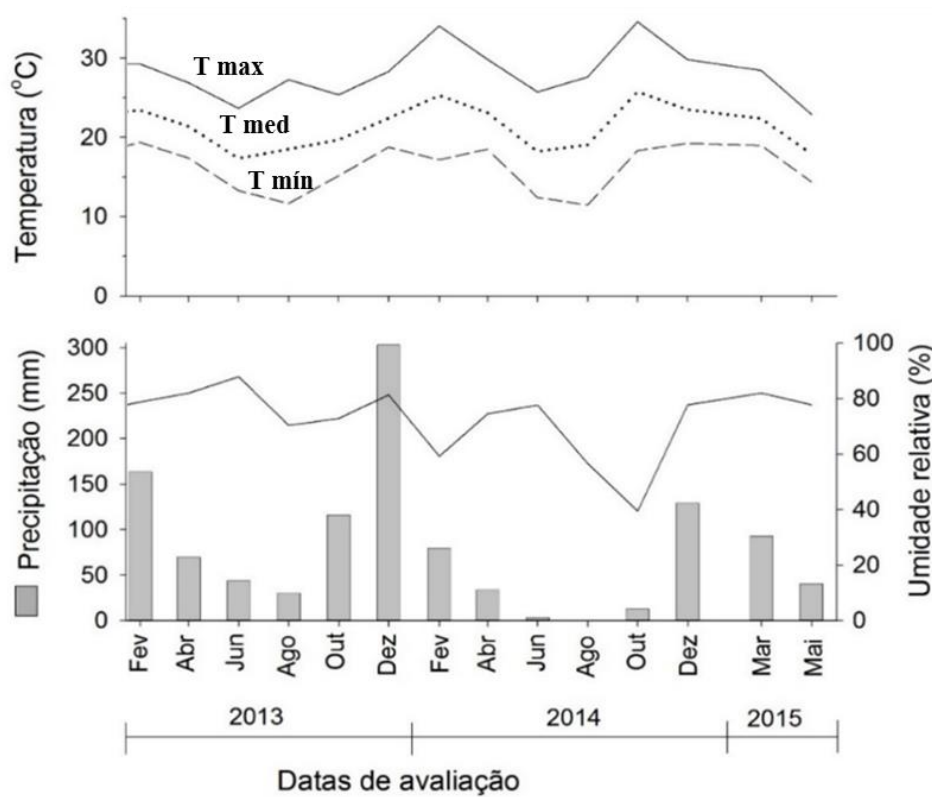
De acordo com Cambardella et al. (1994), quando o GDE for inferior a 25%, a dependência espacial é forte. Se o GDE ficar entre 26 a 75%, a dependência espacial é moderada e, se for superior a 75%, a dependência espacial é fraca. O melhor ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido em função do quadrado médio do erro, erro padrão de predição e da autovalidação ('Jack Knife').

Após ajustar os semivariogramas, escolhido o melhor modelo, realizou-se a interpolação dos dados por krigagem ordinária, possibilitando construir os mapas e visualizar padrões de distribuição espacial das variáveis selecionadas, na lavoura, em diferentes épocas de avaliação. Foi utilizado para ajustar os semivariogramas e plotar os mapas de krigagem ordinária, o software ArcGIS 9.2 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI, 2004).

3 RESULTADOS

A cercosporiose em frutos do cafeeiro ocorreu com intensidades variáveis durante o período de condução do experimento. As variáveis climáticas foram favoráveis à ocorrência da doença, com temperaturas médias, pluviosidade e umidade relativa do ar compatíveis com as normais climatológicas da região (FIGURA 2).

Figura 2 - Médias mensais das variáveis climáticas temperatura máxima (T-max), média (T-med) e mínima (T-min), umidade relativa média e precipitação acumulada coletadas externamente à copa entre o período de 15/08/2012 a 23/05/2015, na área de gotejamento.



*Dados não coletados. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.
Fonte: Dados do autor (2018).

Observaram-se sintomas da doença a partir de 20/04/2015, ou seja, 30 dias antes do início da colheita com incidências médias de 4,98% e amplitude de 0 a 17,0% entre os pontos amostrais da área. Na colheita, em 20/05/2015, a incidência média foi de 6,69% com amplitudes de 1,0 a 16,0%.

Não houve correlação entre a incidência da cercosporiose em frutos, 30 dias antes da colheita, com a produtividade, enquanto houve correlação negativa da incidência da cercosporiose em frutos com a produtividade de 2015 na data da colheita (20/05/2015), ano de carga pendente alta, média de 3.130,2 kg ha⁻¹ ou 52,17 sc ha⁻¹ (TABELA 1).

Tabela 1 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0,05$) entre a produtividade do cafeeiro (*C. arabica*) e incidência da cercosporiose em frutos do cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.

Produtividade (kg ha ⁻¹)	Incidência (%)	
	r	P
20/04/2015 (30 dias antes da colheita)	-0,07	0,97 ^{ns}
20/05/2015 (Colheita)	-0,34*	0,02

Fonte: Dados do autor (2018).

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, ^{ns} = não significativo; r = coeficiente de correlação de Pearson; P = significância da correlação.

Para a porcentagem dos nutrientes na CTC do solo % Mg, %K e a relação Ca/Mg e Ca/K, houve correlações significativas na data da colheita 20/05/2015 (TABELA 2) e não se observou correlação com outros nutrientes analisados do solo. Em decorrência disso, esses nutrientes foram os escolhidos para a análise geoestatística.

Tabela 2 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) dos nutrientes no solo e a incidência da cercosporiose em frutos (*C. coffeicola*) no cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.

Nutrientes	Incidência (Colheita)	
	20/05/2015	
	r	$p(<0,05)$
% Mg CTC2014	0,76	0,03*
% K CTC 2014	0,81	0,04*
Ca/Mg 2014	-0,35	0,02*
Ca/K 2014	-0,46	0,01*

Fonte: Dados do autor (2018).

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, ^{ns} = não significativo; r = coeficiente de correlação de Pearson; $p (<0,05)$ = significância da correlação.
- Correlação nula.

De acordo com a análise geoestatística, para a data da colheita (20/04/2015) ocorreram variações na intensidade da doença ao longo da área amostrada e foi ajustado o modelo esférico. Para as variáveis produtividade e as porcentagens na CTC solo de Mg, K, Ca/Mg e Ca/K escolhidos em função das correlações entre as análises de solo e a data de avaliação, o melhor modelo ajustado também foi o Esférico (TABELA 3, FIGURA 3).

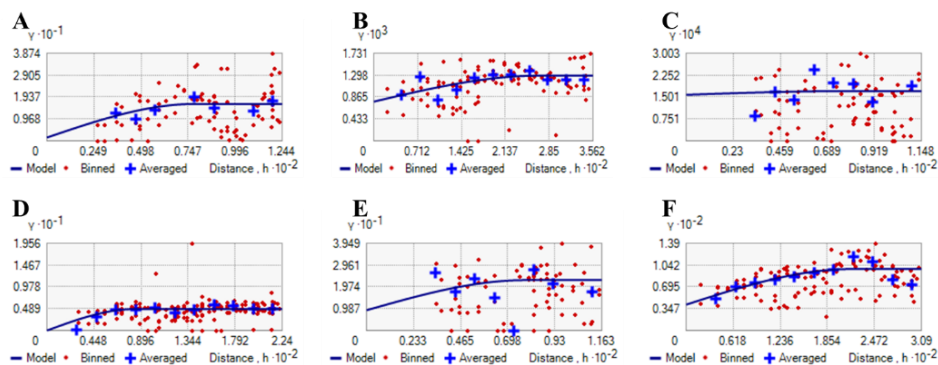
Tabela 3 - Variáveis e coeficientes dos semivariogramas relativos a avaliação de incidência da cercosporiose em frutos, produtividade e os teores de cálcio, magnésio, potássio e as relações entre Ca/Mg e Ca/K no solo.

Variável	Modelo	Ao	Co	Co + C	Co/ (Co + C)	GDE
Incidência Colheita						
30 dias antes	Exp	225,37	10,9	10,03	0,11	Forte
Incidência 2015	Exp	99,60	1,48	15,71	0,10	Forte
Produtividade						
2015	Esf.	217,00	41,26	56,68	0,73	Moderada
Teores no solo						
Ca/K	Esf.	78,46	9,19	13,62	0,67	Moderada
Ca/Mg	Esf.	83,09	3,75	4,80	0,78	Fraco
% K	Esf.	78,46	0,01	1,30	0,01	Forte
% Mg	Esf.	269,12	0,01	0,11	0,09	Forte

Fonte: Dados do autor (2018).

Ao = alcance, Co = efeito pepita, C+Co = patamar, Co/C+Co = razão indicativo do grau de dependência espacial (GDE, onde de 0 a 0,25 = forte, 0,25 a 0,75 = moderado e 0,75 a 1 = fraco), Prod = Produtividade kg ha⁻¹, Exp.= Exponencial, Esf = Esférico.

Figura 3 - Semivariogramas. A: Incidência da cercosporiose na Colheita; B: % Mg na CTC do solo; C: % K na CTC do solo; D: Relação Ca/K; E: Relação Ca/Mg; F:Produtividade.

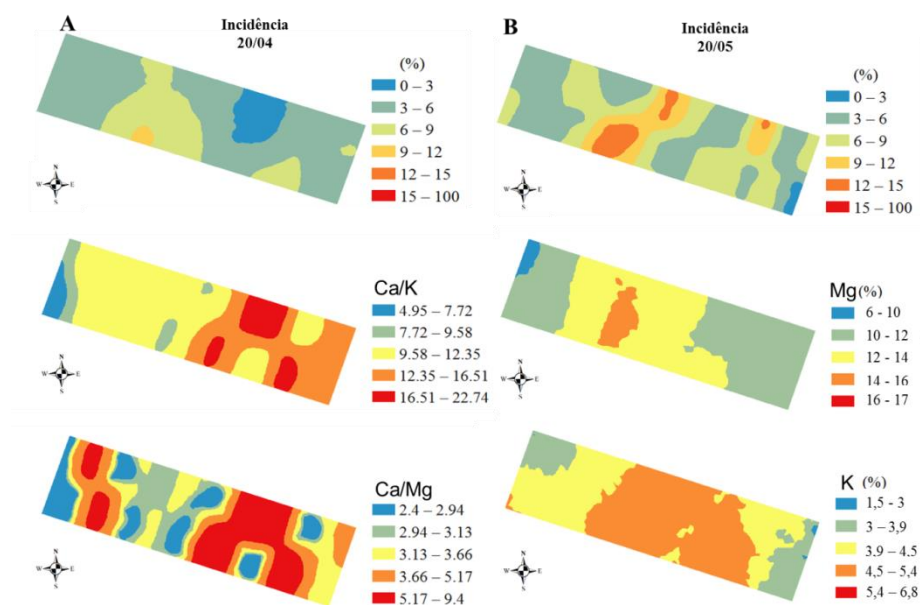


Fonte: Dados do autor (2018).

Para a incidência na colheita, em 20/04/2015, houve forte dependência espacial. O valor de alcance foi de 99,60 m (TABELA 3).

A distribuição espacial da cercosporiose em frutos de café teve variação ao longo da área, com ocorrência de reboleiras (FIGURAS 4 A e 4 B). As áreas de maior incidência aumentaram ao longo do tempo nas duas avaliações, ou seja, ocorreu variação na incidência da doença ao longo do espaço e do tempo. Nas avaliações de 20/04/2015 e 20/05/2015 a incidência variou de 0 a 17% e 1,00 a 16,00%, respectivamente.

Figura 4 - Krigagem ordinária para a incidência da cercosporiose em frutos nas datas A: 20/04/2015 e B: na colheita 20/05/2015 (%). Mg (%): porcentagem de Mg presente na CTC do solo; K (%): porcentagem de K presente na CTC do solo; Ca/Mg: Relação entre os nutrientes Ca e Mg; Ca/K: Relação entre os nutrientes Ca e K. Sítio Boa Esperança, Carmo do Rio Claro – MG, 2014.



Fonte: Dados do autor (2018).

Além disso, observaram-se nos mapas de krigagem, a variação na distribuição da % Mg, % K, Ca/Mg e Ca/K ao longo da área amostrada.

Para a % Mg, no ano de 2014, as maiores concentrações foram observadas na região central da área e se observa maior incidência da doença nos frutos (FIGURA 4). Essa porcentagem de magnésio em relação à Capacidade de Troca Catiônica do Solo (CTC pH7) variou de 6,64 a 17,24% níveis considerados abaixo e acima do proposto por Matiello et al. (2016). Na amostragem do teor de Mg no solo 2014, a dependência espacial foi forte, com valores de alcance de 269,12 m (TABELA 3).

Para o K, no ano de 2014, a participação do nutriente na CTC do solo foi maior na região central sentido oeste da área (FIGURA 4). Nessas regiões, constataram-se os focos com maior incidência da doença, principalmente nas áreas com níveis de % K acima 4,45%. A dependência espacial foi forte com valores de alcance variando de 78,46 m (TABELA 3).

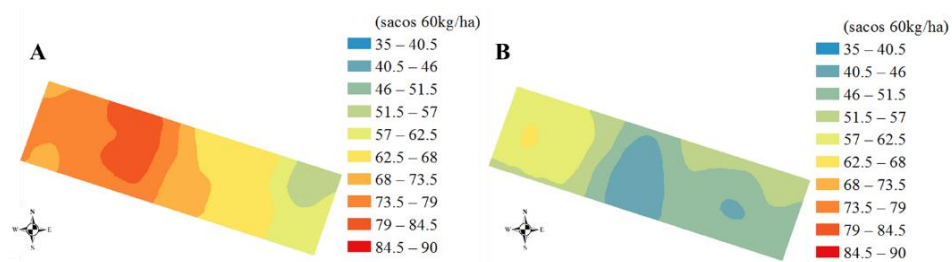
Para a relação Ca/K, a distribuição da relação entre os nutrientes foi maior em uma faixa leste da área (FIGURA 4). Justamente onde ocorreram menores incidências da doença (TABELA 3). A dependência espacial na amostragem apresentou moderada dependência espacial, com valor de alcance de 78,46 m (TABELA 3).

A distribuição da relação Ca/Mg foi maior em uma faixa leste, próxima à margem do experimento e outra a centro oeste (FIGURA 4). Com isso, quanto mais se estreita a relação entre Ca e Mg, ou seja, abaixo de 3,13 houve maior incidência da doença. A dependência espacial na amostragem apresentou forte dependência espacial, com valor de alcance de 83,09 m (TABELA 2).

A produtividade também variou ao longo do espaço e do tempo nos dois anos, porém não houve inversão das áreas de maior produção (FIGURA 5). Em 2014 e 2015, foi na parte oeste com produtividade de até 5234,4 kg ha⁻¹ ou 87,24 sc ha⁻¹ e em 2015 foi também na parte oeste alcançando valores de 4390,

1 kg ha⁻¹ ou 73,17 sc ha⁻¹. A dependência espacial foi moderada no ano de 2015, com valor de alcance de 217,00 m.

Figura 5 - Krigagem da produtividade (kg ha⁻¹) do biênio na área de gotejamento em 2014 (A) e 2015 (B).



Fonte: Dados do autor (2018).

4 DISCUSSÃO

Ocorreu variação temporal e dependência espacial da cercosporiose em frutos do cafeeiro, a partir de focos ou reboleiras, durante o período avaliado em lavoura irrigada por gotejamento. Os sintomas foram evidentes a partir de 30 dias antes da colheita, porém se intensificaram no estágio de final de maturação. Assim como em outros trabalhos com o patossistema adota-se a avaliação na data da colheita como metodologia de incidência da doença (BOLDINI, 2001; VASCO et al., 2015), mas com os sintomas detectados 30 dias antes da colheita, avaliações prévias podem ser realizadas.

Em razão da ocorrência da doença, no presente trabalho, o modelo exponencial foi ajustado para incidência da cercosporiose nos frutos, assim como Bedimo et al. (2007) estudando a distribuição espacial da “Coffee Berry Disease” causado por *Colletotrichum kahawae*. E para o cafeeiro em lavoura no sistema de sequeiro avaliando a incidência da ferrugem e cercosporiose em frutos, Alves et al. (2009) ajustaram o modelo exponencial e encontraram alcance variando de 46 a 57 m e 38,4 a 84,4 m, respectivamente. Neste trabalho, os valores foram maiores, ou seja, 225,37 m aos 30 dias antes da colheita e de 99,60 m. Esses resultados evidenciam maior dispersão da doença na área irrigada, dependente de um foco central, em relação ao encontrado no sistema de sequeiro. Em ambos os trabalhos, foram encontradas dependência espacial moderada a forte.

Na safra 2015, houve correlação negativa, na região com a maior incidência da doença nos frutos foram observadas as menores produtividades. Esse fato pode estar associado ao amadurecimento precoce dos frutos, favorecendo a má formação e queda ao solo (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). A correlação negativa significa que a doença em algumas situações pode estar relacionada à queda de produção. Além disso, há o

comprometimento da qualidade física e química dos frutos com maiores incidências da cercosporiose (LIMA; POZZA; SILVA, 2012).

Segundo Laviola et al. (2007), é no estágio da maturação dos frutos o período de maiores acúmulos relativos de Ca e Mg. Esse período de acumulação de Ca e Mg coincide com a incidência da cercosporiose em frutos, pois os primeiros sintomas foram observados 30 dias antes da colheita. O cálcio é um dos nutrientes mais importantes na resistência de plantas a doenças. Seus cátions (Ca^{2+}) têm dois papéis distintos nas plantas, o estrutural/apoplástico no qual o Ca^{2+} se liga a grupos ácidos de lipídeos da membrana (fosfo e sulfolipídeos), mantendo a estabilidade da membrana e as ligações cruzadas entre pectinas, em particular na lamela média, responsável por separar células recentemente divididas e estrutura da parede celular. Além de ser sinalizador, o Ca^{2+} atua como mensageiro secundário, capaz de iniciar as respostas do hospedeiro aos estímulos bióticos e abióticos, quando ocorre sua entrada na área lesionada e a saída do K (BELAN et al., 2015). Em sua função como um mensageiro secundário, o Ca^{2+} pode se ligar à calmodulina, uma proteína encontrada no citosol de células vegetais. O complexo calmodulina- Ca^{2+} , então, liga-se a diferentes tipos de proteínas, incluindo quinases, fosfatases, proteínas mensageiras secundárias de sinalização e proteínas do citoesqueleto. Desse modo, regulam-se processos celulares, desde o controle de transcrição e sobrevivência celular até a liberação de sinais químicos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Em razão dessa importância do íon Ca^{2+} , as seguintes considerações devem ser exploradas com atenção a fertilidade do solo como a sua baixa mobilidade no perfil do solo e a competição com outros dois cátions no caso Mg^{2+} e K^+ podem gerar desequilíbrios nutricionais tornando as plantas predispostas à entrada da doença (MARSCHNER, 2012). De acordo com Matiello et al. (2016), as relações de Ca:Mg:K ideais para o cultivo do cafeeiro são de 9:3:1 e as concentrações de Mg 15% e o K 3 a 5%.

Observou-se então a correlação positiva na data da colheita para a incidência da doença e as concentrações dos nutrientes à CTC pH7 da % Mg e % K, enquanto houve correlação negativa da doença com as relações Ca/K e Ca/Mg. Ou seja, ocorreu a relação direta da % Mg na CTC e % K na CTC com a incidência da cercosporiose em frutos do cafeeiro e relação inversa com as relações entre os nutrientes Ca/Mg e Ca/K, pois quando a concentração das bases Mg e K aumentam, nota-se maior intensidade da doença, assim como a relação entre Ca e as outras bases se estreitam observam-se maiores níveis de incidência da doença. Evidenciando a importância do equilíbrio das bases do solo para o suprimento de Ca e a menor incidência da doença no fruto em relação ao próprio teor de Ca (mg/Kg), conforme as relações destacadas por Matiello et al. (2016). Ou seja, nas áreas onde as concentrações de Mg (15%) e K (até 5,0%) estavam acima das porcentagens sugeridas na literatura e as relações de Ca/Mg e Ca/K estreitas houve menor produtividade no ano de 2015 e observou-se maior incidência da doença. Nesse caso, a escolha da concentração de Ca e Mg no corretivo a ser aplicado na área é fundamental, a fim de restituir o equilíbrio do sistema, pois a quantidade de cada um dos nutrientes essenciais exportados pela cultura é diferente (GUIMARÃES et al., 1999). Esse fato, demonstra a importância do equilíbrio entre os nutrientes, no qual o excesso ou a falta deles poderá afetar a incidência da doença e, conseqüentemente, a produtividade da lavoura (CATARINO et al., 2016; GARCIA JUNIOR et al., 2003; LIMA et al., 2010; MARSCHNER, 2012).

Além do equilíbrio das bases, deve-se repor a quantidade mínima de nutrientes ao sistema, de acordo com as necessidades da cultura definida pela extração destes pela planta. No presente trabalho, nota-se a importância de aumento na concentração ou quantidade de Ca^{2+} , pois em sua deficiência no solo pode ocorrer o estreitamento na relação Ca/Mg e Ca/K acarretando aumento da incidência da cercosporiose em frutos. No entanto, Freitas et al. (2016),

estudando a relação dos teores médios dos nutrientes no solo com a intensidade da sigatoka amarela, em bananeira, não observaram variação entre os grades, em decorrência do baixo nível de nutrientes no solo, ou seja, em decorrência do baixo potencial produtivo, ocasionando níveis insignificantes de doenças ou a alta incidência de doenças por toda a área. Além disso, mesmo em baixos níveis, os nutrientes podem estabelecer relações equilibradas, e como se observou neste trabalho, ocorrer baixa incidência até mesmo em baixas concentrações equilibradas.

Durante o período de avaliação do experimento para as variáveis de fertilidade do solo % Mg, % K, Ca/Mg e Ca/K, forte, forte, moderada e fraca grau de dependência espacial, respectivamente, e o modelo de semivariograma esférico foi ajustado, sendo o mesmo ajustado por Bedimo et al. (2007). Segundo Silva et al. (2008), estudando duas safras de uma lavoura cafeeira (2002/2003 e 2003/2004), a variável P apresentou efeito pepita de 0,09 e um alcance de 86,05 m na primeira safra e 0,52 e 210,04 m, respectivamente, na segunda safra. Para o K, os valores da primeira safra foram 579 e 142,08 m, e na segunda “C₀” igual a 973 e “a” igual a 188,02 m. Enquanto se observou, no presente trabalho, para a porcentagem de K efeito pepita de 0,01 e alcance de de 78,46 m, ou seja, menor variação entre os pontos amostrados.

Para a produtividade, Silva et al. (2008) encontraram os valores de efeito pepita iguais a 0,58 e 0,79, e alcance de 65,04 m e 60,43 m, respectivamente, para a primeira e segunda safras. Diferentemente deste trabalho pois se ajustou o modelo de semivariograma esférico, grau de dependência espacial moderado e alcance de 217,0 m. Essas diferenças encontradas entre os autores e o presente trabalho pode ser decorrente da idade das plantas, a cultivar, ao relevo da lavoura e aos tratamentos fitossanitários realizados em cada área estudada. Evidenciando a importância da variável alcance nos mais diversos sistemas de cultivo, pois se trata da distância dentro da qual as amostras se apresentam

correlacionadas espacialmente, sua medida é importante no planejamento e na avaliação experimental, pois pode auxiliar na definição do procedimento de amostragem (MCBRATNEY; WEBSTER, 1983).

Em trabalho realizado em casa de vegetação, Pozza et al. (2001) observaram a influência na incidência e na severidade cercosporiose em folhas de mudas de cafeeiro com o desequilíbrio da relação Ca/K em solução nutritiva, comprovando que o aumento da concentração de K na solução diminui a absorção de Ca o que pode predispor a planta se tornar mais suscetível ao ataque de patógenos. Também em solução nutritiva Catarino et al. (2016), estudando a intensidade da mancha de phoma em mudas de cafeeiro sob doses de Ca e de K observaram na menor dose de Ca (2 mmol L⁻¹) e nas maiores de K (6 e 7 mmol L⁻¹), menor AACPI. Para a AACPS, as menores doses de Ca e de K resultaram em menores severidades. Já de acordo com os mapas de krigagem realizados por Uchôa et al. (2011), gerados após o ajuste dos semivariogramas isotrópicos experimentais, observou-se o padrão agregado e a relação negativa dos nutrientes K e B com a severidade da sigatoka negra, apresentando menor severidade nas áreas com níveis mais altos de K e B. Diferindo dos resultados observados para a incidência da cercosporiose em frutos do cafeeiro, pois altas porcentagens de K na CTC do solo foram observadas maiores índices da doença.

Então a prática da análise de solo aliada a técnica de interpretação e recomendação das bases do solo pode auxiliar no manejo da cercosporiose em frutos. E a agricultura de precisão pode auxiliar na homogeneização dos grades amostrais.

Dessa forma, a utilização de mapas de krigagem deve ser analisada em conjunto aos de atributos químicos do solo e a análise do potencial produtivo da lavoura e da arquitetura da copa do cafeeiro, objetivando-se encontrar os motivos da ocorrência da variação da produtividade, principalmente em se tratando de baixas produtividades (FERRAZ et al., 2012).

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados:

Ocorreu correlação entre incidência da cercosporiose e a produtividade na data da colheita.

Houve correlação negativa entre a incidência da cercosporiose nos frutos do cafeeiro e as relações Ca/Mg, Ca/K no solo e a produtividade, enquanto houve correlação positiva para a concentração de Mg e K na CTC pH7.

Ocorre variação ao longo do tempo e dependência espacial, a partir de focos ou reboleiras, da mancha da cercosporiose em frutos do cafeeiro.

Houve dependência espacial da cercosporiose nos frutos e das concentrações de Mg e K na CTC pH7, das relações Ca/Mg e Ca/K e da produtividade.

A maior incidência da cercosporiose nos frutos do cafeeiro ocorreu nas áreas com altas % Mg na CTC e % K na CTC, relações estreitas de Ca/Mg e Ca/K e áreas de baixa produtividade.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café – INCT-Café, no auxílio financeiro e concessão de bolsas e ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. Agradeço aos produtores, Luiz Fernando Mazzarolo, Dimas Silva Jacob e Pedro Augusto de Paula ao apoio dado à equipe de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. C. et al. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: MACHADO, A. K. F. M. et al. (Ed.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos: Suprema, 2012. p. 283-302.

_____. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Heidelberg, v. 82, p. 137-148, May 2009.

BEDIMO, J. A. M. et al. Spatio-temporal dynamics of arabica Coffee Berry Disease caused by *Colletotrichum kahawae* on a plot scale. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 91, n. 10, p. 1229-1236, Oct. 2007.

BELAN, L. L. et al. Nutrient distribution in diseased coffee leaf tissue. **Australasian Plant Pathology**, Clayton, v. 44, n. 1, p. 105-111, Jan. 2015.

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

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 58, n. 4, p. 1501-1511, Nov. 1994.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Wiley, 1990. 532 p.

CATARINO, A. M. et al. Calcium and potassium contents in nutrient solution on Phoma leaf spot intensity in coffee seedlings. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 4, p. 486-491, jul./ago. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: café: quarto levantamento**: Brasília: CONAB, 2017. 84 p.

CUSTÓDIO, A. A. de P. et al. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 214-228, set./dez. 2010.

DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: APS Press, 2007. 278 p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI.
Understanding map projections: Arcgis 9. Redlands: ESRI, 2004. 120 p.

FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. **Cafeicultura empresarial**: produtividade e qualidade - irrigação na cafeicultura. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 110 p.

FERNANDES, A. L. T. et al. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, abr./jun. 2012.

FERRAZ, G. A. E. S. et al. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 140-150, jan./fev. 2012.

FREITAS, A. S. et al. Spatial distribution of Yellow Sigatoka Leaf Spot correlated with soil fertility and plant nutrition. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 17, n. 1, p. 93-107, Feb. 2016.

GARCIA JUNIOR, D. et al. Incidência e severidade da cercosporiose-do-cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, maio/jun. 2003.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, nov./dez. 2007.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://earth.google.com>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo de macronutrientes em frutos de cafeeiros em Viçosa-MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., Águas de Lindóia, 2007. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2007. CD-ROM.

LIMA, L. M. de et al. Relação nitrogênio/potássio com mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 223-228, jul./ago. 2010.

LIMA, L. M.; POZZA, E. A.; SILVA, S. F. Relationship between incidence of brown eye spot of coffee cherries and the chemical composition of coffee beans. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 160, n. 4, p. 209-211, Apr. 2012.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN den BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. Minnesota: American Phytopathological Society, 2007. 421 p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 2012. 889 p.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. São Paulo: Fundação Procafé, 2016. 584 p.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, Oxford, v. 134, p. 177-183, 1983.

POZZA, A. A. et al. 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, jan. 2001.

POZZA, E. A.; ALVES, M. C. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças fúngicas do cafeeiro no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2008. p. 216-233.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: Ed. UFLA, 2010. p. 69-101.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 119-147.

SANTOS, L. S. D. et al. Incidência da Mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 77-89, jan./mar. 2014.

SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, jan./fev. 2008.

SILVA, J. T. A. et al. **Diagnóstico nutricional da bananeira prata anã para o norte de Minas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. 17 p. (Boletim Técnico, 70).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 55-62, jan./fev. 2001.

UCHÔA, C. N. et al. Modelagem geoestatística da Sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 357-362, 2011.

VASCO, G. B. et al. Incidência da Cercosporiose em frutos de cafeeiro: diferentes densidades de plantio e manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 38-45, jan./mar. 2015.

CAPÍTULO 3 MISTURA DE FUNGICIDAS SISTÊMICOS COM CÚPRICOS NO CONTROLE DE DOENÇAS DO CAFEIEIRO

RESUMO

A ferrugem e a cercosporiose do cafeeiro são as principais doenças do cafeeiro, causam desfolha, com conseqüente queda de produtividade, além de perda na qualidade da bebida. Dessa forma, objetivou-se avaliar o controle dessas doenças com fungicida sistêmico associado ou não com protetores à base de cobre. O experimento foi implantado no município de Lavras, região Sul do estado de Minas Gerais – Brasil em 14/12/2015 e finalizado em 18/06/2017. Os defensivos utilizados no ensaio foram piraclostrobina + epoxiconazol (Opera®), óxido cuproso (Red Shield®), hidróxido de cobre (Supera) e oxicloreto de cobre (Cuprocarb®) e o fertilizante (Big Red). O delineamento experimental do ensaio foi em blocos casualizados, com 10 tratamentos e três repetições, totalizando 30 parcelas experimentais. Foram realizadas duas aplicações do tratamento Opera e desse, as mais diferentes fontes de cobre e quatro aplicações nos tratamentos com apenas as diferentes fontes do protetor. Foram realizadas dezessete avaliações em intervalos mensais da incidência da ferrugem e da cercosporiose em folhas do cafeeiro e as incidências foram obtidas a partir da relação do número de folhas doentes e número total de folhas amostradas. Também foi avaliado o tamanho e a distribuição das partículas de cobre de cada produto com equipamento Mastersizer 2000® e o pH das caldas com pHmetro digital. Após análise estatística concluiu-se que a associação de fungicidas cúpricos aos sistêmicos foi eficiente no controle da cercosporiose, há diferença entre os produtos à base de cobre no controle da ferrugem e da cercosporiose, o pH da calda aumenta com o tempo em todas as misturas e perdas de produtividade em altos níveis de ferrugem e cercosporiose chega a mais de 50% a menos se comparado com o controle com fungicidas. Não foram observados sintomas de fitotoxicidade.

Palavras-chave: Fungicidas. *Hemileia vastatrix*. *Cercospora coffeicola*.

ABSTRACT

Rust and brown eye spot are the main diseases of the coffee tree, causing defoliation, with consequent drop in productivity, and loss of beverage quality. Thus, the objective was to evaluate the control of these diseases with systemic fungicide associated or not with copper-based protectors. The experiment was implemented in the municipality of Lavras, southern region of the state of Minas Gerais - Brazil on 12/14/2015 and ended on 06/18/2017. The pesticides used in the trial were pyraclostrobin + epoxiconazole (Opera®), cuprous oxide (Red Shield®), copper hydroxide (Supera) and copper oxychloride (Cuprocarb®) and fertilizer (Big Red). The experimental design was randomized blocks with 10 treatments and three replicates, totaling 30 experimental plots. Two applications of the Opera treatment were carried out and the most different sources of copper and four applications in the treatments with only the different sources of the protector were carried out. Seventeen evaluations were performed at monthly intervals of the incidence of rust and brown eye spot on coffee leaves and the incidence was obtained from the relation between the number of diseased leaves and the total number of leaves sampled. The size and distribution of the copper particles of each product with Mastersizer 2000® equipment and the pH of the syringes with digital pH meter were also evaluated. After statistical analysis it was concluded that the association of copper and systemic fungicides was efficient in the control of cercosporiosis, there is a difference between the copper - based products in the control of rust and brown eye spot, the pH of the syrup increases with time in all the mixtures and losses of productivity in high levels of rust and brown eye spot reaches more than 50% less when compared to the control with fungicides. No symptoms of phytotoxicity were observed.

Keywords: Fungicides. *Hemileia vastatrix*. *Cercospora coffeicola*.

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro é uma planta originária das regiões altas da Etiópia (Cafa e Enária), podendo ser a região de Cafá responsável pela origem do nome café. É uma planta de sub-bosque, sendo o nome café dado ao fruto, à semente, à bebida e aos estabelecimentos que a comercializam (GRANER; GODOY JUNIOR, 1967). O café é uma das principais ‘*commodities*’ produzidas no Brasil, o maior produtor e exportador mundial. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2018), a safra brasileira de café foi de 59,9 milhões de sacas de 60 quilos do produto beneficiado, somando-se às espécies arábica e conilon. Porém, vários fatores podem reduzir essa produtividade e a qualidade da bebida do café. Entre esses, destacam-se as doenças, as quais podem estar associadas a perdas em larga escala, estando relacionadas com condições climáticas adversas, deficiências nutricionais e pragas (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

Entre as principais doenças do cafeeiro responsáveis por prejuízos quantitativos, com redução no rendimento, na produção e na qualidade do produto final, destacam-se a Ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) com perdas variando de 35 a 50% da produção (GARÇON et al., 2004) e a Cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) com perdas de 15 a 30 % (CARVALHO; CUNHA; CHALFOUN, 2005). Essas perdas atribuídas às doenças foliares do cafeeiro devem-se à desfolha prematura e a formação de lesões, responsáveis por reduzir a área fotossintética da planta e, em alguns casos, com consequente morte dos ramos plagiotrópicos (SAMAYOA; SANCHEZ, 2000).

Em razão da maioria da área cultivada ser plantada com cultivares suscetíveis no Brasil, torna-se necessário avaliar programas de tratamento fitossanitário para otimizar o emprego de fungicidas, reduzindo o impacto

ambiental, aumentando a produtividade e a sustentabilidade financeira do produtor. Entre os fungicidas recomendados para o controle dessas doenças, encontram-se os protetores e os sistêmicos. Porém, muitos têm sido misturados na calda com adubos foliares, principalmente micronutrientes, para reduzir os custos de aplicação (POZZA; ZAMBOLIM; POZZA, 1997). Essa mistura, pode alterar as propriedades físico-químicas da formulação, pode ocorrer reação de elementos, de cargas diferentes, alteração de pH e precipitação, entre outros. O pH da água utilizada ou da calda pode afetar a estabilidade do ingrediente ativo do agrotóxico, degradação por hidrólise e a estabilidade física da calda a ser aplicada. Os produtos formulados toleram alguma variação no pH das caldas. Contudo, variações extremas podem afetar a eficácia e a estabilidade desses produtos. Tanto a dureza da água quanto o pH da calda são relevantes, porém, o primeiro é mais importante, pois pode interferir na qualidade dos fungicidas, estando associado à incompatibilidade entre produtos, principalmente quando se realizam misturas de dois ou mais produtos no tanque de pulverização, quer sejam fungicidas ou não, no caso, adubos foliares. Isso ocorre, em razão de muitos fungicidas sofrerem hidrólise alcalina quando em caldas com pH acima de 7. Existe correlação positiva entre aumento do pH e aumento na hidrólise de um produto, ou seja, quanto maior o pH, mais rapidamente ocorre a hidrólise, em alguns casos, pode ocorrer em questão de minutos. Entretanto, a mistura em tanque de produtos agrotóxicos distintos é proibida pela legislação (PEREIRA; MOURA; PINHEIRO, 2015).

As principais moléculas cúpricas utilizadas como fungicidas na agricultura para controlar doenças são: o Oxicloreto, o Hidróxido, o Sulfato de Cu e o Óxido Cuproso (FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE - FRAC, 2017). O Cu atua causando diferentes interferências simultâneas na célula do fungo, afetando a respiração celular, a permeabilidade da membrana e, principalmente, na atuação de enzimas. Na forma de Cu^{2+} é prontamente

acumulado nas células dos fungos sensíveis, formando complexos grupos sulfidríla, hidroxila, amino ou carboxila das enzimas, inativando-as, causando desordem generalizada no metabolismo e o rompimento da integridade da célula (JULIATTI, 2005; RODRIGUES, 2006).

Portanto, neste trabalho, objetivou-se avaliar a eficiência de fungicidas sistêmicos associados ou não a fungicidas protetores cúpricos no controle da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro, além de medir o pH da calda de pulverização dos diferentes tratamentos, a medição e a distribuição do tamanho das partículas e as perdas de produtividade causada por essas doenças.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Características do campo experimental e tratos culturais

O trabalho foi realizado no setor de Cafeicultura no Campus da Universidade Federal de Lavras em Lavras-MG, situada à Latitude de 21° 13' 45" S, Longitude de 44° 57' 38" O e altitude de 957 metros. O experimento foi implantado em 14/12/2015 e finalizado em 18/06/2017. A cultivar utilizada foi a Topázio, plantada em janeiro de 2009. O ensaio foi conduzido no espaçamento de 3,5 metros entre linhas e 0,6 metros entre plantas, ou seja, população de 4761 plantas ha⁻¹.

Os tratos culturais foram realizados segundo as recomendações para a cultura, sendo feito o controle de plantas daninhas e pragas, de acordo com os níveis de controle. O manejo da fertilidade do solo e da nutrição da cultura foi realizado com base nos resultados da análise química do solo e das folhas, respectivamente, de acordo com Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999).

2.2 Descrição Técnica dos Produtos

Os fungicidas utilizados e suas respectivas concentrações, formulações e dosagens foram:

OPERA

Nome Comum: Piraclostrobina + Epoxiconazol

Grupo Químico: Estrobilurina e Triazol

Concentração: 133 + 50 g/L

Formulação: SUSPOEMULSÃO (SE)

Classe Toxicológica: II - ALTAMENTE TÓXICO

Registro: 08601

RED SHIELD

Nome comum: Óxido Cuproso (Cobre metálico)

Grupo Químico: Inorgânico

Concentração: 860 (750 g cobre metálico)

Formulação: Pó molhável (WP)

Classe Tóxica: III – MEDIANAMENTE TÓXICO

Registro: 00798

CUPROGARB

Nome comum: Oxicloreto de cobre (Cobre metálico)

Grupo Químico: Inorgânico

Concentração: 840 (500 g cobre metálico)

Formulação: Pó molhável (WP)

Classe Tóxica: IV - POUCO TÓXICO

Registro: 02788792

SUPERA

Nome comum: Hidróxido de cobre (Cobre metálico)

Grupo Químico: Inorgânico

Concentração: 537,44 (350 g cobre metálico)

Formulação: Suspensão concentrada (SC)

Classe Tóxica: III – MEDIANAMENTE TÓXICO

Registro: 2203

BIG RED

Nome comum: Óxido cuproso

Formulação: Suspensão concentrada (SC)

Concentração: 500 g L⁻¹ Cobre Metálico

Fertilizante foliar

2.3 Delineamento do campo experimental

O delineamento experimental do ensaio foi em blocos casualizados, com 10 tratamentos (TABELA 1) e três repetições totalizando 30 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi formada por 10 plantas, sendo as 8 plantas centrais consideradas parcela útil.

Tabela 1 - Fungicidas e suas respectivas doses, avaliados para o controle da ferrugem e da cercosporiose na cultura do cafeeiro. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, safras 2015/2016 e 2016/2017.

∞

Tratamento Nome comercial	Ingrediente ativo (i.a.)	Concentração (g.i.a /L ou kg)	Formulação	Dose	
				g i.a sistêmico e/ou Cu ²⁺ ha ⁻¹	mLp.c ha ⁻¹
Testemunha	---	---	---	---	---
Opera	Piraclostrobina + Epoxiconazol	133+50	SE	199,5+75	1500
RedShield	Óxido Cuproso	750	WP	500	670
Opera + RedShield	Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso	133+50+750	SE+WP	199,5+75+500	1500+670
Cuprogarb	Oxicloreto de Cobre	840	WP	500	1000
Opera + Cuprogarb	Epoxiconazol + Piraclostrobina + Oxicloreto de Cobre	133+50+840	SE+WP	199,5+75+500	1500+1000
Supera	Hidróxido de Cobre	537,44	SC	500	1500
Opera + Supera	Epoxiconazol + Piraclostrobina + Hidróxido de Cobre	133+50+537,44	SE+SC	199,5+75+500	1500+1500
Big Red	Óxido Cuproso	500	SC	500	1000
Opera + Big Red	Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso	133+50+500	SE+SC	199,5+75+500	1500+1000

Fonte: Dados do autor (2018).

g ou ml - p.c.: gramas ou mililitros de produto comercial, g/L ou kg.: gramas por litro ou quilograma de produto comercial. 500 g de Cu²⁺ equivale a 1250 ppm ou mg/L em um volume de calda de 400L/ha.

2.4 Dados meteorológicos utilizados e aplicação dos fungicidas

Foram realizadas duas pulverizações do tratamento Opera e Opera mais diferentes fontes de cobre nos dias 14/12/2015 e 22/02/2016 para a safra 2015/2016 e 28/11/2016 e 02/02/2017 para a safra 2016/2017. Nos tratamentos com apenas cobre foram realizadas quatro aplicações em 14/12/2015, 19/01/2016, 22/02/2016 e 23/03/2016 na safra 2015/2016 e 28/11/2016, 29/12/2016, 02/02/2017 e 01/03/2017 para controle das doenças na safra 2016/2017 com suas características descritas na Tabela 1.

Nas aplicações, utilizou-se um pulverizador costal motorizado da marca Yamaha® modelo LS-937, com vazão de 400 L.ha⁻¹ para todos os tratamentos, com bicos do tipo cone vazio, com jatos dirigidos na planta. A calda foi preparada com água a pH 6,5 e imediatamente pulverizada em intervalo inferior a 1 hora entre seu preparo e pulverização. As condições climáticas ocorridas durante as operações foram monitoradas na estação climatológica da Universidade Federal de Lavras (TABELAS 2 e 3).

Tabela 2 - Condições meteorológicas obtidas na área experimental, em função das aplicações realizadas. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, 2015/2016.

(continua)

Variáveis	Aplicações dos programas fitossanitários			
	14/12/2015	19/01/2016	22/02/2016	23/03/2016
Temperatura máxima (°C)	30,8	28,0	28,2	32,4
Temperatura mínima (°C)	19,6	18,2	19,2	19,0
Temperatura média (°C)	23,8	21,8	21,7	24,8
Umidade relativa média (%)	70	83	87	67
Precipitação (mm)	0	0,3	2,0	0
Velocidade do vento (Km h ⁻¹)	1	1,5	0,5	1

Tabela 2 - Condições meteorológicas obtidas na área experimental, em função das aplicações realizadas. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, 2015/2016.

(conclusão)

Variáveis	Aplicações dos programas fitossanitários			
	14/12/2015	19/01/2016	22/02/2016	23/03/2016
Estádio fenológico	F4 – frutos de 5,1 a 10 mm	F6 – maior que 15 mm Céu	M1 – frutos verdes Céu	M2 – verde cana
Nebulosidade	Céu aberto	Parcialmente nublado	Parcialmente nublado	Céu aberto
Início e término das aplicações	08:00/10:00	08:00/10:00	08:00/10:00	08:00/10:00

Fonte: Dados do autor (2018).

Tabela 3 - Condições meteorológicas obtidas na área experimental, em função das aplicações realizadas. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, 2015/2017.

Variáveis	Aplicações dos programas fitossanitários			
	28/11/2016	29/12/2016	02/02/2017	01/03/2017
Temperatura máxima (°C)	30,9	32,0	28,6	27,2
Temperatura mínima (°C)	20,6	18,3	17,5	17,6
Temperatura média (°C)	25,1	24,7	22,4	20,6
Umidade relativa média (%)	68	68	80	89,3
Precipitação (mm)	0	0	2,1	12,5
Velocidade do vento (Km h ⁻¹)	1,2	1,1	0,5	1
Estádio fenológico	F4 – frutos de 5,1 a 10 mm	F6 – maior que 15 mm	M1 – frutos verdes Céu	M2 – verde cana Céu
Nebulosidade	Céu aberto	Céu aberto	Parcialmente nublado	Parcialmente nublado
Início e término das aplicações	08:00/10:00	08:00/10:00	08:00/10:00	08:00/10:00

Fonte: Dados do autor (2018).

2.5 Variáveis analisadas

Foram realizadas dezessete avaliações em intervalos mensais da incidência da ferrugem e da cercosporiose em folhas do cafeeiro, entre os meses de dezembro de 2015 e junho de 2017, ou seja, duas safras do cafeeiro.

A avaliação em folhas foi realizada por método não destrutivo, no terço médio da planta. Foram avaliados 50 pares de folhas por parcela, sendo 25 pares de cada lado, no terço média da planta, no 3º ou o 4º par de folhas, totalizando 100 folhas por parcela. A incidência da ferrugem em folhas foi obtida a partir da relação do número de folhas doentes e o número total de folhas amostradas, conforme a Equação 1.

$$I (\%) = \frac{NFD}{NTF} * 100 \quad (1)$$

Em que:

I (%) = incidência da doença em porcentagem,

NFD = número de folhas doentes,

NTF = número total de folhas amostradas.

Nas avaliações dos dias 14/12/2015, 19/01/2016, 22/02/2016, 23/03/2016, 16/05/2016, 20/06/2016, 26/07/2016, 30/08/2016, 28/09/2016, 27/10/2016, 28/11/2016, 29/12/2016, 02/02/2017, 01/03/2017, 03/04/2017, 02/05/2017 e 05/06/2017 as plantas apresentavam-se no estágio fenológico frutificação F4 – 5,1 a 10,0 mm, F6 – maior 15 mm, maturação M1 – frutos verdes, M2 – verde cana, M3 – cereja, pós colheita, G2 - nós com gemas intumescidas, G2 - nós com gemas intumescidas, G5 – gemas de 6,1 a 10 mm, F1 – até 3,0 mm, F3 - 4,1 a 5,0 mm, F4 – 5,1 a 10 mm M1- frutos verdes, M1,

M2 – verde cana, M2 – verde cana e M3 – cereja respectivamente. Esses valores foram plotados em gráficos de incidência da doença ao longo do tempo.

Os valores obtidos da avaliação da incidência em folhas da ferrugem e da cercosporiose, foram integralizados em área abaixo da curva de progresso incidência da cercosporiose (AACPIC) e da ferrugem (AACPIF) segundo a equação 2, proposta por Shaner e Finney (1977).

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i+1} - T_i) \quad (2)$$

Em que:

AACPD= área abaixo da curva de progresso da doença,

Y_i = proporção da doença na i-ésima observação,

T_i = tempo em dias na i-ésima observação,

n= número total de observações.

Calculou-se a porcentagem de eficiência dos tratamentos, corrigindo-se a AACPIC e AACPIF pela fórmula de Abbott (1925) segundo a Equação 3.

$$E(\%) = \left(\frac{T - Tr}{T} \right) * 100 \quad (3)$$

Em que:

T= Testemunha,

Tr= Tratamento.

2.6 pH de calda de pulverização

Para a construção da curva de progresso do pH das caldas utilizou - se todos os produtos à base de cobre com a concentração de 500 g de cobre

metálico/400 litros de água ou seja 1250 ppm de Cu^+ , sendo que, quando informada em L ha^{-1} , converteu-se a mesma para concentração (% v/v ou m/v). Para isso, padronizou-se o volume de calda em 400 L ha^{-1} . Os produtos e suas respectivas concentrações são descritas na Tabela 1. As suspensões e soluções, após serem preparadas utilizando-se 50 mL de água destilada à temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, foram acondicionadas em recipientes plásticos com capacidade de 0,1 L para avaliar o pH da calda ao longo de 4 intervalos de tempo: 0, 1, 2 e 4 Horas após a mistura dos produtos em água. O pH foi medido diretamente nas soluções, utilizando-se peagâmetro portátil (AKSO, AK90[®]). Anteriormente à realização das leituras, os equipamentos foram calibrados por meio de soluções-padrão fornecidas pelo fabricante do aparelho (CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017).

2.7 Medição do tamanho de partículas

A medida do tamanho das partículas dos fungicidas cúpricos, ou mais especificamente, a distribuição dos diferentes tamanhos de partículas foi realizada por difração de raio laser no equipamento Mastersizer 2000 em cada amostra dos produtos Red Shield, Supera, Cuprogarb e Big Red. As amostras foram preparadas individualmente. Os produtos foram misturados em água deionizada com concentração de 0,025%. Em seguida, levados ao aparelho para a realização das medições da distribuição do tamanho das partículas e expressados em micrômetros (μm).

2.8 Produtividade

Nos anos agrícolas 2015/2016 e 2016/2017, a colheita das parcelas foi feita de forma manual sobre “pano”. Nos dias 16/05/2016 e 18/06/2018 foi realizada a derriça, sendo o volume em litros do café colhido da lavoura registrado, estimando-se, em seguida, a produtividade das parcelas

experimentais com base no volume (medidas de 60 litros), e estas transformadas em sacas/ha. Foi calculada a porcentagem de perdas de produtividade dos tratamentos em relação ao tratamento com maior produtividade, sendo esta igual a 0%.

2.9 Análise estatística

As variáveis significativas no teste F da análise de variância, foram submetidas ao teste de médias entre os tratamentos e comparadas por teste de Scott Knott. Os cálculos foram efetuados e os gráficos plotados, utilizando-se o software Microsoft® Excel® 2013. Foi utilizado, para a análise estatística do experimento, o programa Sisvar ® (FERREIRA, 2008) versão 4.0.

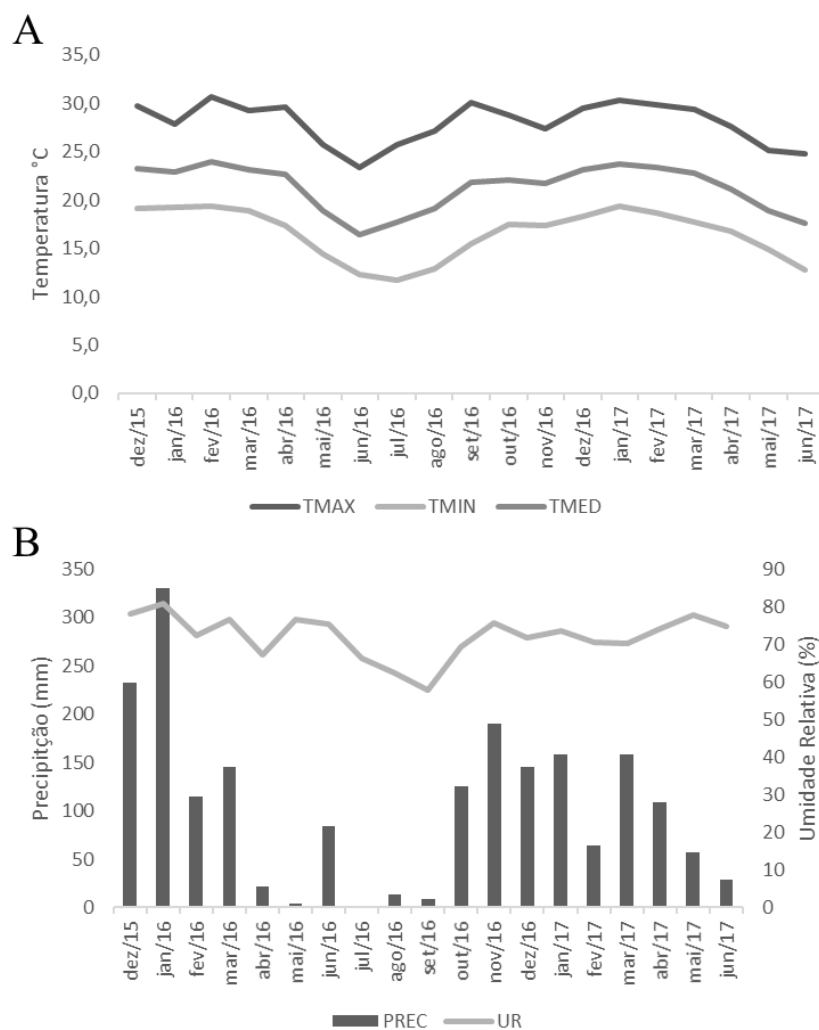
As curvas da variação do pH foram plotadas de acordo com os tempos amostrados.

3 RESULTADOS

3.1 Curva de progresso da ferrugem e da cercosporiose

As condições climáticas do experimento foram ideais para a ocorrência da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro, segundo Kushalappa e Chaves (1978), com temperaturas variando entre 11,70 e 30,7° C, média de 21,30°C e umidade relativa média de 72,20%, com pluviosidade total de 1991,8 mm durante a condução do experimento (FIGURA 1).

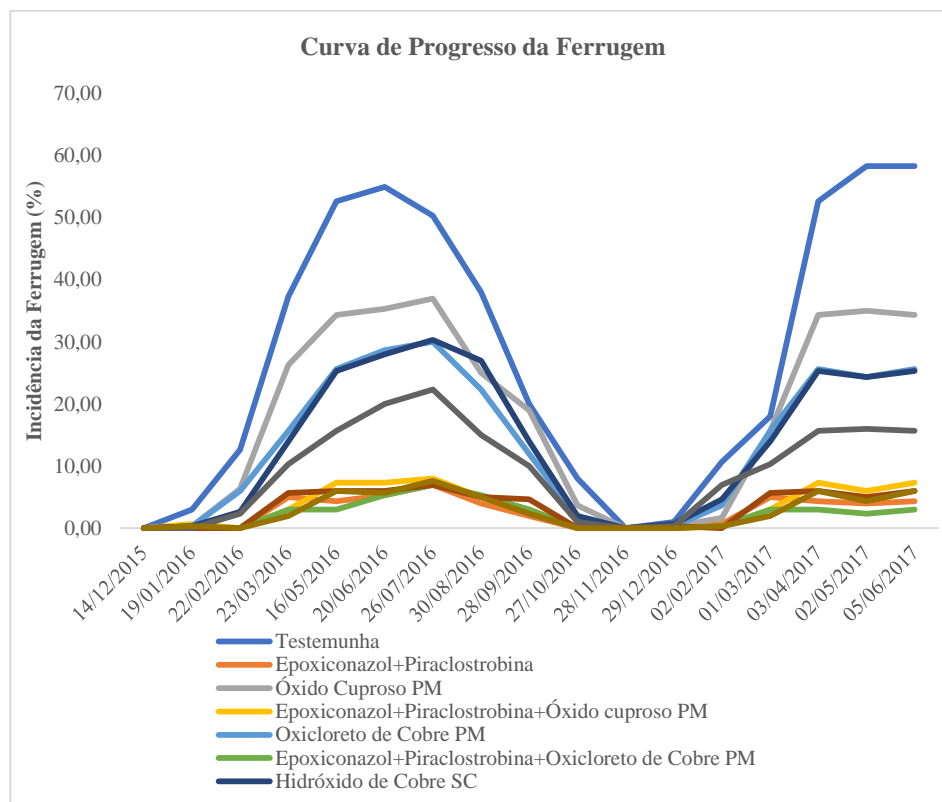
Figura 1 - Variáveis climatológicas registradas no campo experimental durante a condução do ensaio: (A) temperatura (°C) máxima, média e mínima; (B) umidade relativa (%) e precipitação (mm). UFLA, Lavras, MG, 2015 a 2017.



Fonte: Dados do autor (2018).

Durante todo o período de avaliação da Ferrugem, em folhas, foram registrados índices entre 0,00 a 58,33% de incidência (FIGURA 2).

Figura 2 - Curva de progresso da incidência da ferrugem (*Hemileia vastatrix*), em folhas, na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica*), nas diferentes datas de avaliações, em função dos fungicidas aplicados. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras - MG, 2015/2016 e 2016/2017.



Fonte: Dados do autor (2018).

Na primeira avaliação (14/12/2015), não foi observada incidência da doença nos tratamentos (TABELA 4). Na segunda avaliação (19/01/2016), todos os fungicidas foram superiores à testemunha. Já a partir da terceira avaliação (22/02/2016), tanto o fungicida epoxiconazole + piraclostrobina quanto sua mistura com qualquer uma das quatro moléculas de cobre foi superior à testemunha e aos cúpricos empregados separadamente ($p < 0,05$).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para a AACPIF, sendo que todos os tratamentos obtiveram incidências inferiores à testemunha. Os tratamentos Epoxiconazol + Piraclostrobina, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso PM, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Oxidocloreto de Cobre PM, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Hidróxido de Cobre SC e Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso SC foram superiores aos tratamentos com apenas fungicidas cúpricos e ainda houve diferença estatística entre eles, sendo o Óxido Cuproso SC, superior ao Oxidocloreto de Cobre PM e Hidróxido de Cobre SC e esses superiores ao Oxido de Cobre PM. Os tratamentos apresentaram eficiência, variando entre 35 e 90% em relação à testemunha (TABELA 5).

Tabela 4 - Incidência (%) da ferrugem (*H. vastatrix*), em folhas, na cultura do cafeeiro (*C. arabica*) nas diferentes datas de avaliações em função dos fungicidas aplicados. UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.

Tratamentos	Modo de aplicação	Doses ml p.c. ha ⁻¹	Avaliação da incidência da ferrugem									
			14/12/2015	19/01/2016	22/02/2016	23/03/2016	16/05/2016	20/06/2016	26/07/2016	30/08/2016	28/09/2016	27/10/2016
Testemunha	---	---	0,00 a	3,00 b	12,67 d	37,33 d	52,67 c	55,00 e	50,33 e	38,00 d	20,00 c	8,00 d
Epoxiconazol +Piraclostrobina	Foliar	1500	0,00 a	0,00 a	0,00 a	5,00 a	4,33 a	5,33 a	7,00 a	4,00 a	2,00 a	0,00 a
Óxido Cuproso PM	Foliar	670	0,00 a	0,33 a	6,33 c	26,33 c	34,33 b	35,33 d	37,00 d	25,00 c	19,00 c	3,67 c
Epoxiconazol + Óxido Cuproso PM	Foliar	1500+670	0,00 a	0,67 a	0,00 a	3,00 a	7,33 a	7,33 a	8,00 a	5,00 a	3,00 a	0,00 a
Oxicloreto de Cu	Foliar	1000	0,00 a	0,33 a	6,00 c	15,67 b	25,67 b	28,67 c	30,00 c	22,33 c	12,00 b	1,67 b
Epoxiconazol + Oxicloreto de Cu	Foliar	1500+1000	0,00 a	0,00 a	0,00 a	3,00 a	3,00 a	5,33 a	7,00 a	5,33 a	3,00 a	0,00 a
Hidróxido de Cu SC	Foliar	1500	0,00 a	0,33 a	2,67 b	14,00 b	25,33 b	28,00 c	30,33 c	27,00 c	14,00 b	2,00 b
Epoxiconazol + Hidróxido de Cu SC	Foliar	1500+1500	0,00 a	0,00 a	0,00 a	5,67 a	6,00 a	6,00 a	7,00 a	5,00 a	4,67 a	0,00 a
Óxido Cuproso SC	Foliar	1000	0,00 a	0,00 a	2,33 b	10,33 b	15,67 a	20,00 b	22,33 b	15,00 b	10,00 b	1,00 a
Epoxiconazol + Óxido Cuproso SC	Foliar	1500+1000	0,00 a	0,33 a	0,00 a	2,00 a	6,00 a	5,67 a	7,67 a	5,00 a	2,33 a	0,00 a
Coeficiente de variação (%)			0	140,83	32,27	39,02	49,27	18,05	9,21	17,32	30,78	56,75
Média			0	0,5	3,00	12,23	18,03	19,67	20,67	15,17	9,00	1,63

Fonte: Dados do autor (2018).

¹médias seguidas de mesma letra não diferem entre si nas colunas por teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); m: média da avaliação visual de incidência da ferrugem na parcela útil (média de três repetições); mLp.cha¹: mililitros de produto comercial por hectare; E (%): eficácia dos tratamentos segundo Abbott (1925); CV (%): coeficiente de variação.

Tabela 5 - Incidência em porcentagem (%) da ferrugem (*H. vastatrix*), em folhas, na cultura do cafeeiro (*C. arabica*) nas diferentes datas de avaliações em função dos fungicidas aplicados. UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.

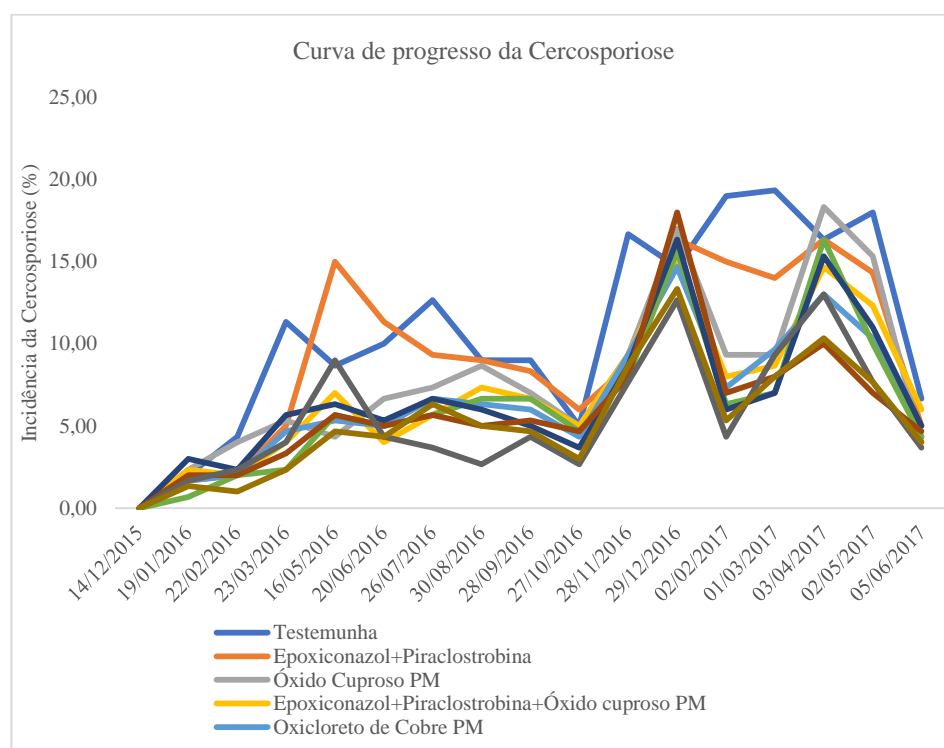
Tratamentos	Modo de aplicação	Doses ml p.c. ha ⁻¹	Avaliação da incidência da ferrugem							AACPIF	Eficiência (%)
			28/11/2016	29/12/2016	02/02/2017	01/03/2017	03/04/2017	02/05/2017	05/06/2017		
Testemunha	---	---	0,00 a	1,00 a	10,67 c	18,00 b	52,67 c	58,33 d	58,33 c	15556 e	0
Epoxiconazol + Piraclostrobina	Foliar	1500	0,00 a	0,00 a	0,67 a	5,00 a	4,33 a	4,00 a	4,33 a	1533 a	90,15%
Óxido Cuproso PM	Foliar	670	0,00 a	0,33 a	1,67 a	15,67 b	34,33 b	35,00 c	34,33 b	10162 d	34,67%
Epoxiconazol + Óxido Cuproso PM	Foliar	1500+670	0,00 a	0,00 a	0,33 a	3,00 a	7,33 a	6,00 a	7,33 a	1908 a	87,73%
Oxicloreto de Cu	Foliar	1000	0,00 a	0,33 a	3,67 a	15,67 b	25,67 b	24,33 b	25,67 b	7793 c	49,90%
Epoxiconazol + Oxicloreto de Cu	Foliar	1500+1000	0,00 a	0,00 a	0,33 a	3,00 a	3,00 a	2,33 a	3,00 a	1272 a	91,82%
Hidróxido de Cu SC	Foliar	1500	0,00 a	0,67 a	4,67 b	14,00 b	25,33 b	24,33 b	25,33 b	7783c	49,97%
Epoxiconazol + Hidróxido de Cu SC	Foliar	1500+1500	0,00 a	0,33 a	0,00 a	5,67 a	6,00 a	5,00 a	6,00 a	1888 a	87,86%
Óxido Cuproso SC	Foliar	1000	0,00 a	0,33 a	7,00 b	10,33 b	15,67 a	16,00 b	15,67 a	5303 b	65,91%
Epoxiconazol + Óxido Cuproso SC	Foliar	1500+1000	0,00 a	0,00 a	0,33 a	2,00 a	6,00 a	4,33 a	6,00 a	1558 a	89,98%
Coeficiente de variação (%)			0,00	234,83	83,44	35,90	49,27	31,16	37,64	19,52	
Média			0,00	0,30	2,93	9,23	18,03	17,97	18,60	547560%	65%

Fonte: Dados do autor (2018).

¹médias seguidas de mesma letra não diferem entre si nas colunas por teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); m: média da avaliação visual de incidência da ferrugem na parcela útil (média de três repetições); mLp.cha¹: mililitros de produto comercial por hectare; E (%): eficácia dos tratamentos segundo Abbott (1925); CV (%): coeficiente de variação.

Durante todo o período de avaliação da cercosporiose, em folhas, foram registrados índices entre 0,00 a 19,33% de incidência (FIGURA 3).

Figura 3 - Curva de progresso da incidência da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*), em folhas, na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica*), nas diferentes datas de avaliações, em função dos fungicidas aplicados. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras - MG, 2015/2016 e 2016/2017.



Fonte: Dados do autor (2018).

Na primeira avaliação (14/12/2015), não foi observada incidência da doença nos tratamentos (TABELA 6). Na segunda avaliação (19/01/2016), todos os fungicidas foram superiores à testemunha exceto Óxido Cuproso PM. Já a partir da terceira avaliação (22/02/2016), a associação do fungicida epoxiconazol

+ piraclostrobina em mistura com qualquer uma das quatro moléculas de cobre foi superior à testemunha e aos cúpricos empregados separadamente ($p < 0,05$).

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para a AACPIC, sendo que todos os tratamentos foram estatisticamente superiores à testemunha. Os tratamentos Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso PM, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Oxidocloreto de Cobre PM, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Hidróxido de Cobre SC e Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso SC, Óxido Cuproso PM, Oxidocloreto de Cobre PM, Hidróxido de Cobre SC e Óxido Cuproso SC foram estatisticamente superiores ao fungicida sistêmico Opera isolado. Os tratamentos Epoxiconazol + Piraclostrobina e Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso SC apresentaram eficiência variando entre 12,71 e 51,22%, respectivamente, em relação à testemunha (TABELA 7).

Tabela 6 - Incidência (%) da cercosporiose (*C. coffeicola*), em folhas, na cultura do cafeeiro (*C. arabica*) nas diferentes datas de avaliações em função dos fungicidas aplicados. UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.

Tratamentos	Modo de aplicação	Doses ml p.c. ha ⁻¹	Avaliação da incidência da cercosporiose									
			14/12/2015	19/01/2016	22/02/2016	23/03/2016	16/05/2016	20/06/2016	26/07/2016	30/08/2016	28/09/2016	27/10/2016
Testemunha	---	---	0,00 a	2,00 a	4,33 b	11,33 c	8,67 a	10,00 b	12,67 b	9,00 a	9,00 a	5,00 a
Epoxiconazol + Piraclostrobina	Foliar	1500	0,00 a	1,67 a	2,00 a	5,00 b	15,00 a	11,33 b	9,33 b	9,00 a	8,33 a	6,00 a
Óxido Cuproso PM	Foliar	670	0,00 a	2,33 a	4,00 b	5,33 b	4,33 a	6,67 a	7,33 a	8,67 a	7,00 a	5,00 a
Epoxiconazol + Óxido Cuproso PM	Foliar	1500+670	0,00 a	2,33 a	2,00 a	4,00 b	7,00 a	4,00 a	5,67 a	7,33 a	6,67 a	5,00 a
Oxicloreto de Cu	Foliar	1000	0,00 a	1,67 a	2,00 a	4,67 b	5,33 a	5,00 a	6,67 a	6,33 a	6,00 a	4,33 a
Epoxiconazol + Oxicloreto de Cu	Foliar	1500+1000	0,00 a	0,67 a	2,00 a	2,33 a	5,67 a	5,00 a	5,67 a	6,67 a	6,67 a	4,67 a
Hidróxido de Cu SC	Foliar	1500	0,00 a	3,00 a	2,33 a	5,67 b	6,33 a	5,33 a	6,67 a	6,00 a	5,00 a	3,67 a
Epoxiconazol + Hidróxido de Cu SC	Foliar	1500+1500	0,00 a	2,00 a	2,00 a	3,33 a	5,67 a	5,00 a	5,67 a	5,00 a	5,33 a	4,67 a
Óxido Cuproso SC	Foliar	1000	0,00 a	1,67 a	2,33 a	4,00 b	9,00 a	4,33 a	3,67 a	2,67 a	4,33 a	2,67 a
Epoxiconazol + Óxido Cuproso SC	Foliar	1500+1000	0,00 a	1,33 a	1,00 a	2,33 a	4,67 a	4,33 a	6,33 a	5,00 a	4,67 a	3,00 a
Coeficiente de variação (%)			0	81,64	45,43	18,42	50,16	40,51	28,95	37,86	25,76	55,81
Média			0	1,87	2,40	4,80	7,17	6,10	6,97	6,57	6,30	4,40

Fonte: Dados do autor (2018).

¹médias seguidas de mesma letra não diferem entre si nas colunas por teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); m: média da avaliação visual de incidência da ferrugem na parcela útil (média de três repetições); mLp.cha¹: mililitros de produto comercial por hectare; E (%): eficácia dos tratamentos segundo Abbott (1925); CV (%): coeficiente de variação.

Tabela 7 - Incidência (%) da cercosporiose (*C. coffeicola*), em folhas, na cultura do cafeeiro (*C. arabica*) nas diferentes datas de avaliações em função dos fungicidas aplicados. UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.

Tratamentos	Modo de aplicação	Doses ml p.c. ha ⁻¹	Avaliação da incidência da cercosporiose							AACPIC	Eficiência (%)
			28/11/2016	29/12/2016	02/02/2017	01/03/2017	03/04/2017	02/05/2017	05/06/2017		
Testemunha	---	---	16,67 b	14,67 a	19,00 b	19,33 c	16,33 a	18,00 d	6,67 a	5941 c	0,00%
Epoxiconazol + Piraclostrobina	Foliar	1500	8,67 a	16,33 a	15,00 b	14,00 b	16,33 a	14,33 c	5,00 a	5186 b	12,71%
Óxido Cuproso PM	Foliar	670	9,33 a	17,00 a	9,33 a	9,33 a	18,33 a	15,33 c	4,00 a	4300 a	27,62%
Epoxiconazol + Óxido Cuproso PM	Foliar	1500+670	9,33 a	15,33 a	8,00 a	8,67 a	14,67 a	12,33 c	6,00 a	3802 a	36,01%
Oxicloreto de Cu	Foliar	1000	9,33 a	14,67 a	7,33 a	9,67 a	13,00 a	10,33 b	4,33 a	3576 a	39,81%
Epoxiconazol + Oxicloreto de Cu	Foliar	1500+1000	8,00 a	15,67 a	6,33 a	7,00 a	16,33 a	10,00 b	4,33 a	3435 a	42,17%
Hidróxido de Cu SC	Foliar	1500	8,67 a	16,33 a	6,00 a	7,00 a	15,33 a	11,00 b	5,00 a	3689 a	37,91%
Epoxiconazol + Hidróxido de Cu SC	Foliar	1500+1500	8,00 a	18,00 a	7,00 a	8,00 a	10,00 a	7,00 a	4,67 a	3274 a	44,88%
Óxido Cuproso SC	Foliar	1000	7,67 a	12,67 a	4,33 a	9,33 a	13,00 a	7,67 a	3,67 a	3058 a	48,52%
Epoxiconazol + Óxido Cuproso SC	Foliar	1500+1000	8,67 a	13,33 a	5,33 a	8,00 a	10,33 a	7,67 a	4,00 a	2898 a	51,22%
Coeficiente de variação (%)			20,73	22,57	32,96	15,27	21,09	16,84	43,80	10,91	
Média			9,43	15,40	8,77	10,03	14,37	11,37	4,77	3916,12	34%

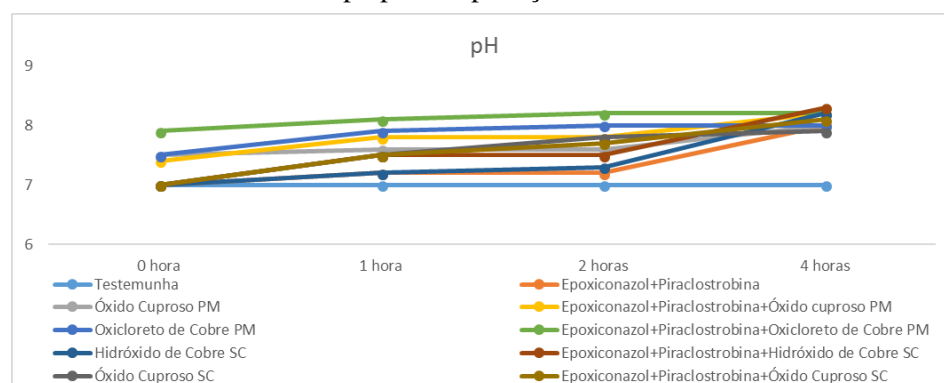
Fonte: Dados do autor (2018).

¹médias seguidas de mesma letra não diferem entre si nas colunas por teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); m: média da avaliação visual de incidência da ferrugem na parcela útil (média de três repetições); mLp.cha¹: mililitros de produto comercial por hectare; E (%): eficácia dos tratamentos segundo Abbott (1925); CV (%): coeficiente de variação.

3.2 Efeito no pH da calda em relação ao tempo

O pH da calda de pulverização variou com os produtos adicionados a água e com o tempo após a mistura dos mesmos com a água, de 7 a 8,3 (FIGURA 4).

Figura 4 - Curva de progresso do pH da calda de pulverização em função da mistura e do tempo para a aplicação.



Fonte: Dados do autor (2018).

Em relação ao aumento de pH, quando verificado no tempo 0 não houve alteração para o tratamento Testemunha, Epoxiconazol + Piraclostrobina, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Hidróxido de Cobre SC, Hidróxido de Cobre SC, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso SC e Óxido Cuproso SC, enquanto houve aumento instantâneo nos tratamentos Óxido Cuproso PM, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso PM, Óxicloreto de Cobre PM e Epoxiconazol + Piraclostrobina + Oxicloreto de Cobre PM com pH de 7,5, 7,4, 7,5 e 7,9 respectivamente. Uma hora após a mistura apenas a Testemunha não alterou o pH e os valores dos demais tratamentos ficaram entre 7,2, o tratamento Epoxiconazol + Piraclostrobina (mínimo) até 8,1 para Epoxiconazol + Piraclostrobina + Oxicloreto de Cobre PM (máximo). Duas horas após os tratamentos Epoxiconazol + Piraclostrobina + Oxicloreto de Cobre PM,

Hidróxido de Cobre SC, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso SC e Óxido Cuproso SC tiveram seus valores aumentados em 10% de média. E quatro horas após a mistura com exceção da Testemunha, todos os tratamentos tiveram aumento de 1,1 ponto de pH da calda de pulverização ou 15,1%, em média, em relação ao tempo zero (TABELA 8).

Tabela 8 - Efeito do pH na calda de pulverização após a mistura dos produtos à água. UFLA, Lavras, 2017.

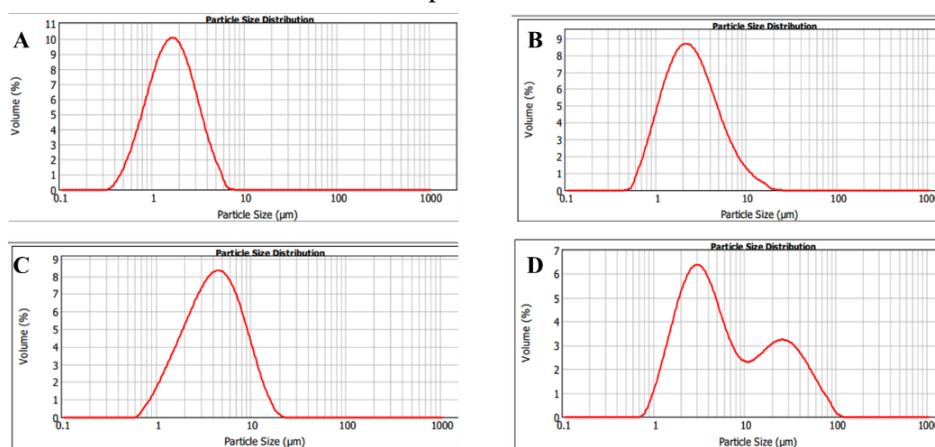
Tempo/ Tratamento	0 hora	% de aumento de pH	1 hora	% de aumento de pH	2 horas	% de aumento de pH	4 horas	% de aumento de pH
Testemunha	7		7		7		7	
Epoxiconazol+Piraclostrobina	7	0,0%	7,2	2,9%	7,2	2,9%	8	14,3%
Óxido Cuproso PM	7,5	7,1%	7,6	8,6%	7,6	8,6%	8	14,3%
Epoxiconazol+Piraclostrobina +Óxido cuproso PM	7,4	5,7%	7,8	11,4%	7,8	11,4%	8,2	17,1%
Oxicloreto de Cobre PM	7,5	7,1%	7,9	12,9%	8	14,3%	8	14,3%
Epoxiconazol+Piraclostrobina +Oxicloreto de Cobre PM	7,9	12,9%	8,1	15,7%	8,2	17,1%	8,2	17,1%
Hidróxido de Cobre SC	7	0,0%	7,2	2,9%	7,3	4,3%	8,2	17,1%
Epoxiconazol+Piraclostrobina +Hidróxido de Cobre SC	7	0,0%	7,5	7,1%	7,5	7,1%	8,3	18,6%
Óxido Cuproso SC	7	0,0%	7,5	7,1%	7,8	11,4%	7,9	12,9%
Epoxiconazol+Piraclostrobina +Óxido Cuproso SC	7	0,0%	7,5	7,1%	7,7	10,0%	8,1	15,7%

Fonte: Dados do autor (2018).

3.3 Tamanho e distribuição do tamanho de partículas

O tamanho e a distribuição das partículas dos produtos à base de cobre foram diferentes, principalmente na distribuição do tamanho das partículas e intervalos de tamanhos diferentes.

Figura 5 - Distribuição do tamanho de partículas dos fungicidas cúpricos. A: Óxido Cuproso SC, B: Oxicloreto de Cobre PM, C: Hidróxido de Cobre SC e D: Óxido Cuproso PM.



Fonte: Dados do autor (2018).

Para interpretar os gráficos acima é importante entender a unidade de medida do 'Mattersizer'[®], o qual apresenta as seguintes informações: d (0,1) significa 10% das partículas do material utilizado estão abaixo de X µm, d (0,5) significa 50% das partículas do material utilizado estão abaixo de X µm e d (0,9) significa 90% das partículas do material utilizado estão abaixo de X µm. A uniformidade da distribuição das partículas é maior quanto menor for o intervalo entre o d (0,1) e o d (0,9).

O fertilizante foliar Óxido Cuproso SC apresenta d (0,1) de 0,777 µm, d (0,5) 1,663 µm e d (0,9) 3,480 µm (Figura 5A). O fungicida Oxicloreto de Cobre PM apresenta d (0,1) de 1,046 µm, d (0,5) 2,373 µm e d (0,9) 6,166 µm

(FIGURA 5B). O fungicida Hidróxido de Cobre SC apresenta d (0,1) de 1,554 μm , d (0,5) 4,093 μm e d (0,9) 9,525 μm (Figura 5C). O fungicida Óxido Cuproso PM apresenta d (0,1) de 1,717 μm , d (0,5) 4,972 μm e d (0,9) 37,893 μm (FIGURA 5D).

Os produtos apresentam tamanhos diferentes e distribuição das partículas em intervalos diferentes. O menor tamanho de partículas foi observado para o Óxido Cuproso SC. E a distribuição do tamanho de partículas do Óxido Cuproso PM foi o mais desuniforme.

Tabela 9 - Distribuição do tamanho das partículas de cobre dos diferentes produtos.

Produtos	Distribuição do tamanho das partículas (μm)		
	d (0,1)	d (0,5)	d (0,9)
Óxido Cuproso PM	1,717	4,972	37,893
Oxicloreto de Cobre PM	1,046	2,373	6,166
Hidróxido de Cobre SC	1,554	4,093	9,525
Óxido Cuproso SC	0,777	1,663	3,480

Fonte: Dados do autor (2018).

3.4 Produtividade e perdas

Em relação à produtividade, houve diferença significativa entre os tratamentos na colheita do ano 2016, 2017 e na média do biênio ($p < 0,05$) (TABELA 9). A média de produtividade de cada parcela ficou entre 19,00 a 40,00 sacas.ha⁻¹, sendo os tratamentos Epoxiconazol + Piraclostrobina + Oxicolreto de Cobre PM, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Hidróxido de Cobre SC e Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso SC superiores a Epoxiconazol + Piraclostrobina, Epoxiconazol + Piraclostrobina + Óxido Cuproso PM e Óxido Cuproso SC. E todos esses tratamentos estatisticamente

superiores à Testemunha e aos demais tratamentos (TABELA 9). Ou seja, as maiores produtividades observadas foram nos tratamentos, quando houve a associação do fungicida sistêmico aos fungicidas, seguido de, apenas, o fungicida sistêmico, fungicidas cúpricos e as maiores perdas observadas no tratamento testemunha.

Tabela 10 -Produtividade (sacas beneficiadas de 60 kg ha⁻¹) do cafeeiro de acordo com os diferentes fungicidas aplicados. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.

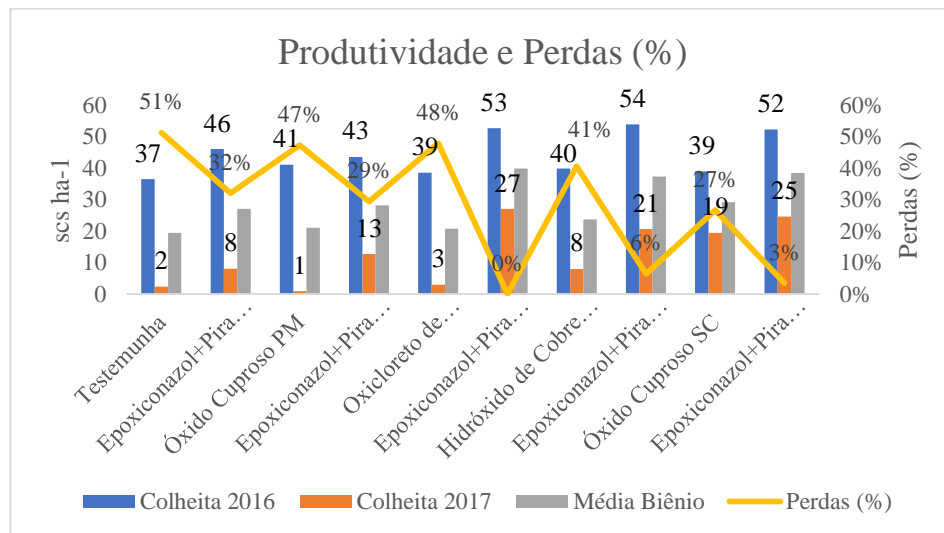
Tratamentos	Produtividade scs ha ⁻¹			Perdas* (%) Média Biênio
	Colheita 2016	Colheita 2017	Média Biênio	
Testemunha	37 b	2 b	19 c	51%
Epoxiconazol+Piraclostrobina	46 b	8 b	27 b	32%
Óxido Cuproso PM	41 b	1 b	21 c	47%
Epoxiconazol+Piraclostrobina+Óxido cuproso PM	43 b	13 b	28 b	29%
Oxicloreto de Cobre PM	39 b	3 b	21 c	48%
Epoxiconazol+Piraclostrobina+Oxicloreto de Cobre PM	53 a	27 a	40 a	0%
Hidróxido de Cobre SC	40 b	8 b	24 c	41%
Epoxiconazol+Piraclostrobina+Hidróxido de Cobre SC	54 a	21 a	37 a	6%
Óxido Cuproso SC	39 b	19 a	29 b	27%
Epoxiconazol+Piraclostrobina+Óxido Cuproso SC	52 a	25 a	38 a	3%
Coeficiente de variação (%)	14,28	57,27	15,26	
Média	44,26	12,64	28,45	

Fonte: Dados do autor (2018).

*- Em relação à maior produtividade (Opera + Cuprogarb).

Em relação a perda de produtividade média, observou-se a Testemunha com 19,00 scs ha⁻¹, ou seja, 51% de decréscimo em relação a produtividade do tratamento de Epoxiconazol + Oxicloreto de Cobre com 40 scs ha⁻¹ (FIGURA 6).

Figura 6 - Produtividade (sacas beneficiadas de 60 kg ha⁻¹) e perdas de produção (%) do cafeeiro de acordo com os diferentes fungicidas aplicados. Departamento de Cafeicultura, UFLA, Lavras, MG, 2015/2016 e 2016/2017.



Fonte: Dados do autor (2018).

4 DISCUSSÃO

No presente trabalho, observam-se diferentes tamanhos de partículas dos diferentes produtos aplicados, afetando diretamente a área coberta por cobre e coincidentemente verificaram-se diferentes eficiências de controle entre eles. Observou-se maior controle dos patógenos com produtos apresentando 90 % da distribuição de partículas abaixo de 9,525 μm (D90). O cobre é uma substância protetora não sistêmica, que age por contato e é pouco absorvida pela cutícula da folha, desde que não esteja na forma de quelatos. Afeta a membrana plasmática de patógenos (RUPARELIA et al., 2008), paralisando a multiplicação celular e agindo como agente bacteriostático (ORDAX et al., 2006). Assim, deve ser distribuído uniformemente em folhas para ser eficiente no controle tanto de fungos quanto de bactérias (GISI; SIEROTZKI, 2008), dependendo da escolha do produto, da dose de aplicação e, principalmente, da tecnologia de aplicação. Para o controle de *Hemileia vastatrix* deve ser posicionado principalmente na superfície abaxial, onde o patógeno penetra por estômatos. A forma e o tamanho das partículas têm grande influência no seu efeito como material antimicrobiano. Para as bactérias, a presença de cargas positivas na superfície das mesmas facilita a ligação com a sua superfície, negativa, e pode resultar em melhor efeito bactericida (DIZAJ et al., 2014). De modo geral, a distribuição e a absorção das mesmas em sistemas biológicos dependem do seu tamanho, sendo as interações preferenciais com as moléculas orgânicas são determinadas pela sua forma (ANANTH et al., 2015).

Outro fator determinante para o aumento de eficiência do controle de doenças é a qualidade físico química da calda de pulverização. Pouco se conhece ainda sobre o efeito dessa alteração química com especificidade de mistura, pelo número elevado de produtos existentes no mercado. Cunha e Alves (2009) alertam para os cuidados a serem tomados na composição das caldas de

aplicação, pois características como pH, por exemplo, podem interferir na eficácia de alguns produtos. A redução do pH reduz a hidrólise alcalina de produtos sensíveis à calda com pH elevado. Neste estudo, houve elevação do pH para todos os tratamentos avaliados, inclusive o fungicida Opera isolado. Essa elevação de pH difere dos resultados encontrados por Cunha, Alves e Marques (2017), pois os autores encontraram um valor de pH 6,04 quando o produto foi adicionado em água destilada e essa diferença pode estar associada tanto a esse fato, pois foi utilizada água em estado natural, quanto a concentração do produto na calda pois são diferentes nesses estudos. Porém, elevações consideráveis para a associação dos fungicidas com os cúpricos com valores de aumento de ponto de 1 ponto de pH só foram observadas 2 horas após a mistura dos produtos com a água. Para o controle da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro, todos os tratamentos foram aplicados com no máximo 1 hora após o preparo. Nesse caso, houve acréscimo de eficiência no controle da cercosporiose e não prejudicou a eficiência do fungicida sistêmico no controle da ferrugem. Porém, devem ser avaliadas as aplicações com intervalos maiores entre o preparo da calda e a pulverização. No campo, esse intervalo geralmente é maior, podendo variar de 1 a 12 horas. Ainda no caso de alguns herbicidas, a exemplo do glifosato, têm sua eficiência elevada na planta com a redução do pH da água a valores próximos a 4,0 (WANAMARTA; PENNER, 1989). Dessa forma, é importante consultar o fabricante para verificar a faixa de pH ideal para cada produto.

A maior eficiência de fungicidas cúpricos misturados a sistêmicos, principalmente, no caso da cercosporiose, pode ser decorrente da pulverização ter sido realizada em até uma hora após o preparo da calda e também em razão da resistência do patógeno. Segundo Santos (2015), em experimento *in vitro*, os ingredientes ativos azoxystrobina, flutriafol, ciproconazol e epoxiconazol apresentaram CIM acima da dosagem utilizada no campo, portanto, segundo a classificação de Yan et al. (2014), o isolado utilizado de *C. coffeicola* foi

altamente resistente a esses ingredientes ativos. Assim como tem sido praticado em outros patossistemas a associação de fungicidas protetores multissítios visando ao aumento da eficiência de controle e a vida útil das moléculas químicas (MUELLER et al., 2013).

E para esse somatório de opções para o manejo integrado de doenças, a concentração de cobre depositado sobre a folha do hospedeiro é de suma importância. No presente trabalho, foram utilizadas doses de $1250 \text{ mg Cu}^+ \text{ L}^{-1}$ na concentração da calda de pulverização e com resultados positivos no controle da ferrugem e cercosporiose. No caso do oxiclreto de cobre, o fungicida reduziu significativamente o crescimento micelial da *Cercospora coffeicola* com o aumento da sua concentração no meio de cultura. A $1500 \text{ mg Cu}^+ \text{ L}^{-1}$, o crescimento micelial é totalmente inibido (LOMBARDI, 2002). No caso de aplicações, visando ao controle da cercosporiose no campo Pozza, Zambolim e Pozza (1997) sugerem concentrações acima de $1500 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ para o melhor controle da doença. Essa concentração superior deve-se, provavelmente, à perda por deriva, por não atingir o alvo, por absorção da planta e por interagir com ânions tanto da calda aplicada quanto nas superfícies foliares, impedindo obter a dose mínima de controle.

Além do controle direto do fungo, inibindo a germinação dos esporos o cobre é nutriente essencial para as culturas, inclusive o cafeeiro. Oliveira (2017) observou o aumento da atividade da enzima peroxidase e o aumento do teor de lignina das folhas com aplicação de Big Red, o teor da testemunha foi de $11,7 \mu\text{g}$ de lignina mg^{-1} de massa seca, enquanto a aplicação de cobre proporcionou $20,4 \mu\text{g}$ de lignina mg^{-1} de massa seca. Ainda o autor relata maior controle da mancha aureolada do tratamento com cobre apresentando 50,3% de redução da doença. Um dos efeitos indiretos do cobre na resistência à infecção deve-se a sua participação na síntese de lignina, uma barreira parcial à sua penetração (TAIZ; ZEIGER, 2017).

As doenças afetaram a produtividade do cafeeiro, foram observadas reduções de 3,0% a 51,00%. Na literatura, foram relatadas perdas de 15 a 30% para a Cercosporiose (CARVALHO; CUNHA; CHALFOUN, 2005) e de 35 a 50% para a ferrugem do cafeeiro (GARÇON et al., 2004). Essas perdas atribuídas às doenças foliares do cafeeiro devem-se à desfolha prematura e à formação de lesões, responsáveis por reduzir a área fotossintética da planta e, em alguns casos, com conseqüente morte dos ramos plagiotrópicos (SAMAYOA; SANCHEZ, 2000; SANTOS, 2006).

Assim, a preocupação com a qualidade da calda, o tamanho de partículas e a utilização de fungicidas cúpricos são fundamentais para o manejo das doenças do cafeeiro. Proporcionando aumentos de produtividade e uso racional de fungicidas sistêmicos preservando a ação do grupo químico por mais tempo.

5 CONCLUSÕES

Ocorreu menor incidência das doenças e aumento da produtividade para todos aos tratamentos.

A maior perda de produção ocorreu para o tratamento testemunha, em razão da ocorrência de alta incidência de ferrugem e da cercosporiose.

Houve aumento na eficiência do controle da cercosporiose com a associação de fungicidas cúpricos ao fungicida sistêmico.

Houve aumento do pH de todos os tratamentos quando misturados à água em função do tempo.

O produto Óxido Cuproso SC apresentou o menor tamanho de partícula, seguido do produto Oxiclreto de Cobre PM, Hidróxido de Cobre SC e Óxido Cuproso PM sucessivamente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos em relação aos fungicidas cúpricos, novos estudos devem ser realizados para a verificação da eficiência de misturas após tempos diferentes do preparo da calda, além de estudar os teores de cobre no tecido foliar após a aplicação dos fungicidas.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café – INCT-Café, no auxílio financeiro e concessão de bolsas e ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economy Entomology**, Lanham, v. 18, p. 265-267, 1925.
- ANANTH, A. et al. Copper oxide nanomaterials: synthesis, characterization and structure-specific antibacterial performance. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 262, p. 179-188, Feb. 2015.
- CARVALHO, V. L. de; CUNHA, R. L. da; CHALFOUN, S. M. Manejo das doenças do cafeeiro para a cafeicultura familiar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, p. 86-101, 2005.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB.
Acompanhamento da safra brasileira: café: quarto levantamento: Brasília: CONAB, 2017. 84 p.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S. Características físicoquímicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. **Interciência**, Catanduva, v. 34, n. 9, p. 655-659, 2009.
- CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 261-270, jun. 2017.
- DIZAJ, S. M. et al. Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles. **Materials Science and Engineering. C. Biomimetic Materials, Sensors and Systems**, Lausanne, v. 44, p. 278-284, Nov. 2014.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, jan. 2008.
- FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE - FRAC. **Fungicides sorted by mode of action ((including FRAC Code numbering)**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2017-final.pdf?sfvrsn=fab94a9a_2>. Acesso em: 11 fev. 2018.

GARCIA JÚNIOR, D. et al. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, maio/jun. 2003.

GARÇON, C. L. P. et al. Controle da ferrugem do cafeeiro com base no valor de severidade. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 5, p. 486-491, set./out. 2004.

GISI, U.; SIEROTZKI, H. Fungicide modes of action and resistance in downy mildews. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 122, n. 1, p. 157-167, Sept. 2008.

GODOY, C. V.; BERGAMIN FILHO, A.; SALGADO, C. L. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: KIMATI, H. **Manual de fitopatologia: doenças de plantas e seu controle**. 3 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v. 2, p. 184-200.

GRANER, E. A.; GODOY JUNIOR, C. **Manual do cafeicultor**. Rio de Janeiro: Melhoramentos, 1967. 320 p.

JULIATTI, F. C. Modo de ação dos fungicidas sobre plantas e fungos. In: SIMPÓSIO SOBRE RELAÇÕES ENTRE NUTRIÇÃO MINERAL E INCIDÊNCIA DE DOENÇAS DE PLANTAS, 2005, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: Potafós, 2005. p. 1-19.

KUSHALAPPA, A. C.; CHAVES, G. M. Uma escala para estimar a intensidade foliar de ferrugem do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 3, p. 119, 1978.

LOMBARDI, A. P. Z. **Caracterização patogênica, morfológica, fisiológica, molecular e sensibilidade a fungicida de *Cercospora coffeicola***. 2002. 125 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2002.

MUELLER, D. S. et al. **Fungicides for field crops**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2013. 120 p.

OLIVEIRA, D. A. de M. **Proteção do cafeeiro contra a mancha aureolada e análises de enzimas envolvidas no metabolismo fenólico e lignina**. 2017. 38 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

ORDAX, M. et al. Survival strategy of *Erwinia amylovora* against copper: induction of the viable-but-nonculturable state. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 72, n. 4, p. 3482-3488, May 2006.

PEREIRA, R. B.; MOURA, A. P.; PINHEIRO, J. B. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos em cultivo protegido de tomate e pimentão. **Circular Técnica**, Brasília, n. 144, p. 1-20, maio 2015.

PINTO, A. C. S. et al. Descrição da epidemia da ferrugem do cafeeiro com redes neuronais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 517-524, set./out. 2002.

POZZA, A. A. et al. 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, jan. 2001.

POZZA, A. A. A.; ZAMBOLIM, L.; POZZA, E. A. Controle químico da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola*) do cafeeiro em condições de viveiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 4, p.543-545, 1997.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: Ed. UFLA, 2010. p. 69-101.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: MACHADO, A. K. F. M. et al. (Ed.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos: Suprema, 2012. p. 259-282.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RODRIGUES, M. A. T. **Classificação de fungicidas de acordo com o mecanismo de ação proposto pelo FRAC**. 2006. 249 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

RUPARELIA, J. P. et al. Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles. **Acta Biomaterialia**, Kidlington, v. 4, n. 3, p. 707-716, May 2008.

SAMAYOA, J. O. J.; SANCHEZ, V. G. Enfermedades foliares em café orgânico y convencional. **Manejo Integrado de Plagas**, Turrialba, n. 58, p. 9-19, 2000.

SANTOS, F. S. **Epidemiologia e manejo de doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob cultivo orgânico**. 2006. 146 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

SANTOS, L. A. **Resistência de *Cercospora coffeicola* a fungicidas**. 2015. 70 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

WANAMARTA, G.; PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. **Weed Science**, Champaign, v. 4, p. 215-231, 1989.

YAN, H. J. et al. First report of pyrimethanil resistance in *Botrytis cinerea* from stored apples in Pennsylvania. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 98, n. 7, p. 999, July 2014.