

DIÓGENES DA CRUZ BATISTA

**DINÂMICA DE INÓCULO DE *Alternaria solani*, EFEITO DA
DENSIDADE DE PLANTIO NA INTENSIDADE DA PINTA PRETA
E REQUEIMA E PREVISÃO DESSAS DOENÇAS EM
TOMATEIRO E BATATEIRA**

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*.

BRASIL
VIÇOSA – MINAS GERAIS
2006

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

T

B333d
2006

Batista, Diógenes da Cruz, 1975-

Dinâmica de inóculo de *Alternaria solani*, efeito da densidade de plantio na intensidade da pinta preta e requeima e previsão dessas doenças em tomateiro e batateira / Diógenes da Cruz Batista. – Viçosa : UFV, 2006.

xii, 106f. : il. ; 29cm.

Orientador: Luiz Antonio Maffia.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Fungos fitopatogênicos. 2. Hortaliças - Plantio.
 3. Pinta-preta - Epidemiologia. 4. Requeima - Epidemiologia. 5. Tomate - Doenças e pragas - Controle.
 6. Batata - Doenças e pragas - Controle.
 7. *Alternaria solani*. 8. *Phytophthora infestans*.
- I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 632.4


DIÓGENES DA CRUZ BATISTA

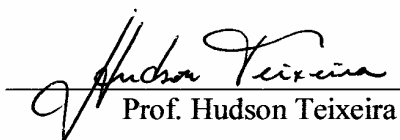
DINÂMICA DE INÓCULO DE *Alternaria solani*, EFEITO DA DENSIDADE DE PLANTIO NA INTENSIDADE DA PINTA PRETA E REQUEIMA E PREVISÃO DESSAS DOENÇAS EM TOMATEIRO E BATATEIRA

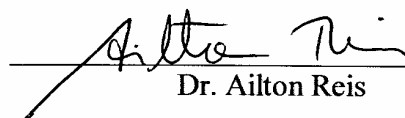
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

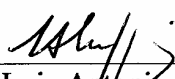
APROVADA: 31 de março de 2006.


Prof. Sergio Herminio Brommonschenkel


Prof. Carlos Henrique Osório Silva
(Conselheiro)


Prof. Hudson Teixeira


Dr. Ailton Reis


Prof. Luiz Antonio Maffia
(Presidente da Banca)

Aos meus pais Jorge e Dagmar.
Ao meu irmão, Dergeson, e à minha companheira Rosa,
luzes guiadoras nos momentos difíceis de minha vida.

DEDICO.

A realidade de hoje, foi o sonho de ontem; o sonho de hoje, será a realidade de amanhã; e em todas as épocas zombou-se dos sonhadores.

Zákind Piatogórsky

AGRADECIMENTOS

A Deus agradeço pela conclusão desta nova etapa de minha vida.

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

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela bolsa concedida durante a realização do curso.

Ao professor Luiz Antônio Maffia, pelo apoio, pelas sugestões, pelas revisões dos capítulos e pelo acolhimento no Laboratório de Epidemiologia na fase inicial do curso, na época sem orientador definido.

Ao professor Eduardo Seiti Gomide Mizubuti, pela orientação incondicional, pelos valiosos ensinamentos, pelos estímulos e pelo precioso convívio.

Ao conselheiro, professor Carlos Henrique Osório Silva, pelos ensinamentos e pela ajuda nas análises de modelagem de risco de pinta preta em tomateiro.

Aos professores do Departamento de Fitopatologia.

À turma do Laboratório de Epidemiologia.

Ao estagiário e amigo, Dulcélcio H. Lana, pela constante participação na condução dos experimentos de campo.

Aos funcionários do viveiro de café, pela ajuda durante os momentos difíceis no campo.

Aos amigos conquistados durante os quatro anos de curso.

Ao funcionário Mário e família, pelo bom convívio que com certeza vai deixar saudades.

Aos meus familiares que juntamente comigo fizeram desse sonho uma realidade.

À minha segunda família: Osvaldo, Márcia, Leonardo e Tâmara.

E a todos que de alguma forma fez deste curso uma passagem agradável.

BIOGRAFIA

DIÓGENES DA CRUZ BATISTA é filho de Jorge Fiúza Batista Filho e Dagmar da Cruz Batista, nasceu em Salvador-BA no dia 22 de março de 1975.

Em 2000, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual da Bahia (UNEB).

Em 2002 concluiu o curso de Mestrado em Agronomia-Fitossanidade/ Fitopatologia na Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE e no mesmo ano iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia na Universidade Federal de Viçosa-UFV. Após conclusão do Doutorado em 2006, foi aprovado e classificado no concurso público para o cargo de Pesquisador III-Fitopatologia da Embrapa Semi-Árido.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. Quantificação de atributos epidemiológicos básicos, com o propósito de determinar	4
1.2. Geração de informações epidemiológicas aplicadas	5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
SOBREVIVÊNCIA DE <i>Alternaria solani</i> EM RESTOS DE CULTURA E QUANTIFICAÇÃO DE CONÍDIOS DO PATÓGENO NO AR	9
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1. Características da área experimental	13
2.2. Sobrevivência em restos culturais de tomateiro	13
2.3. Variáveis climáticas	15
2.4. Quantificação de conídios de <i>Alternaria solani</i> no ar	15
2.5. Análise de dados experimentais	16
3. RESULTADOS	18
3.1. Sobrevivência de <i>Alternaria solani</i> em restos de tomateiro	18
3.2. Aplicação da regressão logística na análise de sobrevivência de <i>Alternaria solani</i>	24

	Página
3.3. Quantificação de conídios de <i>Alternaria solani</i> dispersos pelo ar	26
4. DISCUSSÃO	29
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
 EPIDEMIAS DE PINTA PRETA E REQUEIMA EM TOMATEIRO E BATATEIRA CULTIVADOS EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO	38
RESUMO	38
ABSTRACT	39
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAL E MÉTODOS	43
2.1. Épocas e localidades de plantio	43
2.2. Intensidade de requeima e pinta preta da batateira	44
2.3. Intensidade da pinta preta do tomateiro	44
2.4. Dados climáticos	45
2.5. Análise de dados	45
3. RESULTADOS	46
3.1. Intensidade da requeima da batateira	46
3.2. Intensidade da pinta preta da batateira	56
3.3. Intensidade da pinta preta do tomateiro	59
4. DISCUSSÃO	61
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
 MODELO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO DE PINTA PRETA DO TOMATEIRO BASEADO NA PRECIPITAÇÃO	70
RESUMO	70
ABSTRACT	71
1. INTRODUÇÃO	72
2. MATERIAL E MÉTODOS	75
2.1. Condução dos experimentos	75
2.2. Processamento e análise dos dados	76
2.3. Modelo logístico misto	77
2.4. Limiar de decisão P_L e incremento da doença	78
2.5. Análise de risco	78
3. RESULTADOS	79
4. DISCUSSÃO	83
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

	Página
VALIDATION OF DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR TOMATO EARLY BLIGHT AND POTATO LATE BLIGHT, UNDER BRAZILIAN CONDITIONS	89
ABSTRACT	89
1. INTRODUCTION.....	90
2. MATERIALS AND METHODS.....	92
2.1. DSS of tomato early blight	92
2.2. DSS of potato late blight.....	93
2.3. Statistical analysis	94
3. RESULTS.....	94
3.1. Early blight DSS.....	94
3.2. Late blight DSS	95
4. DISCUSSION	95
5. ACKNOWLEDGMENTS	98
6. REFERENCES	98

RESUMO

BATISTA, Diógenes da Cruz, D.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2006.
Dinâmica de inóculo de *Alternaria solani*, efeito da densidade de plantio na intensidade da pinta preta e requeima e previsão dessas doenças em tomateiro e batateira. Orientador: Eduardo Seiti Gomide Mizubuti. Conselheiros: Luiz Antonio Maffia e Carlos Henrique Osório Silva.

Diferentes aspectos epidemiológicos, básicos e aplicados, relativos à pinta preta (*Alternaria solani*) (PP) e à requeima (*Phytophthora infestans*) (RQ), foram estudados com o objetivo de gerar informações necessárias ao manejo dessas doenças foliares do tomateiro e batateira. Os estudos básicos foram realizados com o propósito de determinar: a dinâmica de conídios de *A. solani* ao longo do ano; a sobrevivência do patógeno em restos de folíolos e hastes de tomateiro enterrados ou mantidos sobre a superfície do solo; e a influência da densidade de plantio na intensidade de PP em batateira e tomateiro e RQ em batateira. Foram também geradas informações epidemiológicas aplicadas, com: a validação de sistemas de previsão para PP do tomateiro (FAST, CUFAST e TOMCAST) e para RQ da batateira (BLITECAST, SIMCAST, NEGFRY, Wallin) na região de Viçosa, e o desenvolvimento de um modelo de previsão simples para a PP do tomateiro baseado em precipitação pluviométrica. Maior concentração de conídios foi detectada na primavera-verão e o maior pico (62 conídios/m³) foi verificado em outubro. A quantidade de conídios capturados foi negativamente correlacionada a umidade relativa (UR) e números de horas de UR acima que 90%, e foi positivamente correlacionada ao número de horas de UR abaixo de 70%

e temperatura acima de 20°C. A viabilidade de *A. solani* declinou rapidamente quando restos de folíolos ou de hastes de tomateiros foram enterrados. A esporulação em restos de folíolos enterrados durante 90 dias foi até 10 vezes menor que naqueles mantidos na superfície. O tempo máximo de sobrevivência foi de 242 e 272 dias em folíolos e hastes na superfície, respectivamente. Não houve diferença quanto à severidade ou à área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da PP em parcelas de tomateiro ou batateira plantadas em três diferentes espaçamentos, com ou sem aplicação de clorotalonil. Para a RQ da batateira, a baixa densidade de plantio reduziu a AACPD. A razão entre os valores de AACPD obtidas em parcelas densas e espaçadas, não pulverizadas, foi 2,49 e 1,15 nas cvs. Bintje e Monalisa, respectivamente. O desempenho dos sistemas de previsão para a PP e RQ variou conforme a época do ano. Para a PP, os valores de AACPD, na primavera-verão e verão-outono, nos tratamentos CUFAST (64,0 e 359,2, respectivamente) e FAST (123,2 e 340,3, respectivamente) não diferiram daqueles do sistema calendário (82,5 e 225,7, respectivamente), porém houve redução de pulverizações com os sistemas. Em ambas as épocas, TOMCAST não diferiu da testemunha não-pulverizada. Os sistemas BLITECAST, SIMCAST, NEGFRY e Wallin recomendaram pulverizações em experimentos conduzidos no verão, apesar de não constatação de epidemia de RQ. No outono, os valores de AACPD dos modelos BLITECAST (19,5), SIMCAST (97,7), NEGFRY (193,1) e Wallin (69,7) não diferiram dos valores do calendário (63,5). Porém, houve economia de uma pulverização para os modelos Wallin e NEGFRY e aumento de uma e duas com os sistemas SIMCAST e BLITECAST, respectivamente. Desenvolveu-se um modelo por regressão logística, para a análise de risco de PP em tomateiro em função apenas de precipitação. O modelo final gerado para estimar a probabilidade (p) de aumentar a severidade da PP em dois pontos percentuais foi: $\ln(p/(1-p)) = -0,6208 - 0,1373X_1 + 0,5767X_2 - 0,0413X_1X_2 + 0,0042X_1^2 + 0,0979X_2^2 + u$, onde X_1 é a precipitação total, e X_2 número acumulado de horas com precipitação, durante 4 dias e u é um efeito aleatório assumido ser normal com média igual a zero e variância $\sigma^2 = 8,90$. Este modelo ainda necessita ser validado em condições de campo, porém, juntamente com as demais informações geradas, poderá contribuir para melhorar o manejo da doença.

ABSTRACT

BATISTA, Diógenes da Cruz, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2006.
***Alternaria solani* inoculum dynamics, effect of planting density in the intensity of early and late blight and systems of those diseases in tomato and potato.**
Adviser: Eduardo Seiti Gomide Mizubuti. Committee Members: Luiz Antonio Maffia and Carlos Henrique Osório Silva.

Several basic and applied epidemiological aspects, relative to early (*Alternaria solani*) and late (*Phytophthora infestans*) were studied to generate useful information for the management of these diseases in tomato and potato. The basic studies were conducted aiming to determine: dynamics of *A. solani* conidia in the air throughout the year; the survival of the pathogen associated with tomato crop debris (leaflets and stems) kept either buried or on soil surface; and the influence of planting spacing on the intensity of early blight on both hosts and of late blight on potato. Applied epidemiological studies involved the validation of forecast systems for tomato early (FAST, CUFAST, and TOMCAST) and potato late (BLITECAST, SIMCAST, NEGFY, and Wallin) blight, and the development of a simple model, based only on precipitation, for the forecast of tomato early blight. Highest concentration of conidia in the air was detected during spring-summer and a peak (62 conidia/m³) was recorded in October. The number of conidia was negatively correlated with relative humidity (RH) and the number of hours with RH above 90%, and it was positively correlated with the number of hours with RH below 70% and temperature above 20°C. The viability of *A. solani* quickly declined when crop debris were buried. After 90 days, sporulation in

buried leaflet debris was up to 10 times lower than in those kept at the soil surface. The maximum survival time was 242 and 272 days, in leaflets and stems kept on the surface, respectively. There was no difference regarding disease severity or area under the disease progress curve (AUDPC) for early blight in tomato or potato plots planted at three different spacing, with or without chlorothalonil application. For late blight, the more spaced plots had the lowest AUDPC values. The ratio between average AUDPC values from unsprayed spaced and dense plots was 2.49 and 1.15, in ‘Bintje’ and ‘Monalisa’, respectively. Performance of early and late blight forecast systems varied according to the season. For early blight, AUDPC values in spring-summer and summer-fall, in plots treated according CUFAS (64.0 and 359.2, respectively) and FAST (123.2 and 340.3, respectively) did not differ from the calendar (82.5 e 225.7, respectively), however the number of sprays was reduced with both systems. In both seasons, TOMCAST did not differ from the unsprayed control. The BLITECAST, SIMCAST, NEGFRY, and Wallin systems triggered fungicide sprays in experiments carried out during the summer, despite no late blight epidemics developed in the plots. In the fall, AUDPC values for BLITECAST (19.5), SIMCAST (97.7), NEGFRY (193.1), and Wallin (69.7) did not differ from the calendar (63.5). One fungicide spray was saved with Wallin and NEGFRY, but compared to the calendar, SIMCAST and BLITECAST recommended one and two sprays more, respectively. A simple model, based only on precipitation, was developed using logistic regression to assess the risk on early blight on tomato. The equation to estimate the probability (p) of an increase of two percentual points in early blight severity was: $\ln(p/(1-p)) = -0.6208 - 0.1373X_1 + 0.5767X_2 - 0.0413X_1X_2 + 0.0042X_1^2 + 0.0979X_2^2$, where X_1 is total precipitation and X_2 is the cumulative number of hours with precipitation during the last four days and u is a random effect assumed normally distributed with mean equal to zero and variance $\sigma^2 = 8.90$. This models still needs to be validated under field conditions, however, together with the other information generated in this study it will potentially contribute to improve disease management.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Das hortaliças cultivadas, o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L. = *Lycopersicon esculentum* Mill.) e a batateira (*Solanum tuberosum* L.) são as mais importantes (JONES *et al.*, 1993). No Brasil, as áreas cultivadas com as culturas do tomateiro ou da batateira são de aproximadamente 60.000 e 142.000 ha, respectivamente. Os principais Estados produtores são: Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. No Sudeste, região na qual se concentra a maior área plantada (25.716 e 69.937 ha de tomate e batata, respectivamente), Minas Gerais contribui com cerca de 36,6% (tomate) e 55,0% (batata) da produção (IBGE, 2004).

As duas culturas são afetadas por doenças causadas por vários patógenos e, dentre os problemas fitossanitários, a pinta preta causada pelo fungo *Alternaria solani* Sorauer, é considerada uma doença fúngica de grande prevalência em cultivos de tomateiro e batateira (JONES *et al.*, 1993). Em levantamentos de problemas fitossanitários nos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, constatou-se que a pinta preta é a doença mais comum (VALE *et al.*, 1992; COUTO e TAVARES, 2002). As variedades de tomateiro e batateira, comercialmente importantes, não apresentam nível de resistência satisfatório a *A. solani* e o controle da doença depende, quase que exclusivamente, da aplicação de fungicidas sistêmicos e protetores (HIJMANS *et al.*, 2000; SHTIENBERG, 2000). Outra doença importante para as culturas do tomateiro e da batateira é a requeima, causada por *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary. Estima-se que o custo anual e mundial para o controle da requeima, em batata e tomate seja da ordem de 1 bilhão de dólares (GROVES e RISTAINO,

2000). O manejo de mais de uma doença seria prática interessante na condução destas culturas.

No cultivo de hortaliças em especial, o uso intensivo de fungicidas contribui para aumentar os problemas relativos à saúde humana, associados ao risco de contaminação dos agricultores e consumidores, e ao ambiente (NAKANO, 1999). De modo geral, os fungicidas para controle da pinta preta e requeima são aplicados em intervalos de sete a dez dias, sem levar em consideração o risco e as condições ambientais favoráveis à ocorrência da doença (PATTERSON e NOKES, 2000). O desenvolvimento de estratégias de manejo que reduzam a quantidade de fungicidas e que não aumentem os riscos de perdas de produção relacionados à doença é meta a ser alcançada.

A implementação de estratégias para manejo de doenças foliares em tomateiro e batateira somente será possível após detalhado conhecimento de seus aspectos epidemiológicos. Apesar da importância da pinta preta e requeima para a produção de tomate e batata no Brasil, são raros os estudos quanto aos aspectos epidemiológicos e manejo da doença no campo, o que dificulta o delineamento racional de estratégias de manejo para sua prevenção e controle.

Dadas a agressividade dos patógenos *A. solani* e *P. infestans*, a indisponibilidade de variedades resistentes com boas características agronômicas e a dependência do controle químico para reduzir as perdas, o uso racional de fungicidas é a principal meta a ser alcançada a curto prazo. É necessário aumentar a eficiência das aplicações destes compostos. Para tal, pode-se empregar técnicas que desfavoreçam o desenvolvimento de epidemias com o propósito de potencializar os efeitos das aplicações de fungicidas, assim como utilizar recursos que permitam detectar momentos críticos em que a aplicação destes produtos é requerida. Em outras palavras, implementar medidas de controle cultural que desfavoreçam os patógenos aliadas ao uso de sistemas de previsão de epidemias.

Estratégias de manejo que envolva o controle cultural associado ao químico podem contribuir para reduzir as aplicações de fungicidas sem aumentar os riscos da doença. No caso de patógenos altamente dependentes de umidade, medidas culturais que permitam reduzir esta variável seriam potencialmente úteis (ROTEM e PALTÍ, 1969; BURDON e CHILVERS, 1982). Por exemplo, o manejo da densidade de plantio pode aumentar a circulação de ar, a incidência de radiação, a temperatura e reduzir a umidade relativa ao redor das plantas. A ação conjunta e desfavorável destes fatores

pode reduzir a taxa de progresso de requeima e pinta preta em plantios de batata e tomate, e assim diminuir o uso de fungicidas. Até o momento, nenhum estudo foi conduzido no Brasil para quantificar o efeito do espaçamento sobre a intensidade da requeima e da pinta preta.

Tanto a requeima quanto a pinta preta são doenças policíclicas (CAMPBELL e MADDEN, 1990) e podem aumentar em função do número de plantas disponíveis para infecção e subsequente produção de inóculo. Assim, quanto mais plantas forem infectadas nos primeiros ciclos, maior será o número de plantas infectadas nos ciclos secundários (MALOY, 1993). Por essa razão, outra estratégia de manejo consiste na redução do inóculo primário ou inicial (Y_0), que pode ser originado de plantas voluntárias, hospedeiros secundários, restos de cultura e dispersão de inóculos pelo ar (ROTEM, 1968; PATTERSON, 1991; ROTEM, 1994; van der WAALS *et al.*, 2003). Com a dispersão do inóculo, campos de cultivos distantes da fonte de produção do inóculo podem ser infectados. Outra situação comum é a de lavouras em regiões onde é praticado o monocultivo. Nestas, as epidemias podem iniciar pelo inóculo presente nos restos de cultura do cultivo anterior (AYLOR, 1990; PRESTES *et al.*, 1999). Tal fato exerce grande influência no início da epidemia, uma vez que plantas próximas a restos de cultura podem ser prontamente infectadas (FERNANDES, 1997; PRESTES *et al.*, 1999; PRYOR *et al.*, 2002). Recentemente concluiu-se um estudo sobre a disponibilidade de inóculo aéreo e sobrevivência de *P. infestans* nas condições brasileiras (LIMA, 2005). Porém, para *A. solani*, nenhum estudo de sobrevivência ou de disponibilidade de inóculo aéreo foi feito no Brasil. O fungo *A. solani* pode sobreviver em restos culturais (BASU, 1971), porém a sobrevivência depende da temperatura e umidade (ROTEM, 1968). O tempo de sobrevivência de *A. solani* pode ser reduzido em restos culturais enterrados no campo uma vez que a umidade do solo é garantida pela ocorrência de precipitações. Assim medida simples, a exemplo da incorporação de restos de cultura, pode contribuir para a redução do inóculo inicial durante o mesmo ano de cultivo. Em regiões de clima tropical, a exemplo do sudeste do Brasil, o tempo de sobrevivência de *A. solani* pode ser reduzido antes de um ano do cultivo da espécie hospedeira em virtude da frequência de precipitações.

Sistemas de previsão identificam períodos quando as condições ambientais são favoráveis a doenças e auxiliam na tomada de decisão entre aplicar ou não fungicida e assim reduzir aplicações desnecessárias (MADDEN *et al.*, 1978; PENNYPACKER *et al.*, 1983; SOUZA *et al.*, 2002). Isto é vantajoso do ponto de vista econômico e

ambiental, especialmente com as preocupações ora em voga quanto ao uso excessivo de pesticidas e conseqüentes contaminações ambiental e de resíduos em alimentos (MAGNI *et al.*, 2002). A requeima da batata foi uma das primeiras doenças para a qual sistema de previsão foi desenvolvido, e continua a receber considerável atenção até os dias de hoje, com o desenvolvimento, validação e implementação de diferentes modelos (GRÜNWALD *et al.*, 2002; YUEN e HUGHES, 2002).

Para a pinta preta, também foram desenvolvidos sistemas de previsão e alguns foram testados no Brasil. O modelo de previsão FAST utiliza dois modelos empíricos: o modelo de orvalho e o de chuva (MADDEN *et al.*, 1978; MALOY, 1993). Para atender as necessidade e condições locais o sistema FAST foi modificado, e os sistemas modificados passaram a ser denominados CUFAST e TOMCAST (GLEASON *et al.*, 1995). Alguns destes sistemas foram testados no Brasil e os resultados são promissores (KATSURAYAMA e BONET, 1996; ANDRADE, 1997; NAZARENO *et al.*, 1999; PAUL *et al.*, 2000). Contudo, o controle da doença tem apresentado certa inconsistência (KATSURAYAMA e BONET, 1996; PAUL *et al.*, 2000). A validação em diferentes locais e épocas seria recomendável. Embora a validação exaustiva dos sistemas existentes seja válida como medida a curto prazo, novas soluções devem ser procuradas, pois os sistemas disponíveis foram desenvolvidos para operar em condições de regiões temperadas, que não necessariamente refletem as condições climáticas do Brasil. Aliado a este problema há que considerar também os aspectos técnico e econômico. Produtores brasileiros são em geral de pequeno porte, há carência de pessoal técnico especializado e a restrição de estação ou aparelho de coleta de dados climáticos inviabiliza a expansão destes sistemas. Vislumbra-se que o desenvolvimento de sistema de previsão baseado em poucas variáveis climáticas de simples mensuração seria contribuição relevante.

O presente trabalho objetivou quantificar diferentes atributos epidemiológicos básicos e aplicados, inerentes aos patossistemas *A. solani* e *P. infestans* – tomateiro e batateira, com o propósito de subsidiar medidas de controle das doenças. Os seguintes aspectos foram considerados:

1.1. Quantificação de atributos epidemiológicos básicos, com o propósito de determinar

- a) a dinâmica de inóculo (conídios) de *A. solani* ao longo das estações do ano;
- b) a sobrevivência e viabilidade de *A. solani* em restos de folíolos e caules de tomateiro enterrados e mantidos sobre a superfície do solo; e

c) a influência da densidade de plantio na intensidade de pinta preta em batateira e tomateiro e requeima em batateira.

1.2. Geração de informações epidemiológicas aplicadas, com

a) a validação de sistemas de previsão para pinta preta do tomateiro (FAST, CUFAST e TOMCAST) e para requeima da batateira (BLITECAST, SIMCAST, NEGFRY, Wallin) na região de Viçosa-MG; e

b) o desenvolvimento de um modelo de previsão simples para a pinta preta do tomateiro baseado em precipitação pluviométrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, D. F. A. A. **Previsão e controle químico da pinta preta (*Alternaria solani* Sorauer), sob dois sistemas de condução do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**. 1997. 103 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

AYLOR, D. E. The role of intermittent wind in the dispersal of fungal pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v. 28, p. 73-92, 1990.

BASU, P. K. Existence of chlamydospores of *Alternaria porri* f. sp. *solani* as overwintering propagules in soil. **Phytopathology**, v. 61, p. 1347-1350, 1971.

BURDON, J. J.; CHILVERS, G. A. Host density as a factor in plant disease ecology. **Annual Review of Phytopathology**, v. 20, p. 143-166, 1982.

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

COUTO, M. E. O.; TAVARES, F. W. Levantamento de problemas fitossanitários no Estado do Rio Grande do Sul realizado pela clínica fitossanitária. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 181, 2002.

FERNANDES, J. M. C. As doenças de plantas e o sistema plantio direto. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 5, p. 317-352, 1997.

GLEASON, M. L.; MacNAB, A. A.; PITBLADO, R. E.; RICKER, M. D.; EAST, D. A.; LATIN, R. X. Disease-warning systems for processing tomatoes in eastern North America: are we there yet? **Plant Disease**, v. 79, p. 113-121, 1995.

GROVES, C. T.; RISTAINO, J. B. Commercial fungicide formulation induce in vitro oospore formation and phenotypic change in mating type in *Phytophthora infestans*. **Phytopathology**, v. 90, p. 1201-1208, 2000.

GRÜNWARD, N. J.; MONTES, G. R.; SALDAÑA, H. L.; COVARRUBIAS, O. A. R.; FRY, W. E. Potato late blight management in the Toluca valley: Field validation of SimCast modified for cultivars with higher field resistance. **Plant Disease**, v. 86, p. 1163-1168, 2002.

HIJMANS, R. J.; FORBES, G. A.; WALKERS, T. S. Estimating the global severity of potato late blight with GIS-link disease forecast models. *Plant Pathology*, v. 49, p. 697-705, 2000.

IBGE. **Anuário de produção agrícola do Brasil**. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.

JONES, J. B.; JONES, J. P.; STALL, R. E.; ZITTER, T. A. **Compendium of tomato disease**. St. Paul: APS Press, 1993. 73 p.

KATSURAYAMA, Y.; BONET, J. I. S. Viabilidade do uso de sistema de previsão para o controle da requeima da batateira na região de São Joaquim, SC. **Fitopatologia Brasileira**, v. 21, p. 105-109, 1996.

LIMA, M. A. ***Phytophthora infestans*: Sobrevivência em restos culturais, hospedeiros alternativos e dinâmica temporal de esporângios no ar**. 2005. 61 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

MADDEN, L.; PENNYPACKER, S. P.; MacNAB, A. A. FAST, a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. **Phytopathology**, v. 68, p. 1354-1358, 1978.

MAGNI, M.; ROSSIER, D.; CRETAZ, P.; JOLLIET, O. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 93, p. 379-392, 2002.

MALOY, O. C. **Plant disease control: principles and practice**. New York: John Wiley e Sons., 1993. 346 p.

NAKANO, O. As pragas das hortaliças: seu controle e o selo verde. **Horticultura Brasileira**, v. 17, p. 4-5, 1999.

NAZARENO, N. R. X.; SCOTTI, C. A.; MAFIOLETTI, R. L.; BOSCHETTO, N. Controle da requeima da batata através do monitoramento de variáveis climáticas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, p. 170-174, 1999.

PATTERSON, C. L. Importance of chlamydospores as primary inoculum for *Alternaria solani*, incitant of collar rot and early blight on tomato. **Plant Disease**, v. 75, p. 274-278, 1991.

- PATTERSON, J. M.; NOKES, S. E. Incorporation of chlorothalonil persistence on processing tomato into TOM-CAST. **Agricultural Systems**, v. 64, p. 171-187, 2000.
- PAUL, P. A.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C.; FONTES, P. C. R. Efeito de sistemas de condução e regimes de pulverização no controle da pinta preta e sobre a produção de tomate. **Fitopatologia Brasileira**, v. 26, p. 440-444, 2000.
- PENNYPACKER, S. P.; MADDEN, L. V.; MacNAB, A. A. Validation of an early blight forecasting system for tomatoes. **Plant Disease**, v. 67, p. 287-289, 1983.
- PRESTES, A. M.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C.; COSTA, H. Rotação de culturas no manejo de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 7, p. 369-405, 1999.
- PRYOR, B. M.; STRANDBERG, J. O.; DAVIS, R. M.; NUNEZ, J. J.; GILBERTSON, R. L. Survival and persistence of *Alternaria dauci* in carrot cropping systems. **Plant Disease**, v. 86, p. 1115-1122, 2002.
- ROTEM, J.; PALTÍ, J. Irrigation and plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, v. 7, p. 267-288, 1969.
- ROTEM, J. **The genus *Alternaria*. Biology, epidemiology, and pathogenicity.** St. Paul: APS Press, 1994. 326 p.
- ROTEM, J. Thermoxerophytic properties of *Alternaria porri* f. sp. *solani*. **Phytopathology**, v. 58, p. 1284-1287, 1968.
- SHTIENBERG, D. Modelling: the basis for rational disease management. **Crop Protection**, v. 19, p. 747-752, 2000.
- SOUZA, R. T.; FORCELINI, C. A.; REIS, E. M.; CALVETE, E. O. Validação de dois sistemas de previsão para a queima das folhas da cenoura. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 87-90, 2002.
- VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M.; CORREIA, L. G. Avaliação fitossanitária da cultura do tomateiro em regiões produtoras de Minas Gerais e Espírito Santo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 17, p. 211, 1992.
- van der WAALS, J. E.; KORSTEN, L.; AVELING, T. A. S.; DENNER, F. D. N. Influence of environmental factors on field concentrations of *Alternaria solani* conidia above a South African potato crop. **Phytoparasitica**, v. 31, p. 353-364, 2003.
- YUEN, J. E.; HUGHES, G. Bayesian analysis of plant disease prediction. **Plant Pathology**, v. 51, p. 407-412, 2002.

SOBREVIVÊNCIA DE *Alternaria solani* EM RESTOS DE CULTURA E QUANTIFICAÇÃO DE CONÍDIOS DO PATÓGENO NO AR

RESUMO: A sobrevivência de *Alternaria solani* em folíolos e hastes de tomateiro infectado (2003/04 e 2005/06) e a relação entre a concentração de conídios no ar e as variáveis climáticas (março-janeiro 2005/06) foram estudadas sob condições de campo. Amostras de folíolos e hastes, sob saco de malha plástica, foram mantidas na superfície ou a 20 cm de profundidade e avaliadas periodicamente. A viabilidade e sobrevivência de *A. solani* declinaram rapidamente quando o material vegetal estava enterrado: a esporulação de *A. solani* em folíolos após 90 dias foi 10 e 1,14 vezes menor que quando mantida na superfície, em 2003/04 e 2005/06, respectivamente. Na superfície, o tempo máximo de sobrevivência foi 242 e 272 dias em folíolos e hastes, respectivamente. A probabilidade de *A. solani* sobreviver em hastes e a viabilidade de folíolos foram estudados por regressão logística usando o tempo (T) e decomposição (Pr) como variáveis independentes. Os modelos com variáveis independentes T, T², Pr e TxPr ou T, T², Pr², TxPr foram desenvolvidos para folíolos mantidos na superfície e enterrados, respectivamente. Para sobrevivência de *A. solani* em hastes na superfície e enterrados, T, T², e Pr e T e Pr, respectivamente, foram incluídos. Todos os coeficientes de correlação entre probabilidade observada e predita pelos modelos foram acima de 90%. Observou-se alta correlação negativa entre esporulação (em folíolos) e sobrevivência (em hastes) em relação a precipitação e horas de precipitação acumulada. A sobrevivência do patógeno foi fortemente reduzida em folíolos e hastes mantidos a 20 cm de profundidade e com ocorrência de precipitações. Muitos dos conídios dispersos pelo ar (>10 conídios/m³ ar) foram coletados entre a primavera e verão e o maior pico (62 conídios/m³) foi observado em Outubro. A quantidade de conídios capturados foi negativamente correlacionada com umidade relativa-UR (P<0,0001) e números de horas de UR acima de 90% (P= 0,0016), mas positivamente correlacionada com números de horas de UR abaixo de 70% (P<0,0001) e temperatura acima de 25°C (P=0,0071). Maior concentração de conídios coincidiu com o decréscimo da UR e aumento da temperatura, bem como com alta intensidade de pinta preta em cultivos de tomateiro e batateira em áreas próximas. Poucos conídios foram dispersos no inverno. A disponibilidade de conídios de *A. solani* aumentou na primavera-verão e decresceu durante o inverno.

Palavras-chave: Pinta preta, *Solanum lycopersicum*, dispersão, epidemiologia, manejo.

SURVIVAL OF *Alternaria solani* IN CROP DEBRIS AND QUANTIFICATION OF PATHOGEN CONIDIA IN THE AIR

ABSTRACT: Survival of *Alternaria solani* in naturally infected tomato leaves and stems (in 2003/04 and 2005/06) and the relationship between concentrations of airborne conidia of the pathogen and weather variables (march/january 2005/06) were studied under field conditions. Samples of tomato stems and leaves placed in nylon mesh bags were set at soil surface or buried 20 cm-deep in the soil and periodically sampled. Viability and survival of *A. solani* quickly declined at 20 cm: sporulation of *A. solani* on leaf tissues after 90 days was 10.0 and 1.14 times less than in surface, in 2003/04 and 2005/06, respectively. At soil surface, maximal time of survival was 242 and 272 days in leaves and stems, respectively. The probability of *A. solani* to survive in stem and conidia viability in leaf tissue was modeled by logistic regression, using time (T) and percentage of decomposition of crop debris (Pr) as independent variables. Models with independent variables T, T², Pr and TxPr or T, T², Pr², and TxPr (model 4) were developed for leaf at 0 and 20 cm - deep, respectively. Survival of *A. solani* in surface was modeled as a function of T, T², and Pr and that in buried stems, of T and Pr, respectively. All correlation coefficients between observed and predicted probabilities by the models were above 90%. Negative correlation between sporulation (in leaf debris) and survival (in stem debris) were strong for rain and cumulative rain time accumulate. Pathogen survival was strongly reduced on leaf and stem debris in 20 cm depth and with occurrence of rainfall. Most of the airborne conidia (>10 conidia/m³ air) were collected between spring and summer with a peak (62 conidia/m³) in October. The amount of trapped conidia was negatively correlated with relative humidity (RH) (P<0.0001) and number of hours in which RH was above 90% (P=0.0016), but positively correlated with numbers of hours of RH below 70% (P<0.0001) and temperature above 25° C (P=0.0071). Highest concentration of *A. solani* conidia coincided with the decrease of both RH and temperature and high intensity of early blight. Few conidia were dispersed in winter. Therefore availability of airborne conidia of *A. solani* increased in spring / summer and decreased in winter.

Keywords: Early blight, *Solanum lycopersicum*, dispersal, epidemiology, management

1. INTRODUÇÃO

A pinta preta, causada pelo fungo *Alternaria solani* Sorauer, tem ocorrência generalizada nos cultivos de tomateiro no Brasil, onde ocasiona perdas na produtividade e na qualidade dos frutos (VALE *et al.*, 1992; ROTEM, 1994; GWARY e NAHUNNARO, 1998; PAUL *et al.*, 2000; COUTO e TAVARES, 2002). A doença pode afetar tomateiros da fase de mudas até a adulta (ROTEM, 1994). As primeiras infecções normalmente estão associadas à disponibilidade do inóculo primário ou inicial (y_0), que pode ser originado de plantas voluntárias, hospedeiros secundários ou restos de cultura (PATTERSON, 1991; ROTEM, 1968, 1994; van der WAALS *et al.*, 2003). Há três aspectos importantes relacionados à interação da dinâmica de inóculo e o desenvolvimento de epidemias de pinta preta: i) restos culturais podem ser fontes de inóculo para as epidemias; ii) conídios de *A. solani* são dispersos pelo vento; e iii) a doença é policíclica (BASU, 1971; ROTEM, 1994; van der WAALS *et al.*, 2003).

Alternaria solani tem atividade saprofítica e pode formar clamidósporos, estruturas especializadas de sobrevivência (BASU, 1971; GWARY e NAHUNNARO, 1998). No entanto, em geral, a sobrevivência de *Alternaria* spp. na ausência do tecido hospedeiro varia com o tipo de propágulo e as condições ambientais, especialmente temperatura e umidade (ROTEM, 1968; PRYOR *et al.*, 2002). Para *A. solani*, o micélio teve maior longevidade e resistência a altas temperaturas que esporos, mas a viabilidade de micélio e a germinação dos esporos declinaram com o aumento da umidade relativa (ROTEM, 1968). Estes estudos foram realizados em região semi-árida e podem não refletir o que ocorre em regiões tropicais/subtropicais. Discrepância de resultados quanto à sobrevivência em diferentes condições de ambiente ocorreu para *A. dauci* associado a restos de folhas de cenoura no campo: a viabilidade foi de 12 meses na Califórnia e de 30 semanas na Flórida (PRYOR *et al.*, 2002). É possível que em regiões de clima subtropical, *A. solani* sobreviva menos tempo que em regiões de clima semi-árido, onde a viabilidade já foi quantificada. Assim, no sudeste do Brasil, cujo clima se caracteriza por temperaturas amenas e frequência de precipitação, é possível que o tempo de sobrevivência de *A. solani* seja parecido ao de *A. dauci* na Flórida. Em tese, o tempo de sobrevivência de *A. solani* pode ser reduzido se os restos culturais forem enterrados. Caso tal fato seja comprovado, uma medida simples, como a incorporação de restos de cultura, pode contribuir para a redução do inóculo inicial.

É necessário determinar a relação entre variáveis climáticas e a quantidade de esporos de *A. solani*, para entender melhor as epidemias de pinta preta. Para patógenos fúngicos da parte aérea, comumente dispersos pelo vento, a concentração de esporos no ar está relacionada à periodicidade das condições do ambiente e varia segundo as condições climáticas ao longo do ano (STRANDBERG, 1977; BASHI *et al.*, 1982; TIMMER *et al.*, 1998; ROSSI *et al.*, 2005). Em vários patossistemas, a concentração de esporos na atmosfera está relacionada à intensidade da doença no campo (JEGER, 1999). Ao se avaliar a periodicidade de *A. dauci* (LANGENBERG *et al.*, 1977), verificou-se que períodos de baixas temperaturas e curtos períodos de molhamento foliar restringiram a concentração de conídios. Em estudos sob condições de câmara de crescimento, demonstrou-se que o aumento ou decréscimo abrupto em umidade relativa, vibração ou eventos breves de chuva favorecem a liberação de conídios de *A. solani* (GOTTWALD *et al.*, 1997). Espera-se que em períodos que favoreçam a epidemia de pinta preta, como verão chuvoso (ANDRADE, 1997; GWARY e NAHUNNARO, 1998; SALUSTIANO, 2000), haja maior disponibilidade de conídios de *A. solani* no ar. Porém, até o momento, não há estudo detalhado sobre a dinâmica de conídios de *A. solani* em regiões tropicais/subtropicais.

Epidemias de doenças policíclicas podem atingir alta intensidade a partir de pequena quantidade de tecido afetado. Assim, tanto o inóculo produzido localmente (em restos culturais, plantas voluntárias ou hospedeiros alternativos), quanto o externo (oriundo de locais distantes), são potencialmente importantes para epidemias de pinta preta. Em outros patossistemas, em regiões onde o monocultivo do hospedeiro é comum, epidemias podem se iniciar a partir de inóculo proveniente de restos de cultura do cultivo anterior (AYLOR, 1990; PRESTES *et al.*, 1999). Portanto, em locais de monocultivo de tomateiro, e se o patógeno sobreviver em restos culturais, a contribuição da fonte local tende a ser tão importante como a que origina o inóculo externo. Para locais onde se emprega a rotação de culturas, é possível que a quantidade de conídios de *A. solani* no ar seja o fator mais relevante para o desenvolvimento de epidemias de pinta preta.

O conhecimento da dinâmica de inóculo, especificamente da disponibilidade para infecções primárias e secundárias, pode subsidiar medidas de controle. Quando a epidemia se inicia próximo à data de plantio, podem-se necessitar gastos maiores com pulverizações, principalmente se sob condições favoráveis ao patógeno. Porém se reduzir y_0 pode-se retardar o início da epidemia e, conseqüentemente, adiar as primeiras

aplicações de fungicidas (SHTIENBERG e FRY, 1990). E em épocas de menor disponibilidade do inóculo secundário, talvez seja possível aumentar o intervalo de aplicação de fungicidas. Estudos de campo, em que se relacionem variáveis climáticas à sobrevivência e dispersão do patógeno, podem contribuir para compreender como as variáveis climáticas se inter-relacionam para limitar ou favorecer o patógeno e para definir estratégias de controle. Nessa perspectiva, nesse trabalho objetivou-se estudar a sobrevivência de *A. solani* em restos de hastes e folíolos de tomateiro e quantificar a concentração de conídios do patógeno ao longo do ano, em condições de campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Características da área experimental

Os ensaios para avaliar a sobrevivência de *A. solani* e quantificar conídios do patógeno no ar foram conduzidos em campo experimental do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa. Não há registros de cultivo de tomateiro ou de outra solanácea no local onde se realizou o ensaio de sobrevivência, porém, há áreas de cultivo comercial de tomateiro e outras solanáceas na região. O solo do local possui classe textural tipo argila, com 22% de areia grossa, 6% de areia fina, 14% de silte e 58% de argila, com pH de 6,18 (Tabela 1).

Tabela 1 – Características químicas do solo utilizado nos experimentos de sobrevivência de *Alternaria solani* em restos de tomateiro

Características Químicas ¹								
pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	V
H ₂ O 1:2,5	----- mg/dm ³ -----			----- cmol _c /dm ³ -----				(%)
6,18	24,1	114	-	2,74	0,65	0,00	2,3	61,5

KCl e CaCl₂; P = fósforo; K = potássio; Na = sódio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; V = saturação de bases.

2.2. Sobrevivência em restos culturais de tomateiro

Avaliou-se a sobrevivência de *A. solani* em restos culturais, em dois experimentos, 1 e 2, realizados de 13/05/2003 a 13/03/2004 e de 19/06/2005 a 17/01/2006, respectivamente. Amostras de folíolos e hastes de tomateiros com sintomas

de pinta preta, coletadas em área de plantio com alta intensidade da doença, foram examinadas no laboratório quanto à presença de conídios de *A. solani* nas lesões. Selecionaram-se folíolos e fragmentos de hastes com 40-50% de área de tecido lesionado pelo patógeno. Para sobrevivência em restos de folíolos, amostras de 8 ou 20 g de folíolos doentes foram acondicionadas em sacolas de malha plástica de 1 x 3 mm de abertura, com 15 x 10 cm ou de 15 x 15 cm, nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Para sobrevivência em restos de hastes, amostras de 20 g de fragmentos de haste com 4,0 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro médio foram acondicionadas em sacolas de malha plástica (15 x 10 cm). Considerou-se uma sacola (com folíolos ou hastes) como uma unidade experimental. Para folíolos, executaram-se os dois experimentos, mas não se obtiveram hastes com severidade e quantidade suficientes para o experimento 2.

No experimento 1, dispuseram-se as sacolas em sulcos com 10 m de comprimento, 20 cm de profundidade e distanciados 2 m entre si, três sulcos para folíolos e três para hastes. No experimento 2, as sacolas com folíolos foram dispostas em quatro sulcos, de mesmas dimensões das do experimento 1. Em ambos os experimentos, em cada sulco, dispuseram-se oito sacolas na superfície do solo e oito a 20 cm de profundidade. Escolheu-se essa profundidade devido aos trabalhos comuns de aração do solo. Cada sulco constituiu uma parcela.

As sacolas foram retiradas aos 15, 45, 90, 150, 242, 272, 287 e 302 dias ou aos 15, 45, 90, 150, 177, 190, 205 e 212 dias, nos experimentos 1 ou 2, respectivamente. Em cada época de avaliação, de cada sulco, retirava-se, inteiramente ao acaso, uma sacola de cada profundidade, para avaliação. No tempo zero, antes de dispor as sacolas no campo, efetuou-se uma avaliação. Para as avaliações, as amostras eram secas ao ar, pesadas e desinfestadas por imersão em solução com hipoclorito de sódio a 2%. Após 30 segundos, as amostras eram enxaguadas em água destilada esterilizada, removia-se o excesso de umidade com a deposição sobre papel toalha, e eram colocadas sobre malha plástica em câmaras úmidas constituídas de caixas plásticas tipo gerbox (11 x 11 x 3,5 cm), que eram mantidas a 22°C e 12 h de fotoperíodo por 4 ou 6 dias, nos experimentos 1 ou 2, respectivamente.

Para as amostras de folíolos, após pesagem do material seco, colocava-se 1 g em 20 mL de água destilada esterilizada, para haver liberação dos conídios e se obter suspensão dos mesmos. A mistura foi agitada com um bastão de vidro por cerca de 2 min em Becker de 50 mL e, após contagem em câmara de Neubauer, preparou-se

suspensão de 10^3 conídios/mL de água destilada. Transferiu-se uma alíquota de 0,5 mL da suspensão para agar-água (2%) em placa de Petri, incubando-se a 25°C. Após 12 h, determinou-se o número de conídios germinados em 100 conídios avaliados por placa.

Avaliou-se a capacidade dos propágulos causar doença mediante a inoculação da suspensão de conídios, com atomizador manual De Vilbiss, em dois folíolos, procedentes de tomateiros com 45 dias de idade, cultivados em casa de vegetação e livres da doença. Acondicionaram-se os folíolos inoculados em câmara úmida, preparada como mencionado acima, e se incubou a 22°C e 12 h de fotoperíodo. Após 6 dias, os folíolos foram avaliados quanto à presença de sintomas.

De cada amostra de hastes, transferiram-se 10 fragmentos de 0,5 cm de comprimento para meio ágar-água, em placa de Petri, que foram mantidas a 25°C. Após 7 dias, avaliou-se a viabilidade do patógeno, por meio do percentual de fragmentos em que havia lesões esporulantes.

Determinou-se, também, a decomposição dos restos de folíolos e hastes, pesando-se as amostras após serem secas ao ar. Estimou-se a decomposição dos restos (Dr) pela equação: $Dr = [(Pi - Pa)/(Pi)] \times 100$, em que Pi e Pa representam o peso inicial e o peso na avaliação, respectivamente.

2.3. Variáveis climáticas

No experimento 1, monitorou-se a umidade do solo, semanalmente, pelo método gravimétrico (BLACK *et al.*, 1969). No experimento 2, utilizaram-se sensores para registrar a temperatura do solo (108-L *temperature probe*) e tensão de água no solo (227-L *delmhorst soil matric potential block*). Em ambos os experimentos, utilizaram-se sensores para avaliar a temperatura e umidade relativa (CS500 *temperature and relative humidity probe*) e precipitação (TE525 *Tipping bucket rain gauge*), que foram registradas em coletor automático de dados (*Campbell Scientific CR10X*) instalado na área experimental.

2.4. Quantificação de conídios de *Alternaria solani* no ar

Monitorou-se a quantidade de conídios de *A. solani* no ar entre 8/03/2005 a 20/01/2006, com armadilha coletora de esporos Rotorod modelo 20 (Multidada LLC 4838 *Park Glen Road St. Lois Park, MnN 55416*), instalada a 4,0 m de altura do solo.

Os conídios eram capturados em dois bastões de acrílico, de 32 mm de comprimento e 1,25 mm de largura, recobertos por camada fina de graxa de silicone. Diariamente, amostrava-se no período entre 9 e 14 horas. Após o período de amostragem, os bastões eram retirados da armadilha e acondicionados em frascos apropriados. A cada amostragem, outros dois novos bastões eram instalados. No laboratório, contavam-se os conídios de *A. solani* capturados nos bastões, sob microscópio. A concentração de conídios capturados no período diário foi ajustada para conídios/m³/dia de avaliação, conforme as instruções no manual do fabricante. Durante todo o período de amostragem, havia parcelas experimentais de tomateiros (março/junho 2005 e setembro 2005/janeiro 2006) e de batateiras (outubro 2005/janeiro 2006) instaladas no local.

2.5. Análise de dados experimentais

Analisou-se o efeito do tempo de permanência dos restos de folíolos no campo e da decomposição dos restos sob a germinação de conídios de *A. solani* e da incidência de lesões esporulantes em hastes por modelos de regressão logística (HOSMER e LEMESHOW, 1989; LEE, 1992). O objetivo da análise foi possível modelar a probabilidade de ocorrerem eventos de germinação e da incidência (variáveis dependentes) do patógeno associado a restos de folíolo e haste, respectivamente, ao longo do tempo e estágio de decomposição dos restos de folíolos ou hastes (variáveis independentes). O modelo de regressão logística utilizado foi: $P(y) = [1 + \exp(-\alpha - \hat{\alpha}_1 X_1 - \dots - \hat{\alpha}_n X_n)]^{-1}$, em que $P(y)$ é a probabilidade do evento y , $\hat{\alpha}$'s são os coeficientes da regressão, α é o intercepto e X 's são as variáveis independentes. Em todos os modelos construídos, a chance de o evento ocorrer (germinação de conídios ou incidência de lesões esporulantes em hastes) dada pela expressão $p/(1-p)$, foi modelada pela função linear de resposta: $\ln [p/(1-p)] = \alpha + b_1 T + b_2 Pr + b_3 T^2 + b_4 Pr^2 + b_5 TPr$, em que a expressão $[p/(1-p)]$, chance de um evento, é definida como a probabilidade de o evento ocorrer (p) em relação à probabilidade, sob as mesmas condições, de o evento não ocorrer ($1-p$), α é o intercepto, b 's são as estimativas dos parâmetros $\hat{\alpha}$'s, T é o tempo em dias e Pr a porcentagem de restos presente, em que $Pr = (Pa/Pi) \times 100$, conforme definidos em 2.2.

Considerou-se como modelo completo o que incluiu os efeitos T , Pr , T^2 , Pr^2 e $TxPr$, e como o modelo simples o que incluiu apenas os efeitos T e Pr . No experimento 1 o fator umidade do solo (U) foi considerado e, portanto, o modelo continha

adicionalmente U, U² e TxPrxU e o modelo mais simples U. A escolha dos modelos em cada experimento foi realizado com o auxílio da opção *stepwise* do procedimento PROC LOGISTIC.

A modelagem com regressão logística permite estimar a razão de chances (R.C.), que é uma medida da quantidade relativa pela qual a chance de um dado resultado aumenta (R.C.>1,0) ou diminui (R.C.<1,0), quando o valor da variável preditora é aumentado em 1,0 unidade (LEE, 1992). Com modelos logísticos, pode-se estimar a chance de haver redução na germinação dos conídios de *A. solani* e na incidência de lesões esporulantes em hastes, para cada aumento adicional nos parâmetros T e Pr.

Para avaliar o decréscimo, ao longo do tempo, na esporulação de *A. solani* em restos de folíolos e na incidência de lesões esporulantes em hastes, as curvas de queda da esporulação foram comparadas diretamente por meio da estimativa da taxa (b) de modelos para folíolos ou hastes mantidos na superfície (y1) e enterrado (y2). Para tanto, ajustou-se um único modelo: $y = (a + a_2 I_2) \exp - (bT + b_2 I_2 T)$ com a introdução de uma variável indicadora da condição y2 (restos enterrados), isto é, $I_2=0$ se $y=y_1$ e $I_2=1$ se $y=y_2$. Assim os modelos ajustados assumem as seguintes expressões: $Y = a \exp -(bT)$ quando $y=y_1$ ou $Y = (a + a_2) \exp -(b + b_2)T$ quando $y=y_2$, em que a, b, a_2 e b_2 são as estimativas dos parâmetros \hat{a} , \hat{a}_2 , \hat{b} , \hat{b}_2 . do modelos estimado para esporulação em folíolo ou incidência em haste enterrado (y2) ajustado com o PROC NLIN. Esta estratégia permite testar a igualdade do parâmetro \hat{a}_2 dos modelos para y1 e y2.

Testou-se a hipótese $H_0: \hat{a}_2=0$ (não há diferença entre as taxas das curvas ao nível de 5% de probabilidade), $H_0: \hat{a}_2 \neq 0$ (há diferença entre as taxas das curvas ao nível de 5% de probabilidade) mediante análise do intervalo de confiança da estimativa b_2 .

A influência de variáveis climáticas na dispersão de esporos, a partir da média diária da umidade relativa e temperatura, soma da precipitação diária e números de horas em que uma condição específica foi encontrada (valor de temperatura ou umidade relativa) foi investigada pelo teste de correlação de Pearson. Todas as análises foram realizadas com o programa The SAS System version 8.0 (SAS Institute Inc. Cary, NC 27513, USA. 1999).

3. RESULTADOS

3.1. Sobrevivência de *Alternaria solani* em restos de tomateiro

A sobrevivência de *A. solani* variou com o tempo e a localização dos restos culturais. No tempo zero, nas amostras de folíolos quantificaram-se $28,3 \times 10^4$ e $12,8 \times 10^4$ conídios/mL (Fig. 1A e B) com 99 e 94% de germinação (Fig. 1C e D), nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Em hastes, o patógeno foi detectado em 100% dos fragmentos (Fig. 2D). No experimento 1, após 15 dias, houve redução acentuada da quantidade de conídios e da germinação, nos folíolos incorporados ao solo (Fig. 1A e C). No experimento 2, houve redução da quantidade de conídios aos 15 dias, nos restos mantidos na superfície ou enterrados (Fig. 1B). Porém, a germinação dos conídios não foi reduzida tão acentuadamente quanto sua produção (Fig. 1D).

Nos fragmentos de hastes enterrados, a recuperação média aos 15, 45 e 90 dias, foi de 63,33%, 30% e 16,67%, respectivamente. Não se detectou qualquer lesão esporulante, em fragmentos de haste enterrados, aos 150 dias. Nas hastes mantidas na superfície, a última constatação de incidência ocorreu aos 272 dias. Em ambos os experimentos, concomitante à redução da germinação de conídios em restos de folíolos enterrados aos 90 dias, observou-se redução da infectividade dos propágulos desses restos (Fig. 2).

Nos experimentos 1 e 2, nos restos de folíolos mantidos na superfície do solo, as quantidades de conídios aos 15, 45 e 90 dias, foram: $33,7$ e $2,45 \times 10^4$; $25,7$ e $2,40 \times 10^4$; e $21,9$ e $0,4 \times 10^4$, respectivamente. Nos restos de folíolos enterrados no solo, obtiveram-se, aos 15, 45 e 90 dias: $24,5$ e $0,70 \times 10^4$; 32 e $0,95 \times 10^4$; e 22 e $0,35 \times 10^4$ conídios, respectivamente. As germinações de conídios a partir de restos de folíolos na superfície aos 15, 45 e 90 dias foram: 96 e 99%; 81,33 e 70%; e 87,33 e 70,25%, respectivamente. As germinações de conídios aos 15, 45 e 90 dias a partir de restos de folíolos enterrados foram: 87,33 e 70,75%; 49,67 e 41,5%; e 44,7 e 45,75%, respectivamente.

Com base na inoculação de propágulos em folíolos de tomateiro, o percentual de amostras de folíolos mantidos na superfície que produziram propágulos viáveis, nos experimentos 1 e 2, após 15, 45, 90 e 150 dias, foi de 100 e 75%, 100 e 100%, 100 e 50%, e 100 e 50%, respectivamente. Não se detectaram sintomas após 242 e 177 dias, respectivamente. O percentual de amostras com propágulos viáveis a partir de folíolos enterrados, após 15, 45, 90 e 150 dias, foi 100 e 100%, 100 e 100%, 66,66 e 25%, e 0 e 0%, respectivamente.

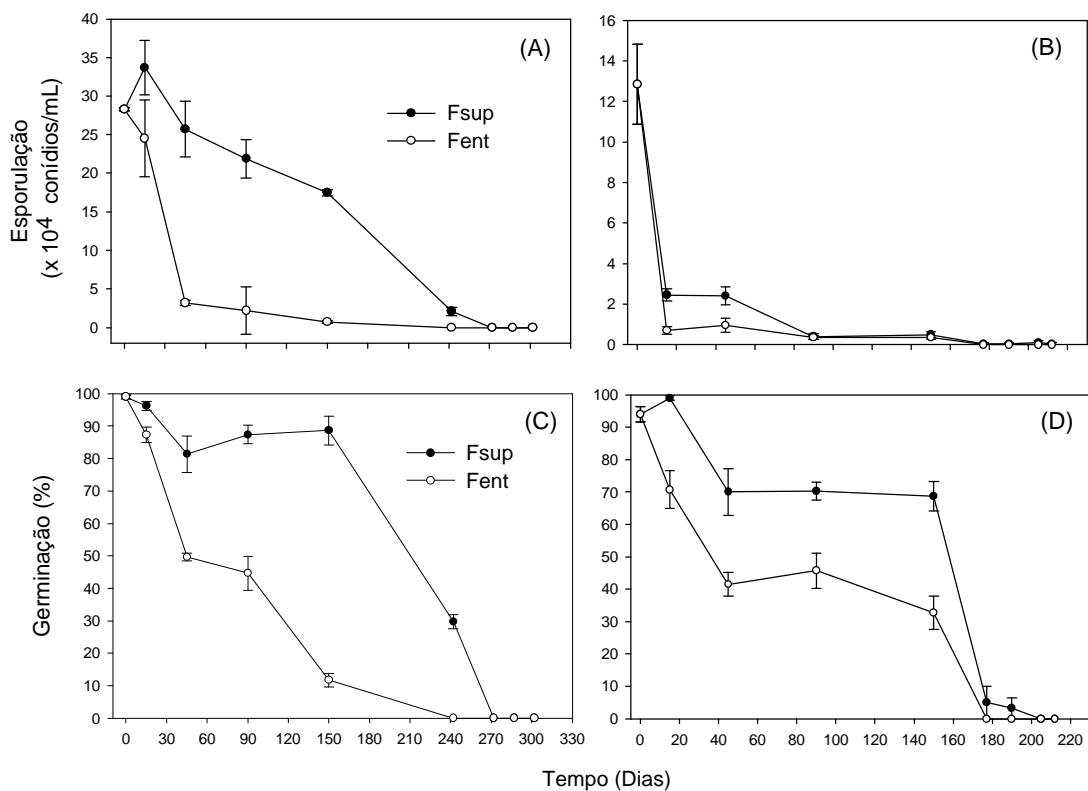


Figura 1 – Número de conídios de *Alternaria solani* obtidos de restos de folíolos de tomateiro mantidos na superfície (Sup) ou enterrados a 20 cm no solo (Ent); percentual de germinação dos conídios obtidos de restos de folíolos de tomateiro, mantidos na superfície (Sup) ou enterrado a 20 cm no solo (Ent). A e C = experimento 1; B e D = experimento 2. Barras de erro representam o erro padrão da média de cada tratamento, em cada data de avaliação.



Figura 2 – Sintomas de pinta preta em folíolos de tomateiro, após seis dias da inoculação com a suspensão de 10^3 conídios/mL, obtidas a partir de restos de folíolos mantidos na superfície do solo (A) e enterrados a 20 cm de profundidade (B), após 90 dias, experimento 1. Os folíolos da testemunha (C) foram pulverizadas apenas com água destilada.

As taxas de queda da esporulação de *A. solani* em folíolos mantidos na superfície e enterrados foram significativamente diferentes no experimento 1, mas não no experimento 2, enquanto as taxas de queda da incidência de lesões esporulantes em hastes mantidas na superfície e enterradas foram significativamente diferentes (Tabela 2).

Tabela 2 – Intervalo de confiança a 95% de probabilidade da estimativa b_2 , para comparações entre taxas de decréscimo de esporulação e de germinação de *Alternaria solani* em folíolos e incidência de esporulação em hastes na superfície e enterrado, em dois experimentos

Restos vegetais	Esporulação		Germinação	
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 1	Experimento 2
Folíolo	(-0,224 a -0,010)*	(-0,224 a 0,042)	(-0,030 a -0,009)*	(-0,007 a 0,001)
Haste	(-0,029 a -0,009)*			

* O intervalo que não inclui o valor zero, as taxas entre restos na superfície e enterrado são estatisticamente diferentes a 5% de probabilidade (rejeita-se $H_0: \hat{\alpha}_2=0$).

Restos de folíolos e hastes decompueram-se rapidamente nos primeiros 15 dias. Nesse período, as perdas em folíolos mantidos na superfície e enterrados foram de 47,91 e 66,87% e de 44,17 e 75,75%, nos experimentos 1 e 2, respectivamente (Fig. 3A e B). Após 15 dias, a decomposição de hastes mantidas na superfície e enterradas foi de 83% e 76,33%, respectivamente (Fig. 3C). Proporcionalmente, a perda de peso inicial foi maior em hastes do que em folíolos. Nos dois experimentos, em ambos os órgãos vegetais, a curva de decomposição atingiu a assíntota aproximadamente aos 45 dias. Aos 150 dias, mais de 68% e 90% dos tecidos de folíolos e hastes, respectivamente, estavam decompostos. Nas últimas avaliações dos experimentos 1 (302 dias) e 2 (212 dias), a decomposição de folíolos na superfície foi de 88,21 e 90,50%, e nos enterrados, de 95,17 e 100%, respectivamente. Nas hastes mantidas na superfície e enterradas, a decomposição aos 302 dias no experimento 1 foi de 92,42 e 93,97%, respectivamente.

A quantidade de conídios obtidos de folíolos, a incidência em hastes e a germinação de conídios a partir de folíolos mantidos na superfície e enterrados correlacionaram-se negativamente à ocorrência e duração das precipitações (Tabela 3). Em restos de folíolos enterrados, no experimento 1, a germinação correlacionou-se negativamente ($r= -0,906$) à umidade do solo. Nos restos de folíolos na superfície, nos experimentos 1 e 2, a germinação correlacionou-se negativamente à decomposição, ($r= -0,649$ e $-0,632$, respectivamente), e ao tempo ($r= -0,941$ e $-0,916$, respectivamente); em

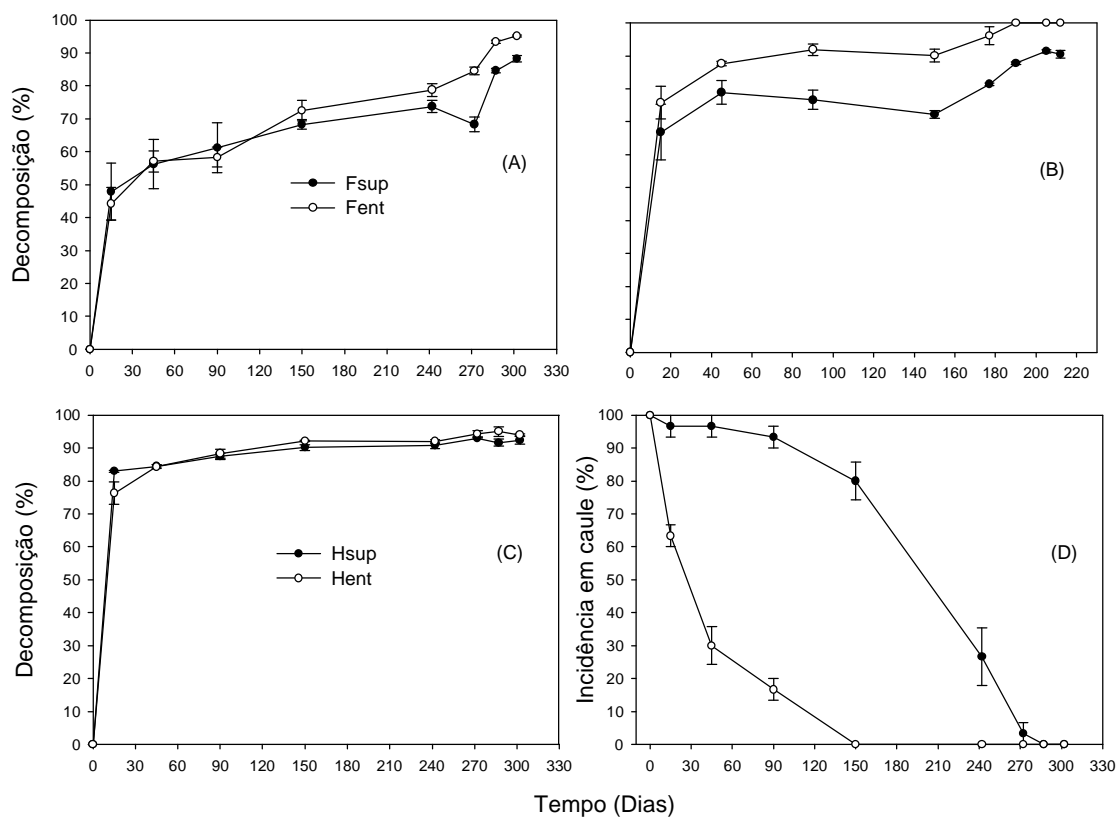


Figura 3 – Curva de porcentagem de decomposição de restos de folíolos de tomateiro mantidos na superfície (Sup) ou enterrado a 20 cm no solo (Ent) nos experimento 1 (A) e 2 (B), e de hastes na superfície (Hsup) e enterrado (Hent) no experimento 1 (C). Índice (%) de recuperação de *Alternaria solani* em fragmentos de hastes de tomateiro mantido na superfície e enterrado no experimento 1 (D). Barras de erro representam o erro padrão da média obtida para cada tratamento em cada data de avaliação.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson (P-valor)* entre esporulação de *Alternaria solani* em restos de folíolos e incidência de lesões esporulantes em haste de tomateiro enterrados a 20 cm de profundidade ou na superfície do solo, precipitação total acumulada e hora acumulada de precipitação para cada período de amostragem, em dois experimentos

Variável	Precipitação acumulada	Horas acumuladas de precipitação
Experimento 1		
Esporulação em folíolos na superfície	-0,902 (P=0,0001)	-0,933 (P=0,0001)
Esporulação em folíolos enterrados	-0,641 (P=0,0003)	-0,559 (P=0,0024)
Lesões esporulantes em hastes na superfície	-0,897 (P=0,0001)	-0,986 (P=0,0001)
Lesões esporulantes em hastes enterrados	-0,745 (P=0,0001)	-0,645 (P=0,0003)
Experimento 2		
Esporulação em folíolos na superfície	-0,510 (P=0,0015)	-0,595 (P=0,0001)
Esporulação em folíolos enterrados	-0,425 (P=0,0098)	-0,506 (P=0,0016)

* Relativo ao teste da hipótese $H_0: P=0$ (correlação nula).

restos de folíolos enterrados, os valores de r foram -0,925 e -0,936 (decomposição) e -0,931 e -0,797 (tempo), respectivamente.

A frequência de precipitação pluviométrica foi alta durante ambos os experimentos (Fig. 4A e C). No experimento 1, as precipitações concentraram-se entre os 154 e 302 dias, de agosto de 2003 a março de 2004 (Fig. 4A). A ocorrência de 9,3 mm de precipitação aos 62 dias do início do experimento 1 resultou no aumento da umidade do solo (Fig. 4B). Os índices de precipitação entre 62 e 154 dias foram altos e os eventos, pouco frequentes. A partir dos 154 dias, ocorreram frequentes eventos de precipitação de intensidade inferior a 1,0 mm, mas se manteve a alta umidade do solo. No experimento 2, nos primeiros 15 dias, os índices de precipitação foram inferiores a 2,0 mm, mas os eventos foram frequentes (87% dos dias). Na metade final do experimento, ocorreram altos índices de precipitação, e a tensão de água no solo foi mantida sempre próxima a zero (Fig. 4C e D). Nos experimentos 1 e 2, a precipitação total foi 607,72 e 1.262,60 mm, com duração de 197:30 e 355 h, respectivamente.

Em ambos os experimentos, a umidade relativa (UR) foi sempre superior a 66%. No experimento 1, na maior parte dos dias (75,90%) as médias de UR estiveram acima de 80%, e a temperatura média e UR ao longo do experimento foi de 19,16 °C e 84,36%, respectivamente. A temperatura média diária aumentou (>20 °C) a partir dos 137 dias (Fig. 4A). No experimento 2, a UR média foi de 86,50% e na maior parte dos

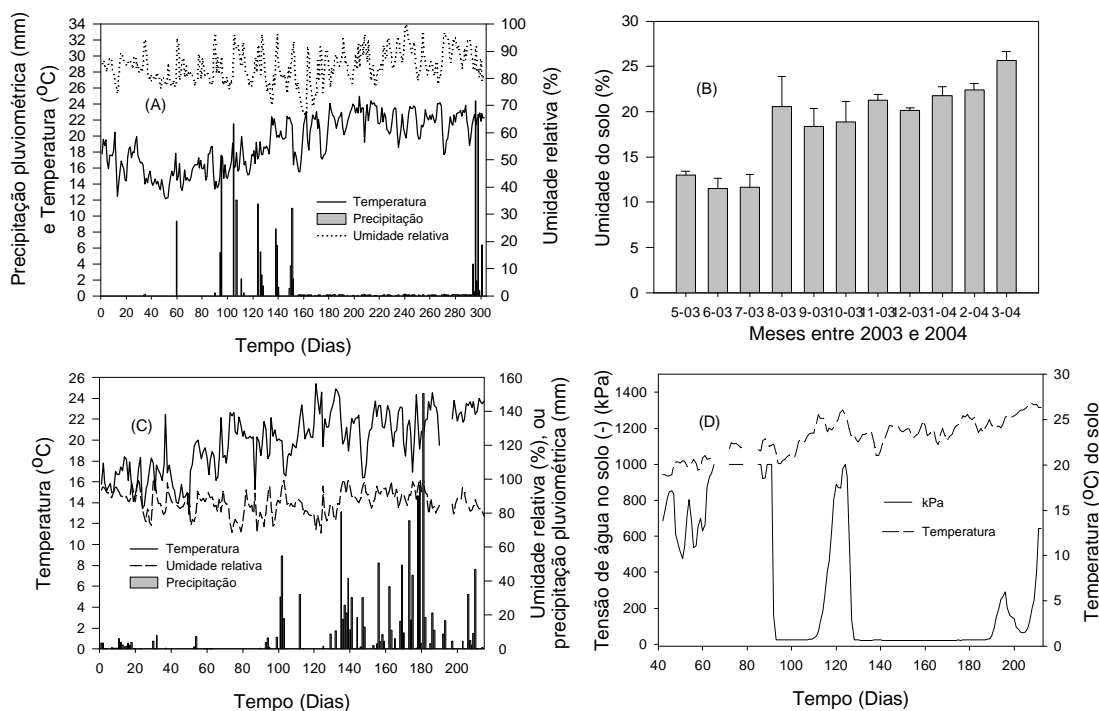


Figura 4 – Precipitação pluviométrica total, temperatura média diária e umidade relativa média diária, registradas nos experimentos 1(A) e 2(C), umidade média mensal do solo no experimento 1(B) e temperatura e tensão de água no solo em experimento 2 (D). Barras de erro representam o erro padrão da média obtida para cada tratamento em cada data de avaliação para dados de umidade do solo.

dias (80,52%) as médias de UR também estiveram acima de 80%. Ao longo deste experimento, a temperatura média diária foi 19,47 °C (Fig. 4C).

3.2. Aplicação da regressão logística na análise de sobrevivência de *Alternaria solani*

Segundo os modelos para estimar a germinação de conídios a partir de folíolos mantidos na superfície (modelo 1) e folíolos enterrados (modelo 3), a chance de um conídio de *A. solani* germinar foi negativamente relacionada ao tempo de permanência de restos ($P < 0,0001$) e positivamente relacionada à porcentagem de restos presente no campo ($P < 0,0001$) (Tabela 4). Assim, quanto maior o tempo de permanência de restos da cultura e menor a quantidade de restos no campo menor será a probabilidade de os conídios estarem viáveis. No modelo 1, os valores de razão de chances da variável T e Pr foram respectivamente 0,981 e 1,055. A chance de um conídio germinar decresce em 1,9% e aumenta em 5,5% para cada dia de permanência de restos no campo e para cada 1% de material vegetal não decomposto, respectivamente.

Tabela 4 – Estimativas dos coeficientes de regressão (erro-padrão) dos modelos de regressão logística para germinação de esporos de *Alternaria solani* em restos de folíolos de tomateiro na superfície ou enterrado a 20 cm no solo. T é o tempo dos restos no campo e Pr é a porcentagem de restos no solo

Termos	Superfície		Enterrado	
	Modelos		Modelos	
	1	2	3	4
Intercepto	1,2410 (0,1523)	1,5243 (0,1861)	0,3816 (0,0946)	0,1326 (0,1081)
T	-0,0197** (0,000595)	-0,0217** (0,0024)	-0,0197** (0,000776)	-0,0117** (0,00310)
Pr	0,0537** (0,00407)	0,0152** (0,0029)	0,0276** (0,00242)	_____
T ²	_____	-0,00007** (0,0000007)	_____	-0,00006** (0,000014)
Pr ²	_____	_____	_____	0,000317** (0,000024)
TxPr	_____	0,000796** (0,000044)	_____	0,000713** (0,000129)
T*T	_____	_____	_____	_____
Razão de chaces: T e Pr	0,981 e 1,055 ^a		0,980 e 1,028 ^a	
^b r	0,9329	96,511	0,9434	0,9420
Concordância (%) ^c	93,0	92,8	91,9	91,9
Discordância (%) ^c	6,3	6,5	7,1	7,1
Empate (%) ^c	0,7	0,8	1,0	1,0
^c d	0,934	0,931	0,924	0,924

** Nível de significância a 1%. ^a Razão de chances de T e Pr respectivamente. ^b Coeficiente de correlação de Pearson entre a probabilidade estimada e germinação observada. ^c Medidas de associação da probabilidade estimada e germinação observada. ^d Índice obtido a partir das medidas de concordância e discordância; $c = (nc + 0.5(t - nc - nd)) / t$, onde nc=concordância, nd=discordância, t= total de pares com diferentes respostas, t-nc-nd=empate. Modelo com alto valor de c tem melhor capacidade de prever a germinação do que um modelo com baixo valor.

Para folíolos mantidos na superfície, o valor de r entre os dados de germinação de conídios observados e preditos pelo modelo 1 foi de 0,933 e pelo modelo 2 foi 0,961. Para folíolos enterrados, o valor de r foi 0,943 (modelo 3) e 0,942 (modelo 4). Para o modelo 2, mais complexo, o valor de r foi maior que para o modelo 1, mais simples. No modelo 4, mais complexo, o valor de r não aumentou em relação ao modelo 3, mais simples e sem interações. Conforme os coeficientes que medem a associação entre as probabilidades preditas e observadas, o ajuste dos modelos foi adequado, com altos valores de porcentagem de concordância, baixos de discordância e alto valor do coeficiente c. Os valores do coeficiente c foram próximos entre os modelos 1 e 2, bem como entre os modelos 3 e 4.

Para o experimento 1, ajustaram-se modelos com efeitos do tempo da porcentagem de decomposição da umidade do solo (U). Entretanto, com a inclusão de U não houve melhora na qualidade do ajustamento do modelo $\ln(p/1-p) = a + b_1T + b_2Pr + b_3U + b_4T^2 + b_5Pr^2 + b_6U^2 + b_6TPrU$, mas apenas T e Pr.

Para estimar a probabilidade de incidência de lesões esporulantes em restos de hastes mantidos na superfície ou enterrados, ajustaram-se os modelos 5 ou 6, respectivamente (Tabela 5). No modelo 5, além do efeito de tempo e decomposição, incluiu-se o termo quadrático do efeito do tempo (T^2). No modelo 6, só houve efeito de tempo e decomposição. Em ambos os modelos, não houve efeito de umidade do solo. Os valores de r entre a incidência de lesões esporulantes observadas e preditas foram altos para o modelo 5 (0,99) e 6 (0,992), respectivamente. Os valores de porcentagem de concordância (96,6 e 95,3%) e do coeficiente c (0,971 e 0,961) também foram altos para os modelos 5 e 6, respectivamente.

3.3. Quantificação de conídios de *Alternaria solani* dispersos pelo ar

Conídios do patógeno foram capturados em 224 dias durante os 319 dias do período monitorado (março 2005 a janeiro 2006) (Fig. 5B). Em geral, valores acima de 10 conídios/m³ somente foram registrados a partir de julho. Maior concentração de conídios ocorreu de agosto de 2005 a janeiro de 2006, com picos maiores de meados de setembro a fim de outubro.

As precipitações foram freqüentes ao longo do ano, com maiores índices de setembro/2005 a janeiro/2006 (Fig. 5A). A média diária da temperatura foi 19,61 °C e da UR de 87,38%. Entre maio e agosto a temperatura média diária foi 17,40 °C e a

Tabela 5 – Estimativas dos coeficientes de regressão (erro-padrão) dos modelos de regressão logística para incidência de *Alternaria solani* em restos de hastes de tomateiro mantidos na superfície e enterrados a 20 cm no solo. T é o tempo dos restos no campo e Pr é a porcentagem de restos no solo

Termos	Arranjo de restos de hastes	
	Superfície (Modelo 5)	Enterrado (Modelo 6)
Intercepto	-0,1031 (1,0832)	-0,4682 (0,288)
T	0,0195** (0,00608)	-0,0262** (0,00255)
Pr	0,1766** (0,0579)	0,0611** (0,0107)
T ²	-0,00013** (0,000016)	_____
Razão de chances	1,193 ^a	0,974 e 1,063 ^b
^c r	0,99006**	0,99217**
Concordância (%) ^d	96,6	95,3
Discordância (%) ^d	2,5	3,0
Empate (%) ^e	1,0	1,7
c ^e	0,971	0,961

** Nível de significância a 1%. ^aRazão de chances de Pr. ^bRazão de chances de T e Pr respectivamente. ^cCoefficiente de correlação de Pearson entre a probabilidade estimada e a incidência observada. ^dMedida de associação da probabilidade estimada e incidência observada. ^eÍndice obtido a partir das medidas de concordância e discordância: $c = (nc + 0.5(t - nc - nd)) / t$, onde nc=concordância, nd=discordância, t= total de pares com diferentes respostas, t-nc-nd=empate.

freqüência de temperaturas acima de 20 °C foi 9,64%. A UR entre maio e agosto foi de 88,19% e a freqüência de UR > 90% foi de 40,35%. A época de maior concentração de conídios, agosto a janeiro 2005/06, a temperatura média foi de 20,69 °C e a freqüência de temperatura média diária acima de 20 °C foi 66,06%. Nesse período, a média da UR foi 85,73% e a freqüência de UR > 90% foi de 27,87%.

Houve correlação negativa entre número de conídios e média diária de UR ou número de horas com UR > 90% (Tabela 6). Houve correlação positiva entre número de horas com UR < 70% e número de horas com temperatura acima de 25°C. Para as demais variáveis, obtiveram-se coeficientes de correlação baixos. O valor mais alto foi 0,3252 (P < 0,0001) para número de horas com UR < 70%. Em geral, os valores de coeficiente de correlação foram menores quando analisado do 2º até o 6º dia anterior à captura dos esporos que no 1º dia.

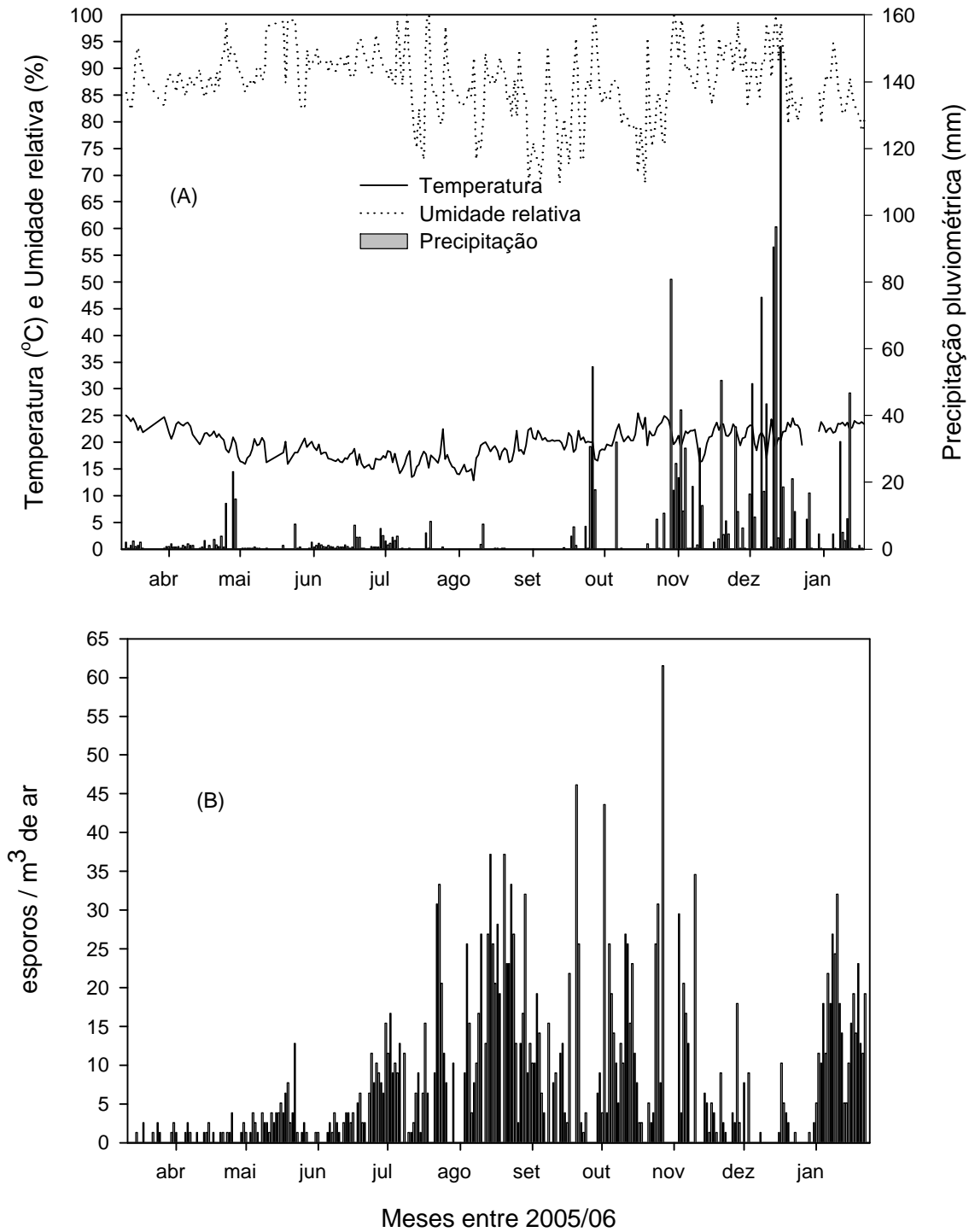


Figura 5 – Precipitação pluviométrica total, temperatura média diária e umidade relativa média diária (A) e números de esporos de *Alternaria solani* capturados com armadilha tipo rotorod entre março/janeiro de 2005/06.

Tabela 6 – Coeficiente de correlação de Pearson (valor de P) entre a concentração de esporos de *Alternaria solani* no ar e as variáveis climáticas, temperatura, umidade relativa e precipitação pluviométrica de 1 à 6 dias anteriores a captura do conídio

Variáveis ^a	Dias antes da captura de esporos					
	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	6 dias
T						
Pearson	0,011	-0,034	-0,041	-0,044	-0,069	-0,038
(P valor)	(0,8426)	(0,5517)	(0,4682)	(0,4460)	(0,2297)	(0,0386)
T20_25						
Pearson	-0,073	-0,152	-0,122	-0,059	-0,083	-0,102
(P valor)	(0,2036)	(0,0079)	(0,0336)	(0,3068)	(0,1496)	(0,0776)
T25_30						
Pearson	0,123	0,099	0,051	0,000	0,006	-0,032
(P valor)	(0,0318)	(0,0832)	(0,3771)	(0,9925)	(0,9055)	(0,5802)
TS_25						
Pearson	0,154	0,126	0,071	0,001	0,005	-0,055
(P valor)	(0,0071)	(0,0277)	(0,2165)	(0,9810)	(0,9280)	(0,3425)
UR						
Pearson	-0,256	-0,200	-0,129	-0,081	-0,105	-0,074
(P valor)	(<0,0001)	(0,0005)	(0,0247)	(0,1613)	(0,0693)	(0,1996)
NHURS_90						
Pearson	-0,180	-0,139	-0,091	-0,066	-0,099	-0,086
(P valor)	(0,0016)	(0,0173)	(0,1114)	(0,2491)	(0,0872)	(0,1356)
NHURI_70						
Pearson	0,325	0,249	0,190	0,134	0,139	0,098
(P valor)	(<0,0001)	(<0,0001)	(0,0009)	(0,0195)	(0,0160)	(0,0906)
PPT						
Pearson	-0,112	-0,111	-0,081	-0,088	0,084	-0,000
(P valor)	(0,0503)	(0,0539)	(0,1591)	(0,1279)	(0,1471)	(0,9891)

^{a/} Temperatura média (T); números de horas de temperatura entre 20 e 25 (T20_25), 25 e 30 (T25_30) e superior a 25 (TS_25); umidade relativa média (UR); números de horas de temperatura superior a 90% (NHURS_90) e inferior a 70% (NHURI_70); Precipitação total.

4. DISCUSSÃO

A profundidade de deposição dos restos culturais no campo influenciou o tempo de sobrevivência de *A. solani* em restos culturais de tomateiro. Durante o experimento 1, houve redução significativa da sobrevivência do patógeno em restos enterrados, considerando-se a taxa, a esporulação, germinação e a incidência de lesões esporulantes. Entretanto, no experimento 2, não houve redução significativa da esporulação e germinação em restos enterrados comparados aos mantidos na superfície. Possivelmente, as precipitações ocorridas nos primeiros 15 dias tenham interferido, pois acentuada redução da esporulação ocorreu neste período. Alta umidade é prejudicial à

sobrevivência de *A. solani* (ROTEM, 1968). A rápida decomposição de restos, em ambos os experimentos, logo nas primeiras avaliações, presumivelmente deve-se à perda de umidade dos folíolos e hastes que estavam tenros e verdes quando levados ao campo, mas secos na segunda avaliação, após 15 dias.

Dentre os modelos construídos para estimar a probabilidade da germinação em restos mantidos na superfície, o modelo 2, complexo, foi satisfatório na previsão da viabilidade dos conídios. Enquanto para folíolos enterrados o modelo 3, mais simples, foi eficiente.

Em geral, nos restos mantidos na superfície, a supressão dos componentes estudados (esporulação, germinação e incidência) foi menor que nos restos enterrados. Provavelmente, na superfície os restos permanecem secos, o que dificulta a ação de microrganismos saprófitas. Outra possibilidade é que *A. solani* tolera mais ambientes secos que ambientes úmidos (ROTEM, 1968), motivo pelo qual a esporulação, germinação e sobrevivência declinaram quando o solo permaneceu com alta umidade, principalmente no experimento 2, em que as precipitações praticamente contínuas reduziram a esporulação aos 15 dias. Rotem (1968) destacou que *A. solani* tolera altas temperaturas sob ambientes secos por longo período e tem baixa longevidade quando a umidade atmosférica ou do solo é alta. Em vista dessa característica, explica-se, em parte, a capacidade de sobrevivência do patógeno em restos culturais mantidos na superfície do solo, mesmo sob incidência direta de raios solares, o que favoreceu a manutenção dos restos secos por mais tempo e limitou a ação de microrganismos dependentes de umidade. Outra característica também não menos importante é a resistência de *A. solani* à radiação solar (ROTEM, 1994). Há relatos semelhantes quanto à influência da incorporação de restos e da umidade para diferentes patógenos (COTTEN e MUNKVOLD, 1998; BABADOOST *et al.*, 2004; PROM *et al.*, 2005). Com a incorporação no solo de restos de hastes de melancia doentes, reduziu-se o número de propágulos infectivos e a sobrevivência de *Didymella bryoniae* (KEINATH, 2002). Esporos de *Colletotrichum acutatum* e *C. gloeosporioides* (agentes da antracnose do morangueiro) perderam 95% da viabilidade em 10 dias, quando enterrados em solos com 100% de capacidade de campo, mas sobreviveram mais que 70 dias, em solo com 50% da capacidade de campo, e pelo menos um ano em solo esterilizado (FREEMAN *et al.*, 2002).

No presente trabalho, em restos enterrados ocorreu declínio rápido no índice de lesões esporulantes em hastes (16,67%) e germinação de esporos, cerca da metade do observado em restos na superfície, aos 90 dias. Esta diferença foi decorrente de

condições adversas à sobrevivência do patógeno em restos enterrados, o que reduziu a esporulação para $2,2 \times 10^4$ conídios/mL, dez vezes menor que nos restos na superfície ($2,19 \times 10^5$ conídios/mL), no experimento 1. Microrganismos e, principalmente, alta umidade do solo a 20 cm de profundidade, presumivelmente, foram os que mais contribuíram para a queda na germinação, esporulação e incidência em hastes. Conforme Pryor *et al.* (2002), a esporulação de *A. dauci*, agente da queima das folhas em cenoura, foi reduzida em até duas vezes, em apenas um mês, em restos incorporados a 10 cm ou mantidos na superfície do solo irrigado semanalmente. Para os autores, a sobrevivência de *A. dauci* foi reduzida em função da umidade do solo, mas não se os restos da cultura eram incorporados ou mantidos na superfície. Assim um fator de grande importância que poderia ser estudado com mais detalhes é o efeito da umidade do solo na sobrevivência de *A. solani*. O solo argiloso, utilizado no experimento, pode ter favorecido a retenção de umidade em quantidade e tempo suficientes para prejudicar *A. solani* e garantir maior atividade de microrganismos do solo.

A umidade do solo não teve efeito significativo no modelo explicativo da germinação a partir de folíolos e hastes, o que incluiu os efeitos de tempo, decomposição, umidade do solo e interações, no experimento 1. O efeito da umidade seria mais facilmente avaliado em estudos em casa de vegetação, onde poderiam ser monitorados vários níveis de umidade do solo por meio de sensores eletrônicos. Em experimentos de campo, é mais fácil avaliar o efeito dos fatores tempo e decomposição na esporulação, germinação e incidência que o efeito das interações dos níveis de umidade e duração desses níveis. O efeito da umidade, esperado de existir, não pôde ser bem avaliado nesse trabalho. Entretanto, confirmou-se o efeito da umidade em vista da alta correlação negativa, nos dois experimentos, entre esporulação em folíolos ou sobrevivência em hastes e precipitação acumulada ou duração acumulada da precipitação. Essa correlação foi maior no experimento 1 e em restos mantidos na superfície. A ocorrência freqüente de precipitação logo nos primeiros dias no experimento 2, induziu queda brusca e contínua na esporulação ao longo do experimento. Tal fato não ocorreu no experimento 1, em que nos primeiros dias, não houve precipitação e a esporulação foi alta. Provavelmente, a menor correlação de precipitação à esporulação em restos enterrados deveu-se à manutenção da umidade no solo, o que potencializou o efeito adverso na sobrevivência.

No experimento 1, houve baixa umidade do solo apenas nos três primeiros meses quando a precipitação foi escassa e a temperatura média diária inferior a 18 °C.

Nos oito meses seguintes, a temperatura ficou acima de 20 °C e houve alta umidade no solo ocasionado pela maior frequência de precipitações, típico da região de Viçosa nesta época do ano. No experimento 2, as precipitações ocorreram logo no início e foram de alta intensidade na segunda metade do experimento. Altos índices e frequência de precipitação mantiveram o solo sempre úmido, com valores de tensão de água no solo sempre próximos de zero. Presença de umidade e alta temperatura do solo, na maior parte do período acima dos 22°C, favoreceram a rápida decomposição dos restos enterrados, praticamente já decompostos aos 190 dias. Nos dois anos de experimentos, houve frequência alta de precipitações, mas no experimento 2 o volume e horas acumulados de precipitação (1.262,60 mm e 355 h) foram o dobro do experimento 1 (607,72 mm e 197:30 h, respectivamente).

Avaliar a sobrevivência de patógenos em restos de diferentes órgãos do hospedeiro e a forma como são mantidos no campo é importante para definir a contribuição dos mesmos como fontes de inóculo primário. A ocorrência de restos culturais infestados com *A. solani* no campo pode antecipar epidemias de pinta preta (BASU, 1971; PATTERSON, 1991). Assim, com a incorporação dos restos de cultura na profundidade adequada, previne-se a infecção de colo (PATTERSON, 1991), evita-se o contato de folhas basais com a superfície do solo infestado e, conseqüentemente, o início de epidemias. O plantio de tomateiro em solo artificialmente infestado resultou em 56% de infecção no colo da planta, doze meses após a infestação, a qual foi prevenida pela incorporação a 16 cm de profundidade (PATTERSON, 1991). Há vários exemplos do efeito da incorporação de restos de cultura ou de estruturas de patógenos no controle das doenças causadas por: *Colletotrichum dematium* (YOSHIDA e SHIRATA, 1999), *Clavibacter michiganensis* Subsp. *michiganensis* (FATMI e SCHAAD, 2002), *C. acutatum* e *C. gloeosporioides* (Freeman et al., 2002), *Didymella bryoniae* (KEINATH, 2002) e *Tilletia indica* (BONDE et al., 2004).

A presença do patógeno no campo pode não elevar os riscos de ocorrência de epidemia, caso a viabilidade dos propágulos seja baixa. Assim, no patossistema *A. solani* - tomateiro, os estudos com restos do hospedeiro no campo são importantes para embasar a tomada de decisão quanto ao intervalo de tempo adequado entre cultivos. Em vista dos resultados obtidos, a incorporação de restos da cultura do tomateiro a 20 cm de profundidade, reduziu o potencial de esporulação, germinação e incidência de lesões em hastes com esporulação de *A. solani*. Com a redução na infectividade dos esporos em folíolos de tomateiro, demonstrou-se o efeito da incorporação na redução da viabilidade

de propágulos de *A. solani*. Presumivelmente, a baixa capacidade de esporulação e a maior presença de conídios velhos na suspensão obtida de restos de folíolos enterrados contribuíram para a queda na germinação e infectividade, observadas após os 90 dias. Já nos restos mantidos na superfície do solo, aos 242 ou 177 dias (experimento 1 e 2, respectivamente), detectaram-se baixa germinação e presença de esporos velhos e murchos, sem infectividade.

Semelhante ao observado na África do Sul (van der WAALS *et al.*, 2003) conídios de *A. solani* podem está disponíveis ao longo das diferentes épocas do ano. Porém a concentração de conídios foi influenciada pelas condições climáticas predominante. Aumento da concentração de conídios foi observado a partir do final de julho e os três maiores picos ocorreram entre setembro e outubro de 2005, presumivelmente pela maior intensidade da doença no campo e das condições favoráveis à dispersão de conídios, a exemplo da baixa umidade relativa, poucos eventos de precipitação e ao aumento da temperatura constatado durante este período. A correlação negativa entre a concentração de conídios mais NHURS_90, UR e PPT, deve-se a retenção de conídios nas lesões pela presença de umidade ou orvalho quando a UR é alta e pela remoção dos conídios das lesões quando existem frequências de PPT (LANGENBERG *et al.*, 1977), o que prejudica a dispersão aérea dos conídios. Inversamente, correlação positiva ocorreu para o aumento da temperatura (TS_25) e queda da umidade relativa (NHURI_70) o que possibilitou maior captura de conídios em virtude da não retenção dos mesmos pela presença de umidade nas lesões.

Existiram cultivos de tomateiros ou batateiras durante todo o período de monitoramento, assim a concentração de conídios no ar foi influenciada pelas condições ambientais favoráveis à infecção, produção e dispersão do inóculo, uma vez que a presença de conídios foi evidente ao longo do ano. Estudo com *A. dauci* demonstrou que poucos conídios são dispersos quando existe presença de umidade na folhas de plantas de cenoura, alta umidade relativa e quando a temperatura e velocidade do vento são baixas (LANGENBERG *et al.*, 1977). Poucos conídios, desse patógeno, são dispersos entre 22:00 às 08:00 horas e maior concentração ocorre entre 13:00 às 15:00 horas, quando a umidade relativa declina, há ausência de molhamento foliar e a temperatura mais a velocidade do vento aumentam. Maior disponibilidade de conídios de *A. solani* ocorre entre 09:00 e 18:00 horas com ocorrência de picos ao redor da 15:00 horas (van der WAALS *et al.*, 2003). Picos de concentração de conídios de *Stemphylium vesicarium* ocorrem próximo as 12:00 horas (ROSSI *et al.*, 2005).

Pesquisadores (ANDRADE, 1997; PAUL *et al.*, 2000; SALUSTIANO, 2000; BATISTA *et al.*, 2006) têm destacado a influência de períodos chuvosos com alta temperatura na intensidade da pinta preta no campo. Neste trabalho constatou-se que dias com alta frequência de precipitação reduz a captura de conídios no ar em virtude da remoção dos conídios das lesões. Entretanto, a precipitação favorece o molhamento foliar necessário à infecção pelo patógeno e a dispersão dos conídios no dossel da cultura (ROTEM, 1994), o que explica em parte os maiores picos terem ocorrido dias após a ocorrência da precipitação. Baixa concentração de conídios durante os primeiros meses de monitoramento, março a julho de 2005, sugere condições climáticas desfavoráveis à produção e liberação de conídios de *A. solani*, especialmente a temperatura que foi, em geral, baixa na maior parte dos dias. O número de conídios, dispersos no ar, de *A. solani* reduz bastante durante o inverno (van der WAALS *et al.*, 2003). É possível que o plantio de tomateiro ou outra cultura hospedeira à *A. solani* em épocas do ano quando a disponibilidade do inóculo é menor, pode permitir reduzir o uso de fungicidas pelo aumento do intervalo entre aplicações, uma vez que a concentração do inóculo de *A. solani* tem efeito direto na intensidade da doença (VLOUTOGLOU e KALOGERAKIS, 2000).

No presente trabalho constatou-se a importância do inóculo primário oriundo de restos culturais e o proveniente da dispersão aérea. Tais informações podem contribuir para o delineamento de novas estratégias para o manejo da pinta preta em cultivos de tomateiros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, D. F. A. A. **Previsão e controle químico da pinta preta (*Alternaria solani* Sorauer), sob dois sistemas de condução do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**. 1997. 103 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

AYLOR, D. E. The role of intermittent wind in the dispersal of fungal pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v. 28, p. 73-92, 1990.

BABADOOST, M.; MATHRE, D. E.; JOHNSTON, R. H.; BONDE, M. R. Survival of teliospores of *Tilletia indica* in soil. **Plant Disease**, v. 88, p. 56-62, 2004.

- BASHI, E.; BEN-JOSEPH, J.; ROTEM, J. Inoculum potential of *Phytophthora infestans* and the development of potato late blight epidemics. **Phytopathology**, v. 72, [1043-1047, 1982.
- BASU, P. K. Existence of chlamydospores of *Alternaria porri* f. sp. *solani* as overwintering propagules in soil. **Phytopathology**, v. 61, p. 1347-1350, 1971.
- BATISTA, D. C.; LIMA, M. A.; HADDAD, F.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Validation of decision support systems for tomato early blight and potato late blight, under Brazilian conditions. **Crop Protection**, v. 25, p. 664-670, 2006.
- BLACK, T. A.; GARDNER, W. R.; THURTELL, G. W. The prediction of evaporation, drainage, and soil water storage for a bare soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 33, p. 655-660, 1969.
- BONDE, M. R.; NESTER, S. E.; OLSEN, M. W.; BERNER, D. K. Survival of teliospores of *Tilletia indica* in Arizona field soils. **Plant Disease**, v. 88, p. 804-810, 2004.
- COTTEN, T. K.; MUNKVOLD, G. P. Survival of *Fusarium moniliforme*, *F. proliferatum* and *F. subglutinans* in maize stalk residue. **Phytopathology**, v. 88, p. 550-555, 1998.
- COUTO, M. E. O.; TAVARES, F. W. Levantamento de problemas fitossanitários no Estado do Rio Grande do Sul realizado pela clínica fitossanitária. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 181, 2002.
- FATMI, M.; SCHAAD, N. W. Survival of *Clavibacter michiganensis* spp. *michiganensis* in infected tomato stems under natural field conditions in California, Ohio and Marocco. **Plant Pathology**, v. 51, p. 149-154, 2002.
- FREEMAN, S.; SHALEV, Z.; KATAN, J. Survival in soil of *Colletorichum acutatum* and *C. gloeosporioides* pathogenic on strawberry. **Plant Disease**, v. 86, p. 965-970, 2002.
- GOTTFWALD, T. R.; TROCINE, T. M.; TIMMER, L. W. A computer-controlled environmental chamber for the study of aerial fungal spore release. **Phytopathology**, v. 87, p. 1078-1084, 1997.
- GWARY, D. M.; NAHUNNARO, H. Epiphytotic of early blight of tomatoes in Northeast Nigeria. **Crop Protection**, v. 17, p. 619-624, 1998.
- HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. **Applied logistic regression**. New York: Wiley, 1989. 307 p.

- JEGER, M. J. Improved understanding of dispersal in crop pest and disease management: current status and future directions. **Agric. For. Meteorol.**, v. 97, p. 331-349, 1999.
- KEINATH, A. P. Survival of *Didymella bryoniae* in buried watermelon vines in South Carolina. **Plant Disease**, v. 86, p. 32-38, 2002.
- LANGENBERG, W. J.; SUTTON, J. C.; GILLESPIE, T. J. Relation of weather variables and periodicities of airborne spore of *Alternaria dauci*. **Phytopathology**, v. 67, p. 879-883, 1977.
- LEE, E. T. **Statistical methods for survival data analysis**. New York: Wiley, 1992. 482 p.
- PATTERSON, C. L. Importance of chlamydospores as primary inoculum for *Alternaria solani*, incitant of collar rot and early blight on tomato. **Plant Disease**, v. 75, p. 274-278, 1991.
- PAUL, P. A.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C.; FONTES, P. C. R. Efeito de sistemas de condução e regimes de pulverização no controle da pinta preta e sobre a produção de tomate. **Fitopatologia Brasileira**, v. 26, p. 440-444, 2000.
- PRESTES, A. M.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C.; COSTA, H. Rotação de culturas no manejo de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 7, p. 369-405, 1999.
- PROM, L. K.; ISAKEIT, T.; ODVODY, G. N.; RUSH, C. M.; KAUFMAN, H. W.; MONTES, N. Survival of *Claviceps africana* within sorghum panicles at several Texas locations. **Plant Disease**, v. 89, p. 39-43, 2005.
- PRYOR, B. M.; STRANDBERG, J. O.; DAVIS, R. M.; NUNEZ, J. J.; GILBERTSON, R. L. Survival and persistence of *Alternaria dauci* in carrot cropping systems. **Plant Disease**, v. 86, p. 1115-1122, 2002.
- ROSSI, V.; BUGIANI, R.; GIOSUÉ, S.; NATALI, P. Patterns of airborne conidia of *Stemphylium vesicarium*, the causal agent of brown spot disease of pears, in relation to weather conditions. **Aerobiologia**, v. 21, p. 203-216, 2005.
- ROTEM, J. **The genus *Alternaria***. Biology, epidemiology, and pathogenicity. St. Paul: APS Press, 1994. 326 p.
- ROTEM, J. Thermoxerophytic properties of *Alternaria porri* f. sp. *solani*. **Phytopathology**, v. 58, p. 1284-1287, 1968.
- SALUSTIANO, M. A. **Progresso da pinta preta do tomateiro em cultivares de tomate, em diferentes épocas de plantio**. 2000. 87 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

SHTIENBERG, D.; FRY, W. E. The influence of host resistance and crop rotation on initial appearance of potato early blight. **Plant Disease**, v. 74, p. 849-852, 1990.

STRANDBERG, J. O. Spore production and dispersal of *Alternaria dauci*. **Phytopathology**, v. 67, p. 1262-1266, 1977.

TIMMER, L. W.; SOLEI, Z.; GOTTWALD, T. R.; IBAÑEZ, A. M.; ZITKO, S. E. Environmental factors affecting production, release, and field populations of conidia of *Alternaria alternata*, the cause of Brown spot of citrus. **Phytopathology**, v. 88, p. 1218-1223, 1998.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M.; CORREIA, L. G. Avaliação fitossanitária da cultura do tomateiro em regiões produtoras de Minas Gerais e Espírito Santo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 17, p. 211, 1992.

van der WAALS, J. E.; KORSTEN, L.; AVELING, T. A. S.; DENNER, F. D. N. Influence of environmental factors on field concentrations of *Alternaria solani* conidia above a South African potato crop. **Phytoparasitica**, v. 31, p. 353-364, 2003.

VLOUTOGLOU, I.; KALOGERAKIS, S. N. Effects of inoculum concentration, wetness duration and plant age on development of early blight (*Alternaria solani*) and on shedding of leaves in tomato plants. **Plant Pathology**, v. 49, p. 339-345, 2000.

YOSHIDA, S.; SHIRATA, A. Survival of *Colletotrichum dematium* in soil and infected mulberry leaves. **Plant Disease**, v. 83, p. 465-468, 1999.

EPIDEMIAS DE PINTA PRETA E REQUEIMA EM TOMATEIRO E BATATEIRA CULTIVADOS EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO

RESUMO: Seis experimentos independentes foram realizados entre 2002 a 2006 para avaliar o efeito de densidade de plantio, com ou sem aplicação de clorotalonil, na epidemia de pinta preta (*Alternaria solani*) e requeima (*Phytophthora infestans*) em tomateiro e batateira. Três densidades de plantio foram avaliadas para tomateiro (0,8 x 0,4 m; 1,0 x 0,5 m; 1,2 x 0,6 m) e batateira (0,64 x 0,32 m; 0,8 x 0,4 m; 0,96 x 0,48 m), que correspondem ao espaçamento regular, de 20% mais ou 20% menos denso, respectivamente. Severidade da requeima ou taxa de progresso da doença (r) decresceram quando o espaçamento foi aumentado em 20%. A razão da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da requeima da batateira entre as parcelas densa e espaçada, não pulverizada, foi 2,49 e 1,15 nas cvs. Bintje e Monalisa, respectivamente. Nenhuma diferença foi detectada para severidade ou AACPD de pinta preta em parcelas de tomateiro ou batateira. Todos tratamentos nos quais foram aplicados clorotalonil houve significativa melhora da produção de batata, exceto para requeima sob espaçamento denso ($P=0,253$) em 2003 e pinta preta em espaçamento denso ($P=0,091$) e regular ($P=0,634$) em 2005 a 2006. Pulverização com clorotalonil não reduziu a severidade de pinta preta em batateira e tomateiro sob condições ambientais altamente favoráveis. Condições microclimáticas, principalmente duração de molhamento foliar, foram mais favoráveis no espaçamento mais denso de batateira, o que contribuiu para a mais alta severidade de requeima nestas parcelas. Estes estudos demonstraram que a requeima da batateira pode ser manejada com menor densidade de plantas para reduzir a taxa de progresso da doença.

Palavras-chave: *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*, epidemiologia, controle cultural

EARLY AND LATE BLIGHT EPIDEMICS IN TOMATO AND POTATO CULTIVATED AT DIFFERENT PLANTING DENSITIES

ABSTRACT: Six independent experiments were carried out from 2003 to 2006 to assess the effect of planting density, with or without application of chlorothalonil, on early (*Alternaria solani*) and late blight (*Phytophthora infestans*) epidemics in tomato and potato crops. Three planting densities were assessed for tomato (0.8 x 0.4 m; 1.0 x 0.5 m; 1.2 x 0.6 m) and potato (0.64 x 0.32 m; 0.80 x 0.4 m; 0.96 x 0.48 m), which correspond to the regular, 20% more or 20% less dense planting spacing. Potato late blight severity or disease progress rate (r) decreased when plant spacings were increased by 20%. The ratio of area under the disease progress curve (AUDPC) of potato late blight between the dense and the sparse unsprayed plots was 2.49 and 1.15 in the cvs. Bintje and Monalisa, respectively. But no difference could be detected for the severity or AUDPC of early blight in both tomato and potato plots. Fungicide treatment significantly enhanced yield of potato, except for late blight on dense spacing (P=0.253) and early blight on dense (P=0.091) and regular (P=0.634) spacing in 2003 and 2005 to 2006, respectively. Chlorothalonil sprays did not reduce early blight severity in potato and tomato under highly favorable environmental conditions. Microclimatic conditions, mainly duration of leaf wetness, were more favorable in the higher potato planting density, which was associated with higher late blight severity in these plots. This study demonstrates potato late blight progress rate can be lowered in sparse planting density.

Keywords: *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*, epidemiology, cultural control

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população de plantas como meio para aumentar a produtividade é uma tendência mundial e foi estimulada pela otimização de técnicas de produção (DAYAN *et al.*, 1993). Atualmente, há grande interesse por tecnologias que permitam reduzir custos, riscos de epidemias de doenças e que contribuam para a redução da frequência de pulverizações com fungicidas (MAGNI *et al.*, 2002).

Nas culturas da batateira (*Solanum tuberosum* L.) e tomateiro (*Solanum lycopersicum* L. = *Lycopersicon esculentum* Mill.), o uso de fungicidas é elevado. A freqüente ocorrência de doenças que afetam a parte aérea destas plantas e o potencial de destruição que representam, principalmente a requeima, causada por *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary e a pinta preta, causada por *Alternaria solani* Sorauer, fazem com que seja necessária a aplicação de fungicidas (STEVENSON e PENNYPACKER, 1998; HIJMANS *et al.*, 2000; SHTIENBERG, 2000). A natureza destrutiva de *P. infestans* e o valor econômico daquelas culturas (SHTIENBERG, 2000) explicam o temor por parte dos agricultores. No caso da requeima, sob condições climáticas favoráveis, os produtores podem pulverizar diariamente (NAZARENO *et al.*, 1999). Em geral, a pinta preta é considerada como doença moderadamente destrutiva (SHTIENBERG, 2000), porém, para as regiões tropicais onde as condições são muito favoráveis e onde cultivos sucessivos do hospedeiro é prática comum, a doença pode causar perdas totais de produção (SALUSTIANO, 2000). Outro aspecto interessante destes patossistemas para a produção de batata e de tomate em regiões tropicais é o fato de as epidemias ocorrerem em maior intensidade em épocas distintas do ano. A requeima é mais severa em épocas com temperaturas mais amenas, enquanto a pinta preta ocorre em maior intensidade em períodos quentes e chuvosos. Desta forma, durante todo o ano, é necessária a aplicação de fungicidas visando a redução da intensidade da requeima e, ou, da pinta preta e das perdas de produção ocasionadas por estas epidemias.

A germinação, a esporulação e a dispersão de propágulos de ambos os patógenos são altamente influenciadas pela água. Para a germinação de propágulos, a duração do período de molhamento foliar é importante tanto para formação do tubo germinativo por esporângios de *P. infestans*, quanto para a germinação de zoósporos e de conídios (HARRISON, 1992; STEVENSON e PENNYPACKER, 1998; VLOUTOGLOU e KALOGERAKIS, 2000). Sabe-se que, períodos de molhamento foliar superiores a três

horas, são necessários para a germinação e infecção de propágulos de *P. infestans* (ROTEM *et al.*, 1971). O fungo *A. solani* também é favorecido por períodos de molhamento foliar prolongados (VLOUTOGLOU e KALOGERAKIS, 2000). Maior esporulação de ambos os patógenos ocorre quando os valores de umidade relativa são superiores a 98% (ROTEM *et al.*, 1978). A precipitação afeta o desenvolvimento de epidemias de requeima e pinta preta, por determinar a duração do período de molhamento e contribuir para dispersão de inóculo em escala local. A dispersão de inóculo entre plantas vizinhas pode ser favorecida por respingos de chuvas sob condições de alta densidade de plantas (PARKER *et al.*, 1995; MADDEN e BOUDREAU, 1997; NTAHIMPERA *et al.*, 1998). Em se tratando de epidemias policíclicas, espera-se que quanto mais plantas estiverem disponíveis para infecções maiores será o número de plantas infectadas em ciclos subsequentes, possibilitando o aumento exponencial da doença no tempo (MALOY, 1993).

Para o manejo de doenças foliares, a modificação do ambiente visando reduzir a ocorrência ou a duração de condições favoráveis de umidade pode ser realizada pelo uso de medidas que previnam a manutenção de água livre nas folhas. O uso de cultivo protegido (ROTEM e REICHERT, 1964), irrigação por gotejamento (ROTEM e PALTI, 1969; BEN-NOON *et al.*, 2003) e espaçamentos mais adequados (BURDON e CHILVERS, 1982; LEGARD *et al.*, 2000) dentre outras, potencialmente minimizariam os riscos de epidemias. A implementação do cultivo protegido ou do sistema de irrigação está mais dependente de questões econômicas e logísticas. Por outro lado, o manejo de espaçamento visando reduzir condições favoráveis ao desenvolvimento das epidemias de requeima e pinta preta em condições tropicais ainda não é bem conhecido.

Além dos efeitos da umidade na interação planta-patógeno, para o manejo de doenças, há que se considerarem também os efeitos sobre os depósitos de fungicidas. Sabe-se que o molhamento foliar, também, favorece as perdas dos depósitos de fungicidas protetores tais como clorotalonil e mancozeb (SUHERI e LATIN, 1991; PATTERSON e NOKES, 2000; FIFE e NOKES, 2002). Considerando todos estes fatores, a densidade de plantas pode afetar o desenvolvimento de epidemias por afetar a duração do molhamento foliar, aumentar ou reduzir as chances de dispersão e interceptação de propágulos potencialmente capazes de estabelecerem a infecção e também por interferir na quantidade de resíduos de fungicidas protetores na planta.

Com o manejo da densidade de plantio é possível interferir nas condições microclimáticas, em particular as relacionadas à umidade (BURDON e CHILVERS,

1982). Em teoria, os benefícios alcançados pelo uso de espaçamentos maiores são: a maior circulação de ar, maior incidência da irradiância solar, aumento da temperatura no dossel e redução da umidade ou molhamento foliar (MALOY, 1993). Para epidemias destrutivas como as de requeima e de pinta preta, é necessário aliar práticas culturais ao controle químico. Com esta estratégia pode-se reduzir os riscos de doenças e minimizar a dose e a frequência de pulverizações (BEN-NOON *et al.*, 2003). Para tal, é necessário quantificar os efeitos da densidade de plantio sobre os componentes epidemiológicos. Redução de densidade de plantas tipicamente atua na taxa de progresso da doença (r) e na duração da epidemia (t) com o escape a condições de microclima favorável ao patógeno (FRY, 1982; KIMATI e BERGAMIN FILHO, 1995). Entretanto, os efeitos desta medida são muito pequenos quando considerados isoladamente. Quando associado a outras medidas de controle, o manejo da densidade de plantas pode contribuir para reduzir a intensidade da epidemia (FRY, 1982; GARRETT *et al.*, 2001; FREITAS *et al.*, 2002). Contudo, seus efeitos não são fixos e podem variar entre épocas, regiões e espécie ou cultivar hospedeira como já relatados para alguns patossistemas (ROTEM e BEN-JOSEPH, 1970; GARRETT e MUNDT, 2000; GARRETT *et al.*, 2001).

Epidemias de doenças foliares tendem a ocorrer com maior intensidade em plantios adensados, porém não há relação de causa e efeito bem estabelecida (BURDON e CHILVERS, 1982; PFLEEGER e MUNDT, 1998). A correlação entre intensidade de epidemias pode ser nula, positiva ou negativa (BURDON e CHILVERS, 1982; PFLEEGER e MUNDT, 1998; FINCKH *et al.*, 1999; SCONYERS *et al.*, 2005). Estudos com requeima em batateira têm divergido quanto ao efeito de plantios adensados na epidemia (ROTEM e BEN-JOSEPH, 1970; GARRETT *et al.*, 2001) e nenhum efeito foi observado para a pinta preta em tomateiro (SAWANT *et al.*, 1999). Estudos têm demonstrado que o efeito de espaçamento na intensidade de doenças pode variar dependendo das condições climáticas da região, cultivares, época e espaçamento adotado (ROTEM e BEN-JOSEPH, 1970; GARRETT e MUNDT, 2000; LEGARD *et al.*, 2000; GARRETT *et al.*, 2001). No Brasil, não é conhecido se densidade de plantio afeta a duração da epidemia e taxa de progresso de requeima e pinta preta em tomateiro e batateira. O conhecimento dos efeitos de densidade de plantas na redução daqueles parâmetros pode definir novas estratégias de manejo de doenças capazes de contribuir para a redução do uso de fungicidas. Atraso da primeira pulverização e maior intervalo entre pulverizações seria o principal benefício quanto à redução dos parâmetros t e r , respectivamente. Espaçamento adequado beneficiaria principalmente produtores de

cultivos orgânicos, onde os métodos culturais podem constituir em alternativa interessante para o manejo de doenças.

O objetivo do presente trabalho foi quantificar os efeitos da densidade de plantio de batateira e tomateiro, em condições naturais de infecção, sobre a intensidade das epidemias de requeima e pinta preta, manejadas ou não com o fungicida protetor clorotalonil. Para tal, a abordagem adotada foi quantificar variáveis microclimáticas e as estimativas de parâmetros epidemiológicos t e r .

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Épocas e localidades de plantio

Seis experimentos individuais e independentes foram realizados entre 2002 a 2006. Para batateira, os experimentos com requeima foram conduzidos em 2003 e 2005 e os com pinta preta em 2002 e 2005-2006. Para tomateiro, dois experimentos com pinta preta foram conduzidos: um em 2003 e outro em 2005 (Tabela 1).

Tabela 1 – Informações sobre os experimentos realizados

Doença	Hospedeiro	Época do experimento	Cultivar	Localização
Pinta preta	Batata	Setembro/novembro 2002	Bintje	Teixeira-MG
		Outubro/janeiro 2005/06	Monalisa	Viçosa-MG
	Tomate	Agosto/novembro 2003	Santa Clara	Viçosa-MG
		Março/junho 2005		Viçosa-MG
Requeima	Batata	Agosto/outubro 2003	Bintje	Viçosa-MG
		Abril/junho 2005	Monalisa	Viçosa-MG

Em cada experimento, avaliou-se a intensidade de apenas uma doença. As outras doenças que ocorreram nos cultivos foram controladas com fungicidas específicos. A prevenção de infecções de *P. infestans*, *A. solani* ou *Septoria lycopersici*, foi obtida por aplicação semanal de dimetomorfe (0,75 g i.a.L⁻¹) ou cloridrato de propamocarbe (1,083 g i.a.L⁻¹), tebuconazole (0,2 g i.a.L⁻¹) ou benomil (0,75 g i.a.L⁻¹), respectivamente. O controle de ervas daninhas foi realizado com aplicação dos herbicidas seletivos metribuzim (480 g i.a. ha⁻¹) e fluzaziforpe-p-butílico (187,5 g i.a.L⁻¹),

enquanto os inseticidas metamidofós ($0,6 \text{ g i.a.L}^{-1}$) e deltametrina (10 mg i.a.L^{-1}) foram utilizados para controle de pragas. Os tratos culturais e os fertilizantes empregados nas adubações - formulação NPK (4-14-8), cloreto de potássio e sulfato de amônia - foram realizados conforme recomendações para as culturas (FILGUEIRA, 2000; FONTES e SILVA, 2002).

2.2. Intensidade de requeima e pinta preta da batateira

As cultivares utilizadas foram Bintje e Monalisa, as quais têm, respectivamente, reações de suscetibilidade alta e resistência intermediária aos dois patógenos. Os tratamentos foram constituídos por combinações de três diferentes espaçamentos entre linhas de plantio e entre plantas dentro da linha de plantio, com e sem aplicação do fungicida protetor clorotalonil ($1,5 \text{ g i.a.L}^{-1}$). Os tratamentos avaliados tanto para a requeima quanto para a pinta preta foram: T1 ($0,64 \times 0,32 \text{ m/ sem clorotalonil}$); T2 ($0,8 \times 0,4 \text{ m/ sem clorotalonil}$); T3 ($0,96 \times 0,48 \text{ m/ sem clorotalonil}$); T4 ($0,64 \times 0,32 \text{ m/ com clorotalonil}$); T5 ($0,8 \times 0,4 \text{ m/com clorotalonil}$) e T6 ($0,96 \times 0,48 \text{ m/com clorotalonil}$). Nas parcelas, o número de plantas variou conforme o espaçamento adotado: 44 plantas ($0,64 \times 0,32 \text{ m}$), 36 plantas ($0,8 \times 0,4 \text{ m}$) e 28 plantas ($0,96 \times 0,48 \text{ m}$). Cada unidade experimental ou parcela foi constituída por quatro fileiras de plantio, com 3,6 m de comprimento.

A ocorrência de requeima ou pinta preta, em cada parcela, foi resultante de inoculação natural. A intensidade de cada doença foi avaliada com auxílio de chave diagramática desenvolvida para requeima (JAMES, 1971) e pinta preta (BOFF *et al.*, 1991). Os tubérculos de batata foram colhidos, pesados e a quantidade total da produção em cada parcela foi dividida pelo número de plantas nela contida.

2.3. Intensidade da pinta preta do tomateiro

As mudas de tomateiro, cultivar Santa Clara, foram transplantadas para o campo em estágio de desenvolvimento de 3 a 4 folhas definitivas. Para o tutoramento dos tomateiros, empregou-se o sistema de tutoramento vertical com vareta de bambu com 2,0 metros de comprimento. A cultura foi conduzida até a formação do sétimo cacho quando, então, a gema apical foi eliminada. Os experimentos consistiram de seis

tratamentos formados pela combinação de três diferentes espaçamentos com e sem aplicações semanais de clorotalonil. Os tratamentos empregados foram: T1 (0,8 x 0,4 m/ sem clorotalonil); T2 (1,0 x 0,5 m/ sem clorotalonil); T3 (1,2 x 0,6 m/ sem clorotalonil); T4 (0,8 x 0,4 m/ com clorotalonil); T5 (1,0 x 0,5 m/ com clorotalonil) e T6 (1,2 x 0,6 m/ com clorotalonil). Dentro das parcelas, o número de plantas variou conforme o espaçamento adotado: 36 plantas (0,8 x 0,4 m), 28 plantas (1,0 x 0,5 m) e 24 plantas (1,2 x 0,6 m). A severidade foi estimada em oito plantas localizadas no centro das duas linhas centrais da parcela.

2.4. Dados climáticos

As variáveis climáticas medidas por sensores de temperatura e umidade relativa (CS500 *temperature and relative humidity probe*), precipitação pluviométrica (TE525 *Tipping bucket rain gauge*) e molhamento foliar (237-L *wetness sensing grid*) foram registradas e armazenadas em coletor automático de dados (*Campbell Scientific CR10X*). Com a constatação de diferenças entre espaçamentos na intensidade de requeima da batateira no primeiro experimento (agosto a outubro de 2003) foram instalados sensores nas parcelas dos tratamentos T1, T2 e T3 do experimento 2 (abril a junho de 2005) para registrar temperatura do solo a 5,0 cm de profundidade (108-L *temperature probe*); molhamento foliar (237-L *wetness sensing grid*) localizado entre as duas fileiras centrais e a 10 cm de altura do solo; e tensão de água no solo (227-L *delmhorst soil matric potential block*) enterrado a 5,0 cm. Os sensores de molhamento foram calibrados no início da manhã analisando a concordância de registro da presença de orvalho no aparato e nas folhas. Considerou-se como molhamento foliar, registros no sensor menores ou iguais a 24 kOhm.

2.5. Análise de dados

Todos os ensaios foram montados em esquema fatorial 2 x 3 (fungicida x espaçamento) em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Para estimar a taxa de progresso das duas doenças, ajustaram-se os modelos de crescimento, Monomolecular, Logístico, Exponencial e de Gompertz, aos dados de severidade da doença em função do tempo, por meio de regressão não linear com o PROC NLIN do programa *The SAS System*. Os ajustes foram comparados e o melhor modelo foi

selecionado com base no maior coeficiente de determinação entre valores observados e previstos de severidade, ausência de tendência no gráfico de dispersão de resíduos e menor quadrado médio do resíduo. Ademais, as curvas de progresso foram integralizadas como área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (SHANER e FINNEY, 1977) e estes valores foram submetidos à análise estatística.

Os dados de produção, AACPD e r (taxa de progresso de doença) foram submetidos à análise de variância. Existindo interação entre fungicida e espaçamento o efeito do fator quantitativo (espaçamento) foi analisado via regressão linear simples, enquanto as médias do fator qualitativo (fungicida) por contraste ortogonal. As estimativas de r de cada experimento e obtidas a partir de um dos modelos, citados acima, foram comparadas diretamente calculando o intervalo de confiança a 95% de probabilidade sobre a diferença entre valores deste parâmetro (Campbell e Madden, 1990).

3. RESULTADOS

3.1. Intensidade da requeima da batateira

A intensidade de requeima nos tratamentos que não receberam aplicações do fungicida clorotalonil foi alta, em todos os experimentos, independentes da variedade utilizada (Bintje ou Monalisa). Um total de 5 e 8 pulverizações foram realizadas nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Nestes experimentos, as epidemias de requeima iniciaram aos 44 e 36 dias após o plantio das batatas-semente, respectivamente (Fig. 1A e B). Neste período, as parcelas dos tratamentos com maior densidade de plantas estavam com áreas entre fileiras de plantio completamente fechadas. As epidemias iniciaram após a ocorrência de precipitações, de sucessivos períodos com alto número de horas de umidade relativa acima de 90% (NHUR_90) e baixas temperaturas (abaixo de 20 °C). Em ambos experimentos, a temperatura esteve na maior parte entre 15 e 19 °C, enquanto a umidade relativa, com certas variações, foi sempre alta durante os dias de ocorrência de precipitações com picos frequentes nestes períodos (Fig. 1C e D). Os valores de severidade inicial, Y_0 , foram baixos e observou-se atraso do início da epidemia nas parcelas dos tratamentos T2, T4 e T5 (2 dias) e T3, T5 e T6 (5, 8 e 5 dias, respectivamente) em relação ao tratamento T1 no experimento 1 e 2, respectivamente (Tabela 2).

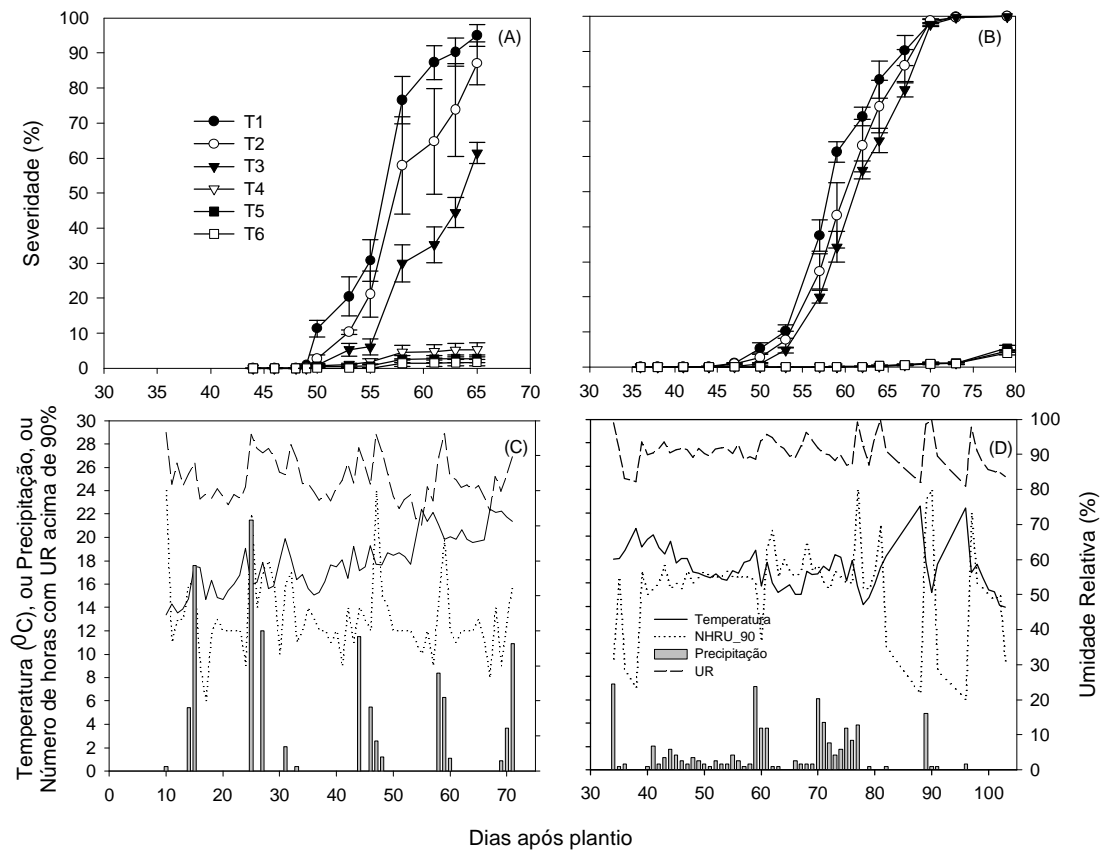


Figura 1 – Progresso de requeima da batateira no experimento 1 (A) e 2 (B). T1 (0,64x0,32 m/sem clorotalonil); T2 (0,8x0,4 m/sem clorotalonil); T3 (0,96x0,48m/sem clorotalonil); T4 (0,64x0,32 m/com clorotalonil); T5 (0,8x0,4 m/com clorotalonil); T6 (0,96x0,48m/com clorotalonil). Valores diários da temperatura média (°C), precipitação pluviométrica acumulada e umidade relativa média (%), registrados durante o experimento 1 (C) (agosto a outubro de 2003) 2 (D) (abril a junho de 2005). Barras de erros representam o erro padrão da média em cada data de avaliação.

A epidemia de requeima foi mais longa na cultivar Monalisa que em Bintje. O tempo para atingir 100% de severidade foi maior em Monalisa (43 dias) que em Bintje (21 dias) ao confrontar os valores dos tratamentos mais densos e sem pulverizações de clorotalonil (T1) entre os experimentos 1 e 2. A duração da epidemia (t) na cultivar Monalisa foi o dobro de Bintje, mesmo sob condições ambientais mais favoráveis à requeima (Tabela 2, Fig. 1).

Os modelos que melhor ajustaram os dados de progresso da requeima variaram conforme o experimento: o modelo Logístico foi mais apropriado para os dados do experimento 1, enquanto o de Gompertz se ajustou melhor aos dados do experimento 2. Os valores de severidade máxima, Y_{max} , foram 99,99 e 100%, 97 e 100% e 70 e 100%,

Tabela 2 – Severidade inicial (Y0), máxima (Ymax) e duração da epidemia (t) de requeima e pinta preta em batateira e tomateiro sob três diferentes espaçamentos tratados ou não com clorotalonil em dois experimentos

Hospedeiro	Doença	Tratamentos ¹	Experimento 1			Experimento 2		
			Y0	Ymax	t	Y0	Ymax	t
Batateira	Requeima	T1	0,0007	99,99	21	0,0004	100	43
		T2	0,0013	97	19	0,0001	100	43
		T3	0,0002	70	21	0,0025	100	38
		T4	0,001	10,8	19	0,0001	5,4	43
		T5	0,002	5,4	19	0,001	6,8	35
		T6	0,0007	4,5	21	0,0025	5,5	38
	Pinta preta	T1	0,65	98	29	0,54	95,5	22
		T2	0,28	99	29	0,70	98,5	22
		T3	0,04	95	29	0,60	98,2	22
		T4	0,25	98	29	0,15	8,23	22
		T5	0,30	97,5	29	0,21	6,17	22
		T6	0,03	95	29	0,18	5,6	22
Tomateiro	Pinta preta	T1	0,7305	99,33	35	0,0065	98,43	52
		T2	0,6392	96,16	35	0,002	73,97	46
		T3	0,4616	89,33	35	0,0017	96,5	52
		T4	0,4487	67,66	35	0,0017	2,0	52
		T5	0,6822	71,83	35	0,0035	1,83	52
		T6	0,3840	60,16	35	0,0033	1,52	52

^{1/} Tratamentos sem e com clorotalonil, respectivamente, em batateira: T1 e T4 (0,64 x 0,32 m); T2 e T5 (0,80 x 0,40 m); T3 e T6 (0,96 x 0,48 m). E tratamentos sem e com clorotalonil, respectivamente, em tomateiro: T1 e T4 (0,8 x 0,4 m); T2 e T5 (1,0 x 0,5 m); T3 e T6 (1,2 x 0,6 m).

registrados nos tratamentos T1, T2 e T3, nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Os valores de Ymax para os tratamentos com aplicações de clorotalonil foram 10,8 e 5,4% em T4, 5,4 e 6,8% em T5 e 4,5 e 5,5% em T6, nos experimentos 1 e 2, respectivamente.

Os registros dos sensores de molhamento foliar indicaram maior tempo (média de 9:04 horas/dia) de molhamento na parcela do tratamento mais denso (T1) entre os 34 a 60 dias, principalmente na primeira metade do experimento, quando a severidade da requeima na parcela era baixa (Fig. 2A). As durações de molhamento foliar nas parcelas dos tratamentos T2 e T3 foram semelhantes, 7:02 e 7:01 horas/dia, respectivamente. As temperaturas médias do solo das parcelas dos tratamentos T1, T2 e T3, foram sempre superiores ao da temperatura do ar (Fig. 2A). A temperatura do solo na parcela do

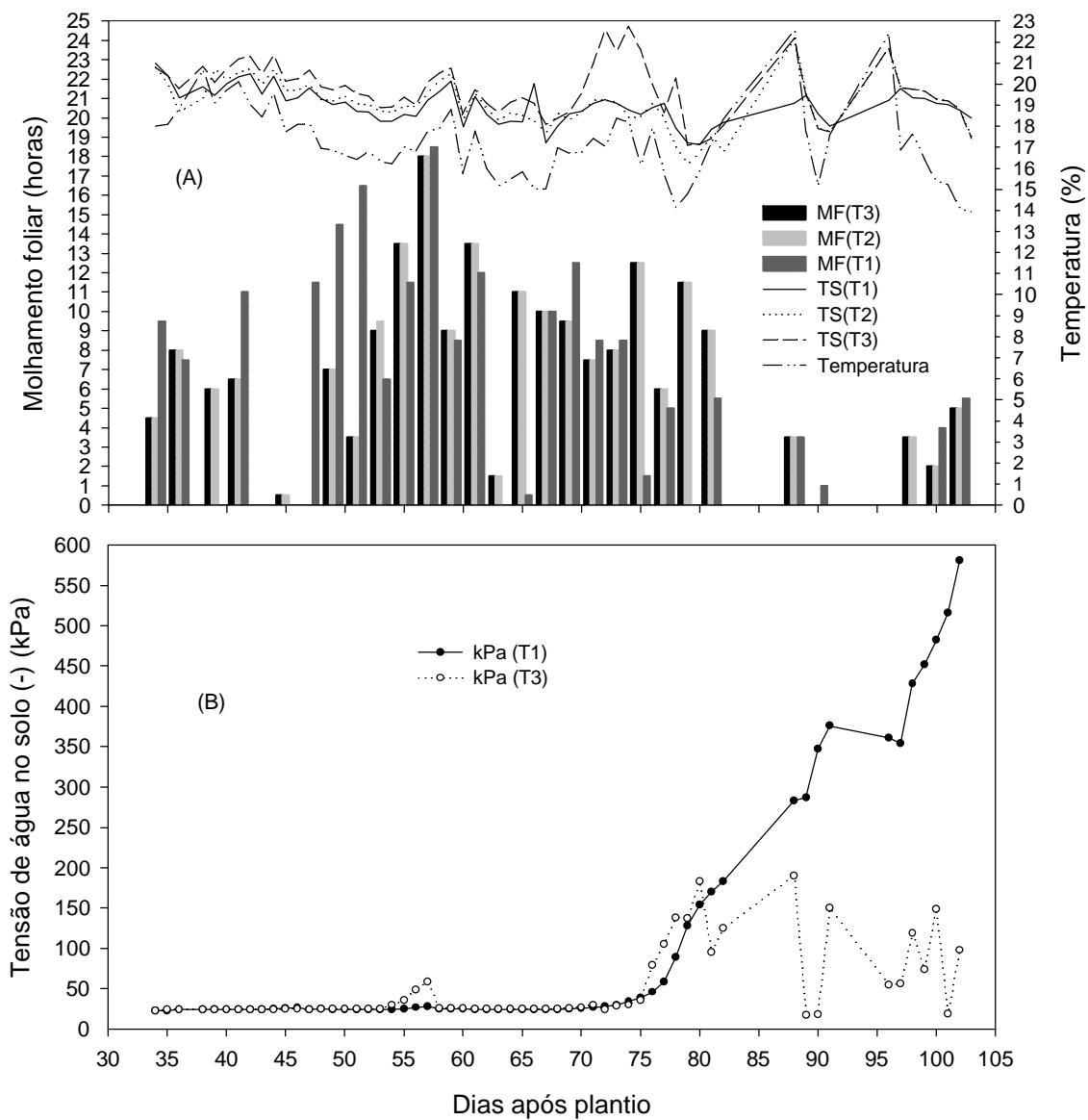


Figura 2 – Valores diários da temperatura média do ar (Temperatura) e do solo (TS) a 5,0 cm de profundidade e de molhamento foliar (MF) nos tratamentos T1 (0,64 x 0,32 m), T2 (0,80 x 0,40 m) e T3 (0,96 x 0,48 m) não tratados com clorotalonil - (A) e de tensão de água no solo (kPa) nos tratamentos T1 e T3 - (B), registrados durante o experimento 2 de requieira da batateira (abril a junho de 2005).

tratamento T3 foi ligeiramente superior às registradas nas parcelas dos tratamentos T2 e T1. As tensões superficiais de água no solo foram praticamente idênticas em T1 e T3 até 70 dias após o plantio. A curva da tensão de água no solo do tratamento T1 teve um aclave maior que T3 ao fim do experimento (Fig. 2B).

Nos dois experimentos com a requeima da batateira, a AACPD foi influenciada pela densidade de plantio e houve efeito significativo para a interação espaçamento e fungicida (Tabela 3). Para a taxa de progresso de doença, r , houve efeito significativo da interação espaçamento e fungicida no experimento 1, enquanto no experimento 2 só houve efeito de fungicida. Para produção de batata não houve efeito de interação espaçamento e fungicida, porém houve efeito de espaçamento e fungicida no experimento 1 e de fungicida no experimento 2. Os casos que existiram interação espaçamento e fungicida o efeito de espaçamento foi estudado por meio de regressão linear, onde o número de plantas por metro quadrado foi a variável independente e o valor de AACPD e, ou, da taxa r as variáveis dependentes, enquanto o efeito de fungicida foi estudado por contrastes ortogonais. Análises de variância da regressão linear do efeito de números de plantas por metro quadrado no valor de AACPD (experimentos 1 e 2) e no valor de r (experimento 1) foram significativas apenas quando não foi aplicado o fungicida clorotalonil (Tabela 4). Conforme a equação de regressão ajustada para AACPD e taxa r de requeima, ambas aumentam com o número de plantas/m², dentro dos níveis estudados (Fig. 3). Os valores de AACPD dos tratamentos que receberam aplicações de clorotalonil foram significativamente inferiores aos dos controles não tratados com clorotalonil (Tabelas 5 e 6).

Quanto à produção de tubérculos, houve diferença de médias de produção por planta, nos dois experimentos de requeima da batateira, quanto ao efeito da aplicação de clorotalonil na produção da batateira (Tabelas 5 e 7), exceto T4 (410,23 g/planta) que foi igual a T1 (318,47 g/planta) no experimento 1. No experimento 1, maior produção foi constatada com o tratamento T6 (669,64g/planta), o qual diferiu da média da produção dos tratamentos T4 e T5 (520,83 g/planta). No experimento 2, a produção foi maior em todos os tratamentos pulverizados quando comparados aos tratamentos de igual espaçamento, não pulverizados. Quanto ao efeito do espaçamento na produção, o contraste de média de produções dos tratamentos T4 (698,01 g/planta) e T5 (875,35 g/planta) ao contrário do ocorrido no experimento 1, não foram diferentes da média do T6 (841,07 g/planta). A produção dos tratamentos T4 e T5 não foram diferentes nos experimentos 1 e 2 ($P=0,173$ e $P= 0,053$ respectivamente).

Tabela 3 – Valores de quadrados médio para área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de infecção aparente (r) e produção por planta de batata obtidos da análise de variância do efeito de espaçamento e fungicida sobre requeima e pinta preta em batateira e tomateiro em dois experimentos

Cultura	Doença Experimento	Fonte de variação	GL	Variáveis		
				AACPD	r	Produção
Batateira						
	Requeima	Bloco	3	37599,175	0,00041937	32504,050
		Fungicida	1	2140931,670 **	0,17767604 **	138411,403**
	Experimento 1	Espaçamento	2	159205,420 **	0,00128617	104696,969 **
		Fungicida*Espaçamento	2	120718,841 **	0,00353717 **	5770,1874
		Resíduo	15	11974,782	0,00040721	11959,454
	Experimento 2	Bloco	3	4645,36	0,00169693	1403,001
		Fungicida	1	20656205,14 **	0,16483838 **	803257,562 **
		Espaçamento	2	37843,76 *	0,00031929	30947,155
		Fungicida*Espaçamento	2	36624,54 *	0,00002813	10694,921
		Resíduo	15	9689,59	0,00062346	9278,704
	Pinta preta	Bloco	3	181477,4345	0,00091082	_____
		Fungicida	1	491668,7256 *	0,0009204	_____
	Experimento 1	Espaçamento	2	52192,5056	0,00505400	_____
		Fungicida*Espaçamento	2	25780,338	0,00089867	_____
		Resíduo	15	89017,882	0,00229999	_____
	Experimento 2	Bloco	3	1103,981	0,00001649	2400,375
		Fungicida	1	4347700,639 **	0,02607004 **	95355,566 *
		Espaçamento	2	405,051	0,00004387	396028,725 **
		Fungicida*Espaçamento	2	951,128	0,00004529	14231,563
		Resíduo	15	2765,549	0,00002239	11502,314
Tomateiro						
	Pinta preta	Bloco	3	7471,972	0,00109388	_____
		Fungicida	1	2488745,095 **	0,01126667 **	_____
	Experimento 1	Espaçamento	2	18467,623	0,00006337	_____
		Fungicida*Espaçamento	2	20634,606	0,00009929	_____
		Resíduo	15	8446,384	0,00028220	_____
	Experimento 2	Bloco	3	154599,858	0,00207209	_____
		Fungicida	1	2607769,563 **	0,06843863 **	_____
		Espaçamento	2	16223,303	0,0002671	_____
		Fungicida*Espaçamento	2	20994,130	0,00022976	_____
		Resíduo	15	49130,052	0,00048041	_____

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Análise de variância da regressão do efeito do número de plantas de batateira/m² na área abaixo da curva de progresso de requeima (AACPD) da batateira e na taxa aparente de infecção em parcelas tratadas e não tratadas com fungicida clorotalonil

Experimento/ parâmetros	Fungicida	Fonte de Variação	GL	F	(Pr > F)	Função
Experimento 1 (AACPD)	Não	Regressão linear	1	16,59	(0,0028)	Y= 186,77762X -6,14875 ^{NS}
		Falta de ajuste	1	0,95	(0,3556)	^a C.V.= 28,32%
		Resíduo	9			R ² = 62,50%
	Sim	Regressão linear	1	3,388	(0,0805)	
		Falta de ajuste	1	0,00	(0,9824)	
		Resíduo	9			
(r)	Não	Regressão linear	1	15,29	(0,0036)	Y= 0,02091X+0,22779**
		Falta de ajuste	1	5,72	(0,0405)	CV= 8,44%
		Resíduo	9			R ² = 50,95%
	Sim	Regressão linear	1	1,27	(0,2894)	
		Falta de ajuste	1	0,21	(0,6542)	
		Resíduo	9			
Experimento 2 (AACPD)	Não	Regressão linear	1	8,31	(0,0181)	Y= 98,46477X +1545,66068**
		Falta de ajuste	1	0,14	(0,7184)	CV= 6,75 %
		Resíduo	9			R ² = 47,62%
	Sim	Regressão linear	1	0,07	(0,8017)	
		Falta de ajuste	1	0,65	(0,4395)	
		Resíduo	9			

^{NS} Não-Significativo; ** Significativo a 1% de probabilidade; ^a Coeficiente de variação.

As taxas de progresso da doença foram menores nos tratamentos onde se aplicou clorotalonil (T4, T5 e T6) que nos tratamentos sem aplicação de clorotalonil (T1, T2 e T3) (Tabela 8). Nas parcelas do tratamento que não foi aplicado clorotalonil e maior espaçamento, T3 (r=0,255), a taxa de progresso diferiu dos valores estimados para o tratamento T1 (r=0,325) sem clorotalonil e espaçamento mais denso, experimento 1. Enquanto as comparações das taxas de progresso dos tratamentos T1 e T2, e as taxas do T2 e T3 não diferiram em ambos experimentos. As taxas de progresso dos tratamentos com aplicação de clorotalonil não diferiram entre si, exceto os valores de taxa de T5 (r=0,058) e T6 (r=0,046) no experimento 2.

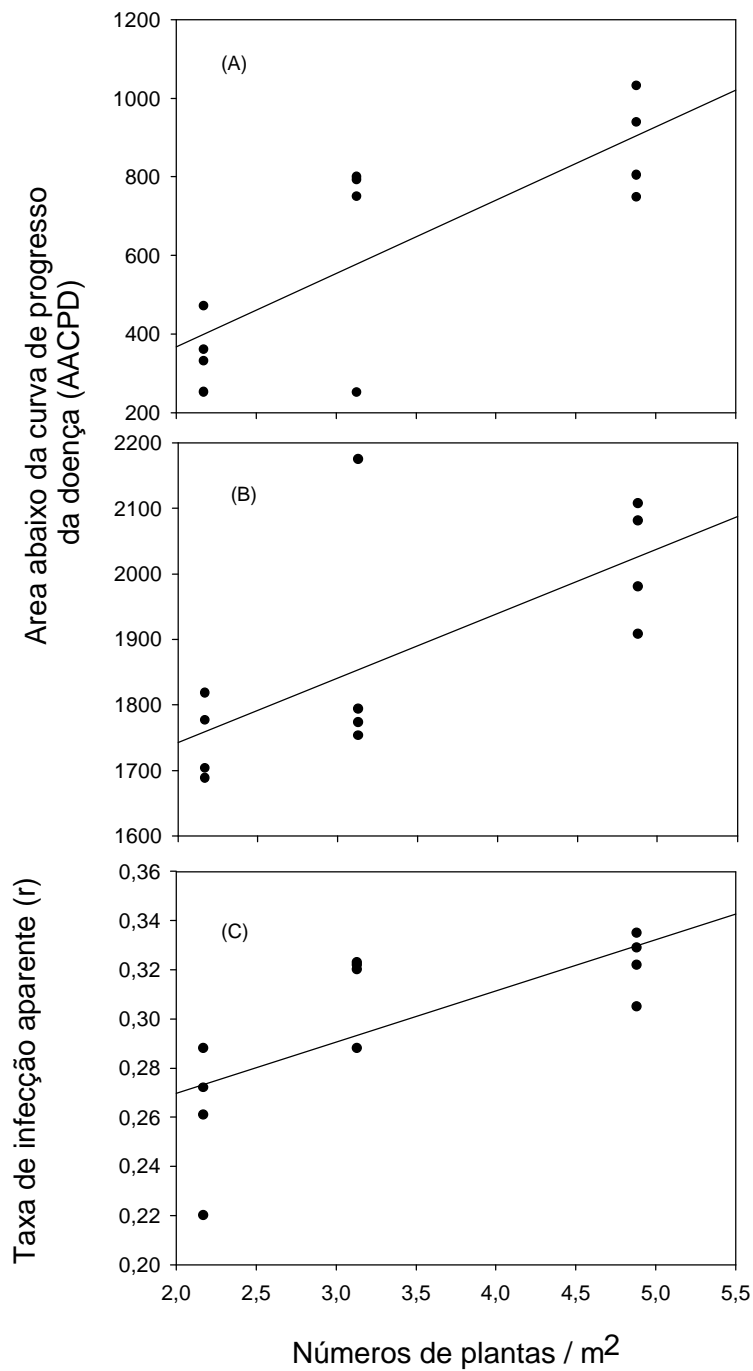


Figura 3 – Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e taxa de infecção aparente (r) de requeima da batateira em função do número de plantas nas parcelas da cv. Bintje (A e C) e Monalisa (B).

Tabela 5 – Valores de área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e produção por planta em dois experimento (Exp.1 e Exp. 2) de requeima e pinta preta em batateira e tomateiro

Trat ¹	Batateira - Requeima				Batateira - Pinta preta			Tomateiro - Pinta preta	
	AACPD		Produção		AACPD		Produção	AACPD	
	Exp.1	Exp.2	Exp.1	Exp.2	Exp.1	Exp.2	Exp.2	Exp.1	Exp.2
T1	880,58	2019,12	318,47	402,27	859,92	879,79	780,11	1205,93	773,7
T2	648,55	1873,74	325,69	433,68	921,85	914,73	1079,86	1140,71	487,6
T3	353,98	1746,49	500,89	480,80	808,21	900,46	1190,18	1064,06	721,1
T4	50,44	24,19	410,23	698,01	1277,02	53,03	917,04	446,34	23,0
T5	27,04	27,04	520,83	875,35	1149,71	46,12	1116,66	571,89	24,5
T6	13,51	21,77	669,64	841,07	1022,02	42,10	1396,64	460,35	22,6

^{1/} Tratamentos sem e com clorotalonil, respectivamente, em batateira: T1 e T4 (0,64 x 0,32 m); T2 e T5 (0,80 x 0,40 m); T3 e T6 (0,96 x 0,48 m). E tratamentos sem e com clorotalonil, respectivamente, em tomateiro: T1 e T4 (0,8 x 0,4 m); T2 e T5 (1,0 x 0,5 m); T3 e T6 (1,2 x 0,6 m).

Tabela 6 – Contrastes ortogonais de médias de áreas abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) de requeima e pinta preta em batateira e tomateiro tratados e não tratados com clorotalonil, em dois experimentos (Exp.1 e Exp. 2)

Hospedeiro Doença	Comparações de tratamentos	Efeito analisado	F	
			(Pr > F)	
			Exp.1	Exp.2
Batateira				
Requeima	T1 T2 T3 vs T4 T5 T6	Fungicida	178,79 (<0,0001)	2131,79 (<0,0001)
Pinta preta	T1 T2 T3 vs T4 T5 T6	Fungicida	5,52 (0,0329)	1572,09 (<0,0001)
Tomateiro				
Pinta preta	T1 T2 T3 vs T4 T5 T6	Fungicida	294,65 (<0,0001)	50,43 (<0,0001)

Tabela 7 – Contrastes ortogonais de médias de produção de tubérculos /planta, em batateira sob três diferentes espaçamentos tratados e não tratados com fungicida clorotalonil, em dois experimentos (Exp.1 e Exp. 2)

Doença	Comparações de tratamentos ¹	Efeito analisado	F	
			(Pr > F)	
			Exp.1	Exp.2
Requeima ²	T1 vs T4	Fungicida	1,41 (0,2538)	18,85 (0,0006)
	T2 vs T5	Fungicida	6,37 (0,0234)	42,05 (<0,0001)
	T3 vs T6	Fungicida	4,76 (0,0454)	27,98 (<0,0001)
	T4 T5 vs T6	Espaçamento	9,29 (0,0081)	0,85 (0,3711)
	T4 vs T5	Espaçamento	2,05 (0,1731)	4,41 (0,053)
Pinta preta ³	T1 vs T4	Fungicida	_____	3,26 (0,0911)
	T2 vs T5	Fungicida	_____	0,24 (0,6345)
	T3 vs T6	Fungicida	_____	7,27 (0,0166)
	T4 T5 vs T6	Espaçamento	_____	33,09 (<0,0001)
	T4 vs T5	Espaçamento	_____	(6,93) (0,0188)

^{1/} Tratamentos sem e com clorotalonil, respectivamente: T1 e T4 (0,64 x 0,32 m); T2 e T5 (0,80 x 0,40 m); T3 e T6 (0,96 x 0,48 m).

Tabela 8 – Intervalo de confiança a 95% de probabilidade da diferença entre estimativas da taxa de progresso da requeima (*Phytophthora infestans*) em batateiras submetidas a três diferentes espaçamentos, tratadas e não tratadas com clorotalonil

Experimento 1					
Tratamentos ¹	T2	T3	T4	T5	T6
T1 (r=0,325)	-0,116 a 0,092	-0,138 a -0,011*	-0,284 a -0,119*	-0,291 a -0,120*	-0,303 a -0,060*
T2 (r=0,313)	_____	-0,154 a 0,038	-0,296 a -0,083*	-0,302 a -0,085*	-0,309 a -0,030*
T3 (r=0,255)	_____	_____	-0,204 a -0,058*	-0,211 a 0,060*	-0,227 a -0,003*
T4 (r=0,123)	_____	_____	_____	-0,091 a 0,083	-0,103 a 0,143
T5 (r=0,119)	_____	_____	_____	_____	-0,105 a 0,145
T6 (r=0,143)	_____	_____	_____	_____	_____
Experimento 2					
Tratamentos	T2	T3	T4	T5	T6
T1 (r=0,226)	-0,046 a 0,034	-0,040 a 0,016	-0,198 a -0,153*	-0,191 a -0,144*	-0,202 a -0,157*
T2 (r=0,220)	_____	-0,044 a 0,032	-0,204 a -0,135*	-0,196 a -0,127*	-0,208 a -0,139*
T3 (r=0,214)	_____	_____	-0,182 a -0,145*	-0,175 a 0,136*	-0,186 a -0,149*
T4 (r=0,050)	_____	_____	_____	-0,002 a 0,018	-0,012 a 0,004
T5 (r=0,058)	_____	_____	_____	_____	-0,022 a -0,002*
T6 (r=0,046)	_____	_____	_____	_____	_____

* O intervalo calculado que não inclui zero, parâmetros são diferentes.

^{1/} Tratamentos de igual espaçamento sem e com clorotalonil, respectivamente: T1 e T4 (0,64 x 0,32 m); T2 e T5 (0,80 x 0,40 m); T3 e T6 (0,96 x 0,48 m).

3.2. Intensidade da pinta preta da batateira

O progresso da pinta preta da batateira foi pouco afetado pela densidade de plantio com as duas variedades utilizadas (Fig. 4A e B). Foram realizados um total de cinco e nove aplicações de clorotalonil no experimento 1 e 2, respectivamente. Não houve diferença quanto à duração da epidemia nos experimentos 1 e 2 (t= 29 e 22 dias respectivamente) dos tratamentos tratados ou não com clorotalonil. Não houve efeito de espaçamento ou de fungicida sobre o início da epidemia (Tabela 2). No experimento 1, a severidade média na metade da duração da epidemia (Y₅₀), 52 dias após a emergência, para os tratamentos T1, T2 e T3 (sem fungicida) foi de 37,5%, 33,8% e 25%, enquanto para os tratamentos T4, T5 e T6 (com fungicida), Y₅₀ foi de 15,4%, 11,4% e 8,5%, respectivamente. Os valores de severidade máxima (Y_{max}) dos seis tratamentos foram próximos a 100% (Tabela 2). Os contrastes de médias de AACPD entre grupos de tratamentos não pulverizados (T1 T2 T3) contra os pulverizados (T4 T5 T6) foram significativos em ambos experimentos (Tabela 6, Fig. 4C).

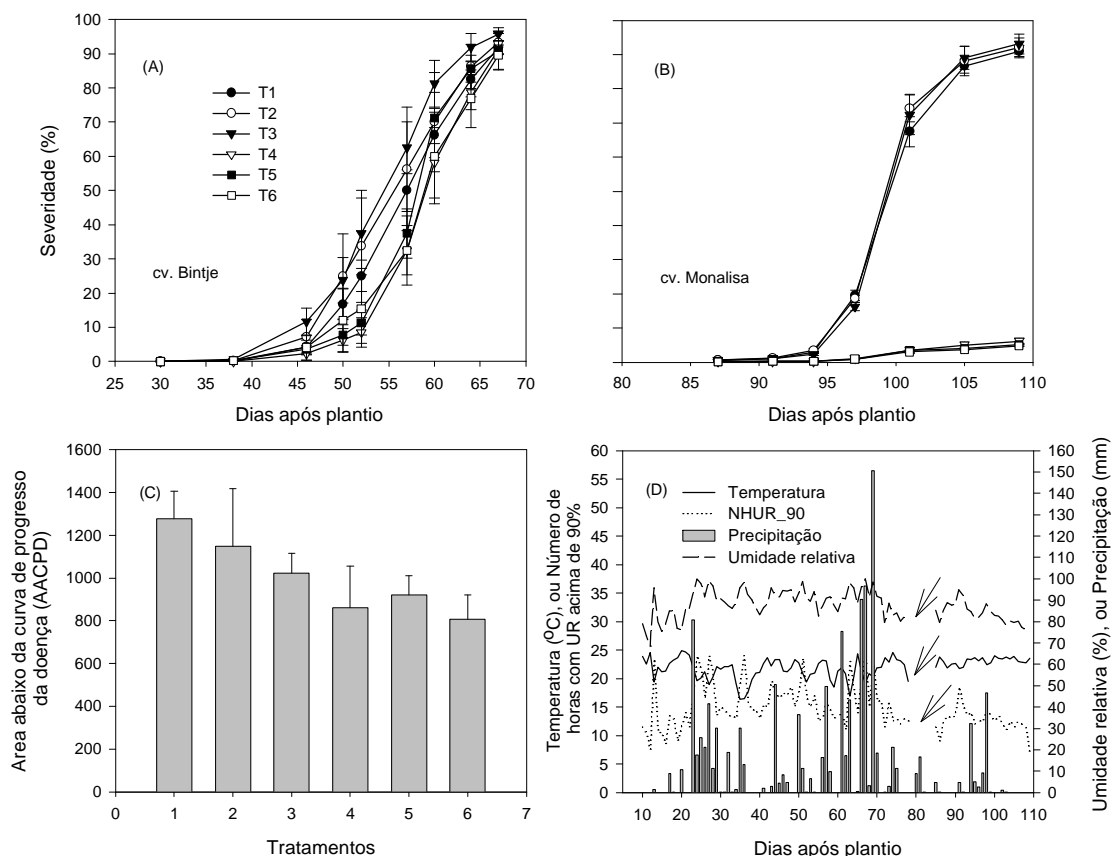


Figura 4 – Progresso de pinta preta da batateira no experimento 1 (A) - setembro a novembro de 2002 - e experimento 2 (B) - outubro a janeiro de 2005 a 2006 -, área abaixo da curva de progresso da doença do experimento 1 (C). T1 ou 1(C) (0,64x0,32 m/sem clorotalonil); T2 ou 2(C) (0,8x0,4 m/sem clorotalonil); T3 ou 3(C) (0,96x0,48m/sem clorotalonil); T4 ou 4(C) (0,64x0,32 m/com clorotalonil); T5 ou 5(C) (0,8x0,4 m/com clorotalonil); T6 ou 6(C) (0,96x0,48m/com clorotalonil). Valores diários da temperatura média (°C), precipitação pluviométrica acumulada e umidade relativa média (%), registrados durante experimento 2 (D). Barras de erros representam o erro padrão da média em cada data de avaliação e as setas dados climáticos faltantes.

Para a cultivar Monalisa, no experimento 2, constatou-se que os valores de Y_{max} foram altos nos tratamentos não pulverizados (Tabela 2). Porém, o início da epidemia de pinta preta foi atrasado (aos 87 dias) e houve aumento de severidade da doença quando os tubérculos já estavam desenvolvidos e as plantas em processo de senescência. O desenvolvimento tardio da pinta preta refletiu na produção por planta e as parcelas de igual espaçamento, pulverizadas ou não, não diferiram quanto à produção, exceto em T6 (1396,64 g/planta) que foi superior a T3 (1190,18 g/planta) (Tabela 7). A produção no T6 (1396,64 g/planta) foi maior que a do grupo de médias do T4 (917,04 g/planta) e T5 (1116,66 g/planta), enquanto a média do T5 foi superior ao de T4 (Tabela 7).

As taxas de progresso da doença no experimento 1 não diferiram entre si, independente da aplicação ou não de clorotalonil ou espaçamento (Tabela 9). No experimento 2, as taxas de progresso foram significativamente menores nos tratamentos em que se aplicou clorotalonil em relação aos não pulverizados. Não houve efeito de espaçamento sobre a taxa de progresso (Tabela 9).

Tabela 9 – Intervalo de confiança a 95% de probabilidade da diferença entre estimativas da taxa de progresso da pinta preta (*Alternaria solani*) em batateiras submetidas a três diferentes espaçamentos, tratadas e não tratadas com clorotalonil

Experimento 1					
Tratamentos ¹	T2	T3	T4	T5	T6
T1 (r=0,246)	-0,130 a 0,068	-0,077 a 0,050	-0,077 a 0,050	-0,089 a 0,104	-0,026 a 0,139
T2 (r=0,215)	_____	-0,073 a 0,108	-0,073 a 0,108	-0,078 a 0,155	-0,017 a 0,019
T3 (r=0,233)	_____	_____	-0,051 a 0,051	-0,068 a 0,110	-0,003 a 0,143
T4 (r=0,233)	_____	_____	_____	-0,068 a 0,110	-0,003 a 0,143
T5 (r=0,254)	_____	_____	_____	_____	-0,054 a 0,152
T6 (r=0,303)	_____	_____	_____	_____	_____
Experimento 2					
Tratamentos	T2	T3	T4	T5	T6
T1 (r=0,197)	-0,102 a 0,010	-0,085 a 0,035	-0,197 a -0,124*	-0,201 a -0,128*	-0,201 a -0,128*
T2 (r=0,151)	_____	-0,044 a 0,086	-0,015 a -0,070*	-0,163 a -0,074*	-0,163 a -0,074*
T3 (r=0,172)	_____	_____	-0,184 a -0,087*	-0,188 a -0,091*	-0,188 a -0,091*
T4 (r=0,036)	_____	_____	_____	-0,019 a 0,004	-0,012 a 0,004
T5 (r=0,032)	_____	_____	_____	_____	-0,005 a 0,005
T6 (r=0,032)	_____	_____	_____	_____	_____

* O intervalo calculado que não inclui zero, parâmetros são diferentes.

^{1/} Tratamentos de igual espaçamento sem e com clorotalonil, respectivamente: T1 e T4 (0,64 x 0,32 m); T2 e T5 (0,80 x 0,40 m); T3 e T6 (0,96 x 0,48 m).

3.3. Intensidade da pinta preta do tomateiro

Não houve efeito de espaçamento na intensidade da pinta preta do tomateiro (Tabela 3). Foram realizadas um total de 12 e 9 aplicações de clorotalonil nos experimentos 1 e 2 respectivamente, referente aos tratamentos T4, T5 e T6. Os valores de AACPD nestes tratamentos (T4, T5 e T6) foram inferiores ao dos tratamentos não pulverizados (Tabela 5 e 6). A aplicação de fungicida reduziu a taxa de progresso da pinta preta, mas a severidade final nos tratamentos T4, T5 e T6 foram superiores a 50% durante a realização do experimento 1 (54,28, 63,16 e 54,04%, respectivamente). Maior severidade, Y_{max} , ocorreu no tratamento T1 (99,33%) e T5 (71,83%) entre tratamentos sem e com clorotalonil, respectivamente (Tabela 2). Os níveis de severidade dos tratamentos T4, T5 e T6 foram baixos no experimento 2 (0,92, 1,11 e 1,06%, respectivamente).

Frequência de precipitação e aumento da temperatura média (20 a 24 °C) ocorreu entre o período de 96 a 112 dias no experimento 1 (Fig. 5C). A ocorrência de precipitações nos dias anteriores aos 96 dias foi mais esparsa e a temperatura média durante o período foi na maior parte entre 13 e 18 °C. No experimento 2, a precipitação foi freqüente e os índices foram, em geral, baixos (inferior a 1,0 mm). A temperatura média foi amena e, em geral, abaixo dos 18 °C.

O progresso da pinta preta do tomateiro em ambos os experimentos foi melhor descrito pelo modelo de Gompertz. As estimativas das taxas de progresso da doença no experimento 2, foram inferiores nos tratamentos que receberam aplicações semanais de clorotalonil que nos tratamentos controle (Tabela 10). Não houve diferenças quanto às taxas de progresso entre os diferentes espaçamentos, tanto em parcelas sem aplicação de clorotalonil quanto nas que receberam aplicações do fungicida (Tabela 10).

Com a redução das taxas de progresso da pinta preta nos tratamentos pulverizados, os valores de AACPD destes tratamentos foram significativamente inferiores aos dos tratamentos controle (Tabelas 5 e 6).

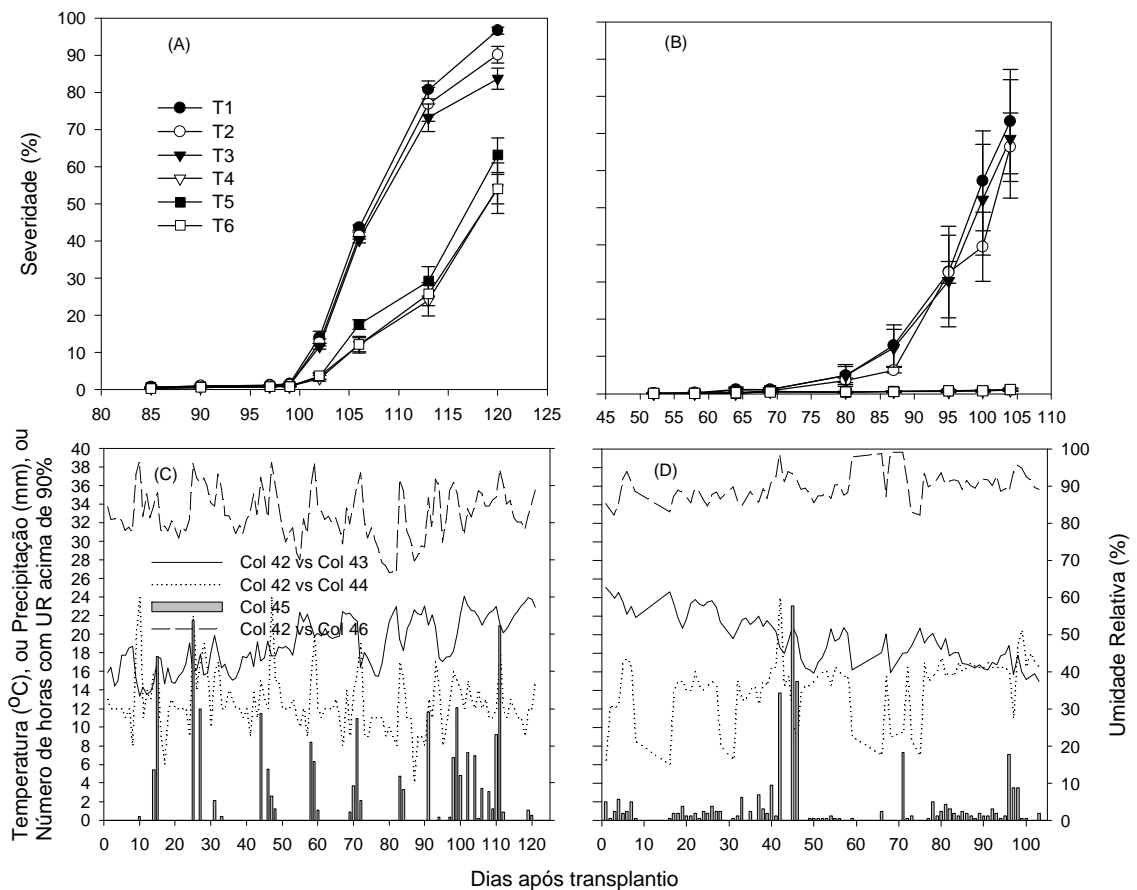


Figura 5 – Progresso de pinta preta do tomateiro no experimento 1 (A) e 2 (B). T1 (0,8 x 0,4 m/sem clorotalonil); T2 (1,0 x 0,5 m/sem clorotalonil); T3 (1,2 x 0,6 m/sem clorotalonil); T4 (0,8 x 0,4 m/com clorotalonil); T5 (1,0 x 0,5 m/com clorotalonil); T6 (1,2 x 0,6 m/com clorotalonil). Valores diários da temperatura média (°C), precipitação pluviométrica acumulada e umidade relativa média (%), registrados durante o experimento 1 (C) (agosto a novembro de 2003) e 2 (D) (março a junho de 2005). Barras de erros representam o erro padrão da média em cada data de avaliação.

Tabela 10 – Intervalo de confiança a 95% de probabilidade da diferença entre estimativas da taxa de progresso da pinta-preta (*Alternaria solani*) em tomateiros submetidos a três diferentes espaçamentos, tratados e não tratados com clorotalonil

Experimento 1					
Tratamentos ¹	T2	T3	T4	T5	T6
T1 (r=0,164)	-0,018 a 0,026	-0,032 a 0,012	-0,094 a -0,045*	-0,086 a -0,043*	-0,093 a -0,053*
T2 (r=0,168)	_____	-0,036 a 0,008	-0,098 a -0,049*	-0,090 a -0,047*	-0,097 a -0,057*
T3 (r=0,154)	_____	_____	-0,084 a -0,035*	-0,097 a -0,057*	-0,084 a -0,035*
T4 (r=0,094)	_____	_____	_____	-0,017 a 0,027	-0,024 a 0,018
T5 (r=0,099)	_____	_____	_____	_____	-0,026 a 0,010
T6 (r=0,091)	_____	_____	_____	_____	_____

Experimento 2					
Tratamentos	T2	T3	T4	T5	T6
T1 (r=0,110)	-0,063 a 0,048	-0,076 a 0,055	-0,150 a -0,057*	-0,149 a -0,056*	-0,149 a -0,056*
T2 (r=0,103)	_____	-0,059 a 0,0538	-0,128 a -0,064*	-0,126 a -0,063*	-0,126 a -0,063*
T3 (r=0,100)	_____	_____	-0,141 a -0,045*	-0,138 a -0,044*	-0,139 a -0,044*
T4 (r=0,006)	_____	_____	_____	-0,004 a 0,006	-0,004 a 0,006
T5 (r=0,007)	_____	_____	_____	_____	-0,005 a 0,005
T6 (r=0,007)	_____	_____	_____	_____	_____

* O intervalo calculado que não inclui zero, parâmetros são diferentes.

^{1/} Tratamentos de igual espaçamento sem e com clorotalonil, respectivamente: T1 e T4 (0,8 x 0,4 m); T2 e T5 (1,0 x 0,5 m); T3 e T6 (1,2 x 0,6 m).

4. DISCUSSÃO

O efeito das diferentes densidades de plantio na intensidade de requeima ou pinta preta variou conforme a interação patógeno e hospedeiro. No caso da requeima, a intensidade foi reduzida em plantios menos densos de batateira. Nas parcelas menos densas, a taxa de progresso da doença foi 21,5% menor que a estimada em parcelas com maior número de plantas. Resultado semelhante foi relatado em Israel (ROTEM e BEN-JOSEPH, 1970). Ao contrário, em epidemias desenvolvidas em cultivos de batatas no Equador, observou-se que o plantio menos denso não afetou a intensidade da requeima (GARRETT *et al.*, 2001). A variação entre resultados deveu-se principalmente ao fato do efeito de espaçamento ser pequeno e sujeito a influência de fatores climáticos externos (macroclima).

Sob condições muito favoráveis ou muito desfavoráveis ao desenvolvimento da requeima, o dossel da cultura tem pouca ou nenhuma influência na intensidade das

epidemias, porém, em condições intermediárias, pode contribuir no controle (FRY, 1982). Em Israel, a influência da densidade de plantio de batateiras é maior na primavera que no outono e a razão entre quantidade de doença nas parcelas densas e espaçadas foi de 12,3 e 1,04 na primavera e outono, respectivamente (ROTEM e BEN-JOSEPH, 1970). No presente estudo, o efeito de densidade de plantas variou com a época de plantio ou a cultivar utilizado. Neste trabalho, a redução foi 2,49 com a cultivar Bintje e 1,15 com Monalisa ao comparar valores de AACPD. Porém, sempre houve maior intensidade da requeima em parcelas mais densas e o efeito foi maior com a cultivar suscetível Bintje.

Maior duração de molhamento foliar, menor incidência direta dos raios solares, maior umidade e menor temperatura no solo provavelmente foram os fatores que contribuíram para maior intensidade da requeima nas parcelas com alta densidade de plantio. As epidemias de requeima iniciaram nas parcelas mais densas e nas folhas baixas que estavam em contato com o solo úmido. A alta densidade de plantio favoreceu a presença de água livre sobre os folíolos por mais tempo, comprovado pelo maior número de horas de molhamento registrado pelo sensor. Adicionalmente, nas parcelas mais densas, T1 ou T4 (0,64x0,32 m), também houve redução da incidência direta dos raios solares sobre as folhas baixas da batateira, o que contribuiu para manter a umidade elevada e possibilitou maior duração do período de molhamento foliar. Nestas condições, há também menor quantidade de radiação solar direta sobre o solo e, conseqüentemente, menor aquecimento do solo e evaporação de água (ROTEM e BEN-JOSEPH, 1970). A temperatura média do ar foi sempre inferior à temperatura do solo, dentro das parcelas, a 5,0 cm de profundidade. A diferença da temperatura do solo entre os três espaçamentos foi notável até aos 75 dias após o plantio. Após este período, não foi possível detectar diferenças de temperatura em função da redução da área foliar resultante do aumento da severidade da doença. Na maior densidade de plantio, o fluxo de vento é dificultado e há maior contato de plantas doentes e sadias que favorece a rápida disseminação da doença, conforme já quantificado para outros patossistemas (BURDON e CHILVERS, 1982; GIESLER *et al.*, 1996).

As alterações nas condições microclimáticas mencionadas anteriormente podem ter contribuído para maior severidade da requeima em parcelas densas, porém acredita-se que um fator determinante para o sucesso do manejo com densidade de plantio talvez esteja relacionado às características genéticas dos isolados de *P. infestans* que predominam na região. No local onde foram realizados os experimentos predomina a

linhagem clonal US-1 (REIS *et al.*, 2003). Em ensaios realizados com batateira, quando comparada à BR-1, constatou-se menor taxa de expansão de lesão, esporulação e maior período latente para isolados de US-1 nesta hospedeira (SUASSUNA *et al.*, 2004). Assim, em geral as condições foram marginalmente favoráveis à requeima, pois apesar de as condições microclimáticas serem adequadas a população predominante do patógeno não é agressiva em batateira.

Além de propiciar condições microclimáticas mais favoráveis ao desenvolvimento de epidemias de requeima, a alta densidade de plantio reduz a eficiência de fungicidas protetores. A alta densidade de plantas resulta na formação de dosséis compactos e as pulverizações não cobrem adequadamente as partes suscetíveis localizadas na região inferior. No presente estudo, melhor controle da requeima foi obtido em parcelas menos densas. Conclui-se que a eficiência do fungicida também pode ser afetada pelo espaçamento. Aliado à melhor cobertura, maior incidência direta dos raios solares em maior parte do dossel da planta e, conseqüentemente, nas lesões, reduz a sobrevivência de esporângios de *P. infestans* no filoplano, pois a viabilidade destes propágulos pode ser reduzida em 95%, quando expostos por 1,0 (uma) hora de radiação solar direta (MIZUBUTI *et al.*, 2000). Assim, o maior espaçamento pode indiretamente reduzir a disponibilidade de inóculo para novas infecções. As combinações desses efeitos promoveram redução significativa nas taxas de progresso (r) da requeima.

A aplicação de clorotalonil possibilitou redução entre 40 a 60% na taxa de progresso de requeima na cultivar Bintje e de cerca de 70 a 78% na cultivar Monalisa, conseqüentemente, houve redução na quantidade de doença medida pela AACPD. Este efeito foi maior quando se utilizou a cultivar Monalisa. A possível causa deve-se a combinações de efeitos de alguns componentes epidemiológicos característicos de variedade com resistência intermediária a exemplo da redução da taxa de infecção, expansão de lesão e período de incubação e latente. Juntos estes componentes reduzem a taxa de progresso da doença ao contrário de cultivares altamente suscetíveis como a Bintje (CARLISLE *et al.*, 2002; DITA RODRIGUEZ, 2006). O efeito aditivo desses componentes epidemiológicos mais do fungicida clorotalonil e espaçamento menos denso, provavelmente, contribuíram para uma maior redução da taxa de progresso da requeima.

As vantagens obtidas com o plantio sob espaçamentos menos densos de batateira devem ser avaliadas, combinando-os a intervalos maiores de aplicações de fungicidas,

para controle da requeima, bem como para características de interesse comercial, como a produção e a qualidade de tubérculos, pois os tubérculos das parcelas mais adensadas foram menores. Com os resultados disponíveis, seria prematuro recomendar o plantio mais espaçado para manejo da requeima da batateira, pois ainda há necessidade de estudos relativos a aspectos fitotécnicos da cultura. Porém, para o cultivo de batata orgânica, nos quais é necessário controlar a requeima sem o uso de fungicidas convencionais, o aumento do espaçamento pode ser um componente importante no manejo da doença.

A densidade de plantio não afetou a intensidade das epidemias de pinta preta nas culturas do tomateiro e batateira. Dois fatores podem ter contribuído para tal: 1) condições microclimáticas altamente favoráveis às epidemias; e 2) por se tratar de uma região produtora de tomate, as populações de *A. solani* sejam mais agressivas. A concentração de alta precipitação pode ter afetado o efeito da densidade de plantas sobre a severidade de pinta-preta. A frequência de precipitação pluviométrica promove o molhamento necessário para germinação e infecção de *A. solani*, e conforme Vloutoglou e Kalogerakis (2000) a presença de sintomas de pinta preta não ocorre na ausência de molhamento foliar ou quando o período de molhamento foliar é inferior a quatro horas. Alta frequência de precipitação pluviométrica pode atuar afetando o efeito benéfico de espaçamento mais amplo sobre a duração do molhamento foliar e outras variáveis microclimáticas no interior da planta (LEGARD *et al.*, 2000). Esses autores observaram efeito diferenciado no espaçamento de plantas de morango na incidência do mofo cinzento, causado por *Botrytis cinerea*, entre duas estações de cultivo. Porém, na estação com alta frequência de precipitação não foi possível detectar o efeito de espaçamento na intensidade do mofo cinzento. Para tomateiro, outro fato provável é que em variedades de tomate de mesa cujo crescimento é ereto, há maior circulação de ar e penetração de luz solar que em plantas de hábito rasteiro e que crescem próximo ao solo, como batateira e morangueiro. Portanto aqueles fatores favorecem a rápida queda da umidade ao redor das plantas, após ocorrência de precipitação pluviométrica ou orvalho, reduzindo o período de molhamento foliar. Sawant *et al.* (1999) estudando o efeito de três outros espaçamentos também não observaram efeito significativo na incidência de pinta preta em tomateiro.

A ocorrência de precipitações favoreceu o progresso da pinta preta mesmo nas parcelas onde se aplicou clorotalonil. No primeiro experimento com tomateiro, a severidade de pinta preta durante um período de apenas 21 dias passou de cerca de 1%

de severidade (aos 99 dias do transplântio) para entre 54 e 63% de severidade. Como as condições climáticas foram muito favoráveis, as taxas de progresso da pinta preta foram altas mesmo quando aplicado clorotalonil. Precipitações freqüentes favorecem o molhamento necessário para germinação e infecção de *A. solani* (STEVENSON e PENNYPACKER, 1998; VLOUTOGLOU e KALOGERAKIS, 2000), remoção de depósito de clorotalonil (BRUHN e FRY, 1982; FIFE e NOKES, 2002) e dispersão de patógenos dentro do dossel e entre plantas vizinhas (Ntahimpera et al., 1998; Parker et al., 1995). Em outro trabalho, a associação de precipitações freqüentes e altas temperaturas dificultou o controle químico da pinta preta em tomateiros, com clorotalonil (SALUSTIANO, 2000). Quando se aplica clorotalonil em batateiras, se a precipitação ocorre no mesmo dia ou 7 dias após, 10 mm de chuva removem até 66% ou 55%, respectivamente, do depósito de fungicida da folhagem (BRUHN e FRY, 1982). O uso de fungicidas sistêmicos, a exemplo de tebuconazole, durante este período é uma estratégia a ser avaliada uma vez que as condições que favorecem a remoção dos depósitos de clorotalonil também favorecem o patógeno.

Além da precipitação, as altas temperaturas também favoreceram o progresso de pinta preta em tomateiro e em batateira. Por outro lado, as temperaturas amenas (18°C) durante o experimento 2 limitaram o progresso de pinta preta em tomateiro. No experimento 2, nos tratamentos submetidos as aplicações de clorotalonil houve baixa severidade de pinta preta quando comparados aos do experimento 1, pois naquele experimento, apesar de a freqüência de precipitação ter sido alta, os índices foram, em geral, muito baixos e inferiores a 1,0 mm. Presumivelmente as baixas precipitações e temperaturas amenas reduziram as perdas dos depósitos de clorotalonil sobre os folíolos (BRUHN e FRY, 1982; BAPTISTA *et al.*, 2004) e o progresso da doença respectivamente.

Em batateira Monalisa, a ocorrência das primeiras lesões foi constatada mais tarde no ciclo da cultura e o período de maior progresso da doença coincidiu com a fase de maturação e envelhecimento das plantas - estágio IV (FILGUEIRA, 2000), quando normalmente se tem maior suscetibilidade (FILGUEIRA, 2000; DITA RODRIGUEZ *et al.*, 2006). As precipitações e o aumento da suscetibilidade da cultivar nesta fase podem ter dificultado detectar o efeito de espaçamento. O atraso na ocorrência da doença fez com que os tratamentos pulverizados e não pulverizados tivessem a mesma produção, exceto entre os tratamentos T3 e T6, e a influência do espaçamento na produção foi notável, pois a produção por planta aumentou significativamente com o aumento do espaçamento.

Baseado nos trabalhos com batateira e tomateiro é possível que alterações microclimáticas associadas às variações de densidade de plantio não influenciem o progresso de epidemias de pinta preta quando as condições do macroclima são muito favoráveis ao patógeno. O aumento do espaçamento pode contribuir para controlar a doença em condições de ambientes não muito favoráveis ou quando utilizada como medida auxiliar à aplicação de fungicidas. Portanto, o plantio de tomateiro ou batateira em condições marginalmente favoráveis à doença, ou seja, em épocas ou locais não sujeitos a freqüentes eventos de precipitação, o efeito de densidade de plantio possa ser notável em relação à pinta preta.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, G. C.; BRIOSCHI, D.; TREVIZAN, L. R. P. Resíduos de clorotalonil em frutos e folhas de tomate em cultivo tutorado. **Summa Phytopathologica**, v. 30, p. 324-328, 2004.

BEN-NOON, E.; SHTIENBERG, D.; SHLEVIN, E.; DINNOR, A. Joint action of disease control measures: A case study of *Alternaria* leaf blight of carrot. **Phytopathology**, v. 93, p. 1320-1328, 2003.

BOFF, P.; ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. Escalas para avaliação de severidade da mancha-de-estenfílio (*Stemphylium solani*) e da pinta preta (*Alternaria solani*) em tomateiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 16, p. 280-283, 1991.

BRUHN, J. A.; FRY, W. E. A mathematical model of the spatial and temporal dynamics of chlorothalonil residues on potato foliage. **Phytopathology**, v. 72, p. 1306-1312, 1982.

BURDON, J. J.; CHILVERS, G. A. Host density as a factor in plant disease ecology. **Annual Review of Phytopathology**, v. 20, p. 143-166, 1982.

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

CARLISLE, D. J.; COOKE, L. R.; WATSON, S.; BROWN, A. E. Foliar aggressiveness of Northern Ireland isolates of *Phytophthora infestans* on detached leaflets of three potato cultivars. **Plant Pathology**, v. 51, p. 424-434, 2002.

DAYAN, E.; van KEULEN, H.; JONES, J. W.; ZIPORI, I.; SHMUEL, D.; CHALLA, H. Development, calibration and validation of a greenhouse tomato growth model: I. Description of the model. **Agricultural Systems**, v. 43, p. 145-163, 1993.

DITA RODRIGUEZ, M. A.; BROMMONSCHENKEL, S. H.; MATSUOKA, K.; MIZUBUTI, E. S. G. Components of resistance to early blight in four potato cultivars: effect of leaf position. **Journal of Phytopathology**, v. 154, p. 230-235, 2006

FIFE, J. P.; NOKES, S. E. Evaluation of the effect of rainfall intensity and duration on the persistence of chlorothalonil on processing tomato foliage. **Crop Protection**, v. 21, p. 733-740, 2002.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402 p.

FINCKH, M. R.; GACEK, E. S.; CZEMBOR, H. J.; WOLFE, M. S. Host frequency and density effects on disease and yield in mixtures of barley. **Plant Pathology**, v. 48, p. 807-816, 1999.

FONTES, P. C. R.; SILVA, D. J. H. **Produção de tomate de mesa**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002. 196 p.

FREITAS, M. A.; CAFÉ FILHO, A. C.; NASSER, L. C. B. Cultural practices and genetic resistance as factors affecting soybean stem canker and plant yield in the cerrado. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 5-011, 2002.

Fry, W. E. Principles of plant disease management. San Diego: Academic Press. INC, 1982. 378p.

GARRETT, K. A.; MUNDT, C. C. Effects of planting density and the composition of wheat cultivar mixtures on stripe rust: an analysis taking into account limits to the replication of controls. **Phytopathology**, v. 90, p. 1313-1321, 2000.

GARRETT, K. A.; NELSON, R. J.; MUNDT, C. C.; CHACÓN, G.; JARAMILLO, R. E.; FORBES, G. A. The effects of host diversity and other management components on epidemics of potato late blight in the humid highland tropics. **Phytopathology**, v. 91, p. 993-1000, 2001.

GIESLER, L. J.; YUEN, G. Y.; HORST, G. L. The microclimate in tall fescue turf as affected by canopy density and its influence on brown patch disease. **Plant Disease**, v. 80, p. 389-394, 1996.

HARRISON, J. G. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage - a review. **Plant Pathology**, v. 41, p. 384-416, 1992.

HIJMANS, R. J.; FORBES, G. A.; WALKERS, T. S. Estimating the global severity of potato late blight with GIS-link disease forecast models. **Plant Pathology**, v. 49, p. 697-705, 2000.

JAMES, W. C. **An illustrated series of assessment keys for plant disease, their preparation and usage**. Ontario: Canadian Plant Disease Survey, 1971. p. 39-65.

KIMATI, H.; BERGAMIN FILHO, A. Princípios gerais de controle. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIN, L. E. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1. p. 692-709.

LEGARD, D. E.; XIAO, C. L.; MERTELY, J. C.; CHANDLER, C. K. Effects of plant spacing and cultivar on incidence of botrytis fruit rot in annual strawberry. **Plant Disease**, v. 84, p. 531-538, 2000.

MADDEN, L. V.; BOUDREAU, M. A. Effect of strawberry density on the spread of anthracnose caused by *Colletotrichum acutatum*. **Phytopathology**, v. 87, p. 828-838, 1997.

MAGNI, M.; ROSSIER, D.; CRETAZ, P.; JOLLIET, O. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. **Agric. Ecosyst. Envir.**, v. 93, p. 379-392, 2002.

MALOY, O. C. **Plant disease control: principles and practice**. New York: John Wiley e Sons, 1993. 346 p.

MIZUBUTI, E. S. G.; AYLOR, D. E.; FRY, W. E. Survival of *Phytophthora infestans* sporangia exposed to solar radiation. **Phytopathology**, v. 90, p. 78-84, 2000.

NAZARENO, N. R. X.; SCOTTI, C. A.; MAFIOLETTI, R. L.; BOSCHETTO, N. Controle da requeima da batata através do monitoramento de variáveis climáticas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, p. 170-174, 1999.

NTAHIMPERA, N.; ELLIS, M. A.; WILSON, L. L.; MADDEN, L. V. Effects of a cover crop on splash dispersal of *Colletotrichum acutatum* conidia. **Phytopathology**, v. 88, p. 536-543, 1998.

PARKER, S. K.; GLEASON, M. L.; NUTTER JR., F. W. Influence of rain events on spatial distribution of septoria leaf spot of tomato. **Plant Disease**, v. 79, p. 148-152, 1995.

PATTERSON, J. M.; NOKES, S. E. Incorporation of chlorothalonil persistence on processing tomato into TOM-CAST. **Agricultural Systems**, v. 64, p. 171-187, 2000.

PFLEEGER, T.; MUNDT, C. C. Wheat leaf rust severity as affected by plant density and species proportion in simple communities of wheat and wild oats. **Phytopathology**, v. 88, p. 708-714, 1998.

REIS, A.; SMART, C. D.; FRY, W. E.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Characterization of *Phytophthora infestans* isolates from Southern and Southeast Brazil from 1998 to 2000. **Plant Disease**, v. 87, p. 896-900, 2003

ROTEM, J.; BEN-JOSEPH, J. Evaporation rate as an indicator for potato late blight development in plots of different foliage density. **Plant Disease Reporter**, v. 54, p. 768-771, 1970.

ROTEM, J.; PALTÍ, J. Irrigation and plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, v. 7, p. 267-288, 1969.

ROTEM, J.; REICHERT, I. Dew - a principal moisture factor enabling early blight epidemics in a semiarid region of Israel. **Phytopathology**, v. 48, p. 211-215, 1964.

ROTEM, J.; COHEN, Y.; BASHI, E. Host and environmental influences on sporulation in vivo. **Annual Review of Phytopathology**, v. 16, p. 83-101, 1978.

ROTEM, J.; COHEN, Y.; PUTTER, J. Relativity of limiting and optimum inoculum loads, wetting durations, and temperatures for infection by *Phytophthora infestans*. **Phytopathology**, v. 61, p. 275-278, 1971.

SALUSTIANO, M. A. **Progresso da pinta preta do tomateiro em cultivares de tomate, em diferentes épocas de plantio**. 2000. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

SAWANT, G. G.; DESAI, P. V.; PADHIAR, R. G. Effect of different spacing, fertilizer dose, use of *Trichoderma viride* and different fungicidal formulations on the occurrence of early blight disease of tomatoes. **Ind. J. Environ. Toxicology**, v. 9, p. 84-87, 1999.

SCONYERS, L. E.; BRENNEMAN, T. B.; STEVENSON, K. L. Effects of plant spacing, inoculation date, and peanut cultivar on epidemics of peanut stem rot and tomato spotted wilt. **Plant Disease**, v. 89, p. 969-974, 2005.

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

SHTIENBERG, D. Modelling: the basis for rational disease management. **Crop Protection**, v. 19, p. 747-752, 2000.

STEVENSON, R. E.; PENNYPACKER, S. P. Effect of radiation, temperature, and moisture on conidial germination of *Alternaria solani*. **Phytopathology**, v. 78, p. 926-930, 1998.

SUASSUNA, N. D.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Aggressiveness and host specificity of Brazilian isolates of *Phytophthora infestans*. **Plant Pathology**, v. 53, p. 405-413, 2004.

SUHERI, H.; LATIN, R. X. Retention of fungicides for control of *Alternaria* leaf blight of muskmelon under greenhouse conditions. **Plant Disease**, v. 75, p. 1013-1015, 1991.

VLOUTOGLOU, I.; KALOGERAKIS, S. N. Effects of inoculum concentration, wetness duration and plant age on development of early blight (*Alternaria solani*) and on shedding of leaves in tomato plants. **Plant Pathology**, v. 49, p. 339-345, 2000.

MODELO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO DE PINTA PRETA DO TOMATEIRO BASEADO NA PRECIPITAÇÃO

RESUMO: Modelos para estimar o risco de pinta preta do tomateiro foram desenvolvidos por regressão logística utilizando-se informações de dois experimentos conduzidos sob condições de campo entre março a junho de 2005 e entre setembro de 2005 a janeiro de 2006. A severidade de pinta preta foi quantificada em intervalos entre 3 a 4 dias. As variáveis independentes consideradas foram precipitação (X_1) e a duração da precipitação (X_2) acumulada durante 4 dias anteriores à avaliação da severidade da doença. A variável resposta utilizada nos modelos de regressão foi a variável indicadora do aumento em dois pontos percentuais da severidade da pinta preta. A severidade da pinta preta do tomateiro foi diretamente associada à precipitação. O modelo com as variáveis independentes X_1 , X_2 , X_1X_2 , X_1^2 and X_2^2 (modelo 4) foi o mais acurado e o limiar ótimo de decisão do modelo foi 0,30. Potencialmente, o modelo permite desenvolver sistemas de previsão simplificados, baseado apenas em precipitação, como sistemas de suporte à tomada de decisão. Entretanto, a acurácia da predição feita pelo modelo deve ser validada em outros locais e épocas.

Palavras-chave: *Alternaria solani*, *Solanum lycopersicum*, *Lycopersicon esculentum*, epidemiologia, previsão.

A PRECIPITATION-BASED MODEL FOR RISK ASSESSMENT OF TOMATO EARLY BLIGHT

ABSTRACT: Logistic regression models for tomato early blight were developed using information of two experiments carried-out under field conditions, from March to June 2005 and from September 2005 to January 2006. The severity of early blight was monitored at intervals varying between 3 to 4 days. The predictor variables were precipitation (X_1) and duration of precipitation (X_2) accumulated 4 days prior to assessing disease severity. A binary response variable that indicates an increase of at least 2 percentual points on disease severity was used. Early blight was directly and consistently associated with precipitation. Model with independent variables X_1 , X_2 , X_1X_2 , X_1^2 and X_2^2 gave the best predictions and the optimal decision threshold was 0.30. The rain-based model could be used as a component of simple forecast systems for management of tomato early blight. However, it needs to be validated under several field conditions and cropping seasons.

Keywords: *Alternaria solani*, *Solanum lycopersicum*, *Lycopersicon esculentum*, epidemiology, forecast system.

1. INTRODUÇÃO

Baseado em levantamentos realizados em campos de produção de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L. = *Lycopersicon esculentum* Mill.), constatou-se que a pinta preta, causada pelo fungo hifomiceto *Alternaria solani* Sorauer, é doença prevalente no Brasil (VALE *et al.*, 1992; COUTO e TAVARES, 2002) e acarreta prejuízos consideráveis na produção de frutos (VALE *et al.*, 1992; PIKANÇO *et al.*, 1998; COUTO e TAVARES, 2002). Atualmente, os principais híbridos e variedades de tomateiro não apresentam nível satisfatório de resistência a *A. solani*. Por essas razões, o controle da doença é realizado com aplicações frequentes de fungicidas protetores e sistêmicos (JONES *et al.*, 1993).

Embora a pinta preta seja de ocorrência freqüente, a intensidade das epidemias, tanto em tomateiro quanto em batateira (*Solanum tuberosum* L.), outra espécie hospedeira, varia em função das condições ambientais (SHTIENBERG *et al.*, 1996; SALUSTIANO, 2000). Os efeitos de diferentes variáveis climáticas nas fases do ciclo de vida do patógeno e no desenvolvimento da doença são bem documentados (ROTEM e REICHERT, 1964; STEVENSON e PENNYPACKER, 1998; VLOUTOGLOU e KALOGERAKIS, 2000). Dentre as variáveis que determinam o desenvolvimento da doença, a temperatura e a umidade, em suas diferentes formas (precipitação, orvalho e irrigação), são as mais importantes. Em síntese, pode-se afirmar que maior intensidade da pinta preta tem sido relatada em regiões ou épocas caracterizadas por altas temperaturas, 24 a 29°C e alta umidade relativa. Ao contrário do que ocorre em regiões de clima temperado, em regiões tropicais, as condições ambientais podem ser favoráveis ao desenvolvimento de epidemias de pinta preta em distintas épocas do ano e variam em função da freqüência e intensidade de precipitação nas diferentes estações.

Para fins de desenvolvimento de sistemas de suporte à tomada de decisão, como um sistema de previsão para a pinta preta, adequados às condições brasileiras é necessário levar em consideração as peculiaridades do patossistema *A. solani* - *S. lycopersicum* em regiões tropicais. Dois aspectos merecem ser destacados: disponibilidade de inóculo e ocorrência de condições ambientais favoráveis à epidemia. Recentemente, determinou-se haver ampla disponibilidade de inóculo para epidemias de pinta preta, inóculo este oriundo tanto da fase de sobrevivência em restos culturais como produzido em plantas hospedeiras infectadas (Batista *et al.*, dados não publicados). Nas principais regiões produtoras de tomate no Brasil, as temperaturas durante as estações

de primavera, verão e início de outono são favoráveis ao desenvolvimento da pinta preta. Conseqüentemente, o aumento na intensidade da doença depende, em grande parte, dos eventos que propiciem umidade.

A umidade é um dos principais fatores que afetam a intensidade da pinta preta (ROTEM e REICHERT, 1964; VLOUTOGLOU e KALOGERAKIS, 2000). Em tomateiro, lesões de pinta preta não são formadas quando a duração do molhamento foliar é inferior a 4 horas e a severidade da doença está diretamente relacionada à duração do tempo de molhamento (VLOUTOGLOU e KALOGERAKIS, 2000). Em locais onde a umidade relativa diária e o índice pluviométrico são baixos, o efeito compensador de horas de orvalho durante o período noturno pode garantir o molhamento foliar necessário à infecção e desenvolvimento da doença (ROTEM e REICHERT, 1964). A capacidade de *A. solani* para utilizar o orvalho, interrompido por período seco, como fonte de umidade para esporulação e infecção excede a de outros patógenos (BASHI e ROTEM, 1974). Além dos efeitos diretos sobre o patógeno, a umidade, principalmente na forma de precipitação e irrigação por aspersão promove a dispersão de conídios no dossel da planta e remove os depósitos de fungicidas (ROTEM, 1994; PATTERSON e NOKES, 2000; FIFE e NOKES, 2002). Quando chuva de 10 mm ocorre no dia da aplicação de clorotalonil, cerca de 66% dos resíduos de fungicidas são removidos. Quando chuva de mesma intensidade ocorre de 1 e 7 dias após a aplicação, há remoção de 55 e 36% dos depósitos, respectivamente (BRUHN e FRY, 1982). A ocorrência de chuva, além de remover os depósitos de fungicidas, contribui para aumentar a severidade da pinta preta. Na estação verão-outono, com chuvas freqüentes associadas a altas temperaturas, a eficiência do controle da doença com clorotalonil foi reduzida (SALUSTIANO, 2000). Este fato foi constatado, também, com o emprego de outros fungicidas protetores para o controle da pinta preta em batateira (SHTIENBERG *et al.*, 1996).

Vários estudos foram conduzidos no Brasil com o propósito de compreender as relações entre variáveis climáticas e desenvolvimento da pinta preta. Nestes estudos, buscou-se estabelecer relação entre variáveis climáticas e o progresso da doença (ANDRADE, 1997; PAUL *et al.*, 2000; SALUSTIANO, 2000). Com relação à umidade, verificou-se que quando as precipitações foram escassas (inferiores a 50 mm), com curto período de molhamento foliar (2,6 a 3,6 h/dia), a severidade foi de 1% aos 92 dias e a máxima foi 25% aos 108 dias do transplântio das mudas (ANDRADE, 1997). Em épocas de precipitação freqüente, os valores de severidade aos 30 dias após o

transplante e ao final do ciclo foram 11 e 60%, respectivamente. Estas relações foram corroboradas em outro estudo, no qual a severidade da pinta preta foi menor nos períodos de inverno-primavera e outono-inverno quando as temperaturas foram, em geral, amenas ($< 22^{\circ}\text{C}$), havia curtos períodos de molhamento foliar (6 h/semana) e escassez de chuva (SALUSTIANO, 2000). A severidade foi maior em primavera-verão, quando temperaturas elevadas, molhamento foliar e precipitações frequentes foram observados (SALUSTIANO, 2000). Demonstrou-se, assim, que a umidade é fator decisivo para o desenvolvimento da pinta preta nas condições brasileiras. Portanto, deve ser considerada como variável-chave em sistemas de previsão da doença.

Os sistemas de previsão atualmente disponíveis para a pinta preta do tomateiro apresentam limitações de ordem técnica e logística. O sistema FAST usa as variáveis molhamento foliar, temperatura do ar durante o molhamento, umidade relativa e precipitação para calcular o índice de favorabilidade ao desenvolvimento da doença (MADDEN *et al.*, 1978). O sistema TOMCAST, uma versão simplificada do FAST, utiliza a duração do molhamento e a temperatura durante o período de ocorrência do molhamento foliar (GLEASON *et al.*, 1995). Estes sistemas não têm apresentado bons resultados ou consistência para previsão da pinta preta nas condições brasileiras (PAUL *et al.*, 2000; BATISTA *et al.*, 2006). A pouca importância dada à variável precipitação pode ser o fator crítico para o desempenho destes modelos de previsão da pinta preta nas condições brasileiras, onde, ao menos nas principais regiões produtoras, há estação seca e chuvosa bem definidas e durante essa última, os eventos de precipitação são frequentes. Outra limitação associada a estes sistemas é a dependência de registro de dados climáticos por estações meteorológicas ou equipamentos sofisticados. Tal requerimento restringe o uso destes sistemas pelos produtores, principalmente os da agricultura familiar. O desenvolvimento de um modelo de análise de risco que auxilie a tomada de decisão e que seja baseado em uma única variável, no caso, precipitação, seria uma contribuição potencialmente importante para o manejo da pinta preta do tomateiro.

A modelagem com regressão logística é uma abordagem interessante para o desenvolvimento de sistemas de estimativas de riscos e tem auxiliado na identificação de variáveis importantes e que interferem em epidemias de diversos patossistemas (GROVE *et al.*, 1985; XU *et al.*, 2000; YUEN e HUGHES, 2002; DE WOLF *et al.*, 2003; MILA *et al.*, 2004). Exemplo interessante é o do modelo que permite a avaliação de risco de fusariose do trigo, causado por *Gibberella zeae*, e que está disponível, via

Internet, para consulta (disponível em: <<http://www.wheatcab.psu.edu>>). A vantagem da abordagem com regressão logística é fornecer o valor de probabilidade associado a ocorrência de um dado evento. A decisão de implementar ou não uma ação de controle pode ser melhor embasada com base neste valor. Um algoritmo de risco construído a partir de modelos baseados em regressão logística, tendo como a variável preditora índice de precipitação pluviométrica, pode ser útil para auxiliar a tomada de decisão quanto ao manejo da pinta preta. Particularmente, é de interesse desenvolver um sistema que possa ser utilizado por técnicos e agricultores que não dispõem de recursos para instalação de estação meteorológica e que necessite apenas de equipamentos simples como um pluviômetro de plástico para medição da precipitação.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo matemático baseado em regressão logística que relacione nível e horas de precipitação com o aumento da intensidade de pinta preta em tomateiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Condução dos experimentos

Dois experimentos foram realizados durante 2005-2006. O primeiro foi realizado entre março e junho de 2005 (outono/inverno) e o segundo, entre setembro de 2005 e janeiro de 2006 (primavera/verão). Mudanças de tomateiro, cultivar Santa Clara, foram transplantadas para o campo em estágio de desenvolvimento de 3 a 4 folhas definitivas. Para a condução das plantas, empregou-se o sistema de tutoramento vertical (experimento 1) ou tradicional, em cerca cruzada, (experimento 2) com vareta de bambu de 2,0 m de comprimento. A cultura foi conduzida até a formação do sétimo cacho quando, então, a gema apical foi eliminada.

Em cada experimento, foram estabelecidos quatro blocos, cada um com cinco parcelas espaçadas de 3,0 m entre si. Cada parcela consistiu de quatro linhas de plantio compostas por 60 plantas e o espaçamento foi de 1,0 m entre linhas de plantio e 0,5 m entre plantas na linha. O controle de outras doenças, que não a pinta preta, que, eventualmente, ocorreram nos cultivos foi realizado com fungicidas específicos. Foram realizadas aplicações semanais de dimetomorfe (0,75 g i.a.L⁻¹) ou cloridrato de propamocarbe (1,083 g i.a.L⁻¹) para o controle da requeima (*Phytophthora infestans*) e de benomil (0,75 g i.a.L⁻¹) para o controle da septoriose (*Septoria lycopersici*). Os

tratos culturais realizados durante a condução dos experimentos foram feitos conforme recomendações para as culturas (FILGUEIRA, 2000; FONTES e SILVA, 2002). A irrigação localizada foi realizada com mangueira e deposição de água junto ao colo da planta.

As infecções ocorreram naturalmente e originaram-se de inóculo presente na área. A severidade da pinta preta foi quantificada a intervalos de três a quatro dias, em 30 plantas localizadas nas duas fileiras centrais da parcela. Em cada planta, estimou-se a porcentagem de área foliar lesionada por *A. solani* com auxílio de escala diagramática (BOFF *et al.*, 1991).

As variáveis climáticas foram medidas por sensores de temperatura e umidade relativa (CS500 *temperature and relative humidity probe*) e precipitação (TE525 *Tipping bucket rain gauge*). Os sensores foram programados para registrar os valores de cada variável a cada dois segundos. Os valores médios para cada período de 30 min foram calculados e armazenados em coletor automático de dados (*Campbell Scientific CR10X*) instalado na área experimental.

2.2. Processamento e análise dos dados

Calcularam-se os incrementos nos valores de severidade entre duas avaliações (anterior e a consecutiva). A variável resposta foi o incremento percentual (I) em área foliar doente entre avaliações. Uma escala do tipo binária foi adotada e classificada conforme o nível de incremento da severidade: $Z=0$ se $I \leq 2,0\%$ e $Z=1$ se $I > 2,0\%$. A variável Z foi indicadora de aumento severo de doença. A probabilidade $P(Z=1)$, isto é, de haver aumento da severidade da pinta preta em mais de 2 pontos percentuais (2pp), foi modelada como uma função das variáveis: volume total de chuva em mm (X_1) e duração total em horas de chuva (X_2), no período de 4 dias anteriores a cada avaliação. O conjunto de dados foi composto por 16200 dados obtidos a partir de 15 (experimento 1) e 12 (experimento 2) avaliações da severidade da pinta preta em 600 plantas, ao longo dos dois experimentos.

Para a modelagem, empregou-se a regressão logística considerando-se a estrutura de medidas repetidas inerentes aos dados pela incorporação de um efeito aleatório no modelo, isto é, um modelo de efeitos mistos (ALLISON, 1999; WOLFINGER, 1999; KUSS, 2002; SHEU, 2002).

2.3. Modelo logístico misto

Quando se utiliza o modelo logístico usual que contém somente efeitos fixos, assume-se independência entre as observações. No presente trabalho essa pressuposição não foi atendida pelo fato de numa mesma parcela terem sido realizadas várias observações (dados longitudinais). Com a estrutura de dados agrupados (*clustered data*), correlações entre observações foram constatadas. Para evitar a obtenção de estimativas de coeficientes de regressão associados a erros-padrão grandes (ineficientes) e também viesados (ALISSON, 1999), empregou-se o modelo logístico misto. Esse modelo permite considerar o agrupamento natural das observações com a inclusão de efeitos aleatórios de plantas, representadas por uma amostra de 30 plantas por parcela. A pressuposição de aleatoriedade dos efeitos das parcelas implica em que as plantas utilizadas no experimento constituem uma amostra da população de plantas e que, possivelmente, não respondem igualmente aos efeitos da precipitação. Considerou-se que a distribuição condicional do número de plantas com aumento maior que 2pp é binomial, $Y_{it} / u_i \sim \text{binomial}(n = 30, p_{it})$, em que Y_{it} é o número de plantas com aumento maior que 2pp na t-ésima avaliação da i-ésima parcela e u_i representa o efeito aleatório da i-ésima parcela de plantas. O valor u_i foi estimado com base no conjunto de dados via estimação Bayesiana empírica (Wolfinger, 1999). Utilizou-se a distribuição normal com média zero e variância s^2 para a distribuição *priori* – $\delta(u_i)$. Portanto, com o modelo logístico misto tem-se: $\ln[p_{it}/(1-p_{it})] = \mathbf{b}X_{it} + u_i$ o que resulta em $p_{it} = \frac{e^{\mathbf{b}X_{it} + u_i}}{1 + e^{\mathbf{b}X_{it} + u_i}}$, em que p_{it} é a probabilidade de haver aumento maior que 2pp ($Z = 1$) no tempo t (ou avaliação) na i-ésima unidade de observação (parcela com 30 plantas). Seja \mathbf{b} um vetor linha de parâmetros (coeficientes de regressão) e X_{it} um vetor coluna de covariáveis ou variáveis explicativas (efeitos fixos), então $\mathbf{b}X_{it}$ define como incorporar os efeitos das covariáveis. Assim, $\mathbf{b}X_{it} = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1 X_{1i} + \mathbf{b}_2 X_{2i} + \mathbf{b}_3 X_{1i} X_{2i} + \mathbf{b}_4 X_{1i}^2 + \mathbf{b}_5 X_{2i}^2$ foi definido como o modelo completo no presente estudo. Foram testados diversos outros modelos dos quais apenas quatro foram promissores. Usualmente $\mathbf{b}X_{it}$ deve ser definido considerando-se a simplicidade do modelo e também baseado em estatísticas que auxiliam avaliar a qualidade do ajuste. Valores iniciais para os coeficientes de regressão (\mathbf{b}) foram obtidos por regressão logística usual e por inspeção dos dados para s^2 .

2.4. Limiar de decisão P_L e incremento da doença

O modelo logístico estima a probabilidade \hat{p} de ocorrer incremento da doença igual ou superior a 2% ($Z=1$). A utilização prática do modelo requer o estabelecimento de um limiar de decisão, isto é, um valor P_L tal que se $\hat{p} > P_L$ então determinada ação deverá ser implementada (ex. aplicação de fungicida). O valor P_L foi definido como aquele que combinou altas sensibilidade e especificidade, duas importantes propriedades do modelo. Sensibilidade é a probabilidade de o modelo estimar a ocorrência do evento quando ocorre o evento e a especificidade é a probabilidade de o modelo estimar a não ocorrência do evento quando este evento realmente não ocorre. Estimativas de sensibilidade e especificidade do modelo foram gerados para valores $P = 0,0; 0,02; 0,04$ até 1,00 considerando-se que o modelo estima o evento corretamente quando $\hat{p} > P$ e $p_{OBS} > P$, em que p_{OBS} é a proporção de plantas com incremento de doença igual ou maior que 2% ($Z=1$) observada por parcela. Portanto, os valores de sensibilidade e especificidade foram estimados para o modelo com base em cálculos iterativos de eventos e não eventos utilizando-se o conjunto de dados.

2.5. Análises de risco

Duas tabelas de dupla entrada foram construídas com as frequências de eventos e não eventos ($Z=0$ ou $Z=1$) associados ao índice de precipitação maior ou igual (favorável) ou menor (desfavorável) do que 2,5 mm, e associados à duração em horas da precipitação ser maior ou igual (favorável) ou menor (desfavorável) do que 4 horas. Estes valores favoráveis e desfavoráveis foram estabelecidos com base na favorabilidade do sistema FAST (MADDEN *et al.*, 1978) e duração de molhamento foliar mínimo para infecção do patógeno (VLOUTOGLOU e KALOGERAKIS, 2000). O objetivo foi estimar e comparar as probabilidades de aumento de doença superior a 2pp (risco) nas condições favoráveis e desfavoráveis pela construção de um intervalo de confiança a 95% de probabilidade para o risco relativo (RR), em que $RR = \text{risco na condição favorável} / \text{risco na condição desfavorável}$.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o programa The SAS System. O PROC NLMIXED foi utilizado para ajustar os modelos não-lineares mistos.

3. RESULTADOS

As precipitações foram mais freqüentes no experimento 1 (84,42% dos dias) do que no experimento 2 (55,65% dos dias) (Fig. 1A e B). Porém, no experimento 1, as precipitações foram menos intensas que no experimento 2. O total acumulado de precipitação ao longo dos experimentos 1 e 2 foi de 102,52 e 1286,27 mm, respectivamente. No experimento 1, a severidade média final da pinta preta foi 46,64%. Ao longo deste experimento, a umidade relativa média foi sempre superior a 80%. Os valores médios de umidade relativa e de temperatura foram 89,45% e 19,95°C, respectivamente. No experimento 2, a severidade da pinta preta foi mais alta, com severidade média final de 81,43%. A temperatura média durante este experimento foi de 21,57 °C e umidade relativa média de 87,92%. No experimento 1, ocorreram 4 eventos de precipitação com intensidade superior a 5 mm (5,19% dos dias), enquanto no experimento 2 a freqüência destes eventos foi de 33,04%.

Adotou-se como critérios para avaliar a qualidade do ajuste do modelo os valores da correlação de Pearson (r) entre a probabilidade observada e predita pelos modelos e o valor BIC, para ambas as probabilidades. Quanto maior o valor BIC, melhor o ajuste do modelo. Verificou-se que o ajuste do modelo mais simples, apenas com os fatores precipitação e hora (modelo 1), não foi adequado quando comparado aos modelos com interações, embora as estimativas dos parâmetros tenham sido significativas (Tabela 1). Com base nos critérios adotados, escolheu-se o modelo 4, o qual foi utilizado para determinar a combinação do total de precipitação e horas de precipitação requeridos para um nível específico de probabilidade de ocorrência de doença severa (Figs. 3 e 4).

Com base na análise do gráfico de sensibilidade e especificidade, definiu-se como melhor limiar de decisão o valor $P_L = 0,3$ (Fig. 2). Os valores de sensibilidade e especificidade decresceram rapidamente quando P_L alcançou valores superiores a 0,5 e inferiores a 0,2 (Fig. 2). O logit do modelo para se estimar a probabilidade de aumento maior que 2pp da pinta preta foi: $\ln(p/(1-p)) = - 0,6208 - 0,1373X_1 + 0,5767X_2 - 0,0413X_1X_2 + 0,0042X_1^2 + 0,0979X_2^2 + u$, onde X_1 é a precipitação total e X_2 é o número acumulado de horas com precipitação durante 4 dias, e u representa o efeito aleatório da parcela de plantas avaliadas repetidamente. O ajuste resultou em efeito aleatório u com variância igual a 8,90.

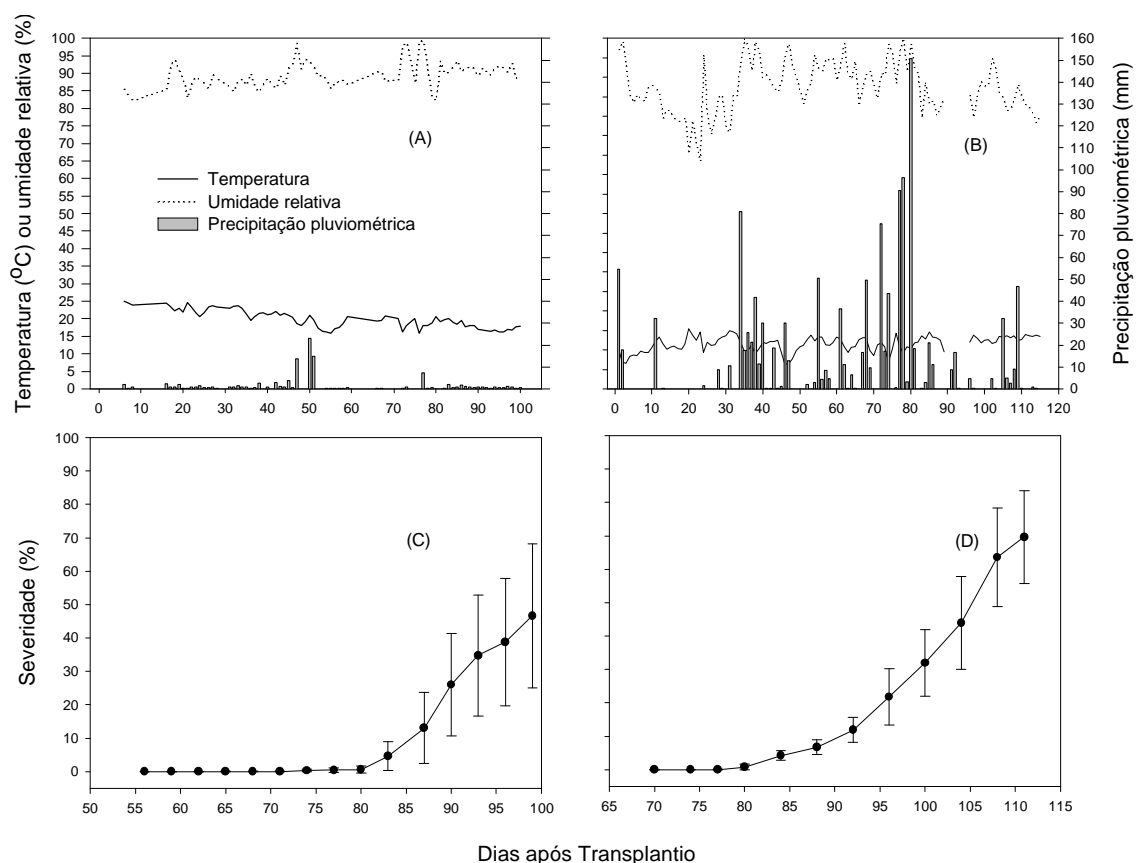


Figura 1 – Valores diários da temperatura média ($^{\circ}\text{C}$), precipitação pluviométrica acumulada (mm) e umidade relativa média (%), registrados durante os experimentos 1 (A) (março/junho de 2005) e 2 (B) (setembro/janeiro de 2005 a 2006). Progresso da pinta preta do tomateiro nos experimentos 1 (C) e 2 (D). Barras de erros representam o desvio padrão da média em cada data de avaliação.

As Tabelas 2 e 3 resumem os resultados das análises de risco. Concluiu-se que o risco de a pinta preta ser severa com precipitação = 2,5 mm é 2,51 vezes maior que com precipitação < 2,5 mm. Pela análise de risco para duração da precipitação, o risco de a pinta preta ser severa com duração = 4 horas é 1,22 vezes maior que com duração da precipitação < 4 horas. Em ambas as análises de risco, a hipótese de risco iguais (RR=1) foi rejeitada a 5% de probabilidade porque os intervalos de confiança não contêm o valor 1,0.

Tabela 1 – Modelos de regressão logística para a probabilidade de aumento severo da pinta preta do tomateiro como efeito do total de chuva (X_1) e horas de chuvas (X_2), durante os quatros dias anteriores à avaliação de severidade. Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os valores de probabilidade observados e preditos pelo modelo e valores do BIC^{1/}

Coeficientes ²	Estimativas (erro-padrão ³)			
	1	2	3	4
b_0	-0,0588 (0,1741)	1,1755** (0,4320)	-0,8769* (0,4277)	-0,6208 (0,4760)
b_1	-0,0224** (0,0011)	-0,1565** (0,0031)	-0,1764** (0,0034)	-0,1373** (0,0038)
b_2	0,0991** (0,0068)	0,3831** (0,0104)	0,9771** (0,0216)	0,5767** (0,0267)
b_3		0,0016** (0,00003)	-0,0137** (0,0004)	-0,0413** (0,0018)
b_4			0,0022** (0,00006)	0,0042** (0,0001)
b_5				0,0979** (0,0056)
r	0,4769**	0,7633**	0,8806**	0,8992**
BIC	-7026	-4585	-3104	-2865

^{1/} Bayesian information criteria (referência), quanto maior, melhor o ajuste.

^{2/} Correspondentes ao logit: $\ln(p/1-p) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1X_2 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 + u$.

^{3/} Número em parênteses corresponde ao erro padrão das estimativas.

** e * Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

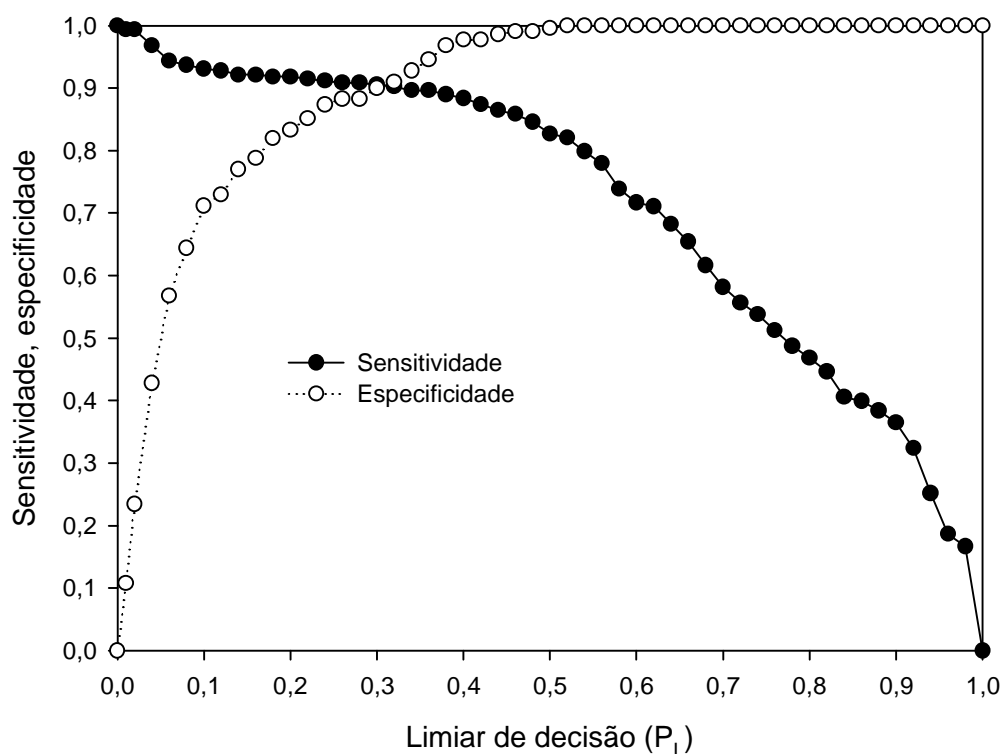


Figura 2 – Sensitividade e especificidade como função do limiar de decisão (se o valor P_L é tal que $P \geq P_L$, a medida de controle é recomendada e se $P < P_L$ a medida de controle não é recomendada, onde P é a probabilidade dada pelo modelo 4) apresentado na Tabela 1.

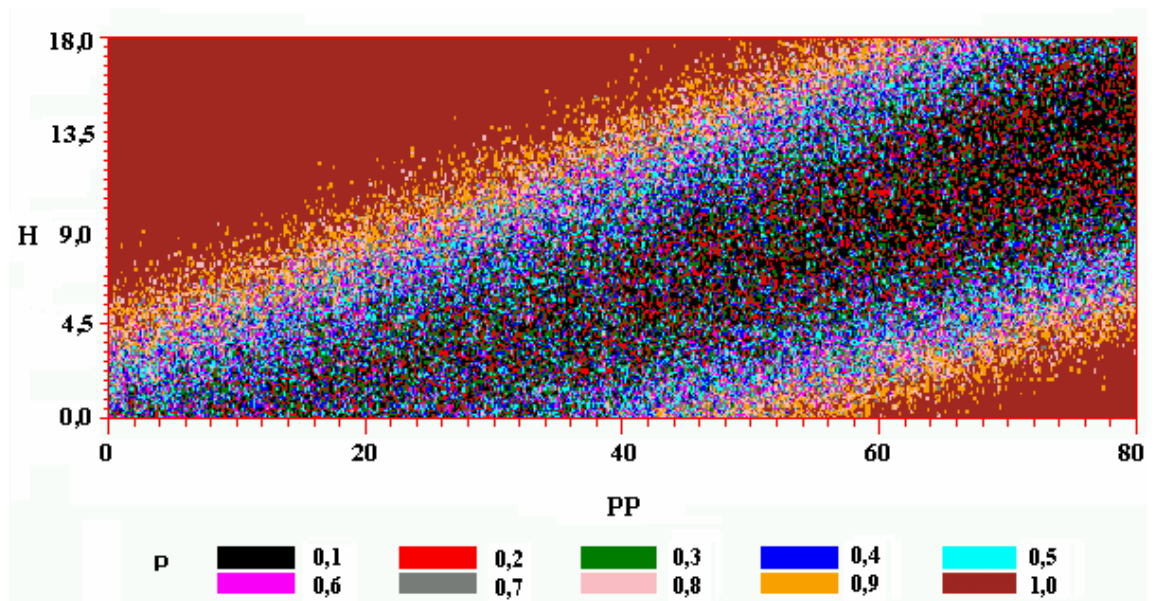


Figura 3 – Gráfico de contornos com as combinações de valores de precipitação (PP) e horas de duração da precipitação (H) durante 4 dias e respectivas probabilidades (P) de doença severa utilizando-se a equação do modelo 4 apresentado na Tabela 1 e Figura 4.

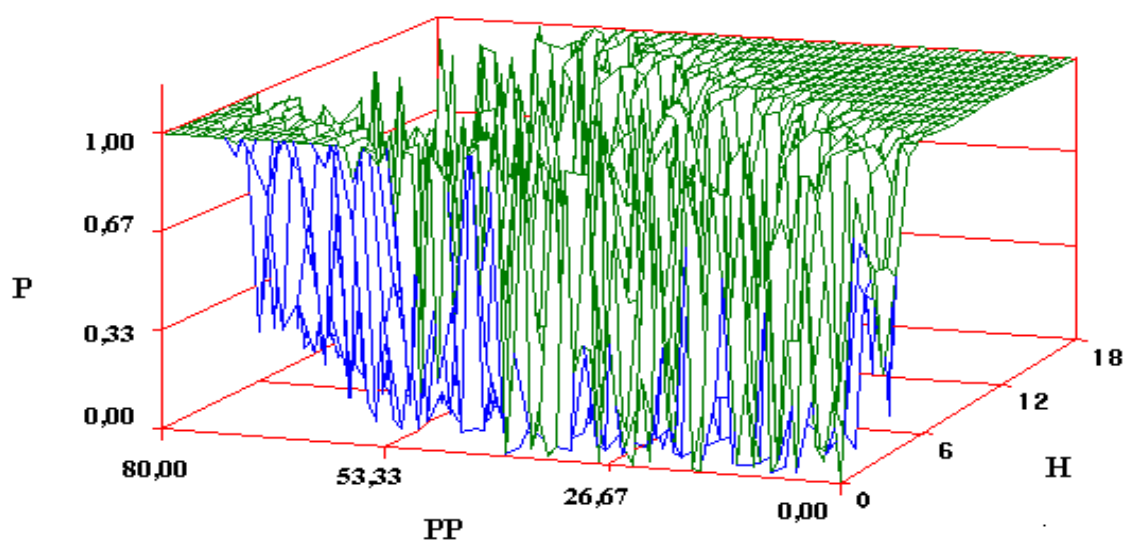


Figura 4 – Valores de probabilidade (P) estimados com modelo logístico em função da precipitação total (PP) da duração da precipitação (H) em horas, ambos durante 4 dias.

Tabela 2 – Resumo dos resultados da análise de risco para precipitação. Frequência de não ocorrência e ocorrência de aumento maior que dois pontos percentuais (2pp), na severidade da pinta preta do tomateiro, quando a precipitação foi 2,5 mm ou < 2,5 mm durante 4 dias anteriores à avaliação da intensidade da doença. Risco relativo (RR) e respectivo intervalo de confiança a 95% de probabilidade (IC)

Precipitação	Aumento de doença maior que 2pp		Totais
	Não	Sim	
2,5 mm	4989	6411 (56,24%)	1140
< 2,5 mm	3725	1075 (22,40%)	4800
Totais	8714	7486	16200

Valores entre parênteses representam o risco percentual.
 $RR = 56,24 / 22,40 = 2,51$ com IC: (2,38 a 2,65).

Tabela 3 – Resumo dos resultados da análise de risco para duração da precipitação. Frequência de não ocorrência e ocorrência de aumento maior que dois pontos percentuais (2pp), na severidade da pinta preta do tomateiro, quando o tempo da precipitação é 4 horas ou < 4 horas durante 4 dias anteriores à avaliação da intensidade da doença. Risco relativo (RR) e respectivo intervalo de confiança a 95% de probabilidade (IC)

Duração	Aumento de doença maior que 2pp		Totais
	Não	Sim	
4 horas	4477	4523 (50,26%)	1140
< 4 horas	4237	2963 (41,15%)	4800
Totais	8714	7486	16200

Valores entre parênteses representam o risco percentual.
 $RR = 50,26 / 41,15 = 1,22$ com IC: (1,18 a 1,26).

4. DISCUSSÃO

Para doenças destrutivas como a pinta preta, o uso de sistemas de suporte à tomada de decisão pode contribuir para aumentar a eficiência do controle e minorar os problemas advindos do uso irracional de fungicidas. Contudo, é necessário um sistema simples e confiável para que seja amplamente utilizado por técnicos e agricultores. Os modelos desenvolvidos no presente trabalho são simples e operam com base apenas em mensurações de precipitação. Do ponto de vista operacional, o total de chuva pode ser registrado com o uso de equipamentos simples como pluviômetros ou garrafas plásticas com graduação previamente aferida. Porém, para que os modelos permitissem melhores

estimativas foi necessário incluir a variável número de horas de chuvas durante quatro dias, a qual pode demandar o uso de outro recurso para ser registrada. De imediato, uma possível solução seria recorrer às informações disponíveis na rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ou do Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A importância da precipitação para o desenvolvimento de epidemias de pinta preta foi mais uma vez confirmada. O efeito de precipitação corrobora os trabalhos anteriores (ANDRADE, 1997; SALUSTIANO, 2000) e a pertinência de ser uma das variáveis utilizadas no sistema FAST. Observou-se que a precipitação foi determinante para o aumento da severidade da doença, principalmente após o período inicial da epidemia. A influência da precipitação no aumento de severidade, quando nos estádios iniciais da epidemia, foi baixa. Porém, quando a severidade atingiu valores próximos a 4%, os incrementos da doença foram muito altos, portanto, mais influenciado pela ocorrência de precipitação. Por essa razão, para que o sistema desenvolvido neste trabalho possa ser implementado, faz-se necessário definir um nível crítico de severidade de pinta preta em tomateiro que justifique a realização da primeira pulverização de fungicida e marque o início da utilização do modelo matemático de risco de aumento de pinta preta. Este nível crítico, presumivelmente, está entre 0,5 e 3% de severidade, pois quando a severidade é próxima de 10% o controle de pinta preta é dificultado, mesmo com pulverizações de fungicida (SHTIENBERG *et al.*, 1996; SALUSTIANO, 2000). São necessários estudos adicionais para estabelecer este nível crítico com segurança.

Nas duas épocas em que foram realizados os experimentos, a frequência de precipitações foi relativamente alta. A ocorrência de chuvas na região foi atípica durante os meses de maio a junho, que, em geral, são caracterizados por ausência ou baixa frequência de precipitação, neste período. São necessários experimentos durante épocas do ano em que a ocorrência de precipitações não seja tão frequente para averiguar o desempenho do modelo. Caso necessário, novas variáveis deverão ser incorporadas ao modelo proposto para levar em consideração estas possíveis deficiências. Outro fator importante a considerar é a incorporação ao modelo de uma variável que permita estimar a remoção do fungicida pela precipitação.

A utilização de um modelo matemático baseado em probabilidade tem como vantagem a flexibilidade na tomada de decisão. Estimativas pontuais, como os valores

numéricos de estimativas de parâmetros, não são facilmente traduzidas em risco de ocorrência de um evento. Melhorias nos sistemas existentes podem ser conseguidas com os modelos fundamentados em regressão logística. Este fato já foi relatado para o sistema de análise de risco de podridão do caule em *Brassica napus* e *B. rapa*, causada por *Sclerotinia sclerotiorum*. Nestes patossistemas, o novo modelo ajustado, além de necessitar de poucos parâmetros, possibilitou melhor predição em todos os limiares possíveis ao utilizar dados específicos de cada campo e precipitação (TWENGSTRÖM *et al.*, 1998). Nos sistemas de previsão disponíveis para o manejo da pinta preta, o suporte à tomada de decisão é qualitativo, uma vez que a resposta é o atingimento ou não de um valor limite estabelecido. Com o modelo baseado em probabilidade, a tomada de decisão poderá ser melhor subsidiada e inclusive ajustada conforme outros fatores como: previsão do tempo nos próximos dias, disponibilidade de fungicidas para aplicação, custo do controle, preço do tomate no mercado, experiência prévia com a doença na região, aversão do produtor ao risco, dentre outros.

Atualmente o uso exagerado de agrotóxicos fez crescer a conscientização sobre os riscos desses produtos associados aos alimentos, contaminação do ambiente e intoxicação de trabalhadores rurais (FRIGHETTO, 2000; MARGNI *et al.*, 2002). Particularmente, a cultura do tomateiro caracteriza-se pelo emprego de um grande volume de agrotóxico por unidade de área, resultando em cargas significativas de agrotóxico no ambiente em função da abrangência geográfica da cultura nas diferentes regiões do país (FRIGHETTO, 2000). Prevenir uma aplicação desnecessária localmente pode ser pouco significativo em termos econômico e ambiental para o país, porém se empregado em larga escala este efeito pode ser bastante significativo. No presente trabalho a melhor decisão em prevenir uma aplicação desnecessária é quando o valor $P_L < 0,3$. Entretanto, um passo importante a ser realizado é testar o modelo de risco de pinta preta sob condições de cultivo no campo. Como o modelo indica a probabilidade de ocorrência do evento ($Z=1$), a sua utilização requer a determinação de um limiar de decisão baseado na predição do modelo. Acredita-se que o critério utilizado para determinar este limite, baseado no ponto onde há altas sensibilidade e especificidade foi adequado. A utilização de um limiar P_L que apresenta alta sensibilidade e baixa especificidade tem como consequência a aplicação desnecessária de uma ação (por exemplo, pulverizar fungicida) para o controle da doença, pois nesta condição a ocorrência de falsos positivos é alta. Ao contrário, quando se utiliza um limiar P_L com alta especificidade e baixa sensibilidade, a possibilidade de tomar uma decisão errada

pela não implementação da ação é alta, pois neste caso a ocorrência de falsos negativos é alta. A pertinência ou não dos valores inicialmente estabelecidos somente poderá ser assegurada com a realização de experimentos de campo onde o modelo poderá ser devidamente validado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLISON, P. D. **Logistic regression using the SAS System: Theory and Application.** Cary, NC. SAS Institute Inc., 1999. 305 p.

ANDRADE, D. F. A. A. **Previsão e controle químico da pinta preta (*Alternaria solani* Sorauer), sob dois sistemas de condução do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.).** 1997. 103 f. (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

BASHI, E.; ROTEM, J. Adaptation of four pathogens to semi-arid habitats as conditioned by penetration rate and germinating spore survival. **Phytopathology**, v. 64, p. 1035-1039, 1974.

BATISTA, D. C.; LIMA, M. A.; HADDAD, F.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Validation of decision support systems for tomato early blight and potato late blight, under Brazilian conditions. **Crop Protection**, v. 25, p. 664-670, 2006.

BOFF, P.; ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. Escalas para avaliação de severidade da mancha-de- estenfílio (*Stemphylium solani*) e da pinta preta (*Alternaria solani*) em tomateiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 16, p. 280-283, 1991.

BRUHN, J. A.; FRY, W. E. A mathematical model of the spatial and temporal dynamics of chlorothalonil residues on potato foliage. **Phytopathology**, v. 72, p. 1306-1312, 1982.

COUTO, M. E. O.; TAVARES, F. W. Levantamento de problemas fitossanitários no Estado do Rio Grande do Sul realizado pela clínica fitossanitária. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 181, 2002.

DE WOLF, E. D.; MADDEN, L. V.; LIPS, P. E. Risk assessment models for wheat fusarium head blight epidemics based on within-season weather data. **Phytopathology**, v. 93, p. 428-435, 2003.

FIFE, J. P.; NOKES, S. E. Evaluation of the effect of rainfall intensity and duration on the persistence of chlorothalonil on processing tomato foliage. **Crop Protection**, v. 21, p. 733-740, 2002.

- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402 p.
- FONTES, P. C. R.; SILVA, D. J. H. **Produção de tomate de mesa**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002. 196 p.
- FRIGHETTO, R. T. S. Influência do manejo de agrotóxicos no meio ambiente. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, p. 271-274, 2000.
- GLEASON, M. L.; MacNAB, A. A.; PITBLADO, R. E.; RICKER, M. D.; EAST, D. A.; LATIN, R. X. Disease-warning systems for processing tomatoes in eastern North America: are we there yet? **Plant Disease**, v. 79, p. 113-121, 1995.
- GROVE, G. G.; MADDEN, L. V.; ELLIS, M. A.; SCHMITTHENNER, A. F. Influence of temperature and wetness duration on infection of immature strawberry fruit by *Phytophthora cactorum*. **Phytopathology**, v. 75, p. 165-169, 1985.
- JONES, J. B.; JONES, J. P.; STALL, R. E.; ZITTER, T. A. **Compendium of tomato disease**. St. Paul: APS Press, 1993. 73 p.
- KUSS, O. How to use SAS for logistic regression with correlated data, proceedings of the 27th annual SAS users group international conference (SUGI 27) paper 261-27. 2002. Disponível em: <<http://www2.sas.com/proceedings/sugi27/p261-27.pdf>>.
- MADDEN, L.; PENNYPACKER, S. P.; MacNAB, A. A. FAST, a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. **Phytopathology**, v. 68, p. 1354-1358, 1978.
- MARGNI, M.; ROSSIER, D.; CRETTEZ, P.; JOLLIET, O. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 93, p. 379-392, 2002.
- MILA, A. L.; CARRIQUIRY, A. L.; YANG, X. B. Logistic regression modeling of prevalence of soybean Sclerotinia stem rot in the north-central region of the United States. **Phytopathology**, v. 94, p. 102-110, 2004.
- PATTERSON, J. M.; NOKES, S. E. Incorporation of chlorothalonil persistence on processing tomato into TOM-CAST. **Agricultural Systems**, v. 64, p. 171-187, 2000.
- PAUL, P. A.; VALE, F. X. R., Zambolim, L., Jesus Junior, W. C. e Fontes, P. C. R. Efeito de sistemas de condução e regimes de pulverização no controle da pinta preta e sobre a produção de tomate. *Fitopatologia Brasileira* 26: 440-444. 2000.
- PICANÇO, M.; LEITE, G. L. D.; GUEDES, R. N. C.; SILVA, E. A. Yield loss in trellised tomato affected by insecticidal sprays and plant spacing. **Crop Protection**, v. 17, p. 447-452, 1998.

ROTEM, J.; REICHERT, I. Dew - a principal moisture factor enabling early blight epidemics in a semiarid region of Israel. **Phytopathology**, v. 48, p. 211-215, 1964.

ROTEM, J. **The genus *Alternaria***. Biology, epidemiology, and pathogenicity. St. Paul: APS Press, 1994. 326 p.

SALUSTIANO, M. A. **Progresso da pinta preta do tomateiro em cultivares de tomate, em diferentes épocas de plantio**. 2000. 87 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

SHEU, C. Fitting mixed-effects models for repeated ordinal outcomes with the NLMIXED procedure. **Behavior Research Methods, Instruments e Computers**, v. 34, p. 151-157, 2002.

SHTIENBERG, D.; BLACHINSKY, D.; BEN-HADOR, G.; DINNOR, A. Effects of growing season and fungicide type on the development of *Alternaria solani* and on potato yield. **Plant Disease**, v. 80, p. 994-998, 1996.

Stevenson, R. E.; PENNYPACKER, S. P. Effect of radiation, temperature, and moisture on conidial germination of *Alternaria solani*. **Phytopathology**, v. 78, p. 926-930, 1998.

TWENGSTRÖM, E.; SIGVALD, R.; SVENSSON, C.; YUEN, J. Forecasting Sclerotinia stem rot in spring sown oilseed rape. **Crop Protection**, v. 17, p. 405-411, 1998.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M.; CORREIA, L. G. Avaliação fitossanitária da cultura do tomateiro em regiões produtoras de Minas Gerais e Espírito Santo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 17, p. 211, 1992.

VLOUTOGLOU, I.; KALOGERAKIS, S. N. Effects of inoculum concentration, wetness duration and plant age on development of early blight (*Alternaria solani*) and on shedding of leaves in tomato plants. **Plant Pathology**, v. 49, p. 339-345, 2000.

WOLFINGER, R. D. Fitting Nonlinear Mixed Models with the new NLMIXED Procedure, Proceedings of the 24th annual SAS Users Group International Conference (SUGI 24) Paper 287-24. 1999. Disponível em: <<http://ftp.sas.com/techsup/download/v8papers/p287-24.pdf>>.

Xu, X., Harris, D. C. e Berrie, A. M. Modeling infection of strawberry flowers by *Botrytis cinerea* using field data. **Phytopathology** 90: 1367-1374. 2000.

YUEN, J. E.; HUGHES, G. Bayesian analysis of plant disease prediction. **Plant Pathology**, v. 51, p. 407-412, 2002.

VALIDATION OF DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR TOMATO EARLY BLIGHT AND POTATO LATE BLIGHT, UNDER BRAZILIAN CONDITIONS

ABSTRACT: Early and late blight are the most important foliar diseases of tomato and potato crops in Brazil. Decision support systems (DSS) are important tools in reducing the large amount of fungicides applied to suppress disease intensity. Systems developed for early or late blight were validated in two cropping seasons under Brazilian conditions. For tomato early blight, FAST, CUFAST, and TOMCAST systems were compared in the spring–summer (September–December) (SS) 2002 and summer–autumn (January–April) (SF) 2003. In both seasons, area under disease progress curve (AUDPC) values for FAST (123.2 and 340.3, respectively) and CUFAST (64.0 and 359.2, respectively) did not differ from calendar-based treated plots (82.5 and 225.7, respectively). Plots treated according to TOMCAST were sprayed once and AUDPC values (369.9 and 697.8) in SS and SF seasons, respectively, did not differ from the control plots (397.5 and 836.0, respectively). In SS, four fungicide sprays were recommended by CUFAST and FAST, whereas five were set by fixed calendar treatment; there were no differences in yield loss among treatments. In SF, FAST, CUFAST and calendar, recommended 4, 9, and 11 sprays, respectively. Higher yields were recorded in plots sprayed according to the calendar system compared to control plots, but there were no significant differences between the DSS and the calendar system. For potato late blight, BLITECAST, SIMCAST, NegFry, and Wallin systems were compared in the summer (December–March) and in the autumn (March–June). Despite no late blight developing in the summer, all systems recommended fungicide sprays. In the autumn–winter, late blight was severe but was reduced by fungicide applications according to all DSS, but the number of sprays was similar to the calendar. The AUDPC values in control plots (1193.5) were higher than BLITECAST (19.5), SIMCAST (97.7), NegFry (193.1), Wallin (69.7), and calendar (63.5) but there were no differences among AUDPC values in plots treated according to DSS. The NegFry and Wallin systems recommended five and the calendar six sprays. All DSS were as effective as the calendar treatment in reducing AUDPC. FAST and Wallin were the most effective systems in forecasting tomato early blight and potato late blight, respectively. Decision support systems are potentially useful tools for integrated management of both diseases in Brazil.

Keywords: *Alternaria solani*; *Phytophthora infestans*; epidemiology; management.

1. INTRODUCTION

Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and potato (*Solanum tuberosum* L.) are the most important vegetable crops grown in Brazil. In 2002, gross yields of both crops were larger than 3 million tonnes (IBGE, 2004). These crops are grown almost continuously throughout the year and the most important leaf diseases of both vegetables are late blight caused by *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary and early blight, caused by *Alternaria solani* Sorauer. Both pathogens can infect all aerial parts of tomato or potato plants, as well as potato tubers. Tomato early blight and potato late blight are associated with severe losses in all areas where tomato and potato are grown. Large amounts of fungicide are used to control both diseases (Vale et al., 1992). Fungicides are often used irrationally and in high dosages, which may lead to environmental contamination and health problems for field workers and consumers. To control early blight, fungicides are generally sprayed every 7–10 d, without considering disease risk or whether weather conditions are favorable (Patterson and Nokes, 2000). To control late blight, depending on the region, fungicides are sometimes sprayed twice or more times a week under highly favorable weather conditions (Mizubuti, 2001). In a survey conducted by the National Sanitary Vigilance Agency (ANVISA), levels of pesticide residues well above the threshold established by law were found in samples of both potatoes and tomatoes (ANVISA, 2002).

Therefore, it is important to develop management strategies to reduce fungicide use in these crops and adopt integrated disease management. Ideally, resistant cultivars should be planted, but currently there are no commercial cultivars of both vegetables resistant to both diseases. Physical methods are not highly effective in controlling leaf diseases under field conditions, as they require large investments, and are difficult to use in large acreages of tomatoes or potatoes. An appealing approach is to use cultural and/or biological methods associated with chemical control. However, the first two methods are of secondary importance due to reduced effectiveness with currently available resources (Silva et al., 2004). Thus, reduction in pesticide usage must be achieved by better scheduling of fungicide applications.

Decision support systems (DSS) are important tools to manage diseases and to rationalize fungicide use (Gleason et al., 1995; Hardwick, 1998). Several systems are available for tomato early blight and potato late blight; the majority was developed for temperate regions where aspects of the epidemiology of both diseases are different from

those prevalent in tropical/subtropical regions. The three wellknown systems of early blight are: FAST (Madden et al., 1978), CUFAST (Zitter and Sandlan, 1990) and TOMCAST (Gleason et al., 1995). These systems are being validated in the State of Minas Gerais, Brazil, and preliminary results suggest they may be useful decision support tools. Under unfavorable conditions for tomato early blight epidemics, two fungicide sprays were recommended by TOMCAST, whereas 18 sprays were scheduled according to the grower's calendar system (Andrade, 1997). There was no difference in yields between plots sprayed according to TOMCAST and calendar. Also no difference regarding marketable fruit yield was found when the calendar scheme was compared to FAST, CUFAST, and TOMCAST systems, although the three DSS have led to inconsistencies in early blight control (Paul et al., 2004). Adjusting key-variables such as the daily severity values (DSV) may be necessary to account for weather variations observed in the different years/seasons (Salustiano, 2000). Thus, field experiments in several places and seasons must be carried out to make adjustments in DSV before using these DSS.

The development of DSS for potato late blight started in the early 1900s, and new systems are still being developed, validated, and implemented (Grünwald et al., 2002; Yuen and Hugles, 2002). Recently, TOMCAST (Gleason et al., 1995) and SIMCAST (Fry et al., 1983) were evaluated in the Toluca Valley, Mexico (Grünwald et al., 2000). No system was efficient in reducing the number of chlorothalonil sprays. The lack of efficacy was probably due to the non-portability of systems developed in and for temperate regions, where conditions differ in many ways (cropping, inoculum density, genetic composition of pathogen population, weather factors, etc.) to subtropical/tropical regions.

Since the first report of DSS to control late blight in Brazil (Andrade, 1951), these systems are being evaluated under field conditions. When BLITECAST was used in seasons not so favorable to late blight, it reduced the number of fungicide sprays, without significant yield loss, compared to the calendar system (Katsurayama and Boneti, 1996). However, changes in the population of *P. infestans* in Brazil (Reis et al., 2003) resulted in the predominance of isolates with different ecological requirements (Maziero et al., 2001). Recently, in experiments conducted to assess late blight DSS, the Wallin (1962) system was effective in controlling the disease with reduced number of sprays (Nazareno et al., 1999; Costa et al., 2002). However, these and other systems are

not generally adopted by growers, probably because of the uncertainty associated with the forecasting.

Although some of these systems were evaluated under field conditions in Brazil, additional experiments, in different areas and seasons are required for proper validation. Thus, the objective of this study was to evaluate the performance of different DSS developed for either potato late blight or tomato early blight, in different growing seasons.

2. MATERIALS AND METHODS

In 2002 and 2003, experiments were conducted for tomato early blight and potato late blight. Each treatment was replicated five times in a randomized complete block design. No tomato or potato production area was located nearby the experimental area.

2.1. DSS of tomato early blight

Experiments 1 and 2 were conducted from September to December (spring–summer) and from January to April (summer–autumn), respectively. In both experiments, seedlings of ‘Santa Clara’ were transplanted to the field, and the plants were vertically sustained by nylon strings spaced 1.0m between rows and 0.5m between plants in a row. The strings were tied at the bottom and at the top to 4 mm-gauge wire running along the planting rows. Plants were furrow-irrigated and all remaining cultural practices were conducted as recommended for the tomato crop. Each plot had 24 plants in three rows, eight plants per row. Disease severity and yield were evaluated in six plants of the central row (the plant in each edge of the row was not assessed). In both experiments, early blight epidemics started by natural infection. Disease severity (percent leaf area diseased) was assessed once or twice a week, according to Boff et al. (1991). Five treatments were compared: (1) chlorothalonil sprays according to the FAST system; (2) chlorothalonil sprays according to the CUFAST system; (3) chlorothalonil sprays according to the TOMCAST system (the fungicide was sprayed when DSV was 20 or 17, in the first or second experiment, respectively); (4) weekly chlorothalonil sprays, according to the fixed calendar; and (5) control, in which water was weekly sprayed. In treatments 1–4, chlorothalonil was applied at a rate of 1.5 kg a.i.Ha⁻¹ and sprayings started 15 days after transplanting (DAP).

Values of air temperature, relative humidity, leaf wetness, and rainfall were registered each minute with a data logger (Campbell Scientific CR10) located at about 100m from the experimental area. After processing daily values of the weather variables, FAST and CUFAST algorithms were implemented with programming routines written in SAS v.8 (SAS Institute, Cary, NC). These routines use the weather variables to warn when to spray chlorothalonil according to either system. Forecasts according to TOMCAST were obtained by running the Turbo Tomcast software (Turbo Tomcast – Tomato disease forecasting software, ver. 1.1, developed by R. A. Erickson and M. L. Gleason, 1994). Chlorothalonil was sprayed the same day each system issued a warning.

2.2. DSS of potato late blight

Experiments 1 and 2 were conducted from December to March (summer) and from March to June (autumnwinter), respectively. In both experiments, 24 seed tubers of cv. Bintje were planted per plot. The seed spacing was 0.5m between plants and 0.8m between rows. Each plot was 2.4m wide x 3.0m long (7.2m²) and separated from other plots, in all directions, by a 3.0m fallow area to reduce interplot interference.

All cultural practices were conducted as recommended. To avoid potato early blight, tebuconazole was applied (200 g a.i.ha⁻¹) in all plots, except in the control plots. The fungicide was applied at 15-d or 7-d intervals in experiments 1 or 2, respectively. To manage insects, pyrethroid and carbamate insecticides were sprayed when needed. In both experiments, late blight epidemics started by natural infection. Disease severity was assessed by two assessors at every 3 d, using a diagrammatic key (James, 1971) modified by Fry et al. (1979).

Seven treatments were compared: (1) chlorothalonil sprays according to the BLITECAST system; (2) chlorothalonil sprays according to the SIMCAST system (3) chlorothalonil sprays according to the NegFry system; (4) chlorothalonil sprays according to the Wallin system; (5) weekly chlorothalonil sprays according to fixed calendar; (6) tebuconazole (200 g a.i.ha⁻¹) sprays; (7) control: weekly water sprays. In treatments 1–5, chlorothalonil was applied at a rate of 1.5 kg a.i.ha⁻¹ and disease control started after 15 DAP.

Values of air temperature, relative humidity, leaf wetness, and rainfall were recorded as described for early blight experiments. Variables to be used were processed by the Castor 2.0 software (<http://www.cipotato.org/gis/tools/castor.htm>). The Castor

2.0 uses the collected weather variables to warn when to spray fungicide according to different late blight DSS. Fungicide was sprayed at the same day the warning was issued by each system.

2.3. Statistical analysis

For each disease/experiment, the values of final disease severity, area under disease progress curve (AUDPC) (Shaner and Finney, 1977), and yield were analyzed using ANOVA and, when necessary, means were compared using Tukey's test. The SAS System was used for all analysis.

3. RESULTS

3.1. Early blight DSS

In both experiments, the final severity of early blight was lowest on plots sprayed according to CUFAST, FAST, and calendar (Figs. 1A and B). In experiments 1 and 2, AUDPC values for FAST (123.24 and 340.31) and CUFAST (64.01 and 359.17) did not differ significantly from those of the calendar (82.51 and 225.72) (Table 1). In experiment 1, four fungicide sprays were recommended by CUFAST and FAST, whereas five were set by calendar treatment. In experiment 2, the number of sprays set according to FAST, CUFAST, and calendar were 4, 9, and 11, respectively.

In experiment 1, early blight onset was recorded 75 DAP. Maximum disease severity (87%) was recorded on control plots (Fig. 1A). In experiment 2, epidemics started 45 DAP. Maximum disease severity (57%) was recorded on plots sprayed according to TOMCAST system, which treatment mean was not statistically different from the control (52%) (Fig. 1B). Highest early blight severity and shortest epidemic duration were recorded in experiment 1.

Weather conditions were more favorable to early blight during experiment 1 than during experiment 2. Frequent rain events associated with high temperatures occurred during experiment 1 (Fig. 1C). Average temperatures below 20°C and sparse rainfall were recorded in the second half of experiment 2 (Fig. 1D).

In experiment 1, no differences in yield were detected among treatments. In experiment 2, yield in plots sprayed according to calendar was higher than in the control plots. There were no differences among DSS, neither between each system and the calendar (Table 1).

3.2. Late blight DSS

In experiment 1, no late blight epidemics developed. Maximum disease severity (0.01%) was recorded in both tebuconazole and control treatments. However, all DSS recommended fungicide applications, varying from four to eight sprays (Table 2).

In experiment 2, the late blight epidemic was severe. In both tebuconazole and control plots, final disease severity was 100% and 99.8%, respectively (Fig. 2A). Tebuconazole did not affect late blight development. Disease severity was reduced when chlorothalonil was sprayed according to calendar and all DSS. Compared to the calendar, NegFry and Wallin recommended one spray less, whereas SIMCAST and BLITECAST recommended one and two sprays more, respectively (Table 2). Weather conditions were favorable to late blight in experiment 2, conducted in autumn–winter (Fig. 2B).

AUDPC values for tebuconazole and control treatments were significantly higher than AUDPC for the other treatments (Table 2). There were no differences among AUDPC values of any DSS and none differed from the calendar (Table 2).

4. DISCUSSION

DSS for both early and late blight reduced the number of fungicide sprays with no increase in intensity of either disease, but system's performance varied according to cropping season. The DSS for tomato early blight recommended different fungicide treatments, which were dependent on the growing season. Best disease control associated with reduced number of sprays was achieved with FAST. Furthermore, this system was sensitive enough to respond to slight changes in environmental conditions. During favorable weather, i.e. warm periods with temperatures above 20 °C and frequent rains (Madden et al., 1978), as recorded in experiment 2, the number of fungicide sprays was higher than under less favorable conditions in experiment 1. Under highly favorable conditions, both FAST and CUFAST saved one fungicide spray. Under less favorable conditions, CUFAST, and most notably FAST, also reduced the number of fungicide sprays. Thus, compared with the calendar system, CUFAST or FAST saved two or seven sprays, respectively.

In other experiments (Paul et al., 2004), CUFAST was not efficient in reducing disease intensity, whereas both FAST and TOMCAST were equally efficient and more effective than the calendar system. Inconsistencies in system performance under

weather conditions favorable to early blight were also reported (Paul et al., 2004). In our work, no inconsistency was observed regarding early blight control according to FAST and CUFAST forecasts. Poor disease control with TOMCAST may be related to the adopted DSV thresholds. When 20 and 17 DSV were used, no acceptable control levels were achieved. Perhaps, fine tuning DSV would result in better system performance. In our study, only one spray was scheduled using TOMCAST, but it was not enough to control early blight. Under favorable conditions, the calendar system was more efficient than TOMCAST regarding both disease control and yield (Andrade, 1997). According to our results, TOMCAST was the least efficient system among the four compared. Considering this inefficiency and the inconsistencies previously reported, we consider the TOMCAST with DSV values of 17 or 20 not suitable for tomato early blight management in Minas Gerais. Nevertheless, as mentioned above, by fine-tuning DSV values, one can adjust this system to more effectively time fungicide sprays.

Although disease severity was lower in the calendar system than in the TOMCAST system, there were no differences in yield. Time of disease occurrence (Campbell and Madden, 1990) as well as timing and efficiency of fungicide sprays can influence both disease control and yield loss (Shtienberg and Fry, 1990). Possibly a single well-timed fungicide spray scheduled by TOMCAST was effective enough to avoid substantial yield loss in treated plants.

For potato late blight, efficacy of DSS varied with weather conditions. In experiment 1, conducted in summer, no late blight epidemics occurred, but the DSS recommended fungicide sprays. Although fungicide was sprayed from four to eight times, all sprays were unnecessary. Rainfall, relative humidity, and leaf wetness duration values may have contributed to the accumulation of severity values by the systems, triggering fungicide sprays. High temperatures during the day throughout the experiment may have prevented pathogen development and reduced late blight progress rates, thus limiting epidemic development. It is generally accepted that temperatures between 16 and 23 °C are favorable to late blight epidemics (Harrison, 1992) and that there is no disease progress at temperatures above 28 °C (Rotem et al., 1971). Temperature affects many stages of the life cycle of *P. infestans*, which are related to epidemic development. Zoospore formation is largely determined by temperature (Melhus, 1915; Crosier, 1934), which in turn, influences infection frequency. Sporangia formation and survival are also affected by weather conditions (Crosier, 1934; De Weille, 1964; Harrison, 1992). Sensitivity analysis should be carried out during a fine-

tuning phase of validation of DSS and may indicate the weather variable(s) which is (are) more influential on disease progress.

Late blight epidemics progressed fast and final disease severity was high in experiment 2, conducted during autumn–winter. At this time, temperatures were favorable to *P. infestans* and leaf wetness was assured by both overhead sprinkler irrigation and dew formation during the night. Late blight control achieved with the Wallin system was similar to control in the calendar system, but with one fungicide spray less.

Reducing one fungicide spray may impact positively in large acreages grown with either potatoes or tomatoes, where large amounts of fungicides and time to spray increase production costs. Saving one spray also implies less fungicide residue accumulation in the environment and less contamination of both field workers and consumers.

The combination of DSS and other control measures can contribute to optimizing chemical control of both late blight and early blight. We evaluated late blight DSS by using a susceptible cultivar and a protectant fungicide. Combining cultivar resistance with DSS effectively controlled late blight with a reduced number of sprays under an environment favorable to epidemics (Grünwald et al., 2000). In addition, systemic fungicides should be considered when setting disease management strategies. We found that *A. solani* can survive in crop debris for up to 12 months (unpublished data). In experiment 1, low amount of initial inoculum resulted in delay of early blight onset. In experiment 2, laid out in the same area as experiment 1, early blight epidemics started earlier and many lesions were formed on lower portions of the stems and on leaves near soil surface. This stresses the importance of crop debris as inoculum source for early blight epidemics. Integrating DSS with cultural control practices, such as crop debris removal, crop rotation, and fallow, can enhance control of early blight by reducing initial inoculum and consequently delaying epidemic onset.

There are several attributes for a successful DSS for disease management (Campbell and Madden, 1990). According to these authors, a system must be evaluated in the region where it will be implemented. Therefore, systems for both early blight and late blight have been exhaustively evaluated throughout the world. DSS of both diseases are potentially useful tools for use under Brazilian conditions, but have not been fully evaluated in these conditions. Our results suggest that system validation should be carried out in other Brazilian regions, with different microclimatic conditions, before

being used in disease management programs to minimize inconsistencies in the outcome and to reduce risks to growers.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This research was partially funded by CNPq. Thanks to FAPEMIG for providing D. C. Batista scholarship and to CNPq for L. A. Maffia and E. S. G. Mizubuti research fellowships. We are grateful to Dr. M. L. Gleason for kindly providing the Turbo Tomcast software and to Dr. Alan MacNab for providing a spreadsheet version of FAST.

6. REFERENCES

- Andrade, A.C., 1951. Bases para a previsão do aparecimento de surtos de "Requeima" do tomateiro em São Paulo. Arq. Instit. Biol. 20, 95-108.
- Andrade, D.F.A.A., 1997. Previsão e controle químico da pinta preta (*Alternaria solani* Sorauer), sob dois sistemas de condução do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Viçosa: UFV, MSc thesis.
- ANVISA., 2002. ANVISA investiga alimentos contaminados por agrotóxicos. No. 25, Novembro
- Boff, P., Zambolim, L., Ribeiro do Vale, F.X., 1991. Escalas para avaliação de severidade da mancha de estenfilio (*Stemphylium solani*) e da pinta preta (*Alternaria solani*) em tomateiro. Fitopatol. Bras. 16, 280-3.
- Campbell, C.L., Madden, L.V., 1990. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons, New York.
- Costa, R.V., Zambolim, L., Vale, F.X.R., Mizubuti, E.S.G., 2002. Previsão da requeima da batateira. Fitopatol. Bras. 27, 349-54.
- Crosier, W., 1934. Studies in the biology of *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary. Cornell Univ. Exp. Stn. Memoir 155, 40pp.
- De Weille, G.A., 1964. Forecasting crop infection by the potato blight fungus. Med. Verhand. 82, 1-144.
- Fry, W.E., Apple, A.E., Bruhn, J.A., 1983. Evaluation of potato late blight forecasts modified to incorporate host resistance and fungicide weathering. Phytopathology 73, 1054-9.
- Fry, W.E., Bruck, R.I., Mundt, C.C., 1979. Retardation of potato late blight epidemics by fungicides with eradicant and protectant properties. Plant Dis. Rep. 63, 970-4.

- Gleason, M.L., MacNab, A.A., Pitblado, R.E., Ricker, M.D., East, D.A., Latin, R.X., 1995. Disease-warning systems for processing tomatoes in eastern North America: Are we there yet? *Plant Dis.* 79, 113-21.
- Grünwald, N.J., Romero Montes, G., Lozoya Saldaña, H., Rubio Covarrubias, O.A., Fry, W.E., 2002. Potato late blight management in the Toluca Valley: Field validation of SimCast modified for cultivars with high field resistance. *Plant Dis.* 86, 1163-8.
- Grünwald, N.J., Rubio-Covarrubias, O.A., Fry, W.E., 2000. Potato late-blight management in the Toluca Valley: Forecasts and resistant cultivars. *Plant Dis.* 84, 410-6.
- Hardwick, N.V., 1998. Disease forecasting. In: Gareth Jones D., (Eds.), *The epidemiology of plant diseases*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 207-30.
- Harrison, J.G., 1992. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage - a review. *Plant Pathol.* 41, 384-416.
- IBGE, 2004. Produção Agrícola Municipal. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA www.sidra.ibge.gov.br
- James, W.C., 1971. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. *Can. Plant Dis. Surv.* 51, 39-65.
- Katsurayama, Y., Boneti, J.I.S., 1996. Viabilidade do uso de sistema de previsão para o controle da requeima da batateira na região de São Joaquim, SC. *Fitopatol. Bras.* 21, 105-9.
- Madden, L., Pennypacker, S.P., Macnab, A.A., 1978. FAST, a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. *Phytopathology* 68, 1354-8.
- Maziero, J.M.N., Maffia, L.A., Mizubuti, E.S.G. (2001) In *8th International Workshop on Plant Disease Epidemiology* Ouro Preto, Brazil, pp. 129.
- Melhus, I.E., 1915. Germination and infection with the fungus of the late blight of potato (*Phytophthora infestans*). *Agric. Exp. Stn. Univ. WI Res. Bull.* 37, 1-64.
- Mizubuti, E.S.G., 2001. Requeima ou mela da batata e do tomate. In: Luz E.D.N., Santos A.F., Matsuoka K., Bezerra J.L., (Eds.), *Doenças causadas por Phytophthora no Brasil*. Livraria Editora Rural, Campinas, pp. 100-74.
- Nazareno, N.R.X., Scotti, C.A., Mafioletti, R.L., Boschetto, N., 1999. Controle da requeima da batata através do monitoramento de variáveis climáticas. *Fitopatol. Bras.* 24, 170-4.
- Patterson, J.M., Nokes, S.E., 2000. Incorporation of chlorothalonil persistence on processing tomato into TOM-CAST. *Agric. Syst.* 64, 171-87.

- Paul, P.A., Vale, F.X.R., Coelho, R.R., Zambolim, L., Fontes, P.C.R., Macabeu, A.J., 2004. Epidemiologia comparativa da pinta preta do tomateiro sob quatro regimes de pulverização. *Fitopatol. Bras.* 29, 475-9.
- Reis, A., Smart, C.D., Fry, W.E., Maffia, L.A., Mizubuti, E.S.G., 2003. Characterization of *Phytophthora infestans* isolates from Southern and Southeastern Brazil from 1998 to 2000. *Plant Dis.* 87, 896-900.
- Rotem, J., Cohen, Y., Putter, J., 1971. Relativity of limiting and optimum inoculum loads, wetting durations, and temperatures for infection by *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 61, 275-8.
- Salustiano, M.A., 2000. Progresso da pinta preta do tomateiro em cultivares de tomate, em diferentes épocas de plantio. Viçosa: UFV, MSc thesis.
- Shaner, G., Finney, R.E., 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology* 67, 1051-6.
- Shtienberg, D., Fry, W.E., 1990. Quantitative analysis of host resistance, fungicide, and weather effects on potato early and late blight using computer simulation models. *Am. Potato J.* 67, 277-86.
- Silva, H.S.A., Romeiro, R.S., Carrer, R., Pereira, J.L.A., Mizubuti, E.S.G., Munteer, A., 2004. Induction of systemic resistance by *Bacillus cereus* against tomato foliar diseases under field conditions. *J. Phytopathol.* 152, 371-5.
- Vale, F.X.R., Zambolim, L., Chaves, G.M., Correia, L.G., 1992. Avaliação fitossanitária da cultura do tomateiro em regiões produtoras de Minas Gerais e Espírito Santo. *Fitopatol. Bras.* 17, 211.
- Wallin, J.R., 1962. Summary of recent progress in predicting late blight epidemics in United States and Canada. *Am. Potato J.* 39, 306-12.
- Yuen, J.E., Hugles, G., 2002. Bayesian analysis of plant disease prediction. *Plant Pathology* 51, 407-12.
- Zitter, T.A., Sandlan, K.P., 1990. CU-FAST-beta test version: Cornell University forecaster of *Alternaria solani* on tomato. Plant Pathology Extension Report 90-1. Dept. of Plant Pathology, Cornell University, Ithaca, NY.

Table 1

Number of chlorothalonil sprays, area under disease progress curve (AUDPC), and fruit yield in plots treated according to DSS or fixed calendar, in two experiments to control tomato early blight (Experiment 1 – September to December; Experiment 2 – January to April)

Treatment	Experiment 1 ^a			Experiment 2 ^b		
	Number of sprays	AUDPC	Yield (t/ha)	Number of sprays	AUDPC	Yield (t/ha)
Control	0	397.49 a*	12.99 a	0	836.03 a	7.21 b*
TOMCAST	1	369.86 a	11.68 a	1	697.76 a	10.92 ab
CUFAST	4	64.01 b	14.49 a	9	359.17 b	11.84 ab
FAST	4	123.24 b	9.58 a	4	340.31 b	10.00 ab
Calendar	5	82.51 b	14.19 a	11	225.72 b	12.77 a
Coefficient of variation (%)		58.9	29.4		21.3	24.2

*Means followed by the same letter, in each column, do not differ according to Tukey's test at $\alpha=0.05$.

^a/Daily severity value (DSV) for TOMCAST, CUFAST, and FAST were 20, 12, and 14, respectively.

^b/DSV for TOMCAST, CUFAST, and FAST were 17, 12, and 14, respectively.

Table 2.

Number of chlorothalonil sprays and area under disease progress curve (AUDPC) in two experiments, in potato plots treated according to DSS or fixed calendar to control late blight (Experiment 1- December to March; Experiment 2- March to June)

Treatment	Experiment 1		Experiment 2	
	Number of sprays	AUDPC*	Number of sprays	AUDPC
Control	0	0	0	1193.47 a **
BLITECAST	8	0	8	19.47 b
SIMCAST	6	0	7	97.74 b
NegFry	4	0	5	193.06 b
Wallin	6	0	5	69.66 b
Calendar	7	0	6	63.52 b
Tebuconazole	0	0	0	1284.22 a

*No late blight developed during experiment 1.

** Means followed by the same letter do not differ according to Tukey's test at $\alpha=0.05$.

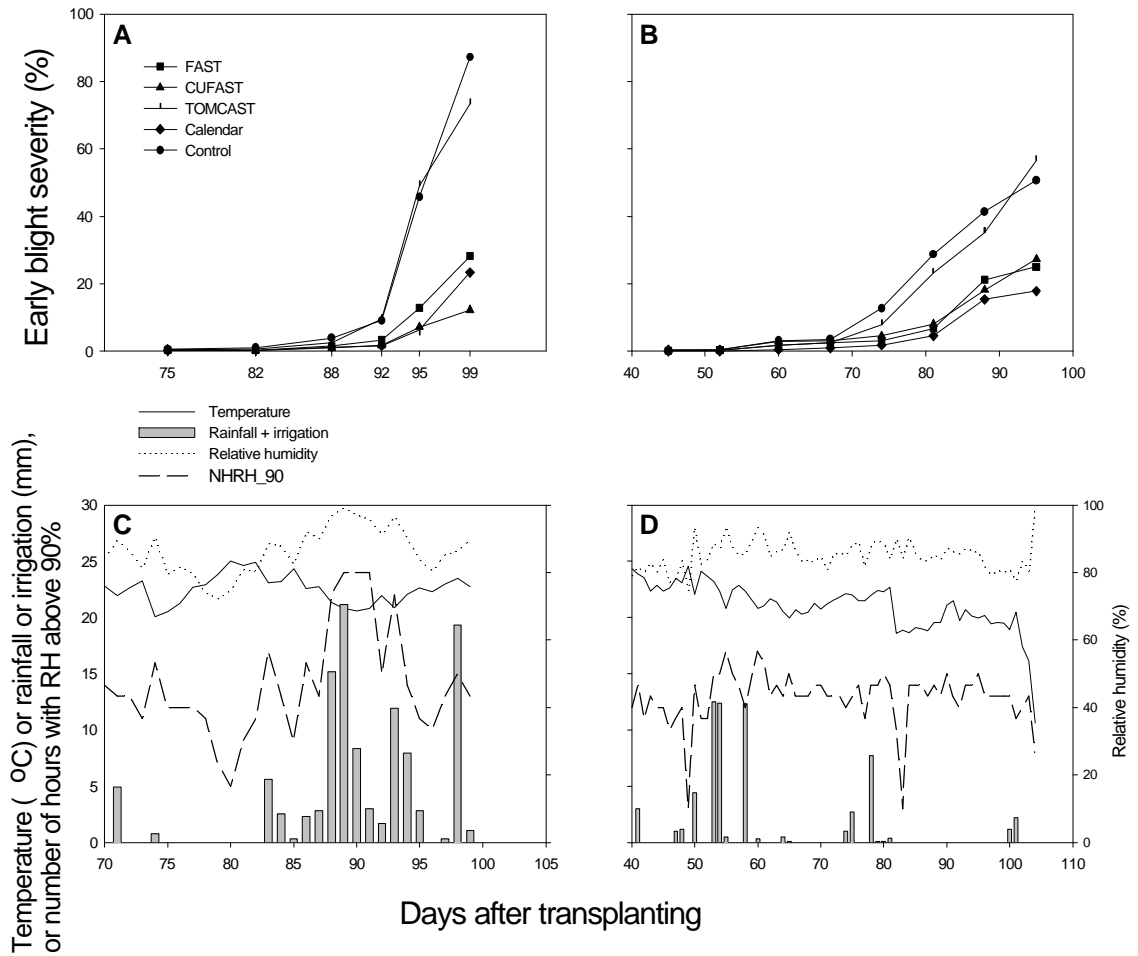


Fig. 1. Progress of tomato early blight (*Alternaria solani*) in experiments 1 (A) and 2 (B). Error bars represent standard error of the mean in each assessment date. Daily values of average temperature (°C), cumulative rainfall (mm), and relative humidity (%), recorded during experiments 1 p(September to December) (C) and 2 (January to April) (D) .

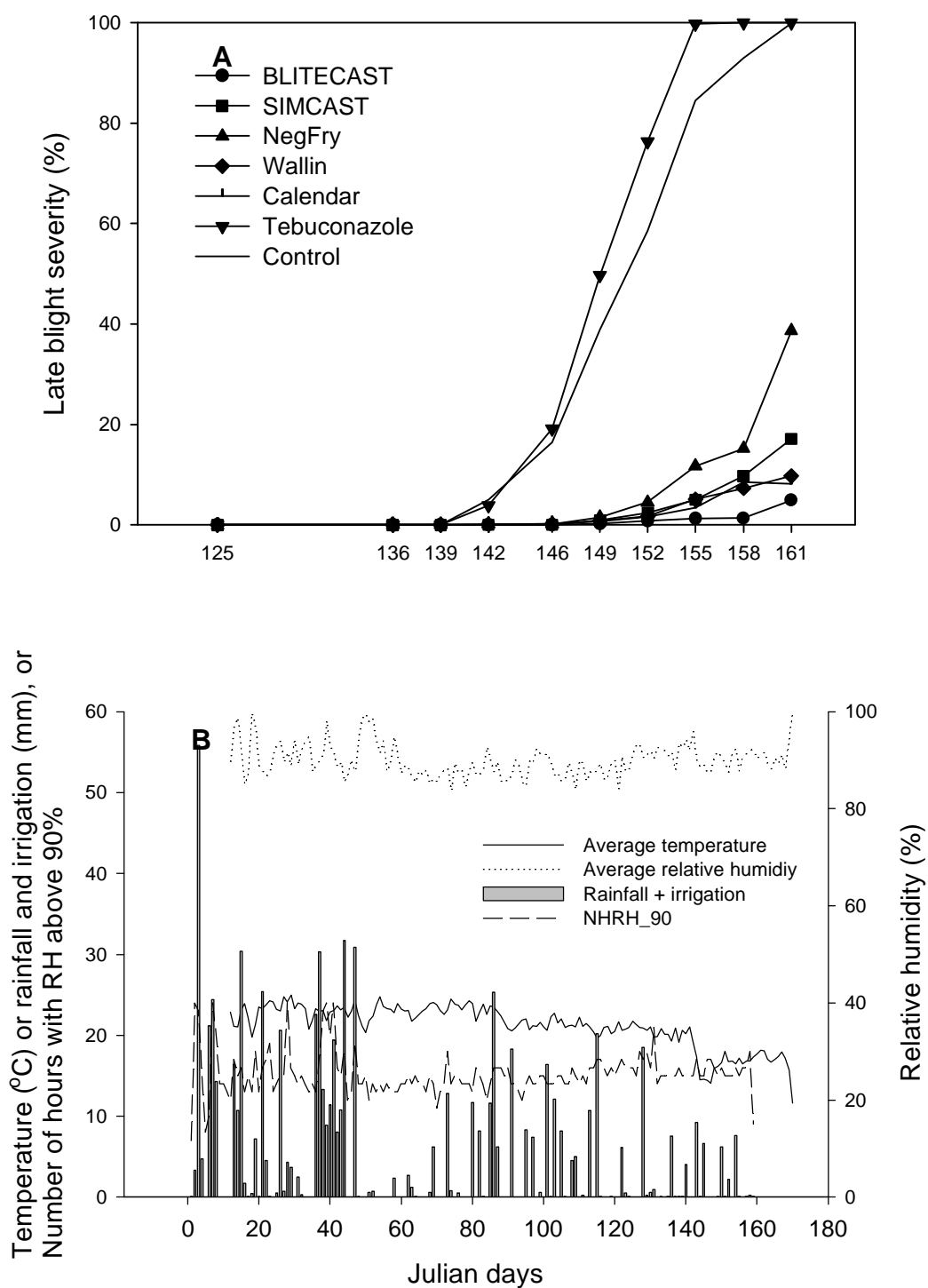


Fig. 2. (A) Progress of late blight (*Phytophthora infestans*) in potato plots sprayed with chlorothalonil according to different DSS. (B) Daily values of average temperature (°C), cumulative rainfall and/or irrigation (mm), relative humidity (%), and number of hours when relative humidity was above 90% (NHRH_90) recorded during experiment 2.

CONCLUSÕES

Conforme os resultados dos estudos, a manutenção de restos de folíolos e hastes de tomateiro, infestado com *Alternaria solani*, a 20 cm de profundidade reduz a sobrevivência do patógeno quando comparado aos restos mantidos na superfície do solo. Baseado nos testes de patogenicidade os inóculos de *A. solani* tem baixa capacidade de causar doenças aos 90 dias, quando enterrado. Acredita-se que após este período, 90 dias, os inóculos não contribuem para o desenvolvimento de epidemias no campo, caso os restos vegetais do tomateiro sejam enterrados. Conídios de *A. solani* dispersos pelo ar, pode está presente durante toda época do ano. Porém a concentração de conídios no ar variou conforme a época do ano e a maior concentração de conídios foi detectada na primavera-verão e o maior pico (62 conídios/m³) em outubro. A quantidade de conídios capturados foi negativamente correlacionada à umidade relativa (UR) e números de horas de UR acima que 90%, e foi positivamente correlacionada ao número de horas de UR abaixo de 70% e temperatura acima de 20°C. A menor densidade de plantio de batateira reduz a severidade e a taxa de progresso da requeima, em parcelas não pulverizadas. Enquanto a baixa densidade de plantio não reduziu a severidade e taxa de progresso da pinta preta em tomateiro e batateira. Os sistemas FAST e CUFAST foram eficiente para tomada de decisão em pulverizar ou não o fungicida clorotalonil. O uso desses sistemas permitiu economia em aplicações de clorotalonil quando comparado ao sistema calendário. Os resultados de previsão de requeima em batata indicam que os sistemas BLITECAST, SIMCAST, NegFry, e Wallin necessitam ser validados em diferentes épocas do ano (verão e inverno), pois os

sistemas superestimaram a doença no verão quando não houve epidemia. Enquanto os sistemas SIMCAST e BLITECAST indicaram maior número de pulverizações que o sistema calendário e sem, contudo, existir diferença quanto ao controle de requeima. A precipitação e horas de precipitação acumuladas de quatro dias têm efeito significativo no aumento percentual de pinta preta em tomateiro no campo. Foi possível com as duas variáveis construir um modelo não linear misto de regressão logística para estimar a probabilidade de aumento de dois pontos percentuais (2pp) da pinta preta do tomateiro: $\ln(p/(1-p)) = -0,6208 - 0,1373X_1 + 0,5767X_2 - 0,0413X_1X_2 + 0,0042X_1^2 + 0,0979X_2^2$, onde X_1 é a precipitação total, e X_2 número de horas de precipitação, durante 4 dias e u é um efeito aleatório assumido ser normal com média igual a zero e variância $\sigma^2 = 8,90$. Entretanto este modelo necessita da validação em condições de campo para avaliar a sua contribuição no manejo da pinta preta.