



MAURO PERARO BARBOSA JUNIOR

**MANAGEMENT OF COFFEE RUST AND BROW EYE SPOT
USING CULTURAL AND CHEMICAL CONTROL**

**LAVRAS – MG
2020**

MAURO PERARO BARBOSA JUNIOR

**MANAGEMENT OF COFFEE RUST AND BROW EYE SPOT USING CULTURAL
AND CHEMICAL CONTROL**

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

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza
Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Coorientador

**LAVRAS - MG
2020**

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

Barbosa Junior, Mauro Peraro.

Management of coffee rust and brow eye spot using cultural and chemical control/ Mauro Peraro Barbosa Junior. – 2020.

99 p. : il.

Orientador: Paulo Estevão de Souza.

Coorientador: Edson Ampélio Pozza.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

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

MAURO PERARO BARBOSA JUNIOR

MANAGEMENT OF COFFEE RUST AND BROW EYE SPOT USING CULTURAL AND
CHEMICAL CONTROL

MANEJO DA FERRUGEM E CERCOSPORIOSE DO CAFEEIRO UTILIZANDO O
CONTROLE CULTURAL E QUÍMICO

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

APROVADA em 12/02/2020

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza-UFLA

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza-UFLA

Prof. Dr. Mário Sobral de Abreu – UFLA

Dra. Deila Magna do Santos Botelho- UFLA

Dr. Hudson Teixeira- EPAMIG

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza
Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Coorientador

LAVRAS - MG
2020

AGRADECIMENTOS

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

Ao meu orientador e co-orientador professores Paulo Estevão de Souza e Edson Ampélio Pozza, pela oportunidade, conselhos, ensinamentos e amizade durante o curso de pós-graduação.

Aos membros da banca pela contribuição valiosa e pelas críticas.

Ào pessoal do laboratório de epidemiologia: Humberson, Aurivan, Júlia, Renata, Mário, Andreane, Sílvio e a todos os colegas e funcionários do Departamento de Fitopatologia.

A minha noiva, Deborah, pelo seu amor, carinho, paciência e compreensão, estando sempre ao meu lado em todos os momentos, ajudando a superar as dificuldades.

A minha família, principalmente aos meus pais, Valéria e Mauro, pelo constante incentivo aos estudos, a minha irmã Laura. Ao meu sogro, minha sogra e cunhada pelo apoio.

Aos amigos conquistados em Lavras em especial ao Rodrigo Valeriano e a República Rancho Fundo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por conceder a bolsa de estudos. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT Café).

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

MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO GERAL

O Brasil é o maior produtor de café arábica do mundo e as doenças são umas das principais causas de perdas na produção dos cafeeiros. Na América Central e no México, a ferrugem (*Hemileia vastatrix*) causou perdas progressivas na produção de até 45% nas safras de 2011 a 2014, desencadeando em crise socioeconômica para esses países. Entretanto as principais cultivares plantadas nas lavouras pertencem a genótipos suscetíveis à ferrugem e à cercosporiose. Visando reduzir tanto o inóculo inicial como a taxa de progresso dessas doenças, os agricultores devem fazer o uso de manejo integrado de doenças. Dessa forma foram realizados três experimentos, um (1) em casa de vegetação e dois (2) no campo, com o intuito de verificar a epidemiologia e forma de controle, cultural e química para a ferrugem e cercosporiose do cafeeiro. No primeiro experimento, objetivou-se avaliar a interação de cinco doses de fósforo (0,1, 0,5, 1, 2 e 4 mmol L⁻¹) combinadas com cinco doses de boro (0,1, 0,5, 1, 2 e 4 mmol L⁻¹). Os dados da incidência e severidade foram integralizados em Área Abaixo da Curva de Progresso da Incidência e Severidade da Cercosporiose (AACPIC) e (AACPSC), foram avaliados o peso seco das amostras e o teor foliar dos nutrientes. Observou-se interação significativa entre o P e o B e as menores intensidades da doença foram encontradas nas doses 2,0 mmol L⁻¹ de P e 2,0 mmol L⁻¹ de B. O maior peso das plantas secas (5,7 g planta⁻¹) foi encontrado na menor dose de P (0,1 mmol L⁻¹), além disso, o suprimento de P e B influenciaram a quantidade de P, Cu, Fe, Ca e B foliar. No segundo experimento o objetivo do trabalho foi avaliar a severidade da cercosporiose em cafeeiro submetido a diferentes manejos de irrigação por gotejamento e adubação. A cultivar avaliada foi MGS Travessia. As avaliações da doença foram realizadas entre março de 2012 a junho de 2014. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 12 tratamentos. Os tratamentos de irrigação foram: controle sem irrigação (SI), irrigação ao longo do ano (IT), suspensão da irrigação por 30 dias em julho (I30) e 70 dias entre julho a setembro (I70). Os tratamentos de fertilização foram: recomendação segunda a análise de solo (A), alta taxa de N e K mais P (B) e alta taxa de N e K sem o fósforo (C). A severidade da doença foi integrada em (AACPD). Houve diferença para AACPD nos anos avaliados, refletindo a característica bienal da lavoura cafeeira. Não houve interação significativa entre irrigação e fertilização. No entanto, quando os tratamentos de irrigação e fertilização foram analisados separadamente, a suspensão da irrigação por 70 dias entre julho e setembro de 2012 favoreceu a cercosporiose no mesmo ano em que as altas taxas de N e K aumentaram a produtividade. E no terceiro experimento, objetivou-se avaliar o efeito de misturas de fungicidas no manejo da resistência de fungos e verificar o fornecimento de manganês e zinco via Mancozeb. O ensaio foi implantado em duas áreas nos anos de 2017 e 2018 e foram avaliados 6 tratamentos. Foram realizadas cinco avaliações da ferrugem, cercosporiose e enfolhamento em cada ano de avaliação. Os dados foram integralizados em Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem (AACPF), cercosporiose (AACPC) e enfolhamento (AACPE). Os fungicidas controlaram as doenças e proporcionaram maior enfolhamento do cafeeiro. O fungicida Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol forneceram manganês e zinco foliar. As maiores produtividades ocorreram nos fungicidas Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol na dose 2,5 Kg ha⁻¹ e Piraclostrobina+Epoxiconazol na dose 1,5 L ha⁻¹ no ano 2018 e média dos anos 2017/18.

Palavras-chave: *Coffea arábica*. *Hemileia vastatrix*. *Cercospora coffeicola*. Nutrição Mineral. Controle químico.

ABSTRACT

Brazil is the largest producer of arabica coffee in the world and diseases are the main causes of losses in coffee production. In Central America and Mexico, rust (*Hemileia vastatrix*) caused progressive losses in the production of 45% in the harvests from 2011 to 2014, triggering a socioeconomic crisis for these countries. However, the main cultivars are genotypes susceptible to rust and brown eye spot. In order to participate as much as the initial use of a disease rate, companies should make use of integrated disease management. This study is a plant after process of epidemiological and control of the epidemiological and control of microbiology in the area of plantation and fences. In the first experiment, five phosphorus doses (0.1, 0.5, 1, 2 and 4 mmol L⁻¹) were combined with five doses of boron (0.1, 0.5, 1, 2 and 4 mmol L⁻¹). The severity data were integrated in AACPSC regarding the dry weight of the samples and the foliar nutrient contents. The significant interaction between P and B and dietary intensities were observed at doses 2.0 and 2.0 mmol L⁻¹ of P and B, respectively. The highest dry weight (5.7 g plant⁻¹) was found in the lowest dose of P (0.1 mmol L⁻¹). In addition, the P supply influenced the foliar levels of P, Cu, Fe, Ca and B. In the second experiment, the aim of the study was to evaluate the severity of brown eye spot in coffee plantations subjected to different drip irrigation and fertilization management. The study was carried out in Lavras-MG, Brazil, in a plantation of the cultivar MGS Travessia. Disease assessments were performed monthly from March 2012 to June 2014. The experimental design was a randomized block design with 12 treatments. The irrigation treatments were the control, without irrigation, irrigation all year, suspension of irrigation for 30 days in July, and for 70 days between July and September. The fertilization treatments were: i) recommended rate of NK fertilizer, ii) high rate of NK plus P and iii) high rate of NK. The severity of the disease were integrated in AUDPC. There was a difference in AUDPC in the evaluated years, reflecting the biennial characteristic of the coffee crop. There was no significant interaction between irrigation and fertilization. However, when irrigation and fertilization treatments were analyzed separately, the suspension of irrigation for 70 days between July and September in 2012 favored brown eye spot and in the same year the high rates of NK increased productivity. In the third experiment, the objective of the study was to evaluate the effect of fungicide mixtures on fungus resistance management and to verify manganese and zinc supply via Mancozeb. The experiment was implemented in two areas in 2017 and 2018 and six treatments were evaluated. Five evaluations of rust, brown eye spot and defoliation were carried out in each evaluation year. The data were integrated in Area Under the Rust Progress Curve (AACPF), brown eye spot (AACPC) and leaf growth (AACPE). The fungicides controlled the diseases and provided greater coffee planting. The fungicide Mancozeb + Azoxystrobin + Ciproconazole provided manganese and leaf zinc. The highest yields were observed in Mancozeb + Azoxystrobin + Ciproconazole at 2.5 kg ha⁻¹ and Piraclostrobin + Epoxiconazole at the dose of 1.5 L ha⁻¹ in the year 2018 and the average of the years 2017/18.

Keywords: *Coffea arabica*. *Hemileia vastatrix*. *Cercospora coffeicola*. Mineral nutrition. Chemical control.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1 - Curva de progresso da incidência (A e B) e da severidade (C e D) da Cercosporiose, em dias após a inoculação (DAI), em função de diferentes concentrações de fósforo e boro. 42
- Figura 2 - Área Abaixo da Curva de Progresso da incidência da Cercosporiose (AACPDIC) (A) e severidade (AACPDSC) (B) em função da interação das concentrações de Fósforo e de Boro. UFLA, Lavras – MG, 2015. 43
- Figura 3 - Peso dos órgãos secos em função das concentrações de Fósforo. **MS**= Peso total da muda; **R+CS**= Peso das raízes + caules secos; **FS**= Peso das folhas secas. UFLA, Lavras – MG, 2015. 44
- Figura 4 - Teores foliares de Fósforo (A), Cobre (B), Ferro (C), em função das doses de P. Cálcio (D) em função das doses de B, Boro (E) em função da interação entre as doses de P e de B em solução nutritiva. UFLA, Lavras – MG, 2015. 45

ARTIGO 2

- Figure 1-** Progression curve of the average incidence of cercospora leaf spot and the average foliage percentage (A), monthly averages of climatic variables, relative humidity (**RH**) and accumulated rainfall (**RF**) (B), and maximum (**TMAX**), minimum (**TMIN**) and average (**TMED**) temperatures (C). From March 2012 to June 2014.62
- Figure 2-** Area under the incidence progress curve of cercospora leaf spot (AUIPCC) of coffee between the years 2012, 2013, and 2014.63

ARTIGO 3

- Figura 1 **A, B, C e D** - Curva de progresso da incidência média da Ferrugem e da Cercosporiose (A) e porcentagem de enfolhamento médio das parcelas (B), médias mensais das variáveis climáticas: temperaturas máxima (**MAX**), média (**MED**), mínima (**MIN**), insolação (**Radiation**) (C), umidade relativa (**RH**) e precipitação acumulada (**Precipitation**) (D). Em 2017 e em 2018. 85
- Figura 2 **A e B** - Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem, da Cercosporiose do cafeeiro, (A) UFLA e (B) Faz. Limeira, em função dos fungicidas aplicados em 2017 e em 2018. 86

Figura 3	A e B - Área Abaixo da Curva de Progresso do enfolhamento do cafeeiro, (A) UFLA e (B) Faz. Limeira, em função dos fungicidas aplicados em 2017 e em 2018.	87
Figura 4	A, B e C - Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem, da Cercosporiose e do enfolhamento (A, B e C) em função das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha ⁻¹ nos anos de 2017 e 2018.	88
Figura 5	A e B - Teores foliares de Manganês (A) e de Zinco (B) em função dos fungicidas pulverizados, em 08/12/2017 e em 20/02/2018. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.	91
Figura 6	A e B - Teores foliares de Manganês e de Zinco em função das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha ⁻¹	92
Figura 7	- Produtividade média do cafeeiro entre 2017 e 2018 em função das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha ⁻¹	94

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 2

- Table 1** - Values of AUIPCC for the four irrigation treatments and for the three fertilization treatments. 64
- Table 2** - Averages for coffee productivity in bags of 60 kg/ha⁻¹ in the years 2012, 2013 and accumulated of the two years, due to irrigation and fertilization managements. 65

ARTIGO 3

- Tabela 1 - Tratamentos aplicados nos campos experimentais, com suas respectivas épocas e doses de pulverização. 80
- Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre as incidências da Ferrugem, da Cercosporiose e de enfolhamento com os teores foliares dos macros e dos micronutrientes. Trinta dias após a pulverização das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha⁻¹ realizadas em 08/12/2017 e em 20/02/2018..... 89
- Tabela 3 - Produtividade do cafeeiro em sacas de 60 kg ha⁻¹, em 2017, 2018 e média, na UFLA e Fazenda Limeira, em função dos fungicidas aplicados. 93
- Tabela 4 - Coeficientes de correlação entre Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem (AACPF), cercosporiose (AACPC) e enfolhamento (AACPE), e as produtividades nos anos de 2017, 2018 e média. 95

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	11
1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Café	14
2.2	Ferrugem do cafeeiro	15
2.3	Cercosporiose do cafeeiro	16
2.4	Irrigação por gotejamento e sua influencia nas doenças do cafeeiro	17
2.5	Nutrição mineral e sua influência nas doenças do cafeeiro	18
2.5.1	Nutrição com nitrogênio, fósforo (P), potássio (K) e boro (B)	19
2.5.1.1	Nitrogênio (N)	19
2.5.1.2	Fósforo (P)	20
2.5.1.3	Potássio (K)	21
2.5.1.4	Boro (B)	22
2.6	Controle químico do cafeeiro e estratégia antirresistência	22
2.6.1	Grupo químico dos: Triazóis, Estrobilurinas e Ditiocarbamatos	23
2.6.1.1	Triazóis	23
2.6.1.2	Estrobilurinas	24
2.6.1.3	Ditiocarbamatos	25
	REFERÊNCIAS	27
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	34
	ARTIGO 1 - REDUÇÃO DA CERCOSPORIOSE EM MUDAS DE CAFEIEIRO SUPRIDAS COM FÓSFORO E COM BORO	34
	ARTIGO 2 - BROWN EYE SPOT IN COFFEE SUBJECTED TO DIFFERENT DRIP IRRIGATION AND FERTILIZATION MANAGERMENTS	53
	ARTIGO 3 - MISTURAS DE FUNGICIDAS COM O MANCOZEB NO CONTROLE DA FERRUGEM, DA CERCOSPORIOSE E NA NUTRIÇÃO DO CAFEIEIRO	75

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café arábica do mundo com área total estimada em 1,2 milhões hectares e produção de 27,6 milhões sacas de 60 kg ha⁻¹ de café (CONAB, 2019). As doenças são umas das principais causas de perdas na produção dos cafeeiros. Devido, as principais cultivares plantadas nas lavouras pertencem a genótipos suscetíveis à ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) e à cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) do cafeeiro (*Coffea arabica*). Em países da América Central e no México, a ferrugem causou perdas progressivas na produção de até 45% nas safras de 2011 a 2014, desencadeando uma crise socioeconômica para essa região (Mac COOK; VANDEMEER, 2015).

Visando reduzir tanto o inóculo inicial como a taxa de progresso dessas doenças, os agricultores devem fazer o uso de manejo integrado mediante a implementação do controle genético, cultural e químico nas lavouras cafeeiras. O controle genético é feito com o uso de cultivares resistentes. Já o manejo cultural também baseado no uso correto e equilibrado de irrigação e nutriente minerais surge como alternativa ao estar relacionado diretamente com a intensidade de doenças, além de ser um fator passível de manipular (BUCHANAN, 2015). Porém, a má distribuição das chuvas, observadas nos últimos anos tem sido frequente mesmo em áreas aptas ao plantio do cafeeiro (INPE, 2011). Dessa maneira, a irrigação tornou-se economicamente viável e tem sido utilizada para suprir a necessidade da água do cafeeiro em momentos específicos (LIMA et al., 2009; COELHO et al., 2009). A disponibilidade de água torna os nutrientes disponíveis para absorção. Uma vez na planta poderá constituir as primeiras barreiras de resistência, como a camada de cera e a parede celular, dificultando a penetração e colonização dos patógenos (POZZA & POZZA, 2012). Em sistemas irrigados por gotejamento, além de a água ser distribuída de forma localizada pode-se parcelar a adubação por fertirrigação, além disso, esse método não modifica o microclima da planta, e conseqüentemente a incidência de doenças (TALAMINI et al., 2001, 2003; MIRANDA et al., 2006).

Quando disponíveis de forma equilibrada para a planta, os nutrientes minerais podem interferir diretamente na intensidade de doenças (PINHEIRO et al., 2011; POZZA et al., 2015; DORNELAS et al., 2015; PEREZ et al., 2017). Entre os nutrientes capazes de serem distribuídos e absorvidos pelas plantas cita-se o nitrogênio. Esse nutriente é fornecido em

maiores quantidades e está relacionado em diversas etapas de seu metabolismo, faz parte dos compostos orgânicos das células vegetais, participa de processos enzimáticos e reações de óxido-redução (RICE, 2007). O fósforo (P) pode exercer diversas funções, atuando na fotossíntese, respiração, metabolismo de açúcares, divisão celular, crescimento celular e também na transferência de informações genéticas (LEHNINGER, 2014). Já o potássio (K), é requerido como cofator de mais de 40 enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese. Esse elemento estabelece turgor celular, promove o desenvolvimento de paredes externas e determina padrões de abertura dos estômatos (MARSCHNER, 2012). Entre os micronutrientes, o boro (B) atua na estrutura da parede celular, na biossíntese da membrana plasmática e no metabolismo de fenóis (BLEVIS & LUKASZEWSKI, 1998). Além disso, o B mantém os níveis de AIA corretos, dessa maneira a quantidade de auxinas ficam adequadas para o desenvolvimento de raízes, ramos e folhas jovens nas plantas (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007).

O controle químico é realizado mediante a pulverização com fungicidas. Os principais produtos utilizados são os fungicidas sistêmicos (Triazóis e Estrobilurinas) e os protetores ou de contato (Cúpricos e Ditiocarbamatos), são realizadas pulverizações entre os meses de agosto a março, antes das doenças atingirem seus respectivos níveis de controle (POZZA et al., 2010). A possível descoberta de novos grupos químicos é cada vez mais distante. Diante desse cenário, devem-se melhorar as formulações já existentes e desenvolver produtos com misturas entre fungicidas como estratégia para evitar a seleção direcional de populações de fitopatógenos, aumentando o tempo e a durabilidade das moléculas dos sistêmicos (FRAC, 2010; VAN DEN BOSCH et al., 2015). Os Triazóis atuam inibindo a síntese do Ergosterol em fungos superiores. Já as Estrobilurinas inibem respiração mitocondrial. A mistura de Triazóis e Estrobilurinas com fungicidas multissítios (Mancozeb) é promissora, e hoje, é considerada como alternativa de manejo por aumentar a durabilidade das moléculas dos sistêmicos e atuar na resistência de patógenos (FRAC, 2015). A molécula do fungicida Mancozeb atua inibindo diversas enzimas. Além disso, possui Manganês (20%) e Zinco (2,5%) em sua composição, tendo efeito secundário de nutrição das plantas (FAO, 2015). O manganês é um micronutriente ativador de enzimas como Peroxidase e Polifenoloxidase, as quais aumentam a concentração de fenóis, inibindo o crescimento e o desenvolvimento de patógenos. Já o zinco (Zn) está envolvido no metabolismo de carboidratos, na manutenção da integridade da parede celular, síntese de proteínas, regulação da síntese de auxinas, fotossíntese e formação da clorofila (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar o manejo integrado de doenças, com a utilização da irrigação e nutrição mineral, visando ativar defesas físicas e bioquímicas das plantas, bem como verificar o efeito da mistura de Triazol, Estrobilurinas e Mancozeb no fornecimento de manganês e zinco foliar, dessa maneira aumentando a resistência do cafeeiro contra as doenças e garantindo a sustentabilidade dessa cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Café

O cafeeiro pertence à família rubiácea, do subgrupo *Erythrocoffea*, do grupo *Eucoffea*, sendo o de maior importância econômica por compreender as espécies *Coffea arabica* Lineu (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusta), essas espécies possuem cafeína e são as mais cultivadas em todo o mundo (CARVALHO, 1952; KRUG; MENDES; CARVALHO, 1939). Juntas, essas espécies predominam no mercado de café, respondendo por cerca de 100% de toda a produção mundial e o consumo de café arábica em torno de 70% (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

As plantas caracterizam-se por serem de porte arbustivo ou arbóreo, podendo atingir até 4,0 m e apresentam uma raiz principal amplamente ramificada nas primeiras camadas de solo. A espécie tem caule lenhoso e lignificado, ramos laterais longos e flexíveis, os quais crescem horizontalmente, denominados de plagiotrópicos, e um ramo principal, este cresce verticalmente, denominado de ortotrópico (MELO; BARTHOLO; MENDES, 1998; RENA; MAESTRI, 1986).

No Brasil, o cultivo do café arábica é amplamente realizado, adaptado e generalizado para pleno sol, em razão das altas latitudes (19,0° a 24,0° Sul) e altitudes mais baixas (500 a 1.300 m), em relação ao local de origem (FAZUOLI et al., 2007). Atualmente, os seis principais estados produtores de café são, na seguinte ordem: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná. Na safra 2015/16, foram estimados 73% da produção proveniente de lavouras formadas com cultivares de *Coffea arabica* e 27% de cultivares da espécie *Coffea canephora* (CONAB, 2016).

Nas condições tropicais brasileiras, a espécie *C. arabica* possui seis fases fenológicas, vegetativas e reprodutivas, estas ocorrem de forma simultânea durante 24 meses (CAMARGO; 2001). São elas: vegetação e formação das gemas vegetativas (1° fase); indução, crescimento e dormência das gemas florais (2° fase); florada, chumbinho e expansão dos frutos (3° fase); granação dos frutos (4° fase); maturação dos frutos (5° fase) e repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários (6° fase).

2.2 Ferrugem do cafeeiro

Doença de etiologia fúngica, a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) é conhecida desde 1869, na Ásia e na África (BERKELEY; BROOME, 1869). É, sem dúvida, considerada a mais limitante e devastadora enfermidade do cafeeiro (RAYNER, 1972). Segundo Wellman (1970), foi constatada, no Brasil em 1970, e encontrada em todos os países latinos cafeicultores, em 1984 (KUSHALAPPA; ESKES, 1989).

Essa espécie é um parasita celular obrigatório (biotrófico). A presença de água no estado líquido, na forma de molhamento foliar, é fator indispensável para a germinação do patógeno, este penetra via estômatos (WARD, 1882b), situados na face abaxial das folhas (MCCAIN; HENNEN, 1984). Porém são necessárias, ao menos, 48 horas de molhamento foliar para a ocorrência da infecção no hospedeiro (WARD, 1882b). Sob condições ideais, essa germinação pode ocorrer entre 3 e 6 horas, com temperatura ótima de 22,0°C e baixa luminosidade. E, ainda, o intervalo de tempo que melhor favorece o processo de infecção, ocorre entre 22 e 8 horas, principalmente com a presença de molhamento foliar durante a noite (RAYNER, 1972).

No campo, a baixa luminosidade ocorre, principalmente, em lavouras estabelecidas em locais sombreados (STAVER et al., 2001; CUSTÓDIO et al., 2014). A influência da temperatura, da umidade e da luminosidade também foi objeto de estudo de Saccas e Charpentier (1971), os autores fizeram comparações de estudos *in vitro* e *in situ*. Verificaram a necessidade de camada de água junto à ausência de luz e temperaturas ótimas de 22,0°C e 24°C. Estas seriam as condições necessárias para a germinação dos urediniósporos de *Hemileia vastatrix*.

As perdas de produção na lavoura atribuídas a essa doença devêm-se, basicamente, à desfolha prematura, esta reduz a área fotossintética da planta, com conseqüente morte dos ramos plagiotrópicos (GREE, 1993). Nutman e Roberts (1970) afirmam que uma pústula por folha pode ocasionar a sua queda. Após a queda das folhas velhas, as folhas novas são afetadas (SCHIEBER, 1972). Desfolhas prematuras e sucessivas da planta reduzem a vida útil da lavoura, tornando o seu cultivo antieconômico, comprometendo a safra futura (CARVALHO; CHALFOUN, 1998).

2.3 Cercosporiose do cafeeiro

O fungo heminecrotrófico *Cercospora coffeicola* BERKELEY E COOKE é o agente etiológico da cercosporiose do cafeeiro. A doença foi descrita, em 1881, é uma das mais antigas do cafeeiro (BERKELEY E COOKE, 1881). Em 1971, ocorreu o primeiro relato de epidemias da cercosporiose no Brasil (CARVALHO & CHALFOUN, 1998).

As condições ambientais ideais para o desenvolvimento e crescimento do fungo são temperaturas entre 24,0° e 30,0°C para a germinação dos conídios, umidade relativa do ar entre 75,0% e 85,0% é considerada ideal para a germinação do patógeno, Porém a precipitação total no período deve ser menor que 15,0 mm e, no mínimo, duas horas de molhamento foliar para germinação dos conídios (ECHANDI, 1959; FERNÁNDEZ-BORRERO et al., 1966). A maior esporulação de *C. coffeicola* foi obtida na temperatura de 22°C e na intensidade luminosa de 240 ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), atingindo $5,9 \times 10^4$ (com.mL⁻¹); a maior porcentagem de germinação de conídios foi obtida a 17°C na intensidade luminosa de 320 ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). O progresso tanto da incidência quanto da severidade da doença foi maior na temperatura de 25°C e 72 horas de molhamento foliar, enquanto a incidência e a severidade foram maiores nas condições de 25°C e 48 horas de molhamento foliar, e a fotossíntese foi sempre menor nas folhas sintomáticas (SILVA et al., 2016).

A penetração de *C. coffeicola* em folhas de café é realizada apenas na superfície abaxial das folhas (PAULA et al., 2015) onde é capaz de penetrar no hospedeiro. Essa penetração ocorre, por meio, dos estômatos presentes no limbo foliar ou através de fissuras, colonizando o tecido vegetal de forma inter e intracelulares, resultando no desenvolvimento da doença. O fungo é capaz de esporular em toda região abaxial da folha e em frutos de café, formando esporodóquios, nos quais, disseminam seus conídios, por meio de vento, água ou insetos (ECHANDI, 1959).

Os sintomas da cercosporiose são observados em folhas e em frutos (LÓPEZ-DUQUE E FERNÁNDEZ-BORRERO, 1969). Os sintomas ocorrem por meio da ativação da toxina, cercosporina (SILVA et al., 2016), ocorrendo aumento da produção de etileno, provocando a queda precoce de folhas e frutos afetados (TAIZ & ZIEGER, 2013). Assim, os danos ocasionados por essa enfermidade podem ser quantitativos, com redução do rendimento e produção da cultura, e qualitativos, depreciando o tipo do produto e a qualidade da bebida (FERNÁNDEZ-BORRERO et al., 1966; LÓPEZ-DUQUE & FERNÁNDEZ-BORRERO, 1969; LIMA et al., 2009).

2.4 Irrigação por gotejamento e sua influencia nas doenças do cafeeiro

De todos os recursos, nos quais, as plantas necessitam, para crescer e se desenvolver, a água é o mais abundante e, ao mesmo tempo, o mais limitante para a produtividade agrícola. Segundo os autores, em condições naturais e agricultáveis, as plantas normalmente são expostas ao estresse ambiental, em razão do excesso ou à falta de água, sendo este último o mais frequente (TAIZ E ZEIGER, 2013).

A deficiência hídrica no solo tem reflexos negativos no cafeeiro, particularmente sobre as raízes absorventes das plantas, nas quais absorvem a água e os nutrientes, limitando o crescimento e a produção da cultura. Assim, procurando evitar o risco dos baixos índices pluviométricos nas lavouras, devido às chuvas desuniformes e escassez hídrica, observado em áreas, nas quais, antes o regime pluviométrico era homogêneo e constante o uso da irrigação suplementar torna-se técnica promissora (GOPAL, 1974)

Segundo Bonomo et al. (1998), vários sistemas de irrigação podem ser usados em cafezais, Porém, o sistema, no qual , tem mais se destacado é o de gotejamento, suas principais características, são a uniformidade e eficiência de aplicação da água. Os métodos de irrigação localizada vêm passando por inúmeras inovações em todo o mundo. Suas características de uniformidade e redução no consumo de água os tornam eficientes, principalmente nos dias atuais, nos quais, o aproveitamento de água é tema de intensa discussão.

Para Mantovani (2000), o sistema de irrigação por gotejamento, é o sistema, no qual, melhor se ajusta a irrigação do cafeeiro, além da possibilidade de aplicação de fertilizantes via agua, dessa maneira, a utilização deste sistema esta em ampla expansão. Devido a irrigação ser feita sobre o solo na área de maior absorção das raízes do cafeeiro, com pequena intensidade, Porém, com alta frequência, assim a umidade do solo é mantida na zona radicular próxima a capacidade de campo. Além disso, a pequena porção da superfície do solo molhada diminui drasticamente a evaporação direta da agua no solo para a atmosfera.

Na literatura encontram-se diversos trabalhos em relação à influência da irrigação por gotejamento no progresso das doenças do cafeeiro. Alguns autores relataram maiores intensidades da doença em condições de estresse hídrico. Miranda et al. (2006) verificaram incidências de até 17% da ferrugem em parcelas não irrigadas e 6% onde a lâmina aplicada era de 60% ECA. Talamini et al. (2001), observaram maiores intensidades (Àrea Abaixo da Curva de Progresso da Doença) da cercosporiose no tratamento não irrigado (9874,7), quando irrigou-se o café de julho a outubro, este valor foi de 4984,6. Assim como, Paiva et al.

(2013), estes autores verificaram incidências de até 30% da cercosporiose na testemunha, quando a irrigação foi iniciada com tensão no solo de 20 Kpa houve uma redução de 27% na incidência da doença. No entanto, a irrigação em áreas ou anos de boa pluviosidade para o cafeeiro, com índice pluviométrico acima de 1200 mm e bem distribuído (CAMARGO, 2010) pode não proporcionar redução na intensidade da cercosporiose, devido ao fornecimento adequado de água via precipitação para a testemunha (PAIVA et al., 2011). Para a ferrugem do cafeeiro, Talamini et al. (2001; 2003) avaliando durante 5 anos a cultivar “Acaia cerrado”, não encontraram diferença na incidência entre as lâminas de água (0, 40, 60, 80 e 100% ECA) fornecidas por gotejamento devido à pluviosidade ter sido considerada ideal para a cultura e o progresso da doença. Ou seja, a irrigação pode contribuir para reduzir a incidência de doenças quando a pluviosidade é inferior à exigida para o cafeeiro ou mal distribuída ao longo do ano, principalmente em áreas com adensamento e de alta produtividade em latossolos. Devido ao déficit hídrico frequente nos últimos anos mesmo em áreas aptas ao plantio do cafeeiro, devido às mudanças climáticas (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). O uso deste sistema tem se mostrado essencial para melhor produtividade e qualidade de bebida do café.

2.5 Nutrição mineral e sua influência nas doenças do cafeeiro

A produtividade agrícola está diretamente relacionada com a fertilização mineral. As plantas obtêm os nutrientes minerais do solo, principalmente, por meio da absorção do sistema radicular via fluxo de massa, na forma inorgânica (ESPSTEIN, 1999). Segundo critérios estabelecidos por Arnon e Stout (1939), apenas 16 elementos químicos, atualmente, são determinados como essenciais para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, 13 são classificados como nutrientes minerais. Estes estão divididos em dois grupos de acordo com as exigências das plantas, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (B, Cl, Cu, Mn, Mo e Zn) (EPSTEIN, 1999).

O efeito da nutrição mineral com macronutrientes e micronutrientes em diversas ‘commodities’ agrícolas influenciando a intensidade de doenças foi tema intensamente discutido (DATNOFF, ELMER, HUBER, 2007; MARSHCNER, 2012; POZZA & POZZA, 2012). Segundo os autores, o adequado manejo dos elementos minerais no campo pode auxiliar na sanidade das plantas, como também na qualidade dos produtos agrícolas. Incrementando ou reduzindo, assim, a intensidade de doenças de plantas, determinando, muitas vezes, a resistência ou a suscetibilidade do hospedeiro (CUSTÓDIO et al., 2011, 2014;

BUCHANAN, 2015). A nutrição mineral deficiente ou desequilibrada pode predispor as plantas à infecção por patógenos, por afetar suas estruturas histológicas, morfológicas e a composição química do tecido vegetal (AGRIOS, 2005; LEHNINGER, 2014).

2.5.1 Nutrição com nitrogênio, fósforo (P), potássio (K) e boro (B)

2.5.1.1 Nitrogênio (N)

O nitrogênio (N) é reportado como elemento químico de maior influência na intensidade de doenças de plantas. Ele é fornecido às plantas em grande quantidade e, frequentemente, é deficiente nos solos cultiváveis (HUBER; THOMPSON, 2007). Esse elemento está presente na natureza na forma de gás (N_2) ou como íon na solução do solo ($N-NH_4^+$ ou $N-NO_3^-$). Encontra-se como parte de compostos orgânicos (aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, etc.) da célula vegetal, participando de processos enzimáticos, sendo assimilado na planta por reações de óxido-redução (RICE, 2007).

O efeito do N nas doenças é amplamente descrito, porém, os resultados são inconsistentes e contraditórios e as causas dessas inconsistências pouco entendidas (HUBER & THOMPSON, 2007; MARSCHNER, 2012). A causa da dualidade no efeito do N pode estar relacionada com a forma de N disponível para os hospedeiros, o tipo de patógeno, sejam estes parasitas obrigatórios ou parasitas facultativos e o estágio de desenvolvimento da aplicação de N.

Em relação ao manejo do nitrogênio na redução de doenças. Em casa de vegetação, Pozza et al. (2001) avaliaram o efeito da interação da nutrição nitrogenada e potássica na incidência e na severidade de *C. coffeicola* em mudas de cafeeiro em solução nutritiva. Os tratamentos consistiram de quatro doses de N (3, 7, 11 e 15 mmol L⁻¹) combinadas com quatro de K (3, 5, 7 e 9 mmol L⁻¹). De acordo com os resultados, as doses de N e K estudadas não influenciaram a área abaixo da curva de progresso do número de folhas lesionadas (AACPF), portanto não houve interferência significativa na incidência da mancha de olho pardo. Porém, a área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha (AACPLPF) diminuiu com o aumento das doses de N (Figura 9), com menor valor (269) observado para a dose 11,69 mmol L⁻¹ de N com a menor de K (3 mmol L⁻¹).

Pérez et al. (2017), trabalhando com a patossistema *Pseudomonas syringae* pv. *garcae* x *Coffea arabica* em solução nutritiva, observaram menor intensidade da mancha aureolada na dose de 13,34 mmol L⁻¹ de N. A adubação nitrogenada, quando aplicada adequadamente,

promove maior área foliar, maior produção de glicose e outros carboidratos indispensáveis para seu crescimento e desenvolvimento.

A adubação nitrogenada e potássica influenciou a severidade da ferrugem em mudas cultivadas em solução nutritiva. Pérez (2015) constatou redução da doença com o aumento das doses de N e de K (Figura 7), obtendo a menor área abaixo da curva de progresso da severidade na combinação das doses próximas a 11 mmol L⁻¹ de K e 23 mmol L⁻¹ de N.

2.5.1.2 Fósforo (P)

O fósforo (P) tem funções bem definidas na nutrição mineral das plantas, permanece em sua forma mais oxidada, após sua absorção principalmente na forma H₂PO₄⁻. Esse nutriente exerce diversas funções na planta e faz parte de suas moléculas de energia, Mono, di e trifosfato de adenosina (AMP, ADP, ATP) (TAIZ & ZIEGER, 2013), podendo desempenhar papel importante na fotossíntese, respiração, metabolismo de açúcares, divisão celular e crescimento celular. Na transferência de informações genéticas via mRNA, mensageiro para síntese de proteína e carregador de aminoácidos, como tRNA (LEHNINGER, 2014). Além disso, é imprescindível na biossíntese de terpenos. A função do P na resistência às doenças é variável e inconsistente. O P parece ser mais efetivo no manejo de doenças de etiologia fúngica. Com a aplicação de P na forma de fosfato (PO₄³⁻) foi verificada a melhoria na resistência quando este é fornecido em concentrações adequadas. Quando o P não é fornecido em quantidade suficiente, o sistema radicular não cresce, especialmente as raízes secundárias, reduzindo a capacidade de absorção de água e nutrientes, fator limitante ao crescimento e ao desenvolvimento desde mudas até a fase de produção do cafeeiro no campo (GUIMARÃES, 1999).

Em trabalho realizado por Pozza et al., (2002) utilizando as doses 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 e 3,2 kg de P₂O₅ m⁻³ de substrato, na fonte superfosfato simples formação de mudas de café no viveiro de tubetes (120mL), não se observou efeito do P na cercosporiose e nem resposta das plantas. Segundo os autores, o P contido no substrato base (2,3 g kg⁻¹ de P₂O₅ em H₂O e 3,2 g kg⁻¹ de P₂O₅ em ácido cítrico), composto por 80% de esterco de curral e 20% de terra de subsolo, utilizado para preencher os tubetes, foi suficiente para suprir as demandas fisiológicas das mudas até seis pares de folhas definitivas, bem como não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos para a intensidade da cercosporiose até o estágio vegetativo estudado. Poucos trabalhos estudaram o efeito do P em doenças de cafeeiro no viveiro. Já na formação do cafeeiro em campo, Amaral et al. (2000) observaram maior

crescimento inicial e produção, quando 30 g de P_2O_5 foram misturados com o volume de terra total necessário para o enchimento da cova de plantio. Em lavouras em produção, Reis et al. (2011; 2013) observaram aumento linear da produção com os aumentos da aplicação de fósforo de 0 a 400 kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

2.5.1.3 Potássio (K)

O K presente nas plantas como cátion K^+ é requerido como cofator de mais de 40 enzimas envolvidas na respiração, e na fotossíntese, estabelece turgor celular, promove o desenvolvimento de paredes externas mais espessas nas células epidérmicas e determina padrões de abertura dos estômatos (TAIZ & ZEIGER, 2013). Baixas concentrações de K promovem a síntese de compostos de alto peso molecular e aumentam a produção de aminoácidos, os quais são fontes de nutrientes disponíveis para patógenos. A susceptibilidade de plantas deficientes em K deve-se à alteração nas funções metabólicas na fisiologia da planta (Cakmak, 2005). Perrenoud (1990) revisou 2449 referências de trabalhos empregando K no manejo fitossanitário de cultivos e encontrou diminuição na incidência de doenças causadas por fungos em 70%, por bactérias em 69%, por insetos e ácaros em 63%, por viroses em 41% e por nematoides em 33%. Porém altas doses desse nutriente podem ocasionar competição de absorção de outros cátions como Mg e Ca (MARSCHNER, 2012).

A menor intensidade de doenças está relacionada ao equilíbrio nutricional, principalmente entre o Ca e o K. Pozza et al. (2001) observaram menor severidade da doença na dose de 3 mmol L⁻¹ de K. Já Garcia Junior et al. (2003) observaram menor Área Abaixo da Curva de Progresso da Incidência da Cercosporiose na dose combinada de 4 mmol L⁻¹ de Ca e 8 mmol L⁻¹ de K. Ambos os autores observaram a competição entre os cátions K^+ e o Ca^{2+} nos mesmos sítios de absorção. Ao estudar o efeito da adubação nitrogenada e potássica na severidade da antracnose em dois cultivares de milho, Carvalho et al (2013) confirmaram o desequilíbrio catiônico. Embora a interação da menor dose de N (75 mg dm⁻³) com a maior dose de K (1000 mg dm⁻³) tenha reduzido a severidade da doença, também foi verificada redução dos teores foliares de Ca com o incremento das doses de K. A aplicação de N também influenciou negativamente os teores foliares de K. No estudo realizado por Freitas et al. (2015) verificou-se maior área abaixo da curva de progresso da sigatoka amarela (*Mycosphaerella musicola*) da bananeira, quando o K foi omitido da solução nutritiva. O efeito da adubação potássica no manejo da sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) também

tem sido constatado. Uchôa et al (2011) utilizaram a modelagem geoestatística para correlacionar a severidade dessa doença com a fertilidade do solo.

2.5.1.4 Boro (B)

Embora o B seja um micronutriente, sua deficiência ou toxidez afeta a estrutura da parede celular, a biossíntese da membrana plasmática e o metabolismo de fenóis (BLEVIS & LUKASZEWSKI, 1998). Alguns trabalhos mostraram menor intensidade de doenças com a nutrição equilibrada de B (SILVEIRA et al., 1998; HIGASHI & SILVEIRA, 2003; VASCO et al., 2018). Na parede celular, o correto fornecimento B deixa seus constituintes ligados como, por exemplo, a celulose formada principalmente por P. Já na membrana celular, estrutura formada por bicamada de fosfolipídios, doses adequadas de K e B, diminuem o extravasamento de açúcares e aminoácidos para o meio externo (CAKMAK.& ROMHELD, 1997). Além disso, promove inibição de ATPases entre o meio externo e interno a essa estrutura, essas enzimas catalisam a decomposição do ATP em Adenosina difosfato (ADP), com sua interrupção, o processo de liberação de energia não ocorre. Outra importante função desses nutrientes ocorre na via das pentoses-fosfato, essencial para produzir ribose-5-fosfato e NADPH⁺. A primeira é a pentose constituinte dos nucleotídeos e coenzimas, compostos essenciais para a síntese de proteínas. Já o NADPH⁺ tem importante papel na limpeza de compostos oxidantes, como os ERO's, os quais, em excesso, geram HR nas células das plantas (AGRIOS, 2005). Além disso, B mantém os níveis de AIA corretos, dessa maneira, a quantidade de auxinas fica adequada para o desenvolvimento de raízes, ramos e folhas jovens nas plantas (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; LEHNINGER, 2014).

2.6 Controle químico do cafeeiro e estratégia antirresistência

O controle químico da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro pode ser feito por meio de três esquemas de aplicação: 1) preventivo com a utilização de fungicidas protetores; 2) curativo: através do uso de fungicidas sistêmicos; 3) preventivo-curativo: usando fungicidas sistêmicos associados com protetores (POZZA et al., 2010). Para controlar essas doenças, os produtores têm adotado o controle químico como medida de manejo mediante a pulverização com fungicidas. Os principais produtos utilizados são os fungicidas sistêmicos e mesostêmicos, do grupo dos Triazóis e Estrobilurinas e os protetores ou de contato, do grupo

dos Cúpricos, Clorotalonil e Ditiocarbamatos, pulverizados entre os meses de agosto a março antes das doenças atingirem seus respectivos níveis de controle (AMORIN et al., 2011).

A associação de fungicidas à base de Triazóis com Estrobilurinas tem proporcionado melhor controle com maior período residual, vigor da planta e incremento na produtividade do cafeeiro (DEISING; REIMANN; PASCHOALTI, 2008; HOLLOMON, 2015). Porém, nos últimos anos, devido ao uso contínuo dessas moléculas, tem-se relatado perda de sua efetividade, principalmente no controle da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). Os primeiros relatos dessa resistência ocorreram para o princípio ativo Tebuconazol (Alvim et al., 2009) e desde então observa-se a perda gradual de sua eficiência (resistência quantitativa). Em relação às Estrobilurinas, observaram-se indivíduos com mutações no genoma na posição F129L, na safra 2013/2014. Outras mutações (G143A e G137R) são passíveis de ocorrerem selecionando indivíduos cada vez mais resistentes a esses fungicidas (GRASSO et al., 2006; VALLIERI et al., 2011). A incorporação de outro grupo químico, visando alternar diferentes modos de ação, foi realizada com a introdução das Carboxamidas. Porém devido ao seu uso indiscriminado, na safra 2015/16, ocorreu o primeiro relato de mutação na subunidade C na posição I86F (FRAC, 2015). Diante de um cenário, no qual, dificilmente se descobrirão novos grupos químicos, as grandes multinacionais do ramo de defensivos agrícolas estão se mobilizando para melhorar as formulações já existentes e desenvolver produtos com misturas entre fungicidas como estratégia para evitar a seleção direcional de populações de fitopatógenos, aumentando o tempo e a durabilidade das moléculas dos sistêmicos (FRAC, 2010; VAN DEN BOSCH et al., 2015).

Alternativas de manejo para preservar a durabilidade dessas moléculas devem ser estudadas. A mistura de Triazóis e Estrobilurinas com fungicidas multissítios (Mancozeb) é promissora e, hoje, é considerada como alternativa de manejo por aumentar a resistência das culturas a patógenos (FRAC, 2015).

2.6.1 Grupo químico dos: Triazóis, Estrobilurinas e Ditiocarbamatos

2.6.1.1 Triazóis

Os fungicidas pertencentes ao grupo químico dos Triazóis são orgânicos, formados com adição de diferentes radicais a uma molécula de 1,2,4-triazol. À exceção do bitertanol, os fungicidas desse grupo são sistêmicos, absorvidos e translocados na planta de forma acropetal.

A depender da aplicação, podem atuar como protetores ou curativos. Apresentam elevada fungitoxicidade, rápida penetração e translocação nos tecidos vegetais. Possuem ação curativa e elevado poder residual. Agem, também, como protetores, com ação tóxica à germinação dos esporos e à formação do tubo germinativo e do apressório. Entretanto, essa proteção é parcial, pois os patógenos podem penetrar em tecidos tratados. Como curativo, ocorre à inibição do crescimento do haustório e/ou do micélio no interior do tecido do hospedeiro (EHR & KEMMITT, 2002; FORCELINI, 1994).

Os Triazóis são fungicidas capazes de inibir a biossíntese de ergosterol por inibir a demetilação do carbono na posição 14 (C14). As células fúngicas, quando entram em contato com fungicidas desse grupo, acumulam esteróis, como o 4,4-dimetil e o 4 α -metil, ambos com radical 14 α -metil, promovendo, por sua vez, a inativação do processo de demetilação do lanosterol até compostos intermediários, precursores do ergosterol. Esse fato deve-se à ocupação do fungicida de sítios ativos destinados à ligação da enzima 14 α -demetilase ao citocromo P-450, catalisador da reação de 18 oxidação de 14 α -metil até 14 α -hidroximetil, primeiro passo no processo de demetilação (FORCELINI, 1994; TOMLIN, 2002).

Existe uma grande diferença no espectro de ação dos diferentes fungicidas desse grupo. Há relatos de resistência conhecida em várias espécies, com alguns mecanismos já conhecidos. Assim, é prudente considerar a ocorrência de resistência cruzada entre ativos dos fungicidas inibidores de demetilação (DMI) utilizados contra o mesmo fungo (RODRIGUES, 2009), como foi o caso da constante exposição desses fungicidas à *P. pachyrhizi*.

2.6.1.2 Estrobilurinas

As Estrobilurinas foram biossintetizadas a partir de um metabólito secundário produzido por um fungo, *Strobilurus tenacellus* e por isso, são assim chamadas. Esse grupo começou a ser comercializado como fungicida em 1996, é amplamente usado de forma isolada e em mistura com os Triazóis (RODRIGUES, 2006). As Estrobilurinas agem inibindo a respiração mitocondrial, bloqueando a transferência de elétrons entre o citocromo b e o citocromo c1, no sítio Qo, interferindo na produção de ATP.

Os fungicidas desse grupo atuam preventivamente, inibindo a germinação dos esporos, com alguma ação curativa e erradicante, inibindo também o desenvolvimento de fungos nos estágios iniciais de pós-germinação, com atividade antiesporulante. As moléculas são absorvidas nas folhas de forma gradual e constante, conferindo uma proteção por mais tempo e difundindo-se nas folhas, com algumas apresentando uma distribuição sistêmica uniforme.

Com o aumento da umidade, a redistribuição superficial e a absorção das moléculas são incrementadas. As moléculas desse grupo também apresentam difusão translaminar. São eficientes contra um grande número de fitopatógenos, em todas as classes de fungos, a baixas concentrações, permitindo um maior intervalo entre as aplicações (VENANCIO et al., 2004).

A resistência de fungos à Estrobilurina é conhecida em várias espécies de fungos. Os sítios alvo para mutação são G143A (Substituição de Guanina por Adenina na posição 143) e F129L (Fenilalanina por Leucina na posição 129) (PASCHE et al., 2005).

2.6.1.3 Ditiocarbamatos

Todos os Ditiocarbamatos são derivados do ácido carbâmico, ele existe livre na natureza e foi sintetizado em 1920, tendo sido usado, desde então, como acelerador do enxofre na vulcanização da borracha. Em 1934, no Reino Unido, descobriu-se o efeito antifúngico desse ácido. São caracterizados por compostos não sistêmicos, eles formam uma superfície protetora contra infecções, atuam de forma curativa ou erradicante contra colônias fúngicas já estabelecidas (AZEVEDO, 2003).

Os Ditiocarbamatos interferem de modo generalizado nas funções celulares, com ação múltipla dos compostos em diferentes grupos enzimáticos e passos metabólicos vitais. Os efeitos observados afetam a respiração celular, a permeabilidade da membrana e, principalmente, a atuação das enzimas. São fungicidas protetores de amplo espectro, utilizado no tratamento via foliar, solo e sementes (AZEVEDO, 2001).

Como alternativa antirresistência, surge a molécula do fungicida Mancozeb, atua inibindo diversas enzimas necessárias para o crescimento e o desenvolvimento dos fungos. Além disso, possui Manganês (20%) e Zinco (2,5%) em sua composição, tendo efeito secundário de nutrição das plantas no campo (FAO, 2015). O manganês (Mn) é um elemento essencial e tem efeito direto no sistema de defesa das plantas. Esse micronutriente ativa enzimas como Peroxidase e Polifenoloxidase, as quais aumentam a concentração de fenóis inibindo o desenvolvimento de patógenos. A presença do Mn é necessária na rota do ácido chiquímico e do fenilpropanoide para a ativação de enzimas envolvidas na síntese de aminoácidos presentes em compostos de defesa como taninos, flavonoides, ácidos fumárico, ácido cafeico e lignina (LEHNINGER, 2014; BUCHANAN, 2015). Já o zinco (Zn) está envolvido no metabolismo de carboidratos, na manutenção da integridade da parede celular, síntese de proteínas, regulação da síntese de auxinas, fotossíntese e formação da clorofila. Esse nutriente tem papel na tolerância das plantas a fatores de estresse abiótico ao acionar

mecanismos de defesa e reduzir a severidade de doenças causadas por agentes bióticos devido a seu efeito ser tóxico ao contato direto com os patógenos (TAIZ & ZEIGER, 2013).

REFERÊNCIAS

- ALVIM Jr., M. G., F. C. et al. Avaliação de fungicidas registrados no MAPA no controle da ferrugem da soja. **Tropical Plant Pathology**.
- AGRIOS, G. M. **Plant pathology**. 5th ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. 922 p.
- AMARAL, A. S. et al. Modo de aplicação e granulometria do superfosfato simples usado na cova de plantio do cafeeiro – efeito na produção. In: **Congresso brasileiro de pesquisa cafeeira**, 26., 2000, Marília. Anais... Rio de Janeiro: MA/PROCAFE/CBP&DCafé/EMBRAPA/SAESP/COOPEMAR/PMM, 2000. p. 63-64.
- AMORIM, L., REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia**. 4 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. 704 p.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Rockville, v. 14, n. 2, p. 371-375, Apr. 1939.
- AZEVEDO, L.A.S. de. Proteção integrada de plantas com fungicidas: teoria, prática e manejo. Campinas: Emopi Gráfica, 2001. 230 p.
- AZEVEDO, L.A.S. Fungicidas protetores : fundamentos para uso racional. Campinas: Emopi Edit. e Graf., 2003. 320 p.
- BERKELEY, J. M.; BROOME, C. E. *Hemileia vastatrix*. **Gardeners Chronicle**, London, v. 6, n. 9, p. 1157, Nov. 1869.
- BERKELEY, J. M.; COOKE, M. C. *Cercospora coffeicola*. *Grevillea*, v. 9, n. 49-52, p. 99, 1881.
- BLEVIS, D.; G & LUKASZEWSKI, K.M. Boron in plant structure and function. **Annual Review of plant Biology**, p. 481-500, 1998.
- BONOMO, R. et al. Uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação pressurizados utilizados na cafeicultura irrigada em áreas de cerrado de Minas Gerais. In: **Simpósio brasileiro de pesquisa em cafeicultura irrigada**. Araguari, Palestras e resumos, p-79-93, 1998.
- BUCHANAN, B. B. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2015.
- CAKMAK, J. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **J. Plant Nutri. Soil Sci.** 168, 521-530. 2005.
- CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. In: DELL, B.; ROWN, P.H.; BELL, R.W. (eds.). Boron in soil and **plants: review**. Symposium, Chiang Mai, reprinted Plant and Soil, v.193, n.1-2, p.71-83, 1997.

CAMARGO, A. P. de; CARMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicas do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, mar. 2001.

CAMARGO, A. P. de. The impacto f climatic variability and climate change on arabic coffe crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, Mar. 2010.

CARVALHO, A. Taxonomia de *Coffea arabica* L. – V: algumas recombinações genéticas, **Bragantia**, Campinas, v. 12, n. 4/6, p. 171-178, jun. 1952.

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

CARVALHO, D.O.; et al. Adubação nitrogenada e potássica na severidade da antracnose em dois cultivares de milho. **Revista Ceres**, v. 60, p. 301-305, 2013.

CONAB. **Safra de café 2019**. Disponível em:

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_04_11_22_44_boletim_cafe_po_rtuques_-_4o_lev_-_dez.pdf

CUSTÓDIO, A. A. P.; POZZA, E. A.; GUIMARÃES, S. S. C.; KOSHIKUMO, E. S. M.; HOYOS, J. M. A.; SOUZA, P. E. Comparison and validation of diagrammatic scales for brown eye spots in coffee tree leaves. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1067 - 1076, 2011.

CUSTÓDIO, A. A. P., POZZA, E. A., SOUZA, P. E., LIMA, L. A., DA SILVA, A. M. Effect of center-pivot irrigation in the rust and brown eye spot of coffee. **Plant disease**. The American Phytopathological Society, v. 98, n. 7, p. 943-947, July 2014.

DANTAS, AAA, CARVALHO, LG, FERREIRA E (2007) Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia** 31:1862– 1866.

<https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>

DATNOFF, E. L.; ELMER, H. W.; HUBER, M. Mineral nutrition and plant disease. **The American Phytopathological Society**. St. Paul, 2007.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 55-81, Jan./Mar. 2006.

DORNELAS, G.A. et al. Adubação nitrogenada e potássica no rendimento e intensidade da mancha branca do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 4, p. 351-359, julho / agosto 2015.

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

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, June 1999.

EHR, R.J.; KEMMITT, G. Periodic table of the fungicides. Indianapolis: Dow Agrosciences. 2002

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

Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO Statistical Pocketbook Coffee**. Roma: Editora, **FAO**, p. 198, 2015.

FORCELINI, C.A. Fungicidas inibidores da síntese de esteróis. I. triazoles. **RAPP**, Passo Fundo, v.2, p.335-355, 1994.

FRAC recommendations for fungicide mixtures designed to delay resistance evolution. <http://www.frac.info>, 2010.

FRAC. SDHI Guidelines—Cereals. Available: <http://www.frac.info/working-group/sdhi-fungicides/general-use-recommendations/cereals-and-soybeans>, 2015.

FREITAS, A. S. et al. . Impact of nutritional deficiency on Yellow Sigatoka of banana. **Australasian Plant Pathology**, v. 100, p. 1-8, 2015.

FERNÁNDEZ-BORRERO, O.; MESTRE, A. M.; LÓPEZ-DUQUE, S. Efecto de la fertilización en la incidencia de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. **Cenicafé**, v. 17, n. 1, p. 5-16, mar. 1966.

FERNANDES, C. D. et al. Influência da concentração de inóculo de *Cercospora coffeicola* e do período de molhamento foliar na intensidade da cercosporiose do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 16, n. 1, p. 3943, 1991.

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

GOPAL, N. H. Some physiological factors to be considered for stabilization of arabica coffee production in South India. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 38, n. 8, p. 217-221, Aug. 1974.

GRASSO, V.; SIEROTZKI, H.; GARIBALDI A.; GISI, U. Characterization of the cytochrome b gene fragment of Puccinia species responsible for the binding site of Qol fungicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.84, n.2, p.72-82, 2006.

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

GUIMARÃES. Et al.. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. **5. Aproximação**. Viçosa:CFSEMG, Page 359, 1999.

DEISING.; H., B. REIMMAN.; S. PASCHOLATI.; S.; F. Mechanisms and significance of fungicide resistance. **Brazilian journal of microbiology**. V. 39, p. 286 – 295, 2008.

HOLLOMON.; D.; W. Fungicide resistance: Facing the challenge. **Plant protect**. V. 51, n. 4, p. 170-176, 2015.

HUBER, D. M.; THOMPSON, I. A. Nitrogen and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUMBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. St. Paul: APS Press, 2007. chap. 3, p. 31-44.

KRUG, C. A.; MENDES, J. E. T.; CARVALHO, A. Taxonomia de *Coffea arabica* L.: descrição das variedades e formas encontradas no Estado de São Paulo. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 1939. 57 p. (Boletim técnico, 62).

KUSHALAPPA, A. C.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, n. 1, p. 96-103, Jan. 1983.

KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Advances in coffee rust research. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 27, p. 503-531, Sept. 1989.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica**. 6. ed. São Paulo: Sarvier, 2014. 1328p.

LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P.; GOMES, N. M. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1832-1842, nov./dez. 2009.

LÓPEZ DUQUE, S.; FERNÁNDEZ BORRERO, O. Epidemiología de la mancha de hierro del cafeto (*Cercospora coffeicola* Berk y Cook). **Cenicafé**, v. 20, n. 1, p. 3-19, 1969.

MAC COOK.; S.; VANDEMEER. The big rust and the red queen: Long-term Perspectives on Coffee rust research. **Phytopatology-Review**. V. 105, n.9, p. 1164-1173, 2015.

MCCAIN, J. W.; HENNEN, F. Development of uredinial thallus and sorus in the orange coffee rust fungus *Hemileia vastatrix*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 74, n. 6, p. 714-721, June 1984.

MANTOVANI, E. C. Irrigação do cafeeiro. In: **Irrigação e tecnologia moderna**, Brasília, v. 48, p. 45-49, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 2012.

MELO, B.; BARTHOLO, G. F.; MENDES, A. N. G. Café: variedades e cultivares. **Informe Agropecuário**. Cafeicultura: tecnologia para produção, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 92-96, 1998.

MIRANDA, J. C. et al. Intensidade da ferrugem em cafeeiro fertirrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 885-891, set./out. 2006.

NUTMAN, F. J.; ROBERTS, F. M. Coffee leaf rust. **Pans**, London, v. 16, n. 4, p. 606-624, 1970.

PEREZ, C. D. P. et al. Nitrogênio e Potássio na intensidade da mancha aureolada cafeeiro em solução nutritiva. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 60-68, jan / mar. 2017.

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

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./fev. 2011.

PAIVA, B. R. T. L.; SOUZA, P. E.; SCALCO, M. S.; MONTEIRO, F. P. Progresso da cercosporiose do cafeeiro sob diferentes manejos de irrigação e densidade de plantio. **Coffe Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 166-175, abr./jun. 2013.

PASCHE, J.S.; PICHE, L.M.; GUDMESTAD, N.C. Effect of the F129L mutation in *Alternaria solani* on fungicides affecting mitochondrial respiration. *Plant Disease*, St. Paul, v.89, n.3, p. 269-78, 2005.

PAULA.; P.; V.; A, et al. Formas de penetração do gênero *Cercospora*. **Nucleus**, v.12, p. 271-280, 2015

PÉREZ, C. D. P. Interação do nitrogênio com o potássio na intensidade da ferrugem e da mancha aureolada do cafeeiro em solução nutritiva. 2015. 39 p. **Dissertação (mestrado em Agronomia/Fitopatologia)**. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

PINHEIRO, J. B. et al. Severidade da ferrugem da soja em função do suprimento de potássio e do cálcio em solução nutritiva. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 43-50, jan / fev. 2011.

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. Suprimento do fósforo na nutrição e na intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 970-976, set-out, 2002.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARAES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas semiologia do cafeeiro**. Lavras: Ed. UFLA, 2010. p. 68-106.

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

POZZA, E. A.; POZZA, A.A.A.; BOTELHO, D.M.S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 323 – 331, 2015.

TOMLIN, C.D.S. The pesticide manual: a world compendium. Surrey, Uk: **British Crop Protection Council**, 12 ed., 2002.

RAYNER, R. W. Micologia, historia y biologia de la roya del cafeto. Turrialba, Costa Rica: **Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas**, 1972. 68 p. (Publicación Miscelánea, n. 94).

REIS, T. H. P. et al. Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, p. 503-512, 2011.

REIS, T. H. P. et al. Estado nutricional e frações foliares de P no cafeeiro em função da adubação fosfatada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 48, n. 7, p. 765-773, 2013.

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

RICE, R. W. The physiological role of minerals in the plant. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. St. Paul: APS Press, 2007. chap. 2, p. 9-29.

RODRIGUES, M.A.T. Avaliação do efeito fisiológico do uso de fungicidas na cultura da soja. 200. 198f. **Tese (Doutorado em fitotecnia)** – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

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

SCHIEBER, E. Economic impact of coffee rust in Latin America. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 10, p. 491-510, Sept. 1972.

SILVA, M.; G. et al.; Temperatura and light intensity interaction on *Cercospora coffeicola* sporulation conidia germination. **Ciências e Agrotecnologia**, lavras. V. 40, n. 2, p. 198 -204, 2016

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N. Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para o eucalipto. Piracicaba: **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, p. 1-3, 2003

SILVEIRA, R.L.V.A. et al. Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. **Scientia Florestalis**, n.53, p.57-70, 1998.

STAVER, C. et al. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 53, n. 2, p. 151-170, Nov. 2001.

UCHOA, et al. Modelagem geoestatística da sigatoka negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal** (UFU. Impresso), v. 27, p. 357-362, 2011.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.
- TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do 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.
- TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 55-62, jan./fev. 2001.
- VALLIERI, C. et al. Deleterious Effect of the Q_o Inhibitor Compound Resistance-Confering Mutation G143A in the Intron-Containing Cytochrome *b* Gene and Mechanisms for Bypassing. **Microbiology**. V. 77, n. 6, p- 2088 - 2093, 2011.
- VAN DEN BOSCH F.; et al. Evidence-based resistance management: a review of existing evidence. In: Ishii H, Hollomon DW, editors. **Fungicide resistance in plant pathogens**. Tokyo: Springer; 2015. p. 63–76.
- VASCO et al., Interaction of K and B in the intensity of the coffee rust in nutrient solution. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 238-244, 2018.
- VENÂNCIO, W.S.; RODRIGUES, M.A.T.; BEGLIOMINI, E.; SOUZA, N.L. Physiological effects of strobilurin fungicides on plants. Publication UEPG, Ponta Grossa, v. 9, n. 3, p. 59-68, 2004
- WARD, H. M. On the morphology of *Hemileia vastatrix* Berk and Br. (the fungus of the coffee disease of Ceylon). **Quarterly Journal of Microscopical Science**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 1-11, Apr. 1882a.
- WARD, H. M. Research on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the coffee leaf disease. **Journal of the Linnean Society of London, Botany**, London, v. 19, n. 121, p. 299-335, Aug. 1882b.
- 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.

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

ARTIGO 1 - REDUÇÃO DA CERCOSPORIOSE EM MUDAS DE CAFEIEIRO SUPRIDAS COM FÓSFORO E COM BORO

Mauro Peraro Barbosa Junior¹, Edson Ampélio Pozza¹, Paulo Estevão de Souza¹, Adélia Aziz Alexandre Pozza², Humberson Rocha Silva¹, Cristian David Plaza Pères¹.

¹ Departamento de Fitopatologia, ² Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, 37.200-000

(Autor para correspondência: Edson Ampélio Pozza, email: edsonpozza@gmail.com)

Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.

RESUMO

A Cercosporiose é uma das principais doenças do cafeeiro, e a nutrição mineral altera a intensidade dessa desordem. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar em solução nutritiva o efeito das doses de Fósforo e de Boro – combinadas ou não – na intensidade dessa doença em mudas de café. Assim, o ensaio foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia (DFP) e foi utilizado a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99. Os tratamentos foram, por sua vez, constituídos de cinco doses de Fósforo (0,1, 0,5, 1, 2 e 4 mmol L⁻¹) combinadas com cinco doses de Boro (0,1, 0,5, 1, 2 e 4 mmol L⁻¹) em esquema fatorial 5x5 e quatro repetições, totalizando cem parcelas; cada parcela com duas plantas por vaso. As mudas foram inoculadas e, com o surgimento dos sintomas, foram feitas cinco avaliações. Os dados da incidência e de severidade foram integralizados em Área Abaixo da Curva de Progresso da Incidência e Severidade da Cercosporiose (AACPDIC) e (AACPDSC). Ao final do experimento, as plantas foram separadas em: caule, folhas e raízes; as quais foram lavadas e secas em estufa de circulação de ar até peso constante. As folhas foram, ainda, moídas e enviadas ao laboratório para análise foliar. Observou-se interação significativa entre o P e o B e as menores intensidades da doença foram encontradas nas doses 2,0 mmol L⁻¹ de P e 2,0 mmol L⁻¹ de B. O maior peso das plantas secas (5,7 g planta⁻¹) foi encontrado na menor dose de P (0,1 mmol L⁻¹); além disso, o suprimento de P e de B influenciaram a quantidade de: P, Cu, Fe, Ca e B foliar.

Palavras chave: *Coffea arabica*. *Cercospora coffeicola*. Fósforo e Boro

ABSTRACT

Brow eye spot is one of the major diseases of coffee, and mineral nutrition alters the intensity of this disorder. In this sense, the objective of this work is to evaluate in nutritional solution the effect of Phosphorus and Boron doses combined or not on the intensity of this disease in coffee plants. Thus, the experiment was carried out in the greenhouse of the Department of Phytopathology (DFP) and the cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 was used. The treatments were constituted of five doses of Phosphorus (0.1, 0.5, (0.1, 0.5, 1, 2 and 4 mmol L⁻¹) in a 5x5 factorial scheme and four replicates, totaling one hundred plots; each plot with two plants per pot. The seedlings were inoculated and, with the appearance of symptoms, five evaluations were made. The incidence and severity data were integrated into the Area Under the Brow eye Spot Incidence and Severity Progression Curve (AACPDIC) and (AACPDSC). At the end of the experiment, the plants were separated into: stem, leaves and roots; which were washed and dried in an air circulation oven to constant weight. The leaves were further ground and sent to the laboratory for leaf analysis. A significant interaction between P and B was observed and the lower intensities of the disease were found at doses 2.0 mmol L⁻¹ of P and 2.0 mmol L⁻¹ of B. The highest weight of the dry (5, 7 g plant⁻¹) was found in the lowest dose of P (0.1 mmol L⁻¹); in addition, the supply of P and B influenced the amount of: P, Cu, Fe, Ca and B foliar.

Keywords: *Coffea arabica*. *Cercospora coffeicola*. Phosphorus and Boron.

1 INTRODUÇÃO

A nutrição mineral de plantas é um método de manejo cultural que se relaciona diretamente à intensidade de doenças e, além disso, é fator ambiental passível de manipulações (BUCHANAN, 2015). Quando manejados corretamente, os nutrientes minerais podem contribuir para fortalecer as barreiras de resistência horizontais, principalmente a camada de cera e a parede celular; isso dificulta a penetração de patógenos (PINHEIRO et al., 2011; POZZA et al., 2015; DORNELAS et al., 2015; PEREZ et al., 2017). Entre as doenças do cafeeiro diretamente relacionadas ao desequilíbrio nutricional, destaca-se a Cercosporiose, cujo agente causal é o fungo *Cercospora coffeicola* Berkeley e Cooke. A menor intensidade desta está relacionada ao equilíbrio nutricional, principalmente entre o Ca e o K (POZZA et al., 2001; GARCIA JUNIOR et al., 2003). Apesar de essa doença ter sido estudada em relação ao fornecimento desses nutrientes, outras relações com diferentes elementos devem ser pesquisadas, como o Fósforo (P) e o Boro (B).

Entre os macronutrientes de maior importância, cita-se o P. Esse nutriente exerce diversas funções na planta e faz parte de sua molécula de energia, a Adenosina trifosfato (ATP) (TAIZ & ZIEGER, 2013) e pode desempenhar papel importante na fotossíntese, na respiração, no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no crescimento celular e na transferência de informações genéticas (LEHNINGER, 2014). Além disso, quando o P não é fornecido em quantidade suficiente às plantas, os sistemas radiculares não crescem, especialmente as raízes secundárias; e isso reduz sua capacidade de absorção de água e de nutrientes. Assim, aquele é fator limitante ao crescimento e ao desenvolvimento desde a fase de mudas até a de produção do cafeeiro no campo (GUIMARÃES, 1999).

Em trabalho realizado por Pozza et al., (2002), utilizando as doses 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 e 3,2 kg de P_2O_5 m^{-3} de substrato, na fonte superfosfato simples formação de mudas de café no viveiro de tubetes (120mL), não se observou efeito do P na Cercosporiose nem resposta das plantas. Segundo os autores, o P contido no substrato base (2,3 g kg^{-1} de P_2O_5 em H_2O e 3,2 g kg^{-1} de P_2O_5 em ácido cítrico), composto por 80% de esterco de curral e 20% de terra de subsolo, utilizado para preencher os tubetes, foi suficiente para suprir as demandas fisiológicas das mudas até seis pares de folhas definitivas, bem como não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos para a intensidade da cercosporiose até o estágio vegetativo estudado. Poucos trabalhos estudaram o efeito do P em doenças de cafeeiro no viveiro. Já na formação do cafeeiro em campo, Amaral et al. (2000) observaram maior crescimento inicial e produção quando 30 g de P_2O_5 foram misturados com o volume de terra

total necessário para o enchimento da cova de plantio. Em lavouras em produção, Reis et al., (2011; 2013) observaram aumento linear da produção com os aumentos da aplicação fósforo de 0 a 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Embora o B seja exigido em pequenas quantidades, sua deficiência ou toxidez afetam a estrutura da parede celular, a biossíntese da membrana plasmática e o metabolismo de fenóis (BLEVIS & LUKASZEWSKI, 1998). Alguns trabalhos mostraram, então, menor intensidade de doenças com a nutrição equilibrada de B (SILVEIRA et al., 1998; HIGASHI & SILVEIRA, 2003; VASCO et al., 2018); portanto, a interação entre o P e o B é importante para manter a parede celular íntegra. Ademais, o correto fornecimento do B favorece o fornecimento, por sinergismo, de P para formar a celulose, além de pectatos de Ca para as células da lamela média (MARSCHNER, 2012). Já na membrana celular – estrutura composta por bicamada de fosfolipídios – o efeito da deficiência de Boro promove inibição de ATPases entre o meio externo e o interno, comprometendo a produção de energia nas plantas (CAKMAK & ROMHELD, 1997). Assim, apesar da importância desses elementos, ainda não existem relatos enfatizando os efeitos da interação do P com o B na intensidade da Cercosporiose em plantas de cafeeiro desde a fase de produção de mudas em viveiros, até a produção no campo. Por isso, conhecer as implicações desses nutrientes na severidade da Cercosporiose contribuirá para elaborar estratégias de manejo e, conseqüentemente, reduzir aplicações de fungicidas; e isso aumentará a sustentabilidade ambiental e financeira dessa cultura.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar a nutrição com P e com B na intensidade da Cercosporiose do cafeeiro e associa-los ao estado nutricional das mudas cultivadas em solução nutritiva.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido de 01/05/2015 a 20/06/2015 em solução nutritiva, na casa de vegetação. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de P (0,1, 0,5, 1, 2 e 4 mmol L⁻¹) combinadas com cinco doses de B (0,1, 0,5, 1, 2 e 4 mmol L⁻¹) em esquema fatorial 5 x 5 totalizando 25 tratamentos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, e cada parcela foi composta por um vaso de 5 litros contendo duas mudas, totalizando cem parcelas experimentais.

As soluções nutritivas foram, por sua vez, calculadas a partir da solução básica de Hoagland e Arnon (1950) e as concentrações de P e de B foram ajustadas de acordo com os tratamentos. As fontes de macronutrientes foram: NH₄NO₃, Ca (NO₃)₂.4H₂O, KNO₃, KCl, KH₂PO₄, MgSO₄.7H₂O e CaCl₂.6H₂O. Já os micronutrientes empregados para compor a solução estoque foram: ZnSO₄.7H₂O (0,22 mL L⁻¹), MnSO₄.4H₂O (3,0 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.

2.2 Obtenção de mudas do cafeeiro e aclimação

Primeiramente, sementes de cafeeiro do cultivar Catuai Vermelho IAC 99 foram lavadas com água de torneira, desinfestadas com álcool 50% por cinquenta segundos, transferidas para hipoclorito de sódio 1% por um minuto e logo em seguida enxaguadas com água destilada esterilizada e com sementes em bandejas plásticas, as quais continham areia lavada. Secundariamente, foram colocadas em câmara de crescimento a 28°C com fotoperíodo de 12 horas por dia a 60 cm, de lâmpadas fluorescentes de 40W. Após emitir o par de folhas cotiledonares, as mudas foram regadas com solução básica de Hoagland e Arnon a 20% da força iônica. Então a adubação com essa solução foi repetida a cada dez dias até as mudas emitirem o primeiro par de folhas definitivas.

Vinte dias após a primeira adubação, as mudas foram transferidas para recipientes com capacidade de 5 litros e que continham solução básica de Hoagland e Arnon, a 50% da força iônica, sob aeração contínua, realizada por compressor e por mangueiras. Nessa solução, as mudas permaneceram por mais 20 dias em aclimação.

Então foram selecionadas mudas uniformes e estas foram transferidas para recipientes plásticos com capacidade de 5 litros, os quais continham a solução de Hoagland e Arnon (1950) completa, com os tratamentos especificados anteriormente.

Nesse viés, o pH da solução foi monitorado semanalmente com pHmetro digital, mantendo-o entre 5,0 e 5,5 e a correção do pH foi por adição de HCl ou NaOH, ambos a 0,1 mol L⁻¹. Quando necessário, o volume dos vasos foi completado com água deionizada, e a depleção de íons da solução nutritiva foi verificada semanalmente com o aparelho Compaction Meter para K⁺ (Horiba-CARDY®). A troca da solução nutritiva foi realizada nos diferentes tratamentos, quando a depleção atingiu 30% do valor inicial de K⁺ (BRACCINI et al., 1999).

2.3 Obtenção do Inóculo e Inoculação

Para a inoculação, foi utilizado o isolado LA-37 de *C. coffeicola*, da coleção do Laboratório de Epidemiologia/UFLA. O isolado foi armazenado a 5° C, em meio de batata-dextrose-água (BDA) em tubos de ensaio. Para obter os conídios, foram transferidos três discos de micélio de 0,5 cm de diâmetro, retirados das bordas das colônias em placas de Petri, para 10 mL de meio V8 líquido, em Erlenmeyers de 125 mL. Esses recipientes permaneceram em agitação contínua de 120 rpm, na temperatura média de 25°C. Assim, após quatro dias, foi vertido o conteúdo de cada erlenmeyer em água-água, em três placas de Petri. Estas foram transferidas para BOD e permaneceram abertas, a 40 cm de distância de lâmpadas fluorescentes brancas Sylvania®, intercaladas com GroLux, ambas de 40W, constituindo intensidade luminosa de 165,3 μmol s⁻¹ m⁻², com foto-período de 12 h, a 25° C. Quando o meio desidratou, após quatro dias, foram colocados 10 mL de água destilada em cada placa, raspando superficialmente com bastão de vidro, e essa suspensão foi filtrada em gaze. Em seguida, para estimar a concentração de esporos, alíquotas desse filtrado foram transferidas para hemacitômetro. Foi, então, estimado o número de esporos nas duas câmaras de Neubauer do equipamento, para obter a média da quantidade de propágulos a serem inoculados. Vinte dias após a adaptação das mudas à solução de Hoagland e Arnon a 100%, elas foram inoculadas, por pulverização, com suspensão de esporos de *C. coffeicola*, na concentração de 1,0 x 10⁴ conídios mL⁻¹ nas duas faces das quatro folhas de cada muda da parcela experimental. Depois de inoculadas, as plantas foram cobertas com saco plástico transparente, em condição de saturação de água e incubadas durante 72 horas na temperatura média de 25°C.

2.4 Avaliações

Após detectar os primeiros sintomas, vinte e cinco dias após a inoculação, foram iniciadas as avaliações da incidência e da severidade da doença. Foram realizadas cinco avaliações, a cada cinco dias. A incidência foi avaliada em quatro folhas inoculadas por muda, sendo, destas, oito folhas por parcela (equação 1). Já a severidade foi avaliada utilizando-se escala proposta por Custódio et al., (2011) sendo: 1- de 0,1 a 3%; 2- de 3,1 a 6%; 3- de 6,1 a 12%; 4- de 12,1 a 18,0%; 5- de 18,1 a 30,0%; 5- de 30,1 a 50,0%.

Equação 1:

$$I(\%) = \left(\frac{\text{NFD}}{\text{NTFI}} \right) * 100$$

Na qual:

I (%) = incidência da cercosporiose do cafeeiro;

NFD = número de folhas doentes;

NTFI = número total de folhas inoculadas.

Os dados obtidos das cinco avaliações ao longo do tempo foram integralizados em Área Abaixo da Curva de Progresso da Incidência (AACPDIC) e da Severidade da Cercosporiose (AACPDSC), de acordo com a equação proposta por Shaner e Finney (1977):

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

Sendo: AACPDIC= área abaixo da curva de progresso da doença para incidência ou severidade da cercosporiose,

Y_i = proporção da doença na i -ésima observação,

T_i = tempo em dias na i -ésima observação,

n = número total de observação.

2.5 Peso das plantas secas e análise foliar dos nutrientes

Após concluir as avaliações de doença, as plantas foram coletadas para pesar folhas, raízes e caules secos. As partes das plantas foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa, a 60°C, até atingirem peso constante. Após a pesagem, as folhas secas de cada tratamento foram moídas e levadas para análise foliar de acordo com a metodologia de Malavolta et al. (1997) para determinar os teores de Nitrogênio, de Fósforo, de Potássio, de Cálcio, de Magnésio, de Enxofre, de Boro, de Cobre, de Zinco e de Manganês.

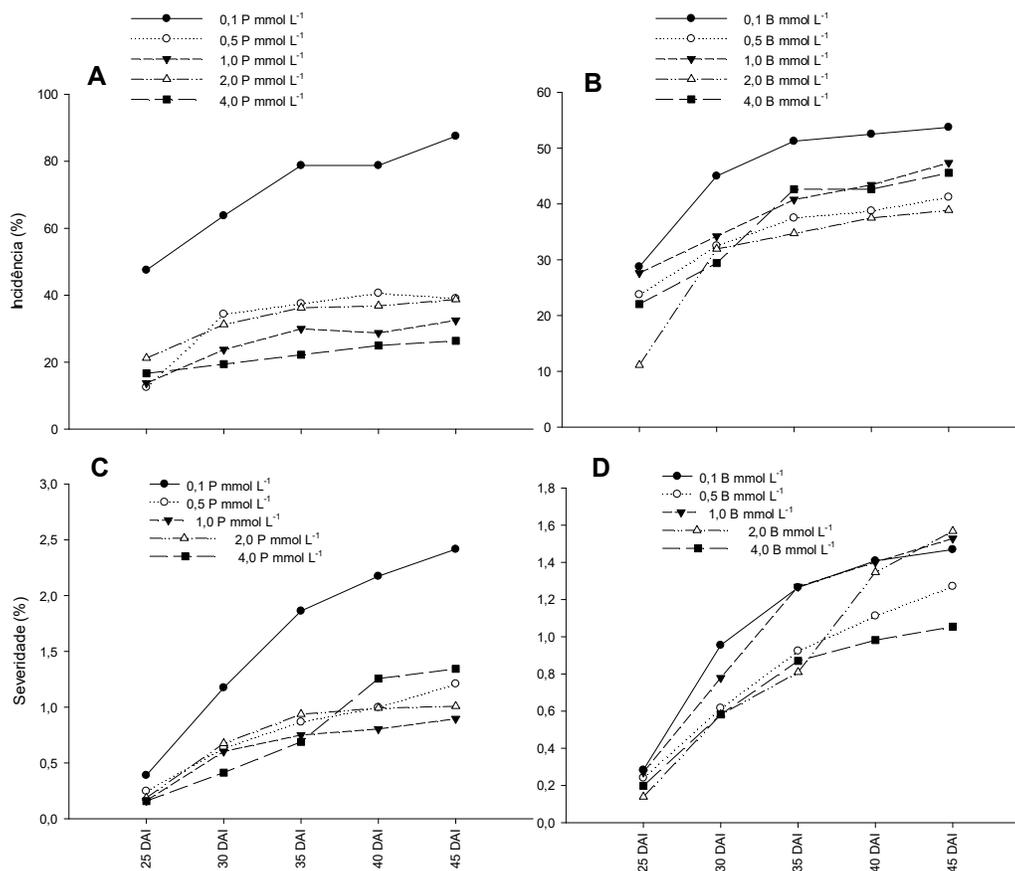
2.6 Análises estatísticas

As variáveis AACPDIC e AACPDSC, peso das partes secas das plantas e teores de nutrientes foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk para avaliar os pressupostos da análise de variância. Com os dados normais foi realizada a ANAVA. Em seguida, as médias entre os tratamentos foram comparadas por teste F ($p < 0,05$) e as variáveis quantitativas significativas nesse teste foram submetidas à análise de regressão, ajustando-se o modelo estatístico adequado para explicar o comportamento do patossistema. Para realizar essas análises, foi utilizado o programa R. Os gráficos foram plotados no Sigmaplot.

3 RESULTADOS

Os primeiros sintomas da Cercosporiose foram observados vinte e cinco dias após a inoculação (DAI) e surgiram em todas as concentrações de P e de B. Houve progresso da doença ao longo do tempo, tanto da incidência, quanto da severidade. A incidência máxima foi observada na última avaliação, 45 (DAI), de 80 e 50%, nas doses 0,1 mmol. L⁻¹ de P e de B, respectivamente (Figura 1 A e B). Nessa mesma dose e data para o P, também foi observada a maior severidade, de 2,4% (Figura 1 C).

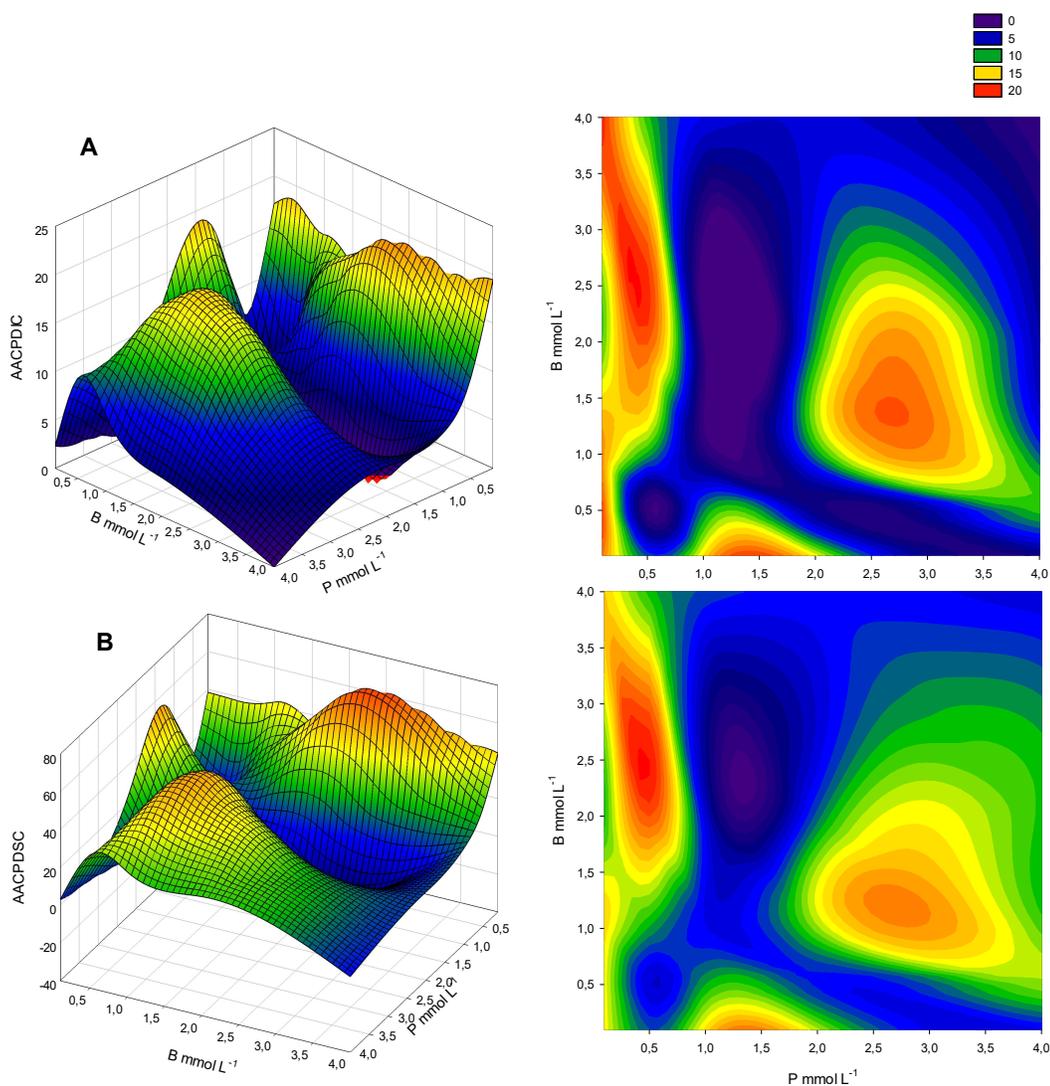
Figura 1 - Curva de progresso da incidência (A e B) e da severidade (C e D) da Cercosporiose, em dias após a inoculação (DAI), em função de diferentes concentrações de fósforo e boro.



Houve interação significativa ($p < 0,05$) entre as concentrações de P e de B tanto para Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença para a Incidência (AACPDIC), quanto para a Severidade (AACPDSC) da Cercosporiose. A maior AACPDIC (23,1) foi encontrada nas concentrações de 0,5 mmol L⁻¹ de P e 1,0 mmol L⁻¹ de B (Figura 2 A). Já para AACPDSC, o

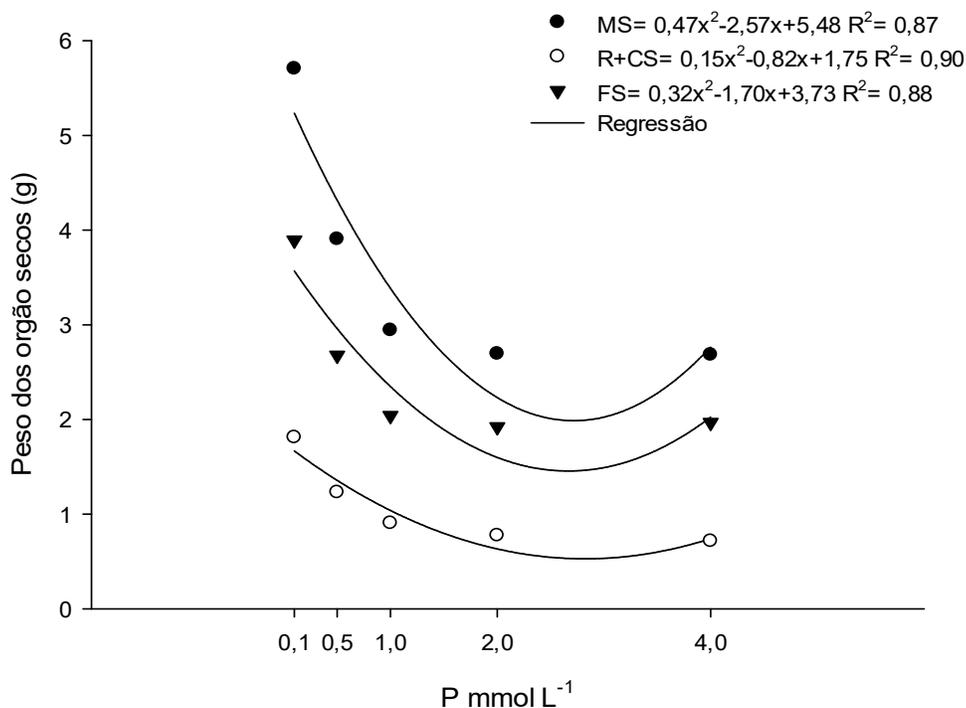
maior valor foi 87,1, verificado nas concentrações de 0,5 e de 2,0 mmol L⁻¹ de P e de B, respectivamente (Figura 2 B).

Figura 2 - Área Abaixo da Curva de Progresso da incidência da Cercosporiose (AACPDIC) (A) e severidade (AACPDSC) (B) em função da interação das concentrações de Fósforo e de Boro. UFLA, Lavras – MG, 2015.



Houve, ainda, influência das concentrações de P ($p < 0,05$) no peso das plantas, das raízes + caules e das folhas secas, e o comportamento entre os pesos foi semelhante. Os maiores pesos das plantas foram encontrados na dose 0,1 mmol. L⁻¹ de P, de 5,6 gramas, reduzindo com o aumento das doses. Os maiores pesos das raízes + caules secos e peso das folhas secas foram de 1,8 e 3,8 gramas, respectivamente (Figura 3).

Figura 3 - Peso dos órgãos secos em função das concentrações de Fósforo. **MS**= Peso total da muda; **R+CS**= Peso das raízes + caules secos; **FS**= Peso das folhas secas. UFLA, Lavras – MG, 2015.



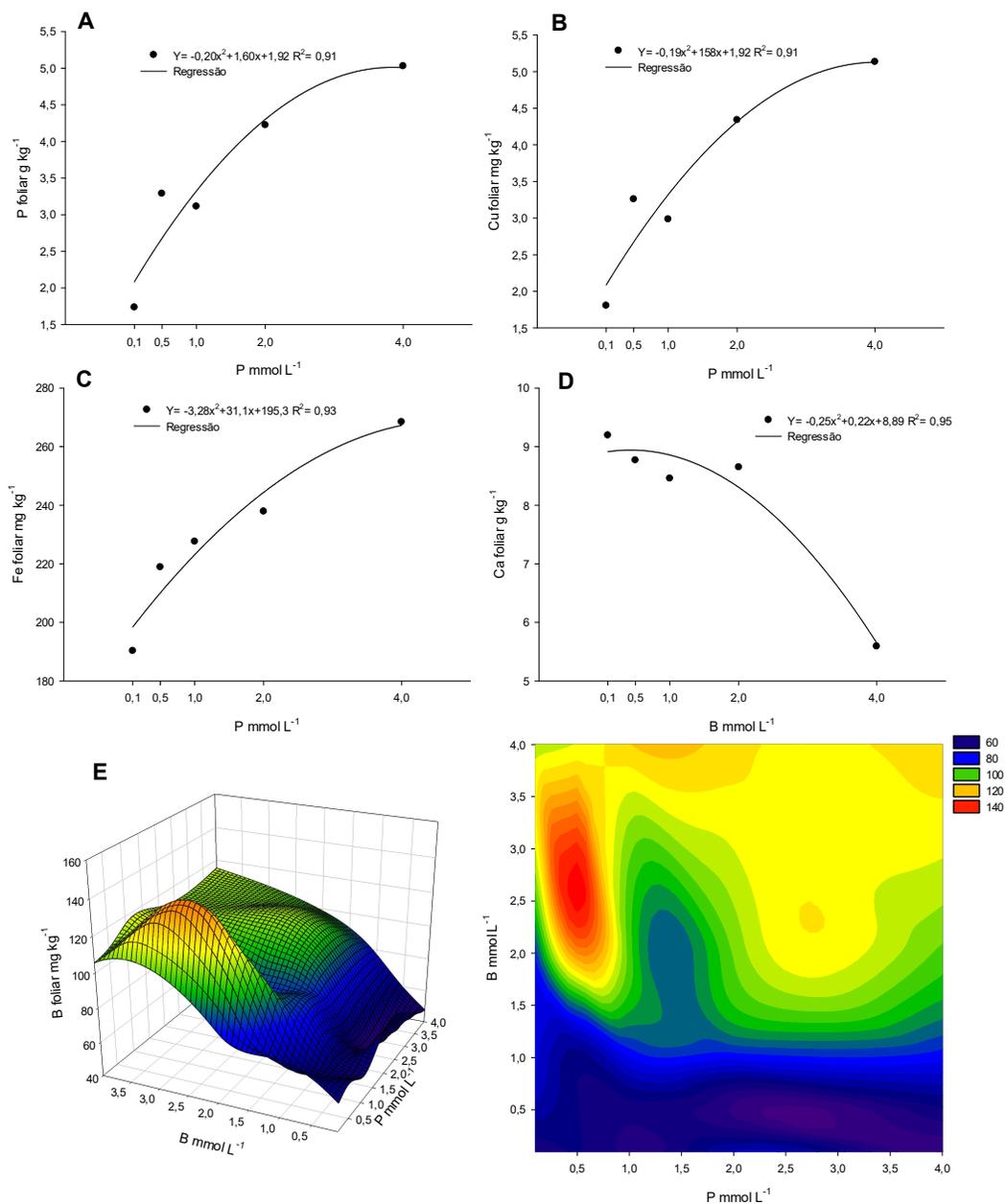
Houve, também, efeito das doses de Fósforo ($p < 0,05$) nos teores foliares de P, Cobre (Cu) e Ferro (Fe) (Figuras 4 A, B e C). O maior teor foliar de P ($5,03 \text{ g kg}^{-1}$) foi encontrado na sua maior dose, de 4 mmol L^{-1} . Para o Cu e o Fe os maiores teores foliares, $5,1 \text{ mg kg}^{-1}$ e $268,4 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, também foram encontrados na maior dose dose de P (4 mmol L^{-1}); o que indica certo sinergismo.

Houve, além disso, efeito das doses de B ($p < 0,05$) no teor foliar de Cálcio (Ca) (Figura 4 D). O maior teor de Ca foliar, $9,1 \text{ g kg}^{-1}$, foi encontrado na menor dose de B, $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$.

Houve interação significativa ($p < 0,05$) entre as doses de P e de B para o teor foliar de B. O maior teor de B ($138,9 \text{ mg kg}^{-1}$) foi verificado nas doses de $0,5$ e $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de P e B, respectivamente (Figura 4 E).

Para os outros nutrientes analisados – N, K, Mg, S, Zn e Mn – não foram observados efeitos das doses de P e de B.

Figura 4 - Teores foliares de Fósforo (A), Cobre (B), Ferro (C), em função das doses de P. Cálcio (D) em função das doses de B, Boro (E) em função da interação entre as doses de P e de B em solução nutritiva. UFLA, Lavras – MG, 2015.



4 DISCUSSÃO

A intensidade da Cercosporiose variou ao longo do período avaliado em todos os tratamentos. Contudo, de maneira geral, as maiores incidências e severidades ocorreram nas menores doses de P e de B ($0,1 \text{ mmol L}^{-1}$). Provavelmente, a baixa quantidade desses nutrientes não foi suficiente para ativar rotas metabólicas de defesa das mudas de cafeeiro. Dessa maneira, permitiu-se ao patógeno a quebra das barreiras de resistências horizontais, facilitando o processo de infecção da Cercosporiose (POZZA et al., 2001, 2002; GARCIA JUNIOR et al., 2003; POZZA & POZZA 2012). A maior AACPDIC (23,1) foi encontrada na interação de P com B nas doses de $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ de P e $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de B, respectivamente. Já a maior AACPDSC (87,1) foi encontrada nas doses de $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ de P e $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de B. Também em mudas de cafeeiro, Vasco et al., (2018), trabalhando com a interação entre doses de K e B na intensidade da Ferrugem, observou maiores intensidades da doença nas doses $0,05$ e $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de B e 6 mmol L^{-1} de K. Por isso, o B tem papel importante na integridade da parede celular e da membrana plasmática, e os efeitos secundários de sua deficiência ou toxidez acarretará danos irreversíveis às plantas, como necroses em seus ramos jovens (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHENER, 2012). O equilíbrio entre o P e o B faz-se necessário, pois esses nutrientes participam de diversos processos na planta, como a manutenção do funcionamento normal de ATPases na membrana plasmática. Essas enzimas são, pois, essenciais no processo de liberação de energia de todas as formas de vida existentes, facilitando as reações de defesa das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2013). Além disso, o desequilíbrio entre esses nutrientes pode afetar a disponibilidade de outros nutrientes essenciais e, então, facilitar a ocorrência de doenças nas plantas (AGRIOS, 2005).

Com o aumento das doses de P, observou-se redução nos pesos das plantas secas. O maior peso ($5,7 \text{ g planta}^{-1}$) foi obtido com a menor dose de P ($0,1 \text{ mmol L}^{-1}$). Esse fato pode ter ocorrido por dois motivos: ou (1) a dose de $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$ de P foi suficiente às plantas para crescerem e aumentarem seu peso nessa fase das mudas, ou (2) as plantas mantidas na solução nutritiva de Hoagland e Arnon, 1950 até 50% da força, antes de serem transferidas para os tratamentos, foi suficiente para suprir a necessidade de P das mudas até o estágio avaliado. Silva et al. (2012), trabalhando com o fósforo na formação de mudas de café, verificaram menor peso ($3,7 \text{ g planta}^{-1}$) das mudas na maior dose de P ($7 \text{ g de P}_2\text{O}_5 \text{ /planta}^{-1}$). Neste experimento, os menores pesos das plantas secas também foram encontrados nas maiores doses de P; assim como em trabalho realizado por Pozza et al., (2002) utilizando as doses 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 e $3,2 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$ de substrato, na fonte superfosfato simples formação de

mudas de café no viveiro de tubetes (120mL), não se observou efeito do P na Cercosporiose nem resposta das plantas. Segundo os autores, o P contido no substrato base (2,3 g kg⁻¹ de P₂O₅ em H₂O e 3,2 g kg⁻¹ de P₂O₅ em ácido cítrico), composto por 80% de esterco de curral e 20% de terra de subsolo, utilizado para preencher os tubetes, foi suficiente para suprir as demandas fisiológicas das mudas até seis pares de folhas definitivas, bem como não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos para a intensidade da cercosporiose até o estágio vegetativo estudado. Segundo os autores, ainda, provavelmente o excesso desse nutriente ocasionou desequilíbrios nutricionais e plantas pouco desenvolvidas. Da mesma maneira, Garcia Junior et al., (2003), trabalhando com a interação de K e de Ca na intensidade da cCercosporiose em mudas de café, observaram redução linear no peso das plantas secas com o aumento das doses de K. O maior peso (6,1g planta⁻¹) foi encontrado na menor dose de K 1,0 mmol L⁻¹, e os autores concluíram que houve competição entre os cátions. De acordo com Marschner (2012) e Pozza e Pozza (2012), elevadas quantidades de K nos tecidos vegetais podem interferir na translocação e na disponibilidade fisiológica do Mg e do Ca, resultando em desordens metabólicas. Contudo, trabalhando com doses crescentes de superfosfato simples, Cogo, Silva, Campos, (2012), observaram aumento linear da altura, diâmetro e peso dos órgãos secos, do cafeeiro. Apesar das plantas necessitarem de pequenas quantidades de fósforo na fase de formação de mudas, esse nutriente é essencial para o desenvolvimento de raízes secundárias e consequente desenvolvimento das plantas no campo.

Trabalhando com diferentes fontes, doses e modo de aplicação de P, em milho (CARNEIRO et al., 2012), observaram quando as plantas de milho tem elevada disponibilidade de P pode induzir deficiência e Zn. Outras interações foram encontradas com a aplicação de P, B, Zinco e da calagem em mudas de Eucalipto por Rocha filho et al. (1979). Eles observaram interação entre o P, o B e a calagem. Esta aumentou a disponibilidade de P foliar, entretanto a adição de Boro no solo diminuiu. Silva et al., (2007) testou a interação entre calagem e adubação fosfatada no crescimento do eucalipto e verificaram maiores produção de matéria seca (150 mg dm⁻³) quando a saturação por bases atingiu 50%. Neste trabalho, ocorreu interação entre as doses de P e de B, e o maior teor foliar de B (138,9 mg kg⁻¹) foi verificado nas doses de 0,5 e 2,0 mmol L⁻¹ de P e de B (Figura 5 E), respectivamente; ou seja, os maiores teores de B foliar foram encontrados nas menores doses de P. Essa interação também foi observada por Araújo e Silva, (2012) com o efeito das doses de Boro na absorção de Fósforo em algodoeiro cultivado em solução nutritiva. Eles observaram, ainda, diminuição do P na parte área, raiz e frutos do algodoeiro, com o aumento das doses de B em solução nutritiva.

Nesse trabalho, observou-se decréscimo linear dos teores de Ca foliar com o aumento das doses de B em solução. Dessa maneira, na dose de 4,0 mmol L⁻¹ de B observou-se 5,5 g kg⁻¹ de Ca foliar. Da mesma maneira, Xavier e Natale (2017), trabalhando com a influência do teor de B no acúmulo e eficiência nutricional em portas enxertos de caramboleira, verificaram menores teores de Ca nas raízes (1,9 g kg⁻¹) com o aumento das doses de B (4,0 mg.dm³). Relações antagônicas entre o B e o Ca também foram relatadas por Dursun et al. (2010). Eles observaram, pois, efeito negativo nos teores de Ca com o aumento de doses de B no solo, em pimenta, pepino e tomate. Assim como Ahmed et al. (2008) verificaram o mesmo efeito, mas nas raízes do algodoeiro. Os autores concluíram, destarte, que, provavelmente, houve toxidez nas plantas nas maiores doses de B.

Os nutrientes B e Ca mantêm a parede celular íntegra, por meio da correta deposição de pectatos de Cálcio na lamela média (MARSCHNER, 2012; LEHNINGER, 2014). O desequilíbrio entre o B, o Ca e o P na parede celular causa danos na membrana plasmática, como alterações na sua integridade e diversos efeitos secundários; os quais podem gerar a morte das plantas.

Neste trabalho ficou evidente, então, a importância do equilíbrio dos nutrientes em relação à intensidade das doenças. Isso porque pouca quantidade de Fósforo foi suficiente para a planta adquirir peso, mas não para ativar mecanismos de defesa. As interações entre as doses de P e de B e o teor foliar dos outros nutrientes devem ser mais bem estudadas, pois, na maioria das vezes, esses nutrientes estão interligados e a planta depende de boa nutrição para manter suas características morfológicas, fisiológicas e bioquímicas ideais.

5 CONCLUSÕES

- a) Houve interação entre o P e o B. As menores intensidades da Cercosporiose foram encontradas nas doses 1,5 e 2,0 mmol L⁻¹ de P e B, respectivamente;
- b) O maior peso das plantas secas (5,7 g planta⁻¹) foi encontrado na menor dose de Fósforo 0,1 mmol L⁻¹ para todas as doses de B;
- c) As doses de P e de B influenciaram os teores foliares de P, Cu, Fe, Ca e B;

6 AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão da bolsa e financiamento do projeto, junto a CAPES, CNPq, FAPEMIG e INCTCafé e ao Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras pela disponibilização da área experimental e de mão de obra.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. Plant Pathology. Ed 5. **Elsevier Academic Press**, 2005.
- AHMED, N.; ABID, M.; AHMAD, F. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n.6, p. 2443-2452, 2008.
- AMARAL, A. S. et al. Modo de aplicação e granulometria do superfosfato simples usado na cova de plantio do cafeeiro – efeito na produção. In: **Congresso brasileiro de pesquisa cafeeira**, , 26., 2000, Marília. Anais... Rio de Janeiro: MA/PROCAFE/CBP&DCafé/EMBRAPA/SAESP/COOPEMAR/PMM, 2000. p. 63-64.
- ARAÚJO, E. O.; SILVA, M. A. C. Efeito de doses de zinco na absorção de nitrogênio e fósforo pelo algodoeiro em cultivo hidropônico. **Revista brasileira de ciências agrárias**, Recife, v. 7, n.4, p. 574-579, 2012.
- BERKELEY, J. M.; COOKE, M. C. *Cercospora coffeicola*. *Grevillea*, v. 9, n. 49-52, p. 99, 1881.
- BLEVIS, D.; G & LUKASZEWSKI, K.M. Boron in plant structure and function. **Annual Review of plant Biology**, p. 481-500, 1998.
- BRACCINI, M.;D.;C.;L, LUCCA, A.; MARTINEZ, H.; E. Critérios para renovação ou manutenção de solução nutritiva em cultivo hidropônico. *Semina: Ciências Agrárias* 20:48–58. doi:10.5433/1679-0359, v20n1p48, 1999.
- BUCHANAN, B. B. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2015.
- CARNEIRO.; L., F., et al. Fontes, doses e modo de aplicação de fósforo na interação fósforo e zinco em milho. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.4, p. 1133 – 1141, 2008.
- CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of celular functions in plants. In: DELL, B.; ROWN, P.H.; BELL, R.W. (eds.). Boron in soil and **plants: review**. Symposium, Chiang Mai, reprinted Plant and Soil, v.193, n.1-2, p.71-83, 1997.
- COGO.; F.; D.; SILVA.; E.; A.; CAMPOS.; K.; A. Formação de mudas de cafeeiro sob doses crescents de fósforo. **Enciclopédia biosfera** - Centro científico conhecer, Goiânia, v. 8, n. 14p. 598 – 605, 2012.
- CUSTÓDIO, A. A. P.; POZZA, E. A.; GUIMARÃES, S. S. C.; KOSHIKUMO, E. S. M.; HOYOS, J. M. A.; SOUZA, P. E. Comparison and validation of diagrammatic scales for brown eye spots in coffee tree leaves. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1067 - 1076, 2011.
- DATNOFF, E. L.; ELMER, H. W.; HUBER, M. Mineral nutrition and plant disease. **The American Phytopathological Society**. St. Paul, 2007.
- DORNELAS, G.A. et al. Adubação nitrogenada e potássica no rendimento e intensidade da mancha branca do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 4, p. 351-359, julho / agosto 2015.

- DURSUN, et al.. Effects of boron fertilizer on tomato, pepper and cucumber yields and chemical composition. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v. 41, n. 13, p. 1576-1593, 2010.
- GARCIA JÚNIOR, D. et al. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, maio/jun. 2003.
- GUIMARÃES. Et al.. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. **5. Aproximação**. Viçosa:CFSEMG, Page 359, 1999.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950.
- LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica**. 6. ed. São Paulo: Sarvier, 2014. 1328p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; C.; OLIVEIRA, S.; A. Avaliação nutricional das plantas: Princípios e Aplicações, 2nd edn. **Potafos**, Piracicaba, 319p, 1997.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 2012.
- MARTINEZ, H.; E.; P.; CARVALHO, J.; G.; SOUZA, R.; B. Diagnose foliar. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez V VH. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5º aproximação. CFSEMG, Viçosa, 143-168 p, 1999.
- OSBOURN, A. E. Plant mechanisms that give defence against soilborn diseases. Austras, **Plant Phatology**, 2001.
- PAVINATO, P.S.; AGUIAR, A.; CASTRO, G.S. A.; CRUSCIOL, C.A.C. Boro em arroz de terras altas cultivado em solução nutritiva. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p.743-751, 2009.
- PEREZ, C. D. P. et al. Nitrogênio e Potássio na intensidade da mancha aureolada cafeeiro em solução nutritiva. *Coffee Science*, Lavras, v. 12, n. 1, p. 60-68, jan / mar. 2017.
- PINHEIRO, J. B. et al. Severidade da ferrugem da soja em função do suprimento de potássio e do cálcio em solução nutritiva. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 43-50, jan / fev. 2011
- 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. Suprimento do fósforo na nutrição e na intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 26, n. 5, p. 970-976, set-out, 2002.
- POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Relação entre a nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: MACHADO, A. K. F. M. et al. (Ed.). **Avanços da otimização no uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos: Suprema Grafica e Editora, 2012. p. 259-282.

- POZZA, E. A.; POZZA, A.A.A.; BOTELHO, D.M.S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 323 – 331, 2015.
- REIS, T. H. P. et al. Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, p. 503-512, 2011.
- REIS, T. H. P. et al. Estado nutricional e frações foliares de P no cafeeiro em função da adubação fosfatada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 48, n. 7, p. 765-773, 2013.
- ROCHA FILHO, J. V. de C ET AL. Efeito da aplicação de fósforo, boro, zinco e calagem no teor de macronutrientes nas folhas de mudas de *Eucalyptus grandis* cultivadas em solos de cerrado. **Anais da E.S.A “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 36, p. 493-507, 1979.
- SILVA, C. A; RANGEL, P. J. O; BELIZÁRIO, H. M. Interação entre calagem e adubação fosfatada e sua influência nos níveis críticos de P e crescimento do eucalipto. *Scientia forestalis*, Piracicaba, n. 73, p. 63-72, 2007.
- SILVA, P. I; RODAS, L. C; CARVALHO, G. J. Doses de boro no desenvolvimento do mamoeiro em solução nutritiva. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 23, p. 171-175, 2014.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N. Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para o eucalipto. Piracicaba: **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, p. 1-3, 2003
- SILVEIRA, R.L.V.A. et al. Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. **Scientia Florestalis**, n.53, p.57-70, 1998.
- SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-milne wing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, n. 3, p. 1051-1056, Feb. 1977.
- STANGOULIS, J. C.R et al., The mechanism of boron mobility in wheat and canola phloem. *Plant Physiology*, , v. 53, p. 876-881, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5ª. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose-do-cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 55-62, jan./fev. 2001.
- TEASDALE, R.D.; RICHARDS, D.K. Boron deficiency in cultured pine cells. quantitative studies of interaction with Ca and Mg. **Plant Physiology**, v. 93, n. 3, p. 1071-1077, 1990.
- VASCO et al., Interaction of K and B in the intensity of the coffee rust in nutrient solution. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 238-244, 2018.
- XAVIER, C. V; NATALE, W. Influência do boro no teor, acúmulo e eficiência nutricional em porta-enxertos de carambola. **Agrária**, Recife, v. 12, n.1, p. 6-13, 2017.

**ARTIGO 2 - BROWN EYE SPOT IN COFFEE SUBJECTED TO DIFFERENT DRIP
IRRIGATION AND FERTILIZATION MANAGERMENTS**

Mauro Peraro Barbosa Junior¹, Edson Ampélio Pozza*¹, Helon Santos Neto¹, Mirian de Lourdes Oliveira e Silva², Adélia Aziz Alexandre Pozza², Rubens José Guimarães³, Paulo Estevão de Souza¹

¹ Department of Plant Pathology, ² Department of Soil Science, ³ Department of Agriculture, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras-MG, 37.200-000

(*Corresponding author: Edson Ampélio Pozza, email: edsonpozza@gmail.com)

(Published in Australasian Plant Pathology)

ABSTRACT

Brown eye spot is one of the main diseases of coffee tree. Its occurrence and intensity is affected by the water supply and mostly by the nutritional imbalance of plants. The aim of this study was to evaluate the incidence of brown eye spot in coffee plantations subjected to different drip irrigation and phosphate fertilization managements. The study was carried out in Lavras-MG, Brazil, in a plantation of the cultivar MGS Travessia. Disease assessments were performed monthly from March 2012 to June 2014. The experimental design was a randomized block design with 12 treatments. The irrigation treatments were the control without irrigation, irrigation all year, suspension of irrigation for 30 days in July, and for 70 days between July and September. Fertilization treatments were recommended rate of NK fertilizer, high rate of NK plus P and high rate of NK severity of the disease integrated in (AUDPC). There was a difference in AUDPC in the evaluated years, reflecting the biennial characteristic of the coffee crop. There was no significant interaction between irrigation and fertilization. However, when irrigation and fertilization treatments were analyzed separately, the suspension of irrigation for 70 days between July and September in 2012 favored brown eye spot and in the same year the high rates of NK increased productivity

Keywords: *Cercospora coffeicola*, Brown eye spot, Irrigated coffee growing, Phosphate fertilization, *Coffea arabica*.

1 Introduction

The poor distribution of rainfall has been frequent in areas suitable for planting coffee, such as in the southern state of Minas Gerais, the largest Arabica coffee producing region in Brazil, with an estimated area of 484.2 thousand hectares and production of 13.26 million

bags (60 Kg) of processed coffee (Conab 2017). In this situation, plants absorb less nutrients, compromising the formation and maintenance of resistance barriers to plant pathogens. Thus, there may be a higher intensity of diseases in the field (Marschner 2012). Among these diseases, we can mention BES or brown eye spot (*Cercospora coffeicola* Berkeley and Cooke), which has been disseminated in all coffee producing regions of Brazil and influenced by nutritional imbalances (Garcia Junior et al. 2003, Pozza et al. 2000, 2001). It is responsible for defoliation, rickets, and productivity loss (Pozza et al. 2010), besides reducing the quality of grains and beverage (Lima et al. 2012).

In these regions, irrigation has become economically viable and has been used to meet the need of water for coffee plantation at specific times (Lima et al. 2008; Coelho et al. 2009). The water availability makes nutrients available for absorption. Once in the plant, it may constitute the first resistance barriers, such as the wax layer and the cell wall, hindering penetration and colonization by pathogens (Pozza and Pozza, 2012).

In drip-irrigated systems, the water is distributed in a localized way and it is possible to split the fertilization by fertigation, reducing the application costs of these products, avoiding imbalances by applying high doses and loss by leaching. Furthermore, this method does not modify the microclimate of the plant, reducing the incidence of diseases (Talamini et al. 2003; Miranda et al. 2006). Among the nutrients capable of being distributed and absorbed, phosphorus is mentioned. For many years, the coffee plantation was considered a plant unable to respond to phosphate fertilization in its production phase, but some authors observed its influence during this stage of the plant (Scalco et al. 2011; Reis et al. 2011, 2013). Phosphorus (P) performs structural, physiological and biochemical functions essential to the plant and is part from its energy molecule, the ATP (adenosine triphosphate) (Lehninger, 2014), and may play an important role in photosynthesis, respiration, metabolism

of sugars, cell division, membrane plasticity and transfer of genetic information (Buchanan et al. 2015). All these variables may contribute to higher levels of resistance to pathogens.

The balance between the water and supplied nutrients are environmental variables capable of being manipulated, besides influencing productivity and the disease progress rate in the field. As a viable option for the management, besides saving on the application of chemical products, it will minimize problems, such as resistance to pathogens and effects from the biennial coffee plantation.

In view of the above, the aim of this study was to assessment the progress of the brown eye spot on coffee plantations under different drip irrigation and phosphate fertilization managements.

2. Material and methods

2.1 Characterization of the experimental area

The test was conducted from 3/16/2012 to 6/3/2014 in coffee sector the Federal University of Lavras (MG), which is a time interval necessary to evaluate the biennial production of coffee plantation (Pereira, 2011), at 21°13'S latitude, 45°00'W longitude and 919 m altitude, showing a Cwa climate, according to the Köppen classification, with rainfalls predominating in summer and dry winter. The soil of the experimental area was classified as dystrophic red latosol.

The coffee cultivar was MGS Travessia, susceptible to brown eye spot, with eight years of age and spacing of 2.60 m between rows and 0.60 m between plants. The experimental area consisted of nine planting rows.

2.2 Experimental design and treatments

The experimental design was a randomized block design, with 12 treatments and three replications, in a 3 x 4 factorial design of analysis of variance, being three fertilization managements and four irrigation managements. The plots were composed of 10 plants, being the eight central plants considered as useful plot.

Irrigation treatments were the control without irrigation (WI), irrigation all year (IT), suspension of irrigation for 30 days in July (I30), and for 70 days between July and September (I70). It was interrupted irrigation in the drier periods to provide greater flowering uniformity and to guarantee a higher percentage of ripe fruits (Souza et al. 2014).

Three fertilization treatments were carried out. The first one was performed based on the soil analysis and recommendations of the Soil Fertility Commission of the State of Minas Gerais (Guimarães et al. 1999), applying 300 Kg ha⁻¹ N and 225 Kg ha⁻¹ K₂O/crop year, without need to apply P₂O₅ (A). In the second treatment, 300 kg ha⁻¹ P₂O₅, 550 kg ha⁻¹ N and 550 kg ha⁻¹ K₂O/crop year (B) were applied, and in the third, 550 kg ha⁻¹ N and 550 kg ha⁻¹ K₂O/crop year (C) were applied. The sources of the used nutrients were urea (45% N), potassium nitrate (13% N and 44% K), and monoammonium phosphate (11% N and 60% P₂O₅). The application of P₂O₅ was done with 2/3 of the dose in the months September/October and 1/3 in January/February. The application of N and K₂O was done with 2/3 of the dose between the months October and December and 1/3 in the months January and February.

2.3 Irrigation, fertilization and cultural practices

The irrigation shift was fixed (irrigation done on Tuesdays and Fridays) and the applied depth was defined based on the simplified water balance between two irrigations.

Irrigation depths were defined by estimating crop evapotranspiration based on evaporation of the Class A tank (ECA) and the tank coefficients recommended by Doorembos and Pruitt (1984) and culture, based on the plant age and the planting spacing, according to Allen et al. (1998). In the treatments with irrigation suspension, when it was restarted, the soil moisture was elevated to the field capacity condition and later followed up with the proposed management. All treatments were fertigated using Amiad[®] injection pump during the months October and February.

Micronutrient fertilization was foliar, according to the defined needs based on the leaf analysis performed in January of each year. The crops were kept free of weeds and insects through hand weeding and phytosanitary treatments, standardized for all plots.

2.4 Irrigation system and meteorological data used

The localized drip irrigation system was used and consisted of a reservoir with a capacity of 5,000 L, control head composed of centrifugal pump, sand and disc filters, fertilizer injection pump, manometer and connections, main line of tube and PVC shunt, and side lines of polyethylene with drippers every 0.50 m.

Average daily climatic data, maximum, average and minimum temperature, relative humidity, radiation and rainfall were collected in a weather station located at the Federal University of Lavras. The monitoring period occurred simultaneously with evaluations of BES of the coffee tree.

2.5 Assessment of disease incidence and Area under the incidence progress curve of brown eye spot (AUIPCB)

A total of 21 assessments on the disease incidence were performed every 30 days, from 3/16/2012 to 6/30/2014. Twelve leaves/plant were sampled in the eight central plants, totaling 96 leaves/plot. Leaves were randomly evaluated by non-destructive method in the middle third of the plant, between the third and fourth pair of leaves from plagiotropic branches. The incidence of brown eye spot was calculated according to the equation (Campbell and Madden, 1990):

$$I(\%) = \left(\frac{NFD}{NTF} \right) * 100$$

Therefore:

$I(\%)$ = incidence of brown eye spot of the coffee,

NDL = number of diseased leaves,

TNL = total number of leaves sampled.

The average index of disease incidence in the 36 plots was plotted on the graph of the disease progress curve, together with the averages of the climatic variables and the cumulative rainfall during the evaluated period.

The data obtained from the incidence on coffee leaves were integrated in AUIPCB, according to the equation proposed by Shaner and Finney (1977).

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

Therefore:

AUIPCB = Area under the incidence progress curve of brown eye spot,

Y_i = ratio of disease in the i -th observation,

T_i = time in days in the i -th observation,

n = total number of observations.

AUIPCB values were calculated for three periods, from March to November 2012, from December 2012 to August 2013, and from September 2013 to June 2014, as well as the conjunction of the entire period.

2.6 Evaluation of foliage and harvesting

The foliage of plots was evaluated simultaneously to the assessment of brown eye spot. Grades from 1 to 5 were attributed according to the plant foliage, being 1 (0 to 20%), 2 (21 to 40%), 3 (41 to 60%), 4 (61 to 80 %), and 5 (81 to 100%) (Boldini, 2001). The experimental plots were harvested manually on a cloth, starting with 90% of ripe fruits. After the harvesting, the total coffee was recorded in L/plant or per plot. Afterwards, productivity was estimated for the harvest from the years 2012, 2013 and 2014 in bags of 60 Kg/ha⁻¹ using the following formula:

$$P = QLP \times \frac{NP}{500}$$

Therefore:

P = Productivity in bags of 60 kg/ha⁻¹,

QLP = Quantity of liters per plant,

NP = Number of plants per hectare.

2.7 Statistical analysis and correlations

The assumptions of the analysis of variance were verified by normality tests of Shapiro-Wilk, homogeneity of Bartlett and independence of Box and Pierce. They were not significant, no data transformation was required.

The analysis of variance (ANOVA) was then performed in a 3 x 4 factorial design for the AUIPCB variable per evaluation period. Significant variables in the F test of ANOVA were compared using the Scott-Knott clustering. For the statistical analysis of the experiment, the Sisvar[®] software (Ferreira, 2008) version 4.0 was used.

Pearson's correlation between the incidence of brown eye spot in leaves and the average of the climatic variables was performed 30 days prior to the evaluations in SAS[®] 9.0 software (SAS Institute).

3. Results

3.1 Progress curve of brown eye spot

There was variation in the average disease intensity and the foliage among the evaluation periods (Figure 1). The highest average incidence of brown eye spot was observed on 5/29/2012 (4.2%), 6/28/2013 (10.2%), and 06/3/2014 (9.8%) (Figure 1A).

In the first two periods, after these dates with higher incidence, there was a drastic reduction in foliage and in disease incidence (Figure 1A).

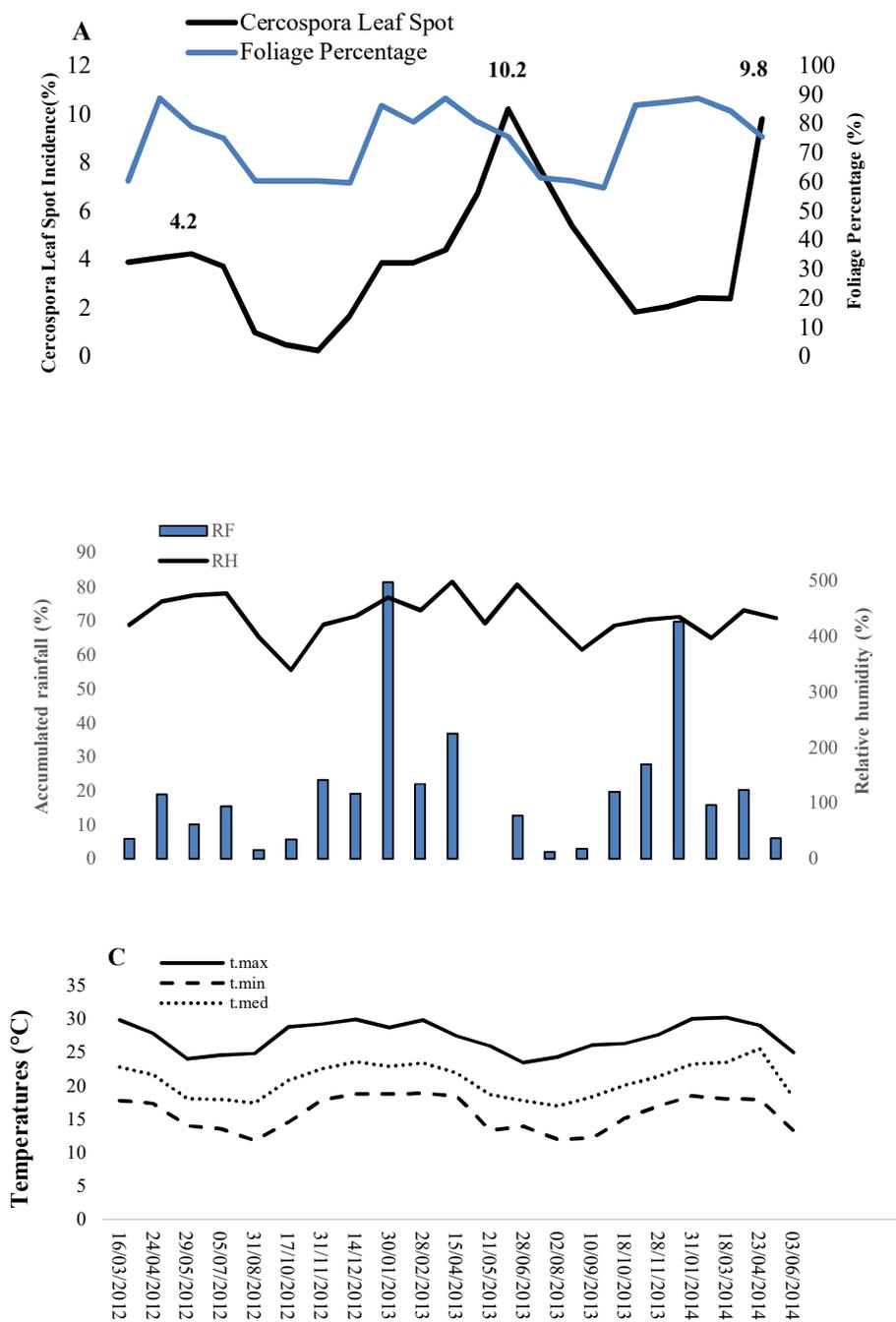


Figure 1- Progression curve of the average incidence of cercospora leaf spot and the average foliage percentage (A), monthly averages of climatic variables, relative humidity (RH) and accumulated rainfall (RF) (B), and maximum (TMAX), minimum (TMIN) and average (TMED) temperatures (C). From March 2012 to June 2014.

3.2 Area under the incidence progress curve of brown eye spot (AUIPCB) in the different evaluation periods

There was lower values of AUIPCB in the periods between 2012 and 2014, with an index of 631.5 and 789.8, respectively. In 2013, there was the highest AUIPCB (1266.0), at least 60% higher compared with the other years of disease evaluation ($P < 0.05$) (Figure 2).

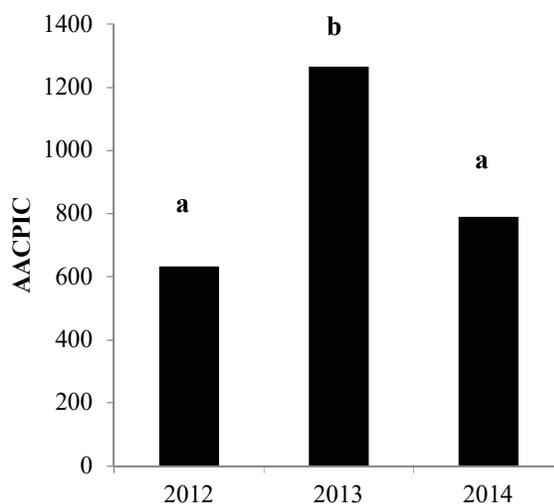


Figure 2- Area under the incidence progress curve of cercospora leaf spot (AUIPCC) of coffee between the years 2012, 2013, and 2014.

There was no significant interaction between irrigation and fertilizant management, however, irrigation and fertilization where analyzed separately, only to irrigation in 2012 there was a statistical difference ($P < 0.05$),. A higher AUIPCB (870.4) was observed in the treatment with irrigation suspension for 70 days (I70) between the months July and September when compared all other treatments ($P < 0.05$) by Scott-Knot test (Table 1).

Table 1- Values of AUIPCC for the four irrigation treatments and for the three fertilization treatments.

Irrigation management	AUIPCC				
	2012	2013	2014	average	total
WI	486.4 a	1609.7 a	722.2 a	939.4a	3197.4 a
IT	549.9 a	1156.6 a	834.0 a	846.8 a	2824.1 a
I30	619.3 a	1093.4 a	870.2 a	861.0 a	2830.6 a
I70	870.4 b	1204.2 a	732.8 a	935.8 a	3268.1 a

Fertilization management	AUIPCC				
	2012	2013	2014	average	total
A	544.6 a	1338.5 a	809.2 a	897.4 a	3085.2 a
B	593.3 a	1258.3 a	716.7 a	856.1 a	2889.3 a
C	756.6 a	1201.0 a	843.4 a	933.7 a	3115.6 a

Averages followed by the same letters do not differ among themselves by Scott-Knott test ($P < 0.05$).

3.3 Coffee productivity

There was no significant interaction between irrigation and fertilization, but there was a statistical difference ($P < 0.05$) for fertilization individually in 2012 and in the accumulated production. It was verified a lower productivity in the treatment with traditional fertilization based on the soil fertility analysis (A). Different average coffee productivities were observed between the years 2012, 2013, and 2014. In the years 2012 and 2014, there was lower productivity, with 38.2 and 46.8, while the productivity in 2013 was 63.1 bags of 60 kg.ha⁻¹ (Table 2).

Table 2- Averages for coffee productivity in bags of 60 kg/ha⁻¹ in the years 2012, 2013 and accumulated of the two years, due to irrigation and fertilization managements.

Irrigation management	Productivity (bags of 60 kg/ha ⁻¹)				
	2012	2013	2014	Accumulated	Average
WI	35.7 a	65.6 a	33.2 a	134.5 a	44.8 a
IT	35.0 a	62.9 a	50.4 a	148.3 a	49.4 a
I30	33.3 a	58.7 a	49.7 a	141.7 a	47.2 a
I70	31.3 a	66.3 a	54.2 a	151.8 a	50.6 a
Fertilization management	Productivity (bags of 60 kg/ha ⁻¹)				
	2012	2013	2014	Accumulated	Average
A	29.2 b	52.6 a	39.8 a	121.6 b	40.5 b
B	33.8 a	51.3 a	52.9 a	137.9 a	46.0 a
C	41.1 a	59.9 a	47.9 a	148.9 a	49.6 a
Average treatments	Productivity				
	2012	2013	2014	Accumulated	Average
	38.2 c	63.1 a	46.8 b	148.1	49.3

Averages followed by the same letters do not differ among themselves by Scott-Knott test at 5% probability.

4. Discussion

The disease intensity varied over the evaluated period. The highest incidences occurred in average monthly temperatures of 18.0 °C and cumulative monthly rainfall of 58.9 mm in the years 2012, 2013 and 2014. Brown eye spot had a higher incidence in the months with lower temperatures and rainfall, even with negative correlations, mainly in the treatment 70 days without irrigation. Other authors also reported a higher disease incidence during this period under these conditions. Talamini et al. (2003) found higher incidence between May and September in an experiment with different nitrogen, potassium and phosphorus plots by fertigation, with an incidence of up to 35.0%. Similarly, Custódio et al. (2014) in coffee plantation irrigated by sprinkler also observed average rates of 11.0% of disease incidence in the months July and September, with average temperature of 22.0 °C and accumulated rainfall of 39.0 mm. The average temperatures observed in the experiments mentioned above were below those proposed by Echandi (1959) and López-Duque and Fernández-Borrero (1969).

According to these authors, the optimum temperature for conidial germination and fungus growth is 24.0 and 30.0 °C, respectively. According to Echandi (1959), two hours of leaf wetting are sufficient for the germination of conidia, i.e., only the dew in the early hours of the morning may be enough to provide the infection in periods of lower rainfall, as observed in the experiment. The variation in the dates of greatest occurrence may be related to the absence of rainfall in the period, imbalance foliar feeding and favorable temperatures to the pathogen.

The highest incidence of brown eye spot (18.7%) on 6/3/2014 was found in the treatment with irrigation suspension for 70 days between the months June and September and addition of 550 kg of N and K₂O ha⁻¹/crop year (I70C). The water deficiency (37.6 mm) in the period, together with the non-complement of irrigation, probably pre-arranged the plant to fungus infection. Moreover, this was the single treatment that differed statistically ($p < 0.05$) from the others, with greater intensity of brown eye spot and AUIPCB of 870.49 in the period between March and November 2012. The function of fertigation is to provide water and nutrients through the roots to the shoot of plants, contributing to reduce the disease intensity. Water is the main constituent of the plant tissue, being necessary for the absorption, transport and translocation of nutrients (Taiz and Zeiger, 2014). Water deficiency culminates in nutritional imbalance, affecting the growth, development and productivity of crops (Pozza and Pozza, 2012; Custódio et al. 2014). Probably, the lack of water in this treatment in critical seasons of the culture made it difficult to translocate the nutrients to several organelles, affecting essential processes, such as the synthesis of nucleic acids, amino acids, proteins, as well as photosynthesis and cellular respiration, which are indispensable processes for the energy production, thus reducing the formation of horizontal resistance barriers of plants (Pozza and Pozza, 2012; Marschner, 2012). In relation to phosphate fertilization, for many years the coffee tree was considered a plant that did not respond to the application of

phosphorus doses in its production phase (Reis et al. 2011, 2013). The availability of P is mainly affected by water stress conditions, since besides being fixed in the clay fraction, it is little mobile in the soil solution. However, some studies have described the importance of this nutrient in the coffee production stage. Guerra et al. (2007) studied crops in which they had an increase of P_2O_5 in October, being observed high growth rates in these plantations, such as long nodes and green leaves in the later months. Reis et al. (2011) worked with irrigated coffee tree and observed a response of phosphate fertilization in the crop production phase, with gains of up to 138% by applying 400 kg of P_2O_5 /ha. Phosphorus plays structural, physiological and biochemical functions essential to the plant and is part of its energy molecule, the ATP (adenosine triphosphate) (Buchanan et al. 2015). When properly managed, this nutrient improves the physiological characteristics of the plant and can increase its productivity, as well as reduce the intensity of coffee diseases (Pozza and Pozza, 2012; Custódio et al. 2011).

In the literature, there are several studies relative to the influence of irrigation on the progress of coffee diseases, but few studies are evaluating its influence with the phosphorus management. Some authors reported higher disease intensities under water stress conditions. Miranda et al. (2006) verified incidences of up to 17.0% of coffee leaf rust in non-irrigated plots and 6.0% where the applied depth was 60.0% ECA. Talamini et al. (2003) observed higher intensities of brown eye spot in the non-irrigated treatment (9874.7), being reduced to 4984.6 when coffee was irrigated from July to October. As well as Paiva et al. (2013), these authors verified incidences of up to 30.0% of brown eye spot in the control, with a reduction of 27.0% in disease incidence when irrigation was started with soil tension of 20 Kpa. However, irrigation in areas or years of good rainfall for coffee, with a rainfall index above 1200 mm and well distributed (Camargo, 2010) may not provide a reduction in the brown eye spot intensity due to the adequate supply of water via rainfall to the control (Paiva et al. 2011). For

coffee leaf rust, Talamini et al. (2003) and Miranda et al. (2006) evaluated the cultivar "Acaia cerrado" for five years and did not find difference in the incidence between the water depths (0, 40, 60, 80, and 100% ECA) provided by drip because rainfall was considered ideal for the culture and disease progress. In other words, irrigation can contribute to reduce the disease incidence when rainfall is lower than that required for coffee or poorly distributed throughout the year, especially in densified areas with high productivity in oxisols. The water deficit has been frequent in recent years even in areas suitable for planting coffee trees due to climate change (Dantas et al. 2007; Chalfoun et al. 2001).

In the conditions performed in this experiment, it was observed an increase in leaf fall and reduction of brown eye spot in the month after the highest disease intensity and harvesting. Certainly, the lost leaves were infected by *C. coffeicola*. The high intensity of brown eye spot may have activated the ethylene production, The synthesis of this hormone activates genes to produce enzymes present in the cell wall, such as cellulases and polygalacturonases, leading to leaf abscission and early ripe of fruits (Taiz and Zeiger, 2014). Furthermore, the harvesting operation maximized this defoliation due to the harvest action. Consequently, some plots had only 25.0% of foliage. Additionally, diseases reduce the photosynthetic capacity of coffee trees, affect their vegetative growth, diminish the formation of nodes, damage the formation of their floral buds, and reduce the size of their fruits, compromising their productive capacity for the next harvest (Pozza et al. 2010).

High productivities also unbalance the plants nutritionally, predisposing them to greater attacks by pathogens. In this experiment, a higher AUIPCB (1266.0) was observed in 2013, accompanied by higher productivity, 63.2 bags of benefited coffee of 60 kg/ha. On the contrary, in 2012 and 2014, the AUIPCB and productivity were lower, with disease intensity of 631.5 and 798.8 and productivity of 38.2 and 46.8 bags of benefited coffee of 60 kg/ha respectively, reiterating the of biennial characteristic of the coffee.

5. Conclusion

- The highest disease intensities occurred between May and July with accumulated average temperature and rainfall of 18.0 °C and 58.9 mm, respectively.
- The suspension of irrigation for 70 days between July and September can favor brown eye spot.
- Coffee productivity can be increased with high rates of NK fertilizer. P as used in this work did not influence brown eye spot or productivity.

6. Acknowledgments

To National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Foundation for Research Support of the State of Minas Gerais (FAPEMIG), the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) and the National Institute of Science and Technology of Coffee (INCT-Café) for supporting the research.

7. References

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crops evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, 56. FAO, Rome

Boldini JM (2001) Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado. Dissertation, Federal University of Lavras

Buchanan BB, Gruissem W, Jones RL (2015) Biochemistry and molecular biology of plants. J. Wiley, New York

Camargo MBP (2010) The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia* 69:239-247. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>

Campbell CL, Madden LV (1990) Introduction to plant disease epidemiology. J. Wiley, New York. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3302-1_1

Chalfoun SM, Carvalho VL, Pereira MC (2001) Efeito de alterações climáticas sobre o progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* BERK. and BR.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Ciência e Agrotecnologia* 25:1248-1252

Coelho G, Silva AM, Rezende FC, Silva RA, Custódio AAP (2009) Efeito de épocas de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuaí'. *Cienc Agrotec*, 33:67-73. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000100009>

Conab (2017) Safra de café 2017. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_04_11_22_44_boletim_cafe_portugues_-_4o_lev_-_dez.pdf. Accessed 26 february 2018

Custódio AAP, Pozza EA, Paiva AA, Souza PE, Lima LA, Lima LM (2011) Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto a face de exposição das plantas. *Coffee Science* 5:214 – 228.

Custódio AAP, Pozza EA, Custódio AAP, Souza PE, Lima LA, Silva AMD (2014) Effect of Center Pivot Irrigation in the Progression of Rust and Brown Eye Spot of Coffee. *Plant Disease* 98:943-947. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-07-13-0801-RE>

Dantas AAA, Carvalho LG, Ferreira E (2007) Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia* 31:1862-1866. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>

Doorembos J, Pruitt WO (1984) Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage*, 24. FAO, Rome

Echandi E (1959) La chasparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk. and Cooke. *Turrialba* 9:54-67

Ferreira DF (2008) SISVAR: um programa para análise e ensino de estatística. *Revista Científica Symposium* 6:36-41

Garcia Junior D, Pozza EA, Pozza AAA, Souza PE, Carvalho JG, Balieiro AC (2003) Incidência e severidade da cercosporiose-do-cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira* 28:286-291. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582003000300010>

Guerra AF, Rocha OC, Rodrigues GC, Sanzonowicz C, Ribeiro Filho GC, Toledo PMR, Ribeiro LF (2007) Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. *Irrigação and Tecnologia Moderna* 73:52-61

Guimarães PTG, Garcia AWR et al (1999) Cafeeiro. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Venegas VHA (eds) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5th edn. CFSEMG, Viçosa, pp 289-303

Lehninger, AL, Nelson DL, Cox MM (2014) Princípios de Bioquímica. 6. ed. Sarvier, São Paulo

Lima LA, Custódio AAP, Gomes NM (2008) Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. Cienc Agrotec 32:1832-1842. doi: 10.1590/S1413-70542008000600023

Lima LA, Pozza EA, Silva FS (2012) Relationship between Incidence of Brown Eye Spot of Coffee Cherries and the Chemical Composition of Coffee Beans. Journal of Phytopathology 160:209-211.

López-duque S, Fernandez-borrero O (1969) Epidemiologia de la mancha de hierro del cafeeiro (*Coffea arabica*). Cenicafé 20: 3-19

Marschner H (2012) Mineral nutrition of higher plants, 3rd edn. Academic, San Diego 643 p

Miranda JC, Souza PE, Pozza EA, Santos FS, Barreto SS, Silva MLOE, Faria M A (2006) Intensidade da ferrugem em cafeeiro fertirrigado. Ciência e Agrotecnologia 30:885-895

Paiva BRTL, Souza PE, Scalco MS, Santos LA (2011) Progresso da ferrugem do cafeeiro irrigado em diferentes densidades de plantio pós-poda. Ciência e Agrotecnologia 35:137-143. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000100017>

Paiva BRTL, Souza PE, Scalco MS, Monteiro FP (2013) Progresso da cercosporiose do cafeeiro sob diferentes manejos de irrigação e densidade de plantio. *Coffe Science* 8:166-175. <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v8i2.391>

Pereira SP, Bartholo GF, Baliza DP, Sobreira FM, Guimarães RJ (2011) Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46:152-160. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000200006>

Pozza, A.A.A.; et al.(2000) Intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. *Summa Phytopathologica* 26:29-33

Pozza AAA, Martinez HEP, Caixeta SL, Cardoso AA, Zambolim L, Pozza EA (2001) Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. *Pesqui Agropecu Bras* 36:53-60. doi: 10.1590/S0100-204X2001000100007

Pozza EA, Carvalho LV, Chalfoun SM (2010) Sintomas e injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: Guimarães RJ, Mendes ANG, Baliza DP (eds) *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. Editora UFLA, Lavras, pp 69–101

Pozza EA, Pozza AAA (2012) Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: Machado AKFM, Ogoshi C, Perina FJ, Silva GM, Neto HS, Costa LSAS, Alencar NE, Martins SJ, Terra WC, Zancan WLA (eds.) *Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário*. Suprema Gráfica e Editora, São Carlos, pp 259-279

Reis THP, Guimarães PTG, Neto AEF, Guerra AF, Curi N (2011) Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. *Rev Bras Cienc Solo* 35:503-512. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200019>

Reis THP, Furtini Neto AE, Guimarães PTG, Guerra AF, Oliveira CHC (2013) Estado nutricional e frações foliares de P no cafeeiro em função da adubação fosfatada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 48:763-775

Scalco MS, Alvarenga LA, Guimarães RJ, Colombo A; Assis GA (2011) Cultivo irrigado e não irrigado do cafeeiro em plantio superadensado. *Coffee Science* 6:193-202

Shaner G, Finney RE (1977) The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildew resistance in Knox wheat. *Phytopathology* 67:1051–1056

Souza JM, Bonono R, Magieiro M, Bonono D Z (2014) Interrupção da irrigação e maturação dos frutos de café Conilon. *Científica, Jaboticabal* 42:170-177

Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A (2014) *Plant Physiology and Development*, 6th edn. Sinauer Associates, Sunderland, CT

Talamini V, Pozza EA, Souza PE, Silva AM (2003) Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. *Cienc Agrotec* 27:141-149. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542003000100017>

**ARTIGO 3 - MISTURAS DE FUNGICIDAS COM O MANCOZEB NO CONTROLE
DA FERRUGEM, DA CERCOSPORIOSE E NA NUTRIÇÃO DO CAFEEIRO**

Mauro Peraro Barbosa Junior¹, Edson Ampélio Pozza¹, Helon Santos Neto¹, Paulo Estevão de Souza¹, Adélia Aziz Alexandre Pozza², Humberson Rocha Silva¹

¹ Departamento de Fitopatologia, ² Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, 37.200-000

(Autor para correspondência: Edson Ampélio Pozza, email: edsonpozza@gmail.com)

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

O controle químico é a principal forma de manejo e de gestão das doenças do cafeeiro. A descoberta de novos grupos químicos é uma realidade incerta e, diante desse cenário, misturas entre fungicidas dos grupos dos Triazóis, dos Estrobilurinas e dos Mancozeb é uma alternativa de manejo. Portanto, o objetivo deste trabalho é criar alternativas para o manejo da resistência de fungos a fungicidas e verificar o fornecimento de Manganês e de Zinco via Mancozeb. O ensaio foi implantado em duas áreas no município de Lavras - MG em 2017 e em 2018, e as cultivares utilizadas foram Ácaia 99 e Catuaí 144; já o delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Além disso, foram realizadas cinco avaliações da Ferrugem, da Cercosporiose e do enfolhamento em cada ano de avaliação. Assim, os dados foram integralizados em Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem (AACPF), da Cercosporiose (AACPC) e do enfolhamento (AACPE). A colheita, por sua vez, foi realizada de forma semimecanizada sobre pano com derriçadora manual em 20/06/2017 e em 18/06/2018. As variáveis significativas no teste F da ANAVA foram submetidas ao teste de médias de Scott-Knott, e as variáveis quantitativas significativas nesse teste foram submetidas à análise de regressão. Para realizar essas análises, foi utilizado o programa R. Ademais, os gráficos foram plotados no Sigmaplot, e os fungicidas controlaram as doenças e proporcionaram mais enfolhamento do cafeeiro. O fungicida Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol forneceu Manganês e Zinco foliar. Nesse sentido, as produtividades mais significativas ocorreram nos fungicidas Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol na dose 2,5 kg ha⁻¹ e Piraclostrobina + Epoxiconazol na dose 1,5 L ha⁻¹ em 2018 e média de 2017/2018.

Termos para indexação: *Coffea arabica*. *Hemileia vastatrix*. *Cercospora coffeicola*. Triazol. Estrobilurina. Mancozeb. Manganês. Zinco.

ABSTRACT

Chemical control is the main method of controlling coffee diseases. The discovery of new groups is the reality of increasingly distant, in the scenario of mixtures between the groups of triazoles, Estrobilurinas and Mancozeb is an alternative management. Before the work, an alternative was created for the management of fungal resistance and a manganese and zinc test via Mancozeb. The experiment was carried out in two areas in the municipality of Lavras - MG in the 2016/17 and 2017/18 harvests. The cultivars used were Ácaia 99 and Catuaí 144, and the experimental design was a randomized block design (DBC) with four replications. Five classifications of rust, Cercospora leaf spot and defoliation were supported. The data were integrated in the Area of Active of the Curve of the Rust (AACPF), cercospora leaf spot (AACPC) and defoliation (AACPE). The harvest was done semi-mechanized on the cloth with the manual over thrower on 06/20/2017 and 06/18/2018. The variables were not analyzed and were submitted to the Scott-Knott's mean test. The quantitative variables analyzed were tested for regression analysis. The units were plotted in Sigmaplot. The fungicides controlled the diseases and provided greater coffee planting. The fungicide Mancozeb + Azoxistrobina+Ciproconazol manganese and leaf zinc. As main productivities emerged in the fungicides Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol at dose 2.5 Kg.ha⁻¹ and Piraclostrobina + Epoxiconazol at doses 1.5 kg / L.ha⁻¹ in the year 2018 and average of the 2017/18 harvests.

Keywords: *Coffea arabica*. *Hemileia vastatrix*. *Cercospora coffeicola*. Triazol. Strobilurin. Mancozebe. Manganese. Zinc.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café arábica do mundo com área total estimada em 2,1 milhões hectares e produção de 59,9 milhões sacas de 60 kg ha⁻¹ de café (CONAB, 2018). As doenças são umas das principais causas de perdas na produção dos cafeeiros. Entretanto, as principais cultivares plantadas nas lavouras pertencem a genótipos suscetíveis à ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) e à cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) do cafeeiro (*Coffea arabica*). Em países da América Central e no México, a ferrugem causou perdas progressivas na produção de até 45% nas safras de 2011 a 2014, desencadeando uma crise socioeconômica para essa região (Mac COOK; VANDEMEER, 2015).

Nesse sentido, para controlar essas doenças, os produtores têm adotado o controle químico como medida de manejo mediante a pulverização com fungicidas; e os principais produtos utilizados são os fungicidas sistêmicos (Triazóis e Estrobilurinas) e fungicidas protetores ou de contato (Cúpricos e Ditiocarbamatos), pulverizados entre Agosto e Abril, antes das doenças atingirem seus respectivos níveis de controle (POZZA et al., 2010; HONORATO JÚNIOR et al., 2015). No entanto, a possível descoberta de novos grupos químicos é incerta e está suscetível a dúvidas e, ante esse cenário, deve-se melhorar as formulações já existentes e desenvolver produtos com misturas entre fungicidas como estratégia para evitar a seleção direcional de populações de fitopatógenos; o que aumentará o tempo e a durabilidade das moléculas dos sistêmicos (FRAC, 2010; VAN DEN BOSCH et al., 2015).

Por isso, os fungicidas do grupo químico dos Triazóis atuam inibindo a síntese do Ergosterol. Em fungos superiores, essas moléculas são extremamente seletivas e têm alta translocação. Já as Estrobilurinas, por sua vez, atuam na inibição da respiração mitocondrial e bloqueiam a transferência de elétrons, os quais levam à interferência na produção de ATP. Por tudo, a associação entre fungicidas e a base de Triazóis com Estrobilurinas proporciona melhor controle com maior período residual, vigor da planta e incrementa a produtividade do cafeeiro (DEISING; REIMANN; PASCHOALTI, 2008; HOLLOMON, 2015).

Nesse viés, alternativas de manejo para preservar a durabilidade dessas moléculas devem ser estudadas. E, nesse contexto, a mistura entre Triazóis e Estrobilurinas com fungicidas multissítios (Mancozeb) é promissora e é considerada como uma alternativa de manejo por aumentar a resistência da soja à ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) (FRAC, 2015). Isso porque a molécula do fungicida Mancozeb atua na inibição de diversas

enzimas necessárias para o crescimento e para o desenvolvimento dos fungos. Além disso, possui Manganês (20%) e Zinco (2,5%) em sua composição, o que gera efeito secundário de nutrição das plantas no campo (FAO, 2015).

A importância da nutrição mineral no controle de doenças de plantas já foi discutida por vários autores (DATNOFF; HELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012; POZZA & POZZA, 2012), incluindo o cafeeiro (CUSTÓDIO et al., 2010; 2014; POZZA et al., 2015; DORNELAS et al., 2015; PEREZ et al., 2017; VASCO et al., 2015; 2018).

O manganês (Mn) é um elemento essencial e tem efeito direto no sistema de defesa das plantas, uma vez que esse micronutriente ativa enzimas como Peroxidase e Polifenoloxidase; as quais aumentam a concentração de fenóis, inibindo o desenvolvimento de patógenos. Por isso, a presença do Mn é necessária na rota do ácido chiquímico e do fenilpropanoide para a ativação de enzimas envolvidas na síntese de aminoácidos presentes em compostos de defesa, como taninos, flavonoides, ácidos fumárico, ácido cafeíco e lignina (LEHNINGER, 2014; BUCHANAN, 2015). Já o zinco (Zn) está envolvido no metabolismo de carboidratos, na manutenção da integridade da parede celular, na síntese de proteínas, na regulação da síntese de auxinas, na fotossíntese e na formação da clorofila. Assim, esse nutriente tem papel na tolerância das plantas a fatores de estresse abiótico, porque aciona mecanismos de defesa e reduz a severidade de doenças causadas por agentes bióticos devido ao seu efeito ser tóxico ao contato direto com os patógenos (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da mistura de Triazol, de Estrobilurinas e de Mancozeb na redução da Ferrugem e da Cercosporiose do cafeeiro, além de verificar o fornecimento foliar de Manganês e de Zinco via Mancozeb, visando ao aumento da resistência do cafeeiro contra essas doenças e ao fornecimento complementar desses micronutrientes, garantindo, pois, a sustentabilidade financeira dessa cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrições do campo experimental

Os ensaios foram conduzidos na Universidade Federal de Lavras e na Fazenda Limeira, de propriedade particular, concomitantemente. As áreas experimentais estavam localizadas a 970 e a 948 metros de altitude, latitude 21°13'40'' e 21° 22'63'' e longitude 44°57'42'' e 44° 96'06'' sul, respectivamente. As cultivares utilizadas foram *Coffea arabica* L Acaiá 99 (UFLA) e Catuaí 144 (Fazenda Limeira), ambas suscetíveis à Ferrugem e à Cercosporiose. O espaçamento entre plantas foi 0,8 metros e entre linhas foi 3,5 metros. Os ensaios foram, por sua vez, conduzidos em duas safras: 2016/2017 (2017) e 2017/2018 (2018), segundo as recomendações para a cultura, sendo feito o controle de plantas daninhas e de pragas conforme nível de controle. O manejo da fertilidade do solo e da nutrição da cultura foi feito com base nos resultados da análise química do solo, segundo as recomendações de (GUIMARÃES et al., 1999).

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos avaliados nos ensaios experimentais foram: Testemunha; Triziman (Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol na dose 1,5 kg ha⁻¹, de UPL); Triziman (Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol na dose 2,0 kg ha⁻¹, de UPL); Triziman (Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol na dose 2,5 kg ha⁻¹, de UPL); Opera (Piraclostrobina + Epoxiconazol na dose 1,5 L ha⁻¹, de Basf); Guapo (Cresoxim-metil na dose 0,8 L ha⁻¹, de ADAMA), com quatro repetições, totalizando 24 parcelas. Cada parcela experimental foi formada por dez plantas, sendo consideradas úteis as oito centrais. As épocas de pulverização e as doses dos produtos estão listadas na (Tabela 1). O equipamento usado foi um Atomizador Pulverizador costal Cifarelli bico cone Ubv 77cc ®. O volume de calda aplicado foi o equivalente a 400 L ha⁻¹. Foram realizadas, ainda, duas pulverizações foliares: no primeiro ano (2017), em 18/12/2016 e em 22/02/2017. No segundo ano (2018), em 08/12/2017 e em 20/02/2018. Os fabricantes recomendam essas duas pulverizações de fungicidas, nessa época, para controle da Ferrugem e da Cercosporiose.

Tabela 1 - Tratamentos aplicados nos campos experimentais, com suas respectivas épocas e doses de pulverização.

Tratamentos	Pulverização			
	Épocas*		Doses	
Testemunha	---	---	---	---
Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol	dezembro	fevereiro	1,5 kg ha ⁻¹	
Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol	dezembro	fevereiro	2,0 kg ha ⁻¹	
Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol	dezembro	fevereiro	2,5 kg ha ⁻¹	
Piraclostrobina+Epoxiconazol	dezembro	fevereiro	1,5 L ha ⁻¹	
Cresoxim-Metil+Epoxiconazol	dezembro	fevereiro	0,8 L ha ⁻¹	

*Foram realizadas duas pulverizações foliares: no primeiro ano (2017), em 08/12/2016 e em 20/02/2017. No segundo ano (2018), em 20/12/2017 e em 15/03/2018.

2.3 Variáveis climáticas analisadas

As variáveis climáticas foram obtidas da estação climatológica principal de Lavras, localizada no campus da UFLA, pertencente ao 5º Distrito em Meteorologia, em convênio entre o Instituto Nacional de Meteorologia e a UFLA. Os dados analisados foram temperatura máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), umidade relativa (UR), insolação (Insol) e precipitação total (Prec.).

2.4 Avaliação de doenças

Foram realizadas cinco avaliações da Ferrugem e da Cercosporiose. Em 2017, foram realizadas em 08/12/2016, em 18/01/2017, em 23/02/2017, em 30/03/2017 e em 17/05/2017. Em 2018, foram em 20/12/2017, em 02/02/2018, em 10/03/2018, em 02/04/2018 e em 02/05/2018; nos estádios fenológicos dormência das gemas maduras (3º fase), florada e expansão dos frutos (4º fase), granação (5º fase) e maturação dos frutos (6º fase).

As folhas foram avaliadas aleatoriamente por método não-destrutivo, no terço médio da planta, entre o primeiro e o segundo pares de folhas dos ramos plagiotrópicos, sendo amostradas 12 folhas por planta, nas 8 plantas úteis, totalizando 96 folhas. A incidência foi obtida por meio da fórmula de (Campbell & Madden, 1990).

$$I(\%) = \left(\frac{NFD}{NTF} \right) * 100$$

Na qual:

I (%) = incidência da ferrugem e cercosporiose

NFD = número de folhas doentes;

NTF = número total de folhas amostradas.

2.5 Análise foliar, Produtividade e Enfolhamento

Foram realizadas duas coletas de folhas em 08/01/2018 e em 20/03/2018, trinta dias após as pulverizações dos tratamentos, para posterior análise foliar. Para isso, foram coletadas aleatoriamente no terço médio da planta, entre o terceiro e quarto pares de folhas dos ramos plagiotrópicos, nas 8 plantas úteis, 60 folhas por parcela experimental. As folhas foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa, a 60°C, até atingirem peso constante (MARTINEZ et al., 1999). As folhas de cada tratamento foram moídas e levadas para análise foliar de acordo com a metodologia de Malavolta et al. (1997), para determinar os teores de Nitrogênio, de Fósforo, de Potássio, de Cálcio, de Magnésio, de Enxofre, de Boro, de Cobre, de Zinco e de Manganês.

O enfolhamento das parcelas foi avaliado concomitantemente à avaliação das doenças e foram atribuídas notas entre 1 e 5, de acordo com a porcentagem de enfolhamento nas parcelas, sendo 1 (0 a 20% de enfolhamento), 2 (21 a 40%), 3 (41 a 60%), 4 (61 a 80%) e 5 (81 a 100%), segundo escala proposta por Boldini (2000).

A colheita foi realizada de forma semimecanizada, sob pano com uma derriçadora manual. A primeira safra (2017) ocorreu em 12/06/2017 e a segunda (2018) em 17/06/2018. Foi obtido, também, o volume em litros de café e, posteriormente, estimou-se a quantidade de sacas de 60 kg ha⁻¹ em cada parcela.

2.6 Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença

Os dados das cinco avaliações de ambas as áreas foram integralizados em (i) Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem (AACPF), (ii) Área Abaixo da Curva de Progresso da Cercosporiose (AACPC), (iii) Área Abaixo da Curva de Progresso do Enfolhamento (AACPE), segundo fórmula proposta por Shaner & Finney (1977).

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

Na qual:

AACP= área abaixo da curva de progresso da doença; Y_i = proporção da doença na i -ésima observação; T_i = tempo em dias na i -ésima observação; n = número total de observações.

2.7 Análises estatísticas

As variáveis AACPF, AACPC, AACPE, os teores dos nutrientes e a “produtividade” foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk para avaliar os pressupostos da análise de variância. Com os dados normais, foi realizada a ANAVA. Em seguida, as médias entre os tratamentos foram comparadas por teste F ($p < 0,05$), e as variáveis quantitativas significativas nesse teste foram submetidas à análise de regressão, ajustando-se o modelo estatístico adequado para explicar o comportamento do patossistema. Foi realizada, então, a correlação de Pearson entre AACPF, AACPC, AACPE, teores dos nutrientes e produtividade. Para realizar essas análises, foi utilizado o programa R. Os gráficos foram plotados no Sigmaplot.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento foi conduzido em duas áreas: Universidade Federal de Lavras e Fazenda Limeira; ambas no município de Lavras – MG por dois anos (2017 e 2018). A Ferrugem e a Cercosporiose ocorreram durante todo o período de avaliação e em todas as parcelas, com variação, tanto na intensidade, quanto no enfolhamento (Figura 1). No entanto, houve variação na intensidade média da doença entre os períodos de avaliação. Foi observada maior incidência média da Ferrugem e da Cercosporiose na UFLA em 18/05/2017 (18,2 e 15,5%) e em 02/05/2018 (15,0 e 14,8%), respectivamente. Já na Fazenda Limeira, as maiores incidências dessas doenças ocorreram em 17/12/2016 (5,3 e 28,8%) e em 02/05/2018 (3,9 e 8,1%). Essas maiores incidências ocorreram com temperatura média entre 19,8 e 22,1°C, precipitação entre 3,2 e 181,8 mm e insolação média entre 5,4 e 9,9 horas dia⁻¹, respectivamente (Figura 1 A C e D). Nos dois primeiros períodos, após as principais intensidades, houve queda acentuada do enfolhamento (Figura 1 B). Houve, ainda, diferença estatística ($p < 0,05$) para Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem, da Cercosporiose e enfolhamento em ambas as áreas (UFLA e Fazenda Limeira) e anos (2017 e 2018). Todos os tratamentos controlaram a Ferrugem e a Cercosporiose (Figura 2 A e B), ficaram mais enfolhados e foram superiores à testemunha (Figura 3 A e B). As maiores incidências ocorreram nos meses de menor temperatura e menor pluviosidade. Nos períodos de seca, as plantas absorvem menos nutrientes e deixaram o patógeno com menor quantidade de alimento; o qual, em sua tentativa de sobrevivência, libera maior quantidade de esporos, para dispersar-se e para infectar novos hospedeiros, além de garantir a manutenção da sua espécie (POZZA et al., 2010). Logo após esse período, em virtude do ambiente desfavorável para a germinação e para a infecção e também devido à queda das folhas com a colheita, observaram-se índices da doença próximos a zero. A temperatura exerce, ainda, papel fundamental no processo de infecção de *Hemileia vastatrix*, sendo considerada de 22,0 a 24,0°C ótimas para o patógeno (KUSHALAPPA & CHAVES, 1980). A pluviosidade também proporcionou molhamento foliar necessário para os uredosporos iniciarem o processo de infecção e de colonização. A presença de água fornecida por chuva ou por orvalho aumenta o período de molhamento foliar e favorece a germinação da *Hemileia vastatrix* (MEIRA; RODRIGUES; MORAIS, 2008). Sob condições ambientais ideais, apenas uma pústula é necessária para desencadear a epidemia no campo (SCHIEBER, 1972). Geralmente, a infecção inicia-se nas folhas mais velhas, no terço inferior da planta e, então, atinge as mais novas nos ramos superiores, em ciclos posteriores da doença. No início, os sintomas são

pouco visíveis e a maior intensidade da doença é verificada a partir dos sinais, ou seja, da última fase do ciclo das relações patógeno-hospedeiro, sendo observada com mais intensidade nos meses com temperaturas adversas e com baixa pluviosidade. Em relação à curva de progresso da cercosporiose Talamini et al. (2003), em experimento com diferentes parcelamentos de Nitrogênio, de Potássio e de Fósforo via fertirrigação encontraram mais incidência entre Maio e Setembro, com incidência de até 35,0%. Da mesma maneira, Custódio et al. (2014) em cafeeiro irrigado por aspersão também observaram índices médios de 11,0% de incidência da doença em Julho e em Setembro, com temperatura média de 22,0°C e precipitações de 39,0 mm. As temperaturas médias observadas nos experimentos citados acima estiveram, no entanto, abaixo das propostas por Echandi, (1959); López-Duque & Fernández-Borrero, (1969). De acordo com esses autores, a temperatura ótima para germinação dos conídios e para crescimento do fungo é 24,0 e 30,0°C, respectivamente. Ou seja, dependendo da interação com outras variáveis, pode ocorrer variação na intensidade da doença ao longo do tempo.

Figura 1 **A, B, C e D** - Curva de progresso da incidência média da Ferrugem e da Cercosporiose (A) e porcentagem de enfolhamento médio das parcelas (B), médias mensais das variáveis climáticas: temperaturas máxima (**MAX**), média (**MED**), mínima (**MIN**), insolação (**Radiation**) (C), umidade relativa (**RH**) e precipitação acumulada (**Precipitation**) (D). Em 2017 e em 2018.

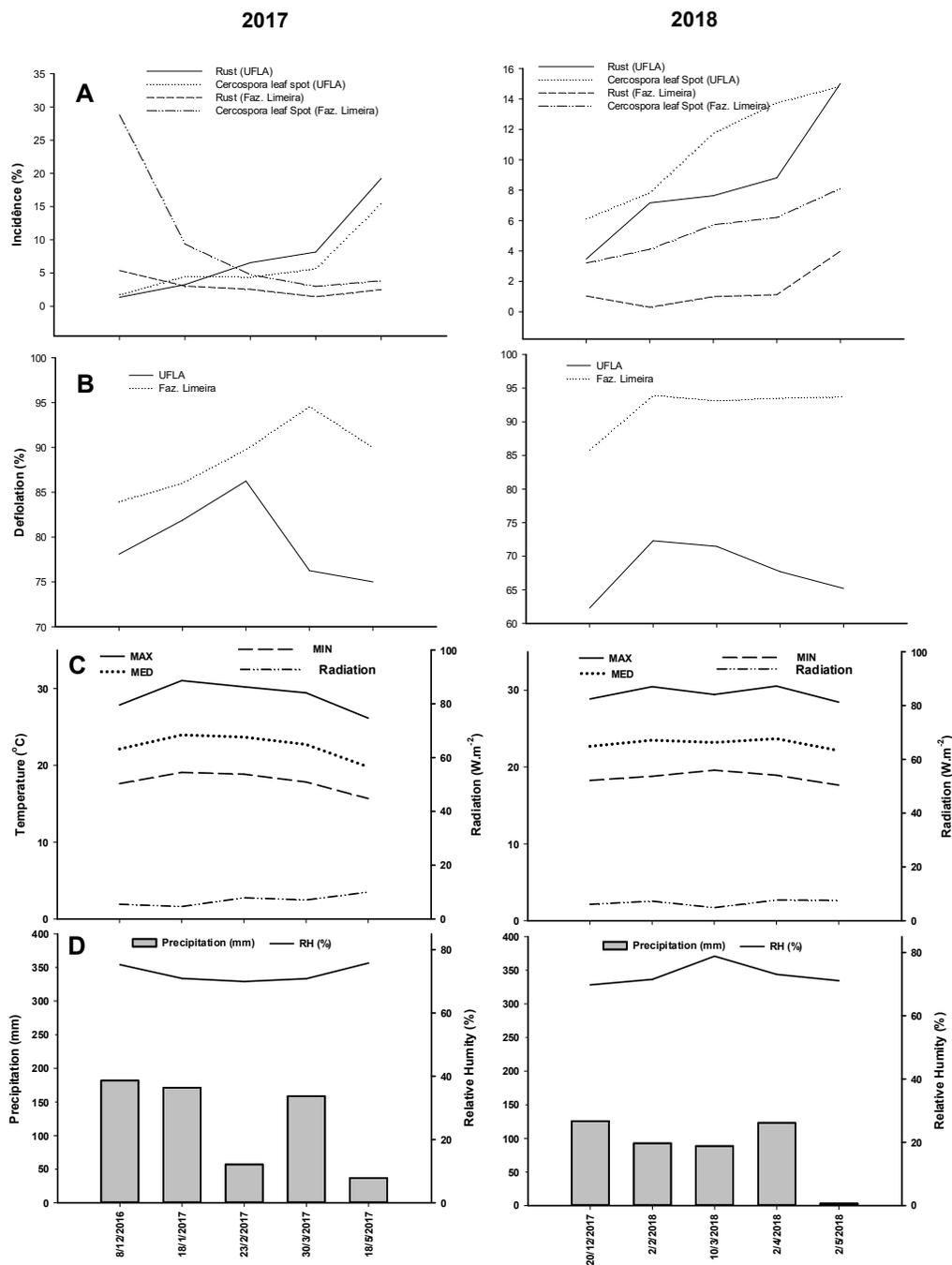


Figura 2 A e B. Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem, da Cercosporiose do cafeeiro, (A) UFLA e (B) Faz. Limeira, em função dos fungicidas aplicados em 2017 e em 2018.

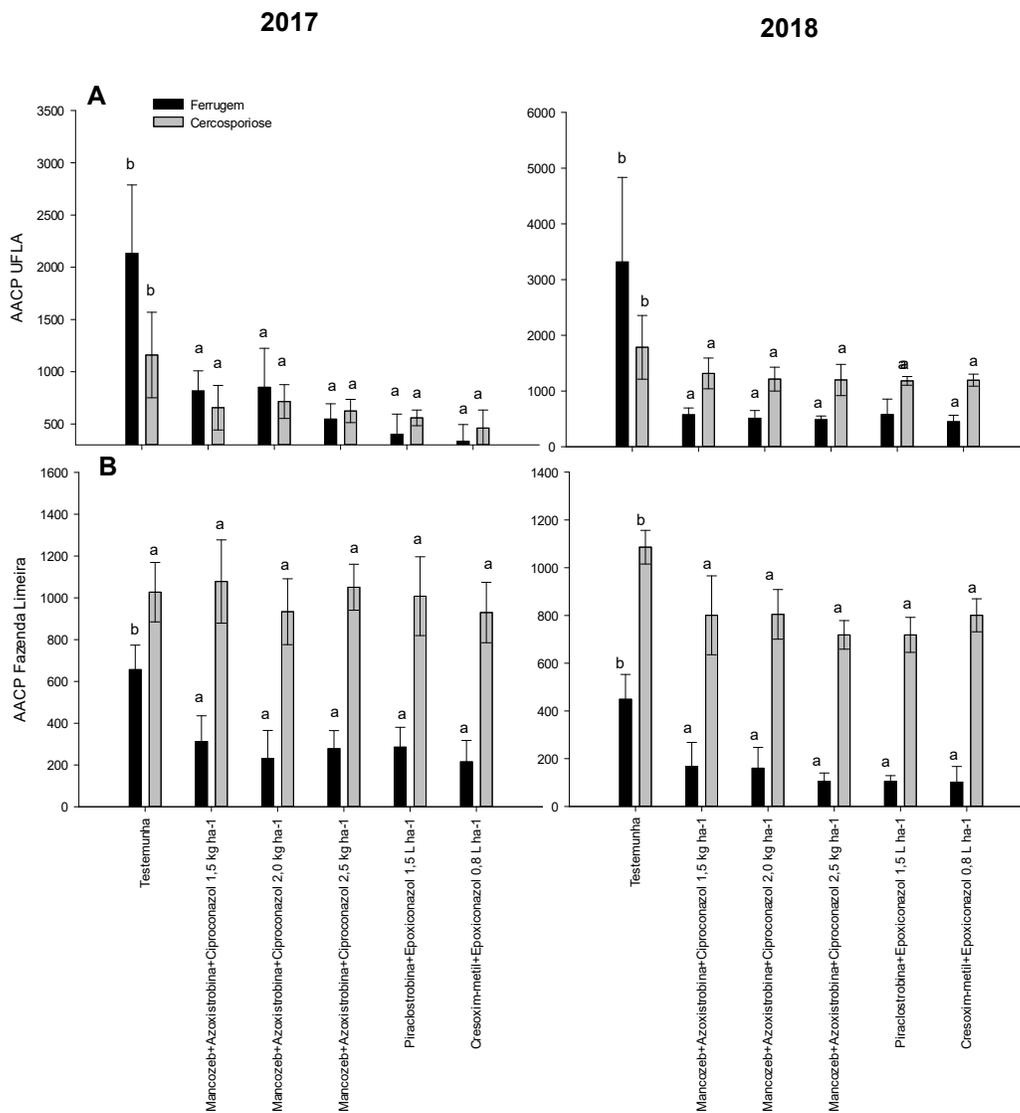
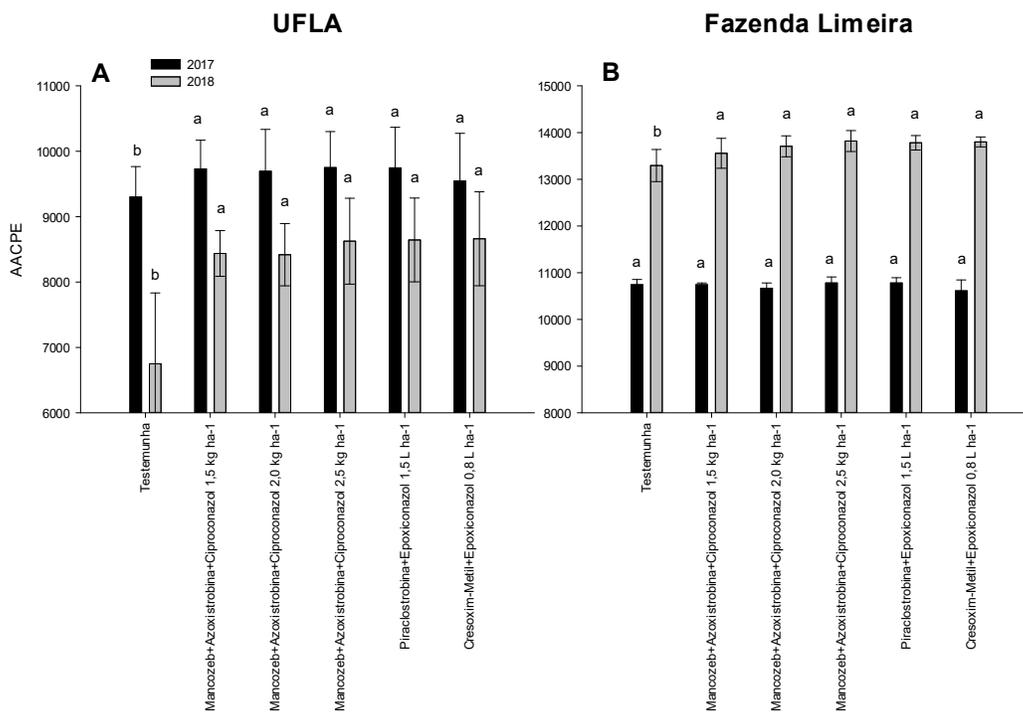
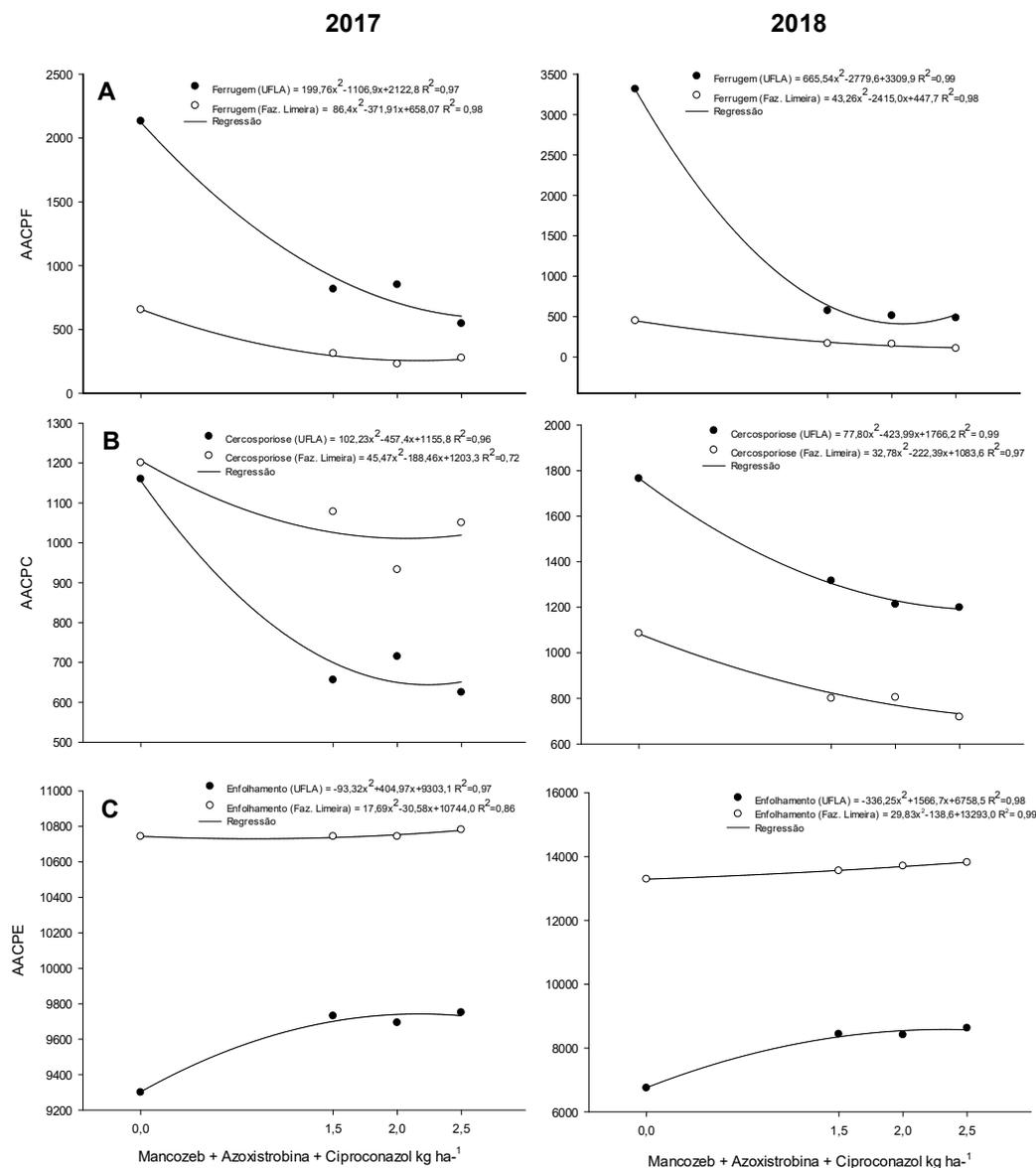


Figura 3 A e B. Área Abaixo da Curva de Progresso do enfolhamento do cafeeiro, (A) UFLA e (B) Faz. Limeira, em função dos fungicidas aplicados em 2017 e em 2018.



Houve efeito de doses para o Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha⁻¹ ($p < 0,05$) em ambas as áreas (UFLA e Faz. Limeira) e anos (2017 e 2018) (Figura 4 A, B e C). As menores AACPF e AACPC e as maiores AACPE ocorreram de maneira geral nas doses 2,0 e 2,5 kg ha⁻¹ de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol.

Figura 4 A, B e C. Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem, da Cercosporiose e do enfolhamento (A, B e C) em função das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha⁻¹ nos anos de 2017 e 2018.



Foi observada, ainda, correlação entre as incidências da Ferrugem, da Cercosporiose e do enfolhamento com os teores de macro e micronutrientes em folhas coletadas trinta dias após a pulverização das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha⁻¹ realizada em 08/12/2017 e 20/02/2018. Para a primeira análise na área da UFLA, observou-se correlação positiva entre o enfolhamento e o teor de Fósforo e correlação negativa entre a incidência da Ferrugem e o teor de Enxofre. Para área da fazenda Limeira, por sua vez, as correlações foram positiva entre a incidência da Ferrugem e o teor de Enxofre e entre o enfolhamento e os teores de Manganês e de Zinco. Em relação à segunda análise foliar na área

da UFLA, observou-se, também, correlação positiva entre a incidência de Ferrugem e de Cercosporiose e os teores de Fósforo e cobre e entre o enfolhamento e o teor de Manganês; e correlação negativa entre a incidência da Ferrugem e o teor de Manganês. Já para fazenda Limeira, essa correlação foi negativa entre a incidência da Cercosporiose e o teor de Enxofre; e positiva entre o enfolhamento e o teor de Magnésio. Outro fato importante observado em ambas as áreas foi a correlação negativa entre a incidência da Ferrugem e o teor de Manganês; e positiva entre o enfolhamento e os teores de Manganês e de Zinco. O fungicida Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol 2,5 kg ha⁻¹, além de controlar a Ferrugem e a Cercosporiose, promoveu maior enfolhamento. O ingrediente ativo Mancozeb tem, então, Manganês e Zinco em sua molécula; assim, de acordo com as correlações, quanto maiores foram os teores desses micronutrientes, menores foram as incidências das doenças e maior o enfolhamento (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre as incidências da Ferrugem, da Cercosporiose e de enfolhamento com os teores foliares dos macros e dos micronutrientes. Trinta dias após a pulverização das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha⁻¹ realizadas em 08/12/2017 e em 20/02/2018.

(Continua)

UFLA		08/12/2017									
Incidências/	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Cu	Fe
enfolhamento	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹					
ferrugem	0,35 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,41*	-0,25 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,21 ^{ns}
cercosporiose	0,16 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,04 ^{ns}
enfolhamento	-0,24 ^{ns}	0,50*	0,30 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,31 ^{ns}
		20/02/2018									
Incidências/	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Cu	Fe
enfolhamento	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹					
ferrugem	0,02 ^{ns}	0,69*	-0,11 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,50*	-0,37 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,43*	-0,17 ^{ns}
cercosporiose	0,08 ^{ns}	0,56*	0,02 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,59*	-0,18 ^{ns}
enfolhamento	-0,08 ^{ns}	-0,59*	0,06 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,49*	0,63*	0,34 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Fazenda Limeira		08/12/2017									
Incidências/	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Cu	Fe
enfolhamento	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹					
ferrugem	0,10 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,57*	-0,20 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,35 ^{ns}
cercosporiose	0,27 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,00 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,00 ^{ns}	-0,29 ^{ns}
enfolhamento	0,15 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,43*	0,08 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,51*	0,26 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,32 ^{ns}

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre as incidências da Ferrugem, da Cercosporiose e de enfolhamento com os teores foliares dos macros e dos micronutrientes. Trinta dias após a pulverização das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha⁻¹ realizadas em 08/12/2017 e em 20/02/2018.

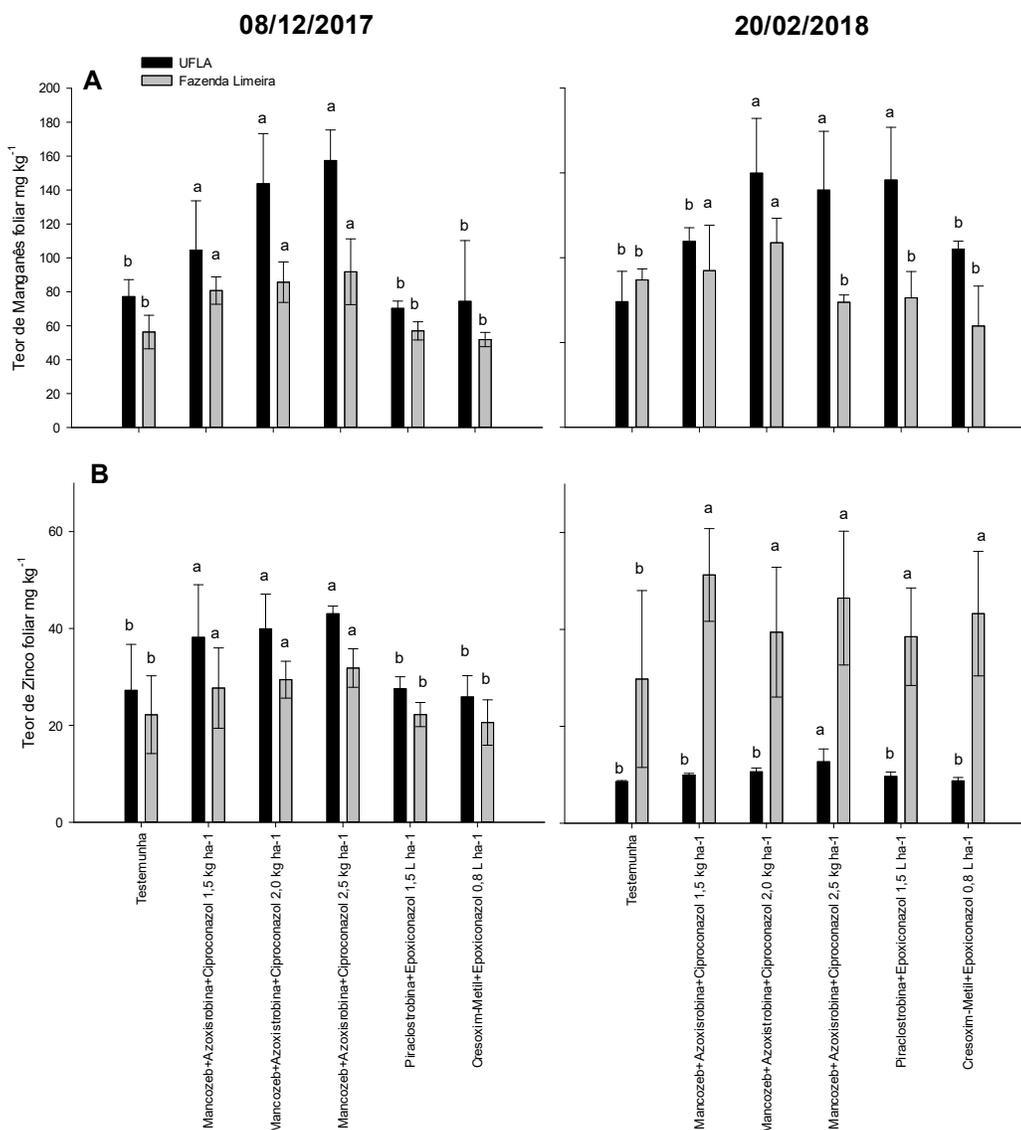
(Conclusão)

20/02/2018											
Incidências/ enfolhamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Cu	Fe
	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹					
ferrugem	-0,26 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,24 ⁿ	-0,35 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,13 ^{ns}
cercosporiose	-0,18 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,45*	-0,25 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,19 ⁿ	0,09 ^{ns}
enfolhamento	0,10 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,51*	0,30 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}

*= significante a 5% por meio do teste F; ns= não significativo; N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Mn = Manganês; Zn = Zinco; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro.

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) para as análises foliares em função dos fungicidas aplicados. De maneira geral, quando se pulverizou Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha⁻¹, observou-se maiores teores de Manganês e de Zinco. Na área da UFLA, os teores de Manganês foliar na primeira e na segunda análise foram, respectivamente: 148,5, 143,6 e 157,4 mg kg⁻¹ e 109,6, 149,8 e 139,8 mg.kg⁻¹. Já para o Zinco, esses teores foram, respectivamente: 38,1, 39,9 e 43 mg kg⁻¹ e 9,9, 10,6 e 12,6 mg kg⁻¹. Para área da Fazenda Limeira, os teores de Manganês foram respectivamente: 80,7, 85,6 e 91,8 mg kg⁻¹ e 92,3, 108,8 e 73,7 mg.kg⁻¹ (Figura 5 A). Já para o Zinco, esses teores foram respectivamente: 27,7, 29,4 e 31,8 mg kg⁻¹ e 51,2, 39,4 e 46,4 mg kg⁻¹ (Figura 5 B).

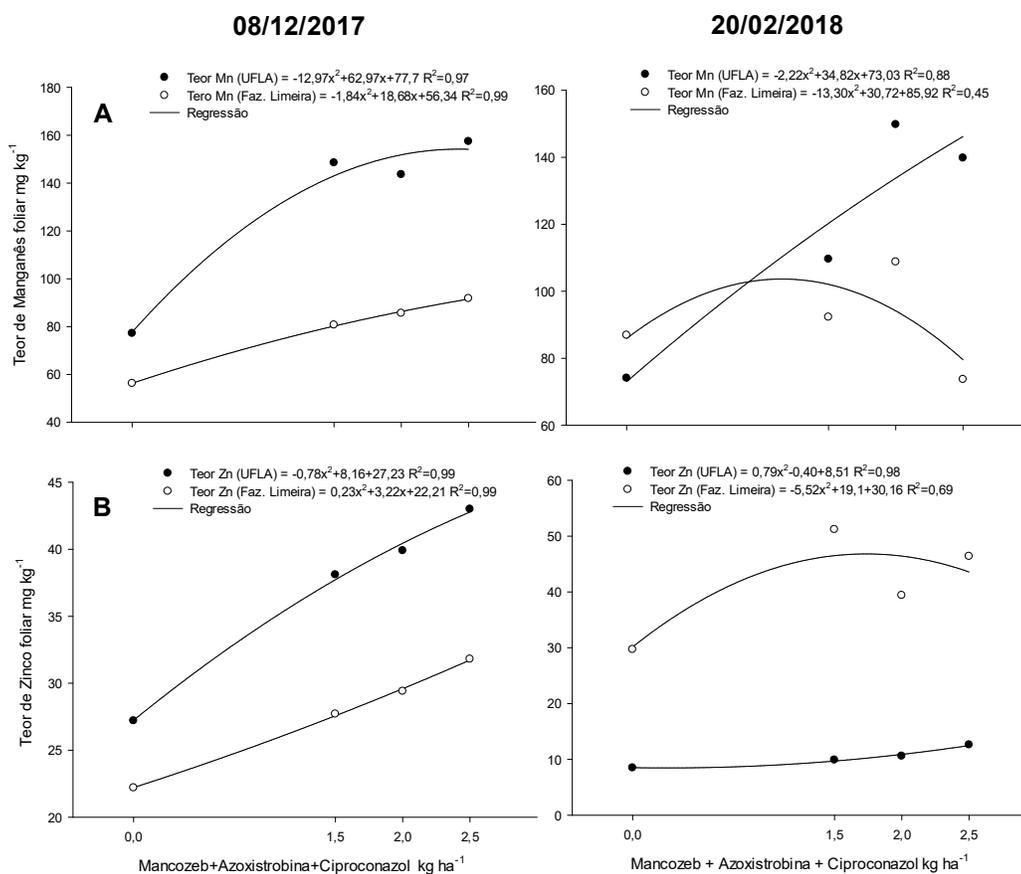
Figura 5 **A e B** - Teores foliares de Manganês (A) e de Zinco (B) em função dos fungicidas pulverizados, em 08/12/2017 e em 20/02/2018. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.



Houve efeito de doses ($p < 0,05$) para ambas as áreas e as análises foliares. Os maiores teores de Manganês e de Zinco foliares ocorreram nas doses 2,0 e 2,5 kg ha⁻¹ de Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol (Figura 6 A e B). O Mancozeb, além de ser um fungicida multissítio ideal para evitar a seleção de populações de fitopatógenos resistentes, tem o Manganês (20%) e o Zinco (2,5%) em sua composição. Portanto, nesse experimento, com o aumento da dose desse fungicida, aumentou-se o teor foliar desses nutrientes, e o Zinco (Z) está envolvido no metabolismo de carboidratos, na manutenção da integridade da parede celular, na síntese de proteínas, na regulação da síntese de auxinas, na fotossíntese e na

formação da clorofila. Esse nutriente apresenta, pois, papel na tolerância das plantas a fatores de estresse abiótico ao acionar mecanismos de defesa e na redução da severidade das doenças causadas por agentes bióticos devido ao efeito deste ser tóxico quando em contato direto com os patógenos (MARSCHNER, 2012; TAIZ & ZEIGER, 2013). Já o Manganês tem efeito direto no sistema de defesa das plantas, porque ativa enzimas como Peroxidase e Polifenoloxidase; as quais aumentam a concentração de fenóis e inibem o desenvolvimento de fungos. O Mn está envolvido, por sua vez, em enzimas da rota do ácido chiquímico e do fenilpropanoide e, sem esse nutriente, não ocorre a produção de aminoácidos presentes em compostos como os taninos, os flavonoides, os ácidos fumárico, o ácido caféico e a lignina (LEHNINGER, 2014; BUCHANAN, 2015).

Figura 6 **A e B** - Teores foliares de Manganês e de Zinco em função das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha⁻¹.



Em ambas as áreas, não houve diferença significativa para produtividade ($p>0,05$) em 2017. No entanto, houve diferença significativa em 2018 e média (2017/18) ($p<0,05$). Os tratamentos com mais produtividade em 2018 e média (2017/18) foram Mancozeb +

Azoxistrobina + Ciproconazol na dose 2,5 kg ha⁻¹ e Piraclostrobina + Epoxiconazol na dose 1,5 L ha⁻¹ (Tabela 3).

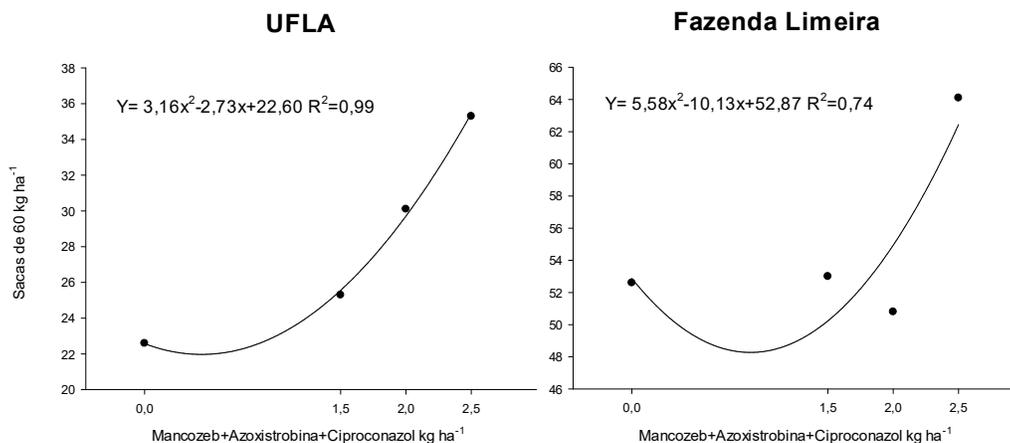
Tabela 3 - Produtividade do cafeeiro em sacas de 60 kg ha⁻¹, em 2017, 2018 e média, na UFLA e Fazenda Limeira, em função dos fungicidas aplicados.

UFLA		Produtividade		
Tratamentos	Doses	2017	2018	média
Testemunha	---	42,5 a	2,7 b	22,6 b
Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol	1,5 kg ha ⁻¹	45,5 a	5,2 b	25,3 b
Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol	2,0 kg ha ⁻¹	56,2 a	4,0 b	30,1 a
Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol	2,5 kg ha ⁻¹	57,2 a	13,5 a	35,3 a
Piraclostrobina+Epoxiconazol	1,5 L ha ⁻¹	47,5 a	15,0 a	31,2 a
Cresoxim-Metil+Epoxiconazol	0,8 L ha ⁻¹	46,2 a	5,2 b	25,7 b
Fazenda Limeira		Produtividade		
Tratamentos	Doses	2017	2018	média
Testemunha	---	9,0 b	87,2 a	52,6 b
Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol	1,5 kg ha ⁻¹	10,0 b	86,0 a	53,0 b
Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol	2,0 kg ha ⁻¹	8,5 b	84,7 a	50,8 b
Mancozeb+Azoxistrobina+Ciproconazol	2,5 kg ha ⁻¹	17,0 a	94,2 a	64,1 a
Piraclostrobina+Epoxiconazol	1,5 L ha ⁻¹	19,5 a	99,5 a	69,2 a
Cresoxim-Metil+Epoxiconazol	0,8 L ha ⁻¹	9,0 b	85,2 a	51,6 b

Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si por meio do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Houve efeito de doses ($p < 0,05$) para a média da produtividade entre 2017 e 2018 nas áreas da UFLA e fazenda Limeira. As maiores produtividades ocorreram na maior dose (Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol 2,5 kg ha⁻¹), embora, a partir da menor dose (1,5 kg ha⁻¹), houve aumento de 10,8 e 0,8%, respectivamente (Figura 7). Esses resultados demonstraram, portanto, a influência dos tratamentos químicos na curva de progresso das doenças, alterando o patossistema e o enfolhamento. A manutenção das folhas do cafeeiro em 2016 e em 2017 refletiu melhores rendimentos na safra seguinte. Na prática, pulverizam-se as lavouras quando apresentam de 5 a 10% de incidência de Ferrugem e de Cercosporiose. Em alguns trabalhos, como os de Almeida et al. (1998), verifica-se que não se deve aguardar índices altos de incidência de Ferrugem e de Cercosporiose, principalmente em anos de alta carga e em condições de clima favorável à doença, para o início do controle com fungicidas sistêmicos ou protetores. (MIGUEL et al., 1975; CUNHA, MENDES, CHALFOUN, 2004).

Figura 7 - Produtividade média do cafeeiro entre 2017 e 2018 em função das doses de Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol kg ha^{-1} .



Foi observada correlação entre a Área Abaixo da curva de progresso da ferrugem e o enfolhamento com a produtividade. De maneira geral, ocorreu correlação negativa para a Ferrugem e positiva para o enfolhamento e para a produtividade, respectivamente. Dessa maneira, quanto maior a intensidade da Ferrugem, menor a produtividade. E quanto maior o enfolhamento, maior a produtividade (Tabela 4). Além de um conjunto de fatores fisiológicos, altas produções desequilibram nutricionalmente as plantas, predispondo-as a ataques mais graves por patógenos. No experimento implantado na UFLA, em 2016 e em 2017 observou-se maior produtividade média de 49,2 sacas 60 kg ha^{-1} . Em 2017 e em 2018 a produtividade foi menor (7,6 sacas 60 kg ha^{-1}). Na fazenda Limeira também foi observado a bienalidade do cafeeiro, porém na safra 2016/17 e 2017/18 a produtividade foi, respectivamente: 12,2 e 85,9 sacas 60 kg ha^{-1} . O enfolhamento e a intensidade da Ferrugem influenciou, então, a produtividade do cafeeiro, inclusive com correlação positiva e negativa, respectivamente. O ataque da Ferrugem e da Cercosporiose fizeram as planta produzirem etileno acima do normal, e este é o precursor do hormônio ácido abscísico responsável pela queda precoce das folhas (VALENCIA, 1970). A desfolha reduz, assim, o número de nós, danificando a formação dos botões florais, reduzindo a capacidade produtiva do cafeeiro para a safra seguinte (POZZA & POZZA, 2012; SCALCO et al., 2011).

Tabela 4 - Coeficientes de correlação entre Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem (AACPF), cercosporiose (AACPC) e enfolhamento (AACPE), e as produtividades nos anos de 2017, 2018 e média.

UFLA			
AACP 2017	produtividade 2017	produtividade 2018	média
AACPF	-0,29 ^{ns}	-0,45 [*]	-0,41 [*]
AACPC	0,02 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
AACPE	0,54 [*]	0,39 ^{ns}	0,68 [*]
AACP 2018	produtividade 2017	produtividade 2018	média
AACPF	-0,50 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,43 [*]
AACPC	0,03 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
AACPE	0,34 ^{ns}	0,53 [*]	0,57 [*]
Fazenda Limeira			
AACP 2017	produtividade 2017	produtividade 2018	média
AACPF	-0,15 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
AACPC	0,13 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,04 ^{ns}
AACPE	0,28 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,31 ^{ns}
AACP 2018	produtividade 2017	produtividade 2018	média
AACPF	-0,15 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
AACPC	-0,15 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
AACPE	0,14 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,27 ^{ns}

*= significante a 5% por meio do teste F;

ns= não significativo;

4 CONCLUSÕES

- a) Todos os fungicidas controlaram a Ferrugem e a Cercosporiose do cafeeiro;
- b) Foi observado incremento do Manganês e do Zinco foliar em função do ingrediente ativo Mancozeb e consequente influência na nutrição do cafeeiro;
- c) A aplicação dos fungicidas proporcionou maior enfolhamento do cafeeiro;
- d) Os fungicidas Mancozeb + Azoxistrobina + Ciproconazol na dose $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ e Piraclostrobina + Epoxiconazol na dose $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ obtiveram mais produtividade em 2018 e média em 2017/18;
- e) Não foram observados sintomas de fitotoxicidez;

5 AGRADECIMENTOS

A CAPES, pela concessão da bolsa e do financiamento do projeto, junto a CAPES, CNPq, FAPEMIG e INCTCafé e ao Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras pela disponibilização da área experimental e de mão de obra.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. R.; MATIELLO, J. B.; FERREIRA, R. A. Efeito de dose, número de aplicações e adição de cobre ou espalhante na ação do fungicida Opus (Epoconazole) no controle curativo da ferrugem do cafeeiro. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**, 24., 1998, Rio de Janeiro. Resumos... Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 1998. p. 49-51
- BOLDINI, J. M. et al. Incidência e severidade da cercosporiose em frutos de cafeeiro fertirrigado na região de Lavras-MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Poços de Caldas, MG: EMBRAPA Café, 2000. p. 273-275.
- BUCHANAN, B. B. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2015.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Wiley, 1990.
- CONAB. **Safra de café 2018**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_04_11_22_44_boletim_cafe_po_rtuques_-_4o_lev_-_dez.pdf
- CUNHA, R.L.; MENDES, A. N. G.; CHALFOUN, S. M. Controle químico da ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) do cafeeiro e seus efeitos na produção e preservação do enfolhamento. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 28, n. 5, p. 990 – 996, 2004.
- CUSTÓDIO, A. A. P.; POZZA, E. A.; GUIMARÃES, S. S. C.; KOSHIKUMO, E. S. M.; HOYOS, J. M. A.; SOUZA, P. E. Comparison and validation of diagrammatic scales for brown eye spots in coffee tree leaves. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1067 - 1076, 2011.
- CUSTÓDIO, A. A. P., POZZA, E. A., SOUZA, P. E., LIMA, L. A., DA SILVA, A. M. Effect of center-pivot irrigation in the rust and brown eye spot of coffee. **Plant disease**. The American Phytopathological Society, v. 98, n. 7, p. 943-947, July 2014.
- DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. St. Paul: APS Press, 2007. 278 p.
- DEISING.; H., B. REIMMAN.; S. PASCHOLATI.; S.; F. Mechanisms and significance of fungicide resistance. **Brazilian journal of microbiology**. V. 39, p. 286 – 295, 2008.
- DORNELAS, G.A. et al. Adubação nitrogenada e potássica no rendimento e intensidade da mancha branca do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 4, p. 351-359, julho / agosto 2015.
- ECHANDI, E. La chasparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke. **Turrialba**, Costa Rica, v. 9, n. 2, p. 54-67, 1959.
- FRAC recommendations for fungicide mixtures designed to delay resistance evolution. <http://www.frac.info>, 2010.

FRAC. SDHI Guidelines—Cereals. Available: <http://www.frac.info/working-group/sdhi-fungicides/general-use-recommendations/cereals-and-soybeans>, 2015.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistical Pocketbook Coffee. Roma: Editora, **FAO**, p. 198, 2015.

GUIMARÃES, P.T.G.; Garcia, A.W.R.; V., V.H.A.; Prezotti, L.C.; Viana, A.S.; Miguel, A.E.; Malavolta, E.; Corrêa, J.B.; Lopes, A.S.; Nogueira, F.D.; Monteiro, A.V.C.; Oliveira, J.A.d. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; V., V.H.A., (eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação. Viçosa:CFSEMG*, Page 359, 1999.

HOLLOMON.; D.; W. Fungicide resistance: Facing the challenge. **Plant protect.** V. 51, n. 4, p. 170-176, 2015.

HONORATO JÚNIOR.; et al. Effects of epoxiconazole and pyraclostrobin fungicides in the infection process of *Hemileia vastatrix* on coffee leaves as determined by chlorophyll a fluorescence image. **Journal of phytopathology.** v. 163, p. 968 – 977, 2015.

KUSHALAPPA, A. C.; CHAVES, G. M. An analysis of the development of coffee rust in the field. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 95- 103, fev. 1980

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica.** 6. ed. São Paulo: Sarvier, 2014. 1328p.

LÓPEZ-DUQUE, S. FERNADEZ-BORRERO, O. Epidemiologia de la mancha de hierro del cafeeiro (*Coffea arabica*). **Cenicafé**, Colômbia, v.20, n.1, p. 3-19, 1969.

MAC COOK.; S.; VANDEMEER. The big rust and the red queen: Long-term Perspectives on Coffee rust research. **Phytopathology-Review.** V. 105, n.9, p. 1164-1173, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; C.; OLIVEIRA, S.; A. Avaliação nutricional das plantas: Princípios e Aplicações, 2nd edn. **Potafos**, Piracicaba, 319p, 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 2012. 672 p.

MARTINEZ, H.; E.; P.; CARVALHO, J.; G.; SOUZA, R.; B. Diagnose foliar. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez V VH. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5º aproximação. CFSEMG, Viçosa, 143-168 p, 1999.*

MEIRA, C.; A.; A. RODRIGUES, L.; H.; A. MORAIS, S.; A. Análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro com árvore de decisão. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 114-124, mar./abr., 2008.

MIGUEL, A. E.; MANSK, Z.; MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. Efeitos de fungicidas no controle de *Cercospora coffeicola* em frutos de café. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**, 3., 1975, Curitiba. Resumos... Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1975. p. 58-61.

PEREZ, C. D. P. et al. Nitrogênio e Potássio na intensidade da mancha aureolada cafeeiro em solução nutritiva. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 60-68, jan / mar. 2017.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARAES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas semiologia do cafeeiro**. Lavras: Ed. UFLA, 2010. p. 68-106.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Nutrição mineral no manejo de doenças de plantas. In: GRUPO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM FITOPATOLOGIA. **Nutrição no manejo de doenças de plantas**. Viçosa, MG: GEAFIP, 2012. p. 177-212.

POZZA, E. A.; POZZA, A.A.A.; BOTELHO, D.M.S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 323 – 331, 2015.

SCHIEBER, E. Economic impact of coffee rust in Latin America. **Annual review of phythopatology**, v. 10, p. 491-510, sep. 1972.

SCALCO, M.S. et al. Cultivo irrigado e não irrigado do cafeeiro em plantio adensado. **Coffee Science**, Lavras, v.6, n.3, p. 193-202, 2011.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N. Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para o eucalipto. Piracicaba: **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, p. 1-3, 2003.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-milde wing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, n. 3, p. 1051-1056, Feb. 1977.

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

VAN DEN BOSCH F.; et al. Evidence-based resistance management: a review of existing evidence. In: Ishii H, Hollomon DW, editors. **Fungicide resistance in plant pathogens**. Tokyo: Springer; 2015. p. 63–76.

VALENCIA, A.G. Estudio fisiológico de la defoliación causada por *Cercospora coffeicola* en el cafeto. **Cenicafé** 21:105-114, 1970.

VASCO et al., Interaction of K and B in the intensity of the coffee rust in nutrient solution. **Coffee Science**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 238-244, 2018.