

ANTONIO FERNANDO DE SOUZA

**ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA FERRUGEM EM CAFEIEIRO
IRRIGADO E NÃO-IRRIGADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2008**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S729e
2008

Souza, Antonio Fernando de, 1978-
Estratégias de controle da ferrugem em cafeeiro
irrigado e não-irrigado / Antonio Fernando de Souza.
– Viçosa, MG, 2008.
x, 94f.: il. ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Laércio Zambolim.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Café - Doenças e pragas. 2. *Hemileia vastatrix*.
3. Pragas - Controle integrado. 4. Fungicidas. 5. Irrigação.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 633.7394

ANTONIO FERNANDO DE SOUZA

**ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA FERRUGEM EM CAFEIEIRO
IRRIGADO E NÃO-IRRIGADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de fevereiro de 2008.

Prof. Waldir Cintra de Jesus Junior
(Co-Orientador)

Prof. Marcelo Coutinho Picanço

Pesq. Antônio Alves Pereira

Pesq. Hélcio Costa

Prof. Laércio Zambolim
(Orientador)

A meus pais

Vicente Henrique de Souza e Terezinha Luíza de Souza,
por sua luta na educação dos filhos,
pela confiança depositada em mim sempre,
pelo apoio e carinho,
por nossa história de vida,

OFEREÇO

A minha esposa

Carla de Bem dos Santos Souza, pela
paciência e pelo incentivo,
por não me deixar desanimar nunca,
pelo amor e carinho presentes em todos os momentos,
alegria da minha vida,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as oportunidades concedidas em minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), especialmente ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de realização deste trabalho.

À FAPEMIG, ao CNPq e à CAPES, pelas Bolsas de Iniciação Científica, Mestrado e Doutorado concedidas durante a execução do projeto.

À EMBRAPA CAFÉ (PNP&D), pelo financiamento do Projeto de Pesquisa.

Ao Prof. Laércio Zambolim, pela orientação, pelo estímulo, pelas críticas e sugestões.

Aos Professores Waldir Cintra e Paulo Cecon, pela co-orientação, amizade, pelo incentivo e pelas sugestões.

Ao Prof. Everardo Mantovani e seus orientandos de Pós-Graduação, Marcelo, Victor e Hermes, pela amizade e pelo auxílio no manejo da irrigação.

Ao prof. Marcelo Picanço e seus orientandos de Pós-Graduação, Flávio, Emerson e Jardel, pelo auxílio e pelos ensinamentos sobre a técnica de análise multivariada.

Ao Prof. Geraldo Martins Chaves, por disponibilizar a área para realização dos experimentos.

Aos funcionários do Laboratório de Proteção de Plantas, José Cláudio, Nivaldo Sérgio, José Carlos e João Bosco, pela ajuda nos trabalhos de campo e pela amizade adquirida nos nove anos de convivência.

Aos estagiários, bolsistas de iniciação científica e estudantes de Pós-Graduação do Laboratório de Proteção de Plantas, pela amizade e auxílio na execução do projeto.

A todos os professores, funcionários e estudantes de Pós-Graduação do Departamento de Fitopatologia, pela amizade e convivência adquirida durante a realização do programa.

Aos amigos e familiares, por sempre se fazerem presentes em minha vida.

BIOGRAFIA

Antonio Fernando de Souza, filho de Terezinha Luiza de Souza e Vicente Henrique de Souza, nasceu em Florestal, MG, em 9 de dezembro de 1978.

Em Fevereiro de 2003, graduou-se em Agronomia, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Em abril do mesmo ano, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, em nível de Mestrado, na UFV.

Em Julho de 2004, transferiu-se do nível de Mestrado para o de Doutorado, também em Fitopatologia, na mesma Instituição.

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	08
CAPÍTULO 1.....	14
ESTRATÉGIAS DE CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM	14
(<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br.) NO CAFEIEIRO NÃO IRRIGADO	
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1. Aspectos gerais.....	17
2.2. Avaliação do cafeeiro quanto ao progresso da ferrugem.....	18
2.3. Avaliação do cafeeiro quanto à produtividade.....	19
2.4. Análise dos dados.....	20
3. RESULTADOS.....	21
3.1. Exploração gráfica das curvas de progresso da ferrugem do.....	26
cafeeiro.....	
3.2. Efeito dos tratamentos na produtividade do cafeeiro.....	30
4. DISCUSSÃO.....	35
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPÍTULO 2.....	49
ESTRATÉGIAS DE CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM	49
(<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br.) NO CAFEIEIRO IRRIGADO.....	
1. INTRODUÇÃO.....	49
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	51
2.1. Aspectos Gerais.....	51
2.2. Manejo da irrigação e coleta de dados climáticos.....	53
2.3. Avaliação do cafeeiro quanto ao progresso da ferrugem.....	54

2.4. Avaliação do cafeeiro quanto à produtividade.....	55
2.5. Análise dos dados.....	55
3. RESULTADOS.....	57
3.1. Efeito do clima na intensidade da ferrugem do cafeeiro.....	57
3.2. Efeito dos tratamentos na incidência da ferrugem do cafeeiro.....	60
3.3 Exploração gráfica das curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro.....	64
3.3. Efeito dos tratamentos na produtividade do cafeeiro.....	70
4. DISCUSSÃO.....	75
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
CONCLUSÕES GERAIS.....	92
ANEXO.....	94

RESUMO

SOUZA, Antonio Fernando de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2008. **Estratégias de controle da ferrugem em cafeeiro irrigado e não-irrigado**. Orientador: Laércio Zambolim. Co-orientadores: Waldir Cintra de Jesus Júnior, Paulo Roberto Cecon e Everardo Chartuni Mantovani.

Experimentos de campo foram conduzidos em lavoura comercial de café do cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, irrigada e não irrigada por gotejamento, em Viçosa Minas Gerais, no período de dezembro de 2000 a junho de 2006 com o objetivo de avaliar diferentes estratégias de aplicação de fungicidas sistêmicos e protetores no controle da ferrugem e na produtividade do cafeeiro. Os fungicidas cúpricos oxiclóreto de cobre e calda Viçosa (sulfato de cobre + nutrientes) foram aplicados preventivamente no período de dezembro a março, enquanto o fungicida sistêmico epoxiconazole foi aplicado nos meses de dezembro e março (calendário) e seguindo o esquema de amostragem (com início das aplicações a partir da constatação de 5 e 10% de incidência, respectivamente). Já o tratamento com fungicida + inseticida sistêmico ciproconazole + tiametoxan GR foi aplicado anualmente, via solo, sem complementação por via foliar, em anos alternados, complementado com quatro aplicações foliares de sulfato de cobre + nutrientes. A irrigação por gotejamento foi realizada de forma complementar, no período de julho a novembro de cada ano, com base no balanço hídrico do solo calculado diariamente. Os resultados obtidos mostraram que a irrigação por gotejamento não alterou o padrão das curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro e proporcionou acréscimo de 17% na produtividade. A aplicação de fungicidas no controle da ferrugem do cafeeiro proporcionou acréscimo de 38 e 32% na produtividade das plantas irrigadas por gotejamento e naquelas não irrigadas, respectivamente, em relação à testemunha. Os tratamentos com oxiclóreto de cobre e sulfato de cobre + nutrientes apresentaram maior intensidade de ferrugem nas plantas em relação aos tratamentos com fungicidas sistêmicos, mas mantiveram estável a produtividade do cafeeiro ao longo de cinco safras avaliadas. A aplicação do fungicida sistêmico epoxiconazole, baseada na observação de 5% de incidência de ferrugem, proporcionou controle mais eficiente da doença em relação à aplicação iniciada ao se verificar 10% de

incidência, mas quanto à produtividade, somente no experimento irrigado houve diferença. A resposta do calendário de aplicação do epoxiconazole foi semelhante a do tratamento iniciado ao se constatar 5% de incidência. O tratamento que consistiu em aplicação anual de ciproconazole + tiametoxan GR apresentou como resultado maior intensidade de ferrugem nas plantas em relação ao tratamento em que a aplicação do produto foi feita em anos alternados e complementada com aplicação por via foliar com fungicida cúprico. A média de produtividade obtida nesses tratamentos, nos cinco anos de avaliação, não diferiu das médias apresentadas pelas plantas tratadas apenas com fungicidas cúpricos. De acordo com esses resultados, pode-se afirmar que o fungicida oxicloreto de cobre ou a mistura de sulfato de cobre + nutrientes poderiam ser utilizados em programas controle integrado da ferrugem, a custos supostamente mais baixos que os fungicidas sistêmicos, garantindo assim a sustentabilidade econômica, ecológica e social da cafeicultura na Zona da Mata de Minas Gerais.

ABSTRACT

SOUZA, Antonio Fernando de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2008. **Strategies for the control of coffee leaf rust in irrigated and non-irrigated conditions.** Adviser: Laércio Zambolim. Co-advisers: Waldir Cintra de Jesus Júnior, Paulo Roberto Cecon and Everardo Chartuni Mantovani.

The experiment was realized in commercial field of cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 using drip irrigation and non irrigated condition in Viçosa Minas Gerais from December 2000 up to June 2006. The objective of the experiment was to evaluate the different strategies of fungicide application systems and protectors for the control of leaf rust and productivity of coffee. The fungicide cooper oxychloride and 'calda Viçosa' (mixture of cooper sulphate + nutrients) were applied during December until march, while the systemic fungicide epoxiconazole was applied in December and March following the sampling scheme (the application determined from the observation of the values of 5 and 10 % incidence of coffee leaf rust). The treatment with fungicide + systemic insecticide (cyproconazole + thiamethoxan) granule was applied annually in the soil with out complementation of foliar application, in alternate years complemented with four foliar application of 'calda Viçosa'. To supplement the drip irrigation was realized during the period of July up to November of every year based on the direct measure of the water balance in the soil. The result obtained showed that drip irrigation did not change the progress of standard curve of leaf rust of coffee and proportionally increased productivity up to 17 %. The application of fungicide to control the leaf rust of coffee proportionally increased 38 and 32 % of productivity in relation to the control treatment for irrigated and none irrigated plants, respectively. The treatment with cooper oxychloride and 'calda Viçosa' showed higher leaf rust intensity in plants in relation to treatments with systemic fungicide, but maintain stable productivity of coffee during five seasons evaluated. The application of systemic fungicide epoxiconazole based on the observation of 5 % incidence of leaf rust control more efficiently the disease in relation to application started after verification of 10 % incidence, but the productivity only showed difference with irrigated experiment. The response from the application of fungicide based on the calendar of epoxiconazole was similar to

the treatments applied with 5 % incidence of leaf rust. The treatment include the annual application of cyproconazole + thiamethoxan granule presented more leaf rust intensity in plants in relation to treatments where the application was done in alternate years and complemented with foliar application of fungicide ‘calda Viçosa’. The mean productivity obtained in these treatments during five years evaluation was not differed from mean of plants treated with cooper fungicide. According to these results it can be affirmed that the fungicide cooper oxychloride or ‘calda Viçosa’ can be used in the program of integrated leaf rust management and its cost was lower than the systemic fungicide. In addition it provides economical, ecological and social sustainability of coffee production in the region of Zona de Mata Minas Gerais.

INTRODUÇÃO GERAL

O cafeeiro é uma planta perene de clima tropical, pertencente à família Rubiaceae e ao gênero *Coffea*. Dentre as diversas espécies reunidas nesse gênero, as de maior interesse econômico são *C. arabica* e *C. canephora*, representando 70% e 30% da produção mundial, respectivamente. O cultivo dessas espécies estende-se por mais de 50 países nos diversos continentes, ocupando uma área superior a 10 milhões de hectares, com uma produção média anual em torno de 130 milhões de sacas de café beneficiado (FAO, 2008).

O Brasil, atualmente, ocupa a posição de maior produtor e exportador mundial de café, sendo responsável por 25,3% da produção mundial, com um parque cafeeiro em torno de 5,9 bilhões de plantas, distribuídas em cerca de 2,4 milhões de hectares em todas as regiões do País (FAO, 2008).

Nas diversas regiões cafeeiras do País, a produtividade é influenciada por vários fatores. Dentre eles, destacam-se: nível tecnológico dos cafeicultores, cultivar utilizado, densidade de plantas por hectare, irrigação, manejo da lavoura, quantidade de fertilizantes aplicada por área, preços do café no mercado internacional, custo da mão-de-obra, da colheita, dos insumos e defensivos, ocorrência de intempéries climáticas (geadas, ausência de chuvas, insolação) e pragas e doenças que incidem na cultura.

Com relação às doenças do cafeeiro, tem-se a ferrugem, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., como a principal delas em todo o mundo. No Brasil, a ferrugem do cafeeiro foi constatada pela primeira vez em 1970, e hoje está presente

em todas as regiões produtoras do País, causando perdas que variam de 35 a 50% (ZAMBOLIM et al., 1997). Essas perdas podem variar de acordo com as condições climáticas da região, a suscetibilidade do cultivar utilizado e a carga pendente de frutos (CHALFOUN e ZAMBOLIM, 1985; ZAMBOLIM et al., 1997; CARVALHO e CHALFOUN, 1998).

Os principais danos causados por esse fungo são: a queda precoce de folhas e seca de ramos antes da época de florescimento do cafeeiro, o que resulta em diminuição da produção no ano seguinte (ZAMBOLIM et al., 1997; CARVALHO e CHALFOUN, 1998).

Para controlar a doença, pode-se adotar o manejo integrado da ferrugem do cafeeiro, que inclui métodos como o controle químico, genético e cultural. Entretanto, em várias regiões do país, mesmo em lavouras onde se adotam as práticas culturais adequadas, a ferrugem tem sido problema, exigindo cada vez mais aplicações de fungicidas. O plantio de cultivares resistentes seria então a principal maneira de reduzir a quantidade de fungicidas aplicados no cafeeiro, não fosse o aparecimento de novas raças fisiológicas do fungo nesses cultivares, dificultando assim o controle da doença por meios puramente genéticos (ZAMBOLIM et al., 2005).

Após ter sido constatada no Brasil, no início da década de 70, várias pesquisas foram desenvolvidas, visando selecionar os fungicidas, as dosagens e a época de aplicação mais adequados ao controle da ferrugem. Os fungicidas protetores à base de cobre, como calda bordalesa, oxiclureto de cobre, hidróxidos de cobre e os óxidos cuprosos, foram os primeiros a serem testados, demonstrando-se a grande eficiência deles no controle do fungo, com reflexos positivos na produtividade da cultura (CHAVES et al., 1971; CRUZ FILHO e CHAVES, 1975 e 1985; JARAMILLO, 1988). Além de atuar no controle preventivo da doença, o cobre desempenha importante papel no metabolismo da planta como constituinte de várias enzimas, contribuindo para melhorar a fixação das folhas nas plantas do cafeeiro (CRUZ FILHO e CHAVES, 1985).

Os fungicidas cupricos também têm a vantagem de apresentarem ação sobre outras doenças do cafeeiro, podendo ser utilizados em associação com fungicidas sistêmicos, que são aplicados por via foliar ou via solo, nos programas integrados de manejo das principais doenças do cafeeiro. Quando aplicado na superfície das folhas, o fungicida cúprico atua no controle preventivo da ferrugem, formando uma barreira

tóxica capaz de evitar a germinação e penetração dos uredósporos nos tecidos foliares. Ao optar por esta estratégia, normalmente o produtor terá de realizar quatro aplicações no período de dezembro a março (JARAMILLO, 1988). E as aplicações de fungicidas cúpricos apresentam algumas dificuldades, como: a necessidade de maior volume e boa cobertura foliar com a calda fungicida, maior número de aplicações e a dificuldade de realizá-las no período chuvoso ou em lavouras adensadas (CARVALHO e CHALFOUN, 1998).

A dificuldade na execução de um esquema exclusivamente preventivo no controle da ferrugem do cafeeiro, levou os pesquisadores a buscarem novas opções de controle utilizando fungicidas sistêmicos com efeito curativo (MATIELLO e ALMEIDA, 1992). Várias moléculas pertencentes a diferentes grupos químicos de fungicidas foram testadas em casa-de-vegetação e campo, com destaque para o grupo dos triazóis (triadimenol, triadimefon, epoxiconazole, ciproconazole, tebuconazole, hexaconazole, tetraconazole, propiconazole, metconazole e flutriafol). A eficiência desse grupo de fungicidas no controle da ferrugem foi demonstrada em vários trabalhos (ZAMBOLIM et al., 1987; SILVA-ACUÑA et al., 1993; LONDOÑO et al., 1995; MENDONÇA et al., 1999; ZAMBOLIM et al., 2002).

Os fungicidas sistêmicos do grupo dos triazóis podem ser aplicados por via foliar ou via solo. A aplicação via foliar pode ser feita de maneira preventiva – seguindo-se o calendário fixo de aplicação – ou curativa – baseando-se no monitoramento e tomada de decisão em relação à época de aplicação do fungicida.

No calendário fixo, as aplicações dos produtos são realizadas em épocas pré-determinadas, independentemente da intensidade de ferrugem na planta. Normalmente, são realizadas duas aplicações, sendo a primeira em dezembro/janeiro e a segunda em fevereiro/março, de acordo com o produto e com as doses estabelecidas pelos fabricantes (MENDONÇA et al., 1999; ZAMBOLIM et al., 2002).

A estratégia de controle com base na incidência da doença implica a amostragem de folhas no campo e a determinação da incidência e severidade da doença. Apesar de vários trabalhos terem sido realizados, ainda não existe uma definição quanto aos parâmetros indicadores do início de aplicação com base no índice de infecção. A recomendação é que, se o índice de infecção for igual ou inferior a 5%, deverá ser iniciado o controle da doença utilizando-se fungicida

protetor; e caso esse índice chegue até o máximo de 12%, recomenda-se a aplicação de fungicida sistêmico (ZAMBOLIM et al., 2002).

Muitos produtores ignoram essa recomendação e preferem realizar as aplicações quando o índice de infecção está mais elevado, visando ao controle curativo da doença. Essa estratégia pode ter alguma vantagem do ponto de vista econômico, por permitir, em certos casos, reduzir o número de aplicações devido ao efeito curativo dos fungicidas sistêmicos (MENDONÇA et al., 1999). Entretanto, nem sempre é fácil determinar o momento exato da aplicação face à rápida evolução da doença, que em condições favoráveis pode fugir ao controle e causar danos à lavoura (MANSK e MATIELLO, 1992).

A partir de 1984, o avanço no controle da ferrugem foi o aprimoramento da técnica de aplicação de fungicidas via solo. Com esta técnica, apenas uma aplicação dos produtos no início do período chuvoso é necessária para conter a evolução da doença (CHALFOUN, 1992; MATIELLO e ALMEIDA, 1992). Dentre os produtos utilizados, destacam-se os fungicidas sistêmicos do grupo dos triazóis, como triadimenol, ciproconazole e flutriafol, em formulações granuladas (GR), grânulos dispersíveis em água (GRDA) ou concentrado emulsionável (CE). Esses fungicidas podem estar ou não associados com inseticidas sistêmicos (dissulfoton, tiametoxan e imidacloprido), visando ao controle conjunto da ferrugem e do bicho-mineiro (ZAMBOLIM et al., 1987; MATIELLO, 1990; LONDOÑO et al., 1995; SILVA et al., 1997; ZAMBOLIM et al., 2002).

Além dos aspectos ligados ao controle fitossanitário, outros de natureza fisiológica estão envolvidos diretamente na eficiência desses produtos químicos aplicados via solo. Em geral, eles têm proporcionado maior crescimento vegetativo das plantas, representado pelo maior diâmetro da copa e do caule, aumento do número de ramos plagiotrópicos e do número de internódios, crescimento radicular, coloração verde mais intensa das plantas, maior retenção foliar e incremento de até 59% na produção (GAMBA et al., 1996; SANTINATO et al., 1997; BARROS et al., 1999).

Outra opção de controle da ferrugem é o uso integrado de fungicidas sistêmicos e cúpricos, o que melhora a ação residual de ambos os produtos no cafeeiro. Essa associação possibilita também o controle da mancha-de-olho-pardo e o aumento de produtividade do cafeeiro, quando comparadas à produtividade de plantas não tratadas e daquelas tratadas apenas com cúpricos. Além disso, o

fungicida cúprico melhora o estado nutricional das plantas, uma vez que o cobre é um nutriente essencial para o cafeeiro (CRUZ FILHO e CHAVES, 1985; CHALFOUN, 1992; MATIELLO, 1999).

Outro fator importante na variação da produtividade do cafeeiro é a irrigação. Essa prática é bastante difundida nas várias regiões cafeeiras do Brasil, principalmente devido à expansão das fronteiras agrícolas para áreas marginais de cultivo, obtendo-se aumentos significativos de produção, produtividade mais estável e um produto de melhor qualidade (MANTOVANI, 2003).

A maior concentração de áreas de café irrigado do Brasil ocorre no cerrado mineiro, com predominância dos sistemas de irrigação por tubos perfurados a laser (tripa), canhão hidráulico, pivô central e autopropelidos. Nas novas fronteiras cafeeiras, como o oeste e o sul da Bahia, nordeste de Minas Gerais e leste de Goiás, predomina a irrigação tecnificada, com a utilização dos sistemas pivô central e gotejamento (FERNANDES et al., 2003).

O principal objetivo ao se utilizar a irrigação em lavouras cafeeiras tem sido eliminar o déficit hídrico durante todo o ciclo da cultura nas regiões de alta demanda hídrica, ou em fases fenológicas específicas nas regiões de baixa ou média demanda hídrica. Anos de baixa disponibilidade hídrica podem comprometer a safra em andamento por meio da queda de flores, do menor tamanho de frutos e da produção de grãos com lojas vazias (chochos). Também compromete a safra seguinte pelo menor crescimento de ramos produtivos, aumento da queda de folhas, bem como por predispor o cafeeiro às principais doenças e pragas (MANTOVANI, 2003).

Não só o déficit hídrico, mas também o excesso de chuva ou a irrigação têm influenciado significativamente a incidência e a severidade das diversas doenças que afetam o cafeeiro, tanto nos viveiros de mudas quanto no campo (ZAMBOLIM et al., 1997). Entretanto, ainda são poucos os trabalhos disponíveis na literatura sobre o efeito da irrigação na intensidade da ferrugem do cafeeiro (SOUZA e ZAMBOLIM, 2004). Juliatti et al. (2000) observaram alterações nas curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro submetidos a diferentes sistemas de irrigação nas áreas de cerrado de Minas Gerais, onde a irrigação é constante em boa parte do ano, exigindo alterações imediatas nas estratégias de controle da doença.

O sistema de irrigação por aspersão influencia diretamente a intensidade da ferrugem do cafeeiro. Trabalhos realizados na região de Araguari, MG, mostraram que maior incidência da doença ocorreu nos cafeeiros irrigados por pivô central e

mangueira plástica perfurada, quando comparados aos cafeeiros irrigados por gotejamento e aos não irrigados (CARVALHO, 1998; JULIATTI et al. 2000). Observaram-se que o molhamento foliar proporcionou a formação de microclima favorável ao progresso da doença e possibilitou a re-inoculação freqüente dos esporos nas plantas. Segundo Carvalho (1971), a chuva na forma de garoa, o orvalho e a irrigação são os agentes mais importantes de disseminação da ferrugem dentro de uma planta ou entre plantas na lavoura e a umidade é um fator importante para a germinação e penetração dos uredósporos de *H. vastarix* nas folhas do cafeeiro (MONTOYA e CHAVES, 1978; AVELINO et al., 2004).

Em estudos sobre a influência de sistemas de irrigação na incidência da ferrugem do cafeeiro, Juliatti et al. (2000) observaram alterações nas curvas de progresso da doença, sendo a ocorrência sazonal e tardia em áreas irrigadas por aspersão. Essas alterações levaram à necessidade de mudanças nas épocas de aplicação de fungicidas. A aplicação de fungicida sistêmico foi indicada após a colheita, visando reduzir o inóculo residual nas lavouras em produção e viabilizar o uso de produtos via solo no mês de novembro/dezembro. Outro problema que se observa no uso destes produtos é que a maioria dos fungicidas sistêmicos perde sua eficiência quando aplicados em lavouras com elevado índice de ferrugem. Nesse contexto, apesar de essa prática estar se tornando comum em algumas regiões cafeeiras do País, ainda carece de estudos, pois pode aumentar os custos de produção, sem que o resultado obtido seja satisfatório. Além disso, o cafeeiro perde parte de suas folhas após a colheita, o que elimina grande quantidade do inóculo presente nas plantas (SOUZA e ZAMBOLIM, 2004).

O mesmo não ocorreu nas lavouras irrigadas com o sistema de gotejamento nos trabalhos conduzidos por Carvalho (1998) e Juliatti et al. (2000). Nessas lavouras, a incidência da ferrugem foi menor do que naquelas irrigadas com outros sistemas. Os autores atribuíram a baixa incidência e severidade da ferrugem nas plantas irrigadas por gotejamento à ausência de molhamento foliar.

A irrigação por gotejamento não atua na disseminação da ferrugem do cafeeiro, mas pode levar ao aumento da incidência e severidade da doença em razão do aumento da produtividade das lavouras e por manter crescimento ativo dos ramos plagiotrópicos e ortotrópicos da planta. Isso interfere diretamente na área foliar das plantas e na alteração do microclima dentro das áreas de cultivo, favorecendo a infecção pelo patógeno. Nessas condições, associar o uso da irrigação em lavouras

cafeiras com o controle químico da ferrugem seria fundamental na manutenção da produtividade por várias safras de cultivo (SOUZA et al., 2007).

O uso da irrigação também tem proporcionado mudanças nos espaçamentos tradicionais de plantio para sistemas mais adensados, visando à obtenção de maior produtividade por área. O adensamento, por si, já contribui para a formação de um microclima favorável ao ataque de *H. vastatrix*. Nessas condições, a proximidade das plantas, o aumento do período de molhamento foliar, a umidade relativa e a redução da insolação no interior das lavouras mantêm a temperatura numa faixa adequada à germinação e à penetração dos uredósporos nos estômatos foliares. Além disso, dificulta a chegada de produtos fitossanitários até o alvo, que são as folhas mais internas na copa das plantas, interferindo diretamente na eficácia do controle químico (ZAMBOLIM et al., 2007).

Os estudos encontrados na literatura sobre o efeito da irrigação na produtividade ou na intensidade das doenças do cafeeiro se referem a experimentos realizados em curto período, em lavouras novas ou em regiões cafeeiras que apresentam alta demanda hídrica. Em regiões como a Zona da Mata de Minas Gerais, que apresenta boa distribuição de chuva ao longo do ano, trabalhos de longa duração mostrando o efeito da irrigação na intensidade de ferrugem, na produtividade e na longevidade do cafeeiro são escassos. Além disso, a cafeicultura de montanha é a base econômica de vários municípios da região, onde predominam pequenas propriedades. E por ser uma tecnologia que requer alto investimento na implantação e manutenção do sistema, a irrigação eleva os custos da produção (SILVA et al., 2003).

Neste contexto, é necessário o desenvolvimento de tecnologias que viabilizem, na Zona da Mata de Minas Gerais, uma cafeicultura tecnificada com baixo custo de produção, sem perder de vista a competitividade com outras regiões produtoras de café do País. Este trabalho foi proposto com o objetivo foi avaliar a eficiência de diferentes estratégias de aplicação de fungicidas sistêmicos e protetores no controle da ferrugem e na produtividade de cafeeiro irrigado por gotejamento e cafeeiro não irrigado, durante seis safras de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.R. Doenças do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). **Cultura do café: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.391-399.

ALMEIDA, S.R.; MATIELLO, J.B. Efeito de fungicidas cúpricos e sistêmicos e uso associado para o controle de doenças (ferrugem e cercosporiose) no cafeeiro e sua ação sobre o desenvolvimento do sistema radicular e produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca-SP, 1999. **Anais...** p.16-17

AVELINO, J.; WILLOCQUET, L.; SAVARY, S. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. **Plant Pathology**, v.53, p.541-547. 2004.

BARROS, U.V.; BARBOSA, C.M.; MENDONÇA, G. Evolução da produção do cafeeiro devido ao efeito do uso de Baysiston por vários anos consecutivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca-SP, 1999. **Anais...** p. 222-223.

CARVALHO, E.A.M. **Progresso da ferrugem (*H. vastatrix*) em diferentes sistemas de irrigação**. 1998. 32 f. Monografia de Graduação – UFU, Uberlândia, MG.

CARVALHO, P.C.T. Ferrugem do cafeeiro. In: PARANÁ, A.D.E.A.D. (Ed.). **Compêndio das Palestras Proferidas no Seminário Sobre ferrugem do Cafeeiro**. Londrina: Instituto Brasileiro do Café – GERCA, 1971. p.15-39.

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

CHALFOUN, S.M. Estudo comparativo de diferentes processos de controle químico da ferrugem (*H. vastatrix* Berk e Br.) do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 18., Araxá-MG, 1992. **Anais...** p. 56-57.

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

CHAVES, G.M.; MATSUOKA, K.; CARVALHO, M.G.; CRUZ FILHO, J. Ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). Resultados preliminares de ensaios sobre avaliação de fungicidas, em Minas Gerais. In: RELATÓRIOS DAS PESQUISAS SOBRE *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., 1., Rio de Janeiro, 1971. **Anais...** p. 1-14.

CRUZ FILHO, J.; CHAVES, G.M. Avaliação da eficiência de fungicidas orgânicos e à base de cobre no controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 8., Mossoró-RN, 1975. **Anais...** p. 58-62.

CRUZ FILHO, J.; CHAVES, G.M. **Calda Viçosa no controle da ferrugem do cafeeiro (UFV)**. Viçosa: Conselho de Extensão. UFV. 22p. 1985.

FAO. FAOSTAT Database Query. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Acessado em 07-02-2008.

FERNANDES, A.L.T.; DRUMOND, L.C.D.; SANTINATO, R. Plantio circular do cafeeiro com pivô central, utilizando emissores localizados. **Cafeicultura**, v. 2, p. 14-19, 2003.

GAMBA, H.; MATIELLI, A.; SAN JUAN, R.C.C. Influência do fungicida triadimenol (Baysiston e Bayfidan 60 GR) sobre o enraizamento do cafeeiro e seu desenvolvimento vegetativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 22., Rio de Janeiro-RJ, 1996. **Anais...** p. 189-190.

JARAMILLO, T. **Esquema, métodos de aplicação e translocação de fungicidas no controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.)**. 1988. Tese. Mestrado em Fitopatologia – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 68 f.

JULIATTI, F.C.; MOREIRA, J.C.; MENDONÇA, F.C.; SANTOS, C.M. Incidência e severidade da ferrugem em lavouras conduzida sob diferentes sistemas de irrigação e lâminas d' água. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., Poços de Caldas-MG, 2000. **Anais...** p. 211-214.

JULIATTI, F.C.; SILVA, S.A.; JULIATTI, F.C. Problema fitossanitários em culturas sob pivô central no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado e fitossanidade: Cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia. UFV. 2001. p.205-255.

LONDOÑO, B., G.; LEGUIZAMON, C.J.E.; MONTOYA, R.E.C. Evaluación del fungicida sistémico cyproconazol para el control de la roya del cafeto. **Cenicafé**, v. 46, p. 56-62, 1995.

MANSK, Z.; MATIELLO, J.B. Avaliação comparativa de fungicidas sistêmicos "triazóis" aplicados sobre o cafeeiro em duas situações de infecção de ferrugem (*H. vastatrix*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 18., Araxá – MG, 1992. **Anais...** p. 19-21.

MANTOVANI, E.C. Cafeicultura irrigada produtividade, rentabilidade com sustentabilidade. In: MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.R. (Eds.). **Irrigação do cafeeiro: Informações técnicas e coletânea de trabalhos**. Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, 2003. p.9-45.

MATIELLO, J.B. Novos sistemas de controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) com produtos sistêmicos e integração com o controle do bicho-mineiro (*P. coffeella*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., Espírito Santo do Pinhal-SP, 1990. **Anais...** p. 49-51.

MATIELLO, J.B. Combinação do fungicida Opus (Epoconazole) com cobre e adjuvante Break Thru (copolímero de silicone) no controle da ferrugem do cafeeiro em uma só aplicação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca-SP, 1999. **Anais...** p. 22-23.

MATIELLO, J.B.; ALMEIDA, S.R. Modo de aplicação de fungicidas sistêmicos no controle da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 18., Araxá-MG, 1992. **Anais...** p. 5-6.

MENDONÇA, P.L.P.; BARBOSA, J.A.C.; NAVARRO, V.J.C.; BEGLIOMINI, E. Variação de doses de Opus (Epoconazole) aplicado em diferentes níveis de infecção da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca-SP, 1999. **Anais...** p. 46-48.

MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; REIS, G.N.; MANSK, Z.; ALMEIDA, S.R. Efeito da aplicação de fungicidas cúpricos em cafeeiros com diferentes graus de intensidade de ataque da ferrugem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 6., Ribeirão Preto-SP, 1978. **Anais...** p. 367.

SANTINATO, R.; D'ANTONIO, A.M.; AIZAWA, J.S.; SILVA, V.; CARVALHO, R. Efeito do cyproconazole e dissulfoton (Altomix) na recuperação de cafeeiros recepados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23 Manhuaçu-MG, 1997. **Anais...** p. 95-96

SILVA, A. L.; FARIA, M.A.; REIS, R.P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.37-44, 2003.

SILVA-ACUÑA, R.; ZAMBOLIM, L.; GONZALEZ MOLINA, E.C. Controle da ferrugem do cafeeiro com triadimenol via solo, na Venezuela. **Fitopatologia Brasileira**, v. 18, p. 70-75, 1993.

SILVA, O.A.; MATIELLO, J.B.; MANDON, L. Doses e formulações de fungicidas e inseticidas granulados sistêmicos aplicados no solo, no controle da ferrugem e

bicho mineiro do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 23, Manhuaçu-MG, 1997. **Anais...** p. 131-133.

SOUZA, A.F.; ZAMBOLIM, L. Influência da irrigação na intensidade das doenças e na produtividade do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV, 2004. p.173-210.

SOUZA, A.F.; ZAMBOLIM, L.; BOMFIN, H.N.; COSTA, D.R.; ZAMBOLIM, E.M.; MANTOVANI, E.C. Associação entre lâminas de irrigação e controle químico de doenças foliares do cafeeiro irrigado por gotejamento. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., Águas de Lindóia-SP, 2007. **Anais...** CD-rom.

ZAMBOLIM, L.; SOUZA, A.F.; MANTOVANI, E.C. Influência da irrigação no progresso de doenças e pragas do cafeeiro. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v. 73, p. 67-76, 2007.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; MACABEU, A.J. Nova opção de controle da ferrugem do cafeeiro pela aplicação de triadimenol via solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 14, Campinas-SP, 1987. **Anais**. p. 36-38.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; PEREIRA, A.A.; CHAVES, G.M. Café: Controle de doenças. Doenças causadas por fungos, bactéria e vírus. In: VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Controle de doenças de plantas: Grandes culturas**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV. 1997. p.83-140.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; COSTA, H.; PEREIRA, A.A.; CHAVES, G.M. Epidemiologia e controle integrado da ferrugem do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV, 2002. p.369-450.

ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E.M.; VALE, F.X.R.; PEREIRA, A.A.; SAKYAMA, N.S.; CAIXETA, E.T. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. in Brazil – Physiological variability, current situation and future prospects. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E.M.; VÁRZEA, V.M.P. (Eds.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV. 2005. p.75-98.

ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E.M.; CAIXETA, E.T.; JESUS JUNIOR, W.C. Características rastreáveis do manejo integrado das doenças do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Rastreabilidade para a cadeia produtiva do café**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV. 2007. p.85-128.

CAPÍTULO 1

ESTRATÉGIAS DE CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) EM CAFEIEIRO NÃO IRRIGADO

1. INTRODUÇÃO

A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., foi primeiramente registrada em 1861, na região do Lago Vitória, no Quênia, mas o primeiro registro histórico em plantas cultivadas ocorreu no Sri Lanka, em 1869. Decorrido pouco mais de um século, a doença foi disseminada por todos os países produtores de café da África, Ásia e Oceania. No Continente Americano, sua presença foi constatada pela primeira vez no Brasil em 1970 e hoje ela se encontra disseminada por todas as regiões produtoras do País. Em menos de uma década, a ferrugem atingiu vários outros países produtores de café das Américas do Sul e Central (KUSHALAPPA e ESKES, 1989).

Em todas as regiões onde foi constatada, a ferrugem causou danos que variaram de 30 a 50% (KUSHALAPPA e ESKES, 1989; ZAMBOLIM et al., 1997). O principal dano causado pela doença nas plantas é a queda prematura das folhas, que tem como consequência a seca de ramos antes do florescimento, refletindo

negativamente sobre o desenvolvimento dos botões florais, pegamento da florada, desenvolvimento dos frutos e, por fim, reduzindo drasticamente a produtividade no ano agrícola seguinte (ZAMBOLIM et al., 1997; CARVALHO e CHALFOUN, 1998).

Os danos provocados por *H. vastatrix* variam de uma região para outra, dependendo das condições climáticas (CHALFOUN et al., 2001), da altitude (GARÇON et al., 2002), da suscetibilidade do cultivar utilizado e da carga de frutos presente nas plantas (CHALFOUN, 1981; SILVA ACUÑA et al., 1992; ZAMBOLIM et al., 1992; CARVALHO et al., 1996; CARVALHO et al., 2001; COSTA et al., 2006).

A aplicação de fungicidas é uma prática bastante difundida em várias regiões do País. Em cultivares suscetíveis, o controle químico constitui a única opção de manter baixa a incidência da ferrugem nas plantas e assim evitar danos causados pelo fungo (KUSHALAPPA e ESKES, 1989).

A importância econômica do cafeeiro em vários municípios brasileiros constitui-se no maior estímulo para a utilização de cultivares resistentes, adotando-se o manejo integrado da ferrugem. Além das vantagens imediatas de ordem econômica, o plantio de cultivares resistentes minimiza o uso de defensivos na cafeicultura. Entretanto, o aparecimento de novas raças fisiológicas do fungo em cultivares comerciais portadores de genes de resistência vem dificultando o controle da doença por meios exclusivamente genéticos (ZAMBOLIM et al., 2005). Dessa maneira, mesmo plantios comerciais de cultivares resistentes à ferrugem recebem aplicações de fungicidas para o controle desta e outras doenças do cafeeiro.

Nas principais regiões produtoras do Brasil, o controle preventivo da ferrugem é tradicionalmente feito seguindo-se o calendário fixo de aplicação de fungicidas cúpricos, com quatro aplicações no período de dezembro a março, enquanto o controle “curativo” é realizado por meio de fungicidas sistêmicos aplicados tanto por via foliar quanto via solo. As aplicações foliares são realizadas de acordo com o calendário fixo, com duas aplicações no período de janeiro a março, ou de acordo com a porcentagem de incidência da doença nas plantas (CHALFOUN e CARVALHO, 1999).

Grande avanço no controle da ferrugem ocorreu na década de 80, com o desenvolvimento da técnica de aplicação de fungicidas via solo, no início da estação chuvosa (ALMEIDA et al., 1987; ZAMBOLIM et al., 1987; JARAMILLO, 1988).

Atualmente, os programas envolvendo a aplicação de produtos via solo podem ser complementados com aplicações foliares de fungicidas cúpricos ou sistêmicos nos meses de fevereiro ou março. Essa estratégia de controle baseada na associação de fungicidas sistêmicos com fungicidas cúpricos melhoram a ação residual de ambos os produtos, possibilita o controle da mancha-de-olho-pardo e melhora o estado nutricional da planta, pois o cobre atua como um nutriente essencial para o cafeeiro. Alta eficiência de controle e ganho significativo de produtividade foram obtidos com o uso dessa estratégia (SILVA-ACUÑA et al., 1993; CHALFOUN et al., 1998; CHALFOUN e CARVALHO, 1999).

O produto aplicado via solo pode ou não estar associado com inseticidas sistêmicos, visando o controle conjunto da ferrugem e do bicho-mineiro (MATIELLO, 1990; SILVA et al., 1997). No entanto, além dos aspectos ligados ao controle fitossanitário, outros de natureza fisiológica estão envolvidos diretamente na eficiência desses produtos, pois eles promovem maior desenvolvimento do sistema radicular, crescimento da parte aérea e ganhos de produtividade (CAMARGO et al., 1996; GAMBA et al., 1996; BARROS et al., 1999).

O *marketing* referente ao efeito desses fungicidas na produtividade do cafeeiro, em muitos casos, ignora critérios técnicos sobre o controle das doenças e pragas da cultura. Produtos de elevado custo e alta persistência no meio ambiente têm sido apontados como o único meio para se obter alta produtividade das lavouras. Os problemas econômicos, sociais e ambientais decorrentes dessa prática tornam-se mais graves em algumas áreas cafeeiras da Zona da Mata de Minas Gerais, onde predomina uma cafeicultura familiar de baixo nível tecnológico.

Diante desse contexto, formulou-se a seguinte hipótese: os produtos menos agressivos ao meio ambiente podem ser eficientes no controle da doença e manter o mesmo nível de produtividade ao longo do tempo, quando comparados a fungicidas sistêmicos aplicados por via foliar ou via solo. Para verificar a validade dessa hipótese, pretendeu-se avaliar a eficiência de diferentes estratégias de aplicação de fungicidas no controle da ferrugem e na produtividade do cafeeiro ao longo de seis safras de cultivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Aspectos gerais

O experimento foi conduzido em uma lavoura de café no período de dezembro de 2000 a junho de 2006, no município de Viçosa-MG, a 650 m de altitude, 20° 43.569' de latitude sul e 42° 51.508' de longitude oeste. O cultivar utilizado foi o Catuaí Vermelho IAC 144, plantado no espaçamento de 4,0 x 1,0 m, com uma planta por cova (2.500 plantas/ha). Na instalação do experimento, a lavoura encontrava-se com nove anos de idade.

À exceção da aplicação de fungicidas, os demais tratos culturais foram realizados conforme recomendação para a cultura. As adubações foram feitas de acordo com os resultados da análise de solo, seguindo-se as recomendações da “Quinta Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais”. O manejo das plantas daninhas foi feito com duas roçadas anuais (nos meses de dezembro e janeiro) e uma aplicação do herbicida glifosato + 2,4 D, em fevereiro de cada ano. Pelo menos uma aplicação de inseticida foi realizada para o controle da broca-do-cafeeiro, nos meses de dezembro e/ou janeiro de cada ano, dependendo do índice de infestação pela praga.

O delineamento experimental foi feito em blocos ao acaso, com oito tratamentos fitossanitários e três repetições. Cada unidade experimental foi constituída de cinco plantas. Os tratamentos fitossanitários foram listados na Tabela 1.

Os fungicidas epoxiconazole e oxicloreto de cobre e a mistura de sulfato de cobre com nutrientes foram aplicados na parte aérea do cafeeiro, com pulverizador costal manual calibrado para o volume de calda de 400 L/ha.

O fungicida + inseticida sistêmico, ciproconazole + tiametoxan GR, foi aplicado via solo, em sulcos de cinco centímetros de profundidade, em ambos os lados da projeção da copa do cafeeiro.

Tabela 1 - Tratamentos aplicados visando ao controle da ferrugem do cafeeiro

Tratamentos	Fungicida aplicado	Época de aplicação	Dose (L ou Kg/ha)
1 – Testemunha	-----	-----	-----
2 – Aplicações de acordo com amostragem	Epoxiconazole (12,5%) ¹	Após a constatação de 5% de incidência	0,6
3 – Aplicações de acordo com amostragem	Epoxiconazole (12,5%)	Após a constatação de 10% de incidência	0,6
4 – Fungicida sistêmico aplicado por via foliar	Epoxiconazole (12,5%)	Jan. Mar.	0,6 0,4
5 – Fungicida protetor	Oxicloreto de cobre (84%)	Dez., jan., fev., mar.	3,0
6 – Mistura de sulfato de cobre com nutrientes (Calda Viçosa) ²	Sulfato de cobre + nutrientes	Dez., jan., fev., mar.	Sais: 5,0 Cal: 0,75
7 – Fungicida + inseticida sistêmico via solo aplicado em anos alternados, complementados com aplicações anuais de fungicida protetor	Ciproconazole + tiametoxan GR (10% + 10%) Mistura de sulfato de cobre com nutrientes	Nov. Dez., jan., fev., mar.	30,0 Sais: 5,0 Cal: 0,75
8 – Fungicida + inseticida sistêmico aplicado via solo	Ciproconazole + tiametoxan GR (10% + 10%)	Nov.	30,0

¹Valores entre parênteses indicam a porcentagem de ingrediente ativo (i.a.) de cada produto.

² Mistura de sais: sulfato de cobre (10% Cu) + enxofre (10% S) + cloreto de potássio (10% K₂O) + sulfato de zinco (6% Zn) + boro (3% B) + magnésio (1% Mg) + Hidróxido de cálcio (6,2% Ca + 5,3% OH.).

2.2. Avaliação do cafeeiro quanto ao progresso da ferrugem

A quantificação da ferrugem do cafeeiro foi realizada mensalmente, coletando-se para avaliação cinco folhas de cada lado da planta, entre o terço médio e

o inferior, no 3^o ou 4^o par de folhas completamente desenvolvidas, totalizando 10 folhas/planta e 50 folhas/unidade experimental. Após a coleta, foram determinadas a incidência e a severidade da ferrugem.

A incidência foi determinada pela contagem do número de folhas com pústulas de ferrugem esporulando. A porcentagem de incidência em cada unidade experimental foi calculada dividindo-se o número de folhas com pústulas de ferrugem esporulando pelo número total de folhas coletadas multiplicado por 100.

A severidade da ferrugem em cada unidade experimental foi quantificada de duas formas: a) pela estimação da área lesionada por folha (SEV), conforme escala diagramática proposta por Kushalappa e Chaves (1978); b) pela contagem do número de pústulas de ferrugem esporulando por folha (NPFF).

Com os dados de incidência, severidade e número de pústulas por folha, foram traçadas as curvas de progresso da doença para as plantas submetidas a cada tratamento, no período compreendido entre os meses de novembro a julho do ano seguinte. As áreas abaixo das curvas de progresso da incidência (AACPI), da severidade (AACPS) e do número de pústulas de ferrugem do cafeeiro por folha (AACPNP) foram calculadas pelo método de integração trapezoidal (CAMPBELL e MADDEN, 1990).

Os valores da AACPI, AACPS e AACPNP foram então padronizados, dividindo-se o valor obtido pela duração total da epidemia em cada ano. Cinco outras variáveis foram extraídas de cada uma das curvas de progresso: 1 - Incidência: inicial no mês de novembro (IIF), na colheita (IFC), máxima (IMF), final no mês de julho (IFF) e o acréscimo mensal da incidência (dIN/dt); 2 - Severidade: inicial no mês de novembro (SIF), na colheita (SFC), máxima (SMF), final no mês de julho (SFF) e o acréscimo mensal da severidade (dS/dt); 3 - Número de pústulas por folha: inicial no mês de novembro (NPI), na colheita (NPC), máximo (NPM), final no mês de julho (NPF) e o acréscimo mensal do número de pústulas por folha (dNP/dt).

2.3. Avaliação do cafeeiro quanto à produtividade

A produtividade do cafeeiro foi avaliada no período de 2001 a 2006. Em cada ano, as plantas foram colhidas quando mais de 80% dos frutos estavam no estágio de cereja. Após a colheita e pesagem dos frutos de cada unidade experimental, retirou-se uma amostra de dois litros de café cereja para determinar o rendimento. Essas

amostras foram pesadas e levadas para secagem ao sol. Após a secagem, os frutos foram beneficiados e pesados novamente. O rendimento de frutos para cada unidade experimental foi calculado dividindo-se o peso do café cereja pelo peso do café beneficiado. Posteriormente, efetuou-se a conversão da produção do café cereja para produtividade em sacas de café beneficiado por hectare.

2.4. Análise dos dados

Os conjuntos de dados compostos pelas seis variáveis obtidas de cada curva de progresso da incidência (IIF, IFC, IMF, IFF, AACPIF e dIN/dt), da severidade (SIF, SFC, SMF, SFF, AACPSF e dS/dt) e do número de pústulas por folha (NPI, NPC, NPM, NPF, AACPNP e dNP/dt) da ferrugem do cafeeiro foram submetidos à análise de regressão múltipla com seleção *stepwise*, utilizando-se para isso o procedimento STEPDISC do SAS (*Statistical Analysis Software System – Versão 9,0*; SAS Institute 2004, Cary, NC). Esse procedimento permitiu selecionar as variáveis de maior poder de discriminação entre resultados obtidos com os tratamentos. As variáveis foram selecionadas de acordo com: (1) O valor de F parcial da análise de co-variância, pelo qual se obtém a significância ($P < 0,10$) do modelo. As variáveis selecionadas agem como co-variáveis e as novas variáveis que dão entrada no modelo agem como variáveis independentes. (2) A correlação quadrada parcial, a qual dá a variância única explicada pela variável independente no modelo ($P < 0,10$) e reflete a correlação entre uma variável independente e a dependente, enquanto se controlam os efeitos preditivos de todas as outras variáveis sobre a variável independente em estudo.

Cada variável selecionada foi submetida à análise de variância por medidas repetidas usando-se o procedimento ANOVA do SAS. O termo medida repetida é usado para referir-se a dados coletados numa mesma unidade experimental ao longo do tempo e pode ser utilizado como alternativa à análise de variância tradicional.

O efeito dos tratamentos fitossanitários ao longo do tempo foi estudado através da análise das Curvas de Respostas Principais (Principal Response Curves – PRC). O método PRC é baseado na Análise de Redundância Parcial (RDA), ajustada para todas as mudanças na resposta da doença ao longo do tempo, em comparação com um tratamento-padrão (Testemunha). O foco desse método é o efeito do tratamento dependente do tempo. O PRC extrai do primeiro autovalor (PRC1)

somente as informações da parte da análise de variância que é explicada pela interação tratamento * tempo, sempre comparando as variáveis explicativas submetidas aos tratamentos propostos com a resposta obtida com o tratamento-padrão. Como resultado, um diagrama é gerado, contendo o tempo no eixo das abscissas e os coeficientes canônicos relativos ao tratamento-padrão no eixo das ordenadas. Os coeficientes canônicos relativos aos diferentes tratamentos são mostrados como um desvio em relação ao tratamento-padrão, os quais podem ser interpretados qualitativamente (dentro de um mesmo tempo) e, ou, quantitativamente, ao longo de todo o período avaliado. Quanto mais próxima a curva de resposta ao tratamento estiver da curva apresentada pela testemunha, menor será a eficácia de controle desse tratamento. O diagrama também mostra um segundo eixo nas ordenadas (VAR1) para indicar o peso de cada uma das variáveis nas curvas de respostas apresentadas.

A significância do PRC1 foi avaliada com o teste Monte Carlo, pela permutação de todos os anos, em todos os tratamentos utilizados na RDA da qual o PRC1 foi obtido. A hipótese de nulidade foi que o efeito do tratamento foi igual a zero em todos os tratamentos e tempos. A análise do PRC foi realizada com o auxílio do *software* CANOCO for Windows 4.5, seguindo-se as recomendações de Ter Braak e Smilauer (1998).

A análise dos dados de produtividade foi feita de acordo com o esquema de parcela subdividida no tempo. As parcelas foram constituídas por oito tratamentos fitossanitários e as subparcelas pelos seis anos de avaliação. O desdobramento dos tratamentos dentro de cada ano foi realizado por meio do procedimento ANOVA do PROC MIXED do SAS e as médias foram separadas usando-se a opção LSMEANS. Comparações específicas entre as médias dos tratamentos foram feitas adicionando-se a opção 'CONTRAST' no PROC MIXED, nos níveis de 1 e 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS

Os cafeeiros do tratamento-testemunha não receberam nenhuma aplicação de fungicidas e apresentaram baixa intensidade da ferrugem entre os meses de novembro de um ano a janeiro do ano seguinte. Em alguns anos, esse período de

baixa incidência estendeu-se até março. A partir daí, ocorreu aumento progressivo da doença, que atingiu incidência máxima nos meses de junho ou julho e apresentou redução significativa de agosto a novembro. As curvas de progresso da doença nos cafeeiros que receberam aplicação de fungicidas seguiram o mesmo padrão do tratamento-testemunha, mas a incidência da ferrugem variou entre os cafeeiros submetidos a tratamentos nos diferentes anos de avaliação (Figura 1).

Em 2001, nenhuma aplicação do fungicida sistêmico epoxiconazole foi feita no tratamento baseado na incidência igual a 10%. Isso porque a doença só atingiu o índice de controle no início de abril, quando a maioria dos frutos estava no estágio de cereja. A doença evoluiu rapidamente nessas plantas, acompanhando a curva de progresso da ferrugem nas plantas-testemunha, e atingiu 44% de incidência no mês de junho.

No tratamento baseado em 5% de incidência, a aplicação de epoxiconazole foi realizada no início de março e atrasou o desenvolvimento da ferrugem, que atingiu a incidência máxima de 39% no mês de junho. O tratamento com ciproconazole + tiametoxan GR resultou em aumento da ferrugem a partir de abril, até a doença atingir a incidência de 39% ao final da epidemia. A curva de progresso da ferrugem apresentada foi idêntica à obtida com o tratamento iniciado ao se constatar 5% de incidência da doença nos cafeeiros. Os demais tratamentos controlaram eficientemente a ferrugem nesse ano. A incidência máxima observada no tratamento baseado no calendário de aplicação de epoxiconazole foi de 21%. No tratamento com ciproconazol + tiametoxan GR complementado com quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes e nos tratamentos com quatro aplicações de oxiclreto de cobre ou com mistura de sulfato de cobre + nutrientes, os cafeeiros mantiveram a incidência de ferrugem abaixo de 10%. A doença continuou evoluindo, apesar dos tratamentos pós-colheita.

Em 2002, os tratamentos com fungicidas cúpricos não foram eficientes no controle da ferrugem, que atingiu a incidência de 40%. O tratamento que associou produto via solo em anos alternados com fungicida protetor incluiu somente quatro aplicações da mistura de sulfato de cobre + nutrientes nesse ano e apresentou como resultado a incidência máxima de ferrugem de 21% no mês de maio.

A aplicação de ciproconazole com tiametoxan GR, em novembro de 2001, manteve a incidência da ferrugem abaixo de 20% até o mês de maio de 2002. Apenas uma aplicação de epoxiconazole foi realizada nos tratamentos baseados na

amostragem nos meses de dezembro de 2001 e janeiro de 2002, quando a doença atingiu a incidência de 5 e 10%, respectivamente. A incidência de ferrugem, nos cafeeiros cujo tratamento foi iniciado com a constatação de 10% de incidência da doença, atingiu 26% no mês de abril, próximo à data da colheita. Com o tratamento que incluiu duas aplicações de epoxiconazole nos meses de janeiro e março, obteve-se incidência máxima da ferrugem de 25% em maio, sendo reduzida após a colheita.

Em 2003, o tratamento com ciproconazole + tiametoxan GR, em novembro, controlou ferrugem até o mês de abril. A doença evoluiu rapidamente nos meses seguintes e atingiu 68% de incidência em junho, superando o valor de 54%, registrado na testemunha. O tratamento que associou o mesmo produto via solo com as quatro aplicações de sulfato de cobre com nutrientes manteve a incidência abaixo de 5%. Os tratamentos iniciados com base na amostragem que indicava 5 e 10% de incidência não receberam aplicação do fungicida sistêmico epoxiconazole nesse ano. A ferrugem começou a evoluir nas plantas a partir de abril. A curva de progresso da doença no caso das plantas cujo tratamento foi iniciado quando da verificação de 10% de incidência foi semelhante à curva apresentada pelas plantas do tratamento-testemunha, que atingiram mais de 50% de ferrugem em julho. Quando o tratamento foi iniciado ao se constatar 5% de incidência da ferrugem, a doença atingiu 22% no mês de junho.

Em 2004, a ferrugem começou a evoluir nas unidades experimentais a partir de janeiro. Os tratamentos com aplicações de fungicidas cúpricos (oxicloreto de cobre ou sulfato de cobre + nutrientes) atrasaram o progresso da doença, mas sua incidência atingiu 40% nos meses de maio e junho. O tratamento com aplicação anual de ciproconazole + tiametoxan GR manteve a ferrugem próximo de 20% de incidência desde o mês de janeiro. O tratamento que associou produto via solo com fungicida protetor, realizando-se apenas quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes, nesse ano, manteve as plantas nas parcelas com menos de 12% de incidência da ferrugem. A curva de progresso da ferrugem obtida com esse tratamento foi semelhante à obtida com o tratamento que incluiu duas aplicações foliares de epoxiconazole.

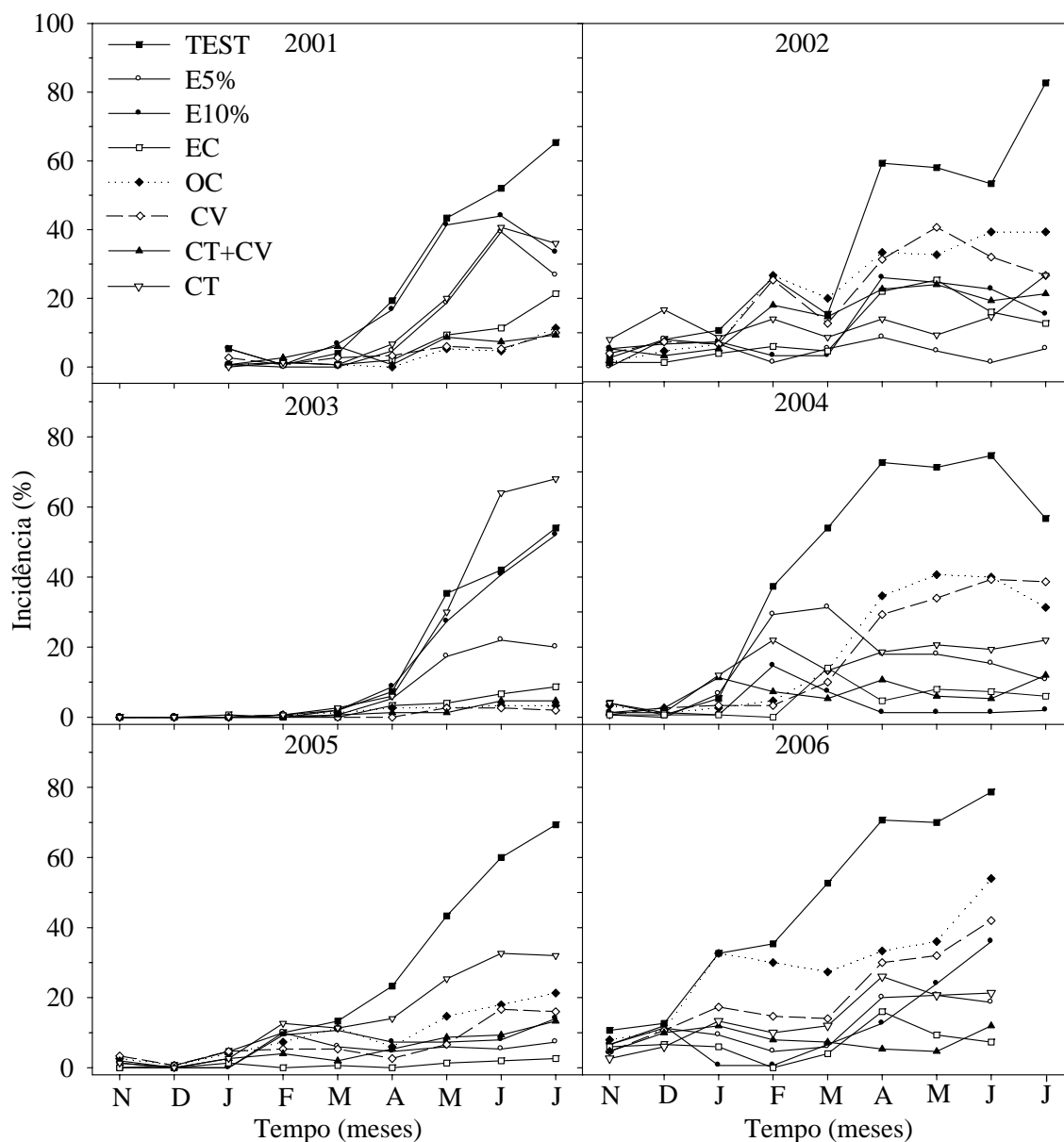


Figura 1 – Incidência da ferrugem do cafeeiro (%) ao longo do tempo (meses) nas plantas submetidas aos diferentes tratamentos fitossanitários, entre os anos de 2001 e 2006. TEST=Testemunha; E5%=Epoconazole aplicado após a constatação de 5% de incidência; E10%= Epoconazole aplicado após a constatação de 10% de incidência; EC=Epoconazole aplicado em dezembro e março (Calendário); OC=Oxicloreto de cobre aplicado de dezembro a março; CV=Sulfato de cobre + nutrientes (calda Viçosa) aplicado de dezembro a março; CT+CV=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo em anos alternados, complementado com sulfato de cobre + nutrientes por via foliar; CT=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo.

O tratamento iniciado ao se constatar 5% de incidência consistiu, nesse ano, de duas aplicações consecutivas de epoxiconazole nos meses de fevereiro (0,6 L/ha) e março (0,4 L/ha), para reduzir a incidência da ferrugem, que atingiu 30% nessa época. Com base em observações visuais das plantas, no mês de abril, verificou-se que as folhas das brotações novas estavam pequenas e retorcidas na unidade experimental que recebeu esse tratamento. Nas avaliações seguintes, esses sintomas desapareceram e houve redução na intensidade de ferrugem nas plantas. Já o tratamento iniciado quando se observou 10% de incidência constou de apenas uma aplicação no dia 19/02/2004. Com esse tratamento, a incidência da ferrugem foi reduzida de 15% em fevereiro para 2% nos meses de abril a julho.

Em 2005, as unidades experimentais que foram submetidas aos tratamentos com produto via solo receberam a aplicação de ciproconazole + tiametoxan GR no início de dezembro. A unidade que recebeu complementação com sulfato de cobre + nutrientes manteve a incidência da ferrugem abaixo de 15%, enquanto a unidade que não recebeu tratamento foliar apresentou 32% de incidência no mês de junho. Os tratamentos baseados no calendário de aplicação foliar com fungicidas cúpricos (oxicloreto de cobre e sulfato de cobre + nutrientes) e sistêmico (epoxiconazole) apresentaram como resultado menos de 21% de incidência de ferrugem ao final da epidemia. Apenas uma aplicação no mês de fevereiro foi necessária para manter a porcentagem de incidência nas plantas que receberam tratamentos de acordo com a amostragem de plantas afetadas pela doença.

No último ano de avaliação, 2006, a incidência da ferrugem começou a evoluir desde o mês de novembro. Os tratamentos que consistiram de quatro aplicações de fungicidas cúpricos não foram eficientes em reduzir a intensidade da ferrugem. A incidência da doença em janeiro, nas plantas tratadas com oxicloreto de cobre foi de 33%, enquanto nas tratadas com sulfato de cobre + nutrientes verificou-se 17% de incidência nessa mesma época. Após o término das pulverizações, ocorreu atraso no desenvolvimento da ferrugem nas plantas submetidas a esses tratamentos, mas a doença voltou a aumentar nos meses seguintes.

O tratamento com fungicida sistêmico via solo complementado com protetor incluiu aplicações de sulfato de cobre + nutrientes e apresentou como resultado menos de 12% de incidência de ferrugem nos cafeeiros. No tratamento com epoxiconazole, iniciado quando se constatou 5% de incidência de ferrugem, foram feitas uma aplicação em dezembro e outra em março. As duas aplicações realizadas

coincideram com a época determinada no calendário para a aplicação do epoxiconazole. O tratamento iniciado quando a incidência da doença atingiu 10% consistiu de apenas uma aplicação em dezembro, pois em março a ferrugem não tinha atingido os 10% de incidência. A doença voltou a evoluir a partir de abril, mas não foi feita aplicação do produto nessa unidade experimental.

3.1. Exploração gráfica das curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro

A análise de regressão múltipla, com o procedimento de seleção *stepwise*, permitiu selecionar somente variáveis representativas da incidência, da severidade e do número de pústulas de ferrugem por folha relevantes para se obter uma máxima discriminação entre os resultados alcançados com os diferentes tratamentos fitossanitários (Tabela 2).

Tabela 2 - Variáveis selecionadas nas curvas de progresso de incidência, severidade e número de pústulas de ferrugem por folha em plantas de cafeeiro submetidas a diferentes tratamentos fitossanitários, em Viçosa-MG, no período de 2001 a 2006

Variáveis ¹	R ² Parcial*	Teste F da análise de co-variância		Correlação quadrada parcial	
		F	P	Média da correlação canônica quadrada	P
IFF	0,5924	28,24	< 0,0001	0,0846	< 0,0001
IMF	0,0984	2,10	0,0471	0,0984	< 0,0001
AACPIF	0,1155	2,50	0,0191	0,1123	< 0,0001
SMF	0,5135	20,51	< 0,0001	0,0733	< 0,0001
NPFF	0,6533	36,60	< 0,0001	0,0933	< 0,0001

¹Variáveis: IFF = incidência da ferrugem ao final da epidemia (em julho); IMF = incidência máxima da ferrugem; AACPIF = área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro padronizada; SMF = severidade máxima da ferrugem; NPFF = número de pústulas de ferrugem por folha ao final da epidemia (em julho). * R² parcial indica o poder explicativo adicional que a variável selecionada acrescenta ao modelo.

Cada variável selecionada foi individualmente submetida à análise de variância por medidas repetidas. Isso foi possível porque os dados obtidos para construção das curvas de progresso foram avaliados nas mesmas unidades experimentais em todos os anos. Os efeitos de tratamentos, tempo e a interação tratamento*tempo foram significativos ($P < 0,05$) para todas as variáveis analisadas, indicando efeito diferenciado dos tratamentos fitossanitários ao longo de seis anos de avaliação dos cafeeiros quanto à ferrugem (Tabela 3).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância por medidas repetidas para as variáveis relacionadas à incidência, severidade e número de pústulas de ferrugem por folha do cafeeiro, no período de 2001 a 2006

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios ¹				
		IFF ²	IMF	AACPIF	SMF	NPPF
Bloco	2	137,528	106,778	78,264	0,296	0,696
Tratamento	7	6.203,171**	5.592,187**	1.179,126**	5,922**	38,371**
Erro (a)	14	83,242	88,365	25,710	0,053	0,916
Tempo	5	374,494**	599,428**	522,843**	1,134**	2,748*
Tempo*Tratamento	35	584,323**	624,101**	143,464**	0,599**	2,200**
Tempo*Bloco	10	58,194	46,811	16,365	0,122	0,710
Erro (b)	70	78,994	67,065	16,079	0,144	0,862

¹ *, **: Significância a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ²Variáveis: IFF = incidência da ferrugem no final da epidemia (em julho); IMF = incidência máxima da ferrugem; AACPIF = área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro (padronizada); SMF = severidade máxima da ferrugem; NPPF = número de pústulas de ferrugem por folha ao final da epidemia (em julho).

O desdobramento da interação para estudar o efeito dos tratamentos ao longo do tempo foi feito por meio da análise da curva de resposta principal (PRC) das diferentes estratégias de aplicação de produtos fitossanitários sobre a intensidade da ferrugem do cafeeiro. Nesta técnica, somente a parte das informações explicada pela interação tratamento*tempo foi extraída no primeiro componente principal ou curvas de resposta principal (PRC1). Os resultados obtidos formaram os diagramas apresentados na Figura 2, nos quais os anos de avaliação foram mostrados no eixo das abscissas e o coeficiente canônico relativo ao tratamento-controle (testemunha)

no eixo das ordenadas. Os coeficientes correspondentes aos diferentes tratamentos fitossanitários foram mostrados como um desvio em relação à testemunha.

Com base no teste de permutação Monte Carlo (499 permutações), verificou-se que o primeiro eixo canônico (PRC1) foi significativo ($P < 0,01$) em todos os diagramas gerados e explicou mais de 88% da variabilidade dos dados (Tabela 4).

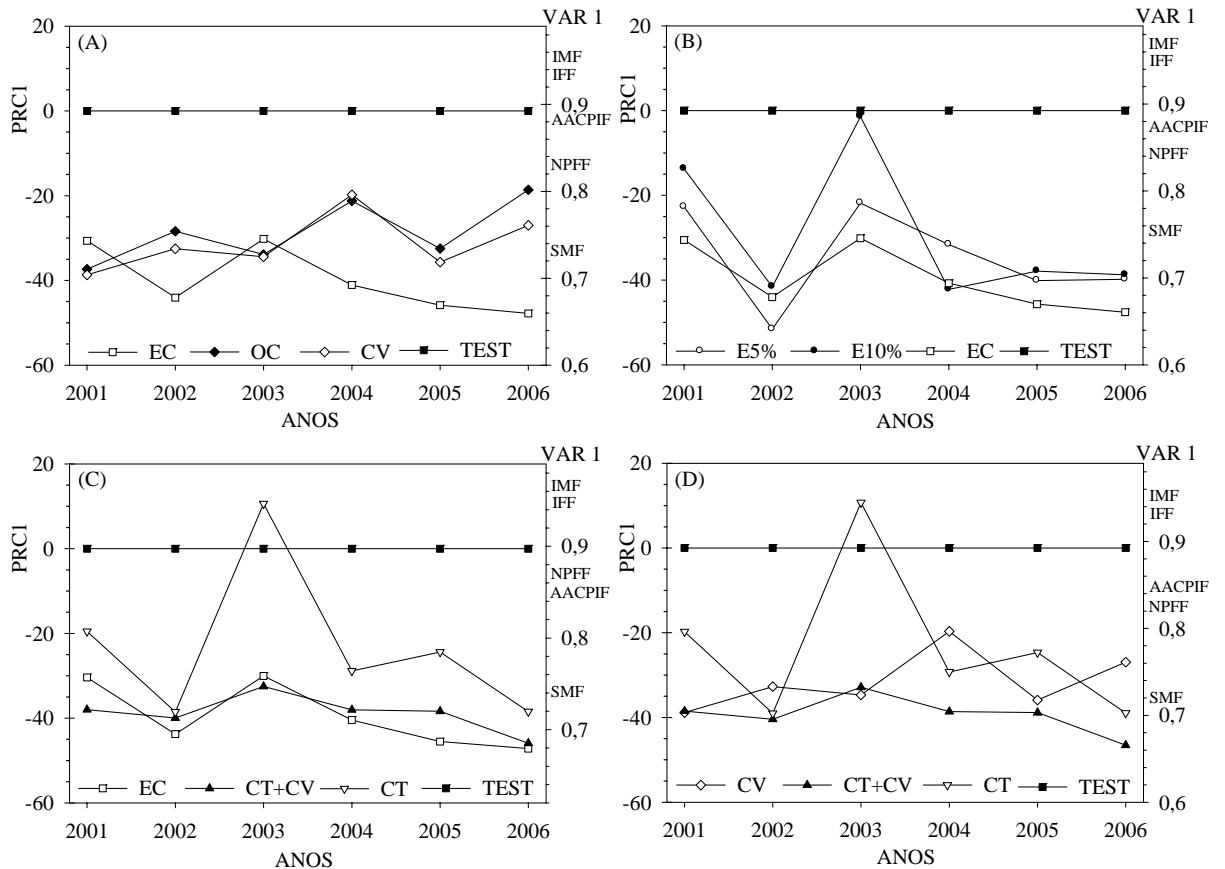


Figura 2 - Diagramas das curvas de respostas principais da intensidade da ferrugem, representadas pelo primeiro eixo canônico (PRC1), em cafeeiros submetidos aos diferentes tratamentos fitossanitários no período de 2001 a 2006 em Viçosa-MG. VAR1: indica o peso de cada variável nas curvas de respostas apresentadas pelo PRC1. Tratamentos: TEST=Testemunha; E5%=Epoconazole aplicado após a constatação de 5% de incidência; E10%= Epoconazole aplicado após a constatação de 10% de incidência; EC=Epoconazole aplicado em dezembro e março (Calendário); OC=Oxicloreto de cobre aplicado de dezembro a março; CV=Sulfato de cobre + nutrientes (calda Viçosa) aplicado de dezembro a março; CT+CV=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo em anos alternados, complementado com sulfato de cobre + nutrientes por via foliar; CT=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo.

Tabela 4 - Teste de permutação Monte Carlo para a significância do primeiro eixo canônico (499 permutações).

Estratégias de aplicação	Autovalor ¹	Variância explicada ² (%)	Teste de significância	
			F	P
(A) Fungicida sistêmico aplicado por via foliar vs Fungicida protetor aplicado por via foliar	0,889	97,2	382,63	0,002
(B) Fungicida sistêmico aplicado por via foliar de acordo com calendário vs Fungicida sistêmico aplicado de acordo com amostragem	0,897	95,9	419,93	0,002
(C) Fungicida sistêmico aplicado por via foliar vs Fungicida sistêmico aplicado por via solo	0,907	96,8	461,73	0,002
(D) Fungicida sistêmico aplicado por via solo anualmente vs Fungicida sistêmico aplicado via solo em anos alternados	0,884	96,5	366,20	0,002

¹Autovalor: indica quanto da variância está sendo mostrada pelo primeiro eixo canônico (PRC1).

²Variância explicada pelo primeiro eixo canônico: descreve a porcentagem de contribuição deste eixo em relação à soma de todos os eixos.

Nos diagramas apresentados na Figura 2, um segundo eixo das ordenadas foi apresentado à direita (VAR1), para indicar o peso de cada variável isoladamente nas curvas de resposta aos tratamentos. As variáveis relacionadas à incidência (IFF, IMF e AACPIF) apresentaram maior peso, e por isso apenas as curvas de progresso baseadas na incidência da ferrugem foram apresentadas na Figura1.

Apenas no primeiro e no terceiro ano, o uso do calendário de aplicação de fungicida sistêmico apresentou eficiência de controle igual à dos tratamentos protetores. Nos demais anos, a estratégia de utilizar fungicida sistêmico possibilitou controle mais eficiente do que a aplicação de fungicidas protetores. Entre os fungicidas protetores, as curvas de respostas ao oxiclóreto de cobre e à mistura de

sulfato de cobre + nutrientes foram muito semelhantes. Entretanto, o oxiclureto de cobre apresentou menor eficiência no segundo, quinto e sexto anos de avaliação, sendo os resultados de todos os tratamentos diferentes do apresentado pela testemunha (Figura 2A).

O uso do calendário de aplicação foliar de epoxiconazole mostrou-se eficiente, quando comparado às estratégias de amostragem e de aplicação de fungicida sistêmico via solo. Dentre os esquemas de amostragem, aquele em que a decisão de realizar a aplicação do fungicida foi tomada quando se observou 5% de incidência de ferrugem nas plantas possibilitou controle mais eficiente nos três primeiros anos do que o tratamento em que se esperava a incidência de 10% para iniciar as aplicações. Nos dois últimos anos, não houve diferença entre os resultados obtidos utilizando-se esses valores de amostragem (Figura 2B).

A curva de resposta ao tratamento com aplicação anual de ciproconazole + tiametoxan GR mostrou menor eficiência desse tratamento no controle da ferrugem em relação ao mesmo produto aplicado em anos alternados e complementado com quatro aplicações da mistura de sulfato de cobre + nutrientes. Essa integração de fungicida aplicado via solo com fungicidas cúpricos possibilitou controle semelhante ao obtido com o uso do calendário de aplicação de fungicida sistêmico foliar em praticamente todos os anos (Figura 2C).

Com a combinação do fungicida cúprico aplicado anualmente e um sistêmico aplicado, por via solo, em anos alternados também se obteve melhor resposta de controle em todos os anos, em comparação com o uso do calendário de aplicação de sulfato de cobre + nutrientes ou calendário anual de aplicação do produto via solo (Figura 2D).

3.2. Efeito dos tratamentos na produtividade do cafeeiro

A época de colheita dos frutos variou ao longo das seis safras de cultivo, sendo realizada em 09/05/2001, 30/04/2002, 16/06/2003, 26/05/2004, 08/07/2005 e 26/06/2006. A primeira colheita foi feita quando a lavoura estava com nove anos de idade, e a última, com 14 anos. A variação na data da colheita nos diferentes anos não interferiu nos resultados de produtividade, pois o rendimento (determinado pelo beneficiamento do café cereja) foi calculado para cada ano separadamente,

corrigindo-se possíveis alterações no peso do café cereja que poderiam ocorrer nos anos em que os frutos fossem colhidos mais tarde.

A produtividade média obtida no experimento foi de 24,6 sacas de café beneficiado por hectare. Essa produtividade pode ser considerada média, em função da idade e do espaçamento mais largo utilizado na lavoura. Os anos de 2002 e 2005 apresentaram produtividades superiores à média. Nos anos de 2003, 2004 e 2006 obteve-se produtividade abaixo da média (Tabela 5).

Tabela 5 - Produtividade média e desvio-padrão (em sacas de café beneficiado por hectare) obtida em cafeeiros submetidos aos diferentes tratamentos fitossanitários, no período de 2002 a 2006, em Viçosa, MG

Tratamentos ²	Produtividade média ¹ (Scs. café ben./ha)					Média
	2002	2003	2004	2005	2006	
1- TEST	26,4 ± 7,4	7,4 ± 2,1	23,3 ± 7,3	14,1 ± 3,3	9,3 ± 1,4	16,1
2- E5%	42,4 ± 7,0	9,0 ± 1,4	22,8 ± 6,5	17,8 ± 10,9	11,8 ± 4,6	20,8
3- E10%	31,6 ± 5,4	19,5 ± 3,4	9,1 ± 1,7	38,2 ± 4,7	7,8 ± 3,1	21,2
4- EC	53,7 ± 3,0	13,9 ± 2,6	29,0 ± 4,0	38,9 ± 8,1	7,0 ± 1,1	28,5
5- OC	70,7 ± 10,4	8,1 ± 2,0	28,5 ± 5,1	24,3 ± 10,2	20,5 ± 3,9	30,4
6- CV	55,6 ± 4,4	11,1 ± 2,0	24,4 ± 5,0	13,9 ± 2,6	11,9 ± 2,8	23,4
7- CT+CV	58,3 ± 10,6	13,4 ± 4,3	16,5 ± 7,2	37,0 ± 2,0	10,3 ± 3,5	27,1
8- CT	67,6 ± 10,6	20,3 ± 6,9	10,3 ± 3,6	37,5 ± 6,5	9,0 ± 4,3	29,0
Média	50,8	12,8	20,5	27,7	11,0	24,6

¹Cada dado representa a média de três repetições.

² Tratamentos: TEST=Testemunha; E5%=Epoconazole aplicado após a constatação de 5% de incidência; E10%= Epoconazole aplicado após a constatação de 10% de incidência; EC=Epoconazole aplicado em dezembro e março (Calendário); OC=Oxicloreto de cobre aplicado de dezembro a março; CV=Sulfato de cobre + nutrientes (calda Viçosa) aplicado de dezembro a março; CT+CV=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo em anos alternados, complementado com sulfato de cobre + nutrientes por via foliar; CT=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo.

Os dados da primeira colheita não foram utilizados no cálculo da média geral, uma vez que a produtividade obtida em 2001 não refletiu o efeito dos tratamentos. Nesse ano, não houve diferença entre a média de produtividade das plantas que

receberam tratamentos fitossanitários (37,9 Scs. café ben./ha) e daquelas não tratadas (37,8 Scs. ben./ha).

Com base na análise de variância dos dados de produtividade, verificou-se que houve interação significativa entre tratamentos fitossanitários e anos ($P < 0,05$). O desdobramento dessa interação, em cada ano avaliado, foi realizado por meio de contrastes, comparando-se as médias de produtividade obtidas nos tratamentos envolvendo diferentes estratégias de controle da ferrugem do cafeeiro (Tabela 6).

Em 2002, a maior média de produtividade foi obtida com os tratamentos em que foram feitas quatro aplicações de fungicidas cúpricos, devido, em grande parte, à aplicação de oxiclreto de cobre. Esses tratamentos proporcionaram acréscimo de 20% em relação aos tratamentos que consistiram em aplicação de fungicidas sistêmicos por via foliar e via solo. A média de produtividade obtida com os tratamentos com fungicida + inseticida sistêmico aplicado via solo foi 32% maior que a média resultante dos tratamentos com fungicida sistêmico epoxiconazole aplicado por via foliar. Ressalta-se que, nesse ano, o tratamento CT+CV incluiu apenas quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes. Os resultados dos tratamentos envolvendo a aplicação por via foliar de epoxiconazole diferiram em relação aos que seguiram o calendário fixo ou que foram feitos de acordo com o sistema de amostragem. Os cafeeiros que receberam quatro aplicações de oxiclreto de cobre produziram 21% a mais que os tratados com sulfato de cobre + nutrientes.

Em 2003, as maiores médias de produtividade foram obtidas com os tratamentos em que se empregaram fungicida sistêmico. O uso do calendário anual de aplicações de ciproconazole + tiametoxan GR resultou em acréscimo de 34% de produtividade em relação ao tratamento em que os cafeeiros receberam, além do produto via solo, quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes. Em relação aos fungicidas sistêmicos aplicados por via foliar, não houve diferença entre as produtividades obtidas com os sistemas de amostragem e com o de calendário. Entretanto, o tratamento iniciado após a constatação de incidência de 10% de ferrugem proporcionou acréscimo de 54% na produtividade, em relação ao mesmo tratamento iniciado quando as plantas apresentaram 5% de incidência. O grupo de médias formado pelos tratamentos que incluíram fungicidas sistêmicos resultou em acréscimo de 37% em relação aos tratamentos com cúpricos.

Em 2004, a média de produtividade nos tratamentos em que se empregaram fungicidas cúpricos foi 34% maior em relação aos tratamentos com fungicidas

sistêmicos. Os tratamentos envolvendo a aplicação de fungicida + inseticida sistêmico via solo resultaram em acréscimo de 34% em relação à aplicação do fungicida sistêmico epoxiconazole por via foliar. A aplicação do epoxiconazole seguindo o calendário proporcionou ganho de 45% na produtividade do cafeeiro em relação à aplicação do mesmo produto no sistema de amostragem. A baixa produtividade obtida com os tratamentos com aplicação anual ou alternada de ciproconazole + tiametoxan GR e com o tratamento com aplicação de epoxiconazole a 10% de incidência reduziram a média do grupo de tratamentos com fungicidas sistêmicos. A aplicação de epoxiconazole a 5% de incidência proporcionou acréscimo de 58% na produtividade do cafeeiro em relação ao tratamento baseado em 10%.

Em 2005, os cafeeiros que receberam tratamentos com fungicidas sistêmicos produziram 44% a mais do que aqueles tratados com fungicidas cúpricos. O Epoxiconazole, quando aplicado de acordo com o calendário, proporcionou ganho de 28% a mais nos tratamentos em que foi aplicado no sistema de amostragem. Quando o tratamento foi iniciado ao se constatar 10% de incidência de ferrugem, os cafeeiros produziram 53% a mais que quando se observou 5% de incidência da doença. Não houve diferença de produtividade entre plantas que receberam oxiclreto de cobre ou mistura de sulfato de cobre + nutrientes.

O ano de 2006 foi caracterizado por baixa produtividade em quase todas as unidades experimentais, à exceção daquelas tratadas com oxiclreto de cobre, que produziram 45% a mais em relação às médias das demais unidades e 42% a mais que a tratada com a mistura de sulfato de cobre + nutrientes. Esse ganho de produtividade contribuiu para o significativo incremento de 43% na produtividade proporcionada pelos tratamentos com fungicidas cúpricos em relação à produtividade alcançada com o uso de fungicidas sistêmicos aplicados por via foliar ou via solo.

Tabela 6 - Contrastes médios e suas significâncias para produtividade de cafeeiros submetidos a diferentes tratamentos fitossanitários, no período de 2002 a 2006, em Viçosa, MG.

Contrastes	Contrastes médios ¹					
	2002	2003	2004	2005	2006	Média
Testemunha vs Cafeeiros tratados com fungicidas	-27,871** (51%) ²	-6,214** (46%)	3,214 ^{ns}	-15,557** (53%)	-1,886 ^{ns}	-9,671** (38%)
Fungicidas sistêmicos vs Fungicidas protetores	-12,430** (20%)	5,620** (37%)	-8,910** (34%)	14,780** (44%)	-7,020** (43%)	-1,580* (6%)
Fungicida sistêmico aplicado por foliar vs Fungicida sistêmico aplicação via solo	-20,383** (32%)	-2,717 ^{ns}	6,900* (34%)	-5,617 ^{ns}	-0,783 ^{ns}	-4,550** (16%)
Epoconazole aplicado de acordo com amostragem vs Epoconazole aplicado seguindo o calendário	-16,700** (31%)	0,350 ^{ns}	-13,050** (45%)	-10,900* (28%)	2,800 ^{ns}	-7,500** (26%)
Epoconazole aplicado após a constatação de 5% de incidência de ferrugem vs Epoconazole aplicado após a constatação de 10% de incidência	10,800 ^{ns}	-10,500** (4%)	13,700** (58%)	-20,400** (53%)	4,000 ^{ns}	-0,400 ^{ns}
Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado anualmente via solo vs Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado em anos alternados	9,300 ^{ns}	6,900* (34%)	-6,200 ^{ns}	0,500 ^{ns}	-1,300 ^{ns}	1,900 ^{ns}
Sulfato de cobre + nutrientes vs Oxicloreto de cobre	-15,100* (21%)	3,000 ^{ns}	-4,100 ^{ns}	-10,400 ^{ns}	-8,600** (42%)	-7,000** (23%)
CV(%) ³	16,5	27,2	27,0	24,7	29,3	4,9

¹ *, **: Significância nos níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo. ² Números entre parênteses representam o acréscimo de produtividade proporcionado pelo grupo de médias usado nos contrastes. ³ Coeficiente de variação dado em porcentagem.

Com base na média de cinco safras, observou-se que a adoção do controle químico da ferrugem do cafeeiro proporcionou aumento de 38% na produtividade em relação às plantas que não receberam fungicidas. Dentre as estratégias de controle, o uso de fungicidas protetores possibilitou acréscimo de 5% na produtividade do cafeeiro em relação à aplicação de fungicidas sistêmicos aplicados por via foliar ou via solo. A produtividade obtida nos tratamentos que receberam epoxiconazole por foliar foi em média 16% menor do que a proporcionada pelos tratamentos que incluíram aplicação de ciproconazole + tiamentoxan GR, complementado ou não com sulfato de cobre + nutrientes. Dentre os tratamentos em que as aplicações foram feitas por via foliar, a estratégia de utilizar o calendário de aplicação proporcionou ganho médio de 26% em relação ao sistema de amostragem. Não houve diferença significativa na produtividade dos cafeeiros submetidos a tratamentos com início determinado pela incidência de ferrugem de 5 ou 10% . Com relação à fonte de cobre utilizada no controle preventivo da doença, também se observou diferença em termos de produtividade; os cafeeiros que receberam tratamento com oxiclureto de cobre produziram 23% a mais do que os tratados com sulfato de cobre + nutrientes.

4. DISCUSSÃO

Os resultados apresentados fazem parte de um conjunto de dados obtidos em seis anos de avaliação de cafeeiros submetidos a diferentes estratégias de controle químico da ferrugem. Ao contrário do que normalmente se encontra na literatura referente a outros patossistemas, não foi possível ajustar os dados do progresso da ferrugem aos modelos biológicos clássicos (exponencial, monomolecular, logístico e de gompertz) e utilizar os parâmetros desses modelos para comparar as curvas de progresso geradas para cada tratamento em cada ano.

O emprego de diferentes fungicidas gerou curvas de progresso da doença com formato variado para os diferentes tratamentos, o que resultou em baixos valores de coeficiente de determinação, falta de significância dos parâmetros estatísticos do modelo e, principalmente, má distribuição dos erros nos gráficos. A recomendação na literatura é que parâmetros epidemiológicos retirados de modelos diferentes não

devem ser utilizados para se comparar epidemias (CAMPBELL e MADDEN, 1990; JESUS JUNIOR et al., 2004).

Assim, optou-se, neste trabalho, por fazer as comparações dos tratamentos extraíndo-se variáveis das curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro. Esse procedimento é considerado como uma etapa inicial nos estudos epidemiológicos de doenças de plantas, mas pode fornecer informações tão importantes quanto o uso de modelos estatísticos para estimar parâmetros epidemiológicos visando à comparação de epidemias (JESUS JUNIOR et al., 2004).

Normalmente, quando o ajuste dos dados aos modelos epidemiológicos clássicos não é possível, a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) torna-se uma opção na comparação univariada de epidemias, porque o valor calculado integra indiretamente todos os processos epidemiológicos ocorridos no período avaliado (CAMPBELL e MADDEN, 1990). Entretanto, um mesmo valor de AACPD pode omitir diferenças significativas do progresso de uma doença em plantas submetidas a diferentes tratamentos (JESUS JUNIOR et al., 2004). Por isso, outras cinco variáveis foram extraídas das curvas de progresso baseadas na incidência, na severidade e no número de pústulas por folha em cada unidade experimental, visando representar diferentes períodos do progresso da ferrugem do cafeeiro.

Em estudos sobre a ferrugem do cafeeiro, Silva-Acuña et al. (1999) observaram que a incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro apresentaram alta correlação entre si. Para evitar esse problema, optou-se, neste trabalho, por separar o conjunto de dados em três grupos baseados em dados coletados de incidência, severidade e número de pústulas de ferrugem por folha. Dentro de cada grupo, foram selecionadas somente as variáveis das curvas de progresso com maior poder de discriminação dos tratamentos. A presença de variáveis altamente correlacionadas num mesmo conjunto de dados pode reduzir a confiança das inferências derivadas das análises estatísticas multivariadas (MORA-AGUILERA e CAMPBELL, 1997).

Outras técnicas de análise multivariadas também podem ser utilizadas na redução da dimensionalidade de um conjunto de dados relacionadas ao progresso de doenças, como a análise de componentes principais, análise de fatores e análise de variáveis canônicas (LIBERATO, 1995; MORA-AGUILERA et al., 1996; MORA-AGUILERA e CAMPBELL, 1997; SANOGO e YANG, 2004). Entretanto, essas

técnicas permitem que variáveis altamente correlacionadas ou com baixo poder de discriminação dos tratamentos continuem presentes no conjunto de dados.

Por outro lado, medidas correlacionadas no tempo violam a pressuposição de independência dos erros (REYNOLDS e NEHER, 1997). Isso ocorre normalmente quando várias medidas da intensidade de uma doença são coletadas numa mesma unidade experimental ao longo do tempo, pois a intensidade de doença num determinado tempo depende da intensidade de doença ocorrida num tempo anterior. A análise de variância tradicional não leva em consideração esse aspecto na análise dos dados, o que pode comprometer a estrutura dos erros (variância). A análise de variância por medidas repetidas é uma alternativa em relação à análise de variância tradicional e foi utilizada neste trabalho para estudar o efeito de diferentes estratégias de controle na intensidade da ferrugem do cafeeiro, sendo as avaliações feitas ao longo de seis anos.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, verificou-se que a aplicação de técnicas mais sofisticadas de análise de dados pode ser de grande utilidade em estudos epidemiológicos de doenças de plantas, simplificando a interpretação e a apresentação dos resultados. Neste estudo, a interação significativa evidenciada pela análise de variância exigiu que se realizasse o desdobramento da interação tratamento * ano. No entanto, esse desdobramento dificultou a interpretação dos resultados. A análise das curvas de respostas principais (Principal Response Curves – PRC), uma técnica nova para análise de dados coletados ao longo do tempo, foi então adaptada para sanar essa dificuldade no estudo do efeito das diferentes estratégias de aplicação de fungicidas no controle da ferrugem do cafeeiro, ao longo dos seis anos de avaliação.

Os diagramas do primeiro autovalor (PRC1) gerados em cada tratamento confirmaram todos os resultados observados na exploração gráfica das curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro. Além de mostrar a resposta aos tratamentos ao longo do tempo em relação à testemunha, esses diagramas também permitiram verificar diferenças entre tratamentos dentro de um mesmo ano de avaliação.

Esta técnica de análise multivariada vem sendo utilizada para verificar o efeito de determinados defensivos sobre comunidades de organismos vivos ao longo do tempo (MOSER et al., 2007). Entretanto, ela pode ser adaptada para outras situações (VAN DEN BRINK e TER BRAAK, 1999). A principal vantagem é que a PRC extrai do primeiro componente principal somente as informações da variância

que é explicada pela interação tratamento * tempo, sempre comparando as variáveis explicativas submetidas aos tratamentos propostos com a resposta obtida a um tratamento-padrão (TER BRAAK e SMILAUER, 1998).

Os diagramas também evidenciaram que as variáveis relacionadas à incidência apresentaram maior peso na discriminação dos tratamentos, optou-se por plotar apenas os dados relativos à incidência na Figura 1. Esse resultado é extremamente importante, porque pode ajudar a reduzir o tempo e o trabalho na quantificação da ferrugem do cafeeiro em programas de controle integrado da doença. Essa mesma observação foi feita por Silva-Acuña et al. (1999), ao estudarem a correlação de dados entre incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro.

Neste trabalho, a incidência da ferrugem no período da colheita não foi selecionada como variável importante para a discriminação dos tratamentos, apesar de essa variável ser habitualmente utilizada como indicativo da eficiência da aplicação de fungicidas no controle da doença (MATIELLO e ALMEIDA, 2006). Variáveis relacionadas à incidência máxima ou final (em julho) da ferrugem do cafeeiro, obtidas normalmente após a colheita, mostraram-se mais adequadas na discriminação dos tratamentos e poderiam ser utilizadas em análises futuras para medir a eficiência do controle químico, mesmo porque a maioria dos tratamentos não impediu que a ferrugem continuasse evoluindo após a colheita.

Em relação à média geral de produtividade, observou-se que, no período de 2001 a 2006, a lavoura não alternou anos de alta com anos de baixa carga de frutos. No primeiro, no segundo e no quarto anos, verificou-se alta carga de frutos e alta incidência de ferrugem nas plantas que não receberam tratamento fitossanitário. A existência de correlação entre carga de frutos e intensidade da ferrugem do cafeeiro explica a alta incidência da doença observada nestes anos, conforme demonstrado em trabalhos anteriores (CHALFOUN, 1981; SILVA-ACUÑA et al., 1992; ZAMBOLIM et al., 1992; CARVALHO et al., 1996; CARVALHO et al., 2001; COSTA et al., 2006).

Alguns pesquisadores afirmaram que, em anos de baixa produção, a incidência de ferrugem normalmente não ultrapassa 30-35% nas parcelas que não recebem tratamentos fitossanitários (ZAMBOLIM et al., 1997; MATIELLO e ALMEIDA, 2006). No terceiro, quinto e sexto anos de avaliação, foram obtidas baixas produtividades na área experimental, mas a incidência da ferrugem na

testemunha esteve acima de 50% nesses anos. Fatores climáticos podem ter contribuído para a evolução da ferrugem nas plantas no campo.

Além da carga de frutos, a ocorrência da ferrugem do cafeeiro no campo é favorecida por outros fatores relacionados ao hospedeiro (suscetibilidade do cultivar, densidade foliar no início do período chuvoso, potencial de inóculo residual, densidade de plantas por área e sombreamento) e ao ambiente (altitude, temperatura, luz, umidade relativa e precipitação) (BOCK, 1962; WALLER, 1982; KUSHALAPPA e ESKES, 1989; ZAMBOLIM et al., 1997).

Com base nas curvas de respostas aos tratamentos com fungicidas cúpricos aplicados preventivamente no controle da ferrugem do cafeeiro, verificou-se que esses tratamentos resultaram em maior intensidade de ferrugem que aqueles baseados no calendário de aplicação de fungicida sistêmico. A manutenção de inóculo residual nas folhas das plantas tratadas com cobre, associada à maior produtividade obtida com esses tratamentos, pode ter contribuído para o aumento da intensidade de ferrugem com o passar dos anos. Assim, no estabelecimento de programas integrados de controle, uma aplicação de sistêmico poderia ser recomendada, em mistura ou alternada com fungicidas cúpricos, visando reduzir o inóculo residual para a estação seguinte.

Mesmo mantendo maior intensidade de ferrugem nos tratamentos que empregaram o calendário de aplicação de fungicidas cúpricos, não houve reflexo negativo da ferrugem na produtividade do cafeeiro. O efeito nutricional do cobre, a possibilidade de controle de outras doenças e a retenção de folhas nas plantas podem ser apontados como os principais efeitos indiretos desses fungicidas sobre a produtividade do cafeeiro (CRUZ FILHO e CHAVES, 1985; SILVA-ACUÑA et al., 1993; CHALFOUN et al., 1998).

A fonte de cobre utilizada também proporcionou diferença de produtividade entre os cafeeiros tratados com sulfato de cobre + nutrientes ou oxiclreto, embora tenham sido observadas respostas semelhantes no controle da ferrugem. O oxiclreto de cobre possibilitou ganho de 23% na produtividade do cafeeiro em relação ao tratamento com sulfato de cobre + nutrientes. A explicação para isso pode estar relacionada à eficiência desse produto no controle da mancha-de-olho-pardo, que também estava presente na área.

A vantagem da estratégia de associar produtos via solo com aplicação de cobre por via foliar é o aproveitamento do espectro de ação dos fungicidas cúpricos

sobre outras doenças do cafeeiro (ALMEIDA e MATIELLO, 1999). Além disso, os efeitos fungicida e nutricional do cobre possibilitam controle mais efetivo da ferrugem e ajudam a manter a produtividade do cafeeiro por várias safras de cultivo (SILVA-ACUÑA et al., 1993; CHALFOUN et al., 1998). Esses efeitos foram observados no tratamento que associou ciproconazole + tiametoxan GR em anos alternados com o calendário de aplicação de sulfato de cobre + nutrientes. A idéia inicial para esse tratamento era associar a aplicação da mistura de sulfato de cobre + nutrientes e produto via solo somente em anos de alta produção. Em anos de baixa produção, o tratamento receberia apenas as quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes. A lavoura não manteve a característica de bienalidade esperada, conforme apresentada por dois anos seguidos de alta produção. Devido a isso, o produto foi aplicado em 2003, um ano de baixa produção. Mesmo assim, o tratamento foi eficiente no controle da ferrugem e foi mantida a mesma média de produtividade do cafeeiro quando o produto foi aplicado anualmente e sem complementação foliar.

A ausência de complementação com fungicidas cúpricos ou sistêmicos aplicados por via foliar em programas que utilizam aplicação de produtos via solo em anos alternados pode comprometer a eficácia do tratamento. Barros et al. (1999) observaram que a aplicação de triadimenol + dissulfoton GR por dez anos consecutivos resultou em maior produtividade no cafeeiro do que quando o produto foi aplicado em anos alternados, sem complementação foliar. Eles informam ainda que, nos anos em que o tratamento não recebeu aplicação do produto via solo, alta intensidade de ferrugem foi registrada, comprometendo a média de produtividade ao longo dos anos.

Neste trabalho, o calendário anual de aplicação do produto via solo também proporcionou média de 29,0 sacas de café beneficiado por hectare ao longo dos cinco anos em que a lavoura foi avaliada, apesar de se verificar alta incidência de ferrugem na unidade experimental submetida ao tratamento em anos isolados. Alguns autores afirmam que o acréscimo de produtividade obtido com a aplicação de produtos via solo pode estar relacionado ao “efeito fisiológico” que estes produtos induzem no cafeeiro, promovendo maior desenvolvimento do sistema radicular e crescimento da parte aérea das plantas, que indiretamente resulta em maiores produtividades das plantas (CAMARGO et al., 1996; GAMBÁ et al., 1996; BARROS et al., 1999).

O calendário de aplicação foliar do fungicida sistêmico epoxiconazole manteve a mesma resposta de controle da ferrugem e de produtividade que os

tratamentos que empregaram produtos sistêmicos via solo. Em várias regiões cafeeiras, o calendário de aplicação de sistêmicos é bastante utilizado no controle da ferrugem, devido ao menor número de aplicações recomendadas e à menor interferência de fatores climáticos nos programas de pulverização em relação aos fungicidas cúpricos, mas o preço mais elevado dos produtos pode contribuir para aumento do custo de produção em anos desfavoráveis ao progresso da doença (CHALFOUN e CARVALHO, 1999).

Outro problema do calendário de aplicação é que ele considera similar o comportamento do hospedeiro, do patógeno e do ambiente em cada ano (KUSHALAPPA e ESKES, 1989). Em alguns anos, duas aplicações de epoxiconazole foram realizadas quando a incidência de ferrugem nas plantas era baixa, o que implica aumento dos custos de produção. Uma segunda aplicação com fungicidas cúpricos poderia manter controle eficiente da ferrugem, com menor custo (SIERRA-SANZ e MONTOYA-RESTREPO, 1995). Em outros anos, as aplicações foram realizadas quando a incidência da ferrugem no início da epidemia estava mais elevada. Associar o controle da ferrugem com um valor de incidência para início das aplicações de fungicida sistêmico poderia ser uma alternativa para antecipar a época das aplicações e manter o controle eficiente da ferrugem no campo. O problema é que não existe consenso em relação ao valor de incidência para início da aplicação de fungicidas sistêmicos no controle da ferrugem do cafeeiro.

Em geral, a recomendação é que, se a incidência for menor que 5%, deverão ser aplicados fungicidas protetores; se maior que 5 e menor que 12%, será recomendado o uso de fungicida sistêmico (ZAMBOLIM et al., 2002). A maioria dos fabricantes não recomenda a aplicação de fungicidas sistêmicos em plantas com alta incidência de ferrugem (MENDONÇA et al., 1999). Mansk e Matiello (1992) relataram ação positiva de fungicidas sistêmicos do grupo dos triazóis no controle da ferrugem, quando aplicados sobre plantas com índices de infecção superiores a 15%. Silva-Acuña et al. (1992) encontraram menores valores da área abaixo da curva de progresso da ferrugem quando o triadmepon foi aplicado por via foliar com até 8% de incidência da ferrugem. Quando aplicado o fungicida em parcelas com níveis superiores a 12% de ferrugem, ocorreu queda de folhas nas plantas devido à doença. Sierra-Sanz e Montoya-Restrepo (1995) também recomendaram o início das aplicações de fungicidas sistêmicos na Colômbia para quando a incidência da ferrugem estiver acima de 15%.

Neste estudo observou-se que a aplicação de epoxiconazole realizada em alguns anos, quando as plantas apresentavam mais de 10% de incidência de ferrugem, não resultou em controle eficiente da doença. Essa estratégia apresenta vantagens do ponto de vista econômico, permitindo em certos casos reduzir o número de aplicações devido ao efeito curativo dos fungicidas sistêmicos (MANSK e MATIELLO, 1992; MENDONÇA et al., 1999). Entretanto, em anos de alta produção e com condições climáticas favoráveis à infecção, pode ocorrer rápida evolução da ferrugem, comprometendo a eficácia do tratamento e a produtividade nos anos subseqüentes, conforme ocorrido nos três primeiros anos de condução deste trabalho. Outro fato a considerar é a disponibilidade de vários fungicidas sistêmicos no mercado sobre os quais não existem estudos comparativos da eficácia de controle quando aplicados em plantas com incidência alta de ferrugem, o que também pode comprometer a eficácia do tratamento.

O sistema de amostragem foi utilizado neste trabalho como uma alternativa ao calendário fixo de aplicação foliar de fungicida sistêmico. Não existia na literatura, até o momento, trabalho de longa duração comparando essas duas estratégias de controle. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que a tomada de decisão para aplicação de sistêmico baseando-se em valores mais baixos de incidência possibilitou controle mais eficiente da ferrugem, mas não refletiu em aumento da produtividade do cafeeiro. Isso pode ser explicado pelo fato de que o controle da ferrugem é apenas um dos fatores que influencia a produtividade do cafeeiro. A incidência de pragas e outras doenças, a nutrição do cafeeiro e o clima também são fatores determinantes da produção de frutos pela planta (AVELINO et al., 2006).

Os resultados obtidos neste experimento mostraram que a aplicação de fungicidas sistêmicos por via foliar seguindo o calendário fixo e a aplicação de fungicida sistêmico via solo associado com fungicida protetor apresentaram as melhores respostas no controle da ferrugem do cafeeiro. Por outro lado, os fungicidas cúpricos, apesar de manterem maior intensidade de ferrugem nas plantas quando comparados aos tratamentos que empregaram fungicidas sistêmicos por via foliar ou via solo mantiveram estável a produtividade do cafeeiro ao longo de várias safras de cultivo.

Essa constatação é particularmente importante para a cafeicultura de montanha da Zona da Mata de Minas Gerais e do Espírito Santo, onde predominam

pequenas propriedades que utilizam mão-de-obra familiar na execução dos tratamentos culturais nas lavouras. Nessas plantações, os tratamentos com fungicidas cúpricos poderiam ser utilizados no manejo da ferrugem do cafeeiro a custos mais baixos que os sistêmicos.

A sustentabilidade econômica da atividade cafeeira é um dos pilares do manejo integrado de doenças e deve ser levada em consideração na escolha de estratégias mais adequadas de manejo. Nessas regiões, o uso de fungicidas e inseticidas via solo muitas vezes torna-se inviável em decorrência de diversos fatores, como a topografia acidentada propensa à erosão, o que faz com que os resíduos desses produtos sejam carregados para as nascentes dos rios e minas d'água; o pouco conhecimento acerca das tecnologias por parte dos agricultores, fazendo com que os cuidados necessários à aplicação destes produtos não sejam observados; o uso de mão-de-obra familiar, aumentando o risco de intoxicação dos trabalhadores; e a existência de diversos parques e reservas de preservação ambiental, exigindo maior atenção aos problemas ambientais. Nesse contexto, o tratamento com cúpricos proveria menor impacto econômico e ambiental que o uso contínuo de fungicida + inseticida sistêmico via solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.R.; MATIELLO, J.B. Efeito de fungicidas cúpricos e sistêmicos e uso associado para o controle de doenças (ferrugem e cercosporiose) no cafeeiro e sua ação sobre o desenvolvimento do sistema radicular e produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca-SP, 1999. **Anais...** p. 16-17,

AVELINO, J.; ZELAYA, H.; MERLO, A.; PINEDA, A.; ORDOÑEZ, M.; SAVARY, S. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. **Ecological Modelling**, v. 197, p. 431-447, 2006.

BARROS, U.V.; BARBOSA, C.M.; MENDONÇA, G. Evolução da produção do cafeeiro devido ao efeito do uso de Baysiston por vários anos consecutivos. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca-SP, 1999.
Anais... p. 222-223.

BOCK, K.R. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya Colony. **Transactions British Mycological Society**, v. 45, p. 289-300, 1962.

CAMARGO, R.; MENDES, A.N.G.; GUIMARÃES, J.R.; DIAS, J.R.G. Efeito de inseticidas e fungicidas granulados de solo no desenvolvimento inicial de cafeeiros recém-plantados na presença e ausência de matéria orgânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 22, Águas de Lindóia-SP, 1996.
Anais... p. 88-89.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 430p.

CARVALHO, V.L.; CHALFOUN, S.M.; CASTRO, H.A.; CARVALHO, V.D. Influência da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 401-405, 1996.

CARVALHO, V.L.; CHALFOUN, S.M.; CASTRO, H.A.; CARVALHO, V.D. Influência de diferentes níveis de produção sobre a evolução da ferrugem do cafeeiro e sobre teores foliares de compostos fenólicos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, p. 49-54, 2001.

CHALFOUN, S.M. Relação de diferentes índices de infecção de ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) sobre produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em algumas localidades do Estado de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, p. 137-142, 1981.

CHALFOUN, S.M.; CARVALHO, V.L. Controle químico da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) do cafeeiro através de diferentes esquemas de aplicação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 363-367, 1999.

CHALFOUN, S.M.; CARVALHO, V.L.; PEREIRA, M.C. Controle químico da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) em cafeeiros pelo uso de fungicidas cúpricos e sistêmicos em diferentes modalidades de aplicação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 22, p. 551-555, 1998.

COSTA, M.J.N.; ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F.A. Efeito de níveis de desbaste de frutos do cafeeiro na incidência da ferrugem, no teor de nutrientes, carboidratos e açúcares redutores. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 564-571, 2006.

CRUZ FILHO, J.; CHAVES, G.M. **Sulfato de cobre + nutrientes no controle da ferrugem do cafeeiro**. Viçosa: Conselho de Extensão da UFV, 1985. 22p.

GAMBA, H.; MATIELLI, A.; SAN JUAN, R.C.C. Influência do fungicida triadimenol (Baysiston e Bayfidan 60 GR) sobre o enraizamento do cafeeiro e seu desenvolvimento vegetativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 22., Águas de Lindóia-SP, 1996. **Anais...** p. 189-190.

JESUS JUNIOR, W.C.; POZZA, E.A.; VALE, F.X.R.; MORA-AGUILERA, G. Análise temporal de epidemias. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil Editora, 2004. p.125-192.

KUSHALAPPA, A.C.; ESKES, A.B. **Coffee rust: epidemiology, resistance and management**. Boca Raton: CRC Press Inc., 1989. 345p.

LIBERATO, J.R. **Aplicações de técnicas de análise multivariada em fitopatologia**. 1995. 144 f. Dissertação. Mestrado em Fitopatologia – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MANSK, Z.; MATIELLO, J.B. Avaliação comparativa de fungicidas sistêmicos "triazóis" aplicados sobre o cafeeiro em duas situações de infecção de ferrugem (*H. vastatrix*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 18.,

Araxá-MG, 1992. **Anais...** p. 19-21.

MATIELLO, J.B.; ALMEIDA, S.R. **A ferrugem do cafeeiro no Brasil e seu controle**. Varginha: Fundação PROCAFÉ, 2006. 98p.

MENDONÇA, P.L.P.; BARBOSA, J.A.C.; NAVARRO, V.J.C.; BEGLIOMINI, E. Variação de doses de Opus (Epoconazole) aplicado em diferentes níveis de infecção da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25, Franca-SP, 1999. **Anais...** p. 46-48.

MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; REIS, G.N.; MANSK, Z.; ALMEIDA, S.R. Efeito da aplicação de fungicidas cúpricos em cafeeiros com diferentes graus de intensidade de ataque da ferrugem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 6., Ribeirão Preto-SP, 1978. **Anais...** p. 367.

MORA-AGUILERA, G.; CAMPBELL, C.L. Principal components analysis and biplot display of multivariate temporal data. In: FRANCL, L.; NEHER, D.A. (Eds.). **Exercises in plant disease epidemiology**. St. Paul: APS Press, 1997. p.51-57 e 194-197.

MORA-AGUILERA, G.; NIETO-ANGEL, C.D.; CAMPBELL, C.L.; TÉLIZ, D.; GARCÍA, E. Multivariate comparison of Papaya Ringspot Epidemics. **Phytopathology**, v. 86, p. 70-78, 1996.

MOSER, T.; RÖMBKE, J.; SCHALLNASS, H.J.; VAN GESTEL, C.A.M. The use of the multivariate Principal Response Curve (PRC) for community level analysis: a case study on the effects of carbendazim on enchytraeids in Terrestrial Model Ecosystems (TME). **Ecotoxicology**, v. 16, p. 573-583, 2007.

REYNOLDS, K.L.; NEHER, D.A. Statistical comparison of epidemics. In: FRANCL, L.; NEHER, D.A. (Eds.) **Exercises in plant disease epidemiology**. St. Paul: APS Press, 1997. p.34-37 e 189-191.

SANOGO, S.; YANG, X.B. Overview of selected multivariate statistical methods and their use in phytopathological research. **Phytopathology**, v. 94, p. 1.004-1.006, 2004.

SIERRA SANZ, C.A.; MONTOYA-RESTREPO, E.C. Control de la roya del cafeto con base en niveles de infección y su efecto en la producción. **Cenicafé**, v. 46, p. 69-80, 1995.

SILVA ACUÑA, R.; GONZALEZ-MOLINA, E.C.; ZAMBOLIM, L. Controle da ferrugem em cafeeiros sombreados com formulações de triadimenol combinadas com oxiclóreto de cobre na Venezuela. **Summa Phytopathologica**, v. 19, p. 189-194, 1993.

SILVA ACUÑA, R.; MAFFIA, L.A.; ZAMBOLIM, L.; BERGER, R.D. Incidence-severity relationships in the pathosystem *Coffea arabica*-*Hemileia vastatrix*. **Plant Disease**, v. 83, p. 186-188, 1999.

SILVA ACUÑA, R.S.; ZAMBOLIM, L.; VENEGAS, V.H.A.; CHAVES, G.M. Relação entre a produção de grãos, o teor foliar de macronutrientes e a severidade da ferrugem do cafeeiro. **Revista Ceres**, v. 224, p. 365-377, 1992.

TER BRAAK, C.J.F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and user's guide to canoco for windows. Software for canonical community ordination (version 4)**. Ithaca: MicroComputer Power, 1998. 352p.

VAN DEN BRINK, P.J.; TER BRAAK, C.J.F. Principal response curves: analyses of time-dependent multivariate responses of biological community to stress. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 18, p. 138-148, 1999.

WALLER, J.M. Coffee rust - Epidemiology and control. **Crop Protection**, v. 1, p. 385-404, 1982.

ZAMBOLIM, L.; SILVA ACUÑA, R.; VALE, F.X.R.; CHAVES, G.M. Influência da produção do cafeeiro sobre o desenvolvimento da ferrugem (*Hemileia vastatrix*). **Fitopatologia Brasileira**, v. 17, p. 32-35, 1992.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; PEREIRA, A.A.; CHAVES, G.M. Café: Controle de doenças. Doenças causadas por fungos, bactéria e vírus. In: VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Controle de doenças de plantas: Grandes culturas**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV, 1997. p.83-140.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, E.M. Produção integrada do cafeeiro: Manejo de doenças. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV, 2003. p. 443-508.

CAPÍTULO 2

ESTRATÉGIAS DE CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) EM CAFEIEIRO IRRIGADO

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática de manejo bastante difundida no Brasil, principalmente em regiões cafeeiras com alta demanda hídrica, que possibilita aumento de produção, produtividade mais estável e produto de melhor qualidade. Em regiões aptas à cafeicultura e com baixa deficiência hídrica, essa prática pode ser desnecessária (CAMARGO, 1989). A maior concentração de áreas de café irrigado encontra-se no cerrado mineiro, com predominância dos sistemas de irrigação por tubos perfurados a laser (tripa), canhão hidráulico, pivô central e autopropelidos. No oeste e sul da Bahia, noroeste de Minas Gerais e leste de Goiás, regiões consideradas como novas fronteiras cafeeiras, predominam os sistemas de irrigação por pivô central e gotejamento (FERNANDES et al., 2003).

São poucos os trabalhos disponíveis sobre o efeito dos sistemas e lâminas de irrigação na intensidade da ferrugem do cafeeiro (SOUZA e ZAMBOLIM, 2004).

Em geral, os sistemas de irrigação por pivô central, canhão ou tripa, utilizados em áreas de café irrigado no Triângulo Mineiro, prolongaram o período de molhamento foliar e influenciaram diretamente a intensidade da ferrugem do cafeeiro, possibilitando re-inoculações constantes dos uredósporos nas plantas e alterando as curvas de progresso da ferrugem na região (CARVALHO, 1998; JULIATTI et al., 2000).

Ao contrário da irrigação por aspersão, o sistema de gotejamento distribui a água de forma localizada no solo, portanto não provoca molhamento foliar e não atua na disseminação dos uredósporos da ferrugem do cafeeiro (TALAMINI et al., 2001). Entretanto, pode favorecer o aumento da intensidade da doença devido ao aumento significativo de produtividade e à manutenção do crescimento ativo de ramos plagiotrópicos e ortotrópicos durante todo o ano, interferindo no nível de enfolhamento das plantas e no microclima dentro das áreas de cultivo (SOUZA e ZAMBOLIM, 2004; SOUZA et al., 2007; ZAMBOLIM et al., 2007). Além disso, esse sistema de irrigação possibilita o uso de espaçamentos menores nas linhas de plantio, o que dificulta a proteção das folhas mais internas da copa das plantas com fungicidas (SOUZA e ZAMBOLIM, 2004).

Em relação às lâminas de irrigação, os resultados disponíveis são contraditórios. Alguns trabalhos indicaram que houve redução na intensidade de ferrugem com o aumento da lâmina d'água aplicada (CARVALHO, 1998; JULIATTI et al., 2000). Por outro lado, Talamini et al. (2001) observaram que a escolha das lâminas de irrigação não influenciou o progresso da ferrugem do cafeeiro. Souza et al. (2007) também verificaram que não houve diferença na incidência da ferrugem em relação a diferentes lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento. A maior incidência da ferrugem verificada neste trabalho foi na lâmina recomendada para suprir 100% da necessidade hídrica do cafeeiro. Essa lâmina também possibilitou maior produtividade das plantas, indicando que o efeito da irrigação na intensidade da ferrugem foi indireto. Quando se associou o controle químico com diferentes lâminas de irrigação, houve aumento de até 76% na produtividade em relação ao resultado do tratamento sem irrigação e sem aplicação de fungicidas. Isso mostra a importância do controle químico da ferrugem em lavouras irrigadas por gotejamento.

Até o momento, a maioria dos trabalhos realizados para verificar o efeito da irrigação na produtividade ou na intensidade da ferrugem do cafeeiro foram

realizados por curto período de tempo, em lavouras novas ou em regiões que apresentam déficit hídrico elevado, obtendo-se resultados satisfatórios nessas condições. Entretanto, em regiões do País como a Zona da Mata de Minas, que apresenta boa distribuição de chuva ao longo do ano, são escassos os trabalhos de longa duração mostrando a influência da irrigação combinada com diferentes estratégias de controle químico da ferrugem na produtividade do cafeeiro. Esse contexto justifica a busca de novas tecnologias, de modo a viabilizar uma cafeicultura tecnificada, porém com baixo custo de produção, sem perder de vista a competitividade com outras regiões produtoras do País.

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes estratégias de aplicação de fungicidas sistêmicos e protetores no controle da ferrugem e na produtividade do cafeeiro em área irrigada por gotejamento na Zona da Mata de Minas Gerais, durante seis safras de cultivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Aspectos gerais

O experimento foi conduzido em lavoura cafeeira no período de dezembro de 2000 a junho de 2006, no município de Viçosa, MG, a 650 m de altitude, 20° 43.569' de latitude sul e 42° 51.508' de longitude oeste. O cultivar utilizado foi o Catuaí Vermelho IAC 144, plantado no espaçamento 4,0 x 1,0 m, com uma planta por cova (2500 plantas/ha). Na instalação do experimento, a lavoura encontrava-se com nove anos de idade.

À exceção da aplicação de fungicidas, os demais tratos culturais foram realizados conforme recomendação para a cultura. As adubações foram realizadas de acordo com os resultados da análise de solo, seguindo-se as recomendações da “Quinta Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais”. O manejo das plantas daninhas foi feito por meio de duas roçadas anuais (nos meses de dezembro e janeiro) e uma aplicação do herbicida glifosato + 2,4 D, em fevereiro de cada ano. Pelo menos uma aplicação de inseticida foi realizada para

controle da broca-do-cafeeiro, nos meses de dezembro e/ou janeiro de cada ano, dependendo do índice de infestação pela praga.

O delineamento experimental foi feito em blocos ao acaso com oito tratamentos fitossanitários e três repetições. Cada unidade experimental foi constituída de cinco plantas. Os tratamentos fitossanitários foram listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos aplicados no controle da ferrugem em cafeeiros irrigado por gotejamento em Viçosa, MG

Tratamentos	Fungicida aplicado	Época de aplicação	Dose (L ou Kg/ha)
1 – Testemunha	-----	-----	-----
2 – Aplicações de acordo com amostragem	Epoxiconazole (12,5%) ¹	Após a constatação de 5% de incidência	0,6
3 – Aplicações de acordo com amostragem	Epoxiconazole (12,5%)	Após a constatação de 10% de incidência	0,6
4 – Fungicida sistêmico aplicado por via foliar	Epoxiconazole (12,5%)	Jan. Mar.	0,6 0,4
5 – Fungicida protetor	Oxicloreto de cobre (84%)	Dez., jan., fev., mar.	3,0
6 – Mistura de sulfato de cobre com nutrientes (Calda Viçosa) ²	Sulfato de cobre + nutrientes	Dez., jan., fev., mar.	Sais: 5,0 Cal: 0,75
7 – Fungicida + inseticida sistêmico via solo aplicado em anos alternados, complementados com aplicações anuais de fungicida protetor	Ciproconazole + tiametoxan GR (10% + 10%) Mistura de sulfato de cobre com nutrientes	Nov. Dez., jan., fev., mar.	30,0 Sais: 5,0 Cal: 0,75
8 – Fungicida + inseticida sistêmico aplicado via solo	Ciproconazole + tiametoxan GR (10% + 10%)	Nov.	30,0

¹Valores entre parênteses indicam a porcentagem de ingrediente ativo (i.a.) de cada produto.

²Mistura de sais: sulfato de cobre (10% Cu) + enxofre (10% S) + cloreto de potássio (10% K₂O) + sulfato de zinco (6% Zn) + boro (3% B) + magnésio (1% Mg) + Hidróxido de cálcio (6,2% Ca + 5,3% OH).

Os fungicidas epoxiconazole, oxiclureto de cobre e a mistura de sulfato de cobre + nutrientes foram aplicados na parte aérea do cafeeiro, com pulverizador costal manual calibrado para o volume de calda de 400 L/ha.

O fungicida + inseticida sistêmico ciproconazole + tiametoxan GR foi aplicado via solo em sulcos de cinco centímetros de profundidade, efetuados em ambos os lados da projeção da copa do cafeeiro.

2.2. Manejo da irrigação e coleta de dados climáticos

As características físico-hídricas do solo da área experimental encontram-se Tabela em anexo. A irrigação foi realizada de forma complementar, no período de julho a novembro de cada ano. O sistema utilizado foi o gotejamento, com emissores autocompensantes, vazão de 2,3 L/h e o diâmetro do bocal de 1,0 mm. O espaçamento entre emissores foi de 0,75 m, com 4,0 m entre linhas laterais e 1,0 emissor por planta. A pressão de serviço do equipamento foi de 26 m.c.a. Em todos os anos de avaliação, o equipamento apresentou excelentes condições de montagem e manutenção (coeficiente de uniformidade de aplicação maior ou igual a 89,0%).

O manejo da irrigação foi realizado através do balanço hídrico diário do solo, com base na evapotranspiração de referência (E_t0), estimada pelo método de Penman-Monteith, com o auxílio do *software* IRRIPLUS[®] (desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – GESAI). Esse *software* definiu o momento de irrigar, a lâmina a ser aplicada e o tempo de funcionamento do equipamento de irrigação, com base em informações meteorológicas diárias.

Os dados meteorológicos necessários foram obtidos a partir de uma Plataforma de Coleta de Dados (Estação Agrometeorológica) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), instalada a 1.000 m da área experimental, com sensores de temperatura (máxima, do ar e mínima), umidade relativa, velocidade de vento a 10 m de altura, radiação solar e precipitação. Os dados foram registrados a cada três horas e posteriormente convertidos em médias diárias e mensais.

Os dados de temperatura do ar e umidade relativa coletados a cada três horas foram convertidos em número de horas favoráveis à infecção da ferrugem do cafeeiro (NHFI), considerando-se a temperatura na faixa de 20 a 25 °C e umidade

relativa maior ou igual a 90% (ocorrência de orvalho por condensação sobre as folhas nesta faixa de UR). O somatório do NHFI foi calculado para o intervalo de 30 dias, correspondendo ao intervalo entre duas avaliações consecutivas. O critério adotado para o cálculo do NHFI baseou-se nos estudos do efeito de temperatura sobre a capacidade infectiva de *H. vastatrix* (MONTROYA E CHAVES, 1974) e no estudo dos fatores climáticos no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro em nível de campo (VALE et al., 2000).

2.3. Avaliação do cafeeiro quanto ao progresso da ferrugem

A quantificação da ferrugem do cafeeiro foi realizada mensalmente, coletando-se para avaliação cinco folhas de cada lado da planta, entre o terço médio e o inferior, no 3^o ou 4^o par de folhas completamente desenvolvidas, totalizando 10 folhas/planta e 50 folhas/unidade experimental. Após a coleta, foram determinadas a incidência e a severidade da ferrugem do cafeeiro.

A incidência foi determinada pela contagem do número de folhas com pústulas de ferrugem esporulando. A porcentagem de incidência em cada unidade experimental foi calculada dividindo-se o número de folhas com pústulas de ferrugem esporulando pelo número total de folhas coletadas multiplicado por 100.

A severidade da ferrugem em cada unidade experimental foi quantificada de duas formas: a) pela estimativa da área lesionada por folha (SEV), conforme escala diagramática proposta por Kushalappa e Chaves (1978); e b) pela contagem do número de pústulas de ferrugem esporulando por folha (NPFF).

Com os dados de incidência, severidade e número de pústulas por folha foram traçadas as curvas de progresso da doença para os respectivos tratamentos, no período compreendido entre os meses de novembro a julho do ano seguinte. As áreas abaixo das curvas de progresso da incidência (AACPI), da severidade (AACPS) e do número de pústulas de ferrugem do cafeeiro por folha (AACPNP) foram calculadas pelo método de integração trapezoidal (CAMPBELL e MADDEN, 1990).

Os valores da AACPI, AACPS e AACPNP foram então padronizados, dividindo-se o valor obtido pela duração total da epidemia em cada ano. Cinco outras variáveis foram extraídas de cada uma das curvas de progresso: 1 - Incidência: inicial no mês de novembro (IIF), na colheita (IFC), máxima (IMF), final no mês de julho (IFF) e o acréscimo mensal da incidência (dIN/dt); 2 - Severidade: inicial no mês de

novembro (SIF), na colheita (SFC), máxima (SMF), final no mês de julho (SFF) e o acréscimo mensal da severidade (dS/dt); 3 - Número de pústulas por folha: inicial no mês de novembro (NPI), na colheita (NPC), máximo (NPM), final no mês de julho (NPF) e o acréscimo mensal do número de pústulas por folha (dNP/dt).

2.4. Avaliação do cafeeiro quanto à produtividade

A produtividade do cafeeiro foi avaliada no período de 2001 a 2006. Em cada ano, as plantas foram colhidas quando mais de 80% dos frutos estavam no estágio de cereja. Após a colheita e pesagem dos frutos de cada unidade experimental, retirou-se uma amostra de dois litros de café cereja para determinar o rendimento. Essas amostras foram pesadas e levadas para secagem ao sol. Após a secagem, os frutos foram beneficiados e pesados novamente. O rendimento de frutos para cada unidade experimental foi calculado dividindo-se o peso do café cereja pelo peso do café beneficiado. Posteriormente, efetuou-se a conversão da produção do café cereja para produtividade em sacas de café beneficiado por hectare.

2.5. Análise dos dados

Os conjuntos de dados compostos pelas seis variáveis obtidas de cada curva de progresso de incidência (IIF, IFC, IMF, IFF, AACPIF e dIN/dt), de severidade (SIF, SFC, SMF, SFF, AACPSF e dS/dt) e do número de pústulas da ferrugem do cafeeiro por folha (NPI, NPC, NPM, NPF, AACPNP e dNP/dt) foram submetidos à análise de regressão múltipla com seleção *stepwise*, utilizando-se o procedimento STEPDISC do SAS (*Statistical Analysis Software System* - Versão 9,0; SAS Institute 2004, Cary, NC). Esse procedimento permitiu selecionar as variáveis de maior poder de discriminação entre tratamentos. As variáveis foram selecionadas de acordo com: (1) O valor de F parcial da análise de co-variância, pelo qual se obtém a significância ($P < 0,10$) do modelo. As variáveis selecionadas agem como co-variáveis e as novas variáveis que dão entrada no modelo agem como variáveis independentes. (2) A correlação quadrada parcial, que dá a variância única explicada pela variável independente no modelo ($P < 0,10$) e reflete a correlação entre uma variável independente e a dependente, enquanto se controlam os efeitos preditivos de todas as outras variáveis sobre a variável independente em estudo.

Cada variável selecionada foi submetida à análise de variância por medidas repetidas usando-se o procedimento ANOVA do SAS. O termo medida repetida é usado para referir-se a dados coletados numa mesma unidade experimental ao longo do tempo e pode ser utilizado como alternativa à análise de variância tradicional.

O efeito dos tratamentos fitossanitários ao longo do tempo foi estudado através da análise das Curvas de Respostas Principais (*Principal Response Curves – PRC*). Esse método é baseado na Análise de Redundância Parcial (RDA), a qual foi ajustada para todas as mudanças na resposta da doença ao longo do tempo em comparação com um tratamento-padrão (Testemunha). O foco desse método é o efeito do tratamento dependente do tempo. O PRC extrai do primeiro autovalor (PRC1) somente as informações da parte da análise de variância que é explicada pela interação tratamento * tempo, sempre comparando as variáveis explicativas submetidas aos tratamentos propostos com a resposta obtida com tratamento-padrão. Como resultado, um diagrama é gerado contendo o tempo no eixo das abscissas e os coeficientes canônicos relativos ao tratamento-padrão no eixo das ordenadas. Os coeficientes canônicos relativos aos diferentes tratamentos são mostrados como um desvio em relação ao tratamento-padrão, os quais podem ser interpretados qualitativamente (dentro de um mesmo tempo) e, ou, quantitativamente, ao longo de todo o período avaliado. Quanto mais próxima a curva de resposta ao tratamento estiver da curva apresentada pela testemunha, menor será a eficácia de controle desse tratamento. O diagrama também mostra um segundo eixo nas ordenadas (VAR1) para indicar o peso de cada uma das variáveis nas curvas de respostas apresentadas no diagrama.

A significância do PRC1 foi avaliada com o teste Monte Carlo, pela permutação de todos os anos, em todos os tratamentos utilizados na RDA da qual o PRC1 foi obtido. A hipótese de nulidade foi que o efeito do tratamento foi igual a zero em todos os tratamentos e tempos. A análise do PRC foi realizada com o auxílio do *software* CANOCO for Windows 4.5, seguindo-se as recomendações de Ter Braak e Smilauer (1998).

A análise dos dados de produtividade foi feita de acordo com o esquema de parcela subdividida no tempo. As parcelas foram constituídas por oito tratamentos fitossanitários e as subparcelas pelos seis anos de avaliação. O desdobramento dos tratamentos dentro de cada ano foi realizado por meio do procedimento ANOVA do PROC MIXED do SAS e as médias foram separadas usando-se a opção LSMEANS.

Comparações específicas entre as médias dos tratamentos foram feitas adicionando-se a opção 'CONTRAST' no PROC MIXED, nos níveis de 1 e 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS

3.1. Efeito das variáveis climáticas na incidência da ferrugem do cafeeiro

Em Viçosa, MG, a precipitação média anual foi de 1.356 mm no período de condução do experimento (Tabela 3). O maior volume de chuvas ocorreu entre os meses de outubro a março, com uma precipitação média de 194 mm/mês. O período seco do ano ocorreu entre abril e setembro, com média de precipitação igual a 32 mm/mês.

A irrigação foi realizada de maneira complementar a partir da segunda quinzena de julho até o início do período chuvoso, visando suprir a necessidade hídrica da cultura durante esse período. Em 2003, foi registrado alto volume de chuvas no início do mês de janeiro, seguido por um longo período seco no mês de fevereiro e no início de março. Nessa época, foi necessário suprir a demanda hídrica do cafeeiro. Nos demais anos, não houve necessidade de irrigar o cafeeiro nessa época do ano.

As curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro na unidade experimental que não recebeu aplicação de fungicidas (testemunha) foram muito semelhantes tanto na área irrigada quanto na área não irrigada (Figura 1). A intensidade máxima da doença foi registrada entre os meses de junho e julho. De agosto a novembro, ocorreu redução da doença na área experimental. Baixa incidência de ferrugem foi registrada entre os meses de novembro e janeiro; entretanto, nos anos 2001, 2003 e 2005, a doença permaneceu em baixa incidência até março. Dessa época em diante, ocorreu aumento progressivo da doença até atingir novamente a máxima incidência nos meses de junho ou julho.

Tabela 3 - Regime de chuvas e quantidade de água aplicada no cafeeiro, no período de janeiro de 2001 a junho de 2006, em Viçosa, MG

Meses	Valores em milímetros/mês											
	2001		2002		2003		2004		2005		2006	
	PRE ¹	IRRI	PRE	IRRI	PRE	IRRI	PRE	IRRI	PRE	IRRI	PRE	IRRI
Jan.	166,5	-	268,8	-	474,0	-	388,3	-	297,0	-	207,0	-
Fev.	37,5	-	290,0	-	57,8	12,2	379,0	-	248,8	-	114,0	-
Mar.	137,5	-	72,5	-	55,8	34,5	154,5	-	296,3	-	196,3	-
Abr.	2,8	-	3,5	-	13,0	-	150,5	-	74,3	-	65,5	-
Mai.	68,3	-	41,3	-	8,3	-	57,3	-	41,0	-	7,3	-
Jun.	0,0	-	0,5	-	0,0	-	41,0	-	29,3	-	6,3	-
Jul.	11,8	36,4	0,5	21,5	12,3	26,1	33,5	23,0	8,5	40,1	7,8	-
Ago.	10,5	57,1	0,0	32,2	65,0	43,7	0,0	56,3	29,3	65,9	-	-
Set.	84,0	55,2	83,5	26,5	39,0	20,7	0,0	48,3	73,5	75,1	-	-
Out.	144,5	-	31,0	65,2	40,3	18,4	56,5	5,4	75,3	21,5	-	-
Nov.	252,0	-	188,3	-	166,3	-	192,3	-	123,5	-	-	-
Dez.	234,8	-	350,3	-	205,0	-	281,5	-	277,0	-	-	-
Total	1.150,0	148,7	1.330,0	145,3	1.136,5	155,6	1.734,2	133,0	1.573,5	202,6	596,2	0,0
	1.298,7		1.475,3		1.292,1		1.867,2		1.776,0		596,2	

¹PRE= precipitação mensal; IRRI= lâmina mensal de água aplicada pelo sistema de irrigação por gotejamento.

A intensidade da ferrugem também variou na área experimental entre os anos avaliados. No ano de 2001, foi registrado menor número de horas favoráveis à infecção pelo fungo e baixo volume de chuvas, de modo que a incidência da ferrugem na testemunha aumentou a partir do mês de março e atingiu a intensidade máxima de 53% na área irrigada em junho. No experimento não irrigado, a doença continuou a evoluir até o mês de julho.

Em 2002, as condições climáticas favoráveis possibilitaram o desenvolvimento da ferrugem a partir de novembro, tendo atingido mais de 75% de incidência em julho nas duas áreas experimentais. O início do ano de 2003 foi atípico para a região de Viçosa. A precipitação concentrou-se no começo de janeiro e poucas chuvas ocorreram até o mês de março. As condições favoráveis no mês de abril proporcionaram avanço da doença, que atingiu a incidência máxima de 53% em julho.

Em 2004, as condições favoráveis mantiveram-se constantes de dezembro a março, e o pico da ferrugem foi registrado mais cedo na área irrigada, com 74% de incidência no mês de abril. Em 2005, as condições climáticas não favoreceram a infecção como nos anos anteriores, embora tenham ocorrido chuvas bem distribuídas no período de novembro a março. Nesse ano, a intensidade máxima da ferrugem atingiu 71% na área experimental.

No último ano, 2006, o número de horas favoráveis à infecção (NHFI) foi crescente até março e a precipitação mensal acumulada foi menor que nos anos anteriores. Em novembro, registrou-se incidência acima de 10% nas plantas de ambos os experimentos. A ferrugem evoluiu e atingiu mais de 75% no mês de julho.

O clima, portanto, não foi fator limitante à infecção da ferrugem nas plantas de café entre janeiro de 2001 e junho de 2006. A temperatura, umidade relativa e precipitação proporcionaram condições favoráveis ao progresso da ferrugem.

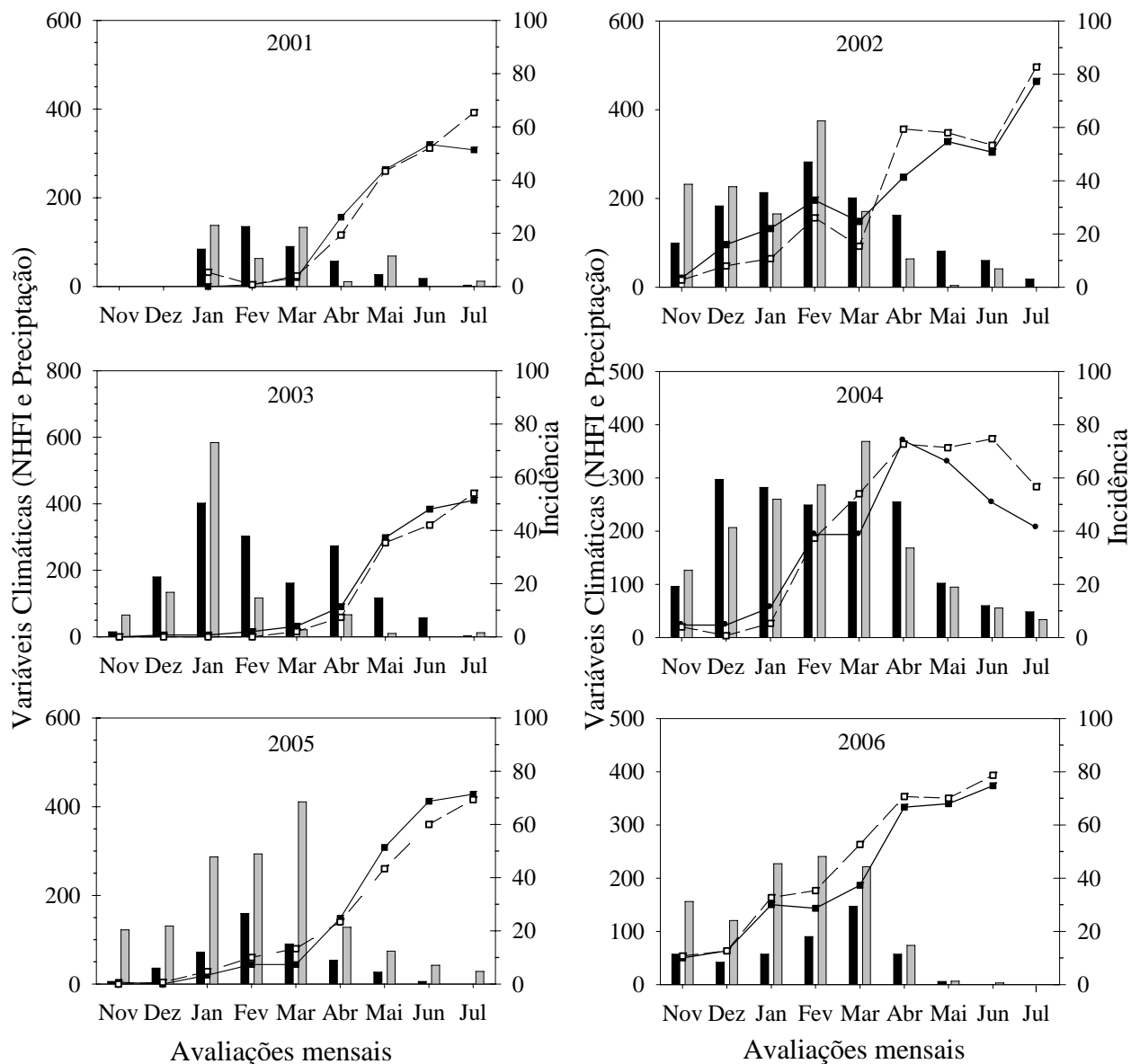


Figura 1 - Incidência da ferrugem do cafeeiro (%) na testemunha do experimento irrigado (—■—) e na do experimento não irrigado (---□---) e as variáveis climáticas: NHFI = número de horas favoráveis à infecção (■) e precipitação em milímetros (▒), obtidas mensalmente no período de 2001 a 2006, em Viçosa, MG.

3.2. Efeito dos tratamentos na incidência da ferrugem do cafeeiro

A incidência máxima de ferrugem nas plantas variou entre as unidades experimentais que receberam os tratamentos diferentes e também naquelas que receberam o mesmo tratamento nos diferentes anos de avaliação (Figura 2). Em 2001, nenhuma aplicação do fungicida sistêmico epoxiconazole foi realizada nos

cafeeiros cujo tratamento se iniciaria quando da constatação de 10% de incidência de ferrugem. Isso porque a doença só atingiu esse valor de incidência no início de abril, quando a maioria dos frutos encontrava-se no estágio de cereja. Optou-se por não fazer a aplicação nesse ano, devido ao período de carência do epoxiconazole. A doença então evoluiu rapidamente nesses cafeeiros, acompanhando a curva de progresso da testemunha, e atingiu 50% de incidência no mês de junho.

No tratamento iniciado após a verificação de 5% de incidência de ferrugem, a aplicação de epoxiconazole foi realizada no início de março e atrasou o desenvolvimento da doença, que atingiu a intensidade máxima de 40% no mês de junho. A incidência máxima de ferrugem observada nos cafeeiros que receberam aplicações de epoxiconazole em dezembro e março foi de 23%. O tratamento com ciproconazole + tiametoxan GR teve como resultado o aumento da incidência de ferrugem a partir de maio, até atingir 19% ao final da epidemia. O tratamento com ciproconazole + tiametoxan GR complementado com quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes e os tratamentos que incluíram quatro aplicações de fungicidas cúpricos mantiveram a incidência de ferrugem abaixo de 12%.

Em 2002, os tratamentos com quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes ou oxiclureto de cobre não foram eficientes no controle da ferrugem e a incidência máxima registrada foi de 34 e 49%, respectivamente. O tratamento que associou produto via solo com fungicida protetor recebeu somente as aplicações de sulfato de cobre + nutrientes neste ano e apresentou 26% de incidência da ferrugem. Os tratamentos com fungicidas sistêmicos mantiveram controle eficiente da doença. A aplicação de ciproconazole + tiametoxan GR em novembro de 2001 manteve a incidência da ferrugem abaixo de 20% até o mês de junho. Nos tratamentos baseados em amostragem, com início das aplicações ao se observar a 5 e 10% de incidência, só foi realizada uma aplicação nos meses de dezembro e janeiro, respectivamente. A ferrugem voltou a evoluir nos cafeeiros que receberam esses tratamentos após o mês de abril, quando se aproximava a data da colheita. A incidência máxima registrada nessas duas unidades experimentais foi de 14 e 32%, respectivamente. Na unidade que recebeu duas aplicações de epoxiconazole, a incidência máxima foi de 32% em julho.

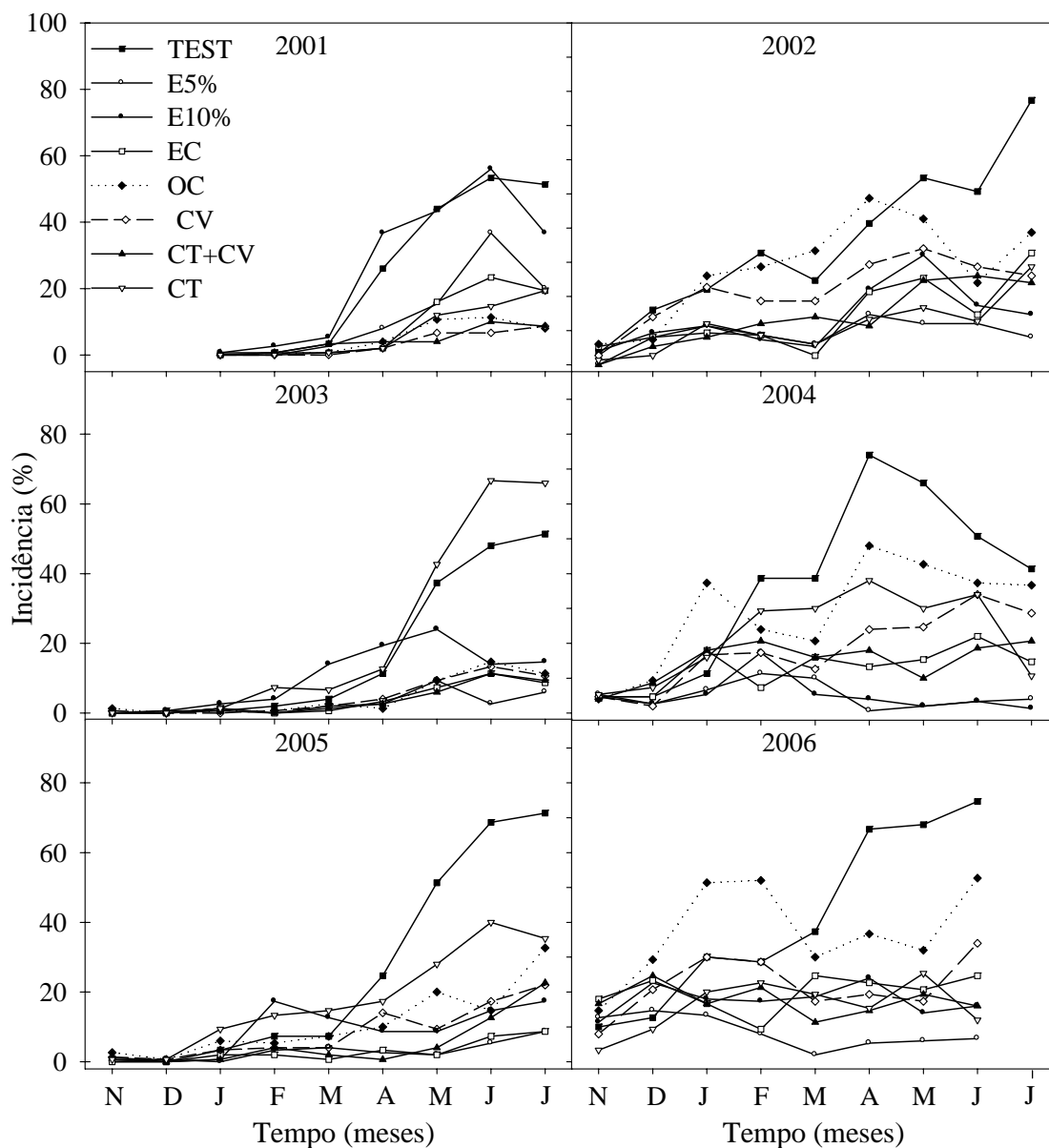


Figura 2 – Incidência da ferrugem do cafeeiro (%) ao longo do tempo (meses) nas plantas submetidas aos diferentes tratamentos fitossanitários, entre os anos de 2001 e 2006. TEST=Testemunha; E5%=Epoxiconazole aplicado após a constatação de 5% de incidência; E10%= Epoxiconazole aplicado após a constatação de 10% de incidência; EC=Epoxiconazole aplicado em dezembro e março (Calendário); OC=Oxicloreto de cobre aplicado de dezembro a março; CV=Sulfato de cobre + nutrientes (calda Viçosa) aplicado de dezembro a março; CT+CV=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo em anos alternados, complementado com sulfato de cobre + nutrientes por via foliar; CT=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo.

Em 2003, o tratamento que recebeu aplicação do ciproconazole + tiametoxan GR em novembro controlou a ferrugem até o mês de abril. A doença evoluiu rapidamente nos meses seguintes e atingiu 67% de incidência em junho, superando 51% de incidência registrada na testemunha. O tratamento que associou o mesmo produto via solo com as quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes manteve a ferrugem no tratamento abaixo de 12%. Esse valor foi observado em quase todas as outras unidades experimentais que receberam os outros tratamentos. O tratamento iniciado após a amostragem que indicou 10% de incidência de ferrugem incluiu apenas uma aplicação de fungicida sistêmico no dia 25/03/03, quando as plantas já apresentavam 14% de incidência, e a ferrugem evoluiu até atingir 24% no mês de maio. Os cafeeiros que seriam tratados quando se verificasse 5% de incidência não receberam aplicação de fungicida sistêmico nesse ano.

Em 2004, os cafeeiros que receberam tratamento com quatro aplicações de fungicidas cúpricos (oxicloreto de cobre e sulfato de cobre + nutrientes) e os que foram tratados com aplicação anual de ciproconazole + tiametoxan GR apresentaram incidência máxima da ferrugem de 48, 34 e 34%, respectivamente. O tratamento que associou produto via solo com fungicida protetor incluiu apenas quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes nesse ano e manteve as plantas nas parcelas com menos de 21% de incidência da ferrugem. A curva de progresso apresentada como resultado desse tratamento foi semelhante à do tratamento que consistiu em duas aplicações foliares de epoxiconazole. O tratamento iniciado ao se constatar 5% de incidência consistiu em duas aplicações consecutivas de epoxiconazole nos meses de fevereiro (0,6 L/ha) e março (0,4 L/ha), com 30 dias de intervalo para manter o respectivo valor de incidência. Com base em observações visuais das plantas no mês de abril, verificou-se que as folhas das brotações novas dos cafeeiros submetidos a esse tratamento estavam pequenas e retorcidas, indicando possível fitotoxidez causada pelo fungicida. Nas avaliações seguintes, esses sintomas desapareceram. O tratamento baseado em 10% de incidência incluiu apenas uma aplicação no dia 19/02. A incidência final da ferrugem nos cafeeiros submetidos a esses dois tratamentos ficou abaixo de 4%.

Em 2005, os dois tratamentos com produto via solo consistiram na aplicação de ciproconazole + tiametoxan GR, no início de dezembro de 2004. O tratamento que recebeu complementação com sulfato de cobre + nutrientes manteve a incidência da ferrugem abaixo de 22%, enquanto o tratamento que não incluiu aplicação por via

foliar apresentou 40% no mês de junho. Os tratamentos baseados no calendário de aplicação com fungicidas cúpricos (oxiclureto de cobre e sulfato de cobre + nutrientes) e sistêmico (epoxiconazole), por via foliar, resultaram em menos de 20% de incidência de ferrugem ao final da epidemia. Apenas uma aplicação no mês de fevereiro foi necessária para manter os valores de incidência propostos nos tratamentos baseados em amostragem.

No último ano de avaliação, a incidência da ferrugem em novembro variou de 3 a 18% nas unidades experimentais submetidas aos diversos tratamentos. Aqueles que incluíram quatro aplicações de fungicidas cúpricos não controlaram a evolução da ferrugem. A incidência de ferrugem registrada em janeiro e fevereiro nas unidades tratadas com oxiclureto de cobre foi de 50%, enquanto que o tratamento com sulfato de cobre + nutrientes resultou em 30% de incidência nestes meses. Após o término das pulverizações, observou-se ligeira redução da doença nesses cafeeiros, mas a incidência ficou acima de 35% ao final da epidemia.

O tratamento com fungicida sistêmico via solo complementado com protetor incluiu apenas as aplicações de sulfato de cobre + nutrientes e resultou em incidência máxima de 24% em dezembro e ao final da epidemia abaixo de 20%. Os tratamentos baseados em amostragem receberam duas aplicações de sistêmico nos meses de dezembro e março, para manter os respectivos valores de incidência. As duas aplicações realizadas nesses tratamentos coincidiram com a época indicada pelo calendário de aplicação do epoxiconazole. O tratamento baseado em 5% de incidência reduziu significativamente a intensidade de doença. Quando as aplicações foram feitas em plantas após a constatação de 10% de incidência da ferrugem, não houve redução na intensidade da doença, que se manteve próximo de 20% durante todo o período de avaliação.

3.3. Exploração gráfica das curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro

A análise de regressão múltipla com seleção *stepwise* foi utilizada para selecionar variáveis representativas da incidência, severidade e do número de pústulas por folha da ferrugem do cafeeiro, as quais são relevantes para se obter a máxima discriminação entre os tratamentos. Duas variáveis relacionadas à incidência (IMF e IFF), uma relacionada à severidade (SFC) e duas relacionadas ao número de

pústulas de ferrugem por folha (NPFC e NPFM) foram selecionadas no conjunto de dados composto pelos seis anos de avaliação (Tabela 4).

Tabela 4 - Variáveis selecionadas nas curvas de progresso de incidência, severidade e número de pústulas de ferrugem por folha, em cafeeiros irrigados e submetidos a diferentes tratamentos fitossanitários, no período de 2001 a 2006, em Viçosa, MG

Variáveis ¹	R ² Parcial*	Teste F da análise de covariância		Correlação quadrada parcial	
		F	P	Média da correlação canônica quadrada	P
IFF	0,5123	20,41	< 0,0001	0,0732	< 0,0001
IMF	0,1320	2,93	0,0069	0,0896	< 0,0001
SFC	0,4198	14,06	< 0,0001	0,0600	< 0,0001
NPFM	0,5602	24,75	< 0,0001	0,0800	< 0,0001
NPFC	0,0919	1,95	0,0662	0,0931	< 0,0001

¹Variáveis: IFF = incidência de ferrugem ao final da epidemia (em julho); IMF = incidência máxima de ferrugem; SFC = severidade da ferrugem na colheita; NPFM = número máximo de pústulas de ferrugem por folha; NPFC = número de pústulas de ferrugem por folha no período da colheita. * R² parcial indica o poder explicativo adicional que a variável selecionada acrescenta ao modelo.

Cada uma das variáveis selecionadas foi individualmente submetida à análise de variância por medidas repetidas. Isso foi possível porque os dados obtidos para a construção das curvas de progresso foram coletados nas mesmas plantas, nas mesmas unidades experimentais em todos os meses e em todos os anos.

Os efeitos de tratamento, tempo e a interação tratamento * tempo foram significativos (P < 0,05) para todas as variáveis analisadas. Com base na interação significativa, verificou-se efeito diferenciado dos tratamentos fitossanitários na intensidade de ferrugem ao longo de seis anos de avaliação (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância por medidas repetidas para as variáveis relacionadas à incidência, severidade e número de pústulas da ferrugem por folha, em cafeeiro irrigado, no período de 2001 a 2006 em Viçosa, MG

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados médios ¹				
		IFF ²	IMF	SFC	NPFC	NPFM
Bloco	2	154,194	32,194	0,196	2,788	9,073
Tratamento	7	4.909,202**	4.632,190**	6,860**	61,575**	45,499**
Erro (A)	14	164,702	129,464	0,077	1,537	5,955
Tempo	5	677,494**	539,644**	1,546**	4,924*	6,466**
Tempo*Tratamento	35	487,260**	498,857**	0,687*	4,721**	3,882**
Tempo*Bloco	10	105,561	68,728	0,482	2,410	1,355
Erro (B)	70	122,888	132,131	0,404	2,000	1,030

¹ *, **: Significância nos níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

²Variáveis: IFF = incidência de ferrugem ao final da epidemia (em julho); IMF = incidência máxima da ferrugem; SFC = severidade da ferrugem durante a colheita; NPFM = número máximo de pústulas de ferrugem por folha; NPFC = número de pústulas de ferrugem por folha na colheita.

A técnica multivariada conhecida por análise da Curva de Resposta Principal (Principal Response Curves – PRC) foi adaptada para estudar a resposta a diferentes estratégias de aplicação de produtos fitossanitários sobre a intensidade da ferrugem do cafeeiro, representada pelas cinco variáveis selecionadas. Nessa técnica, somente a parte das informações explicada pela interação tratamento * tempo foi extraída no primeiro eixo canônico (PRC1). Os resultados obtidos com as estratégias de controle da ferrugem foram comparados aos obtidos com o tratamento-padrão (testemunha) e os escores correspondentes à resposta a cada tratamento ao longo dos anos foram plotados nos diagramas apresentados na Figura 3.

Em cada diagrama, quanto mais próximo da curva do tratamento-padrão estiver a curva do tratamento, menor será a eficácia de controle. Além de permitir a análise das variáveis ao longo dos anos, a técnica do PRC também gerou informações sobre cada ano. Os resultados obtidos na análise das curvas de respostas principais confirmaram as observações extraídas na exploração gráfica das curvas de progresso da ferrugem resultantes dos respectivos tratamentos.

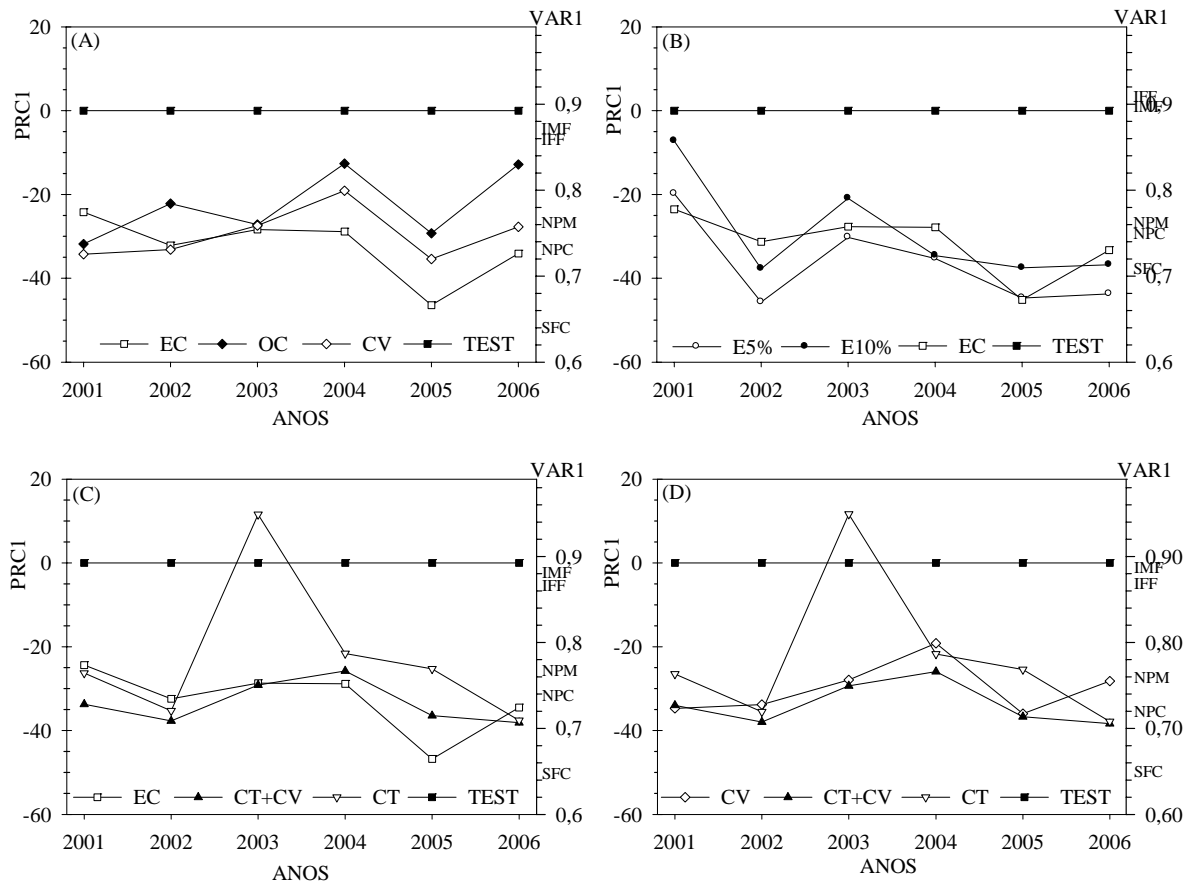


Figura 3 – Diagramas das curvas de respostas principais da intensidade da ferrugem, representadas pelo primeiro eixo canônico (PRC1), em cafeeiro submetido aos diferentes tratamentos fitossanitários no período de 2001 a 2006, em Viçosa, MG. VAR1: indica o peso de cada variável nas curvas de respostas apresentadas pelo PRC1. Tratamentos: TEST=Testemunha; E5%=Epoconazole aplicado após a constatação de 5% de incidência; E10%= Epoconazole aplicado após a constatação de 10% de incidência; EC=Epoconazole aplicado em dezembro e março (Calendário); OC=Oxicloreto de cobre aplicado de dezembro a março; CV=Sulfato de cobre + nutrientes (calda Viçosa) aplicado de dezembro a março; CT+CV=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo em anos alternados, complementado com sulfato de cobre + nutrientes por via foliar; CT=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo.

Com base no teste de permutação Monte Carlo (499 permutações), verificou-se que o primeiro eixo canônico foi significativo ($P < 0,01$) em todos os diagramas gerados (PRC1) e explicou mais de 75% da variabilidade dos dados (Tabela 6).

Tabela 6 - Teste de permutação Monte Carlo para a significância do primeiro eixo canônico (499 permutações).

Estratégias de aplicação	Autovalor ¹	Variância Explicada ² (%)	Teste de significância	
			F	P
(A) Fungicida sistêmico aplicado por via foliar vs Fungicida protetor aplicado por via foliar	0,780	96,9	170,10	0,002
(B) Fungicida sistêmico aplicado por via foliar de acordo com calendário vs Fungicida sistêmico aplicado de acordo com a amostragem	0,823	96,7	222,72	0,002
(C) Fungicida sistêmico aplicado por via foliar vs Fungicida sistêmico aplicado via solo	0,767	94,6	157,68	0,002
(D) Fungicida sistêmico aplicado por via solo anualmente vs Fungicida sistêmico aplicado via solo em anos alternados	0,756	94,5	149,03	0,002

¹Autovalor: indica quanto da variância está sendo mostrada pelo primeiro eixo canônico (PRC1);

²Variância explicada pelo primeiro eixo canônico: descreve a porcentagem de contribuição desse eixo em relação à soma de todos os eixos.

Nos diagramas apresentados na Figura 3, um segundo eixo das ordenadas foi apresentado à direita (VAR1), para indicar o peso de cada variável utilizada nas curvas de respostas aos tratamentos. As variáveis relacionadas à incidência da ferrugem (IFF e IMF) apresentaram o maior peso, e por isso apenas as curvas de progresso baseadas na incidência da doença foram apresentadas (Figura 2). Apesar de as variáveis relacionadas à severidade da doença e ao número de pústulas de ferrugem terem apresentado peso elevado nas curvas de respostas, elas foram menos importantes que as variáveis relacionadas à incidência.

As curvas de respostas apresentadas na Figura 3A indicam que o calendário de aplicação de fungicida sistêmico, recomendando duas aplicações nos meses de dezembro e março, proporcionou controle mais efetivo da ferrugem do cafeeiro do que as quatro aplicações de fungicidas protetores realizadas no mesmo período do

ano. Nota-se também uma tendência dos fungicidas cúpricos em manter a doença nas plantas ao longo dos anos. Em relação aos tratamentos em que se empregaram fungicidas protetores, a mistura de sulfato de cobre + nutrientes apresentou melhor resultado de controle da ferrugem que o oxiclureto de cobre. Esses resultados tornaram-se mais evidentes a partir do terceiro ano.

A resposta obtida dos cafeeiros tratados de acordo com o calendário de aplicação de fungicida sistêmico epoxiconazole foi comparada, na Figura 3B, com a resposta obtida com a aplicação feita de acordo com o esquema de amostragem, com dois valores de incidência para tomada de decisão sobre as aplicações. O fungicida sistêmico epoxiconazole aplicado no cafeeiro quando se constatou 5% de incidência mostrou-se mais eficiente em reduzir a intensidade de ferrugem nas plantas do que quando aplicado ao se verificar o valor de 10% de incidência ou do que quando se realizou o tratamento com base no calendário de aplicação. Não houve diferença entre os resultados desses dois tratamentos. Maior intensidade de ferrugem foi observada nos cafeeiros submetidos a esse último tratamento em 2001 e 2003. Todos os tratamentos mostraram uma tendência de redução na intensidade de ferrugem no período de 2001 a 2006.

Na Figura 3C, pode-se comparar a resposta dos cafeeiros à aplicação de fungicida + inseticida sistêmico via solo com a resposta à aplicação por via foliar de fungicida sistêmico no controle da ferrugem. A partir do segundo ano, a aplicação foliar manteve uma resposta de controle mais eficiente do que a aplicação de produtos sistêmicos via solo. A curva de resposta ao tratamento com aplicação anual de ciproconazole + tiametoxan GR mostrou variação muito grande no controle da ferrugem e confirmou a baixa eficiência desse tratamento no ano 2003. Por outro lado, quando esse produto foi aplicado em anos alternados e complementado com quatro aplicações foliares de sulfato de cobre + nutrientes, a resposta ao tratamento manteve-se estável ao longo dos anos, proporcionando menor intensidade de ferrugem nas plantas. Não houve diferença na curva de resposta ao produto via solo associado com fungicida protetor e o calendário de aplicação de fungicida sistêmico foliar.

O uso do calendário de aplicação para o tratamento com a mistura de sulfato de cobre com micronutrientes resultou em maior intensidade de ferrugem nas plantas do que quando o sulfato de cobre + nutrientes foi aplicado em associação com produto via solo em anos alternados. Isso ocorreu também nos anos 2002, 2004 e

2006, em que não houve aplicação de produtos via solo (Figura 3D). Em geral, a resposta ao controle da ferrugem do cafeeiro obtida com o tratamento com sulfato de cobre + nutrientes foi igual, e em alguns anos, superior à resposta ao tratamento com aplicação contínua de produto via solo.

De acordo com a análise dos dados, conclui-se que, ao longo dos seis anos de avaliação, os tratamentos com ciproconazole + tiametoxan GR aplicados via solo em anos alternados, complementados com sulfato de cobre + nutrientes, e os tratamentos baseados na aplicação do fungicida sistêmico epoxiconazole seguindo o calendário fixo ou a recomendação de acordo com a incidência de 5% de ferrugem apontada pela amostragem apresentaram controle mais eficiente da doença no período em que os cafeeiros foram avaliados.

3.4. Efeito dos tratamentos na produtividade do cafeeiro

A produtividade média registrada ao longo de cinco safras no experimento irrigado por gotejamento, em Viçosa, MG, foi de 29,5 sacas de café beneficiado por hectare. A produtividade obtida em 2001 não refletiu o efeito dos tratamentos, pois, quando os tratamentos foram instalados no campo, a produtividade desse ano já havia sido definida na floração ocorrida no ano anterior. Nos anos de 2002 e 2004, foram obtidas produtividades superiores à média, enquanto nos anos de 2003, 2005 e 2006, obteve-se produtividade abaixo da média (Tabela 7).

Com base na interação significativa entre tratamentos * anos na análise de variância, verificou-se que o efeito dos tratamentos fitossanitários na produtividade da cultura variou de um ano para outro. O desdobramento dessa interação dentro de cada ano foi realizado por meio de contrastes ortogonais (Tabela 8).

Em 2002, foram registradas as médias de produtividade mais altas em todas as unidades experimentais. As plantas que receberam tratamentos fitossanitários produziram 28% a mais em relação à testemunha. Não houve diferença entre as médias de produtividade obtidas nos grupos de contrastes correspondentes às diferentes estratégias de controle da ferrugem.

Ao contrário do que ocorreu no ano anterior, em 2003, registrou-se baixa produtividade na área experimental. Os tratamentos que empregaram fungicidas cúpricos produziram 22% mais que os tratamentos que empregaram fungicidas sistêmicos por via foliar ou via solo. Em relação aos fungicidas protetores, a mistura

de sulfato de cobre + nutrientes proporcionou ganho de produtividade de 49% em relação ao tratamento com oxiclureto de cobre.

Tabela 7 - Produtividade média e desvio-padrão, em sacas de café beneficiado por hectare, obtida em cafeeiros irrigados por gotejamento e submetidos a diferentes tratamentos fitossanitários, em Viçosa, MG, no período de 2002 a 2006 .

Tratamentos ²	Produtividade (Scs. café ben./ha)					Média
	2002	2003	2004	2005	2006	
1- TEST	39,2 ± 7,5	9,8 ± 1,6	29,5 ± 7,1	11,3 ± 4,6	14,2 ± 3,4	20,8
2- E5%	58,7 ± 6,6	16,5 ± 7,7	49,0 ± 13,1	22,3 ± 1,0	15,6 ± 5,1	32,4
3- E10%	43,9 ± 12,5	16,7 ± 6,1	27,8 ± 7,8	28,4 ± 6,0	15,0 ± 5,3	26,4
4- EC	60,7 ± 10,4	5,2 ± 1,5	52,2 ± 13,2	11,6 ± 1,6	22,4 ± 3,3	30,4
5- OC	53,3 ± 22,0	11,6 ± 2,8	43,8 ± 11,4	20,3 ± 2,2	26,7 ± 5,7	31,1
6- CV	49,3 ± 9,6	22,6 ± 7,1	42,5 ± 7,0	14,5 ± 2,4	22,4 ± 6,4	30,3
7- CT+CV	54,8 ± 5,6	11,6 ± 2,2	64,3 ± 9,7	14,7 ± 2,1	26,2 ± 3,7	34,3
8- CT	60,1 ± 8,0	16,7 ± 4,0	26,0 ± 8,4	31,7 ± 3,8	16,5 ± 3,3	30,2
Média	52,5	13,9	41,9	19,3	19,9	29,5

¹Cada dado representa a média de três repetições, seguido pelo desvio-padrão.

²Tratamentos: TEST=Testemunha; E5%=Epoconazole aplicado após a constatação de 5% de incidência; E10%= Epoconazole aplicado após a constatação de 10% de incidência; EC=Epoconazole aplicado em dezembro e março (Calendário); OC=Oxicloreto de cobre aplicado de dezembro a março; CV=Sulfato de cobre + nutrientes (calda Viçosa) aplicado de dezembro a março; CT+CV=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo em anos alternados, complementado com sulfato de cobre + nutrientes por via foliar; CT=Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado via solo.

Não houve diferença na produtividade dos cafeeiros que receberam tratamentos com fungicidas sistêmicos por via foliar ou via solo. Entretanto, em relação à estratégia de aplicação foliar, o tratamento com duas aplicações de epoconazole seguindo o calendário resultou em menor produtividade dentre todos os tratamentos, em todos os anos. Com isso, a produtividade foi 69% menor em relação à obtida com o uso do sistema de amostragem. Não houve diferença na produtividade obtida com os tratamentos iniciados ao se constatar 5 e 10% de incidência de ferrugem.

Tabela 8 - Contrastes médios e suas significâncias para produtividade do cafeeiro irrigado por gotejamento, no período de 2002 a 2006, em Viçosa, MG

Contrastes ¹	Contrastes médios					
	2002	2003	2004	2005	2006	Média
Testemunha vs Cafeeiros tratados com fungicidas	-15,214* (28%)	-4,629* (32%)	-14,157** (32%)	-9,186** (45%)	-6,471* (31%)	-9,929** (32%)
Fungicidas sistêmicos vs Fungicidas protetores	4,290 ^{ns}	-3,740* (22%)	0,710 ^{ns}	4,320** (20%)	-5,360* (22%)	0,04 ^{ns}
Fungicida sistêmico aplicado por via foliar vs Fungicida sistêmico aplicado via solo	-3,017 ^{ns}	-1,400 ^{ns}	-2,150 ^{ns}	-2,383 ^{ns}	-3,683 ^{ns}	-2,517 ^{ns}
Epoxiconazole aplicado de acordo com amostragem vs epoxiconazole aplicado de acordo com calendário	-9,400 ^{ns}	11,400** (69%)	-13,800* (26%)	13,750** (54%)	-7,100* (32%)	-1,000 ^{ns}
Epoxiconazole aplicado ao se observar 5% de incidência da doença vs epoxiconazole aplicado ao se observar 10% de incidência	14,800 ^{ns}	-0,200 ^{ns}	21,200** (43%)	-6,100* (21%)	0,600 ^{ns}	6,000* (18%)
Ciproconazole + tiametoxan GR aplicado anualmente via solo vs ciproconazole + tiametoxan GR aplicado em anos alternados via solo	5,300 ^{ns}	5,200 ^{ns}	-38,300** (60%)	16,900** (54%)	-9,700** (37%)	-4,100 ^{ns}
Sulfato de cobre + nutrientes vs oxiclureto de cobre	-4,100 ^{ns}	11,000** (49%)	-1,300 ^{ns}	-5,800* (29%)	-4,200 ^{ns}	-0,800 ^{ns}
CV(%) ³	19,9	26,5	41,2	11,9	40,3	11,1

¹ *, **: Significância nos níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo. ² números entre parênteses representam o acréscimo de produtividade proporcionado pelo grupo de médias usado nos contrastes. ³ Coeficiente de variação dado em porcentagem.

No ano de 2004, alta produtividade foi obtida com todos os tratamentos, houve diferença apenas entre os resultados dos tratamentos em que se empregaram os fungicidas sistêmicos. Nesse ano os cafeeiros tratados com Epoxiconazole seguindo calendário produziram 26% a mais do que os que receberam aplicação do produto no sistema de amostragem. Também houve diferença na resposta aos tratamentos baseados na amostragem: o tratamento iniciado com 5% de incidência de ferrugem apresentou ganho de produtividade 43% em relação ao tratamento baseado em 10% de incidência. Quanto aos tratamentos envolvendo fungicida + inseticida via solo, as plantas que receberam aplicação anual produziram aproximadamente 60% menos nesse ano em relação àquelas que receberam aplicação do fungicida em anos alternados com complementação de sulfato de cobre + nutrientes. Esse tratamento incluiu apenas as aplicações foliares de sulfato de cobre + nutrientes nesse ano. Entre os resultados conseguidos com o uso do calendário de aplicação de fungicidas protetores, não houve diferença quanto à produtividade dos cafeeiros.

Em 2005, a produtividade obtida nos tratamentos que receberam aplicação de fungicidas diferiu da produtividade obtida no tratamento-testemunha. A média de produtividade das parcelas de cafeeiros que receberam fungicidas sistêmicos foi 20% maior que a das parcelas tratadas com fungicidas cúpricos. As produtividades dos cafeeiros tratados com produtos via solo não diferiram das produtividades das plantas tratadas com fungicida sistêmico aplicado por via foliar. Plantas tratadas de acordo com o esquema de amostragem produziram 54% mais do que as tratadas com duas aplicações foliares de epoxiconazole. Entre os valores propostos para início das aplicações de fungicidas, o tratamento baseado em 5% de incidência de ferrugem resultou em produtividade 21% menor que o tratamento iniciado após a verificação de 10% de incidência. Em relação aos tratamentos com produto via solo, com a aplicação anual sem complementação foliar, os cafeeiros produziram 53% a mais que os cafeeiros que receberam tratamento com produto via solo complementado com quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes. Os tratamentos em que se seguiu o calendário de aplicação de fungicidas protetores, a produtividade obtida com oxicleto de cobre apresentou ganho de 29% em relação à obtida com a mistura de sulfato de cobre + nutrientes.

No último ano, a produtividade média obtida em todas as unidades experimentais que receberam diferentes tratamentos foi igual à média obtida no ano de 2005, mas a produtividade das plantas dentro das diferentes estratégias de controle

da ferrugem do cafeeiro foi diferente da observada no ano anterior. As parcelas que foram tratadas com fungicidas cúpricos produziram 22% a mais que as tratadas com sistêmicos. As plantas que receberam aplicações do epoxiconazole seguindo o calendário produziram 32% a mais que as plantas que receberam as mesmas aplicações no esquema de amostragem. Apesar de não ter incluído fungicida + inseticida neste ano, o tratamento com aplicação de produto via solo em anos alternados complementado com sulfato de cobre + nutrientes, foi possível produzir 37% a mais do que com o tratamento que incluiu somente aplicação anual de ciproconazole + tiametoxan GR. Não houve diferença na produtividade entre as plantas tratadas com fungicidas protetores.

Na média de cinco safras, foi possível observar que os tratamentos aplicados no controle da ferrugem do cafeeiro proporcionaram ganho de 32% de produtividade em relação às plantas que não receberam tratamento químico. Não houve diferença entre as estratégias de aplicação de fungicidas sistêmicos ou protetores. Com ambas as estratégias, foram produzidas a média de 30,7 sacas beneficiadas por hectare no período avaliado. Apesar de os tratamentos em que os produtos foram aplicados via solo terem resultado em ganho de produtividade de 8% em relação aos tratamentos em que se aplicou Expoconazole por via foliar, não houve diferença estatística entre as respostas dos cafeeiros às estratégias propostas.

A aplicação de fungicida sistêmico por via foliar também não resultou em diferença de produtividade obtida com os tratamentos baseados no sistema de calendário ou em amostragem. Dentro do esquema de amostragem, o tratamento iniciado após a constatação de nível de 5% de incidência de ferrugem proporcionou ganho de 18,5% e diferiu em relação ao tratamento iniciado depois que a incidência de ferrugem chegou a 10%. A maior produtividade foi obtida com o tratamento que associou ciproconazole + tiametoxan GR em anos alternados, complementados com a mistura de sulfato de cobre + nutrientes. Com base nos resultados da análise de contrastes, verificou-se que não houve diferença entre os resultados dos tratamentos que empregaram oxiclreto de cobre ou sulfato de cobre + nutrientes. A média de produtividade obtida com esses tratamentos foi a mesma obtida com o tratamento em que se empregou aplicação anual de fungicida + inseticida sistêmico via solo e apenas 10% menor em relação à obtida quando o produto foi aplicado via solo, com complementação foliar.

4. DISCUSSÃO

Na área experimental irrigada por gotejamento, realizaram-se 63 avaliações dos cafeeiros quanto à ferrugem, entre janeiro de 2001 e junho de 2006 em Viçosa, MG. Apenas os dados coletados no período de novembro de um ano a julho do ano seguinte foram utilizados na análise do progresso da doença. O padrão apresentado pelas curvas de progresso da ferrugem estava de acordo com o padrão observado em outros trabalhos realizados na Zona da Mata de Minas Gerais (SILVA-ACUÑA, 1996; VALE et al., 2000).

A comparação das respostas aos tratamentos foi realizada extraindo-se variáveis diretamente das curvas de progresso da ferrugem dos cafeeiros submetidos aos diferentes tratamentos fitossanitários, um procedimento conhecido como exploração gráfica de epidemias (JESUS JUNIOR et al., 2004).

A maioria das variáveis relacionadas à incidência, à severidade e ao número de pústulas de ferrugem por folha apresentou alta correlação entre si. Essa relação entre incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro foi primeiro demonstrada por Silva-Acuña et al. (1999). A presença de variáveis altamente correlacionadas num mesmo conjunto de dados pode reduzir a confiança das inferências derivadas das análises estatísticas multivariadas (MORA-AGUILERA e CAMPBELL, 1997). Por essa razão, optou-se por separar o conjunto de dados em três grupos de variáveis baseados em dados coletados de incidência, severidade e número de pústulas de ferrugem por folha. Dentro de cada grupo, foram selecionadas variáveis com maior poder de discriminação dos tratamentos, reduzindo-se o problema da multicolinearidade.

A variabilidade na resposta de interesse, intensidade de ferrugem, entre os anos de avaliação numa mesma unidade experimental, é normalmente diferente da variabilidade de resposta apresentada entre as unidades experimentais. Assim, pela impossibilidade de casualizar o fator tempo (anos de avaliação), os dados estariam correlacionados dentro da unidade experimental, e a estrutura de correlação não poderia ser predita antes de os dados serem analisados. Isso ocorre porque medidas correlacionadas ao longo do tempo violam a pressuposição de independência dos erros, dificultando a análise dos dados por meio de métodos estatísticos tradicionais (REYNOLDS e NEHER, 1997). Por essa razão, optou-se por utilizar a análise de

variância por medidas repetidas, pois as 63 avaliações foram realizadas nas mesmas unidades experimentais.

Em estudos sobre a ferrugem do cafeeiro, Avelino et al. (2006) demonstraram que a variação na intensidade desta doença depende mais de fatores locais, por exemplo manejo da lavoura, espaçamento e nutrição da planta, do que de fatores externos, como influência climática. Neste estudo a intensidade de ferrugem presente numa mesma unidade experimental pode ter variado em função da severidade da doença e desfolha ocorridas no ano anterior e da carga de frutos presente nas plantas. Em geral, quanto maior a intensidade de ferrugem, maior é a desfolha ocorrida nas plantas e conseqüentemente menor é a produtividade na safra seguinte. Ao longo do tempo, essa relação pode se tornar mais harmônica, se medidas de controle forem adotadas (KUSHALAPPA e ESKES, 1989).

A variação na produtividade pode também ser justificada pela bienalidade do cafeeiro. As plantas alternam anos de baixa com anos de alta produção. Em geral a curva de progresso da ferrugem acompanha essa variação na carga de frutos, conforme demonstrado em vários trabalhos (CHALFOUN, 1981; SILVA-ACUÑA et al., 1992; ZAMBOLIM et al., 1992; CARVALHO et al., 1996; CARVALHO et al., 2001; COSTA et al., 2006). Segundo Mantovani et al. (2003), o uso da irrigação em lavouras cafeeiras pode reduzir a bienalidade do cafeeiro, fazendo com que a produção de frutos seja mais estável ao longo dos anos. Indiretamente, isso poderia influenciar as curvas de progresso da ferrugem, mas esse efeito não foi observado neste trabalho. As curvas de progresso da ferrugem nas plantas que não receberam aplicação de produtos fitossanitários apresentaram o mesmo padrão na área irrigada e na área não irrigada.

Em lavouras irrigadas, a produtividade do cafeeiro é considerada muito baixa quando se produz menos de 20 sacas beneficiadas por hectare, baixa entre 21-30, média entre 31-40, alta entre 41-60 e ótima acima de 60 (Mantovani, 2003). De acordo com Neto (2002), esses valores são adotados como referência, mas podem sofrer variações, dependendo da região, do clima, da idade da lavoura, do tipo de solo, da nutrição da planta, do espaçamento, do preço de comercialização do produto, da irrigação e do manejo de pragas e doenças do cafeeiro. A produtividade média de 29,5 sacas beneficiadas por hectare obtida no experimento irrigado ao longo de cinco safras pode ser considerada média, devido principalmente à idade e ao espaçamento mais largo adotado na lavoura (4x1 m).

No período de condução do experimento, o acréscimo da produtividade na área irrigada foi de 17% em relação à área não irrigada, indicando que a relação custo-benefício poderia não justificar o investimento em sistemas de irrigação para o cafeeiro nas condições do município de Viçosa, na Zona da Mata de Minas Gerais. Na maioria dos anos ocorreram chuvas entre os meses de agosto e novembro, e os cafeeiros da unidade experimental não irrigada supriam grande parte do déficit hídrico do solo, igualando-se aos que estavam recebendo irrigação desde o mês de julho. Isso pode ter sido a principal causa da pequena diferença de produtividade encontrada entre o experimento irrigado e o não irrigado.

A época mais crítica para o cafeeiro com relação à necessidade de água é a fase de expansão rápida, quando os frutos aumentam rapidamente de tamanho e acumulam matéria fresca. Essa fase ocorre normalmente entre a sexta e a décima sétima semana após a floração (RENA et al., 2001). A expansão do endocarpo estabelece o tamanho máximo da semente e qualquer limitação hídrica para a cultura impede o óvulo de expressar seu tamanho potencial (RENA e MAESTRI, 1985; RENA et al., 2001). Nas condições experimentais, a florada principal do cafeeiro ocorreu na primeira quinzena de agosto, e na fase crítica da cultura o déficit hídrico era suprido pela irrigação e, ou, pelas chuvas. As precipitações médias anuais excederam 1.300 mm/ano, bem distribuídos entre os meses de outubro a março. Assim, conclui-se que a disponibilidade de água não foi limitante para a cultura entre 2001 e 2006, pois as chuvas ocorridas entre agosto e novembro de cada ano supriram as necessidades hídricas da cultura.

No caso da cafeicultura de montanha da Zona da Mata de Minas Gerais, além da topografia e dos fatores climáticos, o tamanho da área, a qualidade da água, o tipo de solo, o espaçamento entre as plantas, a capacidade de investimento, a mão-de-obra disponível e a assistência técnica são fatores que devem ser levados em consideração antes de se investir em irrigação nessa região (MANTOVANI et al., 2001). Nas condições experimentais, a irrigação não contribuiu para aumento expressivo da produtividade do cafeeiro.

Em se tratando do clima, observou-se que, apesar da alta produtividade obtida no primeiro ano, as condições climáticas não foram favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem. Baixa intensidade de chuvas e menor número de horas favoráveis à infecção (NHFI) pelo patógeno no período de janeiro a março contribuíram pouco para que a doença atingisse 50% de incidência no final da epidemia. Nesse ano, a

carga de frutos pode ter sido o fator mais importante na evolução da ferrugem que o clima.

A precipitação é outro fator relevante para o progresso ferrugem, pois, além de promover molhamento foliar, redistribui o inóculo residual presente nas plantas no início da estação chuvosa. Entretanto, quando em excesso, o molhamento pode “lavar” os esporos das folhas, contribuindo negativamente para a infecção (CARVALHO, 1971). A grande quantidade de precipitação no início de janeiro de 2003, seguida por veranico, e a baixa carga de frutos nas plantas contribuíram para atrasar a evolução da ferrugem, embora as condições de temperatura e umidade relativa fossem favoráveis à infecção nesse período.

A alta carga de frutos e as condições climáticas favoráveis à ferrugem, associadas aos valores crescentes de precipitação em 2004, anteciparam o pico da doença para o mês de abril, coincidindo com a época de colheita dos frutos. Neste ano, a incidência da ferrugem decresceu na área experimental após a colheita. Na maioria dos anos de avaliação, a ferrugem continuou evoluindo após a colheita.

Nos meses de maio a julho, o período de incubação do fungo varia de 45 a 60 dias, devido às baixas temperaturas e baixas precipitações, sendo que a intensidade de doença presente nas folhas nesses meses corresponde ao processo infeccioso iniciado no período em que as condições ainda eram favoráveis à infecção por *H. vastatrix* (VALE et al., 2000). Nessa época do ano, os esporos já penetraram os tecidos das folhas do terceiro ou quarto par disponíveis para as avaliações, que até então não manifestavam os sinais do patógeno (esporulação). Essas folhas permaneciam nas plantas, e por isso a intensidade de doença continuava a aumentar após a colheita. Também, as parcelas que receberam aplicação de fungicidas cúpricos sofreram pouca desfolha, e a intensidade de ferrugem nas plantas submetidas a esse tratamento também se manteve alta após a colheita.

Nos dois últimos anos, a produtividade média e a intensidade máxima de ferrugem foram semelhantes na testemunha, mas a curva de progresso da ferrugem apresentou comportamento diferente. Em 2005, o acréscimo na incidência da doença nos meses de novembro a março foi muito pequeno se comparado ao mesmo período de 2006. Mas o número de horas favoráveis à infecção pelo fungo em novembro pode ter sido determinante no progresso da ferrugem em 2006 (Figura 1).

Em anos de baixa produção e, ou, com condições climáticas desfavoráveis à infecção por *H. vastatrix*, o início da fase de evolução da ferrugem só ocorreu a partir

do mês de março. Por outro lado, em condições favoráveis ou com alta carga de frutos, a evolução da doença iniciou-se a partir do mês de dezembro. O controle preventivo com fungicidas cúpricos não foi eficiente em anos de altas produções ou com excesso de chuvas no período de dezembro a março. Apesar da importância da água da chuva, do orvalho ou de irrigação, na redistribuição do cobre na superfície das folhas, o excesso de molhamento pode retirar das folhas os “depósitos” desse nutriente, interferindo negativamente na eficácia do tratamento (FARIA et al., 1978; OLIVEIRA et al., 2002).

Esses fatores podem ter interferido na eficácia dos fungicidas cúpricos aplicados preventivamente nos anos de 2002 e 2004. No ano de 2006, verificou-se alta intensidade de ferrugem no início da epidemia em todas as unidades experimentais. Nessas circunstâncias, os fungicidas cúpricos foram aplicados nas plantas quando o fungo já as tinha penetrado e iniciado o processo de colonização, e assim foi mantida a alta intensidade de ferrugem ao longo de todo o período. O efeito do cobre na retenção foliar e na preservação do inóculo da ferrugem nas folhas do cafeeiro também foi observado em outros trabalhos (CRUZ e CHAVES, 1985; BROWN et al., 1995; CUNHA et al., 2004).

Grande quantidade de inóculo residual pode também ficar retida nas folhas e concorrer para a rápida evolução da doença no ano seguinte. A intensidade inicial da ferrugem está correlacionada com a severidade da doença registrada no ano anterior, as condições climáticas prevalentes no inverno e a quantidade de desfolha ocorrida nas plantas no período seco do ano. Mas a intensidade inicial da ferrugem em outubro/novembro pode não ser um fator importante para o desenvolvimento da epidemia se as condições não estiverem favoráveis à infecção pelo fungo (KUSHALAPPA e ESKES, 1989).

As curvas de respostas aos tratamentos com fungicidas cúpricos suportam a hipótese de manutenção de inóculo nas plantas, uma vez que houve tendência de aumento da intensidade de ferrugem com o passar dos anos. Assim, no estabelecimento de programas de manejo integrado, poderia ser recomendado, em anos de alta perspectiva de produção, uma aplicação de fungicida sistêmico no início da epidemia, com o objetivo de reduzir o inóculo residual para a estação seguinte.

Embora os tratamentos com aplicação de fungicidas cúpricos apresentassem maior intensidade de ferrugem, não houve reflexo disso na produtividade do cafeeiro, neste experimento. O cobre, além de atuar como fungicida é fundamental no

metabolismo da planta como constituinte de várias enzimas, sendo elemento importante na nutrição do cafeeiro (CARVALHO e CHALFOUN, 1998). Isso garante maior vigor vegetativo das plantas de café (efeito tônico dos fungicidas cúpricos), que se traduz indiretamente em aumento na produtividade (CRUZ FILHO e CHAVES, 1985).

Nos anos em que o tratamento com fungicida + inseticida sistêmico via solo foi complementado com quatro aplicações de sulfato de cobre + nutrientes, a resposta ao controle foi a mesma obtida com a aplicação de sulfato de cobre + nutrientes seguindo o calendário preventivo de controle. Entretanto, no ano seguinte, em que não houve aplicação de produtos via solo, a intensidade da ferrugem foi menor do que nos cafeeiros tratados de acordo com o calendário de aplicação de sulfato de cobre + nutrientes. A análise das curvas de respostas também indicou maior intensidade de ferrugem nos cafeeiros que receberam aplicação anual de ciproconazole + tiametoxan GR via solo do que naqueles em que o produto foi aplicado em anos alternados, com complementação foliar. As plantas apresentaram-se mais depauperadas, o que reduziu a produtividade do cafeeiro.

Ao longo de cinco safras, a produtividade média obtida com o tratamento que associou fungicidas sistêmicos via solo com fungicida cúprico foi 10,5% maior, em relação aos tratamentos em que os produtos foram utilizados separadamente. O acompanhamento do estado nutricional das plantas na área experimental, por meio da análise foliar, não indicou necessidade de complementação foliar com micronutrientes e, independentemente do tratamento aplicado, as plantas não apresentaram sintomas de deficiência nutricional em nenhum dos anos avaliados. Dessa forma esse ganho de produtividade pode estar mesmo associado à eficiência do tratamento no controle da ferrugem.

Segundo Almeida e Matiello (1999), a grande vantagem da estratégia de associar produtos via solo com aplicação foliar de cobre é o aproveitamento do espectro de ação dos fungicidas cúpricos sobre outras doenças do cafeeiro. Barros et al. (1999) observaram que a aplicação de triadimenol + disulfoton GR em anos alternados, sem complementação foliar, resultou em maior intensidade de ferrugem nas plantas e redução drástica na produtividade do cafeeiro ao longo de 10 anos de avaliação.

O fungicida sistêmico ciproconazole + tiametoxan GR apresenta um período residual no solo que varia de 60 a 90 dias. A aplicação do produto foi feita, na

maioria dos anos, na segunda quinzena de novembro, e conferiu proteção contra a ferrugem até o final de fevereiro/março. Em alguns anos, após esse período, a curva de progresso da ferrugem obtida com o tratamento acompanhou ou até superou a evolução da doença na testemunha. Alguns autores afirmaram nos seus trabalhos que, além do controle fitossanitário, esses produtos causaram efeito hormonal e interferiram na fisiologia da planta, promovendo maior crescimento radicular e vegetativo do cafeeiro (CAMARGO et al., 1996; GAMBÁ et al., 1996; BARROS et al., 1999). O desenvolvimento radicular possibilitaria maior absorção de nutrientes e o crescimento vegetativo aumentaria a área fotossinteticamente ativa, garantindo o suprimento de nutrientes e carboidratos necessários à frutificação do cafeeiro (CANNELL, 1976). Portanto, maior produtividade pode ser obtida com esses tratamentos. Por outro lado, maior carga de frutos, associada a grande área foliar disponível, pode possibilitar rápido desenvolvimento da ferrugem, atingindo valores elevados de incidência ao final da epidemia e causando grande desfolha no cafeeiro. Esse efeito foi observado em alguns anos no tratamento com aplicação de produto via solo sem complementação foliar. Outra desvantagem desses fungicidas é que, se usados consecutivamente, eles podem levar ao esgotamento da planta e, portanto, a baixas produtividades no decorrer dos anos (ZAMBOLIM e VALE, 2000).

A média de produtividade obtida nos cinco anos com aplicação anual de produto via solo foi a mesma das plantas tratadas apenas com sulfato de cobre + nutrientes ou oxiclureto de cobre. Isso é particularmente importante para a cafeicultura de montanha da Zona da Mata de Minas Gerais e do Espírito Santo, onde predominam pequenas propriedades, pois os tratamentos com produtos cúpricos poderiam ser utilizados no manejo da ferrugem do cafeeiro a custos, supostamente, mais baixos que os produtos sistêmicos.

A aplicação de fungicidas cúpricos no controle da ferrugem do cafeeiro também promoveria menor impacto ambiental que o uso contínuo de fungicidas sistêmicos via solo. Ressalta-se, ainda, que o bicho-mineiro não vem sendo problema em lavouras adultas na região, o que dispensaria o inseticida presente na formulação dos produtos.

Ao contrário do resultado que se obteve com o uso dos fungicidas cúpricos, as curvas de respostas à aplicação por via foliar do fungicida sistêmico epoxiconazole apresentaram a tendência de reduzir a intensidade de ferrugem nas plantas com o passar do tempo, tanto quando foi seguido o calendário de aplicação

quanto no sistema de amostragem. Essa equiparação ocorreu devido ao efeito curativo do epoxiconazole sobre as lesões novas causadas pela ferrugem e à inibição da esporulação nas lesões velhas presentes nas folhas do cafeeiro na época das pulverizações (MENDONÇA et al., 1999; CUNHA et al., 2004).

A intensidade de ferrugem nas unidades experimentais submetidas ao tratamento baseado no calendário de aplicação do fungicida sistêmico foi mais baixa do que no tratamento com fungicida sistêmico aplicado via solo e naquele em que foram usados fungicidas protetores, de acordo com as indicações do calendário de aplicação. No entanto, essa eficiência de controle da ferrugem não resultou em acréscimo significativo na produtividade média das cinco safras avaliadas. A explicação para isso pode ser a especificidade do epoxiconazole em relação a *Hemileia vastatrix*, pois esse fungicida não atua no controle de outras doenças do cafeeiro, por exemplo a mancha-de-olho-pardo, que também estava presente na área experimental e pode ter influenciado a produtividade final das plantas.

Além da possibilidade de aumento dos custos de produção, outro problema na utilização do calendário fixo para aplicação de fungicidas sistêmicos é o fato de ele considerar similar o comportamento do hospedeiro, do patógeno e do ambiente em cada ano, o que na realidade não ocorre (KUSHALAPPA e ESKES, 1989). Os resultados obtidos neste trabalho permitiram observar que as condições climáticas, a produtividade do cafeeiro e a intensidade de ferrugem nas plantas variaram de um ano para outro, possibilitando uma flexibilidade na recomendação do controle baseado no calendário fixo de aplicação.

As aplicações de epoxiconazole realizadas em plantas com 5% de incidência de ferrugem apresentaram a melhor resposta ao controle ao longo do tempo que aquelas realizadas em plantas com 10% de incidência ou seguindo o calendário fixo de aplicação do produto. Além disso, esse tratamento manteve a produtividade do cafeeiro, com menor número de aplicações, principalmente em anos de baixa carga de frutos ou com condições climáticas desfavoráveis à infecção por *H. vastatrix*.

Nos anos de 2003 e 2006, o efeito curativo do epoxiconazole não foi suficiente para manter o controle da ferrugem do cafeeiro quando aplicado após a constatação de incidência acima de 10%, e isso pode ter refletido negativamente na produtividade do cafeeiro. Silva-Acuña et al. (1992) também observaram que aplicação do triadimefon em lavoura com incidência de ferrugem acima de 8% não

trouxe benefícios à produção, devido à queda de folhas provocada pela maior intensidade de ferrugem nas plantas.

Em anos de baixa produção, os valores de incidência da ferrugem observados para início das pulverizações foram atingidos mais tarde, próximo ao início da colheita. Esse atraso no progresso da doença limitou a aplicação de epoxiconazole, devido ao período de carência de 45 dias do produto. Com isso, a incidência da doença atingiu valores elevados após a colheita, não justificando a aplicação do produto. A carga de frutos nas plantas, além do clima, exerceu grande influência no progresso da ferrugem nos respectivos tratamentos.

Os resultados apresentados mostraram que a aplicação de epoxiconazole em café com 5% de incidência foi mais eficiente no controle da ferrugem do que a aplicação feita quando a doença atinge a incidência de 10% e manteve a mesma produtividade que o tratamento feito de acordo com o calendário fixo de aplicação. Portanto, 5% de incidência poderia ser utilizado como valor-padrão para tomada de decisão em relação ao controle da ferrugem nas condições da Zona da Mata de Minas Gerais. Associação deste valor de incidência com outras variáveis, como a carga de frutos na planta e clima, poderia orientar melhor em relação ao início das pulverizações com fungicidas protetores ou sistêmicos. Sierra-Sanz e Montoya-Restrepo (1995) estudaram a relação entre diferentes valores de incidência de ferrugem e produção do cafeeiro para ajudar na tomada de decisão sobre o início e frequência das aplicações de fungicidas na Colômbia. Os resultados obtidos por esses autores permitiram elaborar um modelo simples, baseado apenas no índice de infecção e no número de dias após a floração, que permitiu reduzir o número total de aplicações de fungicidas protetores e sistêmicos em relação ao indicado no calendário fixo, principalmente em períodos de ciclo produtivos com condições desfavoráveis à doença.

Assim, pensando no manejo integrado da doença, novos trabalhos deveriam ser estabelecidos em condições de campo, visando à elaboração de modelos simples e práticos que flexibilizassem a tomada de decisão em relação ao uso de fungicidas sistêmicos ou protetores, utilizando-se 5% de incidência com um valor pré-estabelecido para o início das pulverizações com fungicidas.

Alguns trabalhos foram realizados visando estabelecer modelos de previsão das epidemias da ferrugem do cafeeiro baseando-se em variáveis climáticas e na incidência de doença (KUSHALAPPA et al., 1984; PINTO et al., 2002; GARÇON et

al., 2004). Na prática, nenhum dos modelos vem sendo aplicado, devido à necessidade de validação em diferentes regiões produtoras de café e à dificuldade de obtenção, pelos produtores, das variáveis (*input*) que são utilizadas pelos modelos, principalmente em regiões com cafeicultura de baixo nível tecnológico.

Uma situação comum durante a condução do experimento foi a constatação de incidência de ferrugem com valor abaixo daquele indicado para o início das aplicações de fungicidas. Isso ocorreu, principalmente, nas unidades que deveriam receber aplicações de produtos após a constatação de 10% de incidência de ferrugem. Era então feita nova amostragem, após 30, dias para ver se o respectivo valor de incidência já havia sido atingido. Nessa amostragem a incidência de doença ultrapassava em muito o valor pré-determinado, e a aplicação do epoxiconazole não tinha o efeito esperado nos meses seguintes. Ao longo das seis safras avaliadas, esse problema pode ter influenciado negativamente a produtividade do cafeeiro, tornando menor a produção das unidades experimentais em relação às unidades cujos tratamentos com o mesmo produto foram realizados quando constatada a incidência de 5%.

Observou-se então, que o intervalo de 30 dias foi muito longo para a tomada de decisão sobre início das aplicações com base em valores mais altos de incidência e não deve ser utilizado no período mais favorável à infecção (novembro a março). Neste caso, o problema de basear-se num valor fixo para tomada de decisão é que não se consegue quantificar a intensidade de doença latente (quando a planta ainda não apresenta sinais do patógeno) nos tecidos foliares, pois nesse intervalo, se as condições estiverem favoráveis, a doença evolui rapidamente e compromete a eficácia do tratamento. Segundo Zambolim et al. (2003), o controle da ferrugem do cafeeiro baseado no esquema de amostragem exige também que outros fatores sejam levados em consideração para início das aplicações, como o tamanho da área, a disponibilidade de equipamentos e mão-de-obra, o tipo de produto a ser aplicado, o intervalo entre amostragens, a carga de frutos, as condições favoráveis à infecção, o grau de enfolhamento das plantas e a quantidade de inóculo residual.

A irrigação é uma prática de manejo bastante difundida em regiões cafeeiras do Brasil que têm alta demanda hídrica, possibilitando aumento e estabilidade de produção e ainda a obtenção de produto de melhor qualidade. Entretanto, nem todas as regiões permitem sua implantação, principalmente em decorrência da distribuição das chuvas, da topografia desfavorável e do tamanho das áreas de produção. Embora

estudos de curta duração tenham dado indicativo do potencial de uso da irrigação na Zona da Mata de Minas Gerais, este experimento mostrou que o acréscimo de 17 % na produtividade média do cafeeiro pode não justificar o investimento em irrigação para a região de Viçosa, MG.

Dentro de uma visão integrada de manejo, este trabalho também mostrou que não houve influência da irrigação nas respostas ao controle da ferrugem, embora entre cafeeiro submetidos ao mesmo tratamento alguma diferença na produtividade tenha sido observada nas plantas irrigadas e não-irrigadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.R.; MATIELLO, J.B. Efeito de fungicidas cúpricos e sistêmicos e uso associado para o controle de doenças (ferrugem e cercosporiose) no cafeeiro e sua ação sobre o desenvolvimento do sistema radicular e produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca-SP, 1999. **Anais...** p. 16-17.

AVELINO, J.; ZELAYA, H.; MERLO, A.; PINEDA, A.; ORDOÑEZ, M.; SAVARY, S. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. **Ecological Modelling**, v. 197, p. 431-447, 2006.

BARROS, U.V.; BARBOSA, C.M.; MENDONÇA, G. Evolução da produção do cafeeiro devido ao efeito do uso de Baysiston por vários anos consecutivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca-SP, 1999. **Anais...** p. 222-223.

BROWN, J.S.; WHAN, J.H.; KENNY, M.K.; MERRIMAN, P.R. The effect of coffee leaf rust on foliation and yield of coffee in Papua New Guinea. **Crop Protection**, v.14, p. 589-592, 1995.

CAMARGO, A.P. Prescrição de regras para cafezal em áreas de seca prolongada de inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., Rio de Janeiro, 1989. **Anais...** p. 65-70.

CAMARGO, R.; MENDES, A.N.G.; GUIMARÃES, J.R.; DIAS, J.R.G. Efeito de inseticidas e fungicidas granulados de solo no desenvolvimento inicial de cafeeiros recém-plantados na presença e ausência de matéria orgânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 22., Águas de Lindóia-SP, 1996. **Anais...** p. 88-89.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology.** New York: John Wiley & Sons, 1990. 430p.

CANNELL, M.G.R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Kenya Coffee**, v. 41, p. 245-253, 1976.

CARVALHO, E.A.M. **Progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) em diferentes sistemas de irrigação.** 1998. 32 f. Monografia de Graduação – UFU, Uberlândia, MG.

CARVALHO, P.C.T. Ferrugem do Cafeeiro. In: PARANÁ, A.D.E.A.D. (Ed.). **Compêndio das palestras proferidas no seminário sobre ferrugem do cafeeiro.** Londrina: Instituto Brasileiro do Café – GERCA, 1971. p.15-39.

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

CARVALHO, V.L.; CHALFOUN, S.M.; CASTRO, H.A.; CARVALHO, V.D. Influência da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 401-405, 1996.

CARVALHO, V.L.; CHALFOUN, S.M.; CASTRO, H.A.; CARVALHO, V.D. Influência de diferentes níveis de produção sobre a evolução da ferrugem do cafeeiro

e sobre teores foliares de compostos fenólicos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, p. 49-54, 2001.

CHALFOUN, S.M. Relação de diferentes índices de infecção de ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) sobre produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em algumas localidades do Estado de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, p. 137-142, 1981.

COSTA, M.J.N.; ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F.A. Efeito de níveis de desbaste de frutos do cafeeiro na incidência da ferrugem, no teor de nutrientes, carboidratos e açúcares redutores **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 564-571, 2006.

CRUZ FILHO, J.; CHAVES, G.M. **Sulfato de cobre + nutrientes no controle da ferrugem do cafeeiro**. Viçosa: Conselho de Extensão, UFV, 1985. 22p.

CUNHA, R.L.; MENDES, A.N.G.; CHALFOUN, S.M. Controle químico da ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e seus efeitos na produção e preservação do enfolhamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, p. 990-996, 2004.

FARIA, J.C.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G.M. Tenacidade de fungicidas cúpricos veiculados em óleo mineral emulsionado ou puro, sobre a folhagem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Fitopatologia Brasileira**, v.3, p.59-64, 1978.

FERNANDES, A.L.T.; DRUMOND, L.C.D.; SANTINATO, R. Plantio circular do cafeeiro com pivô central, utilizando emissores localizados. **Cafeicultura**, v. 2, p. 14-19, 2003.

GAMBA, H.; MATIELLI, A.; SAN JUAN, R.C.C. Influência do fungicida triadimenol (Baysiston e Bayfidan 60 GR) sobre o enraizamento do cafeeiro e seu desenvolvimento vegetativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 22., Águas de Lindóia-SP, 1996. **Anais...** p. 189-190.

GARÇON, C.L.P.; ZAMBOLIM, L.; MIZUBUTI, E.S.G.; VALE, F.X.R.; COSTA, H. Controle da ferrugem do cafeeiro com base no valor de severidade. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 486-491, 2004.

JESUS JUNIOR, W.C.; POZZA, E.A.; VALE, F.X.R.; MORA-AGUILERA, G. Análise Temporal de Epidemias. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil Editora, 2004. p.125-192.

JULIATTI, F.C.; MOREIRA, J.C.; MENDONÇA, F.C.; SANTOS, C.M. Incidência e severidade da ferrugem em lavoura conduzida sob diferentes sistemas de irrigação e lâminas d' água. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., Poços de Caldas-MG, 2000. **Anais...** p. 211-214.

KUSHALAPPA, A.C.; AKUTSU, M.; OSEGUERA, S.H.; CHAVES, G.M.; MELLES, C.A.; MIRANDA, J.M.; BARTOLO, G.F. Equations for predicting the rate of coffee rust development based on net survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 9, p. 255-271, 1984.

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

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

MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A.; RENA, A.B. A irrigação na cafeicultura de montanha. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV. 2001. p.129-155.

MANTOVANI, E.C.; VICENTE, M.R.; MUDRIK, A. A irrigação do cafeeiro – em que condições a irrigação é necessária e como irrigá-lo nestas condições? In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV. 2003. p.279-318.

MENDONÇA, P.L.P.; BARBOSA, J.A.C.; NAVARRO, V.J.C.; BEGLIOMINI, E. Variação de doses de Opus (Epoxiconazole) aplicado em diferentes níveis de infecção da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca-SP, 1999. **Anais...** p. 46-48.

MONTOYA, R.H.; CHAVES, G.M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. **Experientiae**, v. 18, p. 239-266, 1974.

MORA-AGUILERA, G.; CAMPBELL, C.L. Principal components analysis and biplot display of multivariate temporal data. In: FRANCL, L.; NEHER, D.A. (Eds.). **Exercises in Plant Disease Epidemiology**. St. Paul: APS Press, 1997. p.51-57 e 194-197.

NETO, D.E. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento**. 2002. 127 f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

OLIVEIRA, S.H.F.; SANTOS, J.M.F.; GUZZO, S.D. Efeito da chuva sobre a tenacidade e eficiência de fungicidas cúpricos associados ao óleo vegetal no controle da ferrugem do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, p.581-585, 2002.

PINTO, A.C.S.; POZZA, E.A.; SOUZA, P.E.; POZZA, A.A.A.; TALAMINI, V.; BOLDINI, J.M.; SANTOS, F.S. Descrição da epidemia de ferrugem do cafeeiro com redes neuronais. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 517-524, 2002.

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV, 2001. p.101-128.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v. 11, p. 14-26, 1985.

REYNOLDS, K.L.; NEHER, D.A. Statistical comparison of epidemics. In: FRANCL, L.; NEHER, D.A. (Eds.). **Exercises in plant disease epidemiology**. St. Paul: APS Press, 1997. p.34-37 e 189-191.

SIERRA-SANZ, C.A.; MONTOYA-RESTREPO, E.C. Control de la roya del café con base en niveles de infección y su efecto en la producción. **Cenicafé**, v. 46, p. 69-80, 1995.

SILVA-ACUÑA, R.; MAFFIA, L.A.; ZAMBOLIM, L.; BERGER, R.D. Incidence-severity relationships in the pathosystem *Coffea arabica*-*Hemileia vastatrix*. **Plant Disease**, v. 83, p. 186-188, 1999.

SILVA-ACUÑA, R.S. **Epidemiologia e controle químico da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1996. 140 f. Tese. Doutorado em Fitopatologia – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

SILVA-ACUÑA, R.S.; ZAMBOLIM, L.; VENEGAS, V.H.A.; CHAVES, G.M. Relação entre a produção de grãos, o teor foliar de macronutrientes e a severidade da ferrugem do cafeeiro. **Revista Ceres**, v. 224, p. 365-377, 1992.

SOUZA, A.F.; ZAMBOLIM, L. Influência da irrigação na intensidade das doenças e na produtividade do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV, 2004. p.173-210.

SOUZA, A.F.; ZAMBOLIM, L.; BOMFIN, H.N.; COSTA, D.R.; ZAMBOLIM, E.M.; MANTOVANI, E.C. Associação entre lâminas de irrigação e controle químico de doenças foliares do cafeeiro irrigado por gotejamento. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., Águas de Lindóia-SP, 2007. **Anais**. CD.

TALAMINI, V.; SOUZA, P.E.D.; POZZA, E.A.; SILVA, A.M.D.; BUENO FILHO, J.S.D.S. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, p. 55-62, 2001.

TER BRAAK, C.J.F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and user's guide to canoco for windows. Software for canonical community ordination (version 4)**. Ithaca: MicroComputer Power, 1998. 352p.

VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W.C. Efeito de fatores climáticos na ocorrência e no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., Poços de Caldas-MG, 2000. **Anais...** p. 171-173.

ZAMBOLIM, L.; SILVA ACUÑA, R.; VALE, F.X.R.; CHAVES, G.M. Influência da produção do cafeeiro sobre o desenvolvimento da ferrugem (*Hemileia vastatrix*). **Fitopatologia Brasileira**, v. 17, p. 32-35, 1992.

ZAMBOLIM, L.; SOUZA, A.F.; MANTOVANI, E.C. Influência da irrigação no progresso de doenças e pragas do cafeeiro. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v. 73, p. 67-76, 2007.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R. Perdas na produtividade e qualidade do cafeeiro causadas por doenças bióticas e abióticas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV, 2000. p.239-261.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, E.M. Produção integrada do cafeeiro: Manejo de doenças. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV, 2003. p.443-508.

CONCLUSÕES GERAIS

A irrigação por gotejamento, realizada de maneira complementar, no período de julho a novembro, em Viçosa, MG, não influenciou o padrão das curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro.

Em cada experimento, a intensidade de ferrugem nos cafeeiros variou entre as unidades experimentais submetidas a diferentes tratamentos e também entre aquelas que receberam o mesmo tratamento nos diferentes anos de avaliação.

A aplicação por via foliar do fungicida sistêmico epoxiconazole, seguindo-se calendário, proporcionou controle mais eficiente da ferrugem do que os tratamentos com fungicida sistêmico aplicado via solo ou com fungicidas protetores, em ambos os casos também de acordo com o calendário de aplicações.

As aplicações de epoxiconazole realizadas em plantas com 5% de incidência de ferrugem resultaram em controle mais eficiente da doença ao longo do tempo em relação às aplicações feitas em unidades experimentais com 10% de incidência.

As plantas que receberam aplicação anual de ciproconazole + tiametoxan GR apresentaram maior intensidade de ferrugem e menor produtividade quando

comparadas às que receberam o mesmo produto aplicado em anos alternados e complementado com aplicação de fungicida cúprico por via foliar.

Os tratamentos com fungicidas cúpricos resultaram em maior intensidade de ferrugem nas plantas, mas mantiveram a produtividade dos cafeeiros igual ou superior à dos que receberam os tratamentos com fungicidas sistêmicos aplicados por via foliar ou via solo.

Ao longo de cinco safras de cultivo, a irrigação por gotejamento proporcionou acréscimo de 17% na produtividade média do cafeeiro em relação às plantas não irrigadas.

A técnica de análise multivariada por meio das curvas de respostas principais mostrou-se como uma ferramenta de grande utilidade na comparação dos resultados dos diferentes tratamentos fitossanitários aplicados aos cafeeiros para o controle da ferrugem ao longo de seis anos de avaliação das plantas em campo.

ANEXO

Tabela 2 - Análise das características físico-hídricas* do solo na área experimental

Profundidade (cm)	Granulometria			Densidade aparente (g/cm ³)	Capacidade de campo (Bar)	Ponto de murcha permanente (Bar)
	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)			
0 -20	36	12	52	1,13	25,52	18,07
20-60	29	11	60	1,18	26,88	19,94

*Análise realizada pelo laboratório de Física do Solo da UFV, no ano 2000.