



GABRIEL BRANDÃO VASCO

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA
FERRUGEM DO CAFEIEIRO E SUA RELAÇÃO
COM O CLIMA E A NUTRIÇÃO MINERAL
COM K E B**

LAVRAS – MG

2016

GABRIEL BRANDÃO VASCO

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO E
SUA RELAÇÃO COM O CLIMA E A NUTRIÇÃO MINERAL
COM K E B**

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

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza

Orientador

Profa. Dra. Adélia Aziz Alexandre Pozza

Dra. Marília Goulart da Silva

Coorientadores

LAVRAS – MG

2016

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

Vasco, Gabriel Brandão.

Análise espaço temporal da ferrugem do cafeeiro e sua relação
com o clima e a nutrição mineral com K e B / Gabriel Brandão

Vasco. – Lavras : UFLA, 2016.

116 p. : il.

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

Orientador: Edson Ampélio Pozza.

Bibliografia.

1. *Hemileia vastatrix*. 2. Nutrição de plantas. 3. Variabilidade
espacial. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

GABRIEL BRANDÃO VASCO

**ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO E
SUA RELAÇÃO COM O CLIMA E A NUTRIÇÃO MINERAL
COM K E B**

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

APROVADA em 19 de Abril de 2016.

Prof. Dr. Mário Sobral de Abreu	UFLA
Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Alves	UFLA
Prof. Dr. Rubens José Guimarães	UFLA
Dr. Hudson Teixeira	EPAMIG

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

Profa. Dra. Adélia Aziz Alexandre Pozza
Dra. Marília Goulart da Silva
Coorientadores

LAVRAS – MG

2016

Aos meus pais, José Vasco e Leila Lorenti Brandão Vasco; aos avós João (*in memoriam*) e Tereza, pelo ensinamento, amor, compreensão, carinho, amizade e esforços dedicados à realização dos meus objetivos.

Aos meus irmãos, Beatriz e Matheus, que me apoiaram nas horas mais difíceis, sendo muito importantes para a minha formação.

A todos os cafeicultores, pesquisadores, extensionistas que acreditam e propiciam melhorias na cafeicultura.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Fitopatologia, pela excelente formação acadêmica, incluindo a realização do Doutorado.

Ao meu orientador, professor Edson Ampélio Pozza, pela oportunidade, ensinamentos, aconselhamentos, amizade e confiança inegáveis, durante o curso de graduação e pós-graduação.

À coorientadora professora Adélia Aziz Alexandre Pozza, pelas oportunidades, apoio e sugestões durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos membros da banca examinadora: pesquisador Hudson e professores Mário Sobral de Abreu, Paulo Estevão de Souza e Rubens Guimarães, por me honrarem com sua participação, assim como as valiosas contribuições.

A toda equipe de trabalho: Marília Goulart, Mirian Silva, Eugênio Chaves, Gabriel Avelar Dornelas, Paulo Victor de Azevedo Paula, Leandro Alvarenga, Mauro Peraro e Aurivan de Souza, pela enorme contribuição para a concretização desta tese.

A todos os amigos e colegas do Laboratório de Epidemiologia e Controle, pelo auxílio, companheirismo e bons momentos compartilhados ao longo dos anos.

A todos os professores do Departamento de Fitopatologia e aos funcionários deste mesmo Departamento, pelo total apoio e aprendizado no decorrer do curso.

A todos os amigos e colegas de pós-graduação, por terem me apoiado nos trabalhos em grupos.

A todos os meus familiares, em especial meus irmãos Matheus e Beatriz, pelo amor e apoio incondicional e, principalmente, aos meus pais, José e Leila, pelo constante incentivo e apoio aos estudos.

A todos os colegas da faculdade e da república Kana Sutra, pelas horas de diversão e lazer que me proporcionaram.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), por conceder a bolsa de estudos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT Café), por fomentar a execução dos experimentos.

A todos os diretores, gerentes e amigos da empresa Agrichem do Brasil S/A, por me apoiarem e incentivarem a realizar este trabalho.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta tese, assim como para o meu crescimento pessoal e profissional.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO GERAL

A ferrugem (*Hemileia vastatrix*) é a principal doença do cafeeiro. Fatores como a carga pendente da lavoura, plantios adensados, desequilíbrio nutricional, déficit hídrico, entre outros favorecem o progresso da doença. Para minimizar os danos da doença e aumentar a produtividade dos cafeeiros com sustentabilidade é necessário conhecer como essas variáveis podem influenciar a ferrugem. Nesse contexto, a nutrição mineral de plantas pode aumentar ou reduzir a suscetibilidade às doenças, interferindo nas estruturas histológicas e/ou morfológicas, contribuindo para formar estruturas e compostos de resistência. Dessa forma, foram realizados três ensaios enfatizando o equilíbrio nutricional dos nutrientes B, K e P no manejo da ferrugem do cafeeiro. Foram realizados experimentos em casa de vegetação, em parcelas experimentais e também em grandes áreas de produção irrigadas. O primeiro ensaio objetivou-se avaliar o efeito dos K e B na incidência e severidade da ferrugem e no desenvolvimento de mudas do cafeeiro via solução nutritiva. Os tratamentos consistiram de 5 doses de boro (0,05; 0,50; 1; 2 e 4 mg L⁻¹) e 5 doses de potássio (4,0; 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0 mmol L⁻¹). Ocorreu interação entre os nutrientes potássio (K) e boro (B) afetando a intensidade da ferrugem do cafeeiro. A partir da dose de 1 mg L⁻¹ de B foi observado aumento da intensidade da ferrugem do cafeeiro com redução do peso da planta seca. No segundo ensaio objetivou-se avaliar a interação entre doses de K e B na incidência da ferrugem (*H. vastatrix*) do cafeeiro em campo experimental. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro doses de K (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ K₂O) e quatro de B (0; 1; 2 e 4 kg ha⁻¹ de B). Para a área abaixo do progresso da incidência (AACPDI) não houve interação significativa entre as doses de K e B. No entanto, na análise foliar observou-se correlação positiva para os nutrientes K, B, Cu e Fe com a AACPDI, ou seja, houve aumento da incidência da ferrugem do cafeeiro com o aumento dos teores desses nutrientes, devido ao desbalanço nutricional nas maiores doses de K e B. No terceiro ensaio objetivou-se avaliar o padrão espacial da relação entre a ferrugem e a nutrição da planta em lavoura cafeeira irrigada por pivô central. Houve dependência espacial da ferrugem do cafeeiro com os teores de P, K e B. A maior incidência da ferrugem do cafeeiro ocorreu nas áreas com os menores teores de P e K e os maiores teores de B.

Palavras-chave: *Hemileia vastatrix*. Potássio. Boro. Geoestatística. Distribuição espacial.

ABSTRACT

The coffee rust (*Hemileia vastatrix*) is the main disease of this culture. The high coffee yields, density plantations, nutritional imbalance, drought, among others are responsible for the occurrence and progress of the disease. To minimize the damage of the disease and increase the productivity of coffee plants with sustainability is necessary to know the influencing factors such as water, light, nutrition and cultural management. In this context, the plant nutrition has the ability to increase or reduce susceptibility to diseases, interfering with histologic and morphological structures in tissue functions in virulence and the pathogen's ability to survive. Thus, there were three trials emphasizing the nutritional balance of nutrients B, K and P in the coffee rust management. Experiments were conducted in a greenhouse, in experimental plots and in large areas of irrigated production. The first trial aimed to evaluate the effect of K and B in the rust incidence and severity and dry weight of coffee seedlings in nutrient solution. The treatments consisted of 5 boron doses (0.05, 0.50, 1, 2 and 4 mg L⁻¹) and 5 potassium doses (4.0, 5.0, 6.0, 7.0 and 8.0 mmol L⁻¹). Positive interaction between nutrients potassium (K) and boron (B) affecting the intensity of coffee rust. From the dose of 1 mg L⁻¹ B was an increase in coffee rust intensity with reducing the dry weight of seedlings. The second study aimed to evaluate the interaction between doses of K and B in the incidence of rust (*H. vastatrix*) of coffee in the experimental field. The experimental design was a randomized block design, with four doses of K (0, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹ K₂O) and four of B (0, 1, 2 and 4 kg ha⁻¹ B). For area under incidence progress curve (AACPD) there was no significant interaction between doses of K and B. However, in foliar positive correlation was observed for nutrients K, B, Cu and Fe, which means increased coffee rust incidence with increased levels of these nutrients. This was due to nutritional imbalance in higher doses of K and B. In the third trial aimed to evaluate the spatial pattern of the relationship between rust and plant nutrition in irrigated coffee crop by center pivot. There was spatial dependence of coffee rust with P and K and B. The highest incidence of coffee rust occurs in areas with lower levels of P and K and the highest levels of B in leaves.

Keywords: *Hemileia vastatrix*. Potassium. Boron. Geostatistics. Spatial distribution.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro (AACPDI) em função das doses de potássio (K) e boro (B) em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2016.....43
- Figura 2 - Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem do cafeeiro (AACPDS) em função das doses de potássio (K) e boro (B) em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2015.....44
- Figura 3 - Peso da planta seca da parte da raiz (PR), da parte aérea (PPA) e do total (PR + PPA) em função das doses de boro (B) em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2015.....45
- Figura 4 - Teor nutricional dos nutrientes B (FIGURA 4A) e K (FIGURA 4B) em função das doses de boro (B) em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2015.....46

CAPÍTULO 3

- Figura 1 - Curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro (A), enfolhamento (B) e comportamento das variáveis meteorológicas obtidas na estação climatológica principal de Lavras (C, D) entre o período de 18/11/2012 a 09/10/2014.....65
- Figura 2 - Área abaixo da curva de progresso da doença para incidência (AACPI) da ferrugem (*H. vastatrix*) do cafeeiro (*C. arabica*), nos anos 1 (novembro de 2012 e outubro de 2013) e 2 (novembro de 2013 a outubro de 2014).....67
- Figura 3 - Produtividade do cafeeiro, em kg ha^{-1} , nos anos 1 (novembro de 2012 e outubro de 2013) e 2 (novembro de 2013 a outubro de 2014).68

Figura 1 - Área experimental com os pontos amostrais georreferenciados em Carmo do Rio Claro – MG.....	87
--	----

CAPÍTULO 4

Figura 1 - Curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro (A), enfolhamento (B) e das médias mensais das variáveis climáticas temperatura máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), umidade relativa média (UMed) e precipitação acumulada (Precip.) (C,D) coletadas externamente à copa entre o período de 02/02/2013 a 27/12/2014, na área de pivô central.....	94
Figura 2 - Krigagem da incidência da ferrugem (%) nas datas 17/04/2013, 08/06/2013, 24/08/2013, 10/02/2014, 04/06/2014 e 18/08/2014.....	98
Figura 3 - Krigagem das análises foliares de fósforo (g/Kg) no mês de outubro de 2013 e 2014.	99
Figura 4 - Krigagem das análises foliares de potássio (g/Kg) no mês de outubro de 2013 e 2014.	100
Figura 5 - Krigagem das análises foliares de boro (mg/Kg) no mês de outubro de 2013 e 2014.	101

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Coeficiente de correlação entre os nutrientes K e B com a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da ferrugem do cafeeiro, peso da parte aérea (PPA), peso da raiz (PR) e Total (PR + PPA).	46
--	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Coeficientes de correlação entre a incidência da ferrugem do cafeeiro nas diferentes variáveis climáticas, no período entre nov./2012 e out./2014.	66
Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre os nutrientes da análise foliar realizado no ensaio, com a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPDI) da ferrugem do cafeeiro.	68

CAPÍTULO 4

Tabela 1 - Coeficientes de correlação entre a incidência da ferrugem do cafeeiro e as variáveis climatológicas ocorridas nos trinta dias anteriores à avaliação da doença, no período entre fev./2013 e dez./2014 interna e externo à copa.	95
Tabela 2 - Coeficientes de correlação da produtividade de 2013 e 2014 com a área abaixo da curva de progresso da doença para incidência (AACPDI).	96
Tabela 3 - Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas relativos às 3 avaliações de incidência de ferrugem, de cada ano, e referente às análises foliares de fósforo, potássio e boro, em 2013 e 2014, respectivamente.	97

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Progresso da ferrugem do cafeeiro.....	17
2.2 Irrigação na cultura do cafeeiro.....	18
2.3 Nutrição mineral de plantas	21
2.4 Geoestatística	25
REFERÊNCIAS	29
CAPÍTULO 2 UTILIZAÇÃO DO K E B NA INTENSIDADE DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	35
1 INTRODUÇÃO	37
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3 RESULTADOS.....	43
4 DISCUSSÃO.....	47
5 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	51
CAPÍTULO 3 INTENSIDADE DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO EM FUNÇÃO DE DOSES DE POTÁSSIO (K) E DE BORO (B) NO CAMPO EXPERIMENTAL	55
1 INTRODUÇÃO	57
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
3 RESULTADOS.....	65
4 DISCUSSÃO.....	69
5 CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS	75
CAPÍTULO 4 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA ENTRE A FERRUGEM DO CAFEIEIRO E OS NUTRIENTES P, K E B EM LAVOURA IRRIGADA.....	81
1 INTRODUÇÃO	83
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	87
3 RESULTADOS.....	93
4 DISCUSSÃO.....	103
5 CONCLUSÕES	109
REFERÊNCIAS	111

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

Durante os últimos 10 anos, o produto interno bruto (PIB) brasileiro sofreu altas variações decorrentes do momento econômico. Nesse contexto, o agronegócio é o principal pilar da economia e responsável por resultados favoráveis na balança comercial. Entre as principais culturas do agronegócio destacam-se a soja, a cana-de-açúcar, o milho e o café. Para a cultura do cafeeiro, a estimativa de produção da safra 2015/2016 é de 52 milhões de sacas, sendo o Sul do estado de Minas Gerais a principal região produtora, com 26% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016). Dentre os principais fatores responsáveis por reduzir a produtividade do cafeeiro e a qualidade do café citam-se as doenças, especialmente, a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) e a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Broome) (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

A intensidade dessas doenças no campo pode variar de acordo com o manejo da cultura (POZZA et al., 2012), da carga pendente da lavoura (CARVALHO; CHALFOUN; PEREIRA, 2001), da fertilidade do solo (ALVES et al., 2009) e da nutrição mineral das plantas (CUSTÓDIO et al., 2011; POZZA et al., 2000; LIMA et al., 2010). Já a interação dessas variáveis pode resultar em maior ou menor intensidade da doença, variando, principalmente, em função da intervenção do homem em fatores como a fertilidade do solo, o manejo da água e a nutrição de plantas (POZZA et al., 2012; POZZA; POZZA, 2003).

O método e o sistema de irrigação utilizados também podem influenciar no progresso de doenças, pois modificam a disponibilidade de nutrientes para as plantas e alteram o microclima da parte aérea. Sem água, os nutrientes não são disponibilizados e as barreiras químicas e físicas das plantas ficam fragilizadas, facilitando a infecção e a colonização de patógenos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Por

isso, a irrigação suplementar na cafeicultura tem se mostrado vantajosa, devido ao cenário atual de mudanças climáticas, com ganhos acumulados de produção na ordem de até 250% (MARSCHNER, 2012).

Além do manejo da água, a fertilidade do solo e a nutrição mineral de plantas realizadas de forma correta e equilibrada podem ser utilizadas como complemento ou método alternativo na redução e no controle de doenças, pois auxiliam na formação de barreiras de resistência às doenças, principalmente as horizontais (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012). Entre os nutrientes minerais, o fósforo (P), o potássio (K) e o boro (B) têm funções importantes nas plantas. O primeiro é o componente integral de compostos importantes das células vegetais (fosfolipídios) e de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas (ATP) e no DNA e RNA. O segundo é o responsável por regulação osmótica, por abertura de estômatos e transporte de carboidratos solúveis. O terceiro é constituinte da hemicelulose presente na parede celular e no transporte de açúcares por meio das membranas (FAQUIN, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Entretanto, a distribuição irregular dos nutrientes ao longo da área dificulta a tomada de decisão do produtor, que busca melhor emprego dos defensivos, maior sustentabilidade ambiental e financeira. Portanto, novas metodologias de apoio à decisão, como análises de sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto, geoestatística e estatística, podem auxiliar a identificar as causas e efeitos da variação do ambiente. Principalmente, ao longo da área de plantio e seu efeito no hospedeiro, no patógeno e a doença resultante dessa interação (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; DIGGLE; RIBEIRO JÚNIOR, 2007; ISSAAKS; SRIVASTAVA, 1989; JENSEN, 2007). Com isso, a geoestatística contribui para realizar análise de dependência espacial da variável analisada. Por exemplo, se uma planta doente tem relação com outra em

determinada distância, seja do seu inóculo ou por estarem em mesma área de solo, com deficiência de determinado nutriente e/ou déficit hídrico.

Diante dos fatos abordados, objetivou-se com este trabalho:

- a) Avaliar o efeito dos nutrientes K e B na intensidade da ferrugem do cafeeiro em solução nutritiva;
- b) Verificar a intensidade da ferrugem do cafeeiro, o enfolhamento das plantas e a produtividade da lavoura em diferentes doses de K e B em campo experimental;
- c) Utilizar técnicas clássicas e de agricultura de precisão para avaliar a distribuição espacial da fertilidade do solo, da nutrição mineral de plantas e da ferrugem do cafeeiro em relação aos nutrientes P, K e B em área com irrigação do tipo pivô central.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Progresso da ferrugem do cafeeiro

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 foi em 1869, no Ceilão, atual Sri Lanka, feito por J.M. Berkeley (MCCOOK; VANDERMEEN, 2015). Já 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 alaranjada, mais visíveis contra a luz, de difícil diagnóstico, devido à 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). De acordo com Pinto et al. (2002) 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.

Fatores como a carga pendente da lavoura, 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 (CARVALHO; CHALFOUN, 1998, 1999; POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010; SILVA-ACUÑA, 1985; WARD, 1882). A carga pendente da lavoura favorece o desequilíbrio nutricional, decorrente do dreno de

nutrientes. Em lavouras com alta carga de frutos e deficiência no fornecimento de nutrientes ou desequilíbrio entre eles, a tendência é aumentar a suscetibilidade das plantas à infecção do patógeno (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). O molhamento foliar 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). Essa água pode ser fornecida via chuva, orvalho ou por meio da irrigação do tipo aspersão, a qual interfere na intensidade da doença. Com o passar do tempo, observa-se intensa esporulação de cor alaranjada. 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 consequente 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).

2.2 Irrigação na cultura do cafeeiro

A produtividade de uma cultura é influenciada por dois fatores importantes, o suprimento de água e de nutrientes (TAIZ; ZEIGER, 2013). A deficiência ou a falta desses fatores pode ocasionar danos severos à lavoura.

O plantio do cafeeiro em zonas consideradas marginais e a busca por maiores produtividades tornam-se possíveis com o uso da irrigação, que fornece suprimento de água e nutrientes às plantas, proporcionando o crescimento e o desenvolvimento destas. Com isso, o uso da irrigação, por aspersão ou gotejamento, em cafezais tem crescido nos últimos anos, em decorrência do cenário de mudanças climáticas observadas em muitas regiões cafeeiras (RODRIGUES et al., 2005). De acordo com Faria e Rezende (1997), mesmo em áreas aptas para o cultivo do café, como o Sul de Minas, tem-se a necessidade da irrigação suplementar. Isso por causa do efeito das estiagens nos períodos críticos, como na fase de enchimento dos grãos, por exemplo, prejudicando o desenvolvimento da lavoura. Além disso, o uso da irrigação pode conferir maior resistência a algumas doenças, quando comparado ao cultivo não irrigado, pois a falta de umidade no solo pode acarretar em deficiência e/ou desequilíbrios nutricionais, afetando as barreiras de resistência das plantas e, conseqüentemente, a intensidade de doença na área (FERNANDEZ-BORRERO; MESTRE; DUQUE, 1966).

Contudo, a irrigação do tipo aspersão pode modificar o microclima da lavoura, alterando as condições do ambiente e aumentando o período de molhamento foliar, diferente em relação ao cultivo não irrigado (ROTEM; PALTÍ, 1969). Esse fato, provavelmente, contribui para o aumento da incidência de doenças (CARVALHO; CHALFOUN, 1999; OLANYA; PORTER; LAMBERT, 2010; VALE et al., 2004). Por outro lado, a irrigação por vários outros sistemas afeta a turgidez dos órgãos das plantas, com tendência a manter os estômatos abertos, podendo facilitar a entrada de alguns patógenos (ROTEM; PALTÍ, 1969).

Vários pesquisadores relataram resultados negativos da interação da irrigação com o progresso da doença no cafeeiro. Carvalho e Chalfoun (1998) e Juliatti et al. (1998) estudaram a influência do método de irrigação no progresso

da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro. Os autores observaram maiores intensidades das doenças nos tratamentos com a irrigação por pivô central, com lâmina de irrigação de 100 mm mês⁻¹, quando comparado ao irrigado por gotejamento, malha perfurada (60, 80 e 100 mm mês⁻¹) ou ao tratamento não irrigado. Com isso, o molhamento foliar proporcionado na irrigação por pivô central favoreceu a intensidade destas doenças. Já Gomes et al. (2002) avaliaram a ferrugem do cafeeiro em lavoura irrigada por pivô central sob diferentes lâminas de água. Os autores observaram menor incidência da doença nas lâminas de irrigação de 100, 120 e 140% de evaporação do tanque classe 'A' (ECA), comparados às lâminas de 60 e 80% de ECA ou ao tratamento não irrigado. Segundo os autores, possivelmente, as maiores lâminas de irrigação favoreceram a remoção dos esporos de *H. vastatrix* das folhas.

De acordo com Boldini (2001), trabalhando com a severidade da ferrugem em cafeeiro irrigado, por gotejamento, com diferentes lâminas de irrigação (0, 40, 60, 80 e 100% ECA), observou menor severidade da doença no tratamento não irrigado e maior na máxima lâmina de irrigação aplicada (100% ECA). Segundo a autora, isso ocorreu devido ao fato de as maiores lâminas terem proporcionado maior produtividade e enfolhamento da lavoura. Porém, Miranda et al. (2006) observaram maior severidade da doença no tratamento não irrigado quando comparado aos tratamentos irrigados, devido à dificuldade de absorção dos nutrientes pela planta em função do déficit hídrico no tratamento não irrigado. O mesmo resultado foi observado por Custódio et al. (2010), trabalhando com o aspecto epidemiológico da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado por pivô central, no município de Lavras (MG). Os autores observaram nas maiores lâminas de irrigação maior enfolhamento e menor incidência e severidade da ferrugem, e maior intensidade da doença no tratamento não irrigado e menor na lâmina acima de 100% Kc.

De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), deve-se evitar o prolongamento do período de molhamento das folhas e do colo das plantas. Sendo necessário realizar a irrigação durante a noite, quando o orvalho já está presente, e aumentar o turno de irrigação. Portanto, em cultivos irrigados, estudos são indispensáveis para relacionar os aspectos epidemiológicos de doenças de planta com relação aos métodos e à quantidade de água fornecida pela irrigação, pois, para a ferrugem do cafeeiro pode ocorrer redução ou aumento da doença, dependendo do agroecossistema.

2.3 Nutrição mineral de plantas

Para maximizar a produtividade dos cafeeiros com sustentabilidade é necessário conhecer os fatores influenciadores no crescimento, desenvolvimento e na composição dos mesmos, como água, luz, CO₂, temperatura, genótipo, nutrição e manejo cultural. É preciso conhecer também as funções e sintomas de deficiência nutricional, os níveis de extração na planta e no solo, além das formas químicas nas quais são absorvidos (CARVALHO et al., 2010; MARSCHNER, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Neste contexto, a nutrição mineral de plantas tem a capacidade de aumentar ou reduzir a suscetibilidade às doenças, interferindo nas estruturas histológicas e/ou morfológicas, nas funções dos tecidos, na virulência e na habilidade do patógeno em sobreviver. A deficiência de nutrientes necessários para sintetizar compostos químicos e barreiras físicas pode resultar em suscetibilidade da planta às doenças. Por outro lado, a resistência pode surgir quando elementos químicos essenciais à atividade patogênica estão ausentes (MARSCHNER, 2012).

Entre os 13 nutrientes minerais essenciais para qualquer cultura vegetal crescer e desenvolver destacam-se o fósforo (P), o potássio (K) e o boro (B). O P é o nutriente mais deficiente na maioria dos solos brasileiros, devido à

capacidade de adsorver na argila presente nos nossos solos. Porém, é o nutriente mais limitante na produtividade do cafeeiro (FAQUIN, 2005). Esse nutriente desempenha papel fundamental nas transformações energéticas dos processos vitais da planta, tais como fotossíntese, respiração, síntese de aminoácidos, lipídeos, entre outros, que são realizadas às custas de compostos fosforados, como o difosfato e trifosfato de adenosina (ADP e ATP) (CARVALHO et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). Entretanto, a relação do P no manejo da doença ainda é pouco estudada. Graham e Menge (1982) estudando a doença conhecida como mal-do-pé, na cultura do trigo, atribuiu o controle da doença à melhor absorção de P pelas micorrizas e, assim, favoreceu o crescimento das plantas. Em contraste com estes efeitos de aplicações de P no solo, as aplicações foliares de fosfato podem ser eficazes no controle de organismos patogênicos, conferindo resistência local ou sistêmica (MARSCHNER, 2012). Porém, o mecanismo no qual o P induz essa resposta ainda não é claro. No entanto, o fosfato aplicado às raízes das plantas de pepino, cultivadas hidroponicamente, melhorou sua resistência ao míldio, indicando mecanismo de defesa baseado na nutrição (REUVENI et al., 2000). Ainda são escassos os trabalhos relacionando doses de P com a incidência de doenças em cafeeiro. Com isso, estudos são indispensáveis para relacionar os aspectos da doença com a quantidade do nutriente na planta.

O K é o segundo nutriente mais exigido podendo proporcionar aumento ou redução da produtividade (CARVALHO et al., 2010). É considerado um dos nutrientes de maior influência sobre as doenças, sendo a ele atribuído efeito benéfico na sanidade de plantas na maioria das espécies estudadas (PERRENOUD, 1990). Desempenha papel fundamental nas reações do metabolismo de plantas (MCNEW, 1953). O K é o responsável por regulação osmótica, por abertura de estômatos e transporte de carboidratos solúveis. A realização de adubação adequada e equilibrada com esse nutriente resulta em

menor incidência de doença, em razão do aumento da resistência à penetração e ao crescimento e desenvolvimento de patógenos (CARVALHO et al., 2010; MARSCHNER, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em relação à resistência às doenças, a utilização apenas de K ou sua combinação com outros nutrientes pode afetar o patógeno e alterar a intensidade de algumas doenças. Carvalho et al. (1996), trabalhando com os teores foliares de N e K, em diferentes fases de desenvolvimento dos frutos, cargas pendentes e épocas de desbaste, com a evolução da ferrugem do cafeeiro, observaram a maior incidência da doença quando apresentaram os menores teores de N e K na planta. Custódio (2008), trabalhando com adubação de Ca e K na incidência da ferrugem do cafeeiro, observou menor progresso da doença nas doses medianas de calcário aplicado (2 t ha^{-1}). As doses entre 0 a 100 Kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) foram responsáveis por menores amplitudes na variação da intensidade da doença, reafirmando a necessidade de equilíbrio entre nutrientes.

Para o patossistema cercosporiose do cafeeiro e nutrição mineral, Pozza et al. (2000), estudando a adubação de potássio (K) e nitrogênio (N) em solução nutritiva, observaram relação direta da doença com a nutrição potássica. Com o aumento da nutrição potássica ocorreu o aumento da intensidade da doença. Segundo os autores, o excesso de K induz a deficiência de cálcio e, com isso, favorece a entrada do patógeno na parede celular. Portanto, a adubação equilibrada de K e N foi a medida eficaz no manejo da doença (POZZA et al., 2000).

Para o patógeno *Phoma tarda*, Lima et al. (2010), trabalhando com mudas de cafeeiro em solução nutritiva com diferentes doses de N/K, observaram o desequilíbrio da relação N/K. Essa relação promoveu alterações no estado nutricional e influenciou a intensidade da doença. Ocorreu aumento linear da intensidade da doença com aumento das doses de nitrogênio. Para o K, o aumento das doses resultou numa redução quadrática até a dose de $7,0 \text{ mmol}$

L⁻¹. Já para o Ca e o K, Catarino (2011), trabalhando com mudas de cafeeiro em solução nutritiva, obteve a menor área abaixo da curva de progresso da incidência da mancha de phoma quando utilizou doses equilibradas de Ca (2 mmol.L⁻¹) e de K (7 mmol.L⁻¹). Para a severidade da doença, obteve a menor área abaixo da curva de progresso (27,19) quando utilizaram-se as menores doses de Ca (2 mmol.L⁻¹) e de K (3 mmol.L⁻¹).

Além desses nutrientes, destacam-se outros elementos com potencial para modificar a intensidade da doença. O B, junto com o Zn, são os micronutrientes mais deficientes nos solos brasileiros (FAQUIN, 2005; MALAVOLTA, 2006). O B participa do metabolismo dos fenóis, do ácido ribonucléico (RNA), na translocação dos açúcares, na atividade dos ácidos giberélicos e na atividade da amilase (ANDRADE, 2001), e isso interfere indiretamente na intensidade da doença. Além dessas funções, o elemento é importante na estrutura da parede celular, lignificação e na maior estabilidade da membrana plasmática (reduz o extravasamento do K, açúcares e aminoácidos), resultando em efeito benéfico para redução da severidade de doenças (BROWN et al., 2002; CARVALHO et al., 2010; DORDAS, 2008; FAQUIN, 2005; MARSCHNER, 2012). No entanto, a função do B na resistência a patógenos ainda é pouco compreendida (BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998; BROWN et al., 2002), podendo este ser um micronutriente importante na defesa contra microrganismos.

Para a ferrugem do cafeeiro, Carvalho et al. (1996) trabalharam a relação dos teores de B na intensidade da ferrugem do cafeeiro. Os autores concluíram não haver relação do B com a ferrugem do cafeeiro. Porém, outros autores mencionaram a deficiência de B interferindo na incidência de algumas doenças. De acordo com Dordas (2008) e Marschner (1995), o boro reduziu doenças causadas por *Plasmodiophora brassicae*, *Fusarium solani*, *Verticillium*

albo-atrum, *Tobacco mosaic virus*, *Tomato yellow leaf curl virus*, *Gaeumannomyces graminis* e *Blumeria graminis*.

Existem poucos trabalhos relacionando doses de B com a incidência de doenças em cafeeiro, desse modo, estudos são indispensáveis para relacionar os aspectos da doença com a quantidade do nutriente na planta. Atualmente, a aplicação de B na cafeicultura está crescendo, em razão do aumento dos sintomas de deficiência no campo e, também, a possibilidade de ser importante nutriente na composição de barreiras contra patógenos.

2.4 Geoestatística

A geoestatística é parte da estatística espacial derivada da teoria das variáveis regionalizadas, na qual utiliza-se análise exploratória, semivariogramas e krigagens para analisar os dados georreferenciados (BURROUGH; MCDONELL, 1998; MATHERON, 1971). É empregada em apoio à análise e monitoramento de componentes dos sistemas ambiental e agrícolas, a fim de caracterizar causas e efeitos de variações do ambiente, hospedeiro, patógeno e manejo, e o resultado dessa interação na doença (ALVES et al., 2012).

O primeiro ensaio com a utilização da geoestatística foi em 1951 quando Krige, trabalhando com dados de concentração de ouro, observou a importância da distância da amostragem para encontrar sentido nas variâncias (FARIAS et al., 2002, 2003; LANDIM, 2006). Em 1971, Matheron desenvolveu a “Teoria das Variáveis Regionalizadas”, na qual uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, variando de um ponto a outro com continuidade aparente, mas as variações não podem ser representadas por uma função matemática simples. Essa continuidade, ou dependência espacial, pode ser estimada por meio do semivariograma, principal componente da geoestatística (LANDIM, 2006, MACHADO; BERNARDI; SILVA, 2004).

Após o conhecimento do semivariograma, é possível realizar a predição espacial da variável estudada (ALVES et al., 2012). Por meio do mapa de krigagem, pode-se avaliar a distribuição espacial do patógeno ao longo da área (ALVES et al., 2006, 2011), com base na predição espacial de valores não observados, a fim de verificar a ocorrência de padrões espaciais na área, bem como as injúrias causadas nas plantas, de modo a se formular estratégias e táticas de manejo da doença na lavoura ou no reflorestamento.

De acordo com Alves et al. (2006), as vantagens da geoestatística em relação aos métodos tradicionais são 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. Com isso, Bedimo et al. (2007), trabalhando com a distribuição espacial da “Coffee Berry Disease” causada por *Colletotrichum kahawae*, ao longo do tempo, indicaram a contaminação das plantas em parcelas a partir da primeira árvore de café infectado. Os autores fizeram uma análise dos semivariogramas, dos mapas de dispersão da doença obtidos por krigagem e com isso, foram observados focos de infecção primária em ambos os terrenos.

Para o patossistema sigatoka-amarela, em bananeira, Freitas (2013) correlacionou a distribuição espacial da doença com a fertilidade do solo e a nutrição de plantas. O gride principal apresentou moderado grau de dependência espacial com alcance de 193,71 m e o subgride apresentou agregação ou reboleira, com forte grau de dependência espacial, com alcance de 6,58 m, ajustando o modelo exponencial para ambos os grades. Nos mapas de krigagem ordinária, foi possível constatar a relação positiva entre a severidade da Sigatoka-amarela e os teores de fósforo, nitrogênio, potássio e cálcio e negativa aos teores de magnésio, cobre e manganês. Para a distribuição espacial da sigatoka-negra em relação à fertilidade do solo, Uchoâ et al. (2011) verificaram forte dependência espacial da severidade da doença, com alcance de 25,28 m. Os

mapas de krigagem demonstraram padrão agregado e relação negativa da severidade da doença com os teores de potássio e positiva com teores de enxofre no solo, ou seja, encontraram menor severidade da doença em áreas com altos níveis de potássio e maior severidade da sigatoka-negra, em áreas com maiores teores de enxofre.

Portanto, a geoestatística é uma ferramenta importante para o manejo das culturas, pois possibilita identificar a magnitude e o grau de distribuição espacial de determinada doença e correlacioná-las com a fertilidade do solo, nutrição mineral e o ambiente.

REFERÊNCIAS

- 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.
- ALVES, M. C. et al. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: SIMPOSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: Núcleo de Estudo em Fitopatologia, 2012. p. 283-302.
- ALVES, M. C. et al. Modeling spatial variability and pattern of mat and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of pest Science**, Berlin, v. 82, n. 2, p. 137-148, May 2009.
- ALVES, M. C. et al. The potential of geostatistics and geographic information systems in pest eradication. **Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, União Europeia, v. 6, n. 2, p. 1-14, Feb. 2011.
- ANDRADE, C. E. **Calagem e adubação do café**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 130 p.
- BEDIMO, J. A. M. et al. Spatio-temporal dynamics of arabica Coffee Berry Disease caused by *Colletotrichum kahawae* on a plot scale. **Plant Disease**, Estados Unidos, v. 91, n. 10, p. 1229-1236, Oct. 2007.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2006. 625 p.
- BLEVINS, D. G.; LUKASZEWSKI, K. M. Boron in plant structure and function. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Estados Unidos, v. 49, n. 3, p. 481-500, June 1998.
- 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.
- BROWN, P. H. et al. Boron in plant biology. **Plant Biology**, New York, v. 4, n. 2, p. 205-223, June 2002.

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

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: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

CARVALHO, V. L. et al. Influencia da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 401-405, jun. 1996.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. **Controle da ferrugem**: a importância da época de execução. Lavras: Epamig, 1999. (Circular Técnico, 104). 44 p.

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

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M.; PEREIRA, M. C. Efeito de alterações climáticas sobre o progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1248-1252, set./out. 2001. Suplemento.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café**: safra 2016: volume 1. Brasília: CONAB, 2016. 68 p.

CUSTÓDIO, A. A. P. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado sob pivô central**. 2008. 71 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

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

CUSTÓDIO, A. A. 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.

DIGGLE, P. L.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Model-based geostatistic**. New York: Springer, 2007. 230 p.

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

FAQUIN, V. **Nutrição de plantas**. Lavras: Editora da UFLA, 2005. 183 p.

FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. **Irrigação na cafeicultura**. Lavras: Editora da UFLA, 1997. 110 p.

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.

FARIAS, P. R. S. et al. 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, Jan. 2002.

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**, Chinchiná, v. 47, n. 1, p. 5-16, Jan. 1966.

FREITAS, A. S. **Sigatoka-amarela da bananeira em função da nutrição mineral em solução nutritiva e da distribuição espacial da fertilidade do solo**. 2013. 80 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

GOMES, N. M. et al. Evolução da ferrugem (*H. vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*C. arabica* L.) sob diferentes regimes de irrigação por pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: [s.n.], 2002. p. 222-224.

GRAHAM, J. H.; MENGE, J. A. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza and soil phosphorus on take-all disease of wheat. **Phytopathology**, Estados Unidos, v. 72, n. 1, p. 95-98, Jan. 1982.

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

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

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. et al. Incidência da *Cercospora coffeicola* no café irrigado de Araguari-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 24., Poços de Caldas. **Trabalhos Apresentados...** Rio de Janeiro: IBC, 1998. p. 212-213.

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

LIMA, L. M. 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. 2010.

MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C.; SILVA, A. C. **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: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Ney York: Academic Press, 1995. 887 p.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris: EII • Cole National Supèr • Rieure des Mines, 1971. 211 p.

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

MCNEW, G. L. **Plant diseases**. Washington: USDA Yearbook of Agriculture, 1953. 940 p.

MIRANDA, J. C. et al. Intensidade da ferrugem em cafeeiro fertirrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 885-891, jan./fev. 2006.

OLAYNA, O. M.; PORTER, G. A.; LAMBERT, D. H. Supplemental irrigation and cultivar effects on potato tuber diseases. **Australian Journal of Crop Science**, Australia, v. 4, n. 1, p. 29-36, Jan. 2010.

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2. ed. Bern: International Potash Institute, 1990. 363 p.

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. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: SIMPOSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: Núcleo de Estudo em Fitopatologia, 2012.

POZZA, A. A. A. et al. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, Estados Unidos, v. 26, p. 29-34, 2000.

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: Editora da 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.

REUVENI, R. et al. Systemic resistance against *Sphaerotheca fuliginea* in cucumber plant exposed to phosphate in hydroponics system, and its control by foliar spray of mono-potassium phosphate. **Crop Protect**, Estados Unidos, v. 19, n. 5, p. 355-361, May 2000.

RODRIGUES, S. B. S. et al. Avaliação do efeito de diferentes dosagens de nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na produtividade de cafeeiros na região de Viçosa, MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2005. 1 CD-ROM.

ROTEM, J.; PALTI, J. Irrigation and plant diseases. **Annual Review Phytopathology**, London, v. 7, n. 2, p. 267-288, Feb. 1969.

SILVA-ACUÑA, R. **Fatores que influenciam o progresso da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk.&Br.)**. 1985. 91 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

UCHÔA, C. D. 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, mar. 2011.

VALE, F. X. R. do et al. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas. In: VALE, F. X. R. do; JESUS JÚNIOR, W. C. de; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. p. 49-87.

WARD, H. M. Research on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the coffee leaf disease. **Journal of the Linnean Society (Botany)**, 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.

CAPÍTULO 2 UTILIZAÇÃO DO K E B NA INTENSIDADE DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da nutrição com os nutrientes potássio (K) e boro (B) na incidência e na severidade da ferrugem do cafeeiro em solução nutritiva. O experimento foi realizado em casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 4 repetições. A unidade experimental foi um vaso composto por duas mudas da cultivar Catuaí Vermelho (IAC 144). Os tratamentos consistiram de 5 doses de boro (0,05; 0,50; 1; 2 e 4 mg L⁻¹) e 5 doses de potássio (4,0; 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0 mmol L⁻¹), em solução nutritiva, totalizando 25 tratamentos, em esquema de análise de variância fatorial. Foram inoculadas todas as folhas das mudas de cafeeiro nas superfícies abaxial e adaxial. Após a inoculação, os vasos foram cobertos com saco plástico preto por 24 horas e permaneceram na casa de vegetação com o objetivo de proporcionar condições adequadas para o fungo penetrar e iniciar o processo de infecção. Houve interação entre os nutrientes potássio (K) e boro (B) afetando a intensidade da ferrugem do cafeeiro. A partir da dose de 1 mg L⁻¹ de B foi observado aumento da intensidade da ferrugem do cafeeiro com redução do peso da planta seca.

Palavras-chave: *Hemileia vastatrix*. Nutrição de plantas. Potássio. Boro.

USE OF K AND B ON THE INTENSITY OF COFFEE RUST IN NUTRITIVE SOLUTION

ABSTRACT

This work had the objective of evaluating the effect of nutrition with potassium (K) and boron (B) in the coffee rust incidence and severity in nutritive solution. The experiment was conducted in greenhouse. The experimental design was in randomized blocks, with four replicates. The experimental unit was a vessel with two seedlings of the Catuaí Vermelho cultivar (IAC 144) in nutritive solution. The treatments consisted of five doses of boron (0.05, 0.50, 1, 2 and 4 mg L⁻¹) and five doses of potassium (4.0, 5.0, 6.0, 7.0 and 8.0 mmol L⁻¹), totalizing 25 treatments in a factorial analysis of variance. All leaves of the coffee seedlings were inoculated in the abaxial and adaxial surfaces. After inoculation, the vessels were covered with black plastic bags for 24 hours, remaining in greenhouse to provide the adequate conditions for the fungus to penetrate and begin the infection process. There was interaction between the K and B, affecting the coffee rust intensity. From the dose of 1 mg L⁻¹ of B it was increased the coffee rust intensity with reduction of the dry weight of the seedlings.

Keywords: *Hemileia vastatrix*. Plant nutrition. Potassium. Boron.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira expandiu significativamente sua área plantada nas últimas décadas. A produção estimada para a safra 2015/2016 é de 52 milhões de sacas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016). Dentre os principais fatores responsáveis por reduzir a produtividade do cafeeiro e a qualidade do grão, citam-se as doenças, especialmente a ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome), responsável por perdas de até 50% na produção (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

A intensidade da doença no campo pode variar de acordo com o manejo da cultura, da carga pendente da lavoura, da fertilidade do solo, do sistema de irrigação e da nutrição mineral das plantas (ALVES et al., 2009; CARVALHO; CHALFOUN; PEREIRA, 2001; CUSTÓDIO et al., 2011; LIMA et al., 2010; POZZA et al., 2012).

A irrigação favorece a absorção de nutrientes, contribuindo para aumentar as barreiras de resistência contra a infecção por fitopatógenos, e por consequência, incrementar a produtividade (MARSCHNER, 2012). Além do manejo de água, a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas realizada de forma correta e equilibrada podem ser utilizadas como complemento ou método alternativo na redução e no manejo de doenças, pois auxiliam na formação de barreiras de resistência às doenças, principalmente as horizontais (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012).

Entre os nutrientes minerais, o potássio (K) e o boro (B) têm funções importantes nas plantas. O primeiro é o nutriente mais benéfico na sanidade de plantas na maioria das espécies estudadas (PERRENOUD, 1990). Esse nutriente desempenha papel fundamental nas reações do metabolismo de plantas (MCNEW, 1953). O K é responsável por regulação osmótica, abertura de estômatos e transporte de carboidratos solúveis. Já o B participa do metabolismo dos fenóis, do ácido ribonucléico (RNA), na translocação dos açúcares, na

atividade do ácido giberélico e na atividade da amilase (ANDRADE, 2001) e isso, provavelmente, interfere indiretamente na intensidade da doença. Além dessas funções, o elemento é importante na estrutura da parede celular, lignificação e na maior estabilidade da membrana plasmática (reduz o extravasamento do K, açúcares e aminoácidos), resultando em efeito benéfico para redução da severidade de doenças (BROWN et al., 2002; CARVALHO et al., 2010; DORDAS, 2008; FAQUIN, 2005; MARSCHNER, 2012). Carvalho et al. (1996) trabalhando com os teores foliares de N, K e B, em diferentes fases de desenvolvimento dos frutos, cargas pendentes e épocas de desbaste, com o progresso da ferrugem do cafeeiro, observaram a maior incidência da ferrugem quando os teores de N e K foram baixos. Para o nutriente B, não foi observada diferença significativa para a ferrugem do cafeeiro. Porém, outros autores mencionaram a deficiência de B interferindo na incidência de outras doenças (DORDAS, 2008; MARSCHNER, 2012). Com isso, novos trabalhos precisam ser realizados, correlacionando a intensidade da ferrugem do cafeeiro com os nutrientes K e B.

Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito dos nutrientes K e B na incidência e severidade da ferrugem e no desenvolvimento de mudas do cafeeiro via solução nutritiva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de 19/06/2013 a 31/10/2013, sob condições controladas, em casa de vegetação, no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. A temperatura e a umidade relativa média nesse período foram entre 15 a 22°C e 71 a 84%, respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, sendo cada vaso composto por duas plantas, constituindo uma unidade experimental. Os tratamentos utilizados foram 5 doses de B (0,05; 0,50; 1; 2 e 4 mg L⁻¹) e 5 doses de K (4,0; 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0 mmol L⁻¹), totalizando 25 tratamentos em esquema fatorial de análise de variância.

Sementes da cultivar Catuaí Vermelho (IAC 144) foram deixadas imersas em água de torneira por 3 horas, desinfestadas com álcool 50% por 50 segundos; em seguida em hipoclorito de sódio 1% por 1 minuto e enxaguadas em água destilada esterilizada por 3 vezes. Após esse procedimento, essas sementes foram semeadas em bandejas de plástico, dimensões de 0,50 m x 0,35 m x 0,15 m, contendo areia lavada. Após emitir o primeiro par de folhas cotiledonares, as mudas foram regadas com solução básica de Hoagland e Arnon (1950), a 20% da força iônica e posteriormente, a 50% da força iônica, sob aeração contínua, realizada por um conjunto de compressor e mangueiras. As mudas permaneceram por 15 dias nessa solução de adaptação.

Após esse período, as mudas foram submetidas à solução completa de Hoagland and Arnon (1950) e como fonte de macronutriente, utilizou-se NH₄NO₃, Ca(NO₃)₂.4H₂O, KNO₃, KCl, KH₂PO₄, MgSO₄.7H₂O e CaCl₂.6H₂O. Para micronutrientes adicionou-se em todos os tratamentos 1,0 mL L⁻¹ da solução estoque, composta por H₃BO₃ (2,8 mL L⁻¹), ZnSO₄.7H₂O (0,22 mL L⁻¹), MnSO₄.4H₂O (3 mL L⁻¹), CuSO₄.5H₂O (0,08 mL L⁻¹), H₂MoO₄.H₂O (0,02 mL L⁻¹) e 1,0 mL L⁻¹ de Solução Fe-EDTA. A aeração da solução nutritiva foi realizada

de forma contínua por compressor de ar conectado aos recipientes por mangueiras. O pH da solução foi monitorado semanalmente e mantido entre 5,0 e 5,5, com a adição de HCl 0,1 mol L⁻¹ ou NaOH 0,1 mol L⁻¹. Quando necessário, o volume dos vasos foi completado com água destilada e a troca dessa solução foi realizada nos diferentes tratamentos, quando a depleção atingiu 70% da concentração inicial, utilizando o Card da Horiba®.

Para obter o inóculo de *H. vastatrix*, coletaram-se em campo, em plantas da cultivar Catuaí Vermelho (IAC 144), folhas com sinais da ferrugem. Após a coleta, as folhas foram submetidas à câmara úmida por 24 horas. Em seguida, com o auxílio de pincel, as folhas foram lavadas com água deionizada e a suspensão acondicionada em Becker de vidro. A concentração da suspensão foi calibrada em hemacitômetro e ajustada a 1,5x10⁴ urediniósporos mL⁻¹. Foram inoculadas todas as folhas das mudas de cafeeiro até o ponto de escorrimento, nas superfícies abaxial e adaxial. Após a inoculação, os vasos foram cobertos com saco plástico preto por 24 horas e permaneceram na casa de vegetação com o objetivo de proporcionar condições adequadas para o fungo penetrar e iniciar o processo de infecção.

O início das avaliações ocorreu 48 dias após a inoculação (DAI), quando os primeiros sintomas da doença foram observados. As avaliações de incidência e severidade da doença foram realizadas em intervalos de 7 dias, totalizando 9 avaliações. A incidência da doença foi determinada pela porcentagem de folhas com sintomas da doença em relação ao total amostrado, conforme a equação 1 (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

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

I (%) = incidência (%)

NFD = número de folhas doentes

NFT = número de folhas por tratamento

A severidade foi avaliada pela contagem do número total de lesões por folha e pela área foliar lesionada, estimada de acordo com a escala diagramática proposta por Cunha et al. (2001).

Os valores obtidos na avaliação da ferrugem do cafeeiro foram, em seguida, transformados em área abaixo da curva de progresso para a incidência (AACPDI) e severidade (AACPDS) da doença, segundo Shaner e Finney (1977), conforme a equação 2.

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

AACPDI = Área abaixo da curva de progresso da incidência;

AACPDS = Área abaixo da curva de progresso da severidade;

Y_i = Proporção da doença ou enfolhamento n i-ésima observação;

T_i = Tempo em dias na i-ésima observação;

n = Número total de observações.

Após o término das avaliações, foram coletadas as raízes e a parte aérea das mudas para análise nutricional, em todas as repetições. Após a coleta, as amostras foram lavadas em água destilada, acondicionadas separadamente em sacos de papel e secas em estufa a 60°C até atingirem peso constante. Após a secagem, o material vegetal foi pesado e em seguida realizou-se a moagem das raízes e da parte aérea das mudas. As amostras foram encaminhadas ao laboratório para determinar os teores de macro e micronutrientes, conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Para realizar a análise estatística do experimento e comparar os tratamentos, utilizou-se o programa estatístico SAS® v. 9.3 (SAS Institute, Cary, NC). Os dados de incidência e severidade, AACPDI, AACPDS, matéria seca e os teores dos nutrientes obtidos das análises foliares foram submetidos à análise de variância. As variáveis significativas no teste F (P<0,05) foram submetidas ao

ajuste de modelos de regressão. Quando a interação foi significativa utilizou-se o programa Sigmaplot ® para plotar os gráficos de superfície de resposta.

3 RESULTADOS

Houve interação significativa entre os nutrientes B e K para as variáveis áreas abaixo da curva de progresso da incidência (AACPDI) e da severidade (AACPDS) da ferrugem do cafeeiro (FIGURA 1 e 2).

As menores AACPDI e AACPDS ocorreram na maior dose de B (4,0 mg L⁻¹) e em todas as doses de K (4 a 8 mmol L⁻¹). Já a maior foi obtida quando utilizou-se a dose de 6,0 mmol L⁻¹ de K e 2,0 mg L⁻¹ de B, mostrando efeito significativo ($p < 0,05$) da interação das doses de K e B.

Figura 1 - Área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro (AACPDI) em função das doses de potássio (K) e boro (B) em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2016.

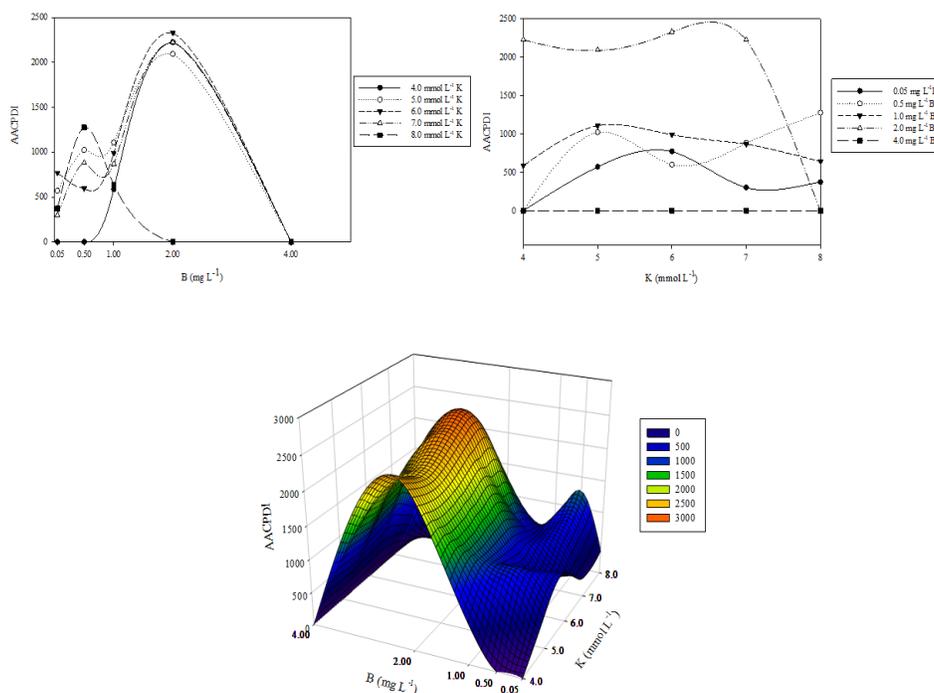
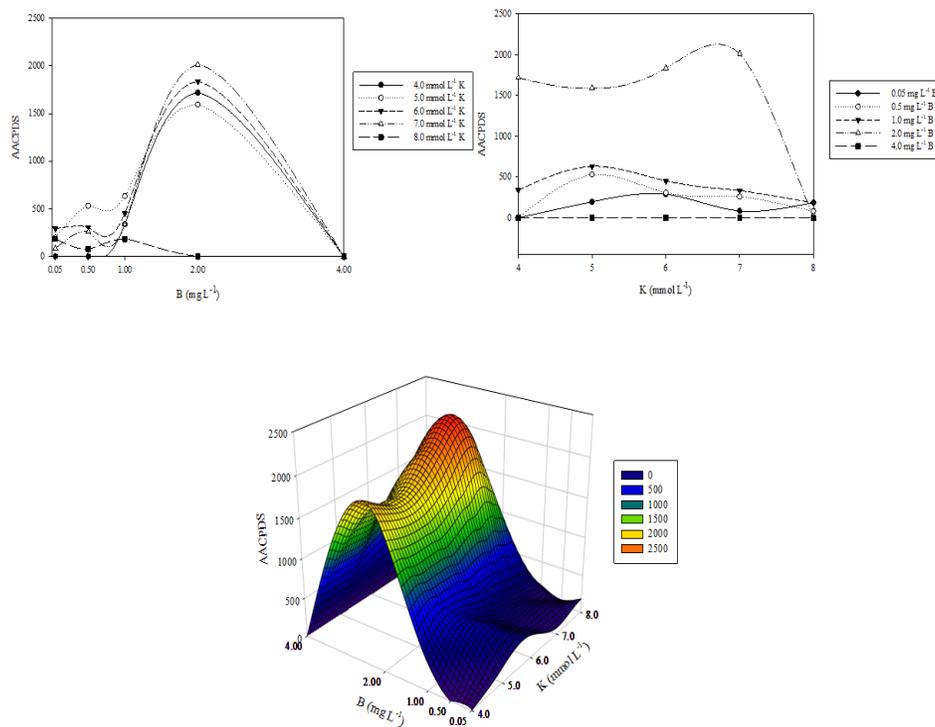
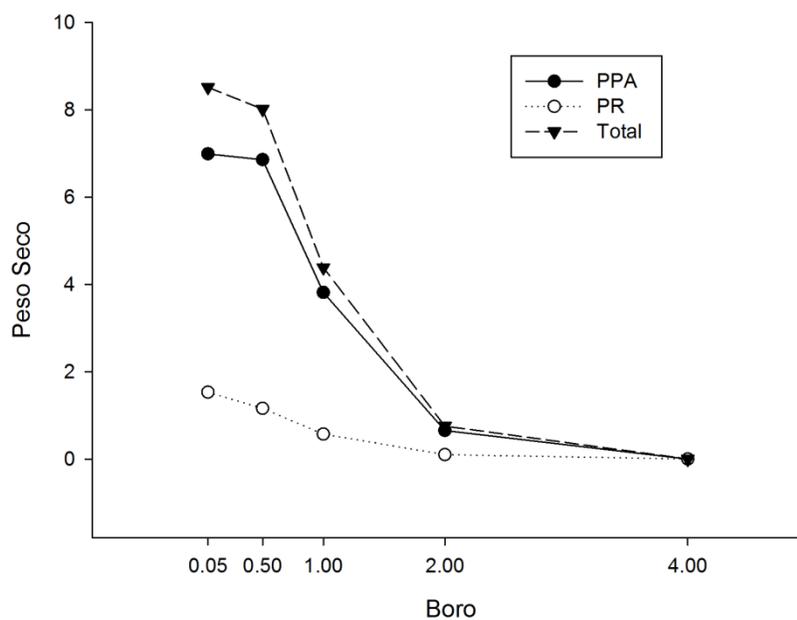


Figura 2 - Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem do cafeeiro (AACPDS) em função das doses de potássio (K) e boro (B) em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2015.



Para as variáveis peso da raiz seca (PR), da parte aérea (PPA) e do total (PR + PPA) não foram observadas diferenças significativas para a interação dos nutrientes K x B. Mas, isoladamente, o nutriente B influenciou essas variáveis (FIGURA 3). Com o aumento das doses de B ocorreu redução do peso seco, sendo na dose de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ observado o maior peso seco (8,51 g). A dose recomendada para a cultura do café é de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de B (4,39 g). Na maior dose do B ocorreu a morte das plantas, provavelmente, devido ao excesso do nutriente na planta.

Figura 3 - Peso da planta seca da parte da raiz (PR), da parte aérea (PPA) e do total (PR + PPA) em função das doses de boro (B) em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2015.



De acordo com a correlação de Pearson, houve interação significativa entre as doses de potássio e de boro e as variáveis PR, PPA e total. Observou-se correlação negativa do PPA, PR e total para o nutriente B e correlação positiva para o nutriente K (TABELA 1). Assim, com o aumento dos teores de B na planta, observam-se menores valores do peso seco da raiz, da parte aérea e do total das mudas.

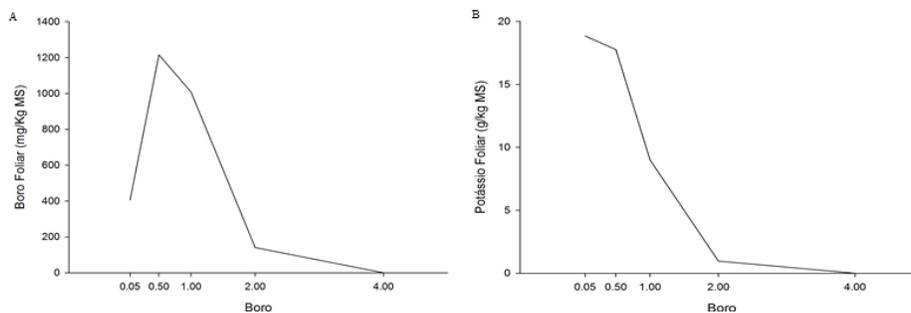
Tabela 1 - Coeficiente de correlação entre os nutrientes K e B com a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da ferrugem do cafeeiro, peso da parte aérea (PPA), peso da raiz (PR) e Total (PR + PPA).

Nutriente	PPA	PR	Total	AACPDI
Potássio (K)	0,46*	0,49*	0,48*	0,034 ^{ns}
Boro (B)	- 0,49*	-0,53*	-0,51*	0,34*

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS}= Não Significativo.

Para os teores foliares de K e B não foi observada diferença significativa com as doses de K e B. Isoladamente, as doses de B influenciaram a absorção de B e K pela planta (FIGURA 4A e B). Na menor dose de B observa-se o menor teor de B e maior teor de K nas folhas. Na dose de 0,5 mg L⁻¹ observa-se maior teor de B na planta (1200 mg). A partir da dose de 1,0 mg L⁻¹ de B ocorreu redução dos teores nutricionais de B e K. Na maior dose do B ocorreu redução dos teores de B e K na folha, devido, provavelmente, à toxidez pelo excesso de boro na planta.

Figura 4 - Teor nutricional dos nutrientes B (FIGURA 4A) e K (FIGURA 4B) em função das doses de boro (B) em solução nutritiva. UFLA, Lavras, MG, 2015.



4 DISCUSSÃO

Entre todas as culturas, o cafeeiro é a espécie mais sensível à deficiência e mais responsiva à aplicação de B (BROWN; SHELPS, 1997). Com isso, a deficiência ou toxidez de boro causa redução do sistema radicular devido à morte das extremidades das raízes, reduzindo a eficiência do sistema radicular na absorção de água e nutrientes, tornando o cafeeiro mais sensível à seca e prejudicando as possíveis respostas às adubações. Nesse trabalho, foram observadas as variáveis AACPDI e AACPDS, aumentando exponencialmente, a partir da dose $1,0 \text{ mg L}^{-1}$. Esse resultado evidencia a importância do boro na estabilidade da membrana plasmática. Neste trabalho, o excesso de B influenciou na absorção de boro na planta. De acordo com Brown et al. (2002), Carvalho et al. (2010) e Faquin (2005), plantas com níveis de boro ideal reduzem o extravasamento do K, açúcares e aminoácidos, reduzindo a severidade de doenças (YAMADA, 2000). Fato esse observado no trabalho, no qual o aumento das doses de B afetou a absorção de K na planta. As maiores AACPDI e AACPDS foram obtidas com as doses de $6,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de K e $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ de B. Este fato, provavelmente, ajuda a entender a importância da quantidade necessária de cada nutriente para a planta devendo, portanto, ser balanceada. Se a dose de B for entre 1 a $3,0 \text{ mg L}^{-1}$, será observada deficiência do nutriente B na planta, contribuindo para o extravasamento de K da célula. Quando ocorre deficiência de K, o transporte de carboidratos solúveis é afetado, contribuindo para o acúmulo na planta e isso, provavelmente, pode servir como fonte de nutriente disponível para o fungo (MARSCHNER, 2012). Portanto, a realização de adubação adequada e equilibrada de boro ($0,05$ a $1,0 \text{ mg L}^{-1}$) e potássio (4 a 8 mmol L^{-1}) resulta em menor incidência de doença, em razão do aumento da resistência à penetração e ao desenvolvimento de patógenos (CARVALHO et al., 2010; MARSCHNER, 2012).

Carvalho et al. (1996) estudando o efeito dos teores foliares de N, K e B, em fases de desenvolvimento dos frutos, cargas pendentes e épocas de desbaste, com o progresso da ferrugem do cafeeiro, observaram a maior incidência da doença quando as plantas apresentaram os menores teores de N e K. Para o nutriente B, não observaram efeito na incidência da ferrugem do cafeeiro. Observaram também, maior incidência da ferrugem quando foram registrados os menores teores de N e K nas plantas. Já Custódio (2008), trabalhando com adubação de Ca e K na incidência da ferrugem do cafeeiro, observou menor progresso da doença nas doses medianas de calcário aplicado (2 t ha^{-1}), enquanto as doses no intervalo de 0 a 100 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) foram responsáveis por menores amplitudes na variação da intensidade da doença, reafirmando a necessidade de equilíbrio entre nutrientes.

Para as variáveis peso da raiz seca, da parte área e do total, o aumento das doses de B reduziu o peso seco. Na dose de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ foi observado o maior peso seco (8,51 g). Fato observado na correlação de Pearson: com o aumento das doses de B ocorreu redução do peso seco das mudas, devido à faixa de toxicidade do boro nas plantas. Santinato, Caione e Prado (2013), trabalhando a toxicidade de boro em cafeeiro arábica, observaram a redução linear da produtividade com o aumento das doses de B ($39,9 \text{ Kg ha}^{-1}$), mesmo não encontrando sintomas de fitotoxidez nas plantas. Já Ruaro, Lima Neto e Ribeiro Júnior (2009) trabalhando a influência do boro, de fontes de nitrogênio e do pH do solo no controle de hérnia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae* observaram a maior massa seca das plantas quando utilizaram as doses entre 10 e 20 mg Kg^{-1} . O menor peso da planta seca registrada ocorreu quando foram utilizadas as doses de 0 e 30 mg Kg^{-1} .

5 CONCLUSÕES

Há interação entre os nutrientes potássio (K) e boro (B) afetando a intensidade da ferrugem do cafeeiro. A partir da dose de 1 mg L^{-1} de B foi observado aumento da intensidade da ferrugem do cafeeiro com redução do peso da planta seca e dos teores de K e B na planta.

AGRADECIMENTOS

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

ALVES, M. C. et al. Modeling spatial variability and pattern of mat and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Berlin, v. 82, n. 2, p. 137-148, May 2009.

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

BROWN, P. H. et al. Boron in plant biology. **Plant Biology**, New York, v. 4, n. 2, p. 205-223, June 2002.

BROWN, P. H.; SHELP, B. J. Boron mobility in plants. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 193, n. ½, p. 85-101, Feb. 1997.

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

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: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

CARVALHO, V. L. et al. Influencia da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 401-405, jun. 1996.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M.; PEREIRA, M. C. Efeito de alterações climáticas sobre o progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1248-1252, set./out. 2001. Suplemento.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café**: safra 2016: volume 1. Brasília: CONAB, 2016. 68 p.

CUNHA, R. L. et al. Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória: [s.n.], 2001.

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

CUSTÓDIO, A. A. P. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado sob pivô central**. 2008. 71 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

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

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

FAQUIN, V. **Nutrição de plantas**. Lavras: Editora da UFLA, 2005. 183 p.

FRANCO, C. M. Micronutrientes na cultura do cafeeiro. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Micronutrientes**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. p. 75-90.
HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water- culture method for growing plants without soil**. California: California Agricultural Experiment Station, 1950. 32 p.

LIMA, L. M. D. 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. 2010.

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.

MCNEW, G. L. **Plant diseases**. Washington: USDA Yearbook of Agriculture, 1953. 940 p.

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2. ed. Bern: International Potash Institute, 1990. 363 p.

POZZA, A. A. A. et al. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: SIMPOSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: Núcleo de Estudo em Fitopatologia, 2012.

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: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

RUARO, L.; LIMA NETO, V. D. C.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Influência do boro, de fontes de nitrogênio e do pH do solo no controle de hérnia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae*. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 231-238, jul./ago. 2009.

SANTINATO, F.; CAIONE, G.; PRADO, R. M. Toxicidade de boro em cafeeiro arabica, em fase de formação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2013. 1 CD-ROM.

SAS INSTITUTE. **SAS language and procedures: usage**. Cary: SAS Institute 2000. 135 p.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewingresistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Estados Unidos, v. 67, n. 2, p. 1051-1056, Feb. 1977.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. 918 p.

YAMADA, T. BORO: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 90, p. 1-20, jun. 2000.

CAPÍTULO 3 INTENSIDADE DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO EM FUNÇÃO DE DOSES DE POTÁSSIO (K) E DE BORO (B) NO CAMPO EXPERIMENTAL

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a interação entre doses de K e B na intensidade da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro em campo experimental. O estudo foi realizado entre novembro de 2012 e outubro de 2014 em Lavras-MG. A cultivar utilizada foi a Topázio MG 1190 (*Coffea arabica* L.), com 4 anos de idade, em área de sequeiro. Considerou-se como 1º ano de avaliação o período entre novembro de 2012 a outubro de 2013 (Ano 1) e o 2º ano entre novembro de 2013 a outubro de 2014 (Ano 2). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, quatro doses de K (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ K₂O) e quatro de B (0; 1; 2 e 4 kg ha⁻¹ de B), totalizando 16 tratamentos. Para avaliar a incidência da ferrugem, foram amostradas 12 folhas por planta, sendo 6 folhas de cada lado da planta, por método não destrutivo, no terço médio, em seis plantas por parcelas, totalizando 72 folhas. Tanto os dados de incidência quanto de enfolhamento foram integralizados em área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPDI) e do enfolhamento (AACPDEnf). Para AACPDI não houve interação significativa entre as doses de K e B. No entanto, na análise foliar observou-se correlação positiva para os nutrientes K, B, Cu e Fe, ou seja, houve aumento da incidência da ferrugem do cafeeiro com o aumento dos teores desses nutrientes, devido ao desbalanço nutricional nas maiores doses de K e B.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. *Hemileia vastatrix*. Nutrição mineral.

INTENSITY OF COFFEE RUST IN FUNCTION OF DOSES OF POTASSIUM (K) AND BORON (B) IN EXPERIMENTAL FIELD

ABSTRACT

This work had the objective of evaluating the interaction between doses of K and B over the of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) intensity in experimental field. The study was conducted between November of 2012 and October of 2014, in Lavras city, Minas Gerais State, Brazil. The cultivar with four years age was Topázio MG 11910 (*Coffea arabica* L.) in a non-irrigated area. The period between November of 2012 and October of 2013 was considered as the 1st year of evaluation (Year 1), and the period between November of 2013 and October of 2014 as the 2nd year of evaluation (Year 2). The experimental design was in randomized blocks (RBD), with four replicates, four doses of K (0, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹ of K₂O) and four of B (0, 1, 2 and 4 kg ha⁻¹ of B), totalizing 16 treatments. To evaluate the incidence of rust, 12 leaves were sampled per plant, with six leaves from each side of the plant, using a non-destructive method, on the intermediate third, in six plants per plot, totalizing 72 leaves. Both the data from the incidence and from the foliation were integrated in area under the incidence (AACPDI) and leafiness (AACPD_{Enf}) progress curves. For the AACPDI, there was no significant interaction between the doses of K and B. However, in the foliar analysis, a positive correlation for nutrients K, B, Cu and Fe was observed, indicating an increase of the incidence of coffee rust with the increase of the levels of these nutrients. This was due to nutritional imbalance in higher doses of K and B.

Keywords: *Coffea arabica*. *Hemileia vastatrix*. Mineral nutrition.

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de café, na safra 2014/2015, foi de 143 milhões de sacas, sendo 1,10 % acima da safra 2013/2014. Desse montante, a cafeicultura brasileira contribui com 30,13%, com produção de 43 milhões de sacas. Diante dos fatos, o cafeeiro é uma das principais culturas responsáveis por equilíbrio econômico e social produzido no Brasil. Para a safra 2015/2016, a estimativa da safra brasileira de café em 2016 é de 52 milhões de sacas, sendo a região Sul de Minas Gerais responsável por 26,9% dessa produção. Desse montante, 67% serão destinados ao mercado externo, posicionando o país como o maior produtor e exportador (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016). Dentre os principais fatores responsáveis por reduzir a produtividade do cafeeiro e a qualidade do café citam-se a escassez de chuva, a adubação inadequada/insuficiente, as pragas e as doenças. Com relação às doenças, destaca-se a ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Na América central, entre os anos de 2011 a 2014, o prejuízo causado pela ferrugem foi de 17%, de 20,2 para 16,8 milhões de sacas de café (MCCOOK; VANDERMEER, 2015).

O ambiente é um dos principais fatores responsáveis por influenciar a intensidade da doença. A fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas são responsáveis por aumentar ou reduzir a taxa de progresso e a intensidade da ferrugem do cafeeiro no campo (ALVES et al., 2009; CUSTÓDIO, 2011; LIMA et al., 2010; POZZA et al., 2002; POZZA et al., 2012).

A nutrição mineral de plantas realizada de forma correta e equilibrada pode ser utilizada como complemento ou método alternativo na redução e no controle de doenças, interferindo nas estruturas histológicas e/ou morfológicas, nas funções dos tecidos, na virulência e na habilidade do patógeno em sobreviver, pois auxilia na formação de barreiras de resistência às doenças, principalmente as horizontais (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007;

MARSCHNER, 2012). Entre os nutrientes já estudados para a ferrugem do cafeeiro, destacam-se N, Ca, K e Zn. A aplicação de Ca e K em equilíbrio e de Zn podem reduzir a doença (CARVALHO et al., 1996; CUSTÓDIO, 2011), entretanto, poucos trabalhos citaram a influência da interação entre Boro (B) e Potássio (K) na doença.

Em plantas de cafeeiro, o K é o segundo nutriente mais exigido, podendo proporcionar aumento ou redução da produtividade (CARVALHO et al., 2010). É considerado um dos nutrientes de maior influência sobre as doenças, sendo a ele atribuído efeito benéfico na sanidade de plantas na maioria das espécies estudadas (PERRENOUD, 1990). Esse nutriente desempenha papel fundamental nas reações do metabolismo de plantas (MCNEW, 1953). O K é o responsável por regulação osmótica, por abertura de estômatos e transportar carboidratos solúveis. A adubação adequada e equilibrada de potássio resulta em menor incidência de doença, em razão do aumento da resistência à penetração e à infecção de outros de patógenos (CARVALHO et al., 2010; MARSCHNER, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). Carvalho et al. (1996) estudaram a relação de teores foliares de N e K em diferentes fases de desenvolvimento dos frutos, cargas pendentes e épocas de desbaste, com o progresso da ferrugem do cafeeiro. Os autores observaram maior incidência da doença, quando os teores de N e K na planta foram menores. Custódio et al. (2011), trabalhando com adubação de Ca e K na incidência da ferrugem do cafeeiro, observaram menor progresso da doença nas doses medianas de calcário aplicado (2 t ha^{-1}), enquanto 0 a 100 Kg ha^{-1} de KCl possibilitou menores amplitudes na variação da intensidade da doença, reafirmando a necessidade de equilíbrio entre os nutrientes.

Para o micronutriente B, poucos são os trabalhos correlacionando com a intensidade da ferrugem do cafeeiro, porém esse nutriente tem importante papel em várias rotas metabólicas do hospedeiro e na constituição de barreiras de

resistência. O B participa do metabolismo dos fenóis, do ácido ribonucléico (RNA), na translocação dos açúcares, na atividade do ácido giberélico e na atividade da amilase (ANDRADE, 2001; MALAVOLTA; YAMADA; GUIDOLIN, 1981) e isso, provavelmente, interfere indiretamente na intensidade da doença. Além dessas funções, o elemento é importante na estrutura da parede celular, lignificação e na maior estabilidade da membrana plasmática (reduz o extravasamento do K, açúcares e aminoácidos), resultando em efeito benéfico para redução da severidade de doenças (BROWN et al., 2002; CARVALHO et al., 2010; DORDAS, 2008; FAQUIN, 2005; MARSCHNER, 2012). Carvalho et al. (1996) trabalharam a relação dos teores de B e a intensidade da ferrugem do cafeeiro. De acordo com os autores, o nutriente B não apresentou efeito na intensidade da doença. Porém, outros autores mencionaram a deficiência de B interferindo na incidência de outras doenças (DORDAS, 2008; MARSCHNER, 2012).

Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a interação entre doses de potássio e de boro na intensidade da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro em campo experimental.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre novembro de 2012 e outubro de 2014 na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, no setor de cafeicultura (latitude 21°13'40''S; longitude 44°57'42'' W e altitude média de 970 m). A cultivar de café utilizada foi a Topázio MG 1190 (*Coffea arabica* L.), com 4 anos de idade, em área de sequeiro. Considerou-se como 1º ano de avaliação o período entre novembro de 2012 e outubro de 2013 (Ano 1) e o 2º ano de novembro de 2013 a outubro de 2014 (Ano 2). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, textura argilosa, pH = 4,3; P = 2,0 mg dm⁻³; K⁺ = 125,5 mg dm⁻³; Ca⁺² = 0,9 cmolc dm⁻³; Mg⁺² = 0,3 cmolc dm⁻³; V(%) = 16%; m(%) = 35%; MO = 3,3 dag Kg⁻¹; Zn⁺ = 2,2 mg dm⁻³; B⁺ = 0,3 mg dm⁻³ e Al⁺³ = 0,8 cmolc dm⁻³. Para a correção do pH e fornecimento de Ca⁺² e Mg⁺² aplicou-se, nos meses de setembro de 2012 e de 2013, em área total, 3 toneladas ha⁻¹ de calcário dolomítico, PRNT de 90%, anterior à aplicação dos tratamentos (GUIMARÃES et al., 1999).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, quatro doses de K (K₂O) e quatro doses de B, totalizando 16 tratamentos, em esquema de análise de variância fatorial. As doses de K₂O utilizadas foram 0, 100, 200 (recomendação de GUIMARÃES et al., 1999) para produtividade de 60 sacas ha⁻¹ e 400 Kg.ha⁻¹ para produção acima de 60 sacas.ha⁻¹. As doses de B foram 0, 1, 2 e 4 Kg.ha⁻¹ de B (recomendação de GUIMARÃES et al., 1999). As fontes utilizadas para realizar esses tratamentos foram KCl (60% de K₂O) e Borogan (10% de ácido bórico), sendo o KCl parcelado em duas aplicações (dezembro 2012 e 2013 e janeiro 2013 e 2014) e o B em aplicação única. A parcela experimental foi constituída por 8 plantas, sendo consideradas úteis as 6 plantas centrais. Para separar um bloco do outro foi deixada uma linha de plantio.

A adubação com nitrogênio e fósforo foi feita seguindo recomendações de Guimarães et al. (1999), de acordo com a análise de solo. Nos dois anos do ensaio, foram aplicados 1704 Kg ha⁻¹ de Ureia (45% de N), parcelados em 3 adubações, e 588 Kg ha⁻¹ de Super Fosfato Simples (18% de P₂O₅), em uma aplicação. Os micronutrientes, exceto B, foram aplicados duas vezes ao ano via foliar, segundo as recomendações de Guimarães et al. (1999) e de acordo com análise foliar.

Para determinar o teor foliar dos nutrientes de todos os tratamentos, fizeram-se amostragens em outubro de 2012 e em 2013. Para isso foi coletado um par de folhas de cada lado das plantas parcela útil, do 3° ou 4° par de folhas a partir do ápice de ramos plagiotrópicos produtivos, localizados na região mediana da planta. A determinação dos teores foliares foi realizada conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Para análise química do solo, retirou-se uma amostra composta da área em outubro de 2012, e amostras simples de todas as parcelas úteis de cada tratamento, formando uma amostra composta das 4 repetições em outubro de 2013. Em seguida, foram enviadas ao laboratório de análise de solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Foram então quantificados os teores foliares e do solo de todos os nutrientes e o potencial hidrogeniônico (pH). Durante a condução do experimento não foram utilizados fungicidas para o controle das doenças.

As avaliações da incidência da ferrugem do cafeeiro foram realizadas a cada 30 dias, durante 24 meses, de outubro de 2012 a outubro de 2014. Para avaliar a incidência, foram amostradas 12 folhas por planta, 6 folhas de cada lado da planta, por método não destrutivo, no terço médio, em seis plantas por parcela, totalizando 72 folhas. A incidência da doença foi determinada pela porcentagem de folhas com sintomas da doença em relação ao total amostrado, conforme a equação 1 (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

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

I (%) = incidência (%)

NFD = número de folhas doentes

NFT = número de folhas por tratamento

Nas mesmas datas de avaliação da doença, foi avaliado o grau de enfolhamento das plantas, por meio da escala diagramática proposta por Boldini (2001), sendo nota 1 (0 a 20% de enfolhamento), 2 (21 a 40%), 3 (41 a 60%), 4 (61 a 80%) e 5 (81 a 100%). Com os dados médios de incidência e de enfolhamento de todos os tratamentos foram plotadas as curvas de progresso ao longo do tempo, para os anos 1 (novembro de 2012 e outubro de 2013) e 2 (novembro de 2013 a outubro de 2014).

Tanto os dados de incidência quanto de enfolhamento foram integralizados em área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPDI) e do enfolhamento (AACPDEnf), segundo Shaner e Finney (1977), conforme a equação 2.

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

Em que:

AACPDI = Área abaixo da curva de progresso da incidência;

AACPDEnf = Área abaixo da curva de progresso do enfolhamento;

Y_i = Proporção da doença ou enfolhamento n i-ésima observação;

T_i = Tempo em dias na i-ésima observação;

n = Número total de observações.

As variáveis climáticas foram obtidas na estação climatológica principal de Lavras, localizada no campus da UFLA, a 380 m de distância do local do experimento. Além desses dados foram dispostos dentro da copa da cultura, no terço médio, dois sensores de temperatura e umidade, modelo HT-500 da marca Instrutherm®. Obtiveram-se as temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação, precipitação total, temperatura e umidade dentro da copa.

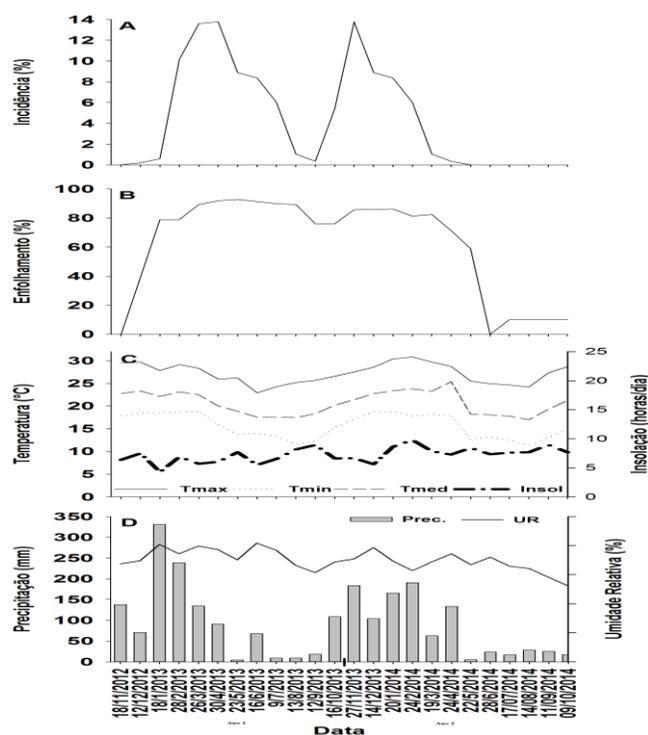
Realizou-se a correlação de Pearson da AACPDI com a média das variáveis climáticas coletadas 30 dias anteriores a cada avaliação, com os teores foliares de nutrientes, com a fertilidade do solo e com as doses de K e B aplicadas entre novembro de 2012 a outubro de 2014.

Para realizar a análise estatística utilizou-se o programa estatístico SAS v. 9.3 (SAS Institute). Os dados de incidência e do grau de enfolhamento em cada uma das datas de avaliações, de produção e da AACPDI foram submetidos à análise de normalidade e homogeneidade de variância de resíduos para averiguar os pressupostos da análise de variância, por meio do teste de “Levene”. O teste não foi significativo para as variáveis analisadas, não sendo necessária a transformação dos dados. Realizaram-se então, análises de variância do fatorial K x B da AACPDI, do enfolhamento e da produtividade. As variáveis significativas no teste F ($P < 0,05$) foram submetidas ao ajuste de modelos de regressão.

3 RESULTADOS

A ferrugem ocorreu e a curva de progresso média da incidência apresentou comportamento diferente entre os anos 1 (novembro de 2012 a outubro de 2013) e 2 (novembro de 2013 a outubro de 2014) (FIGURA 1). As maiores incidências foram observadas no ano 2. Em ambos os anos ocorreram épocas de alta intensidade e posterior redução da incidência da ferrugem do cafeeiro.

Figura 1 - Curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro (A), enfolhamento (B) e comportamento das variáveis meteorológicas obtidas na estação climatológica principal de Lavras (C, D) entre o período de 18/11/2012 a 09/10/2014.



O progresso da incidência nos anos 1 e 2 teve início em meses diferentes. No ano 1, o início da doença ocorreu no mês de dezembro, com posterior aumento da doença. O pico da ferrugem ocorreu no mês de abril de 2013, com índice de 14%. Após essa avaliação, houve redução da doença até o mês de setembro de 2013. No ano 2, o início da ferrugem ocorreu no mês de novembro, o mês de maior incidência da doença (16%), e também posterior redução da intensidade. Nesse ano, com a alta incidência da doença no início, houve queda acentuada do enfolhamento, chegando a próximo de 0% em junho de 2014. Nos meses de máxima incidência da ferrugem do cafeeiro foram observadas temperaturas médias entre 20 a 25°C, alta umidade relativa (70 a 80%) e acúmulo de precipitação em torno de 150 mm (FIGURA 1C e 1D). Além disso, houve correlação positiva da incidência da ferrugem do cafeeiro com as temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa do ar, precipitação total observada, temperatura e umidade relativa do ar dentro da copa, e correlação negativa com a insolação média diária, velocidade do vento e pressão atmosférica (TABELA 1).

Tabela 1 - Coeficientes de correlação entre a incidência da ferrugem do cafeeiro nas diferentes variáveis climáticas, no período entre nov./2012 e out./2014.

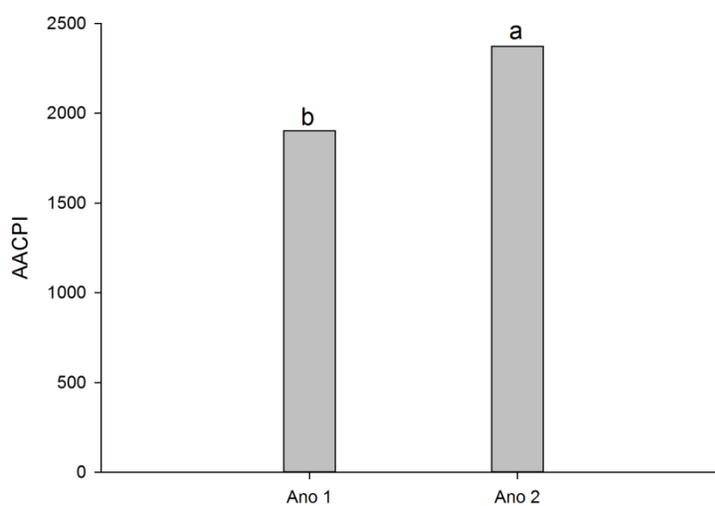
	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin (°C)	UR (%)	Insol. (hs/dia)	Prec (mm)	Veloc (mm)	Tusb (°C)	URusb (%)
Incidência	0,10*	0,12*	0,28*	0,28*	-0,24*	0,18*	-0,10*	0,19*	0,12*

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

Tmax = temperatura máxima, Tmed = temperatura média, Tmin = temperatura mínima, UR = umidade relativa, Insol. = insolação, Prec. = precipitação, Veloc = velocidade do vento, Tusb = temperatura média dentro da copa, URusb = umidade relativa dentro da copa

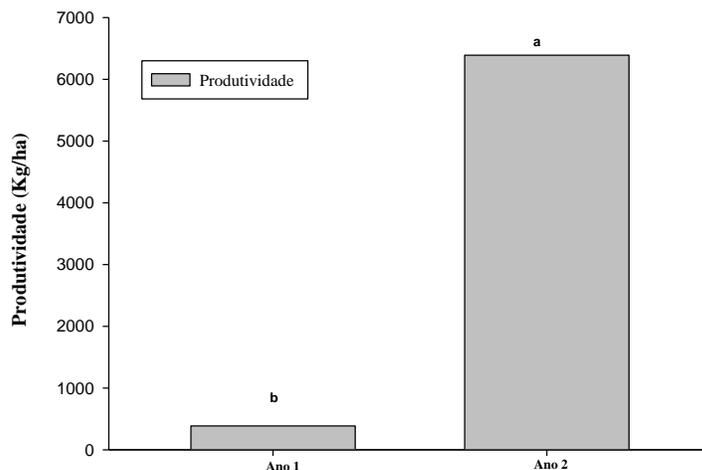
Houve diferença significativa entre AACPDI entre os anos avaliados (FIGURA 2). O ano 2 foi de 2400, superior ao ano 1, de 1800, ou seja, 33,33% maior.

Figura 2 - Área abaixo da curva de progresso da doença para incidência (AACPI) da ferrugem (*H. vastatrix*) do cafeeiro (*C. arabica*), nos anos 1 (novembro de 2012 e outubro de 2013) e 2 (novembro de 2013 a outubro de 2014).



Para a variável produtividade média, ocorreu diferença significativa ($P < 0,05$) entre os anos 1 e 2 (FIGURA 3). A produtividade no ano 1 foi menor ($386,4 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação ao ano 2 (6.390 kg ha^{-1}).

Figura 3 - Produtividade do cafeeiro, em kg ha^{-1} , nos anos 1 (novembro de 2012 e outubro de 2013) e 2 (novembro de 2013 a outubro de 2014).



Não houve interação significativa entre as doses de potássio e boro para AACPDI e AACPDEnf ($P > 0,05$). Porém, de acordo com a correlação de Pearson para os resultados da análise foliar, observou-se correlação negativa da incidência da ferrugem do cafeeiro com os nutrientes N, P, Ca, Mg, Mn e Zn, e correlação positiva para os nutrientes K, B, Cu e Fe (TABELA 2).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre os nutrientes da análise foliar realizado no ensaio, com a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPDI) da ferrugem do cafeeiro.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
AACPI	-0,16*	-0,25*	0,14*	-0,25*	-0,19*	-0,05 ^{NS}	0,14*	0,18*	0,38*	-0,19*	-0,19*

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS}= Não Significativo.

4 DISCUSSÃO

De acordo com Chalfoun (1997) e Cunha, Mendes e Chalfoun (2004) o deslocamento da curva da doença está condicionado às variações das temperaturas médias, à ocorrência de chuvas esporádicas durante os períodos de outono/inverno, às condições favoráveis do hospedeiro à infecção e à carga pendente da lavoura. Diversos trabalhos citam a maior incidência da ferrugem do cafeeiro entre os meses de maio e junho variando de agosto a setembro (CUSTÓDIO et al., 2010; GARÇON et al., 2004; SILVA-ACUNÃ, 1998; TALAMINI et al., 2003). Nesse trabalho, o resultado foi atípico para a cafeicultura brasileira, na qual a maior intensidade da doença ocorreu em abril e novembro de 2013, e posteriormente houve redução da incidência da doença. Provavelmente, as mudanças do regime de chuvas e da temperatura interferiram na curva de progresso da doença.

Segundo Meira, Rodrigues e Moraes (2009) e Nutman e Roberts (1963), os fatores climáticos e ambientais são determinantes no progresso da ferrugem do cafeeiro. O fungo *H. vastatrix* necessita de água livre, temperatura na faixa de 21 a 23°C, ausência de luz direta para germinação e penetração dos uredosporos nos estômatos da folha (ALMEIDA, 1986). No presente trabalho observou-se nas datas de maior incidência da doença, temperatura média entre 20 e 23°C e precipitação acumulada entre 100 a 150 mm. Esse fato pode ter favorecido a disseminação e a infecção, em consequência da maior taxa de progresso da doença a partir dos meses de janeiro de 2013 e setembro de 2014. Além disso, foram obtidas correlações positivas com as temperaturas máximas, média e mínima, umidade relativa e precipitação. Assim, conforme as variáveis aumentam, a incidência da doença cresce também. Esse fato, não foi observado por Talamini et al. (2003) que observaram correlação negativa com as variáveis climáticas. Chalfoun, Pereira e Xavier (2009), trabalhando com a curva de progresso da ferrugem do cafeeiro, na cidade de São Sebastião do Paraíso (MG),

encontraram dois padrões de desenvolvimento dessa doença em função das variações climáticas. Observaram atraso no início da estação chuvosa e a ocorrência de temperaturas elevadas no início do verão, sendo responsáveis por atraso do início da fase de maior intensidade da ferrugem, deslocando a curva para os meses de janeiro e fevereiro, em relação à curva padrão de evolução da doença (novembro ou dezembro). Tal mudança na ocorrência da doença passou a ser denominada “ocorrência tardia da ferrugem” (VENTURIN et al., 2013). Já Chalfoun e Zambolim (1985) observaram as maiores incidências da ferrugem entre julho a setembro do ano agrícola 1982 a 1983. Isso ocorreu devido ao atraso no início da epidemia da ferrugem em decorrência das chuvas intensas durante os meses de dezembro e janeiro, promovendo a lavagem do inóculo da superfície foliar. Observou-se, assim, alta variação com relação aos períodos de máxima incidência da doença, tanto de um ano para o outro, quanto de uma região para outra.

Além das condições climáticas, destacam-se a fertilidade do solo e a nutrição das plantas. Segundo Huber e Watson (1974) e Taiz e Zeiger (2013) os nutrientes estão envolvidos em mecanismos capazes de aumentar ou reduzir a suscetibilidade das plantas aos agentes patogênicos. Nesse trabalho, não foi observada diferença significativa para os nutrientes K e B, porém de acordo com os resultados da análise foliar, houve correlação positiva para os nutrientes K, B, Cu e Fe e negativa para os outros nutrientes (N, P, Ca, Mg, Mn e Zn) com a AACPDI. Esses resultados são semelhantes a alguns autores, como por exemplo, Figueiredo, Hiroce e Oliveira (1976) demonstraram, em meio hidropônico, a ocorrência de maior incidência da ferrugem na ausência de nitrogênio ou de fósforo, em relação às plantas cultivadas em solução completa, e o excesso ou dose maior de potássio favoreceu a ferrugem do cafeeiro. Carvalho et al. (1996), trabalhando a influência dos nutrientes N, K e B na incidência da ferrugem do cafeeiro, encontraram resultados semelhantes, observando maior incidência de

ferrugem em parcelas com deficiência de nitrogênio. Já para o nutriente B, não encontraram correlação com a incidência da doença. Custódio (2011), trabalhando com adubação de Ca e K na incidência da ferrugem do cafeeiro, observou a necessidade de equilíbrio entre os nutrientes e o menor progresso da doença ocorreu nas doses medianas de calcário aplicado (2 t ha^{-1}), enquanto as doses no intervalo de 0 a 100 Kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) foram responsáveis por menores amplitudes na variação da intensidade da doença. Carvalho et al. (2008), trabalhando com a influência do zinco na incidência de doenças do cafeeiro, observaram na adubação entre 0,6% a 0,75% de zinco, redução da incidência da ferrugem do cafeeiro e, acima dessa dosagem, a incidência aumentava, mostrando o efeito do equilíbrio da adubação do zinco visando ao manejo da doença.

Além dos fatores citados acima, Carvalho et al. (1996), Moraes (1983) e Pozza, Carvalho e Chalfoun (2010) afirmam ocorrer relação direta da incidência da doença com a carga pendente da lavoura, por promover desequilíbrio e/ou estresse nas plantas, debilitando e tornando-as mais suscetíveis a *H. vastatrix*. Neste trabalho observou-se o efeito na produtividade com o aumento da incidência da doença. No ano 2 houve maior AACPDI (2400) e com isso, maior produtividade em relação ao ano 1 (1800). Resultado semelhante foi encontrado por Cunha, Mendes e Chalfoun (2004), trabalhando com o controle da ferrugem do cafeeiro e os seus efeitos na produtividade e no enfolhamento. Estes autores observaram maior incidência da doença entre os meses de julho a agosto de 2001, com índice de 82%, e no ano seguinte, entre os meses de maio a agosto (37%). No segundo ano ocorreu redução da incidência da ferrugem devido à menor produção e ao maior enfolhamento. Miranda et al. (2006), trabalhando a incidência da ferrugem em cafeeiro fertirrigado, observaram maior incidência da doença no mês de julho/2013 (17%) devido à maturação escalonada e tardia, aliada a temperaturas favoráveis ao patógeno (25°C). Assim sendo, a adubação

correta e equilibrada dos nutrientes é uma forma de manter a sanidade das plantas por mais tempo e conseqüentemente, buscar maior produtividade das culturas.

5 CONCLUSÕES

Para AACPDI não houve interação significativa entre as doses de K e B. No entanto, na análise foliar observou-se correlação positiva para os nutrientes K, B, Cu e Fe, o que significa aumento da incidência da ferrugem do cafeeiro com o aumento dos teores desses nutrientes.

AGRADECIMENTOS

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

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. London: Academic Press, 2005. 900 p.
- ALMEIDA, S. R. Doenças do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafös, 1986. p. 391-399.
- ALVES, M. C. et al. Modeling spatial variability and pattern of mat and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Berlin, v. 82, n. 2, p. 137-148, May 2009.
- ANDRADE, C. E. **Calagem e adubação do café**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 130 p.
- 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.
- BROWN, P. H. et al. Boron in plant biology. **Plant Biology**, New York, v. 4, n. 2, p. 205-223, June 2002.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley, 1990. 532 p.
- 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: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.
- CARVALHO, V. L. et al. Influencia da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 401-405, jun. 1996.
- CARVALHO, V. L. et al. Influência do zinco na incidência de doenças do cafeeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 804-808, maio/jun. 2008.
- CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 27-35, 1998.

CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro**: importância, identificação e métodos de controle. Lavras: Editora da UFLA, 1997. 96 p.

CHALFOUN, S. M.; PEREIRA, M. C.; XAVIER, E. P.; Efeito de alterações climáticas sobre o progresso da ferrugem do cafeeiro, *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. nas últimas décadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 34., 2008, Caxambu. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2009. p. 259-260.

CHALFOUN, S. M.; ZAMBOLIM, L. Ferrugem do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 42-46, jun. 1985.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café**: safra 2016: volume 1. Brasília: CONAB, 2016. 68 p.

CUNHA, R. L.; MENDES, A. N. G.; CHALFOUN, S. M. Controle químico da ferrugem do cafeeiro e seus efeitos na produção e preservação do enfolhamento. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 990-996, set./out. 2004.

CUSTÓDIO, A. A. 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.

CUSTÓDIO, A. A. P. **Irrigação, nutrição e face de exposição ao sol no progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro**. 2011. 197 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

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

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

FAQUIN, V. **Nutrição de plantas**. Lavras: Editora da UFLA, 2005. 183 p.

FIGUEIREDO, P.; HIROCE, R.; OLIVEIRA, D. A. Estado nutricional e ataque de ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) **O Biológico**, São Paulo, v. 42, n. 7-8, p. 164-172, jul./ago. 1976.

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

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.

HUBER, D. M.; WATSON, R. D. Nitrogen form and plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 12, n. 3, p. 139-165, July/Aug. 1974.

LIMA, L. M. 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. 2010.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. **Nutricao e adubacao do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa, 1981. 224 p.

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

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

MCNEW, G. L. **Plant diseases**. Washington: USDA Yearbook of Agriculture, 1953. 940 p.

MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Modelos de alta para o controle de ferrugem-do-cafeeiro em lavouras com alta carga pendente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 233-242, mar. 2009.

MIRANDA, J. C. et al. Intensidade da ferrugem em cafeeiro fertirrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 885-891, jan./fev. 2006.

MORAES, S. A. **A ferrugem do cafeeiro: importância, condições pré-disponíveis, evolução e situação no Brasil**. Campinas: IAC, 1983. 50 p. (Circular instituto campinas, 119).

NUTMAN, J. F.; ROBERTS, F. M. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. **Transactions British Mycological Society**, London, v. 46, n. 1, p. 27-48, Jan. 1963.

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2. ed. Bern: International Potash Institute, 1990. 363 p.

POZZA, A. A. A. et al. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: SIMPOSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: Núcleo de Estudo em Fitopatologia, 2012.

POZZA, A. A. A. et al. 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.

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: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

SAS INSTITUTE. **SAS language and procedures: usage**. Cary: SAS Institute 2000. 38 p.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildew ingresistance in Know wheat. **Phytopathology**, Estados Unidos, v. 67, n. 2, p. 1051-1056, Feb. 1977.

SILVA-ACUNÃ, R. Estudo epidemiológico da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) utilizando a análise de trilha. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 425-430, set./out. 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 141-149, jan./fev. 2003.

VENTURIN, R. P. et al. A pesquisa e as mudanças climáticas na cafeicultura.
Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 34, n. 3, p. 34-42, out. 2013.

CAPÍTULO 4 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA ENTRE A FERRUGEM DO CAFEIEIRO E OS NUTRIENTES P, K E B EM LAVOURA IRRIGADA

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o padrão espacial da relação entre a ferrugem e a nutrição da planta com P, K e B em lavoura cafeeira em produção, irrigada por pivô central. O estudo foi realizado entre fevereiro de 2013 a dezembro de 2014, no sul de Minas Gerais, em lavoura comercial, localizada no município de Carmo do Rio Claro. A cultivar utilizada para o ensaio foi Acaia cerrado (MG 1474), irrigada por pivô central, com 10 anos de idade, espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, totalizando 5.000 plantas ha⁻¹. O ponto amostrado foi georreferenciado com GPS TRIMBLE 4600 LS® e Estação Total Leica TC600®. O pivô possuía 50 pontos amostrais em malha de 50 x 50 metros. A avaliação da incidência da ferrugem do cafeeiro foi realizada a cada 60 dias, durante o período mencionado, totalizando 12 avaliações. Em cada ponto georreferenciado, avaliaram-se cinco plantas. Para avaliar a incidência, foram amostradas 12 folhas por planta, no terço médio da copa, totalizando 60 folhas em cada ponto amostral. Em cada ponto amostral foram realizadas análises de fertilidade do solo e nutrição da planta. Empregou-se a análise geoestatística para analisar os dados. Após o ajuste do semivariograma, escolhido o melhor modelo, realizou-se a interpolação dos dados por krigagem ordinária. Os mapas da ferrugem e da nutrição foram plotados, de forma a visualizar os padrões de distribuição espacial. Foi utilizado o programa ArcGIS, do software ArcGIS 9.2 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2004) para realizar o ajuste do semivariograma. Houve dependência espacial da ferrugem do cafeeiro com os teores foliares de P, K e B. A maior incidência da ferrugem do cafeeiro foi observada nas áreas com os menores teores de P e K e os maiores teores de B.

Palavras-chave: Variabilidade espacial. *Coffea arabica* L.. *Hemileia vastatrix*. Nutrição.

Geostatistical analysis between coffee rust and nutrients P, K and B in irrigated crop

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the spatial pattern of the relation between rust and plant nutrition in a coffee crop, irrigated by center pivot. The study was conducted between February of 2013 and December of 2014 in southern of Minas Gerais state, Brazil, in a commercial crop located in the Carmo do Rio Claro county. The cultivar planted was Acaiá cerrado (MG 1474), with 10 years of age, with 4.0 m between lines and 0.5 m between plants, totalizing 5,000 plants ha⁻¹, irrigated by center pivot. The sampled points were georeferenced using GPS TRIMBLE 4600 LS[®] and total station Leica TC600[®]. The pivot presented 50 sampling points in a 50 x 50 m gride. The rust incidence assessment was performed every 60 days, during the mentioned period, totalizing 12 evaluations. In each georeferenced point, five plants were evaluated. To assess the incidence, 12 leaves per plant were sampled from the intermediate third of the shoot, totalizing 60 leaves from each sampling point. In each point of the gride was evaluated the soil fertility and coffee nutrition. The geostatistical analysis was performed to evaluate the data. After adjusting the semivariogram, choosing the best model, we performed the interpolation of the data by ordinary kriging. The disease and nutritional maps were plotted, in order to visualize spatial distribution patterns. The program ArcGIS, of the ArcGIS 9.2 software (Environmental Systems Research Institute – ESRI, 2004), was used to adjust the semivariogram. There was spatial dependence between coffee rust and the levels of P, K and B in leaves. The highest incidence of coffee rust occurred in areas with the lowest contents of P and K, and the highest contents of B.

Keywords: Spatial variability. *Coffea arabica* L. *Hemileia vastatrix*. Nutrition.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, seguido do Vietnã, Colômbia, Indonésia e Etiópia. Para a safra 2015/2016, a estimativa é de 52 milhões de sacas de 60 Kg do produto beneficiado, representando 32,16% da produção mundial. Assim, a cultura do cafeeiro tem grande importância sócio-econômica para o país (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016). Além de ser o maior produtor mundial de café, o Brasil é o segundo maior mercado consumidor, atrás somente dos Estados Unidos. Dentre as doenças, a ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) é a de maior importância, por causar grandes prejuízos para a cafeicultura, causando intensa desfolha e conseqüentemente perda na produção em até 50% (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

O cultivo dessa rubiácea, no Brasil, teve início em áreas com condições edafoclimáticas favoráveis ao seu crescimento e ao seu desenvolvimento. Atualmente, a má distribuição das chuvas e os plantios em áreas com déficit hídrico exigem o uso da irrigação para tornar a cultura viável. Além dessas áreas, a irrigação suplementar em lavouras com déficit hídrico em períodos críticos devido às estiagens e veranicos tem se mostrado vantajosa, com aumento significativo da produtividade (COELHO et al., 2009; FARIA et al., 2001; FARIA; REZENDE, 1997; LIMA, 2009), na eficiência do uso da água e fertilizantes, além de facilitar o uso de técnicas de controle de doenças de plantas (BRYLA et al., 2005; MORALES et al., 2010). Entretanto, necessita de muito cuidado, a fim de evitar outros fatores capazes de comprometer a produtividade, como a elevação da incidência e da severidade da ferrugem devido à alteração microclimática e do estado nutricional da planta (BROWN et al., 2002; JEFFERSON; GOSSEN, 2002; JULLIATI; SILVA, 2001; OLANYA; PORTER; LAMBERT 2010; PEREIRA et al., 2006; ROTEM; PALTÍ, 1969).

A intensidade das doenças no campo pode variar de acordo com o manejo da cultura (POZZA et al., 2012), da carga pendente da lavoura (CARVALHO; CHALFOUN; PEREIRA, 2001), da fertilidade do solo (Alves et al., 2009) e da nutrição mineral das plantas (AVELINO; WILLOCQUET; SAVARY, 2004; CUSTÓDIO et al., 2011; LIMA et al., 2010; POZZA et al., 2001). Já a interação dessas variáveis pode resultar em maior ou menor intensidade da doença, variando, principalmente, em função da intervenção do homem em fatores como fertilidade do solo, manejo da água e a consequente nutrição de plantas (POZZA; ALEXANDRE- POZZA, 2003; POZZA et al., 2012).

A nutrição mineral de plantas realizada de forma correta e equilibrada pode ser utilizada como complemento ou método alternativo na redução e no controle de doenças, interferindo na composição das estruturas histológicas e/ou morfológicas, nas funções dos tecidos, na virulência e na habilidade do patógeno em sobreviver, pois auxilia na formação de barreiras de resistência às doenças, principalmente as horizontais (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012). É um dos fatores ambientais capaz de ser manipulado com relativa facilidade para o controle de doenças, contribuindo de maneira significativa para reduzir a severidade da doença (TAIZ; ZEIGER, 2013). Entre os nutrientes já estudados que podem contribuir para o desenvolvimento ou não da ferrugem do cafeeiro, destacam-se o N, Ca, K e Zn. A aplicação de Ca e K em equilíbrio e de Zn, podem reduzir a doença (CARVALHO et al., 1996; CUSTÓDIO, 2011), entretanto, poucos trabalhos citaram a influência do Boro (B) e a interação com o Potássio (K) na doença. Porém, outros autores mencionaram a deficiência de B interferindo na incidência de outras doenças (DORDAS, 2008; MARSCHNER, 2012) e em outras culturas.

Existem poucos trabalhos sobre a influência da nutrição mineral e da fertilidade do solo na intensidade da ferrugem do cafeeiro em campo. Nesse

contexto, as informações sobre a distribuição espacial das doenças e sua dependência espacial em relação à fertilidade ao longo da área de plantio podem fornecer subsídios para melhorar a recomendação de adubação e o controle de doenças. Atualmente, a geoestatística é utilizada para avaliar a variação espacial de doenças e sua relação com a fertilidade do solo e a nutrição da planta (ALVES et al., 2009).

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o padrão espacial da relação entre a ferrugem, a fertilidade do solo e a nutrição da planta em lavoura cafeeira irrigada por pivô central.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre fevereiro de 2013 a dezembro de 2014 no sul de Minas Gerais, em lavoura comercial localizada no município de Carmo do Rio Claro (altitude média 850 m; latitude 20°59'55'' Sul; longitude 46°02'52'' Oeste). A cultivar utilizada para o ensaio foi Acaia Cerrado (MG 1474), com 10 anos de idade, espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5 m de entre plantas, totalizando 5.000 plantas ha⁻¹, irrigada por pivô central, declividade de 10% e sua produtividade média de 30 sacas ha⁻¹. O início da irrigação por pivô central foi no dia 02/06/2012 com lâminas fornecidas por aspersores tipo 'spray', para garantir o mínimo de 90 mm mensais, monitorados por pluviômetro. Foram aplicados 30 mm a cada 10 dias, entre os meses de setembro a março.

Os pontos de amostragem foram georreferenciados com GPS TRIMBLE 4600 LS® e Estação Total Leica TC600®. A área foi composta por 50 pontos amostrais em malha de 50 x 50 metros.

Figura 1 - Área experimental com os pontos amostrais georreferenciados em Carmo do Rio Claro – MG.



Fonte: <http://earth.google.com>.

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

Nessa área foram monitorados a ferrugem do cafeeiro, o grau de enfolhamento, o teor nutricional das plantas, a fertilidade do solo e as variáveis climatológicas externas e dentro da copa das plantas.

Para avaliação da incidência da ferrugem do cafeeiro foram realizadas amostragens a cada 60 dias, de fevereiro de 2013 a dezembro de 2014, 12 avaliações. Em cada ponto georreferenciado, avaliaram-se cinco plantas: uma central; uma planta de cada lado da central; duas plantas, uma na linha abaixo e outra acima da central. Para avaliar a incidência, foram amostradas 12 folhas por planta, por método não destrutivo, no terço médio da copa, a partir do terceiro e do quarto par de folhas do ramo escolhido ao acaso (HUERTA, 1963), totalizando 60 folhas em cada ponto amostral. Essas plantas foram marcadas para as avaliações posteriores. A incidência da doença foi determinada pela porcentagem de folhas com sintomas em relação ao total amostrado, conforme a equação 1 (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

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

I (%) = incidência (%)

NFD = número de folhas doentes

NFT = número de folhas por tratamento

Nas mesmas datas de avaliação da doença, também foi avaliado o grau de enfolhamento em cada uma das cinco plantas de cada ponto amostral, por meio da escala diagramática proposta por Boldini (2001), nota 1 (0 a 20% de enfolhamento), 2 (21 a 40%), 3 (41 a 60%), 4 (61 a 80%) e 5 (81 a 100%). O

valor dessa variável em cada ponto foi obtido calculando-se a nota média das cinco plantas.

Com os dados médios de incidência e de enfolhamento, de todos os pontos amostrais foi plotada a curva de progresso ao longo do tempo. Além disso, os dados dessas variáveis foram integralizados em áreas abaixo da curva de progresso da incidência (AACPDI) e do enfolhamento (AACPDEnf), segundo Shaner e Finney (1977), de acordo com a Equação 2.

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

Em que:

AACPDI = Área abaixo da curva de progresso da incidência;

AACPDEnf = Área abaixo da curva de progresso do enfolhamento;

Y_i = Proporção da doença ou enfolhamento n i-ésima observação;

T_i = Tempo em dias na i-ésima observação;

n = Número total de observações.

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

Para as análises de solo, retirou-se uma amostra composta do solo de cada ponto amostral. Essa amostra composta 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 2013 e 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).

Para determinar o teor foliar dos nutrientes de todos os pontos amostrais, realizaram-se amostragens em outubro de 2013 e maio de 2014. Para isso foram coletadas cinco folhas de cada lado da rua, na direção leste e oeste, nas cinco plantas por ponto amostrado, do 3° ou 4° par de folhas a partir do ápice de ramos plagiotrópicos produtivos, localizados no terço médio da planta. As amostras foram encaminhadas para laboratório e as determinações dos teores foliares foram feitas conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

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). A partir da análise foliar obtiveram-se os teores de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B) e enxofre (S).

Os dados meteorológicos foram obtidos tanto do lado externo quanto dentro (interno) da copa do cafeeiro. Os dados externos à copa foram coletados em estação meteorológica microclimatológica (Campbel Scientific®) instalada a 200 metros de distância da área experimental, para monitorar as temperaturas máxima (TMax), média (TMed) e mínima (TMin), umidades relativas do ar mínima (UMin), média (UMed) e máxima (UMax), velocidade do vento (Veloc.), molhamento foliar (Mol. F. Ext.) e precipitação total (Precip). Além disso, instalaram-se dois 'Datalogger's para registro de temperatura e umidade do ar do modelo HT-500 Instrutherm® e uma micro estação WatchDog® série 1000 com sensor de temperatura, umidade do ar e dois sensores de molhamento foliar. Os três sensores foram instalados no terço médio, dentro da copa das

plantas e distribuídos ao acaso em cada uma das áreas experimentais. Os dois ‘datalogger’s e a micro estação foram instalados com o objetivo de obter registros das variáveis de clima dentro da copa. Sendo assim, obteve-se a média dos três aparelhos, da temperatura média mensal (TempD) e da umidade relativa média mensal (URD). A média mensal das variáveis climáticas coletadas na estação externa ao experimento foi plotada junto com as curvas de progresso da incidência e do enfolhamento.

Com as variáveis climáticas realizou-se a correlação de Pearson entre a incidência média da ferrugem de cada ponto georreferenciado da área experimental, a média dos 30 dias anteriores a cada data de avaliação e as variáveis de clima coletadas no interior e no exterior da copa. Para a AACPDI realizou-se a correlação com a produção de 2013 e 2014. Para realizar a análise de correlação, utilizou-se o procedimento PROC CORR do programa estatístico SAS v. 9.3® (SAS Institute).

Para realizar a análise geoestatística e da dependência espacial, observamos as datas de maior incidência da doença, sendo selecionadas as datas de 17/04/2013, 08/06/2013, 24/08/2013, 10/02/2014, 04/06/2014 e 18/06/2014.

Para os teores foliares, após a análise de correlação com a incidência nas datas selecionadas anteriormente, escolheram-se os teores dos macronutrientes foliares K e P para realizar a análise geoestatística, por apresentarem o maior número de correlações significativas nas duas áreas. Já para os micronutrientes escolheu-se o teor foliar de B, pois, apresentou alta correlação significativa em todas as análises foliares e avaliações da incidência selecionadas.

Em relação à fertilidade do solo não se realizou análise geoestatística devido à ausência de correlações significativas.

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 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 (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C$), foi calculado utilizando-se a equação 3:

$$GDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) * 100 \quad (3)$$

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.

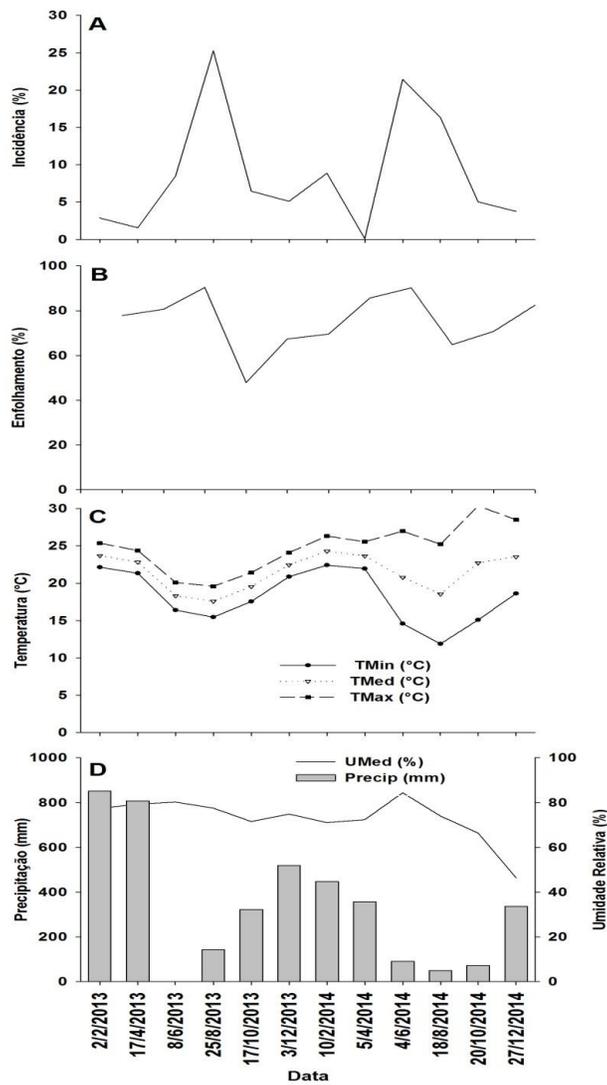
O melhor ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido em função do quadrado médio do erro, erro padrão de predição e da autovalidação ('Jack Knife').

Após o ajuste dos 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 programa ArcGIS, do software ArcGIS 9.2 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2004).

3 RESULTADOS

A ferrugem do cafeeiro ocorreu com intensidades variáveis durante a condução do experimento. A curva de progresso média da incidência da ferrugem do cafeeiro teve comportamento semelhante entre os anos de 2013 e de 2014 (FIGURA 1).

Figura 1 - Curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro (A), enfolhamento (B) e das médias mensais das variáveis climáticas temperatura máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), umidade relativa média (UMed) e precipitação acumulada (Precip.) (C,D) coletadas externamente à copa entre o período de 02/02/2013 a 27/12/2014, na área de pivô central.



Nos anos 1 e 2, a incidência da doença começou a aumentar a partir de abril, com o pico no mês de agosto de 2013 (26%) e junho de 2014 (22%), respectivamente. Em seguida, ocorreu redução da doença, chegando no mês de dezembro de 2013 e 2014 com índices médios de 5% e 3%, respectivamente. No período de pico da doença foi observada a menor média da temperatura (FIGURA 1C) seguida de queda do enfolhamento (FIGURA 1B). Seguindo essa tendência observada na curva de progresso, houve correlação negativa da incidência da ferrugem do cafeeiro com a umidade relativa do ar dentro da copa, com o molhamento foliar externo à copa e enfolhamento das plantas. Porém, ocorreram correlações positivas da incidência da ferrugem com a temperatura, interna e externa à copa, umidade relativa externa à copa, precipitação e velocidade do vento (TABELA 1).

Tabela 1 - Coeficientes de correlação entre a incidência da ferrugem do cafeeiro e as variáveis climatológicas ocorridas nos trinta dias anteriores à avaliação da doença, no período entre fev./2013 e dez./2014 interna e externo à copa.

	Interna		Externo								
	TempD (°C)	URD (%)	Temperatura (°C)			Umidade Relativa (%)			Precip (mm)	Mol. F (hs)	Enf (%)
			TMin	TMed	TMax	UMin	UMed	UMax			
Inc.	0,90*	-0,91*	0,38*	0,40*	0,89*	0,64*	0,65*	0,60*	0,94*	-0,91*	-0,87*

*Significativo a 5% pelo teste t;

Inc. = Incidência, TempD = Temperatura dentro da copa, URD = Umidade relativa dentro da copa, TMin. = Temperatura mínima, TMed. = Temperatura média, TMax = Temperatura máxima, Umin. = Umidade mínima, UMed. = Umidade média, UMax. = Umidade máxima, Precip. = Precipitação, Mol. F. Ext. = Molhamento foliar externo à copa e Enf. = Enfolhamento (%)

Houve correlação positiva da AACPDI com a produção de 2013 e negativa com a produção em 2014 (TABELA 2).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação da produtividade de 2013 e 2014 com a área abaixo da curva de progresso da doença para incidência (AACPDI).

	Prod. 2013 (scs/ha)	Prod. 2014 (scs/ha)
AACPDI	0,631*	- 0,806*

*Significativo a 5% pelo teste t;

De acordo com a análise geoestatística, nas avaliações com as maiores incidências da doença nos anos 1 e 2, ocorreram variações na intensidade da doença ao longo da área amostrada. Para essas variáveis e para os teores foliares de B, P e K, o melhor modelo foi o exponencial (TABELA 3).

Tabela 3 - Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas relativos às 3 avaliações de incidência de ferrugem, de cada ano, e referente às análises foliares de fósforo, potássio e boro, em 2013 e 2014, respectivamente.

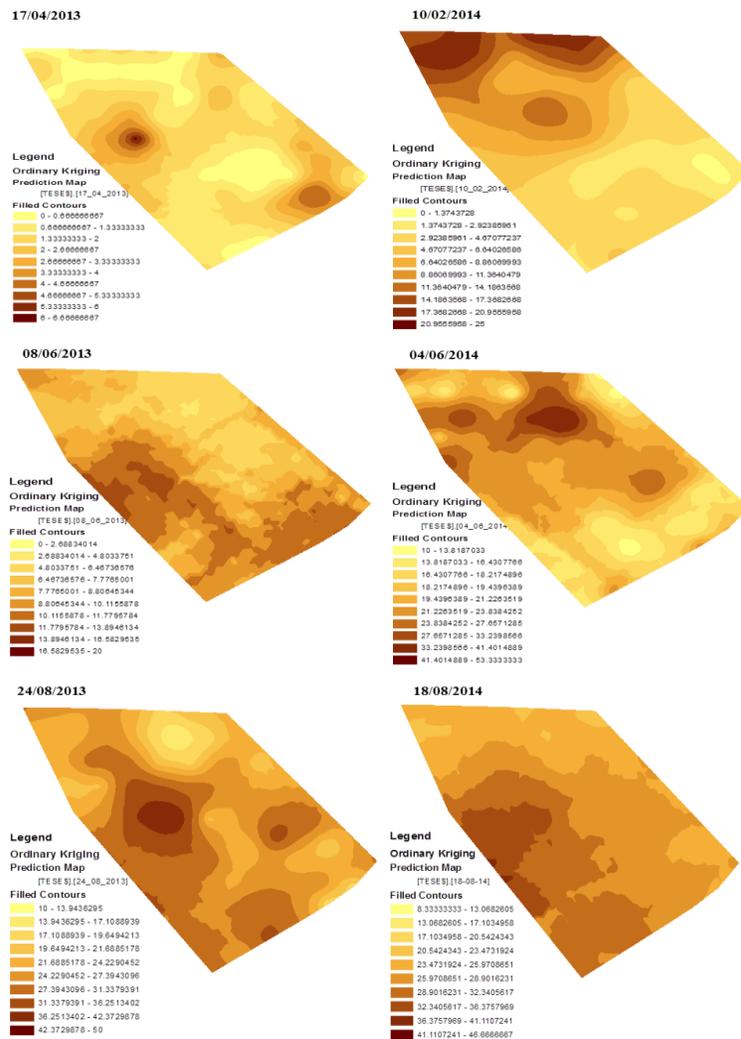
Variável	Modelo	Ao	Co	Co+C	Co/Co+C	GDE
Ferrugem do cafeeiro						
Incidência 17/04/2013	Exponencial	67,05	0	2,788	0	Forte
Incidência 08/06/2013	Exponencial	26,18	18,99	20,316	0,935	Fraco
Incidência 24/08/2013	Exponencial	119,98	23,255	85,698	0,271	Moderado
Incidência 10/02/2014	Exponencial	391,18	8,796	66,193	0,133	Forte
Incidência 04/06/2014	Exponencial	54,49	0	73,387	0	Forte
Incidência 18/08/2014	Exponencial	99,448	62,361	83,986	0,742	Fraco
Análises Foliares						
Fósforo (2013)	Exponencial	391,08	0,0077	0,10379	0,074	Forte
Potássio (2013)	Exponencial	284,46	0,2571	6,9717	0,037	Forte
Boro (2013)	Exponencial	391,18	4,3141	46,2121	0,093	Forte
Fósforo (2014)	Exponencial	188,26	0,0067	0,00782	0,856	Fraco
Potássio (2014)	Exponencial	391,18	1,0955	2,1907	0,500	Moderado
Boro (2014)	Exponencial	391,18	0,2827	197,43	0,001	Forte

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).

Para as avaliações da incidência nas datas de 08/06/2013 e 18/08/2014 houve fraca dependência espacial, enquanto nos dias 17/04/2013, 10/02/2014 e 04/06/2014 a dependência foi forte. Para o dia 24/08/2013 a dependência foi moderada. Os valores do alcance variaram de 26,18 a 391,18 m. Para os teores foliares de P, K e B houve forte dependência espacial para o ano de 2013 e, em 2014, para o nutriente B. O P e K, para o ano de 2014, apresentaram fraco e moderado grau de dependência, respectivamente (TABELA 3).

Embora a distribuição espacial da incidência tenha variado ao longo das avaliações (FIGURA 2), as áreas de maior incidência aumentaram ao longo do tempo nos dois anos de avaliações. Na avaliação de incidência no dia 08/06/2013 a porcentagem de folhas infectadas pela ferrugem variou de 0 a 20%, enquanto no dia 04/06/2014 os valores variaram de 10 a 53%.

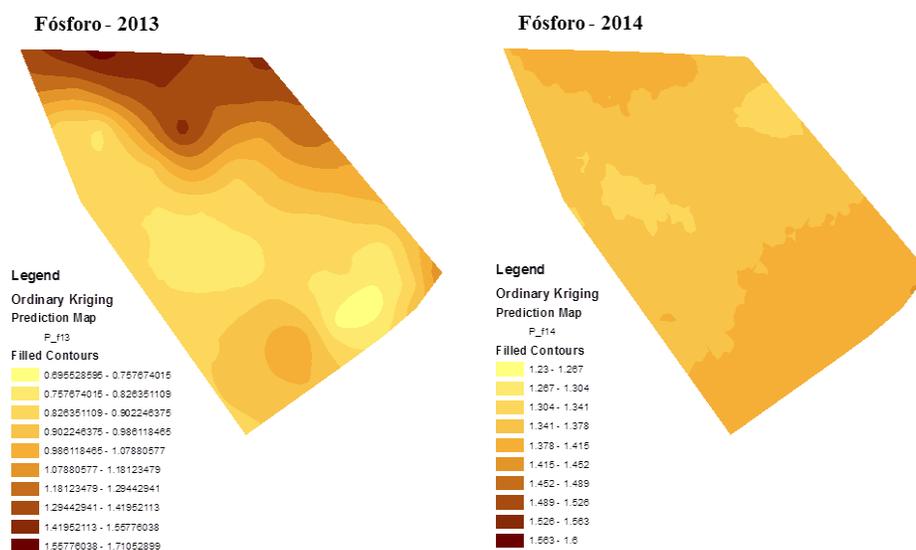
Figura 2 - Krigagem da incidência da ferrugem (%) nas datas 17/04/2013, 08/06/2013, 24/08/2013, 10/02/2014, 04/06/2014 e 18/08/2014.



Além disso, observou-se nos mapas de krigagem, a variação na distribuição dos nutrientes P, K e B ao longo da área amostrada.

A distribuição dos teores foliares de P variou ao longo do espaço e do tempo. No ano de 2013 foi maior do lado esquerdo da área, variando nos pontos de maiores teores de 1,55 a 1,71 g/kg em 2013 e de 1,41 a 1,45 g/kg em 2014 (FIGURA 3). Houve variação quanto à dependência espacial para o teor foliar de P na amostragem em 2013 e 2014. Na amostragem do teor foliar em 2013 houve forte dependência espacial, enquanto em 2014, fraca, com valores de alcance variando de 188,26 a 391,08 m (TABELA 3).

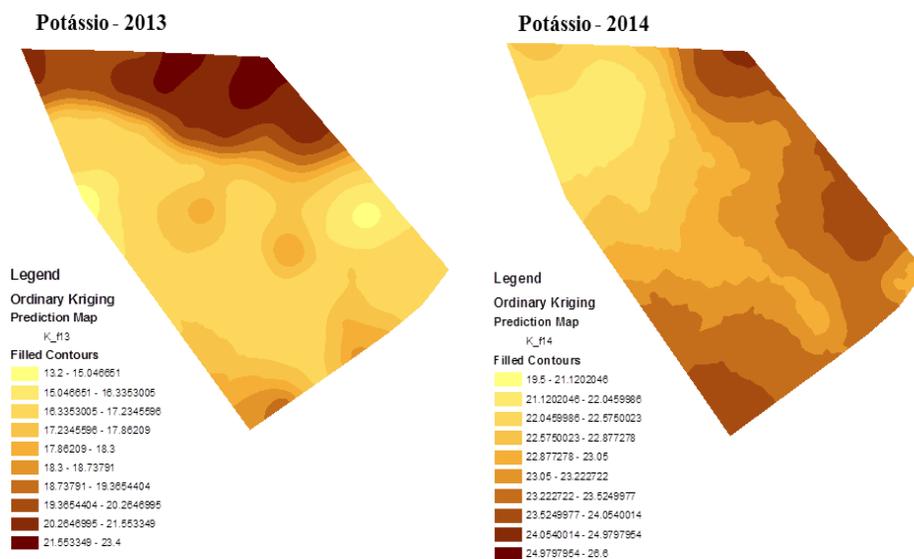
Figura 3 - Krigagem das análises foliares de fósforo (g/Kg) no mês de outubro de 2013 e 2014.



A distribuição dos teores foliares de K variou ao longo do espaço e do tempo. No ano de 2013 foi maior no lado esquerdo da área, enquanto no ano de 2014 foi maior no lado direito, com foco no lado esquerdo, variando nos pontos de maiores teores de 21,55 a 23,40 g/kg em 2013 e de 24,97 a 26,6 g/kg em

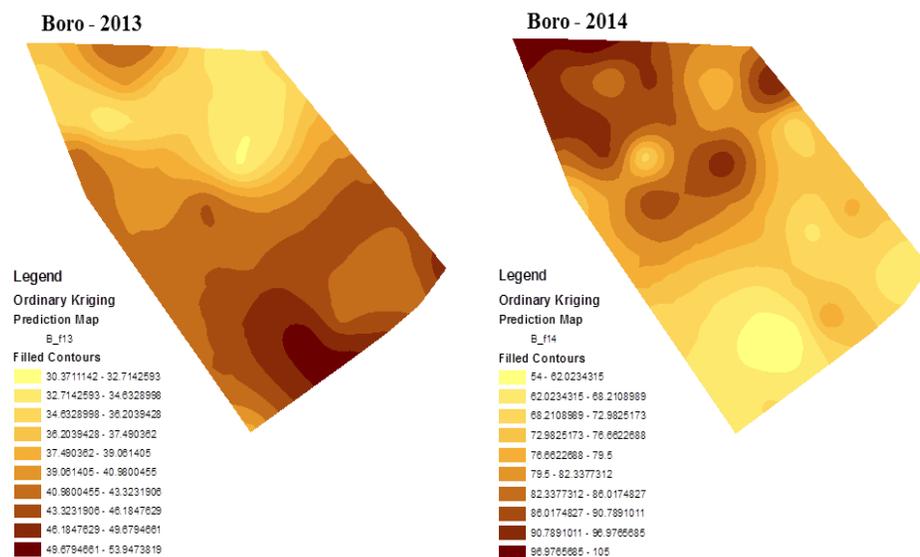
2014 (FIGURA 4). Houve variação quanto à dependência espacial para o teor foliar de K na amostragem em 2013 e 2014. Na amostragem do teor foliar em 2013 houve forte dependência espacial, enquanto 2014 foi moderado, com valores de alcance variando de 284,46 a 391,18 m (TABELA 3).

Figura 4 - Krigagem das análises foliares de potássio (g/Kg) no mês de outubro de 2013 e 2014.



A distribuição dos teores foliares de B variou ao longo do espaço e do tempo. No ano de 2013 foi maior no lado direito da área, enquanto no ano de 2014 foi maior no lado esquerdo, variando nos pontos de maiores teores de 49,67 a 53,95 g/kg em 2013 e de 96,98 a 105,00 g/kg em 2014 (FIGURA 5). Para o teor de B, não houve variação quanto à dependência espacial na amostragem em 2013 e 2014. Todas apresentaram forte dependência espacial, com valores de alcance de 391,18 m (TABELA 3).

Figura 5 - Krigagem das análises foliares de boro (mg/Kg) no mês de outubro de 2013 e 2014.



Em relação às variáveis analisadas para 2013, do lado direito da área foram observadas as maiores incidências da ferrugem do cafeeiro e o maior teor foliar de B e menores teores foliares de P e K. Para o ano de 2014, observaram-se do lado esquerdo da área, as maiores incidências da doença, do teor foliar do B, P e K.

4 DISCUSSÃO

Houve variação no progresso temporal da ferrugem do cafeeiro durante o período avaliado. No ano de 2013, a maior intensidade da doença ocorreu em agosto, e em 2014, em junho. Custódio et al. (2010), estudando o progresso da incidência da ferrugem em lavoura irrigada, observaram a maior incidência da doença nos meses de julho e agosto de 2005, devido provavelmente, à predominância de molhamento foliar com temperaturas médias nas faixas de 16-20°C. Resultados semelhantes foram observados em algumas cidades do estado de Minas Gerais (GARÇON et al., 2004; SILVA-ACUNÃ, 1998; TALAMINI et al., 2003). De acordo com Chalfoun (1997) e Cunha, Mendes e Chalfoun (2004) o deslocamento da curva está condicionada às variações das temperaturas médias, à ocorrência de chuvas esporádicas durante os períodos de outono/inverno, às condições favoráveis à infecção do hospedeiro e à carga pendente da lavoura.

Observando os dados climáticos, durante o período de avaliação, o pico da doença coincidiu com período de temperaturas baixas, no mês de agosto de 2013, a temperatura média externa à copa foi de 17,6°C e interna foi de 17,9°C, enquanto no mês de junho de 2014, a temperatura média da área externa à copa foi de 20,8°C e na área interna à copa foi de 19,4°C. Resultados semelhantes foram observados por Saccas e Charpentier (1971) o qual estudaram as condições favoráveis para a germinação dos urediniósporos, *in vitro*. Segundo os autores, temperaturas ótimas entre 22 a 24°C, ausência de luz e presença de filme de água favoreceram a germinação dos urediniósporos de *H. vastatrix*, ocorrendo, provavelmente, entre 3 a 6 horas.

Além da temperatura, a presença de água no estado líquido, na forma de molhamento foliar, é outro fator indispensável para a germinação do patógeno. Segundo Ward (1882) são necessárias, ao menos, 48 horas de molhamento foliar para ocorrer a infecção no hospedeiro. Carvalho e Chalfoun (1998) e Juliatti et

al. (1998) estudaram a influência do método de irrigação no progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro. Os autores observaram maiores intensidades das doenças nos tratamentos com irrigação por pivô central, com lâmina de irrigação de 100 mm mês⁻¹, quando comparado ao irrigado por gotejamento, malha perfurada (60, 80 e 100 mm mês⁻¹) ou ao tratamento não irrigado. Com isso, o molhamento foliar proporcionado na irrigação por pivô central favoreceu a intensidade das doenças, devido à formação de microclima favorável ao progresso da ferrugem, apresentando comportamento cíclico, com reinoculação frequente do patógeno (CUSTÓDIO et al., 2010). Conforme Bernardo, Soares e Mantovani (2006) deve-se evitar o prolongamento do período de molhamento das folhas e do colo das plantas, fazendo-se a irrigação durante a noite, quando o orvalho já está presente, e aumentando-se o turno de irrigação.

O resultado entre os sensores externo e interno à copa foram semelhantes, provavelmente, devido à estação ter sido instalada externa à copa a 200 m de distância do experimento. Porém, foram observados no coeficiente de correlação para as variáveis climáticas umidade relativa e temperatura interna à copa, valores maiores em relação aos sensores da estação instalada externo à copa. Esse resultado pode ter influência do espaçamento, do tamanho e do enfolhamento das plantas, que aumenta o sombreamento, favorecendo o microclima da área durante todo o ano.

Após a maior incidência no ano de 2013 e 2014, houve queda acentuada do enfolhamento, com mínimo de 48% em 17/10/2013 e 71% em 18/08/2014. Fato esse, observado por Silva-Acunã, Zambolim e Gonzalez-Molina (1994), que citam existir relação direta entre o progresso da ferrugem e a queda de folhas do cafeeiro. Segundo estes autores, maiores desfolhas ocorreram em tratamentos com maiores índices de infecção, que refletem na produtividade da safra seguinte, reduzindo a níveis baixos ou muito baixos os rendimentos da

produtividade. Alguns autores (CUSTÓDIO, 2011; MIRANDA et al., 2006; SANTOS; SOUZA; PAIVA et al., 2011; POZZA, 2004;) observaram tendência de incremento do enfolhamento da lavoura com o fornecimento de maiores lâminas de irrigação (% ECA). Neste caso, os resultados obtidos caracterizam haver associação entre a maior intensidade da ferrugem do cafeeiro no tratamento não irrigado e a menor intensidade da doença, com o aumento do fornecimento das lâminas de irrigação, em lavoura irrigada por gotejamento. Assim, o enfolhamento dos cafeeiros foi maior quando se utilizou a irrigação, devido, provavelmente, à maior disponibilidade de nutrientes e fornecimento de água nessas condições (PAIVA et al., 2011). Segundo Carvalho e Chalfoun (1998) existe associação do déficit hídrico com a deficiência ou desequilíbrio nutricional, afetando o crescimento de plantas.

Além de afetar o crescimento de plantas, a associação do déficit hídrico com a deficiência ou desequilíbrio nutricional pode afetar a produtividade da cultura. Com isso, a diferença de produtividade e do enfolhamento, durante os anos de avaliação, provavelmente, explica a diferença na curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro. No ano de 2013, ocorreu a maior produtividade, com índice de 53 sacas/ha e, em 2014, a produtividade foi de 18 sacas/ha. A maior intensidade da ferrugem foi observada em 2013. Na presença do patógeno, apenas uma pústula pode provocar a queda prematura da folha, reduzindo a área fotossintética da planta, com consequente morte dos ramos plagiotrópicos (Gree, 1993). As desfolhas prematuras e sucessivas da planta reduzem a vida útil da lavoura, tornando o seu cultivo antieconômico, comprometendo a safra futura (CARVALHO; CHALFOUN, 1998). Segundo Androcioli et al. (2012), no estudo de produtos alternativos no controle da cercosporiose e na ferrugem do cafeeiro, a produção no segundo ano de estudos é reflexo de algum tratamento realizado no ano anterior, possibilitando maior enfolhamento das plantas. Com isso, a elevada extração de nutrientes para o

fruto, devido à alta carga pendente do ano de 2013 e à queda prematura das folhas, proporcionou maior suscetibilidade do cafeeiro e conseqüentemente, comprometeu a produtividade do ano seguinte.

Os teores de P, K e B apresentaram correlação com as datas de maior pico da ferrugem do cafeeiro. Freitas (2013), estudando a relação dos teores médios dos nutrientes no solo com a intensidade da Sigatoka-amarela, em bananeira, não observou variação entre os grades. De acordo com Silva et al. (2002), os nutrientes P, K e B apresentaram níveis abaixo dos indicados para o cultivo da bananeira. Os mesmos resultados foram encontrados por Uchôa et al. (2011), estudando a Sigatoka-negra, na cidade de Registro-SP, observaram deficiência nos teores dos nutrientes P, Ca, S, Mg e Zn.

Nas datas de maior intensidade da doença, nos dias 24/08/2013 e 04/06/2014, observou-se moderado e forte grau de dependência espacial, respectivamente, com modelo do semivariograma ajustado para o modelo exponencial, o mesmo encontrado por Alves et al. (2009) para a ferrugem. Possivelmente, ocorreu redução da doença com o aumento da distância, culminando na estabilidade dos modelos e satisfazendo a hipótese da estacionariedade. Para Silva e Chaves (2001) o modelo exponencial é o mais apropriado para as propriedades da nutrição de plantas e fertilidade do solo. Alves et al. (2009) encontraram alcance variando de 38,4 a 84,4 m para a ferrugem do cafeeiro, enquanto no presente trabalho, encontrou-se alcance entre 26,18 a 391,18 m. Esses resultados evidenciam maior intensidade da ferrugem do cafeeiro nesse trabalho quando comparado com o trabalho de Alves et al. (2009). Para a severidade da Sigatoka-negra, Uchôa et al. (2011) verificaram forte grau de dependência espacial e alcance de 25,26 m. Para o mofo branco em área irrigada por pivô central, Carvalho (2008) encontrou forte grau de dependência espacial, com alcance de 111,19 m.

Em relação aos mapas de krigagem, observou-se relação entre as datas selecionadas. Para o ano de 2013, os mapas apresentaram maiores intensidades do lado direito. Nesse mesmo lado, também foram observados os maiores teores de B, e baixos teores de P e K. Para o ano de 2014, os mapas apresentaram maiores intensidades do centro para o lado direito. Nesse mesmo lado, também foram observados os maiores teores de B e baixos teores de P e K. Esses resultados mostram a relação inversa dos nutrientes P e K com a incidência da ferrugem do cafeeiro e relação positiva com o nutriente B. Esse fato demonstra a importância do equilíbrio entre os nutrientes, onde o excesso ou a falta deles poderá afetar a incidência da doença (GARCIA JUNIOR et al., 2003; MARCHNER, 2012; POZZA et al., 2000). Uchôa et al. (2011) observaram padrão de variabilidade espacial inversa da severidade da sigatoka-amarela com os teores foliares de K e P em bananeiras e relação positiva com o cálcio.

Couto e Klamt (1999), estudando a distribuição espacial de micronutrientes em solo, sob pivô central, observaram deficiência de 95% das amostras com o nutriente B, ou seja, a aplicação de fertilizantes, apesar de valores elevados, não foi suficiente. Carvalho et al. (1996), trabalhando com os teores foliares de N e K, em diferentes fases de desenvolvimento dos frutos, cargas pendentes e épocas de desbaste, com o progresso da ferrugem do cafeeiro, observaram a maior incidência da doença quando apresentaram os menores teores de N e K na planta. Custódio (2011), trabalhando com adubação de Ca e K na incidência da ferrugem do cafeeiro, observou menor progresso da doença nas doses medianas de calcário aplicado (2 t ha^{-1}), enquanto a dose de cloreto de potássio (KCl) foi responsável por menores amplitudes na variação da intensidade da doença, reafirmando a necessidade de equilíbrio entre nutrientes. De acordo com Uchôa et al. (2011), o equilíbrio do nutriente pode ser tão importante quanto o nível de um elemento específico, ressaltando a importância

da recomendação de adubação adequada, do equilíbrio nutricional e do fornecimento do nutriente no momento adequado às plantas.

No cafeeiro a adubação das plantas mantendo níveis adequados de nutrientes minerais promove o aumento de produtividade, além de manter o enfolhamento e reduzir a incidência de doenças. Esses níveis adequados devem ser observados durante todo o ciclo por meio da análise do tecido foliar, pois ocorre variação no teor foliar a cada dia, mês e ano, dependendo da cultura, sendo necessária a reposição para não ocorrer efeito no incremento de produtividade e na intensidade das doenças.

5 CONCLUSÕES

Houve dependência espacial da ferrugem do cafeeiro com os teores de P e K e B. Sendo a maior incidência da ferrugem do cafeeiro nas áreas com os menores teores de P e K e os maiores teores de B.

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

- ALVES, M. C. et al. Modeling spatial variability and pattern of mat and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Berlin, v. 82, n. 2, p. 137-148, May 2009.
- ANDROCIOLI, H. G. et al. Alternative products to control *Hemileia vastatrix* (Berkeley & Broome) and *Cercospora coffeicola* (Berkeley & Cooke) in organic coffee. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 187-197, maio/ago. 2012.
- AVELINO, J.; WILLOCQUET, L.; SAVARY, S. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. **Plant Pathology**, Australia, v. 53, n. 5, p. 541-547, June 2004.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2006. 625 p.
- 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.
- BROWN, P. H. et al. Boron in plant biology. **Plant Biology**, New York, v. 4, n. 2, p. 205-223, June 2002.
- BRYLA, D. R. et al. Influence of irrigation method and scheduling on patterns of soil and tree water status and its relation to yield and fruit quality in peach. **Hortscience**, Virginia, v. 40, n. 7, p. 2118-2124, Dec. 2005.
- 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: John Wiley, 1990. 532 p.
- 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, V. L. et al. Influencia da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 401-405, jun. 1996.

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

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M.; PEREIRA, M. C. Efeito de alterações climáticas sobre o progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1248-1252, set./out. 2001. Suplemento.

CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro**: importância, identificação e métodos de controle. Lavras: Editora da UFLA, 1997. 96 p.

COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuaí'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, jan./fev. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café**: safra 2016: volume 1. Brasília: CONAB, 2016. 68 p.

COUTO, E. G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2321-2329, dez. 1999.

CUNHA, R. L.; MENDES, A. N. G.; CHALFOUN, S. M. Controle químico da ferrugem do cafeeiro e seus efeitos na produção e preservação do enfolhamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 990-996, set./out. 2004.

CUSTÓDIO, A. A. 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.

CUSTÓDIO, A. A. P. **Irrigação, nutrição e face de exposição ao sol no progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro**. 2011. 197 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

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

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

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS 9. Understanding map projections**. Redlands: ESRI, 2004.

FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. **Irrigação na cafeicultura**. Lavras: Editora da UFLA, 1997. 110 p.

FARIA, M. F. et al. Influência das lâminas de irrigação na maturação e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.): 2ª colheita. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari. **Resumos...** Uberlândia: Editora da UFU, 2001. p. 11-14.

FREITAS, A. S. **Sigatoka-amarela da bananeira em função da nutrição mineral em solução nutritiva e da distribuição espacial da fertilidade do solo**. 2013. 80 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

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.

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.

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

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.

HUERTA, S. A. Par de folhas representativo del estado nutricional del cafeto. **Cenicafé**, Chinchina, v. 14, n. 1, p. 11-127, Abr./June 1963.

JEFFERSON, P. G.; GOSSSEN, B. D. Irrigation increases *Verticillium* wilt incidence in a susceptible alfalfa cultivar. **Plant Disease**, Estados Unidos, v. 86, n. 6, p. 588-592, Nov. 2002.

JULIATTI, F. C. et al. Incidência da *Cercospora coffeicola* no café irrigado de Araguari-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 24., 1998. Poços de Caldas. **Trabalhos Apresentados...** Rio de Janeiro: IBC, 1998. p. 212-213.

JULIATTI, F. C.; SILVA, S. A. **Manejo integrado de doenças na cafeicultura do cerrado**. Uberlândia: Editora da UFU, 2001. 132 p.

LIMA, L. M. 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. 2010.

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.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997. 319 p.

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

MIRANDA, J. C. et al. Intensidade da ferrugem em cafeeiro fertirrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 885-891, jan./fev. 2006.

MORALES, P. et al. Respuesta del duraznero a diferentes patrones de aplicación del agua. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 17-24, jan. 2010.

OLAYNA, O. M.; PORTER, G. A.; LAMBERT, D. H. Supplemental irrigation and cultivar effects on potato tuber diseases. **Australian Journal of Crop Science**, Australia, v. 4, n. 1, p. 29-36, Jan. 2010.

PAIVA, B. R. T. L. et al. Progresso da ferrugem do cafeeiro irrigado em diferentes densidades de plantio pós-poda. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 137-143, jan. 2011.

PEREIRA, S. P. et al. Vegetative growth and yield of coffee plants (*Coffea arabica* L.) in two different pruning times, conducted at different spacings. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 643-649, mar. 2006.

POZZA, A. A. A. et al. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: SIMPOSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 2012, Lavras. **Anais...** Lavras: Núcleo de Estudo em Fitopatologia, 2012.

POZZA, A. 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. et al. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 29-34, jan. 2000.

POZZA, E. A.; ALEXANDRE-POZZA, 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.

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: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

ROTEM, J.; PALT, J. Irrigation and plant diseases. **Annual Review Phytopathology**, London, v. 7, n. 2, p. 267-288, Feb. 1969.

SACCAS, A. M.; CHARPENTIER, J. La rouille des caféiers due a *Hemileia Vastatrix* Berk. & Br. **Bulletin Institut Français du Café et du Cacao**, França, n. 10, p. 1-123, Oct. 1971.

SANTOS, F. D. S.; SOUZA, P. E.; POZZA, E. A. Epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado. **Summa Phytopathologica**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 31-37, jan. 2004.

SAS INSTITUTE. **SAS language and procedures: usage**. Cary: SAS Institute 2000. 38 p.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildew ingresistance in know wheat. **Phytopathology**, Estados Unidos, v. 67, n. 2, p. 1051-1056, Feb. 1977.

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).

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 431-436, fev. 2001.

SILVA-ACUNÃ, R. Estudo epidemiológico da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) utilizando a análise de trilha. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 425-430, set./out. 1998.

SILVA-ACUNÃ, R.; ZAMBOLIM, L.; GONZALEZ-MOLINA, E. de C. Estratégias de controle químico da ferrugem em cafeeiros sombreados na Venezuela. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 377-383, set. 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TALAMINI, V. et al. Progress of coffee rust and brown eye spot with different periods at initial irrigation and fertirrigation time. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 141-149, jan./fev. 2003.

UCHÔA, C. D. 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, mar. 2011.

WARD, H. M. Research on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the coffee leaf disease. **Journal of the Linnean Society (Botany)**, London, v. 12, n. 1, p. 299-335, Jan. 1882.