



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE FITOPATOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOPATOLOGIA**

**EPIDEMIAS DE OÍDIO E REQUEIMA DO TOMATEIRO
ORGÂNICO EM DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO:
QUANTIFICAÇÃO E PROGRESSO TEMPORAL**

DANIEL ANACLETO DA COSTA LAGE

Brasília – DF

2012

DANIEL ANACLETO DA COSTA LAGE

**EPIDEMIAS DE OÍDIO E REQUEIMA DO TOMATEIRO ORGÂNICO EM
DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO: QUANTIFICAÇÃO E PROGRESSO
TEMPORAL**

Tese apresentada à Universidade de
Brasília como requisito parcial para
a obtenção do título de Doutor em
Fitopatologia pelo Programa de
Pós-Graduação em Fitopatologia

Orientador

Prof. Adalberto Corrêa Café Filho, Ph.D.

Co-orientador

Waldir Aparecido Marouelli, Ph.D.

**BRASÍLIA
DISTRITO FEDERAL - BRASIL
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA

Lage, Daniel Anacleto da Costa.

Epidemias de oídio e requeima do tomateiro orgânico em diferentes sistemas de irrigação: quantificação e progresso temporal / Daniel Anacleto da Costa Lage.

Brasília, 2012.

Número de páginas p. 105: il.

Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Fitopatologia, Universidade de Brasília, Brasília.

1. Epidemiologia – Irrigação.

I. Universidade de Brasília. PPG/FIT.

II. Título.

*“O essencial não é o que foi feito do homem, mas aquilo que
ele fez do que fizeram dele.”*

Jean-Paul Sartre

*“Chemical industry and plant breeders have forged fine tactical weapons;
but only epidemiology sets the strategy.”*

James Edward Vanderplank

Aos meus pais Heloisa e Hercilio,

Ao meu padrasto Evanildo,

A minha esposa Anali e

A toda a minha família

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre acompanhou a minha caminhada, me oferecendo oportunidades e desafios que permitiram que eu chegasse até aqui.

À minha mãe, Heloisa Anacleto, ao meu pai, Hercilio Junior, ao meu padasto, Evanildo Nogueira, à minha irmã, Carolina, aos meus avós, tios e primos, pelo carinho, apoio e incentivo constante.

À minha esposa Anali, pelo carinho, companheirismo, incentivo e compreensão em todos os momentos que passamos juntos e naqueles em que estive ausente.

Ao Prof. Adalberto Corrêa Café Filho pela orientação, amizade, conselhos e discussões científico-filosóficas que ampliaram a minha visão da ciência e da fitopatologia.

Ao Dr. Waldir A. Marouelli pela co-orientação, pelo acompanhamento, por idealizar este projeto de pesquisa, por me dar liberdade nas propostas de ensaios, pela confiança, pelo apoio e pelas sugestões.

Ao Prof. Helson M. Martins do Vale pela amizade e pelo apoio nas avaliações microbiológicas do solo. Aos estagiários Vinícius Silva e Pedro Costa pelo interesse e pelo auxílio na condução e avaliação dos ensaios.

Aos membros da banca de defesa de tese, Prof^a. Lilian Amorim, Prof. Emerson Del Ponte, Prof. Luiz Blum e Dr. Carlos Lopes, por terem aceitado participar da banca, pela revisão da tese, pelas críticas, pelas correções, pelas sugestões e pelas discussões que muito contribuíram para esta tese.

Aos meus amigos de mestrado, Alexandre Capucho, Henrique Duarte e Nadson Pontes, pela amizade sincera, apoio, conselhos e discussões científicas que continuam após o período que estive em Viçosa. À Patrícia Gonçalves, Miriam Fumiko, Fabianny Velasco e Henrique Fernandes pela grata convivência e amizade sempre presente.

Aos colegas de doutorado, em especial, Justino, Mikhail, Natália, Mônica, Érica, Cecília, Jessica, Claudênia, Reinaldo, Liamar, Frederick, Esdras, Guilherme, pelo companheirismo e pelos momentos agradáveis nos últimos quatro anos.

Aos funcionários, Pedrinho, Frederico e Josimar, Arlindo, Arenildo, César, Fábio, Kamila, Marivaldo, Silene e Ribamar pelo auxílio durante o desenvolvimento da pesquisa e pelo agradável convívio na Embrapa e no Departamento de Fitopatologia da UnB.

Aos colegas da Embrapa Hortaliças pelo agradável convívio e pelas trocas de experiências.

Aos estagiários e bolsistas, Anna Cristina Freitas, Guilherme Lapidus e Ricardo Nunes, pelo interesse e pelo auxílio na condução e avaliação dos ensaios. Foi um prazer a oportunidade de orientá-los e vê-los hoje ingressando no mestrado.

Aos professores do Departamento de Fitopatologia pelos ensinamentos e pela contribuição para a minha formação profissional

Ao Dr. Nilton Tadeu Vilela Junqueira pela amizade, acompanhamento, ensinamentos durante a minha iniciação científica, o que me impulsionou a cursar o mestrado e o doutorado, me permitindo sonhar cada vez mais distante.

Ao Prof. Onkar Dev Dhingra por contribuir de maneira fundamental a minha formação como mestre e principalmente pelos ensinamentos, que com certeza vão muito além da fitopatologia.

Aos melhoristas Anderson Doná e Verni Wehrmann pela oportunidade profissional que me ofereceram de atuar como fitopatologista no programa de melhoramento genético da Agrícola Wehrmann, pela confiança, pelo apoio e pelos incentivos para que pudesse concluir o curso de doutorado.

Aos colegas da Agrícola Wehrmann por acreditarem no meu trabalho, pelo incentivo e pelo apoio nos últimos 20 meses do meu doutorado.

Às minhas tias Yvone e Wanda Anacleto, que partiram deixando saudades, mas que continuarão presentes na minha formação.

Aos amigos Leonardo, Brenno, Christiano, Duca, Emanuel e Paulo pela amizade de muito tempo, que com certeza é renovada a cada ano.

À Universidade de Brasília pela oportunidade de realização do curso de doutorado e deste trabalho de pesquisa.

À Embrapa Hortaliças por disponibilizar sua estrutura para realização dos ensaios de campo e ao CDTOrg-DF pelo apoio financeiro ao projeto.

Ao CNPq e à CAPES pelo apoio financeiro e pela concessão de bolsa de estudos.

Às pessoas que me acompanharam no decorrer dos anos e que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste e deixaram lições que me acompanharão por toda a vida.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

DANIEL ANACLETO DA COSTA LAGE, filho de Heloisa Augusta Anacleto e Hercilio da Costa Lage Junior, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, em 25 de outubro de 1982.

Em março de 2001, ingressou no curso de Agronomia na Universidade de Brasília, graduando-se em 04 de agosto de 2006.

No período de 2002 a 2006 foi bolsista de iniciação científica (PIBIC/CNPq) no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Embrapa Cerrados), onde desenvolveu atividades de pesquisa em melhoramento genético de fruteiras visando resistência a doenças.

Em março de 2007, iniciou o curso de Mestrado em Fitopatologia, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua dissertação em 12 de fevereiro de 2009.

Em março de 2009, ingressou no curso de Doutorado em Fitopatologia na Universidade de Brasília, submetendo-se à defesa de tese em 05 de dezembro de 2012.

Foi contratado como fitopatologista pela Wehrtec Tecnologia Agrícola em abril de 2011, assistindo ao programa de melhoramento genético de soja da Agrícola Wehrmann até o presente momento.

Trabalho realizado junto ao Departamento de Fitopatologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, sob orientação do **Professor Adalberto Corrêa Café Filho**, com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Centro Nacional de Pesquisas de Hortaliças (Embrapa Hortaliças) e do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Orgânica do Distrito Federal (CDTOrg-DF).

**EPIDEMIAS DE OÍDIO E REQUEIMA DO TOMATEIRO ORGÂNICO EM
DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO: QUANTIFICAÇÃO E PROGRESSO
TEMPORAL**

DANIEL ANACLETO DA COSTA LAGE

TESE APROVADA em 05/12/2012 por:

Prof^ª. Lilian Amorim, D.Sc.
Examinadora Externa

Prof. Emerson Medeiros Del Ponte, D.Sc.
Examinador Externo

Carlos Alberto Lopes, Ph.D.
Examinador Externo

Prof. Luiz Eduardo Bassay Blum, Ph.D.
Examinador Interno

Prof. Adalberto Corrêa Café Filho, Ph.D.
Orientador (Presidente)

**BRASÍLIA – DISTRITO FEDERAL
BRASIL
2012**

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMO GERAL	XI
GENERAL ABSTRACT	XIII
INTRODUÇÃO GERAL.....	15
OBJETIVO GERAL	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO 1: Escalas diagramáticas para avaliação da severidade do oídio causado por <i>Leveillula taurica</i> em folhas e em folíolos de tomateiro.....	25
RESUMO	26
ABSTRACT	27
1. INTRODUÇÃO	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1. Elaboração de escalas diagramáticas para avaliação da severidade de oídio (<i>L. taurica</i>) em folíolos e folhas de tomateiro.....	30
2.2. Validação das escalas diagramáticas	31
3. RESULTADOS	32
4. DISCUSSÃO	33
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
CAPÍTULO 2: Epidemiologia do oídio em tomateiro orgânico em diferentes sistemas e estratégias de irrigação	46
RESUMO	47
ABSTRACT	49
1. INTRODUÇÃO	51
2. MATERIAL E MÉTODOS	52
2.1. Ensaios de 2009 e de 2010.....	52
2.2. Ensaio de 2011.....	54
2.3. Sistemas e manejo da água de irrigação	54
2.4. Quantificação da doença, monitoramento do microclima e produtividade	56
2.5. Análise dos dados	56
3. RESULTADOS	57
3.1. Ensaios de 2009 e 2010	57
3.2. Ensaio de 2011.....	59
4. DISCUSSÃO	60
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

CAPÍTULO 3: Efeito de diferentes sistemas de irrigação na dinâmica da requeima do	
tomateiro em condições de cultivo orgânico e ambiente seco	78
RESUMO	79
ABSTRACT	81
1. INTRODUÇÃO	83
2. MATERIAL E MÉTODOS	84
2.1. Sistemas de manejo de irrigação.....	86
2.2. Quantificação da doença, monitoramento do microclima e produtividade	86
2.3. Análise dos dados	87
3. RESULTADOS	88
4. DISCUSSÃO	90
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
CONSIDERAÇÕES FINAIS	102

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO 1: Escalas diagramáticas para avaliação da severidade do oídio causado por *Leveillula taurica* em folhas e em folíolos de tomateiro.

Tabela 1. Intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) das regressões lineares para a severidade estimada em função da severidade real do oídio (*Leveillula taurica*) em folíolos e folhas de tomateiro, com base em 16 avaliadores (com e sem experiência na quantificação de doenças com e sem utilização de escala diagramática)..... 39

Tabela 2. Reprodutibilidade das estimativas da severidade de oídio em folíolos e folhas de tomateiro, representado pela frequência dos coeficientes de determinação (R^2) das equações de regressão linear simples entre estimativas dos avaliadores, inexperientes e experientes, com e sem auxílio das escalas diagramáticas..... 40

CAPÍTULO 2: Epidemiologia do oídio em tomateiro orgânico em diferentes sistemas e estratégias de irrigação.

Tabela 1. Número de irrigações, lâmina de água aplicada e frequência de irrigação ao longo do cultivo do tomateiro, em diferentes configurações de sistema de irrigação (2009 e 2010)..... 69

Tabela 2. Severidade máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) e na metade do curso temporal da epidemia (Y_{50}) de oídio (*Leveillula taurica*), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de progresso (r) estimada com o modelo Gompertz e produtividade (PT) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação (2009 e 2010)..... 70

Tabela 3. Número de irrigações, lâmina de água aplicada e frequência de irrigação ao longo do cultivo do tomateiro, em diferentes configurações de sistema de irrigação (2011)..... 71

Tabela 4. Severidade máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) e na metade do curso temporal da epidemia (Y_{50}) de oídio (*Leveillula taurica*), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de progresso (r) estimada com o modelo Gompertz e produtividade (PT) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação (2011)..... 71

CAPÍTULO 3: Efeito de diferentes sistemas de irrigação na dinâmica da requeima do tomateiro em condições de cultivo orgânico e ambiente seco.

Tabela 1. Número de irrigações, lâmina de água aplicada e frequência de irrigação ao longo do cultivo do tomateiro, em diferentes configurações de sistema de irrigação..... 97

Tabela 2. Médias de horas de molhamento foliar, em diferentes configurações de sistema de irrigação, registradas após 70 e 154 dias de cultivo do tomateiro..... 97

Tabela 3. Severidade máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) e na metade do curso temporal da epidemia (Y_{50}) de requeima (*Phytophthora infestans*), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de progresso (r) estimada com o modelo Gompertz e produtividade (PT), em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação..... 98

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 1: Escalas diagramáticas para avaliação da severidade do oídio causado por <i>Leveillula taurica</i> em folhas e em folíolos de tomateiro.	
Figura 1. Escala diagramática para avaliação da severidade de oídio causado por <i>Leveillula taurica</i> em folíolos de tomateiro. Áreas cinza claro representam áreas cloróticas/amarelecidas e áreas cinza escuro representam áreas foliares necrosadas....	41
Figura 2. Escala diagramática para avaliação da severidade de oídio causado por <i>Leveillula taurica</i> em folhas de tomateiro. Áreas cinza claro representam áreas cloróticas/amarelecidas e áreas cinza escuro representam áreas foliares necrosadas....	42
Figura 3. Estimativas de severidade de oídio (<i>Leveillula taurica</i>) em folíolos de tomateiro por avaliadores inexperientes (A a H) e experientes (I a P), sem e com auxílio da escala diagramática.....	43
Figura 4. Estimativas de severidade de oídio (<i>Leveillula taurica</i>) em folhas de tomateiro por avaliadores inexperientes (A a H) e experientes (I a P), sem e com auxílio da escala diagramática.....	44
Figura 5. Erros absolutos (diferença entre a severidade estimada e a real) de avaliadores inexperientes (A,B) e experientes (C,D), em avaliação sem e com auxílio da escala diagramática de oídio (<i>Leveillula taurica</i>) em folíolos de tomateiro.	45
Figura 6. Erros absolutos (diferença entre a severidade estimada e a real) de avaliadores inexperientes (A,B) e experientes (C,D), em avaliação sem e com auxílio da escala diagramática de oídio (<i>Leveillula taurica</i>) em folhas de tomateiro...	45
CAPÍTULO 2: Epidemiologia do oídio em tomateiro orgânico em diferentes sistemas e estratégias de irrigação.	
Figura 1. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias (2009).....	72
Figura 2. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Molhamento foliar e temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias (2010).....	73
Figura 3. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Molhamento foliar e temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias (2011).....	74
Figura 4. Curvas de progresso do oídio (<i>Leveillula taurica</i>) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação (2009).....	75

Figura 5. Curvas de progresso do oídio (<i>Leveillula taurica</i>) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação (2010).....	76
Figura 6. Curvas de progresso do oídio (<i>Leveillula taurica</i>) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação (2011).....	77
CAPÍTULO 3: Efeito de diferentes sistemas de irrigação na dinâmica da requeima do tomateiro em condições de cultivo orgânico e ambiente seco.	
Figura 1. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias (2009).....	99
Figura 2. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Molhamento foliar e temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias (2011).....	100
Figura 3. Curvas de progresso da requeima (<i>Phytophthora infestans</i>) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação (2009 e 2011).....	101

RESUMO GERAL

LAGE, Daniel Anacleto da Costa. **Epidemias de oídio e requeima do tomateiro orgânico em diferentes sistemas de irrigação: quantificação e progresso temporal**. 2012. 105p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

O atual entendimento da epidemiologia da requeima (*Phytophthora infestans*) e do oídio (*Leveillula taurica*) em tomateiro (*Solanum lycopersicum*) é fortemente baseado em estudos conduzidos em regiões temperadas, havendo a necessidade de mais estudos em condições climáticas subtóxicas e em cultivo orgânico. O inverno na região dos Cerrados brasileiro é caracterizado por um clima seco e elevada amplitude térmica. Essa condição é desfavorável ao desenvolvimento da grande maioria das doenças fúngicas e bacterianas do tomateiro. Um eficiente manejo da água de irrigação neste período pode permitir a obtenção de elevadas produtividades e menores problemas fitossanitários, o que se torna uma excelente oportunidade para o desenvolvimento da agricultura orgânica. O objetivo deste trabalho foi avaliar epidemias de oídio e de requeima em tomateiro orgânico sob diferentes sistemas e estratégias de irrigação em condições de ambiente seco. A avaliação da severidade de doenças com emprego de escalas diagramáticas proporciona facilidade, simplicidade e maior dinâmica de trabalho, assegurando medições com boa precisão, acurácia e reprodutibilidade, sem a necessidade de amostragens destrutivas. A escala diagramática proposta por James em 1971 para requeima é muito utilizada, mas não existe nenhuma escala disponível para oídio do tomateiro. Duas escalas foram desenvolvidas para avaliação da severidade do oídio, separadamente para folhas e folíolos de tomateiro. As escalas foram construídas a partir de coletas de folhas com diversos níveis de severidade e, com base nos limites máximos e mínimos observados em campo, foram propostos seis níveis de severidade: 1%, 5%, 10%, 20%, 40% e 60%. A validação das escalas foi realizada com auxílio de 16 avaliadores que as utilizaram para avaliação de folhas e folíolos com diferentes níveis de severidade da doença. O emprego das escalas diagramáticas proporcionou o aumento da acurácia e da precisão da maioria dos avaliadores e permitiu a reprodutibilidade das estimativas de severidade de oídio tanto para folíolos quanto para folhas de tomateiro. As escalas foram utilizadas no estudo do progresso temporal do oídio em diferentes sistemas e estratégias de irrigação nos anos de 2009, 2010 e 2011. Estes foram instalados em área de cultivo orgânico da Embrapa Hortaliças (Brasília, DF), em blocos ao acaso com doze tratamentos, três repetições e cem plantas por parcela. Em 2009 e 2010, foram avaliados os seguintes sistemas: gotejamento com uma linha

lateral (GO_{1L}) ou duas linhas laterais (GO_{2L}) por fileira de plantas; gotejamento com uma linha lateral com “mulch” plástico (GO_M) ou “mulch” orgânico de palhada de milho (GO_P); sulco (SU); microaspersão subcopa (MI); e aspersão convencional acima do dossel (AS). Para o manejo da irrigação foram adotadas duas estratégias, com base na tensão de água do solo, designadas como umidade elevada (tensão matricial de 15-30 kPa) e moderada (tensão matricial de 30-60 kPa). Os sistemas SU e GO_P foram manejados apenas com umidade moderada. No ano de 2011, os sistemas GO_{1L}, GO_{2L}, GO_M, manejados com umidade moderada, e GO_P foram substituídos pelos sistemas: microaspersão acima do dossel (MA) e dois sistemas combinados de gotejamento com microaspersão acima do dossel, sendo um irrigado por alternância de sistemas (GM_A) e o outro em que a microaspersão visou apenas o controle de oídio (GM_C). A avaliação da severidade do oídio foi realizada semanalmente, sendo obtidas as seguintes variáveis epidemiológicas: severidade da doença na metade do curso da epidemia (Y₅₀), severidade máxima (Y_{máx}), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e taxa de progresso da doença (r) com base no modelo Gompertz. Constatou-se que o controle do oídio foi promovido pelos sistemas que molharam completamente a parte aérea do tomateiro, independentemente do tamanho das gotas geradas por cada sistema. A dinâmica temporal da requeima foi estudada com emprego da escala diagramática de James (1971) nos anos de 2009 e 2011, nos seguintes sistemas: GO_{1L}; GO_{2L}; GO_M; SU; MI; e AS. A severidade da doença foi avaliada semanalmente e o modelo de progresso temporal do tipo Gompertz foi ajustado aos dados observados sendo comparadas as variáveis Y₅₀, Y_{máx}, AACPD e r. Não ocorreram epidemias de requeima no ano de 2010. Com base nos dados de 2009 e 2011, verificou-se que a irrigação por aspersão promoveu maior desenvolvimento de epidemias de requeima, mesmo em ambiente seco em comparação com os sistemas GO/SU. As irrigações por gotejamento e por sulco desfavoreceram a doença consistentemente em ambos os anos. Os tratamentos irrigados no sistema MI apresentaram intensidades intermediárias de requeima entre AS e GO/SU.

Palavras-chave: Agricultura orgânica, epidemiologia, escala diagramática, *Leveillula taurica*, manejo de doenças, manejo de irrigação, *Oidiopsis haplophylli*, *Phytophthora infestans*, *Solanum lycopersicum*.

Orientador – Adalberto Corrêa Café Filho – Universidade de Brasília; Co-orientador – Waldir Aparecido Marouelli – Embrapa Hortaliças.

GENERAL ABSTRACT

LAGE, Daniel Anacleto da Costa. **Epidemics of powdery mildew and late blight in organic tomatoes under different irrigation systems: quantification and temporal progress.** 2012. 105p. Thesis (Doctorate in Plant Pathology) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brazil.

The present understanding of the epidemiology of tomato (*Solanum lycopersicum*) late blight (LB – *Phytophthora infestans*) and powdery mildew (PM – *Leveillula taurica*) is strongly based on studies conducted in temperate climates, while epidemics on suboptimal environmental conditions (for the disease) and organic cropping have been scarcely studied. Winter in the Brazilian Cerrado is characterized by dry weather and wide daily thermal ranges. These conditions are unfavorable to the establishment of most fungal and bacterial diseases of the tomato crop, and therefore, combined with an efficient irrigation water management, leads to high fruit yields and reduced phytosanitary problems. These conditions are marked as excellent to organic cropping. The objective of this work was to evaluate field epidemics of powdery mildew and late blight in organic tomato in different systems and strategies of irrigation, in dry weather. Disease severity evaluations by means of diagrammatic scales increase precision, accuracy and reproducibility, while avoiding destructive sampling. One such scale is already available for LB (James, 1971) and is widely used, but no such scale is available for tomato PM caused by *Leveillula taurica*. Two separate scales were developed for assessing PM severity in tomato leaves and leaflets. From a wide field collection of PM affected leaves, and based on the minimum and maximum severity levels observed, six severity levels are proposed, independently for the leaf and leaflet: 1%, 5%, 10%, 20%, 40% e 60%. Validation was done by 16 subjects, who rated sets of leaves and leaflets with varying PM severity levels. Employment of the scales resulted in enhancement of accuracy and precision of most raters, and also allowed for better reproducibility of the estimates both for detailed (leaflet) and broad (complete leaf) levels. The scales were then employed to study temporal progress of PM in tomato under different irrigation systems and water levels for three consecutive years from 2009 to 2011. Experiments were carried out in the organic cropping area of Embrapa Hortaliças (Brasília, DF), in randomized complete blocks with 12 treatments, three replicates and 100 plants per plot. In 2009 and 2010 the following irrigation systems were studied: drip irrigation, with one lateral plastic tape line (GO_{1L}) or two tape lines (GO_{2L}) per line of plants; drip irrigation, with one lateral tape line and plastic (GO_M) or straw (GO_P) mulch; furrow irrigation (SU); small droplet,

microsprinkler irrigation, below plant canopy (MI); and conventional (above plant canopy) overhead irrigation (AS). Two irrigation strategies were combined with most systems named above, based on the soil water tensions: high soil moisture, irrigated at soil matric tensions of 15-30 kPa, and moderate soil moisture, irrigated at 30-60 kPa. Two systems (SU and GO_P) were managed in moderate soil moisture only. In 2011, systems GO_{1L}, GO_{2L}, GO_M, managed at the moderate level, and GO_P, were replaced by the following systems: microsprinkler above plant canopy (MA) and two systems combining drip and microsprinkler irrigation above plant canopy, one alternating every other system for irrigation (GM_A) and the other in which the microsprinkler was aimed only at PM control (GM_C). Powdery mildew severity was estimated weekly, and the following epidemiological variables were obtained: disease severity at half of the epidemic course (Y₅₀), maximum disease severity (Y_{max}), area under disease progress curve (AUDPC) and disease progress rate (r) based on the Gompertz model. Results showed that best PM control was promoted by irrigation systems that wetted aerial plant parts most completely, irrespective of the water droplet size. The study of the temporal dynamics of tomato LB was done with the aid of James (1971) scale in 2009 and 2011, in the following systems: GO_{1L}; GO_{2L}; GO_M; SU; MI; and AS. Late blight severity was assessed weekly, the Gompertz model was fit to the disease data and the following variables were compared: Y₅₀, Y_{max}, AACPD and r. No LB epidemics were observed in 2010. Conventional overhead irrigation promoted the development of severe epidemics, even in dry weather in comparison with GO and SU systems. Drip and furrow irrigations had the lowest values of all epidemiological variables consistently in both years. Plots irrigated by the MI system displayed intermediate LB levels, between AS and GO/SU.

Keywords: Diagrammatic scale, disease management, epidemiology, irrigation management, *Leveillula taurica*, *Oidiopsis haplophylli*, organic agriculture, *Phytophthora infestans*, *Solanum lycopersicum*.

Guidance Committee: Adalberto Corrêa Café Filho – Universidade de Brasília (Advisor), Waldir Aparecido Marouelli – Embrapa Hortaliças (Co-advisor).

INTRODUÇÃO GERAL

Em condições ambientais favoráveis, as doenças se destacam como os principais fatores responsáveis pela redução da produtividade do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) no sistema de cultivo convencional (Lopes & Ávila, 2005). As perdas em produção podem ocorrer devido à redução do potencial fotossintético (doenças foliares), redução da capacidade de absorção de água e nutrientes (doenças radiculares), colapso dos tecidos vasculares (doenças vasculares), alterações no metabolismo da planta (virose), comprometendo direta ou indiretamente a qualidade do produto final (McNew, 1960). Portanto, o manejo fitossanitário é fundamental para o bom desempenho da cultura e para a longevidade do campo de produção. Em termos econômicos, o tomateiro é uma cultura que consome muitos insumos na produção convencional, contudo apresenta alto retorno financeiro (Pereira & Melo, 2002). Estima-se que 15% dos custos de produção de tomate são atribuídos ao uso de fungicidas (Lopes & Ávila, 2005).

O Cerrado brasileiro destaca-se como importante região produtora de tomate *in natura* e para processamento no Brasil. Localizado em sua maior parte no Planalto Central, possui um clima do tipo Aw, clima tropical a subtropical com estação seca de inverno, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007). No período compreendido entre os meses de maio e outubro, a estação seca predomina, com elevadas amplitudes de temperatura e umidade relativa do ar e ausência ou pequeno número de registros de precipitação. Essa condição é desfavorável ao desenvolvimento da grande maioria das doenças fúngicas e bacterianas do tomateiro, o que se tornou uma excelente oportunidade para o desenvolvimento da agricultura orgânica irrigada na região.

Diferentemente da agricultura convencional baseada prioritariamente em ferramentas da indústria química de fertilizantes e de defensivos, a agricultura orgânica é um sistema de produção que objetiva a otimização do uso de recursos naturais por meio de práticas sustentáveis, que harmonizem o ambiente, de modo a reduzir, por exemplo, problemas com pragas e doenças (Van Bruggen, 1995; Diver *et al.*, 1999). Esse sistema tende a minimizar a dependência de insumos externos à propriedade, não permitindo o uso de fertilizantes químicos, defensivos sintéticos e reguladores de crescimento, garantindo assim, a produção (Stanhill, 1990) e o consumo de alimentos livres de resíduos químicos (Smith-Spangler *et al.*, 2012). A visão agroecológica do sistema produtivo tem proporcionado melhores retornos

econômicos em pequenas propriedades, contribuindo para o fortalecimento da agricultura familiar (Campanhola & Valarini, 2001; Assis & Romeiro, 2002; Castro Neto *et al.*, 2010).

Acompanhando a demanda crescente do mercado interno e mundial por alimentos livres de agrotóxicos e produzidos em ambientes sustentáveis, as hortaliças são, provavelmente, o principal grupo de plantas que vem merecendo atenção de pesquisadores em todo o mundo com vistas a adaptar e aprimorar o sistema de produção orgânico. Por sua vez, a cultura do tomate tornou-se um grande desafio para a produção orgânica, devido à grande suscetibilidade dessa cultura a diversas doenças (Souza, 2003; Bettioli *et al.*, 2004).

Na região dos Cerrados durante o período de inverno, constata-se a redução na incidência da grande maioria das doenças foliares do tomateiro. Entretanto, duas doenças merecem destaque nestas condições: a requeima, causada pelo oomiceto *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, e o oídio, causado pelo fungo *Leveillula taurica* (Lév.) Arnaud (anamorfo, *Oidiopsis haplophylli* Rulamort).

Dentre as doenças que incidem sobre a cultura, a requeima é a mais destrutiva em condições de ambiente favorável e ausência de medidas eficazes de controle, podendo ocorrer perda total da lavoura em poucos dias (Lopes & Ávila, 2005; Lima *et al.*, 2009). Condições de umidade relativa do ar elevada e temperaturas amenas, entre 10 e 20 °C, favorecem o rápido desenvolvimento da doença (Fohner *et al.*, 1984; Harrison, 1992), que, nestas condições, pode apresentar um período latente de 3 a 4 dias (Mizubuti & Fry, 1998; Flier & Turkensteen, 1999). Na presença de água livre sobre a superfície foliar e em temperaturas abaixo de 15 °C, os esporângios do fungo se diferenciam e germinam indiretamente na forma de zoósporos (Melhus, 1915). A germinação indireta contribui para o aumento das taxas de progresso da doença, dificultando ainda mais o seu controle (Maziero *et al.*, 2009). A temperatura afeta a infecção e a taxa de expansão da lesão (Hartill *et al.*, 1990) além da esporulação. A esporulação também é diretamente influenciada pela umidade relativa do ar (Rotem *et al.*, 1978) e o controle da doença está baseado no uso contínuo, muitas vezes indiscriminado, de fungicidas sistêmicos e protetores (Batista *et al.*, 2006; Fry, 2008). O progresso epidemiológico da requeima, por sua vez, é lento ou paralisado em temperaturas acima de 28°C e umidades relativas do ar baixas, mas o patógeno pode permanecer vivo nos tecidos do hospedeiro, em estágio latente, até que as condições ambientais sejam novamente favoráveis ao seu desenvolvimento (Rotem & Cohen, 1974; Rotem *et al.*, 1978; Lima *et al.*, 2009).

Por outro lado, o oídio é favorecido por ambientes secos, com umidade relativa do ar entre 50 e 70% e temperaturas entre 20 e 25°C (Palti, 1988; Guzman-Plazola *et al.*, 2003).

Diferentemente da maioria dos oídios, *Oidiopsis haplophylli* penetra diretamente pela epiderme ou pelos estômatos, preferencialmente em folhas adultas, desenvolvendo micélio subepidérmico. Os conídios são formados em conidióforos emergidos dos estômatos, dos quais são disseminados pelo vento (Kunoh *et al.*, 1979; Palti, 1988; Glawe, 2008). Em condições favoráveis, as perdas estimadas para esta doença podem chegar a 31% da produção (Jones & Thomson, 1987).

O estudo epidemiológico das doenças de plantas visa à compreensão da estrutura e do comportamento destas enfermidades em campo, permitindo posteriormente a otimização do seu controle (Bergamin & Amorim, 1996). O comportamento epidemiológico de uma doença, quando se interagem um patógeno virulento e um hospedeiro suscetível, depende, essencialmente, das condições do ambiente. Como o entendimento atual da epidemiologia da requeima e do oídio está fortemente embasado em estudos conduzidos em regiões temperadas, existe a necessidade de se compreender melhor o comportamento destas doenças em condições climáticas distintas (Grunwald & Flier, 2005).

Para que estudos de epidemiologia e controle da requeima e do oídio do tomateiro possam alcançar a melhor qualidade possível, é imprescindível uma avaliação precisa e acurada da intensidade da doença na planta. Para estas doenças, a quantificação da intensidade da doença é, geralmente, realizada por estimativa do percentual de área foliar doente, ou seja, pela severidade da doença. Ainda que a avaliação da severidade de uma doença possa ser conduzida de diversas formas (Madden *et al.*, 2007), a utilização de escalas diagramáticas proporciona facilidade, simplicidade e maior dinâmica nas avaliações, assegurando medições com boa precisão, acurácia e reprodutibilidade, sem a necessidade de amostragens destrutivas (Berger, 1980; Kranz, 1988). Escalas diagramáticas têm sido propostas para diferentes patossistemas há mais de 40 anos (James, 1971; Godoy *et al.*, 2006; Capucho *et al.*, 2010; Pedroso *et al.*, 2011). Uma das primeiras escalas diagramáticas publicadas foi proposta por James (1971) para avaliação da requeima (*P. infestans*) em batateira. Esta escala pode ser facilmente adaptada para avaliação da doença em tomateiro, sem resultar em perdas aparentes de precisão e acurácia (Erinle & Quinn, 1980; Jaime-Garcia *et al.*, 2001). Contudo, apesar da importância econômica da cultura e das elevadas perdas causadas pelo oídio, nenhuma escala para avaliação de *L. taurica* em tomateiro foi publicada até o momento.

Estudos epidemiológicos em sistemas orgânicos de produção podem auxiliar na compreensão de como os diversos fatores que compõem o agroecossistema interagem proporcionando menores problemas com pragas e doenças, mesmo na ausência de medidas

químicas de controle. Um agroecossistema diversificado busca um equilíbrio dinâmico o que se reflete na sustentabilidade do sistema como um todo (Crowder *et al.*, 2010). O equilíbrio mantém as doenças em níveis endêmicos, permitindo a convivência e o manejo do sistema produtivo de modo a desfavorecê-las. Nesse sentido, a utilização de diversas práticas culturais que aumentem a biodiversidade do ambiente e minimizem o impacto das doenças se torna relevante (Diver *et al.*, 1999).

A irrigação é uma das práticas culturais com maior impacto na produtividade, na qualidade de frutos e na ocorrência de doenças no tomateiro (Rotem & Palti, 1969; Lopes *et al.*, 2006). A frequência de irrigações, a quantidade de água aplicada por irrigação e a forma com que a água é aplicada às plantas interferem substancialmente na disseminação e na sobrevivência de patógenos e no processo de infecção e colonização da hospedeira, influenciando, portanto, a intensidade de doenças na planta (Lopes *et al.*, 2006).

De maneira geral, é tido que a irrigação por aspersão favorece as doenças que atacam a parte aérea das plantas, pois promove o molhamento foliar, contribuindo para o aumento da umidade relativa dentro do dossel, para a maior remoção de defensivos aplicados, para uma eficiente dispersão de patógenos foliares, o que garante elevadas taxas de infecção no hospedeiro (Rotem & Palti, 1969; Lopes *et al.*, 2006). A irrigação por gotejamento, assim como por sulco, por fornecer água diretamente ao solo desfavorece o desenvolvimento da grande maioria das doenças foliares.

Apesar do gotejamento ser destacadamente o sistema de irrigação que possibilita maiores produtividades e menores problemas com patógenos de parte aérea, o sistema por sulco é ainda muito utilizado no Brasil na produção convencional de tomate de mesa tutorado, devido ao baixo custo de implantação do sistema (Marouelli *et al.*, 2011a). Entretanto, ao contrário da maioria dos produtores convencionais de tomate tutorado, a irrigação por aspersão tem sido utilizada por vários produtores de tomate orgânico, especialmente pelo maior controle de insetos-pragas (Marouelli *et al.*, 2011b). Outras práticas culturais têm sido associadas aos sistemas de irrigação em cultivo orgânico, como a cobertura do solo com palhada ou mulch de plástico. Estas práticas permitem maior controle de plantas daninhas e o melhor aproveitamento da água de irrigação, devido à menor evaporação da água aplicada (Martins, 1996). Além disso, a cobertura do solo aumenta a atividade microbiana e a disponibilização de nutrientes importantes ao tomateiro, fatores diretamente correlacionados com a produtividade (Clark & Maynard, 1992; Tseklev *et al.*, 1993).

Existem vários relatos acerca do efeito da irrigação sobre as doenças do tomateiro (Rotem *et al.*, 1962; Rotem & Cohen, 1966; Johnson *et al.*, 2003; Marouelli *et al.*, 2005). Entretanto, poucos são os estudos que buscam quantificar e compreender o comportamento epidemiológico das doenças do tomateiro em relação ao sistema e ao manejo de irrigação adotado, especialmente sob cultivo orgânico. Tais informações inexistem para o Cerrado do Brasil Central, região que inclui as principais áreas produtoras de tomate no Brasil.

OBJETIVO GERAL

- Quantificar e avaliar o progresso temporal de epidemias de requeima e de oídio em tomateiro orgânico em diferentes sistemas e estratégias de irrigação, nas condições edafoclimáticas de inverno do Brasil Central.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar e validar duas escalas diagramáticas para avaliação do oídio causado por *Leveillula taurica* em folíolos e folhas de tomateiro.
- Determinar o efeito dos diferentes sistemas de irrigação sobre variáveis epidemiológicas relacionadas ao progresso temporal da requeima e do oídio do tomateiro.
- Comparar o efeito de duas estratégias de manejo da água, baseadas na tensão-limite de água no solo, sobre o desenvolvimento epidêmico da requeima e do oídio.
- Avaliar o efeito do tamanho de gotas aspergidas sobre plantas infectadas no controle do oídio do tomateiro.
- Avaliar a produtividade do tomateiro submetido a diferentes sistemas de irrigação e estratégias de manejo da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, R.L. & ROMEIRO, A.R. 2002. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 6:67-80.
- BATISTA, D.C.; LIMA, M.A.; HADDAD, F.; MAFFIA, L.A. & MIZUBUTI, E.S.G. 2006. Validation of decision support systems for tomato early blight and potato late blight, under Brazilian conditions. *Crop Protection* 25:664-670.
- BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. 1996. Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. *Agrônômica Ceres*. São Paulo.
- BERGER, R.D. Measuring disease intensity. 1980. *In*: Teng, P.S. & Krupa S.V. (Eds.) *Crop Loss Assessment which Constrain Production and Crop Improvement in Agriculture and Forestry*. Saint Paul MN. University of Minnesota. p.28-31.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J.A.H. & SILOTO, R.C. 2004. Organic and conventional tomato cropping systems. *Scientia Agricola* 61:253-259.
- CAMPANHOLA, C. & VALARINI, P.J. 2001. A agricultura orgânica e seu potencial para o pequeno agricultor. *Cadernos de Ciência & Tecnologia* 18:69-101.
- CAPUCHO, A.S.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H.S.S.; PARREIRA, D.F.; FERREIRA, P.A.; LANZA, F.E.; COSTA, R.V.; CASELA, C.R. & COTA, L.V. 2010. Influence of leaf position that correspond to whole plant severity and diagrammatic scale for white spot of corn. *Crop Protection* 29:1015-1020.
- CASTRO NETO, N.; DENUZI, V.S.S.; RINALDI, R.N. & STADUTO, J.A.R. 2010. Produção orgânica: uma potencialidade estratégica para a agricultura familiar. *Revista Percurso* 2:73-95.
- CLARK, G.A. & MAYNARD, D.N. 1992. Vegetable production on various bed widths using drip irrigation. *Applied Engineering in Agriculture* 8:28-32.
- CROWDER, D.W.; NORTHFIELD, T.D.; STRAND, M.R. & SNYDER, W.E. 2010. Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. *Nature* 466:109-113.
- DIVER, S.; KUEPPER, G. & BORN, H. 1999. Organic tomato production. *In*: *Horticultural Production Guide*. ATTRA. Fayetteville – Arkansas. p.1-21.
- ERINLE, I.D. & QUINN, G. 1980. An epiphytotic of late blight of tomatoes in Nigeria. *Plant Disease* 64: 701-702.
- FLIER, W.G. & TURKENSTEEN, L.J. 1999. Foliar aggressiveness of *Phytophthora infestans* in three potato growing regions in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology* 105:381-388.

- FOHNER, G.R.; FRY, W.E. & WHITE, G.B. 1984. Computer simulation raises question about timing protecting fungicide application frequency according to potato late blight forecast. *Phytopathology* 74:1145-1147.
- FRY, W.E. 2008. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology* 9:385-402.
- GLAWE, D. A. 2008. The powdery mildews: a review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 46:27-51.
- GODOY, C.V.; KOGA, L.J. & CANTERI, M.G. 2006. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira* 31:63-68.
- GRÜNWARD, N.J. & FLIER, W.G. 2005. The biology of *Phytophthora infestans* at its center of origin. *Annual Review of Phytopathology* 43:171-190.
- GUZMAN-PLAZOLA, R. A.; DAVIS, R. M. & MAROIS, J. J. 2003. Effects of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Crop Protection* 22:1157-1168.
- HARRISON, J.G. 1992. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage – a review. *Plant Pathology* 41:384-416.
- HARTILL, W.F.T.; YOUNG, K.; ALLAN, D.J. & HENSHALL, W.R., 1990. Effects of temperature and leaf wetness on the potato late blight. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*: 18:181-184.
- JAIME-GARCIA, R.; ORUM, T.V.; FELIX-GASTELUM, R.; TRINIDAD-CORREA, R.; VANETTEN, H.D. & NELSON, M.R. 2001. Spatial analysis of *Phytophthora infestans* genotypes and late blight severity on tomato and potato in the Del Fuerte Valley using geostatistics and geographic information systems. *Phytopathology* 91:1156-1165.
- JAMES, W. C. 1971. Assessment keys. *Canadian Plant Disease Survey* 51:39-65.
- JOHNSON, D. A.; MARTIN, M. & CUMMINGS, T. F. 2003. Effect of chemical defoliation, irrigation water, and distance from the pivot on late blight tuber rot in center-pivot irrigated potatoes in the Columbia Basin. *Plant Disease* 87:977-982.
- JONES, W.B. & THOMSON, S.V. 1987. Source of inoculum, yield and quality of tomato as affected by *Leveillula taurica*. *Plant Disease* 71:266-268.
- KRANZ, J. 1988. Measuring plant disease. *In*: KRANZ, J. & ROTEM, J. *Experimental techniques in plant disease epidemiology*. Springer. Berlin. p.35-50.
- KUNOH, H.; KOHNO, M.; TASHIRO, S. & ISHIKAZI, H. 1979. Studies of the powdery mildew fungus, *Leveillula taurica*, on green pepper. II. Light and electron microscopic observation of the infection process. *Canadian Journal of Botany* 57:2501-2508.

- LIMA, M.A.; MAFFIA, L.A.; BARRETO, R.W. & MIZUBUTI, E.S.G. 2009. *Phytophthora infestans* in a subtropical region: survival on tomato debris, temporal dynamics of airborne sporangia and alternative hosts. *Plant Pathology* 58:87–99.
- LOPES, C.A. & ÁVILA, A. C. 2005. Doenças do tomateiro. Embrapa Hortaliças. Brasília.
- LOPES, C.A.; MAROUELLI, W.A. & CAFÉ FILHO, A.C. 2006. Associação da irrigação com doenças de hortaliças. *Revisão Anual de Patologia de Plantas* 14:151-179.
- MADDEN, L.V.; HUGHES, G. & VAN DEN BOSCH, F. 2007. *The Study of Plant Disease Epidemics*. APS Press. St. Paul. USA.
- MAROUELLI, W.A.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, R.B. & SILVA, W.L.C. 2011a. Irrigação e fertirrigação na cultura do tomate. *In: Sousa, V.F.; Marouelli, W.A.; Coelho, E.F.; Pinto, J.M. & Coelho Filho, M.A. (Eds.) Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Brasília. Embrapa Informação Tecnológica. p. 739-769.
- MAROUELLI, W.A.; LOPES, C.A. & SILVA, W.L.C. 2005. Incidência de murcha bacteriana em tomate para processamento industrial sob irrigação por gotejamento e aspersão. *Horticultura Brasileira* 23:320-332.
- MAROUELLI, W.A.; MEDEIROS, M.A.; SOUZA, R.F. & RESENDE, F.V. 2011b. Produção de tomateiro orgânico irrigado por aspersão e gotejamento, em cultivo solteiro e consorciado com coentro. *Horticultura Brasileira* 29:429-434.
- MARTINS, S.R. 1996. Desafios da plasticultura brasileira: limites socioeconômicos e tecnológicos frente às novas e crescentes demandas. *Horticultura Brasileira* 14:133-138.
- MAZIERO, J.M.N.; MAFFIA, L.A. & MIZUBUTI, E.S.G. 2009. Effects of temperature on events in the infection cycle of two clonal lineages of *Phytophthora infestans* causing late blight on tomato and potato in Brazil. *Plant Disease* 93:459-466.
- MCNEW, G.L. 1960. The nature, origin and evolution of parasitism. *In: Horsfall, J.G. & Dimond, A.E. Plant Pathology: an advanced treatise*. Academic Press. New York. p.19-69.
- MELHUS, I.E. 1915. Germination and infection with the fungus of the late blight of potato (*Phytophthora infestans*). *Agricultural Experiment Station of the University of Wisconsin Research Bulletin*. 37:1-64.
- MIZUBUTI, E.S.G. & FRY, W.E. 1998. Temperature effects on developmental stages of isolates from three clonal lineages of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 88:837-843.
- PALTI, J. 1988. The *Leveillula* mildews. *The Botanical Review* 54:423-535.
- PEDROSO, C.; LAGE, D.A.C.; HENZ, G.P. & CAFE FILHO, A.C. 2011. Development and validation of a diagrammatic scale for estimation of anthracnose on sweet-pepper fruits for epidemiological studies. *Journal of Plant Pathology* 93:219-225.

- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L. & MCMAHON, T. A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* 11:1633–1644.
- PEREIRA, H.S. & MELLO, S.C. 2002. Aplicações de fertilizantes foliares na nutrição e na produção do pimentão e do tomateiro. *Horticultura Brasileira* 20:597-600.
- ROTEM, J. & PALTÍ, J. 1969. Irrigation and plant diseases. *Annual Review of Phytopathology* 7:267-288.
- ROTEM, J. & COHEN, Y. 1966. The relationship between mode of irrigation and the severity of tomato foliage diseases in Israel. *Plant Disease Reporter* 50:635–639.
- ROTEM, J. & COHEN, Y. 1974. Epidemiological patterns of *Phytophthora infestans* under semi-arid conditions. *Phytopathology* 64:711-714.
- ROTEM, J.; COHEN, Y. & BASHI, E., 1978. Host and environmental influences on sporulation in vivo. *Annual Review of Phytopathology* 16:83-101.
- SMITH-SPANGLER, C.; BRANDEAU, M.L.; HUNTER, G.E.; BAVINGER, C.; PEARSON, M.; ESCHBACH, P.J.; SUNDARAM, V.; LIU, H.; SCHIRMER, P.; STAVE, C.; OLKIN, I. & BRAVATA, D.M. 2012. Are organic foods safer or healthier than conventional alternatives? *Annals of Internal Medicine* 157: 348-U112.
- SOUZA, J.L. 2003. Tomateiro para mesa em sistema orgânico. *Informe Agropecuário* 24:108-120.
- STANHILL, G. 1990. The comparative productivity of organic agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 30:1-26.
- TSEKLEEV, G.; BOYADJIEVA, N. & SOLAKOV, Y. Influence of photo-selective mulch films on tomatoes in greenhouses. *Plasticulture* 95:45-49.
- VAN BRUGGEN, A.H.C. 1995. Plant disease severity in high-input compared to reduced-input and organic farming systems. *Plant Disease* 79:976-984.

CAPÍTULO 1

**ESCALAS DIAGRAMÁTICAS PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DO OÍDIO
CAUSADO POR *Leveillula taurica* EM FOLHAS E EM FOLÍOLOS DE TOMATEIRO**

ESCALAS DIAGRAMÁTICAS PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DO OÍDIO CAUSADO POR *Leveillula taurica* EM FOLHAS E EM FOLÍOLOS DE TOMATEIRO

RESUMO

Estimativas precisas da severidade do oídio do tomateiro, causado por *Leveillula taurica*, são notoriamente difíceis de serem obtidas, dada à natureza complexa do desenvolvimento de sintomas e do desejado grau de detalhamento nas avaliações de folhas completas ou de folíolos individuais. Com a finalidade de garantir a precisão, acurácia e a reprodutibilidade das estimativas de severidade desta doença, duas escalas diagramáticas foram desenvolvidas, uma para folíolos e outra para folhas completas de tomateiro. Com base nos limites máximos e mínimos de severidade da doença encontrados em campos de tomate naturalmente atacados, seis níveis de severidade foram propostos: 1%, 5%, 10%, 20%, 40% e 60%. A validação das escalas foi realizada por 16 avaliadores, divididos em dois grupos de oito (inexperientes e experientes) de acordo com a experiência na quantificação de doenças. Os avaliadores estimaram virtualmente a severidade de 42 imagens de folíolos e 42 de folhas naturalmente infectadas sem o auxílio, e posteriormente, com o auxílio das escalas propostas. A acurácia das estimativas foi verificada pelos parâmetros a e b das regressões entre a severidade estimada pelos avaliadores e a severidade real determinada por processamento das imagens em software de quantificação de doenças. Os coeficientes de determinação das regressões e a distribuição de erros absolutos foram utilizados para inferir a precisão de cada avaliador. A reprodutibilidade foi determinada a partir de regressões entre os avaliadores, realizada aos pares. Verificou-se que, para a maioria dos avaliadores, os parâmetros a e b da equação de regressão não foram significativamente diferentes de 0 e 1, respectivamente, quando a avaliação da severidade foi realizada com auxílio das escalas. Ademais, os coeficientes de determinação das regressões foram maiores e os erros absolutos foram menores com o uso das escalas. O uso das escalas diagramáticas proporcionou o aumento da acurácia e da precisão de avaliadores experientes e inexperientes e permitiu a reprodutibilidade das estimativas de severidade de oídio tanto para folíolos quanto para folhas completas de tomateiro.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, oídio, *Oidiopsis haplophylli*, patometria, epidemiologia.

Diagrammatic scales for evaluation of powdery mildew (*Leveillula taurica*) severity on tomato leaves and leaflets

ABSTRACT

Precise estimates of tomato powdery mildew severity caused *Leveillula taurica* are notoriously difficult to achieve, due to the complex nature of symptom development, and the desired degree of detail in evaluations of leaflets and/or entire leaves. In order to enhance consistency and reproducibility of the estimates of diseased leaf areas, two diagrammatic scales were developed, one for leaflets and the other for complete leaves. Based on the minimum and maximum disease levels observed in tomato fields naturally attacked, six severity levels were proposed: 1%, 5%, 10%, 20%, 40% and 60%. Scale validation was performed by 16 raters, divided in two equal groups of experienced and inexperienced raters, who were presented with a set of 42 leaflets and 42 leaves with various degrees of powdery mildew severity, selected from a larger set of digital images of naturally-infected plants. They rated all images first without the aid of the proposed scales, and later with the aid of the scales. Accuracy was verified by parameters a and b of the linear regressions between the estimated severity and real severity, as determined by image digital processing in software for disease quantification. Regression coefficients of determination and the distribution of absolute errors were used to infer the precision of the estimates of each rater. Reproducibility was deduced from the regressions between pairs of all raters. For the majority of raters, parameters a and b of the regression equation were not significantly different from zero and one, respectively, when ratings were performed with the aid of the scales. Furthermore, the regression coefficients of determination were larger and the absolute errors were smaller when scales were employed. The use of the proposed scales resulted in the enhancement of accuracy and precision of experienced and inexperienced raters, and also allowed for reproducibility of the estimates, both for detailed (leaflet) as well as more broadly (complete leaf) estimates.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, powdery mildew, *Oidiopsis haplophylli*, disease quantification, epidemiology.

1. INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é amplamente cultivado em todo o mundo, sendo diversos os problemas fitossanitários enfrentados pela cultura em todas as regiões produtoras. Várias doenças podem comprometer a produção de tomate (Jones *et al.*, 1991) e o uso de defensivos químicos tem sido por muito tempo a principal medida de controle adotada (Drinkwater *et al.*, 1995). Dentre as práticas agronômicas que compõem o manejo integrado da cultura, especial atenção é dada a medidas que reduzam o molhamento foliar, condição fundamental para infecção da maioria das doenças de parte aérea (Rotem & Palti, 1969). Destacam-se entre as principais medidas adotadas nas lavouras para desfavorecer o molhamento foliar, a irrigação por gotejamento ou por sulco, o cultivo durante a estação seca ou em períodos de menor pluviosidade, e o cultivo em ambiente protegido (Diver *et al.*, 1999). Embora essas medidas desfavoreçam a maioria dos patógenos de parte aérea, seu emprego isolado ou em conjunto pode tornar o ambiente muito favorável a epidemias severas de oídios (Reis *et al.*, 2007).

A família Erysiphaceae é constituída por importantes fitopatógenos fúngicos adaptados a ambientes secos, amplamente distribuídos no mundo e causadores de oídio. São organismos capazes de se desenvolver em condições de ausência de água livre, o que é desfavorável à grande maioria dos patógenos de planta (Sutton & Jones, 1979).

O tomateiro é hospedeiro de mais de uma espécie causadora de oídio, entre elas as formas anamórficas epifíticas *Oidium lycopersici* Cook & Masee emend. e *O. neolycopersici* Kiss, sendo este último amplamente distribuído e comumente observado em cultivos em estufas (Kiss *et al.*, 2001). Entretanto, o oídio causado por *Leveillula taurica* (Lév.) Arnaud (anamorfo, *Oidiopsis haplophylli* Rulamort) é o mais frequentemente encontrado em tomateiro e também é o mais importante economicamente (Correll *et al.*, 1988). *L. taurica* é considerado um importante patógeno na cultura em condições de ambiente seco, com umidade relativa do ar (UR) entre 50% e 70% e temperaturas entre 20°C e 25°C (Palti, 1988; Guzman-Plazola *et al.*, 2003). O ótimo de germinação para conídios de *O. haplophylli* ocorre entre 50% e 85% de UR (Guzman-Plazola *et al.*, 2003; Elad *et al.*, 2007) e a penetração pode ser diretamente pela epiderme ou pelos estômatos, preferencialmente em folhas adultas, desenvolvendo micélio epidérmico e subepidérmico, sendo que os conídios são formados em conidióforos hialinos emergidos dos estômatos (Kunoh *et al.*, 1979; Palti, 1988; Glawe,

2008). Os conídios são hialinos e dimórficos, sendo os conídios primários lanceolados e os secundários cilíndricos (Braun 1987; Palti 1988).

Os sintomas causados por *L. taurica* são bastante distintos daqueles usualmente associados aos demais membros de Erysiphaceae causadores de oídio. No tomateiro, os sintomas iniciais são caracterizados por pequenas lesões cloróticas que se tornam amareladas e visíveis na face adaxial da folha, correspondendo à colonização do fungo na face abaxial com esporulação profusa (Reis *et al.*, 2005). Em condições favoráveis, o inóculo gerado em sucessivos ciclos da doença, por meio da formação de novas lesões resulta em rápido aumento da área foliar atacada. As lesões antigas se tornam necróticas e geralmente circundadas por lesões cloróticas (Palti, 1988). As perdas desta doença são aumentadas muitas vezes quando plantas severamente doentes apresentam seca de folhas e consequente perdas de frutos por escaldadura mediante exposição ao sol (Jones & Thomson, 1987).

Embora existam populações de *L. taurica* mais adaptadas à infecção de determinadas espécies de plantas, este patógeno é considerado polífago, devido a sua capacidade de infectar diferentes hospedeiros em diversas famílias botânicas (Cook *et al.*, 1997). A característica polífaga do patógeno, incluindo sua capacidade de infectar hospedeiras alternativas, tanto cultivadas quanto daninhas, garante a manutenção indefinida do inóculo nas áreas de cultivo (Palti, 1988; Reis *et al.*, 2005; 2007). Em regiões de clima seco ou em cultivo protegido, o patógeno tem se tornado constante problema, havendo necessidade de estudos de epidemiologia e controle da doença. Em condições favoráveis, as perdas estimadas para este patógeno podem chegar a 31% da produção em tomateiro (Jones & Thomson, 1987).

Para que estudos de epidemiologia e controle do oídio do tomateiro possam alcançar a melhor qualidade possível, é imprescindível uma avaliação precisa e acurada da quantidade de doença nas folhas ou nos folíolos da planta. Ainda que a avaliação da severidade de uma doença possa ser realizada de diversas formas (Madden *et al.*, 2007), a utilização de escalas diagramáticas proporciona facilidade, simplicidade e maior dinâmica nas avaliações, assegurando medições com precisão, acurácia e reprodutibilidade, sem a necessidade de amostragens destrutivas (Berger, 1980; Kranz, 1988).

Escalas diagramáticas têm sido propostas para diferentes patossistemas há mais de 40 anos (James, 1971; Godoy *et al.*, 2006; Capucho *et al.*, 2010; Pedroso *et al.*, 2011). Entretanto, apesar da importância econômica da cultura e das elevadas perdas por oídio, nenhuma escala para avaliação desta doença em tomateiro foi publicada até o momento. A complexidade dos sintomas, cuja manifestação evolui com o tempo, incluindo clorose,

necrose e seca de folhas e a composição de folíolos em folhas podem explicar parcialmente porque não existem escalas para este patossistema. Os estudos mais atuais que discutem epidemiologia e controle desta doença (Kasselaki *et al.*, 2006; Konstantinidou-Doltsinis *et al.*, 2006; Guzman-Plazola *et al.*, 2011) não mencionam o uso de uma escala diagramática como ferramenta para avaliação da severidade, o que pode comprometer sua reprodutibilidade.

Durante o desenvolvimento de uma escala para avaliação da severidade de uma doença policíclica deve-se considerar a lei de Weber-Fechner, que afirma que a acuidade visual é proporcional ao logaritmo do estímulo (Horsfall & Barratt, 1945), ou seja, à medida que o estímulo aumenta a discriminação pelo olho humano deste estímulo diminui (Kranz, 1988). Portanto, em uma escala diagramática devem estar definidos os níveis de severidade de acordo com a proporcionalidade do estímulo que o olho humano é capaz de discriminar. Além disso, os limites do nível inferior e superior da escala proposta devem estar de acordo com os níveis mais baixos e mais altos de severidade da doença observados no campo, garantindo estimativas realísticas da quantidade da doença (James, 1974; Kranz, 1988). Por fim, a determinação das severidades reais da doença em campo, a partir de infecções naturais, e a sua representação gráfica na escala devem ser realistas e representativas das severidades reais no campo (Bergamin Filho & Amorim, 1996).

Tendo em conta os sintomas de clorose, necrose da doença e sua evolução, bem como a anatomia foliar do tomateiro, este trabalho teve como objetivo a elaboração e a validação de duas escalas diagramáticas para avaliação do oídio causado por *L. taurica* em folíolos e folhas de tomateiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Elaboração de escalas diagramáticas para avaliação da severidade de oídio (*L. taurica*) em folíolos e folhas de tomateiro

Foram coletadas 200 folhas de tomateiro com diferentes níveis de severidade da doença, provenientes de infecção natural em campo, ao longo de duas estações de cultivo. Imagens de cada folha foram capturadas digital e individualmente sobre superfície de fundo preto e processadas, com auxílio do software Quant versão 1.0.2 (Vale *et al.*, 2003). A área foliar total e a área lesionada de cada folha foram estimadas com o mesmo software. A partir das severidades mínimas e máximas encontradas nas folhas analisadas, seguindo parcialmente a lei de acuidade visual de Weber-Fechner, uma escala diagramática foi proposta consistindo

de seis níveis: 1%, 5%, 10%, 20%, 40% e 60%. Cada nível da escala representa uma imagem real vetorizada em software gráfico, procurando manter a forma e o tamanho real das lesões. Os sintomas de clorose foram representados em tonalidade cinza claro e os de necrose em cinza escuro.

De forma semelhante, uma segunda escala diagramática foi elaborada para avaliação da severidade da doença em folíolos. Esta escala constitui uma ferramenta para estudos mais sistematizados e que necessitem de maior acurácia e precisão na avaliação.

2.2. Validação das escalas diagramáticas

Para validação das escalas diagramáticas, dezesseis avaliadores foram divididos em dois grupos, inexperientes e experientes, de acordo com seus respectivos conhecimentos prévios em quantificação de doenças. O grupo de avaliadores inexperientes (A a H) foi composto por oito estudantes de graduação que nunca haviam estimado a severidade de qualquer tipo de doença de plantas, enquanto o grupo de avaliadores experientes (I a P) foi formado por oito estudantes de pós-graduação com certa familiaridade em estimar a severidade de doenças. Cada uma das escalas foi validada em momentos distintos, mas seguindo o mesmo procedimento. Numa primeira etapa, cada avaliador estimou a severidade de oídio em 42 imagens aleatórias de folhas ou de folíolos com diferentes níveis de doença, sem o auxílio das escalas propostas. Posteriormente, as mesmas imagens, em ordem diferente, foram avaliadas utilizando as escalas diagramáticas. Em uma terceira etapa, a severidade estimada pelos avaliadores foi comparada com a severidade real, determinada por processamento das imagens no software de quantificação de doenças, com objetivo de verificar a eficiência de cada escala nas avaliações (Kranz, 1988).

A acurácia e a precisão dos avaliadores foram determinadas por meio de regressões lineares, onde a severidade real foi considerada como variável independente e a severidade estimada como variável dependente. Os coeficientes a (intercepto) e b (inclinação da reta) da regressão foram utilizados para verificação da acurácia das estimativas de cada avaliador. O teste-t foi aplicado sobre os coeficientes para testar as hipóteses de nulidade $H_0: a = 0$ e $H_0: b = 1$ (Nutter Jr. *et al.*, 1993). A verificação da precisão das avaliações baseou-se no coeficiente de determinação da regressão (R^2) e na variação de erros absolutos (diferença entre a severidade estimada e a severidade real) em cada avaliação (Campbell & Madden, 1990; Nutter Jr. & Shults, 1995). A reprodutibilidade das avaliações foi obtida a partir dos valores

de R^2 das regressões lineares simples entre as estimativas dos diferentes avaliadores combinadas aos pares (Nutter Jr. & Shults, 1995), dentro de cada grupo.

O software SAS System, versão 9.0, foi utilizado para as análises de regressão entre a severidade estimada e a real para cada avaliador, assim como entre os avaliadores combinados aos pares.

3. RESULTADOS

As severidades de oídio, obtidas em folhas de tomateiro naturalmente infectados ao longo de duas safras em campo, foram compreendidas entre 0,5% e 62% para folhas inteiras e entre 0,5% a 65% para folíolos. A partir destas amplitudes de severidade da doença foram propostas duas escalas diagramáticas, uma para folíolos e outra para folhas, ambas divididas em seis níveis de severidade, parcialmente de acordo com a lei da acuidade visual de Weber-Fechner (Figuras 1 e 2). Os sintomas de clorose e amarelecimento foram representados em tons de cinza claro, enquanto os de necrose, em cinza escuro. De maneira geral, os sintomas iniciais de necrose não foram observados em severidades inferiores a 20% nos folíolos e menores que 10% nas folhas, e por isso esses sintomas não estão representados nos níveis inferiores.

Os resultados das avaliações de severidade de oídio por avaliadores com e sem experiência, com e sem a utilização das escalas, os erros absolutos nas avaliações e parâmetros e coeficientes de determinação das regressões são apresentados na Tabela 1 e Figuras 3-6. A acurácia das estimativas de severidade em folíolos, verificada nos parâmetros a e b das equações de regressão, melhorou significativamente para os avaliadores inexperientes (A, B, F, G, H) e experientes (J e L), com o uso da escala diagramática (Tabela 1, Figura 3). Os demais avaliadores não apresentaram melhorias significativas quanto à acurácia de suas estimativas com o uso da escala. O avaliador inexperiente F apresentou melhora no parâmetro a e piora no b com o emprego da escala.

Considerando as estimativas de severidade em folhas completas com auxílio da escala de folha, verificou-se que os avaliadores A, B, C, D, E, G, H (inexperientes) e J, K, L e N (experientes) aumentaram significativamente sua acurácia com relação às estimativas sem uso da escala (Tabela 1, Figura 4). Os avaliadores experientes M e P não apresentaram valores de a e b significativos com e sem o uso da escala, enquanto que F e J não melhoraram seu desempenho significativamente com uso da escala.

De maneira geral, a precisão dos avaliadores, verificada pelo coeficiente de determinação (R^2) das regressões, foi diretamente afetada pelo uso das escalas diagramáticas, sobretudo para aqueles com menor experiência na avaliação de doenças (Tabela 1). Em média, a precisão das avaliações de folíolos aumentou o valor de R^2 de 0,67 e 0,69 para 0,79 e 0,84, respectivamente para o grupo de avaliadores inexperientes e experientes. A precisão das avaliações de folhas também seguiu a mesma tendência, passando o valor de R^2 de 0,79 e 0,78 para 0,85 e 0,89. O aumento da precisão das estimativas com o uso das escalas foi observado também na redução da variação dos erros absolutos das estimativas dos dois grupos de avaliadores (Figura 5 e 6). O grupo de avaliadores inexperientes apresentou as maiores variações de erros absolutos sem utilização de ambas as escalas diagramáticas propostas, atingindo desvios superiores a 40% em algumas estimativas, enquanto os avaliadores experientes apresentaram os maiores valores de desvios próximos de 30%. O emprego das duas escalas permitiu que poucos desvios fossem superiores a 20% para ambos os grupos de avaliadores, sendo que a maior parte destes erros ficou concentrada em torno de 15%.

Para as estimativas de severidade de oídio em folíolos (Figura 3) e em folhas (Figura 4) sem auxílio das escalas, observou-se uma tendência dos avaliadores inexperientes e experientes em superestimar e em subestimar a quantidade de doença, respectivamente. Isto pode ser visualizado pelo deslocamento da curva de regressão para cima (superestimar) ou para baixo (subestimar) da linha pontilhada (Figuras 3, 4). Esta tendência também é revelada na distribuição de erros absolutos (Figuras 5 e 6), que se verifica maior concentração de pontos acima (superestimar) ou abaixo (subestimar) do eixo zero. Quando a curva de regressão se encontra próxima à linha pontilhada, e quando a distribuição de erros se aproxima do eixo zero, a avaliação possui alta acurácia e alta precisão.

A reprodutibilidade das avaliações aumentou quando se utilizou as escalas diagramáticas. Para a escala de folíolos, a frequência dos coeficientes de determinação superiores a 0,80 passou de 64,3% e 85,0%, respectivamente para avaliadores inexperientes e experientes, para 100% com o emprego da escala (Tabela 2). Considerando coeficientes de determinação acima de 0,90, foram observadas frequências iguais ou superiores a 50% para ambos os grupos de avaliadores com o uso da escala. O mesmo efeito de melhoria na reprodutibilidade foi observado quando se utilizou a escala de folhas completas (Tabela 2).

4. DISCUSSÃO

Para a maioria dos avaliadores, as estimativas de severidade de oídio em folhas e folíolos de tomateiro se tornaram mais acuradas e precisas com o auxílio das escalas diagramáticas propostas. O aumento da acurácia e da precisão de avaliadores com o auxílio de escalas diagramáticas já foi relatado para diversas doenças foliares como, por exemplo, ferrugem na soja (Godoy *et al.*, 2006), ferrugem em videira (Angelotti *et al.*, 2008) e mancha-branca em milho (Capucho *et al.*, 2010). As escalas diagramáticas, quando desenvolvidas adequadamente, permitem avaliações realísticas, reduzem a variação das estimativas esperadas para os avaliadores e aumentam a eficácia das leituras no campo, sejam elas para estudos epidemiológicos, estudos de controle químico ou alternativos, programas de melhoramento genético e estimativas de perdas por doenças.

A acurácia é definida como a proximidade de uma estimativa da quantidade de uma doença em relação à quantidade real desta doença (Kranz, 1988). Valores de intercepto significativamente diferentes de 0 indicam a presença de desvios constantes e valores de inclinação significativamente diferentes de 1 indicam desvios sistemáticos (Nutter Jr. *et al.*, 1993). A precisão da avaliação, que está associada à repetibilidade ou variação de um conjunto de estimativas, pode ser considerada a partir dos coeficientes de determinação das regressões e dos erros absolutos das estimativas (Campbell & Madden, 1990; Nutter Jr. & Shults, 1995). Quanto mais próximo de 0 e 1 forem os parâmetros a e b , mais acurada é a avaliação. Quanto mais próximos de 1 forem os coeficientes de determinação e quanto mais próximos do eixo zero forem a distribuição dos erros, mais precisa é a avaliação.

No presente trabalho, foi verificada a melhoria nos parâmetros a e b para a maioria dos avaliadores quando se utilizou ambas as escalas para estimativas da severidade da doença. As estimativas sem auxílio das escalas foram menos precisas também. De forma semelhante, a tendência em superestimar ou subestimar as avaliações foi minimizada com o uso das escalas diagramáticas tanto para folíolos quanto para folhas inteiras de tomateiro. De acordo com Nutter Jr & Schultz (1995), a acurácia e a precisão das estimativas de severidade podem ser corrigidas e aprimoradas com o treinamento dos avaliadores, minimizando a tendência destes em superestimar ou subestimar suas avaliações. Evidentemente, um treinamento prévio com uso de escalas cientificamente desenvolvidas, juntamente com uma coleção de imagens representativas de uma doença podem ser usadas com o fim de treinamento, antes do início de eventuais procedimentos de estimativas de doença.

A tendência dos avaliadores em superestimar a quantidade de doença em baixas severidades, em especial no intervalo entre 5% e 10%, foi relatada por alguns autores (Sherwood *et al.*, 1983; Nita *et al.*, 2003; Bock *et al.*, 2008). Essa tendência pode, por exemplo, impedir avanços em programas de melhoramento genético com vistas à seleção de linhagens resistentes promissoras (Sherwood *et al.*, 1983). Smith *et al.* (1969), avaliaram a severidade de *Cladosporium fulvum* em folhas de tomateiro sem auxílio de uma escala diagramática e suas estimativas excederam a quantidade real de doença, principalmente em severidades mais baixas. Pensando em minimizar este problema, as escalas propostas para avaliação de *L. taurica* em tomateiro foram construídas com três níveis de severidade no intervalo entre 1% e 10%, aumentando, conseqüentemente, a precisão e a acurácia dos avaliadores na quantificação de baixas severidades, como foi observado no presente trabalho.

As escalas diagramáticas propostas para oídio neste trabalho permitiram uma alta reprodutibilidade das estimativas pelos diversos avaliadores. A reprodutibilidade se refere à ausência de variação nas estimativas quando a mesma doença amostrada é reavaliada por outro avaliador (Kranz, 1988). Ela se torna importante quando diferentes avaliadores utilizam a mesma escala para avaliar uma determinada doença. A escala deve garantir que os dados de severidade obtidos por um avaliador sejam confiáveis e capazes de serem reproduzidos por outros avaliadores que trabalhem com a mesma doença. Quando estes dados são acurados, precisos e reprodutíveis, os estudos de epidemiologia e controle de doenças se tornam mais seguros e consistentes.

O oídio causado por *L. taurica* é uma doença que acarreta elevados prejuízos para a produção do tomateiro. Estimativas reais de perdas causadas pelo oídio, programas de melhoramento genético, estudos de eficácia de diversas medidas de controle (incluindo fungicidas), dentre outros, necessitam de uma ferramenta confiável de estimativa de severidade de doença. Por outro lado, a arquitetura foliar do tomateiro, assim como a natureza da manifestação dos sintomas são empecilhos para a coleta de estimativas precisas, acuradas e reprodutíveis da doença. Os diferentes sintomas, associados à folha de tomateiro composta por diversos folíolos, se tornam importantes fontes de redução da acurácia e da precisão das estimativas para esta doença. Estas foram as principais questões apontadas pelos avaliadores que auxiliaram na validação das escalas propostas neste trabalho. As principais escalas diagramáticas disponíveis para avaliação de outras doenças foliares em tomateiro não representam de maneira realística os sintomas de oídio em folhas e/ou em folíolos da planta, o

que compromete tentativas de adaptação destas escalas para avaliação do oídio. Tudo isto justifica a elaboração de escalas desta doença para a cultura.

As escalas diagramáticas propostas neste trabalho aumentaram a acurácia e a precisão tanto de avaliadores inexperientes quanto de experientes, permitindo a reprodutibilidade das estimativas de severidade de oídio (*Leveillula taurica*) em folíolos e em folhas de tomateiro. Desta forma, espera-se que essas escalas se tornem ferramentas úteis para estudos nas áreas da epidemiologia, resistência e controle neste importante patossistema.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELOTTI, F.; SCARPIN, C.R.; TESSMANN, D.J.; VIDA, J.B.; OLIVEIRA, R.R. & CANTERI, M.G. 2008. Diagrammatic scale for assessment of grapevine rust. *Tropical Plant Pathology* 33:439-443.
- BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. 1996. Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. *Agronômica Ceres*. São Paulo.
- BRAUN, U. A Monograph of the Erysiphales (powdery mildews). 1987. *Nova Hedwigia*. Stuttgart.
- BERGER, R.D. Measuring disease intensity. 1980. *In*: Teng, P.S. & Krupa S.V. (Eds.) *Crop Loss Assessment which Constrain Production and Crop Improvement in Agriculture and Forestry*. Saint Paul MN. University of Minnesota. p. 28-31.
- BOCK, C. H.; PARKER, P. E.; COOK, A. Z. & GOTTWALD, T. R. 2008. Visual rating and the use of image analysis for assessing different symptoms of citrus canker on grapefruit leaves. *Plant Disease* 92:530–541.
- CAMPBELL, C.L. & MADDEN, L. V. 1990. *Introduction to plant disease epidemiology*. J. Wiley & Sons.
- CAPUCHO, A.S.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H.S.S.; PARREIRA, D.F.; FERREIRA, P.A.; LANZA, F.E.; COSTA, R.V.; CASELA, C.R. & COTA, L.V. 2010. Influence of leaf position that correspond to whole plant severity and diagrammatic scale for white spot of corn. *Crop Protection* 29:1015-1020.
- COOK, R.T.A.; INMAN A.J. & BILLINGS C. 1997. Identification and classification of powdery mildew anamorphs using light and scanning electron microscopy and host range data. *Mycological Research* 101:975-1002.
- CORRELL, J.C.; GORDON, T.R. & ELLIOTT, V.J. 1988. Powdery mildew of tomato: the effect of planting date and triadimefon on disease onset, progress, incidence and severity. *Phytopathology* 78:512–519.

- DIVER, S.; KUEPPER, G. & BORN, H. 1999. Organic tomato production. *In*: Horticultural Production Guide. ATTRA. Fayetteville – Arkansas. p.1-21.
- DRINKWATER, L.E.; LETOURNEAU, D.K.; WORKNEH, F.; VAN BRUGGEN, A.H.C. & SHENNAN, C. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications* 5:1098-1112.
- ELAD, Y.; MESSIKA, Y.; BRAND, M.; RAV DAVID, D. & SZTEJNBERG, A. 2007. Effect of microclimate on *Leveillula taurica* powdery mildew of sweet pepper. *Phytopathology* 97:813-824.
- GLAWE, D. A. 2008. The powdery mildews: a review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 46:27-51.
- GODOY, C.V.; KOGA, L.J. & CANTERI, M.G. 2006. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira* 31:63-68.
- GUZMÁN-PLAZOLA, R. A.; DAVIS, R. M. & MAROIS, J. J. 2003. Effects of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Crop Protection* 22:1157-1168.
- GUZMÁN-PLAZOLA, R.A.; FAJARDO-FRANCO, M.L. & COFFEY, M.D. 2011. Control of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*) in the Comarca Lagunera, Coahuila State, Mexico, supported by the spray forecast model Tomato.PM. *Crop Protection* 30:1006-1014.
- HORSFALL, J.G. & BARRATT, R.W. 1945. An improved grading system for measuring plant diseases. *Phytopathology* 35:655.
- JAMES W.C. 1971. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. *Canadian Plant Disease Survey* 51:39-65.
- JONES, W.B. & THOMSON, S.V. 1987. Source of inoculum, yield and quality of tomato as affected by *Leveillula taurica*. *Plant Disease* 71:266-268.
- JONES, J.B.; JONES, J.P.; STALL, R.E. & ZITTER, T.A. 1991. *Compendium of Tomato Diseases*. APS Press.
- KASSELAKI A.M.; SHAW, M.W.; MALATHRAKIS, N.E. & HARALAMBOUS, J. 2006. Control of *Leveillula taurica* in tomato by *Acremonium alternatum* is by induction of resistance not hyperparasitism. *European Journal of Plant Pathology* 115:263–267.
- KISS, L.; COOK, R.T.A.; SAENZ, G.S.; CUNNINGTON, J.H.; TAKAMATSU, S.; PASCOE, I.; BARDIN, M.; NICOT, P.C.; SATO, Y. & ROSSMAN, A.Y. 2001. Identification of two powdery mildew, *Oidium neolycopersici* sp. nov. and *Oidium lycopersici*, infecting tomato in different parts of the world. *Mycological Research* 105:684–697.

- KONSTANTINIDOU-DOLTSINIS, S.; MARKELLOU, E.; KASSELAKI, A. M.; FANOURLAKI, M. N.; KOUMAKI, C. M.; SCHMITT, A.; LIOPA-TSAKALIDIS, A. & MALATHRAKIS, N. E. 2006. Efficacy of Milsana, a formulated plant extract from *Reynoutria sachalinensis*, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*). *BioControl* 51:375-392.
- KRANZ, J. Measuring plant disease. 1988. *In*: Kranz, J. & Rotem, J. (Eds.) *Experimental techniques in plant disease epidemiology*. Springer. Berlin. p.35-50.
- KUNOH, H., KOHNO, M., TASHIRO, S. & ISHIKAZI, H. 1979. Studies of the powdery mildew fungus, *Leveillula taurica*, on green pepper. II. Light and electron microscopic observation of the infection process. *Canadian Journal of Botany* 57:2501–2508.
- NITA, M.; ELLIS, M. A. & MADDEN, L. V. 2003. Reliability and accuracy of visual estimation of *Phomopsis* leaf blight of strawberry. *Phytopathology* 93:995–1005.
- NUTTER JR, F.W.; GLEASON, M.L.; JENCO, J.H. & CHRISTIANS, N.C. 1993. Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. *Phytopathology* 83:806-812.
- NUTTER JR, F.W. & SCHULTZ, P.M. 1995. Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. *Canadian Journal of Plant Pathology* 17:174-184.
- PEDROSO, C.; LAGE, D.A.C.; HENZ, G.P. & CAFÉ-FILHO, A.C. 2011. Development and validation of a diagrammatic scale for estimation of anthracnose on sweet pepper fruits for epidemiological studies. *Journal of Plant Pathology* 93:219-225.
- REIS, A.; BOITEUX L.S.; PAZ-LIMA, M.L.; SILVA, P.P. & LOPES, C.A. 2005. New hosts of *Oidiopsis haplophylli* in the Solanaceae family in Brazil. *Fitopatologia Brasileira* 30:195-198.
- REIS, A.; BOITEUX, L. S. & PAZ-LIMA, M. L. 2007. Powdery mildew of ornamental species caused by *Oidiopsis haplophylli* in Brazil. *Summa Phytopathologica* 33:405-408.
- SHERWOOD, R. T.; BERG, C. C.; HOOVER, M. R. & ZEIDERS, K. E. 1983. Illusions in visual assessment of *Stagonospora* Leaf Spot of orchardgrass. *Phytopathology* 73:173–177.
- SMITH, P.M.; LAST, F. T.; KEMPTON, R. J. & GISBORNE, J. H. 1969. Tomato leaf mold: its assessment and effects on yield. *Annals of Applied Biology* 63:19-26.
- SUTTON, T.B. & JONES, A.L. 1979. Analysis of factors affecting dispersal of *Podosphaera leucotricha* conidia. *Phytopathology* 69:380-383.
- VALE, F.X.R.; FERNANDES FILHO, E.I. & LIBERATO, J.R. 2003. A software plant disease severity assessment. *In*: *Annals of XVIII INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY*. Christchurch. New Zealand. p.105 (Abstract).

Tabela 1. Intercepto (a), coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) das regressões lineares para a severidade estimada em função da severidade real do oídio (*Leveillula taurica*) em folíolos e folhas de tomateiro, com base em 16 avaliadores (com e sem experiência na quantificação de doenças) com e sem utilização de escala diagramática.

Avaliador	Folíolo						Folha					
	sem escala			com escala			sem escala			com escala		
	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
Inexperientes												
A	7,22*	1,62**	0,80	3,33	0,87	0,75	4,26*	0,81**	0,76	1,97	0,93	0,88
B	-1,15	1,19*	0,79	-0,30	0,90	0,90	1,09	0,68**	0,87	-1,28	0,95	0,88
C	7,26*	0,99	0,62	6,67*	0,91	0,73	5,64*	0,93	0,81	-0,43	0,94	0,90
D	3,41	1,12	0,71	2,15	0,95	0,80	8,79**	1,01	0,79	0,65	0,93	0,89
E	10,47*	1,20	0,56	7,33*	1,04	0,74	7,39**	1,18*	0,82	5,76*	1,05	0,82
F	-1,14	0,72*	0,53	5,19*	0,83	0,70	10,88**	0,63**	0,65	8,31**	0,76**	0,79
G	9,43*	1,24	0,69	-0,69	1,15	0,82	7,09	1,62**	0,75	2,52	1,01	0,81
H	11,78**	1,17	0,62	4,23*	0,95	0,85	6,22**	1,19*	0,86	-0,46	1,01	0,86
Média	5,91	1,16	0,67	3,49	0,95	0,79	6,42*	1,01	0,79	2,13	0,95	0,85
Experientes												
I	0,02	0,96	0,67	0,01	0,96	0,87	6,82**	1,05	0,83	3,95**	0,86**	0,94
J	2,72	0,82**	0,81	-0,16	0,88*	0,91	4,83**	0,79**	0,81	-1,49	0,88*	0,89
K	-2,72	1,01	0,75	-1,07	0,98	0,85	-5,79**	0,96	0,87	-2,72*	0,92	0,93
L	1,25	0,70**	0,62	-0,08	0,83*	0,76	2,71	0,76**	0,65	-0,97	0,86*	0,87
M	-1,87	0,83	0,70	0,27	0,90	0,82	-1,31	0,92	0,82	-2,82	0,94	0,89
N	1,67	1,06	0,65	0,53	0,90	0,89	-1,57	0,84*	0,78	-3,38*	0,92	0,90
O	-2,15	0,85	0,58	3,80	0,97	0,78	7,21**	0,85	0,72	3,69*	0,87*	0,87
P	-5,43	1,07	0,75	-1,05	1,05	0,83	2,69	0,86	0,76	1,90	0,93	0,82
Média	-0,81	0,91	0,69	0,28	0,93	0,84	3,05	0,88	0,78	-0,23	0,90	0,89

*Hipótese de nulidade ($a=0$ ou $b=1$) rejeitada pelo teste-t ($p<0,05$); **Hipótese de nulidade ($a=0$ ou $b=1$) rejeitada pelo teste-t ($p<0,01$).

Tabela 2. Reprodutibilidade das estimativas da severidade de oídio em folíolos e folhas de tomateiro, representado pela frequência dos coeficientes de determinação (R^2) das equações de regressão linear simples entre estimativas dos avaliadores, inexperientes e experientes, com e sem auxílio das escalas diagramáticas.

Valor de R2	Folíolo		Folha	
	Frequência (%)*		Frequência (%)*	
	Sem escala	Com escala	Sem escala	Com escala
Inexperientes				
0,60-0,69	14,3	0,0	0,0	0,0
0,70-0,79	21,4	0,0	3,6	0,0
0,80-0,89	64,3	50,0	82,1	50,0
0,90-1,00	0,0	50,0	14,3	50,0
Média de R2	0,80	0,89	0,86	0,89
Experientes				
0,60-0,69	0,0	0,0	0,0	0,0
0,70-0,79	14,3	0,0	28,6	0,0
0,80-0,89	66,7	47,6	50,0	17,9
0,90-1,00	19,0	52,4	21,4	82,1
Média de R2	0,86	0,89	0,84	0,91

*Calculado considerando o número de ocorrências do intervalo em relação ao total de 28 possíveis combinações aos pares entre 8 avaliadores dentro de cada grupo (inexperientes e experientes).

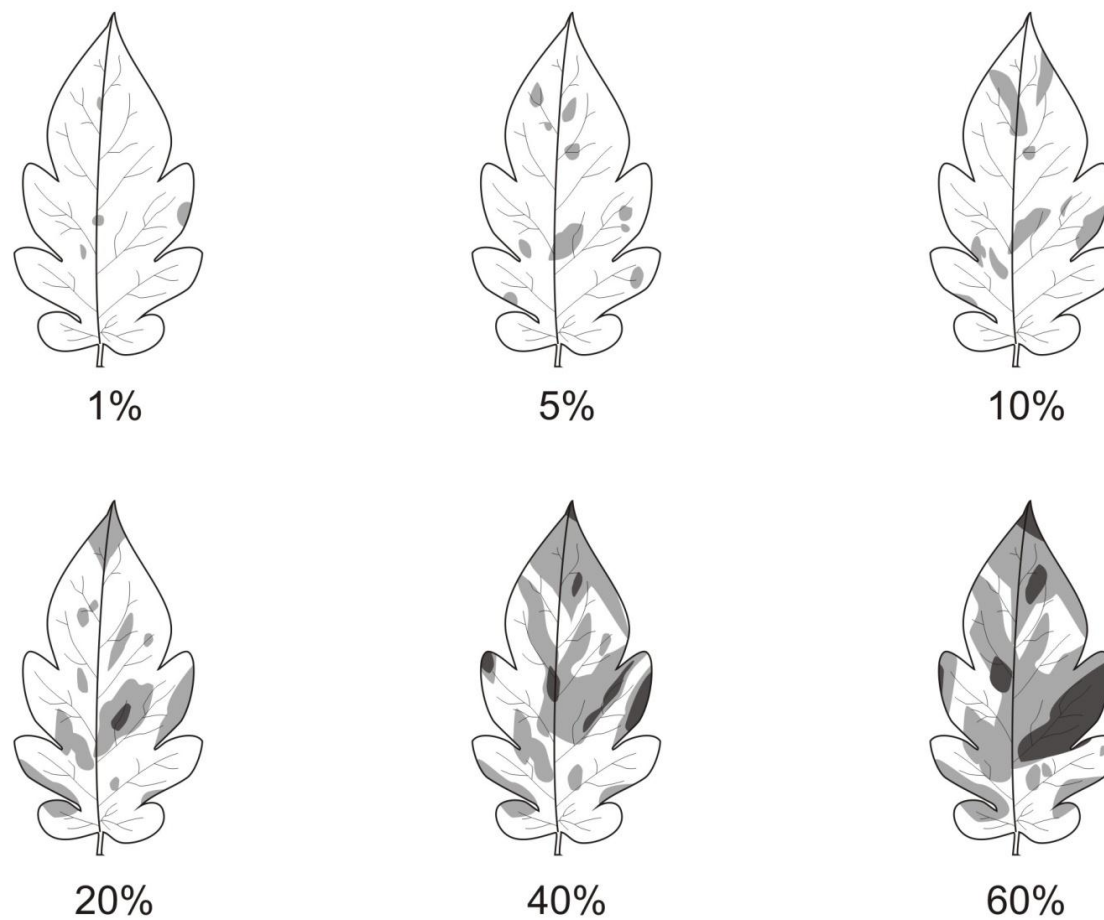


Figura 1. Escala diagramática para avaliação da severidade de oídio causado por *Leveillula taurica* em folíolos de tomateiro. Áreas cinza claro representam áreas cloróticas/amarelecidas e áreas cinza escuro representam áreas foliares necrosadas.

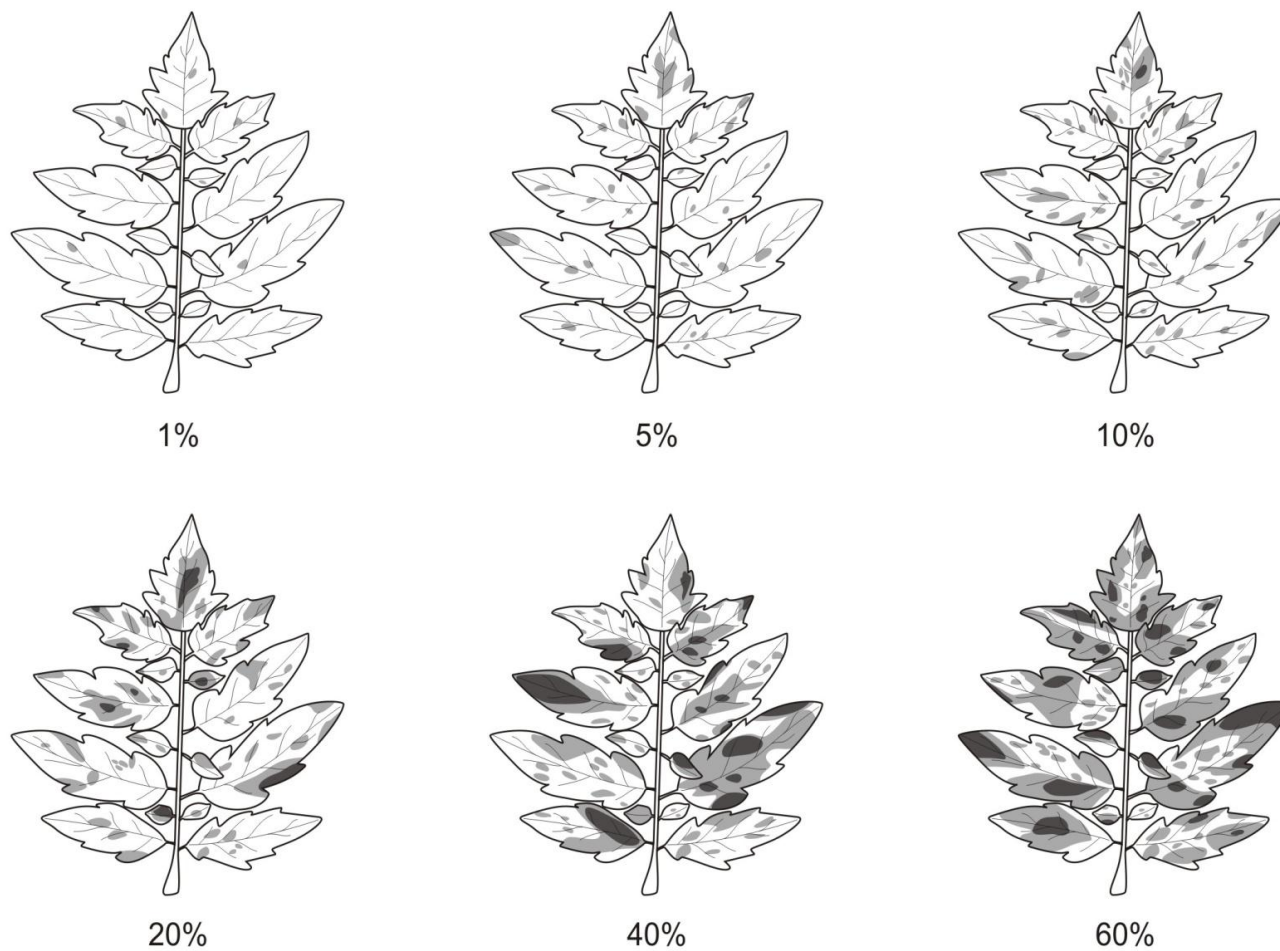


Figura 2. Escala diagramática para avaliação da severidade de oídio causado por *Leveillula taurica* em folhas de tomateiro. Áreas cinza claro representam áreas cloróticas/amarelecidas e áreas cinza escuro representam áreas foliares necrosadas.

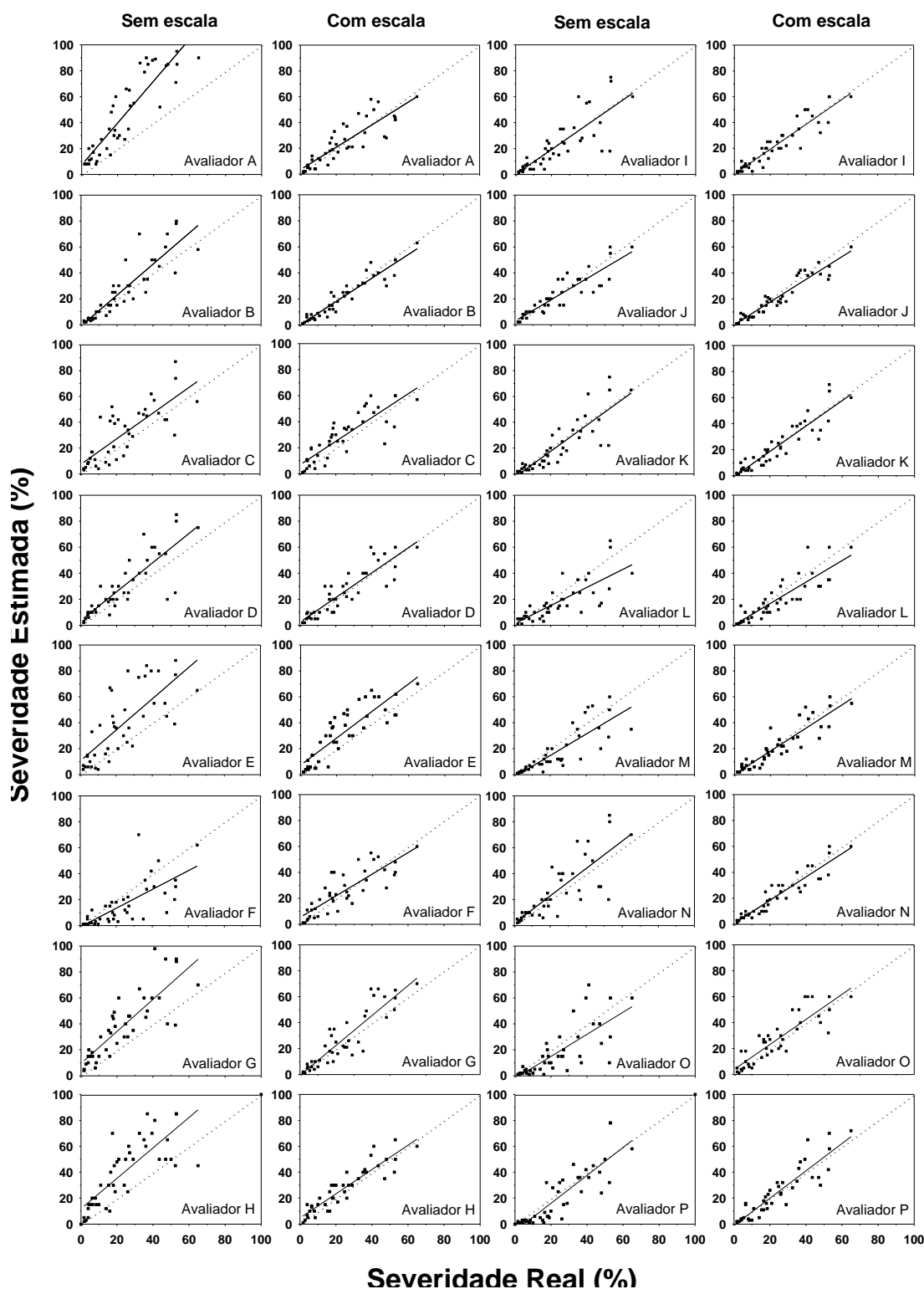


Figura 3. Estimativas de severidade de oídio (*Leveillula taurica*) em folíolos de tomateiro por avaliadores inexperientes (A a H) e experientes (I a P), sem e com auxílio da escala diagramática. As linhas pontilhadas constituem a situação ideal com estimativas equivalentes à severidade real. As linhas cheias representam as regressões obtidas entre a severidade real e a estimada.

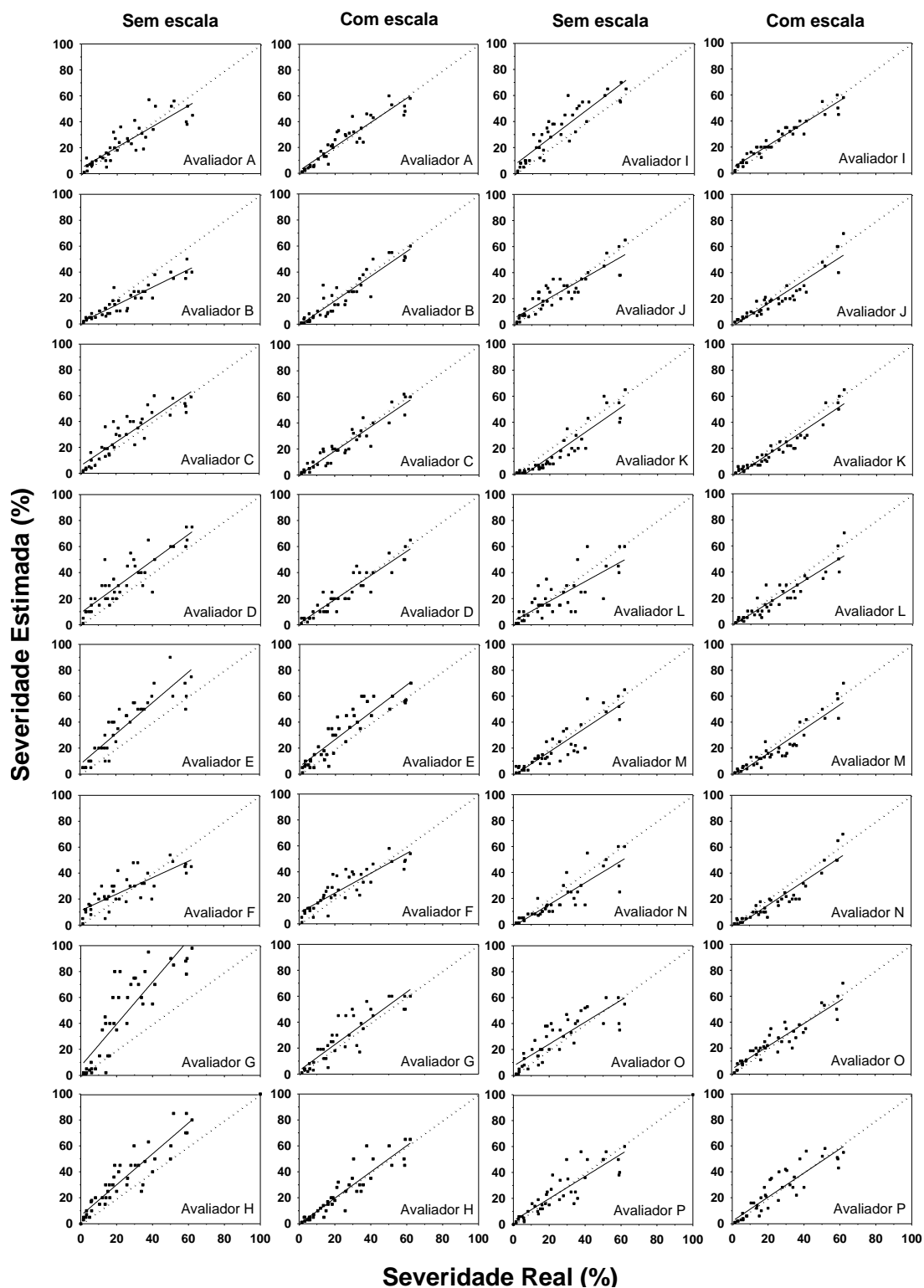


Figura 4. Estimativas de severidade de oídio (*Leveillula taurica*) em folhas de tomateiro por avaliadores inexperientes (A a H) e experientes (I a P), sem e com auxílio da escala diagramática. As linhas pontilhadas constituem a situação ideal com estimativas equivalentes à severidade real. As linhas cheias representam as regressões obtidas entre a severidade real e a estimada.

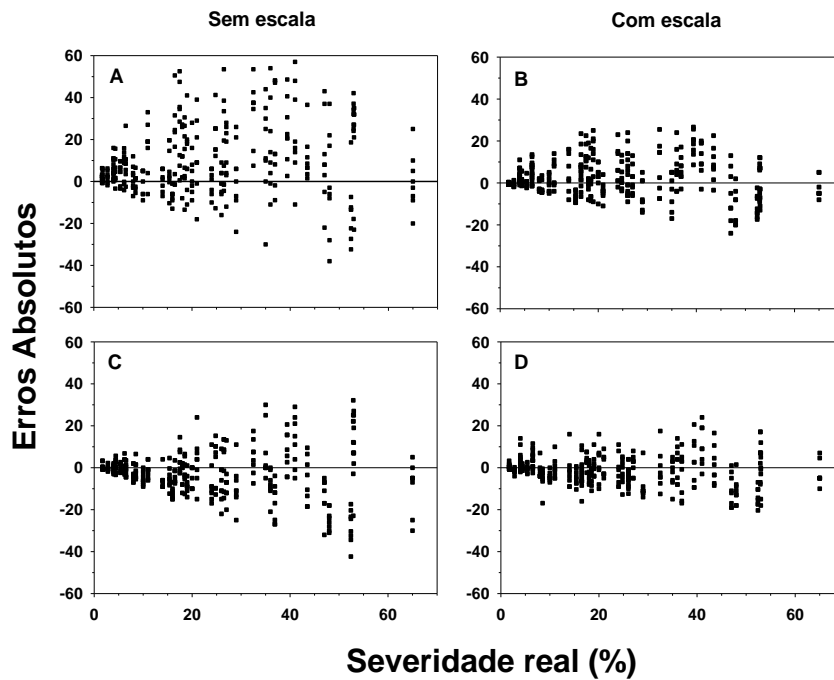


Figura 5. Erros absolutos (diferença entre a severidade estimada e a real) de avaliadores inexperientes (A,B) e experientes (C,D), em avaliação sem e com auxílio da escala diagramática de oídio (*Leveillula taurica*) em folíolos de tomateiro. Pontos representam as 42 estimativas de cada avaliador dentro dos grupos inexperientes e experientes.

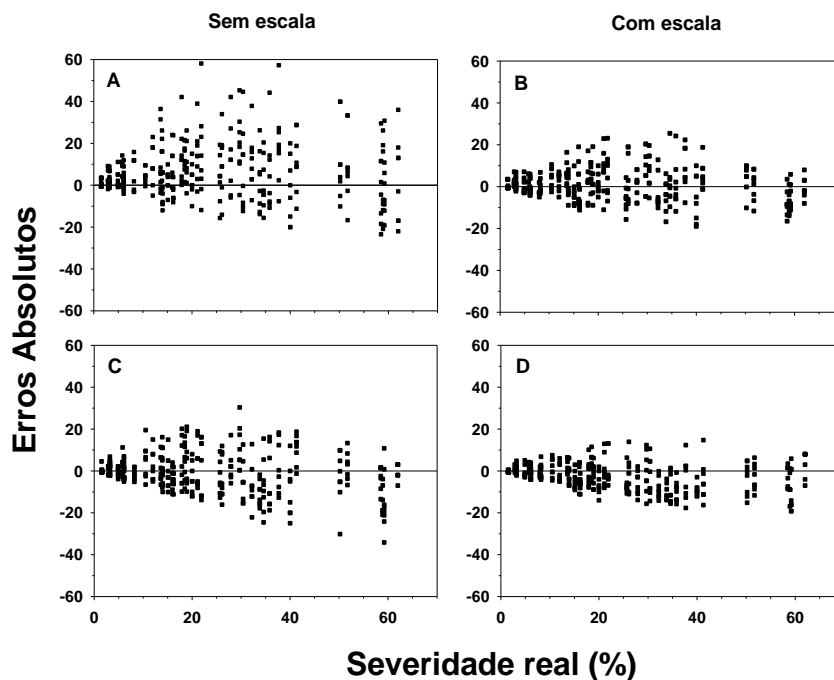


Figura 6. Erros absolutos (diferença entre a severidade estimada e a real) de avaliadores inexperientes (A,B) e experientes (C,D), em avaliação sem e com auxílio da escala diagramática de oídio (*Leveillula taurica*) em folhas de tomateiro. Pontos representam as 42 estimativas de cada avaliador dentro dos grupos inexperientes e experientes.

CAPÍTULO 2

**EPIDEMIOLOGIA DO OÍDIO EM TOMATEIRO ORGÂNICO EM DIFERENTES
SISTEMAS E ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO**

EPIDEMIOLOGIA DO OÍDIO EM TOMATEIRO ORGÂNICO EM DIFERENTES SISTEMAS E ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO

RESUMO

O inverno na região dos Cerrados é caracterizado por um clima seco e elevada amplitude térmica. Essa condição é desfavorável ao desenvolvimento da grande maioria das doenças fúngicas e bacterianas do tomateiro. Um eficiente manejo da água de irrigação neste período pode permitir a obtenção de elevadas produtividades e menores problemas fitossanitários, o que se torna uma excelente oportunidade para o desenvolvimento da produção orgânica. O objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica de epidemias de oídio (*Leveillula taurica*) em tomateiro orgânico, manejado em diferentes sistemas e estratégias de irrigação, nas condições edafoclimáticas de inverno do Brasil Central. Nos anos de 2009 e 2010, foram instalados, na área de cultivo orgânico da Embrapa Hortaliças (Brasília, DF), experimentos em blocos ao acaso com doze tratamentos, três repetições e cem plantas por parcela. Foram avaliados os seguintes sistemas: gotejamento com uma linha lateral (GO_{1L}) ou duas linhas laterais (GO_{2L}) por fileira de plantas; gotejamento com uma linha lateral com “mulch” plástico (GO_M) ou “mulch” orgânico de palhada de milho (GO_P); sulco (SU); microaspersão subcopa (MI); e aspersão convencional acima do dossel (AS). Para o manejo da irrigação foram adotadas duas estratégias, com base na tensão de água do solo, designadas como umidade elevada (tensão matricial de 15-30 kPa) e moderada (tensão matricial de 30-60 kPa). Os sistemas SU e GO_P foram manejados apenas com umidade moderada. A severidade da doença foi avaliada semanalmente e o modelo de progresso temporal do tipo Gompertz foi ajustado aos dados obtidos. Foram comparadas as seguintes variáveis epidemiológicas: severidade da doença na metade do curso da epidemia (Y₅₀), severidade máxima (Y_{máx}), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e taxa de progresso (r). Os tratamentos irrigados por gotejamento e por sulco apresentaram as maiores médias para todas as variáveis epidemiológicas avaliadas, enquanto os sistemas de irrigação por aspersão convencional as menores, promovendo o controle do oídio. A intensidade da doença no sistema de microaspersão com umidade elevada situou-se em nível intermediário, entre ASP e GO/SU, para todas as variáveis epidemiológicas. Em 2011, aos sistemas GO_{1L}, GO_{2L}, GO_M, SU, MI e AS foram adicionados os seguintes novos sistemas: microaspersão acima do dossel (MA) e dois sistemas combinados de gotejamento com microaspersão acima do dossel, sendo um

irrigado por alternância de sistemas (GM_A) e o outro em que a microaspersão visou apenas o controle de oídio (GM_C). As regas nos sistemas GO_{1L} , GO_{2L} , GO_M , GM_A e GM_C foram realizadas com umidade elevada, enquanto o sistema SU com umidade moderada. Os sistemas MI, MA e AS foram manejados com umidades elevada e moderada, totalizando doze tratamentos. Os sistemas MA e GM_C apresentaram baixos índices de doença e agruparam aos sistemas irrigados por aspersão convencional. Com base nos resultados conjuntos de três anos de ensaios de campo, constatou-se que o controle do oídio foi promovido pelos tratamentos que molharam completamente a parte aérea do tomateiro, independente do tamanho das gotas geradas ou pressão de trabalho por cada sistema.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, *Leveillula taurica*, *Oidiopsis haplophylli*, epidemiologia, agricultura orgânica.

Epidemiology of powdery mildew in organic tomatoes under different irrigation systems and irrigation strategies

ABSTRACT

Winter in the Brazilian Cerrado is characterized by dry weather and large daily thermal ranges. These conditions are generally unfavorable for the development of most fungal or bacterial diseases of tomato. Thus, the efficient management of irrigation during the winter may lead to high tomato yields and fewer phytosanitary problems, opening an excellent opportunity for the organic cropping system. We studied the temporal dynamics of powdery mildew (*Leveillula taurica*) in organic tomato crops, under different irrigation systems and water amounts. In 2009 and 2010, experiments were conducted in the organic field area of Embrapa - Vegetable Crops (Brasília, DF), in randomized complete blocks, with twelve treatments and three replicates, with one hundred plants per plot. The following systems were evaluated: drip irrigation, with one lateral plastic tape line (GO_{1L}) or two tape lines (GO_{2L}) per line of plants; drip irrigation, with one lateral tape line and plastic (GO_M) or straw (GO_P) mulch; furrow irrigation (SU); low-pressure, small droplet, microsprinkler irrigation, below plant canopy (MI); and conventional (above plant canopy) overhead irrigation (AS). Based on the soil water tensions, two irrigation managements were combined with most systems named above: high soil moisture (15-30 kPa) and moderate soil moisture (30-60 kPa). Two treatments (SU and GO_P) were managed in moderate soil moisture only. Powdery mildew severity was measured weekly and the Gompertz disease progress model was fit to disease data. Several epidemiological variables such as the disease severities at half of the epidemic course (Y_{50}), the maximum disease severities (Y_{max}), the areas under disease progress curves (AUDPC) and the apparent disease progress rates (r) were obtained for each treatment, from the model analysis. Treatments irrigated by drip or furrow irrigation presented highest values for all disease variables, while the conventional overhead irrigation system promoted the best powdery mildew control. Microsprinkler systems, at the high moisture management level, resulted in intermediate disease levels, between SU/GO and ASP. In 2011, two additional systems were added to treatments GO_{1L}, GO_{2L}, GO_M, SU, MI and AS: microsprinkler above plant canopy (MA) and two systems combining drip and microsprinkler irrigation above plant canopy, one irrigated by alternation between systems (GM_A) and the other in which the microsprinkler was aimed only at powdery mildew control (GM_C). Irrigations in GO_{1L}, GO_{2L},

GO_M, GM_A and GM_C were done only at the high soil moisture, while SU was irrigated only at the moderate soil water level in 2011. Systems MI, MA and AS were managed at both high and moderate soil moisture, amounting to a total of twelve treatments. Disease levels observed in plots irrigated with the above-canopy microsprinkler systems (MA and GM_C) were lower than in the GO/SU treatments, and generally not different of the disease levels observed in the AS plots. The result of three years of field studies jointly indicate that efficient control of tomato powdery mildew was promoted by irrigation systems that wet plant canopy, irrespective of the size of the water droplets or system working pressure.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Leveillula taurica*, *Oidiopsis haplophylli*, epidemiology, organic agriculture.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura orgânica é um sistema de produção que objetiva a otimização do uso de recursos naturais por meio de práticas sustentáveis, que harmonizem o ambiente, de modo a reduzir, por exemplo, problemas com pragas e doenças (Van Bruggen, 1995; Diver *et al.*, 1999). Este sistema tende a minimizar a dependência de insumos externos à propriedade, não permitindo o uso de fertilizantes químicos, defensivos sintéticos e reguladores de crescimento, garantindo assim, a produção de alimentos mais saudáveis e livres de resíduos químicos (Stanhill, 1990). Acompanhando a demanda crescente do mercado interno e mundial por alimentos livres de agrotóxicos e produzidos em ambientes sustentáveis, as hortaliças são, provavelmente, o principal grupo de plantas que vem merecendo atenção de pesquisadores em todo o mundo com vistas a adaptar e aprimorar o sistema de produção orgânico.

A cultura do tomate (*Solanum lycopersicum*) é um grande desafio para a produção orgânica, devido à grande suscetibilidade dessa cultura a diversas doenças (Jones, 1991; Souza 2003; Bettiol *et al.*, 2004). Estima-se que 15% dos custos de produção de tomate no sistema convencional são atribuídos ao uso de fungicidas (Lopes & Ávila, 2005). Dentro da concepção da agricultura orgânica, o produtor deve conviver com essas doenças e manejar o sistema produtivo de modo a desfavorecê-las. Nesse sentido, a utilização de práticas culturais que aumentem a biodiversidade do ambiente e minimizem o impacto das doenças torna-se imprescindível (Diver *et al.*, 1999).

A irrigação é uma das práticas culturais com maior impacto na produtividade, na qualidade de frutos e na ocorrência de doenças no tomateiro (Rotem & Palti, 1969; Lopes *et al.*, 2006). A frequência entre irrigações, a quantidade de água aplicada por irrigação e a forma com que a água é aplicada às plantas interferem substancialmente na disseminação e na sobrevivência de patógenos e no processo de colonização e infecção da hospedeira, afetando, portanto, a intensidade de doenças na planta (Lopes *et al.*, 2006).

Na região dos Cerrados, o período de inverno é caracterizado por um clima seco de elevada amplitude térmica. Essa condição é desfavorável ao desenvolvimento da grande maioria das doenças fúngicas e bacterianas do tomateiro, o que se tornou uma excelente oportunidade para o desenvolvimento da agricultura orgânica na região. No entanto, o oídio, causado pelo fungo *Leveillula taurica* (Lév.) Arnaud (anamorfo, *Oidiopsis haplophylli* Rulamort), vem se tornando frequente problema durante esta estação de cultivo, sendo cada

vez mais comuns severas epidemias da doença em condições de campo (Ghini *et al.*, 2008). A doença é favorecida em ambientes secos, com umidade relativa do ar entre 50 e 70% e temperaturas entre 20 e 25°C (Palti, 1988; Guzman-Plazola *et al.*, 2003). Diferentemente da maioria dos oídios, *Oidiopsis haplophylli* penetra diretamente pela epiderme ou pelos estômatos, preferencialmente em folhas adultas, desenvolvendo micélio subepidérmico. Os conídios são formados em conidióforos emergidos dos estômatos, dos quais são disseminados pelo vento (Kunoh *et al.*, 1979; Palti, 1988; Glawe, 2008). Em condições favoráveis, as perdas estimadas para este patógeno podem chegar a 31% da produção (Jones & Thomson, 1987).

Existem alguns estudos acerca do efeito da irrigação sobre oídios em diferentes culturas (Yarwood, 1949; Ruppel *et al.*, 1975; Coelho *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2000). Em tomateiro, uma das principais referências é da década de 60, trabalho conduzido com *L. taurica* e tomateiros irrigados por aspersão e sulco (Rotem & Cohen, 1966). Contudo, poucos são os estudos que buscam quantificar e compreender a dinâmica do componente temporal das epidemias em relação ao sistema e ao manejo de irrigação adotado, especialmente sob cultivo orgânico. Tais informações estão completamente ausentes para o Cerrado do Brasil Central, região que inclui as principais áreas produtoras de tomate no Brasil.

Assim, este trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica de epidemias de oídio em tomateiro orgânico manejado em diferentes sistemas e estratégias de irrigação, nas condições edafoclimáticas de inverno do Brasil Central.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Estudos de campo foram conduzidos ao longo de três anos na Área de Pesquisa e Produção Orgânica de Hortaliças, localizada na Embrapa Hortaliças, Distrito Federal (latitude 15° 56', longitude 48° 08', altitude 997 m), entre maio e outubro, período tipicamente caracterizado por ausência de chuvas e um clima de inverno seco. O solo da área experimental foi classificado como latossolo vermelho distrófico típico, fase cerrado, textura argilosa e capacidade de retenção de água de 1,2 mm cm⁻¹.

2.1. Ensaios de 2009 e de 2010

Foram avaliadas as seguintes configurações de sistemas de irrigação: gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas (GO_{1L}); gotejamento com duas linhas laterais por

fileira de planta (GO_{2L}); gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto (GO_M); gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de palhada de milho (GO_P); sulco (SU); microaspersão “subcopa” com uma linha lateral entre fileiras de plantas (MI); e aspersão convencional acima do dossel (AS). Com exceção dos sistemas SU e GO_P, a irrigação foi manejada considerando-se dois níveis de água no solo: tensão matricial limite de 15-30 kPa (umidade elevada); e tensão matricial limite de 30-60 kPa (umidade moderada). Os sistemas SU e GO_P somente foram avaliados para o nível moderado de água no solo.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com doze tratamentos e três repetições. Cada parcela experimental, com 50 m², foi constituída de cinco fileiras de plantas com 10 m de comprimento, totalizando cem plantas. Ao redor do experimento foram cultivadas bordaduras de crotalária (*Crotalaria juncea*), sorgo-forrageiro (*Sorghum bicolor*), flor-de-mel (*Tithonia diversifolia*) e capim-elefante (*Panicum maximum*), visando aumentar a diversidade biológica no sistema produtivo e criar uma barreira física em torno da área experimental.

A adubação em pré-plantio foi realizada com 2.500 g de composto orgânico (1,5% de N, 4,0% de P₂O₅; 2,0% de K₂O; 6,3% de Ca; 1,0% de Mg; 0,7% de S; 0,02% de Zn; 0,02% de Cu; 0,07% de Mn e 0,01% de B) e 250 g de termofosfato magnésiano (17% de P₂O₅; 7% Mg; 20% Ca) por metro linear de fileira de plantas.

As mudas do cultivar Duradoro (2009) e Pérola (2010), ambas do grupo Santa Cruz, suscetíveis ao oídio, foram transplantadas com 30 dias na segunda semana de maio. Foi adotado o sistema de fileira simples com espaçamento de 1,0 m x 0,5 m. As plantas foram tutoradas na vertical, com o uso de fitilho, e conduzidas com uma haste, sendo podadas com 1,7 m de altura. As desbrotas foram realizadas semanalmente e as capinas a cada duas semanas. Aos 40, 70 e 100 dias após o plantio foram feitas adubações de cobertura, cada qual com 500 g de composto orgânico (2,4% de N, 5,8% de P₂O₅; 2,6% de K₂O; 7,5% de Ca; 2,3% de Mg) por metro linear de fileira de plantas.

Seguindo as práticas adotadas pelos produtores orgânicos na região, foram realizadas, em cada ano, duas pulverizações com calda bordalesa, na concentração de 0,5%, durante os primeiros 30 dias após o transplante e quatro outras, na concentração de 2,0%, após este período. Durante a condução dos experimentos foram realizadas cinco pulverizações com óleo emulsionável de nim (2 mL L⁻¹ de água) e três com *Bacillus thuringiensis* Berl. subsp. *kurstaki* (1,5 mL L⁻¹), ambos inseticidas naturais registrados no Brasil para uso em agricultura

orgânica. Uma pulverização com calda sulfocálcica na concentração de 0,5% foi realizada aos 110 dias após o plantio.

2.2. Ensaio de 2011

Em 2011, alguns tratamentos avaliados nos anos de 2009 e 2010 foram substituídos visando compreender melhor o efeito da aplicação de água sobre o dossel do tomateiro e a consequente redução do progresso epidêmico do oídio. Para isto, foram avaliadas as seguintes configurações de sistemas de irrigação: gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas (GO_{1L}); gotejamento com duas linhas laterais por fileira de plantas (GO_{2L}); gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto (GO_M); sulco (SU); microaspersão “subcopa” (MI); microaspersão acima do dossel (MA); aspersão convencional acima do dossel (AS); e dois sistemas combinados de microaspersão acima do dossel com gotejamento em duas linhas laterais por fileira de planta, sendo um irrigado por alternância de sistemas (GM_A) e o outro manejado para controle de oídio (GM_C) de acordo com o monitoramento das condições climáticas. A combinação entre os dois sistemas visou aproveitar a vantagem dos dois sistemas: a) redução do molhamento foliar proporcionada pelo gotejamento, que desfavorece o estabelecimento de outras doenças na cultura, principalmente nos primeiros dias de cultivo nas condições deste experimento, ou durante períodos de longa ocorrência de orvalho; e b) controle do oídio a partir da água aspergida sobre o dossel. No tratamento GM_A , cada irrigação foi realizada de forma alternada entre os sistemas de microaspersão acima do dossel e de gotejamento. Em GM_C , utilizou-se a irrigação por gotejamento até o surgimento dos primeiros focos do oídio, quando o tratamento passou a ser irrigado apenas por microaspersão até o final do ciclo. As regas nos sistemas GO_{1L} , GO_{2L} , GO_M , GM_A e GM_C foram realizadas com umidade elevada no solo (tensão matricial de 15-30 kPa), enquanto no sistema SU com umidade moderada (tensão matricial de 30/60 kPa). Os sistemas MI, MA e AS foram manejados com umidades elevada e moderada.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com doze tratamentos e três repetições. O experimento foi conduzido exatamente com descrito nos anos de 2009 e 2010, sendo utilizadas mudas do cultivar Pérola.

2.3. Sistemas e manejo da água de irrigação

Nas parcelas experimentais irrigadas por gotejamento foram usados tubos gotejadores com emissores espaçados a cada 0,20 m, pressão de serviço de 100 kPa e vazão de 1,4 L h⁻¹.

As linhas de gotejadores foram inicialmente posicionadas em torno de 0,05 m da fileira de plantas e posteriormente a 0,15 m. No tratamento irrigado por sulco, a distribuição de água foi feita com tubos de PVC, tendo sido utilizado um sulco, com declividade de 0,5%, por fileira de plantas. O controle do volume de água aplicado em cada parcela foi realizado com hidrômetro e registro na entrada de cada sulco. Microaspersores do tipo difusor, com aplicação de água para baixo, bocal de 1,4 mm, pressão de serviço de 100 kPa, espaçamento triangular de 1,0 m x 1,0 m e intensidade de aplicação de 70,0 mm h⁻¹ foram utilizados nos tratamentos irrigados por microaspersão “subcopa”. Nesta configuração, os microaspersores molharam 100% da superfície do solo e apenas os primeiros 0,25 m da altura das plantas. Para os tratamentos irrigados por microaspersão acima do dossel foram utilizados microaspersores do tipo bailarina, com aplicação de água para cima, bocal de 1,4 mm, pressão de serviço de 150 kPa, espaçamento de 2,0 m x 2,0 m e intensidade de aplicação de 16,5 mm h⁻¹, com 100% de molhamento da área. Nas parcelas irrigadas por aspersão convencional acima do dossel vegetativo foram utilizados aspersores de impacto com bocais de 5 mm x 8 mm, espaçados de 18 m x 12 m, pressão de serviço de 250 kPa e intensidade de aplicação de 23,5 mm h⁻¹. Os aspersores foram inicialmente instalados a 0,4 m de altura e, posteriormente, elevados para 1,9 m, sempre acima do dossel do tomateiro.

O tamanho das gotas de água na irrigação por aspersão e microaspersão foi determinado, de forma qualitativa, com base no grau de pulverização do jato (G_d), conforme proposto por Raposo (1994), utilizando-se a expressão $G_d = 0,1P_s/d$, em que P_s é a pressão de serviço do aspersor (kPa) e “d” o diâmetro do maior bocal (mm). Com base no valor de G_d , têm-se as seguintes classes de tamanho: muito grande (< 3), grande (3-4), médio (4-5), pequeno (5-6) e muito pequeno (> 6). Assim, as gotas geradas em ambos os sistemas por microaspersão foram de tamanho muito pequeno, enquanto as aplicadas por aspersão convencional foram de tamanho grande.

As irrigações em cada tratamento foram realizadas a todo o momento em que a tensão de água no solo, avaliada entre 40% e 50% da profundidade radicular efetiva, atingia as tensões-limite preestabelecidas, ou seja, 15-30 kPa (umidade elevada) ou 30-60 kPa (umidade moderada). As menores tensões-limite, dentro de cada estratégia de manejo, foram consideradas durante o estágio de frutificação do tomateiro, que é o mais sensível ao déficit de água no solo (Marouelli & Silva, 2007). O monitoramento da tensão foi realizado por tensiômetros instalados em cada uma das parcelas experimentais. As irrigações foram realizadas preferencialmente pela manhã e as lâminas de água aplicadas visavam retornar o

solo a sua condição de capacidade de campo até a camada de solo correspondente à profundidade radicular efetiva (Marouelli *et al.*, 2011b).

2.4. Quantificação da doença, monitoramento do microclima e produtividade

O oídio manifestou-se por infecção natural nas plantas dos experimentos e a quantificação da doença foi realizada semanalmente, a partir do surgimento dos primeiros sintomas. As avaliações foram feitas em quatorze plantas localizadas na fileira central de cada parcela experimental. A severidade da doença foi estimada com auxílio de escala diagramática de folhas desenvolvida por Lage *et al.* (2012). Foram avaliados os terços inferiores, médios e superiores de cada planta e estimada a severidade por planta. A partir das notas de severidade da doença atribuídas ao longo das avaliações, determinou-se a severidade na metade do curso temporal da epidemia (Y_{50}), a severidade ao final da epidemia (Y_{max}) e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), conforme proposto por Shaner & Finney (1977).

Para a análise do progresso temporal das epidemias, os dados foram ajustados aos principais modelos de progresso de doença, por meio de regressão linear, sendo selecionado o modelo de Gompertz. Na seleção do modelo considerou-se o tipo de curva obtida, os maiores valores de coeficiente de determinação ajustado (R^{*2}) e a independência e homogeneidade de resíduos (Madden *et al.*, 2007). A partir do modelo de regressão ajustado, foram estimados os valores de taxa de progresso da doença (r) em cada tratamento.

Para avaliação do microclima, sensores de temperatura do ar, de umidade relativa (UR) do ar e de molhamento foliar foram instalados na linha de plantio, a 0,30 m da superfície do solo, no centro de cada parcela do segundo bloco experimental. Os dados foram armazenados, a cada 30 min, em coletores automáticos (Logger WatchDog, modelo 1000, Spectrum Technologies). Aos 60 dias, os sensores foram elevados a 0,60 m de altura, acompanhando o desenvolvimento das plantas e foram mantidos nesta condição até o final do experimento (Guzmán-Plazola *et al.*, 2011). Os dados de molhamento foliar foram registrados apenas para os ensaios de 2010 e de 2011. A precipitação na área experimental foi medida em um pluviômetro tipo Ville de Paris.

As colheitas foram conduzidas semanalmente e os frutos foram colhidos no estágio verde-maduro.

2.5. Análise dos dados

Os dados de Y_{50} , $Y_{m\acute{a}x}$, AACPD e produtividade foram testados quanto à normalidade e à homogeneidade do erro experimental. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para comparação de médias. As estimativas das taxas de progresso da doença (r) entre os tratamentos foram comparadas por meio do intervalo de confiança a 95% de probabilidade (Madden *et al.*, 2007; Diniz *et al.*, 2006). O software SAS System, versão 9.0, foi utilizado para as análises.

3. RESULTADOS

3.1. Ensaios de 2009 e 2010

Ao longo do ciclo do tomateiro, considerando os dois primeiros anos de ensaio, as lâminas totais de água aplicadas e o número total de irrigações realizadas entre os diferentes tratamentos variaram de 240 a 575 mm (2009) e de 268 a 642 mm (2010) e de 20 a 40 (2009) e de 19 a 36 (2010) irrigações (Tabela 1), respectivamente. Para um mesmo sistema de irrigação, maiores lâminas e maior número de irrigações ocorreram nos tratamentos manejados com umidade elevada (15-30 kPa) e foram menores naqueles manejados com umidade moderada (30-60 kPa), como esperado. Enquanto no tratamento irrigado por aspersão convencional com umidade elevada foram realizadas de 32 a 40 irrigações e aplicados de 524 a 581 mm de água, na aspersão com umidade moderada foram realizadas de 20 a 25 irrigações e aplicadas lâminas entre 428 e 526 mm. No sistema por sulco foram aplicados de 575 a 642 mm entre 18 e 21 irrigações. Lâminas de irrigação entre 240 e 355 mm foram aplicadas nos sistemas por gotejamento. Lâminas de irrigação entre 255 e 352 e entre 426 e 547 mm foram aplicadas nos sistemas por gotejamento e por microaspersão subcopa, respectivamente.

Não foram verificadas variações consistentes nos dados de temperatura e UR do ar (2009 e 2010), no interior do dossel vegetativo do tomateiro e na duração do período de molhamento foliar (2010), que explicassem as diferenças observadas nas epidemias de oídio em cada tratamento (dados não mostrados). As médias dos dados obtidos em todos os tratamentos estão apresentados de forma gráfica nas figuras 1 e 2. Com base nos dados obtidos ao longo do período de condução dos experimentos, foi possível confirmar a ausência de chuvas e a elevada amplitude térmica e de UR do ar que caracterizam a região dos Cerrados nos meses de maio a outubro. A precipitação quantificada durante os 142 dias de cultivo em 2009 totalizou 221 mm. Desse total, 137 mm foram registrados durante os últimos

12 dias do ciclo do tomateiro, portanto, com frutos em estágio final de amadurecimento. Em 2010, foram 150 dias de cultivo, com 84 mm de chuvas apenas nos últimos 20 dias de condução do experimento.

As curvas de progresso da doença obtidas nos ensaios de 2009 e de 2010 foram muito semelhantes e revelaram dinâmicas temporais distintas entre os sistemas de irrigação que promovem o molhamento da parte aérea da cultura e aqueles sistemas que aplicam a água diretamente no solo (Figuras 4 e 5). Em 2009, todos os tratamentos irrigados por gotejamento, assim como os sistemas por sulco e por microaspersão “subcopa” com umidade moderada apresentaram os maiores valores de severidade máxima ($Y_{m\acute{a}x}$ acima de 40%), Y_{50} (acima de 18%), taxa de progresso e AACPD (Tabela 2). A intensidade da doença nestes sistemas de irrigação foi bem elevada atingindo $Y_{m\acute{a}x}$ de 52,9% para o sistema por microaspersão “subcopa” com umidade moderada. Os sistemas de aspersão convencional com umidade elevada e moderada apresentaram baixos valores de doença, sem diferenças significativas quanto às variáveis Y_{50} , $Y_{m\acute{a}x}$ e AACPD, com destaque para os valores de $Y_{m\acute{a}x}$ abaixo de 4%. As epidemias foram mais severas no ano de 2010. Contudo, o mesmo comportamento foi verificado na relação sistema de irrigação e desenvolvimento de oídio (Figura 5 e Tabela 2), com valores de severidade superiores aos observados em 2009 para todos os tratamentos. Em 2010, os maiores valores de $Y_{m\acute{a}x}$ variaram de 87,2 a 95,7% e os menores, de 7,1 a 12,6%.

Os tratamentos irrigados por microaspersão “subcopa” apresentaram, nos dois ensaios, diferenças quanto à severidade do oídio. Observou-se que o tratamento manejado com umidade elevada foi significativamente diferente daquele manejado com umidade moderada para todas as variáveis epidemiológicas avaliadas. No sistema por microaspersão “subcopa” com umidade elevada aplicaram-se lâminas de irrigação maiores e em menores intervalos de tempo em relação àquele com umidade moderada (Tabela 1).

Quanto à produtividade para o ano de 2009, verificaram-se médias variando entre 64 e 100 Mg ha⁻¹ (Tabela 2). A maior produtividade foi obtida no tratamento irrigado por sulco, o qual não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, exceto do tratamento irrigado por gotejamento GO_{IL} com umidade moderada. No ano de 2010, a produtividade variou de 78 a 156 Mg ha⁻¹ (Tabela 2). Foi observada apenas diferença significativa entre o sistema de aspersão convencional com umidade elevada e sistema de gotejamento GO_M com umidade elevada. As perdas médias de produção verificadas em ambos os períodos mantiveram-se em torno de 33%, não foram significativamente diferentes entre os tratamentos e se deveram,

principalmente, aos danos causados por insetos, podridões, rachaduras, escaldadura por sol e defeitos em geral.

3.2. Ensaio de 2011

Considerando todos os tratamentos, foram realizadas de 31 a 61 irrigações e fornecidas lâminas totais de água à cultura de 378 mm a 889 mm (Tabela 3). As menores lâminas de água (378 mm a 505 mm) foram aplicadas nos tratamentos irrigados por gotejamento. A maior lâmina de irrigação foi aplicada no tratamento irrigado por sulco com 889 mm, enquanto nos demais tratamentos as lâminas totais aplicadas variaram de 620 a 760 mm. Com relação ao nível de umidade no solo, maiores lâminas e menores intervalos entre irrigações foram conduzidos nos tratamentos com maior nível de água no solo (umidade elevada). A precipitação total no decorrer dos 154 dias de cultivo foi de apenas 17 mm. Assim como nos demais anos não foi possível verificar variações de temperatura, de UR do ar e de molhamento foliar entre os tratamentos. Neste ano, porém, constatou-se um número maior de horas de molhamento foliar em todos os tratamentos em relação ao observado em 2010.

Os resultados de 2011 corroboram com aqueles obtidos em 2009 e em 2010, nos quais os tratamentos irrigados por microaspersão com umidade moderada, por sulco e todos aqueles por gotejamento apresentaram as maiores severidades da doença, enquanto ambos os tratamentos por aspersão convencional, as menores (Figura 6 e Tabela 4). Os sistemas de microaspersão “subcopa” com umidade elevada e moderada também se diferenciaram quanto ao manejo do nível de água no solo para as variáveis epidemiológicas AACPD, Y_{50} , $Y_{máx}$, assim como nos anos anteriores. Observou-se um atraso no desenvolvimento da epidemia quando as plantas foram irrigadas por microaspersão subcopa com umidade elevada. Os tratamentos irrigados por microaspersão acima do dossel, mesmo gerando gotas de tamanho consideravelmente inferior aos sistemas de aspersão convencional, não se diferenciaram destes em nenhuma das variáveis epidemiológicas avaliadas, mantendo a doença abaixo de 17% de severidade máxima. Os sistemas combinados de gotejamento e microaspersão acima do dossel (GM_A e GM_C) foram significativamente distintos entre si, sendo que o sistema GM_C apresentou menores valores para todas as variáveis avaliadas, não diferindo dos resultados obtidos nos sistemas de aspersão convencional e microaspersão acima do dossel do tomateiro, independente da estratégia de irrigação baseada no nível de água no solo.

A maior produtividade média foi obtida no sistema combinado de gotejamento e microaspersão acima do dossel GM_C (150,1 Mg ha⁻¹ – Tabela 4), que diferiu apenas do

sistema de aspersão com umidade moderada (128,1 Mg ha⁻¹) e dos tratamentos irrigados por gotejamento (de 114,6 a 128,0 Mg ha⁻¹).

4. DISCUSSÃO

O comportamento epidemiológico de uma doença, quando se interagem um patógeno virulento e um hospedeiro suscetível, depende, essencialmente, das condições do ambiente. *Leveillula taurica* é considerado um importante patógeno na cultura do tomateiro em condições de ambiente seco, com UR do ar entre 50% e 70% e temperaturas entre 20°C e 25°C (Palti, 1988; Guzmán-Plazola *et al.*, 2003). Nos três anos de ensaio, condições ótimas de UR e temperatura do ar para o desenvolvimento do oídio foram registradas ao longo de todo o ciclo de cultivo do tomateiro. Apesar das elevadas amplitudes térmicas e de UR do ar ao longo do dia, a doença progrediu rapidamente no tempo. As condições climáticas foram favoráveis ao oídio durante a noite e o dia, com médias diárias de UR e temperatura do ar que ficaram dentro dos parâmetros ideais de desenvolvimento da doença.

As maiores severidades médias foram obtidas no ano de 2010, período no qual se registou as menores UR do ar dentre os três anos de ensaio. O número de horas de molhamento foliar neste período foi consideravelmente menor ao observado em 2011, independentemente do tratamento. Em 2009, não foram instalados sensores de molhamento foliar, porém os registros de UR e de temperatura do ar foram muito semelhantes aos observados em 2011, inclusive as severidades médias do oídio obtidas em cada tratamento. A maior UR do ar e, conseqüentemente, a maior presença de água livre na superfície foliar do tomateiro nos ensaios conduzidos em 2009 e 2011 pode ter contribuído para a menor taxa de infecção (Yamaoka & Takeuchi, 1999), uma vez que o fungo necessita de 50% a 85% de UR do ar para que ocorra a germinação de conídios (Guzmán-Plazola *et al.*, 2003; Elad *et al.*, 2007). A presença de água livre estimula a ocorrência de outras doenças de etiologia fúngica e bacteriana, proporcionando um cenário mais competitivo ao oídio, que em condições de baixa UR do ar habita um nicho praticamente exclusivo à sua infecção (Aust & Hoyningen-Huene, 1986). A provável maior taxa de infecção em 2010 deve ter contribuído para a maior intensidade da doença, também constatada nas maiores taxas de progresso de doença.

Oidiopsis haplophylli é responsável pela fase epidêmica do oídio abordado neste estudo. Em condições de estação seca e sem a ocorrência significativa de chuva, condições verificadas nos três anos de condução do presente estudo, os tratamentos de irrigação

avaliados tiveram efeito altamente significativo sobre a severidade e a taxa de progresso do oídio. Apesar das condições ambientais favoráveis à infecção e ao progresso da doença em todos os tratamentos, observaram-se severas epidemias de oídio em tomateiros irrigados por gotejamento e por sulco, nos quais a água de irrigação é aplicada diretamente sobre a superfície do solo, sem haver molhamento foliar. As menores severidades ocorreram em ambos os níveis de irrigação nos tratamentos por aspersão convencional, nos quais toda a parte aérea das plantas foi molhada a cada evento de irrigação.

Não se encontrou variações microclimáticas diárias superiores ao erro instrumental que explicassem as diferenças epidêmicas entre os tratamentos. As diferenças significativas de severidade da doença constatadas entre os diferentes tratamentos de irrigação devem-se, portanto, à forma como a água foi aplicada às plantas e à biologia de *O. haplophylli*. A menor intensidade de doença nas plantas irrigadas por aspersão convencional se deve ao efeito negativo que a água aplicada no dossel exerce sobre o fungo. Quando depositado sobre a superfície da folha, o conídio germina e penetra diretamente pela superfície ou pelo estômato produzindo micélio endofítico. Ao contrário de *Phytophthora infestans*, *Alternaria solani*, *Septoria lycopersici* entre outros patógenos fúngicos, *O. haplophylli* não necessita de água livre na superfície da folha para que ocorra a germinação do conídio (Lopez & Rivera, 1991). Em condições de ambiente seco, a germinação de conídios de *Erysiphe graminis*, por exemplo, ocorre em duas etapas: a primeira depende da quantidade de água presente dentro do conídio, que permite o início do processo de germinação e formação do tubo germinativo primário na ausência de água livre sobre a superfície foliar; a segunda etapa consiste na absorção de água do tecido do hospedeiro pelo tubo germinativo primário, permitindo a formação do apressório e o início da infecção (Carver & Bushnell, 1983).

O fator a ser considerado durante o processo no qual a água presente na folha se correlaciona negativamente com o aumento das taxas de infecção é a adesão dos conídios na superfície foliar. Após a dispersão, os conídios devem aderir ao tecido do hospedeiro para que posteriormente seja desencadeado o processo de germinação, produção de apressório e, finalmente, infecção. Yamaoka & Takeuchi (1999) estudaram estas etapas do ciclo de *Erysiphe graminis* em coleóptilos de cevada e mostraram que a superfície do coleóptilo é naturalmente hidrofóbica permitindo a melhor adesão de conídios do fungo, o que proporciona elevadas taxas de germinação de conídios e de formação de apressórios morfolologicamente normais. No entanto, quando a superfície se torna hidrofílica, devido à imersão prévia dos tecidos em água por 20 minutos, a adesão de conídios é fraca e em menor

quantidade, comprometendo a germinação e a infecção. Estes autores notaram que conídios que germinam em superfícies hidrofílicas apresentam maior frequência de apressórios anormais, os quais apresentam menor capacidade de infecção. A cutícula é responsável pela característica hidrofóbica da superfície do coleóptilo assim como das folhas de cevada (Green *et al.*, 2002). Quando a adesão do conídio à superfície do hospedeiro é forte, o que ocorre em condições hidrofóbicas, um complexo enzimático de cutinases, pré-existente no conídio, inicia a degradação da cutícula, garantindo a adesão e o início do processo de germinação (Nicholson & Kunoh, 1995; Carver, *et al.*, 1999).

A água da irrigação por aspersão, portanto, assim como a chuva, pode tornar a superfície foliar hidrofílica à adesão de conídios do fungo. Adicionalmente, a água de irrigação pode agir mecanicamente reduzindo o número de conídios presentes em conidióforos e/ou sobre a superfície foliar, o que também reduz a taxa de infecção e, conseqüentemente, a severidade da doença (Sivapalan, 1993). Aumentando-se a frequência de irrigação, maior será a remoção dos conídios que se formam ao longo do tempo. Assim, a irrigação por aspersão convencional proporciona uma lavagem das folhas do tomateiro, tornando-as hidrofílicas, promovendo a redução de inóculo do fungo e da taxa de infecção dos tecidos, o que contribuiu para o controle da doença. A relação inversa entre lâmina de irrigação e severidade de oídios epifíticos (gênero *Erysiphe* e *Sphaerotheca*) já foi demonstrada em outros hospedeiros, como por exemplo, abóbora e ervilha (Coelho *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2000). No entanto, pouco se conhecia acerca do efeito da irrigação sobre oídios com hábito de crescimento endofítico, como *Leveillula*.

No caso específico dos tratamentos irrigados por aspersão convencional, com gotas de água classificadas como de tamanho grande, a energia resultante do impacto das gotas contra a superfície da planta é muito maior do que nos tratamentos irrigados por microaspersão acima do dossel, com gotas de tamanho muito pequeno. Segundo Gregory *et al.* (1959) e Hirst & Stedman (1963), gotas de maior diâmetro se fracionam em gotas menores ao atingir as plantas, carregando em seu interior conídios presentes nas lesões impactadas pelas gotas. Conseqüentemente, as maiores gotas de água aspergidas sobre as plantas nos tratamentos por aspersão convencional deveriam ter maior capacidade de desalojar os conídios do fungo e maior eficácia na lavagem das folhas, promovendo maior controle do oídio. No entanto, as gotas muito pequenas aplicadas sobre as plantas irrigadas por microaspersão produziram efeito semelhante no controle do oídio às gotas grandes geradas na aspersão convencional. Assim, no caso de oídios com hábito de crescimento endofítico, como *L. taurica*, parece não

ser o tamanho da gota que promove redução de epidemias de oídio em lavouras de tomate irrigadas por aspersão acima do dossel, mas provavelmente a frequência e o tempo de irrigação ou de lavagem das folhas.

Nos tratamentos irrigados por gotejamento e por sulco, o efeito de lavagem dos conídios pela água de irrigação é suprimido e a doença encontra condições ideais para se desenvolver. É importante ressaltar ao se utilizar estes sistemas de irrigação, que a persistência da calda bordalesa aplicada, por exemplo, é maior do que quando se irriga por aspersão (Fife & Nokes, 2002; Hunsche *et al.*, 2007), na qual a remoção de resíduos de cobre pode chegar a 30% (Duarte, 2008). Apesar disto, o oídio foi mais severo nos sistemas por gotejamento e por sulco quando comparados com a aspersão e a microaspersão acima do dossel. O efeito protetor do cobre não parece ser muito eficiente para o controle de *L. taurica* em tomateiro, como mostrado por Cerkauskas *et al.* (2011) em pimentão.

Um efeito interessante foi observado nos tratamentos irrigados por microaspersão “subcopa”. Aqueles manejados com umidade moderada apresentaram severidade equivalente aos sistemas por gotejamento e por sulco. Entretanto, o manejo com umidade elevada (irrigações mais frequentes) apresentou menor severidade, em nível intermediário ao observado entre os tratamentos aspersão convencional/microaspersão acima do dossel e gotejamento/sulco. No sistema de irrigação por microaspersão “subcopa” ocorre a lavagem das folhas baixas localizadas até 0,25 m de altura do solo. Estas folhas também são as primeiras a se tornarem mais favoráveis, fenologicamente, à infecção do patógeno, pois as folhas adultas são mais suscetíveis à infecção do que as folhas mais jovens (Coelho *et al.*, 2000; Souza & Café Filho, 2003). Sendo assim, a maior frequência de irrigação verificada para a microaspersão “subcopa” com umidade elevada resultou em um atraso de duas semanas na epidemia, por meio da redução de inóculo inicial nas folhas baixas. Quando o sistema foi manejado com umidade moderada, a menor frequência de irrigação não desfavoreceu a doença.

Os sistemas combinados de irrigação por gotejamento e por microaspersão acima do dossel do tomateiro (GM_A e GM_C) visavam aproveitar a vantagem dos dois sistemas de irrigação. Os resultados evidenciaram a maior eficiência do tratamento GM_C, que promoveu um excelente controle do oídio, semelhante ao verificado nos sistemas por aspersão convencional. No tratamento GM_C, as plantas foram irrigadas por microaspersão acima do dossel quando as condições climáticas se tornaram favoráveis ao desenvolvimento do oídio, o que ocorreu aos 92 dias após o transplante das mudas, momento em que surgiram os primeiros

sintomas da doença. Como o tamanho da gota aspergida sobre as plantas não foi significativo para o controle da doença, a combinação de sistemas de irrigação por gotejamento com sistemas por aspersão convencional poderia ser utilizada nos campos de cultivo como alternativa viável tecnicamente. Com base nos resultados apresentados, a combinação desses sistemas de irrigação torna-se também uma boa opção para estudos de epidemiologia, sistemas de previsão e manejo de doenças em sistemas orgânicos e convencionais de produção em diferentes condições ambientais. A escolha de se irrigar por gotejamento ou por aspersão acima do dossel, quando se dispõe dos dois sistemas de irrigação, deve considerar o estágio fenológico e o nível de resistência da planta, as condições ambientais e a prevalência de doenças em cada região. Os resultados obtidos para os demais tratamentos no ensaio de 2011, por repetirem aqueles observados em 2009 e 2010, validam os efeitos dos sistemas de irrigação combinados sobre o controle do oídio.

As diferentes configurações avaliadas de sistemas de irrigação por gotejamento, incluindo-se número de linhas laterais por fileira de plantas e tipos de cobertura do solo, não tiveram qualquer efeito sobre o oídio. Por ser um patógeno disperso essencialmente pelo vento (Glawe, 2008), a cobertura do solo não representa fator relevante na epidemiologia da doença, apesar desta prática de cultivo ser muito utilizada em sistemas de produção orgânico e convencional.

Por ser uma doença de ocorrência mais tardia no ciclo da cultura, a correlação entre produtividade e severidade do oídio em tomateiro nem sempre é alta ou significativa (Konstantinidou-Doltsinis *et al.*, 2006), e neste estudo, outros fatores envolvidos podem ter afetado a produção, mascarando as diferenças entre os tratamentos. A produtividade é influenciada não somente pela severidade da doença, mas pela frequência, pela quantidade de água aplicada e pela forma com que a água é aplicada às plantas, o que afeta o volume de solo explorado pelas raízes e a, conseqüente, disponibilização de nutrientes no solo (Rotem & Palti, 1969; Lopes *et al.*, 2006). Em sistemas orgânicos, a disponibilização de nutrientes às plantas é lento e gradativo devido à utilização de fertilizantes de baixa solubilidade, o que limita a absorção de nutrientes e interfere no desenvolvimento das plantas (Marouelli *et al.*, 2011a).

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, verifica-se que os sistemas de irrigação por gotejamento e por sulco favoreceram a epidemia do oídio, enquanto os sistemas por aspersão convencional e microaspersão acima do dossel mostraram-se eficazes, desfavorecendo a infecção do patógeno. O tamanho das gotas de água aspergidas sobre as

plantas não teve efeito sobre a severidade da doença, demonstrando que a frequência e o tempo de irrigação por aspersão são responsáveis pelo controle do oídio. A combinação de sistemas de gotejamento com aspersão pode ser uma alternativa para o manejo de doenças na cultura do tomateiro quando utilizada com base no monitoramento do ambiente de cultivo. Esta estratégia mostrou-se eficiente no controle do oídio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUST, H.J. & HOYNINGEN-HUENE, J.V. 1986. Microclimate in relation to epidemics of powdery mildew. *Annual Review of Phytopathology* 24:491-510.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J.A.H. & SILOTO, R.C. 2004. Organic and conventional tomato cropping systems. *Scientia Agricola* 61:253-259.
- CARVER, T.L.W. & BUSHNELL, W.R. 1983. The probable role of primary germ tubes in water uptake before infection by *Erysiphe graminis*. *Physiological Plant Pathology* 23:229-240.
- CARVER, T.L.W.; KUNOH, H.; THOMAS, B.J. & NICHOLSON, R.L. 1999. Release and visualization of the extracellular matrix of conidia of *Blumeria graminis*. *Mycological Research* 103:547-560.
- CERKAUSKAS, R.F.; FERGUSON, G. & BANIK, M. 2011. Powdery mildew (*Leveillula taurica*) on greenhouse and field peppers in Ontario – host range, cultivar response and disease management strategies. *Canadian Journal of Plant Pathology* 33:485-498.
- COELHO, M.V.S.; CAFE FILHO, A.C.; LOPES, C. A. & MAROUELLI, W. A. 2000. Severidade de oídio em abóbora híbrida sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio. *Fitopatologia Brasileira* 25:157-160.
- DINIZ, L. P.; MAFFIA, L.A.; DHINGRA, O.D.; CASALI, V.W.D.; SANTOS, R.H.S. & MIZUBUTI, E.S.G. 2006. Avaliação de produtos alternativos para o controle da queima do tomateiro. *Fitopatologia Brasileira* 31:171-179.
- DIVER, S.; KUEPPER, G. & BORN, H. 1999. Organic tomato production. *In: Horticultural Production Guide*. ATTRA. Fayetteville – Arkansas. p.1-21.
- DUARTE, A. R. 2008. Remoção de resíduos de fungicidas por meio de chuva simulada e de irrigação em batateira e tomateiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil.
- ELAD, Y.; MESSIKA, Y.; BRAND, M.; DAVID, D.R. & SZTEJNBERG, A. 2007. Effect of microclimate on *Leveillula taurica* powdery mildew of sweet pepper. *Phytopathology* 97:813-824.

- FIFE, J.P. & NOKES, S.E. 2002. Evaluation of the effect of rainfall intensity and duration on the persistence of chlorothalonil on processing tomato foliage. *Crop Protection* 21:733-740.
- GHINI, R.; HAMADA, E. & BETTIOL, W. 2008. Climate change and Plant Diseases. *Scientia Agricola* 65:98-107.
- GLAWE, D. A. 2008. The powdery mildews: a review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 46:27-51.
- GREEN, J.R.; CARVER, T.L.W & GURR, S.J. 2002. The formation and function of infection and feeding structures. *In: BÉLANGER, R.R.; BUSHNELL, W.R.; DIK, A.J. & CARVER, T.L.W. The powdery mildews: a comprehensive treatise. APS Press. Saint Paul. USA. p. 66-82.*
- GREGORY, P.H.; GUTTIERIE, E. & BUNCE, M.E. 1959. Experiments on splash dispersal of fungus spores. *Journal of General Microbiology* 29:328-354.
- GUZMAN-PLAZOLA, R.A.; DAVIS, R.M. & MAROIS, J.J. 2003. Effects of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*). *Crop Protection* 22:1157-1168.
- GUZMAN-PLAZOLA, R.A.; FAJARDO-FRANCO, M.L. & COFFEY, M.D. 2011. Control of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*) in the Comarca Lagunera, Coahuila State, Mexico, supported by the spray forecast model Tomato.PM. *Crop Protection* 30:1006-1014.
- HIRST, J.M. & STEDMAN, O.J. 1963. Dry liberation of fungus spores by rain drops. *Journal of General Microbiology* 33:335-344.
- HUNSCHE, M.; DAMEROW, L.; SCHMITZ-EIBERGER, M. & NOGA, G. 2007. Mancozeb wash-off from apple seedlings by simulated rainfall as affected by drying time of fungicide deposit and rain characteristics. *Crop Protection* 26:768-774.
- JONES, J.B.; JONES, J.P.; STALL, R.E. & ZITTER, T.A. 1991. Compendium of tomato diseases. APS Press. Saint Paul. USA.
- JONES, W.B. & THOMSON, S.V. 1987. Source of inoculum, yield and quality of tomato as affected by *Leveillula taurica*. *Plant Disease* 71:266-268.
- KONSTANTINIDOU-DOLTSINI, S.; MARKELLOU, E.; KASSLAKI, A.M.; FANOURLAKI, M.N.; KOUMAKI, C.M.; SCHIMITT, A.; LIOPA-TSAKALIDIS, A. & MALATHRAKIS, N.E. 2006. Efficacy of Milsana, a formulated plant extract from *Reynoutria sachalinensis*, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*). *BioControl* 51:375-392.
- KUNOH, H.; KOHNO, M.; TASHIRO, S. & ISHIKAZI, H. 1979. Studies of the powdery mildew fungus, *Leveillula taurica*, on green pepper. II. Light and electron microscopic observation of the infection process. *Canadian Journal of Botany* 57:2501-2508.

- LAGE, D.A.C.; MAROUELLI, W.A. & CAFÉ FILHO, A.C. 2012. Diagrammatic scales for evaluation of powdery mildew (*Leveillula taurica*) severity on tomato leaves and leaflets. Em elaboração.
- LOPES, C.A. & ÁVILA, A. C. 2005. Doenças do tomateiro. Embrapa Hortaliças. Brasília.
- LOPES, C.A.; MAROUELLI, W.A. & CAFÉ FILHO, A.C. 2006. Associação da irrigação com doenças de hortaliças. Revisão Anual de Patologia de Plantas 14:151-179.
- LOPEZ, S.E. & RIVERA, M.C. 2001. Biología y patología de los oídios. *In*: STADNIK, M.J. & RIVERA, M.C. (Eds). Oídios. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna. p.59-78.
- MADDEN L.V; HUGHES, G. & VAN DEN BOSCH, F. 2007. The Study of Plant Disease Epidemics. APS Press. Saint Paul. USA.
- MAROUELLI, W.A.; MEDEIROS, M.A.; SOUZA, R.F. & RESENDE, F.V. 2011a. Produção de tomateiro orgânico irrigado por aspersão e gotejamento, em cultivo solteiro e consorciado com coentro. Horticultura Brasileira 29:429-434.
- MAROUELLI, W.A. & SILVA, W.L.C. 2007. Water tension thresholds for processing tomatoes under drip irrigation in Central Brazil. Irrigation Science 25:411-418.
- MAROUELLI, W.A.; OLIVEIRA, A.S.; COELHO, E.F.; NOGUEIRA, L.C. & SOUSA, V.F. 2011b. Manejo da água de irrigação. *In*: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M. & COELHO FILHO, M.A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília. p.157-232.
- NICHOLSON, R.L. & KUNOH, H. 1995. Early interactions, adhesion and establishment of the infection court by *Erysiphe graminis*. Canadian Journal of Botany 73:S609-S615.
- OLIVEIRA, C.A.S.; MAROUELLI, W.A.; SANTOS, J.R.M. & BOITEUX, L.S. 2000. Produção de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* e severidade de oídio em cultivares de ervilha sob diferentes lâminas de água. Horticultura Brasileira 18:16-20.
- PALTI, J. 1988. The *Leveillula* mildews. The Botanical Review 54:423-535.
- RAPOSO, J.R. 1994. A rega por aspersão. 2. ed. Livraria Clássica Editora. Lisboa.
- ROTEM, J. & COHEN, Y. 1966. The relationship between mode of irrigation and severity of tomato foliage diseases in Israel. Plant Disease Reporter 50:635-639.
- ROTEM, J. & PALTI, J. 1969. Irrigation and plant diseases. Annual Review of Phytopathology 7:267-288.
- RUPPEL, E.G.; HILLS, F.J. & MUMFORD, D.I. 1975. Epidemiological observations on the sugar beet powdery mildew epiphytotic in western USA in 1974. Plant Disease Reporter 59:283-286.

- SHANER, G. & FINNEY, R.E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology* 67:1051-1056.
- SIVAPALAN, A. 1993. Effects of impacting rain drops on the growth and development of powdery mildew fungi. *Plant Pathology* 42:256-263.
- SOUZA, J.L. 2003. Tomateiro para mesa em sistema orgânico. *Informe Agropecuário* 24:108-120.
- SOUZA, V.L. & CAFÉ FILHO, A.C. 2003. Resistance to *Leveillula taurica* in the genus *Capsicum*. *Plant Pathology* 52:613-619.
- STANHILL, G. 1990. The comparative productivity of organic agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 30:1-26.
- VAN BRUGGEN, A.H.C. 1995. Plant disease severity in high-input compared to reduced-input and organic farming systems. *Plant Disease* 79:976-984.
- YAMAOKA, N. & TAKEUCHI, Y. 1999. Morphogenesis of the powdery mildew fungus in water (4): the significance of conidium adhesion to the substratum for normal appressorium development in water. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 54:145-154.
- YARWOOD, C. E. 1949. Effect of soil moisture and nutrient concentration on the development of bean powdery mildew. *Phytopathology* 39:780-788.

Tabela 1. Número de irrigações, lâmina de água aplicada e frequência de irrigação ao longo do cultivo do tomateiro, em diferentes configurações de sistema de irrigação. Brasília, 2009 e 2010.

Sistema ¹	Nível de água no solo	2009			2010		
		Nº de irrigações	Lâmina (mm)	Frequência (dias)	Nº de irrigações	Lâmina (mm)	Frequência (dias)
GO _{1L}	Elevado	37	322	3,6	36	339	4,1
GO _{1L}	Moderado	20	255	6,8	27	318	5,5
GO _{2L}	Elevado	31	355	4,4	31	352	4,8
GO _{2L}	Moderado	25	303	5,4	23	334	6,4
GO _M	Elevado	33	335	4,1	27	268	5,5
GO _M	Moderado	27	257	5,0	25	295	5,9
GO _P	Moderado	30	240	4,5	26	282	5,7
SU	Moderado	18	575	7,5	21	642	7,0
MI	Elevado	29	510	4,7	28	547	5,3
MI	Moderado	23	426	5,9	19	520	7,8
AS	Elevado	40	524	3,4	32	581	4,6
AS	Moderado	20	428	6,8	25	526	5,9

¹GO_{1L} – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas; GO_{2L} – gotejamento com duas linhas laterais por fileira de planta; GO_M – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto; GO_P – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de palhada de milho; SU – sulco; MI – microaspersão “subcopa” com uma linha lateral entre fileiras de plantas; e AS – aspersão convencional acima do dossel.

Tabela 2. Severidade máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) e na metade do curso temporal da epidemia (Y_{50}) de oídio (*Leveillula taurica*), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de progresso (r) estimada com o modelo Gompertz e produtividade (PT) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação. Brasília, 2009 e 2010.

Sistema ¹	Nível de água no solo	2009					2010				
		AACPD*	$Y_{m\acute{a}x}$ * (%)	Y_{50} * (%)	r**	PT* (Mg ha ⁻¹)	AACPD*	$Y_{m\acute{a}x}$ * (%)	Y_{50} * (%)	r**	PT* (Mg ha ⁻¹)
GO _{1L}	Elevado	910,1 a	44,4 ab	20,7 ab	0,044 ab	76,1 ab	2609,4 a	92,3 a	33,9 a	0,060 a	85,1 ab
GO _{1L}	Moderado	981,4 a	43,8 ab	22,2 ab	0,043 ab	63,6 b	2582,7 a	91,4 a	35,8 a	0,058 a	106,0 ab
GO _{2L}	Elevado	967,2 a	46,3 ab	20,5 ab	0,045 ab	96,8 a	2583,8 a	92,3 a	33,9 a	0,060 a	121,8 ab
GO _{2L}	Moderado	954,7 a	48,4 a	21,9 ab	0,046 ab	85,2 ab	2661,6 a	95,7 a	35,8 a	0,065 a	82,1 ab
GO _M	Elevado	962,7 a	50,5 a	24,4 a	0,045 ab	98,5 a	2567,2 a	89,7 a	34,7 a	0,056 a	78,3 b
GO _M	Moderado	942,0 a	47,1 ab	22,3 ab	0,045 ab	84,7 ab	2607,0 a	91,4 a	35,8 a	0,057 a	124,0 ab
GO _P	Moderado	797,0 a	37,4 bc	18,4 b	0,041 b	77,6 ab	2661,6 a	94,9 a	36,6 a	0,064 a	102,4 ab
SU	Moderado	916,0 a	42,8 ab	21,2 ab	0,044 ab	100,0 a	2630,8 a	93,2 a	34,7 a	0,061 a	103,6 ab
MI	Elevado	477,6 b	28,3 c	8,9 c	0,034 c	96,5 a	1471,4 c	64,3 b	17,9 b	0,039 b	110,4 ab
MI	Moderado	914,9 a	52,9 a	19,0 b	0,049 a	96,4 a	2260,5 b	87,2 a	30,1 a	0,052 a	121,5 ab
AS	Elevado	32,1 c	1,2 d	0,7 d	0,008 e	95,9 a	147,9 d	7,1 c	1,7 c	0,013 d	156,4 a
AS	Moderado	81,3 c	3,3 d	2,0 d	0,013 d	70,2 ab	308,6 d	12,6 c	3,3 c	0,017 c	144,0 ab
CV(%)		11,7	11,1	11,5	-	11,6	4,7	4,3	9,4	-	22,7

*médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5%

**médias de r seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo o intervalo de confiança, a 95% de probabilidade, da diferença entre as estimativas do parâmetro.

¹GO_{1L} – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas; GO_{2L} – gotejamento com duas linhas laterais por fileira de planta; GO_M – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto; GO_P – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de palhada de milho; SU – sulco; MI – microaspersão “subcopa” com uma linha lateral entre fileiras de plantas; e AS – aspersão convencional acima do dossel.

Tabela 3. Número de irrigações, lâmina de água aplicada e frequência de irrigação ao longo do cultivo do tomateiro, em diferentes configurações de sistema de irrigação. Brasília, 2011.

Sistema	Nível de água no solo	Nº de irrigações	Lâmina (mm)	Frequência (dias)
GO _{1L}	Elevado	60	458	2,6
GO _{2L}	Elevado	61	505	2,5
GO _M	Elevado	52	378	3,0
SU	Moderado	35	889	4,4
MI	Elevado	49	715	3,2
MI	Moderado	33	691	4,7
GM _A	Elevado	55	725	2,8
GM _C	Elevado	55	620	2,8
MA	Elevado	50	760	3,1
MA	Moderado	37	730	4,2
AS	Elevado	49	741	3,2
AS	Moderado	31	684	5,0

¹GO_{1L} – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas; GO_{2L} – gotejamento com duas linhas laterais por fileira de planta; GO_M – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto; SU – sulco; MI – microaspersão “subcopa” com uma linha lateral entre fileiras de plantas; GM_A – combinação de gotejamento com microaspersão acima do dossel irrigado por alternância de sistemas; GM_C – combinação de gotejamento com microaspersão acima do dossel irrigado para controle de oídio; MA – microaspersão acima do dossel; e AS – aspersão convencional acima do dossel.

Tabela 4. Severidade máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) e na metade do curso temporal da epidemia (Y_{50}) de oídio (*Leveillula taurica*), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de progresso (r) estimada com o modelo Gompertz e produtividade (PT) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação. Brasília, 2011.

Sistema	Nível de água no solo	AACPD*	$Y_{m\acute{a}x}$ * (%)	Y_{50} * (%)	r**	PT* (Mg ha ⁻¹)
GO _{1L}	Elevado	1406,8 a	44,9 a	17,0 a	0,030 a	114,6 c
GO _{2L}	Elevado	1342,8 a	43,4 a	15,3 a	0,029 ab	121,7 bc
GO _M	Elevado	1319,5 a	43,4 a	15,8 a	0,029 ab	128,0 bc
SU	Moderado	1383,4 a	44,9 a	15,6 a	0,030 a	137,4 ab
MI	Moderado	1121,5 b	40,4 a	10,3 b	0,028 ab	133,5 abc
MI	Elevado	854,4 c	35,0 b	6,8 cd	0,025 b	137,6 ab
GM _A	Elevado	695,1 d	22,3 c	8,5 cb	0,020 c	136,5 ab
GM _C	Elevado	424,2 e	13,5 d	5,8 de	0,015 d	150,1 a
MA	Elevado	401,8 e	14,7 d	4,7 de	0,017 d	129,4 abc
MA	Moderado	488,8 e	16,8 d	6,6 cde	0,017 cd	136,6 ab
AS	Elevado	370,0 e	12,4 d	4,2 e	0,017 cd	130,4 abc
AS	Moderado	382,9 e	12,9 d	4,4 de	0,017 cd	128,1 bc
CV(%)		5,6	6,5	9,5	-	7,3

*médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5%.

**médias de r seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo o intervalo de confiança, a 95% de probabilidade, da diferença entre as estimativas do parâmetro.

¹GO_{1L} – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas; GO_{2L} – gotejamento com duas linhas laterais por fileira de planta; GO_M – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto; SU – sulco; MI – microaspersão “subcopa” com uma linha lateral entre fileiras de plantas; GM_A – combinação de gotejamento com microaspersão acima do dossel irrigado por alternância de sistemas; GM_C – combinação de gotejamento com microaspersão acima do dossel irrigado para controle de oídio; MA – microaspersão acima do dossel; e AS – aspersão convencional acima do dossel.

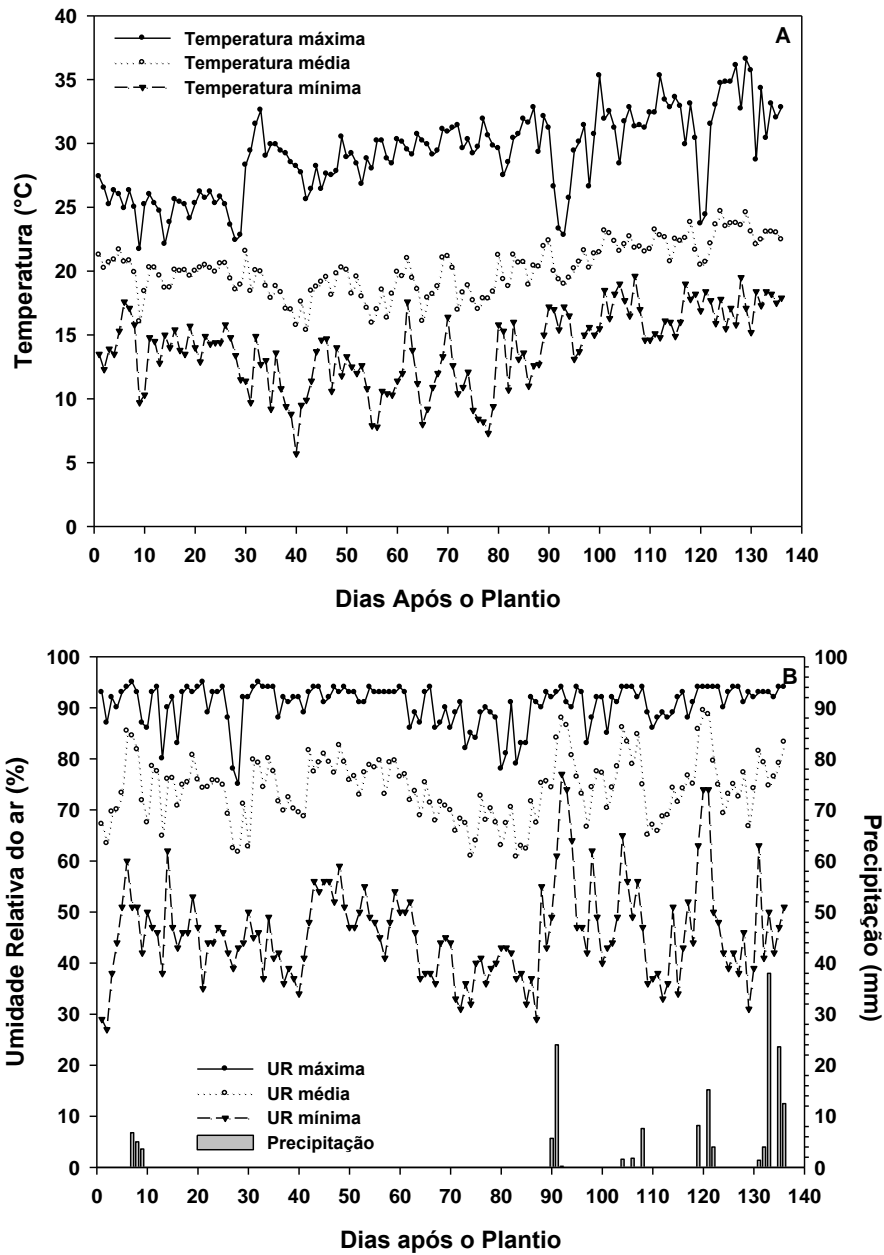


Figura 1. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias. Brasília, 2009.

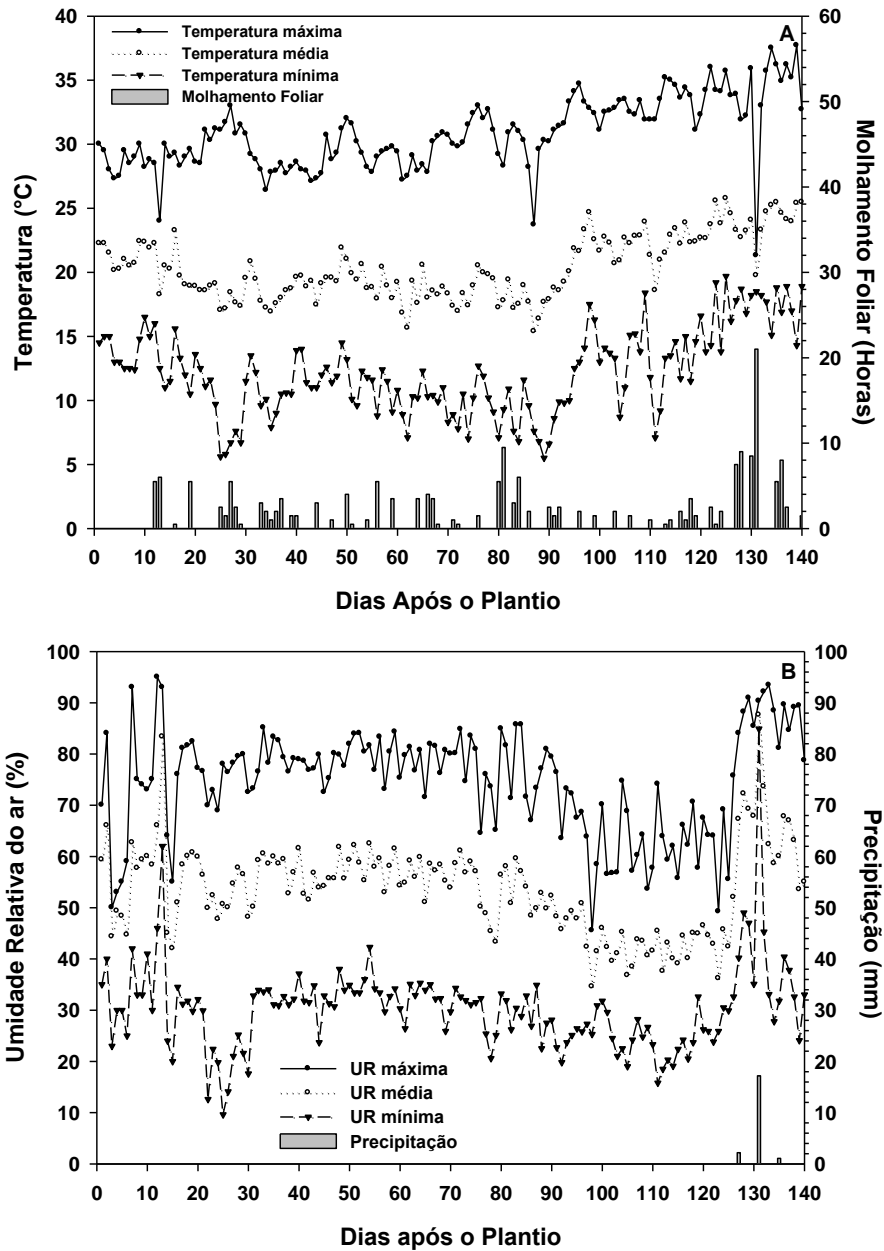


Figura 2. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Molhamento foliar e temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias. Brasília, 2010.

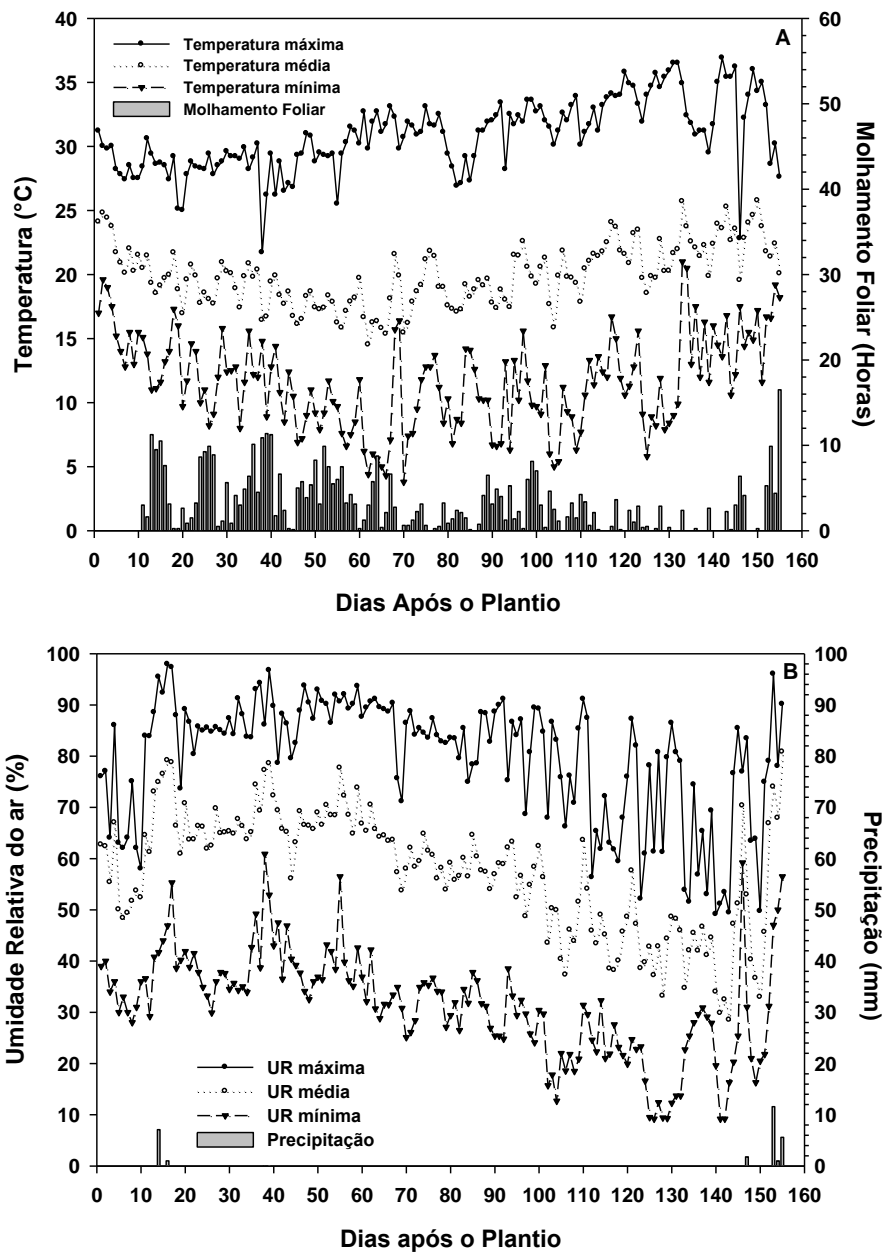


Figura 3. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Molhamento foliar e temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias. Brasília, 2011.

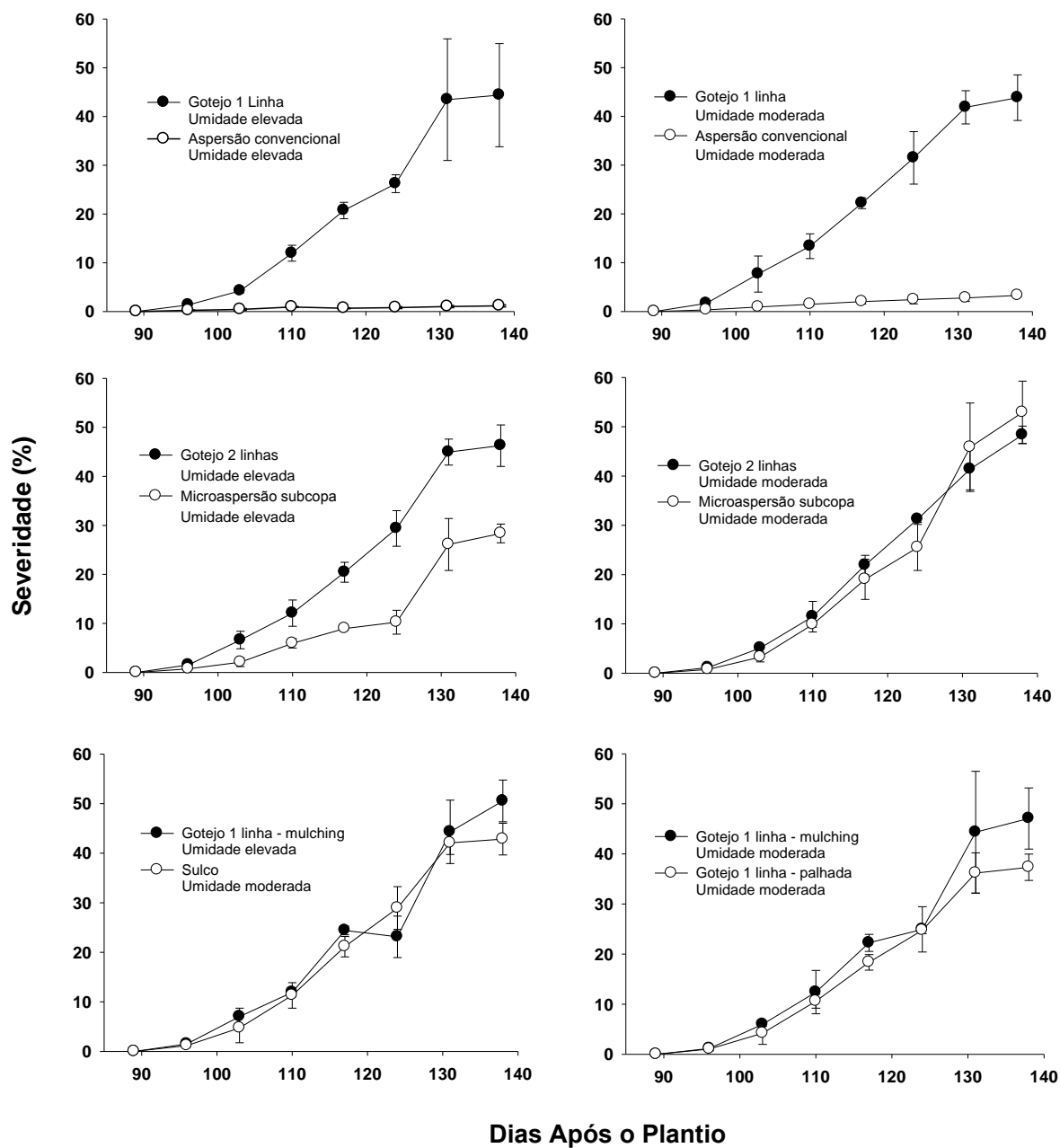


Figura 4. Curvas de progresso do oídio (*Leveillula taurica*) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação. As barras verticais representam o desvio padrão de cada estimativa. Brasília, 2009.

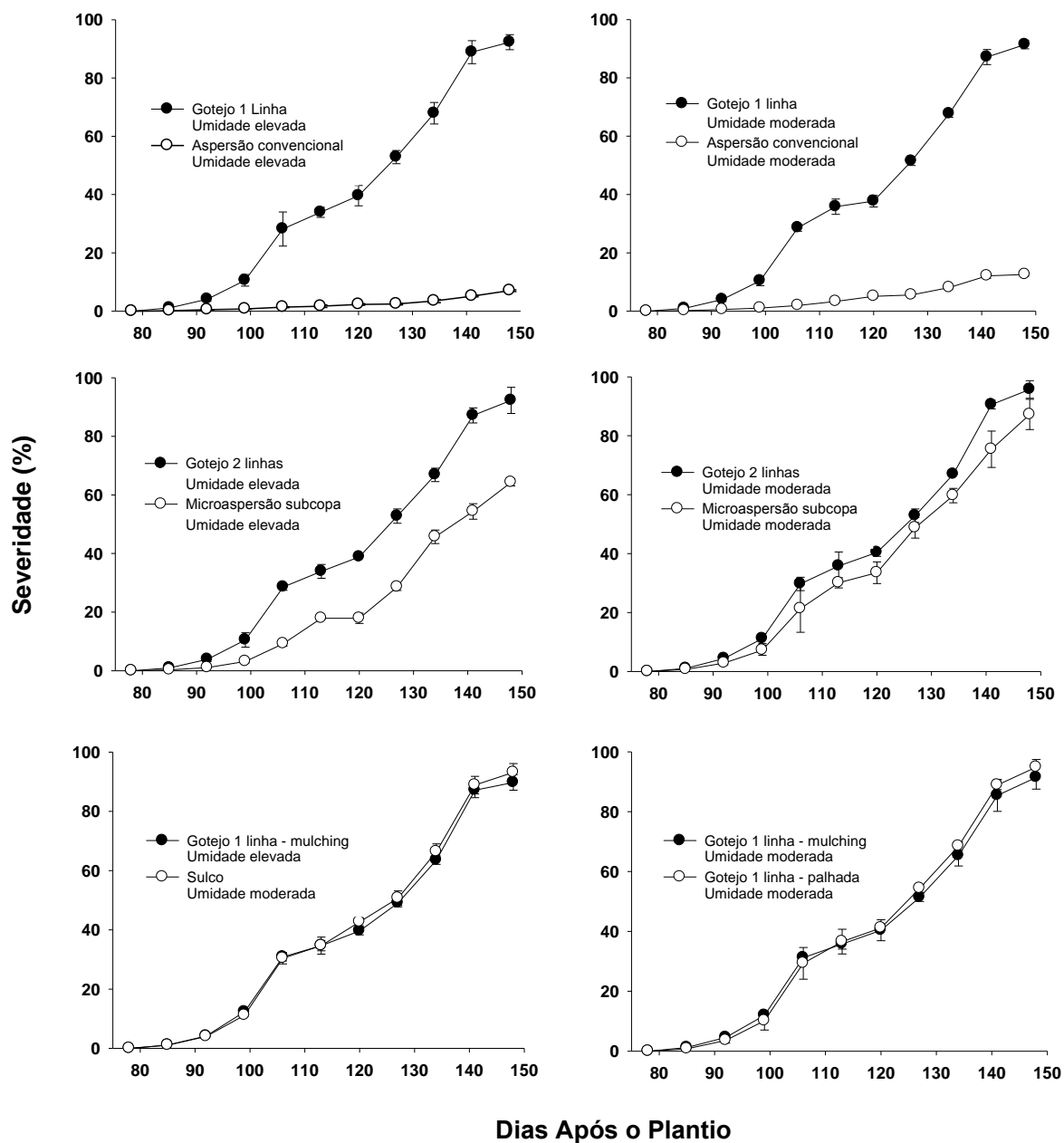


Figura 5. Curvas de progresso do oídio (*Leveillula taurica*) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação. As barras verticais representam o desvio padrão de cada estimativa. Brasília, 2010.

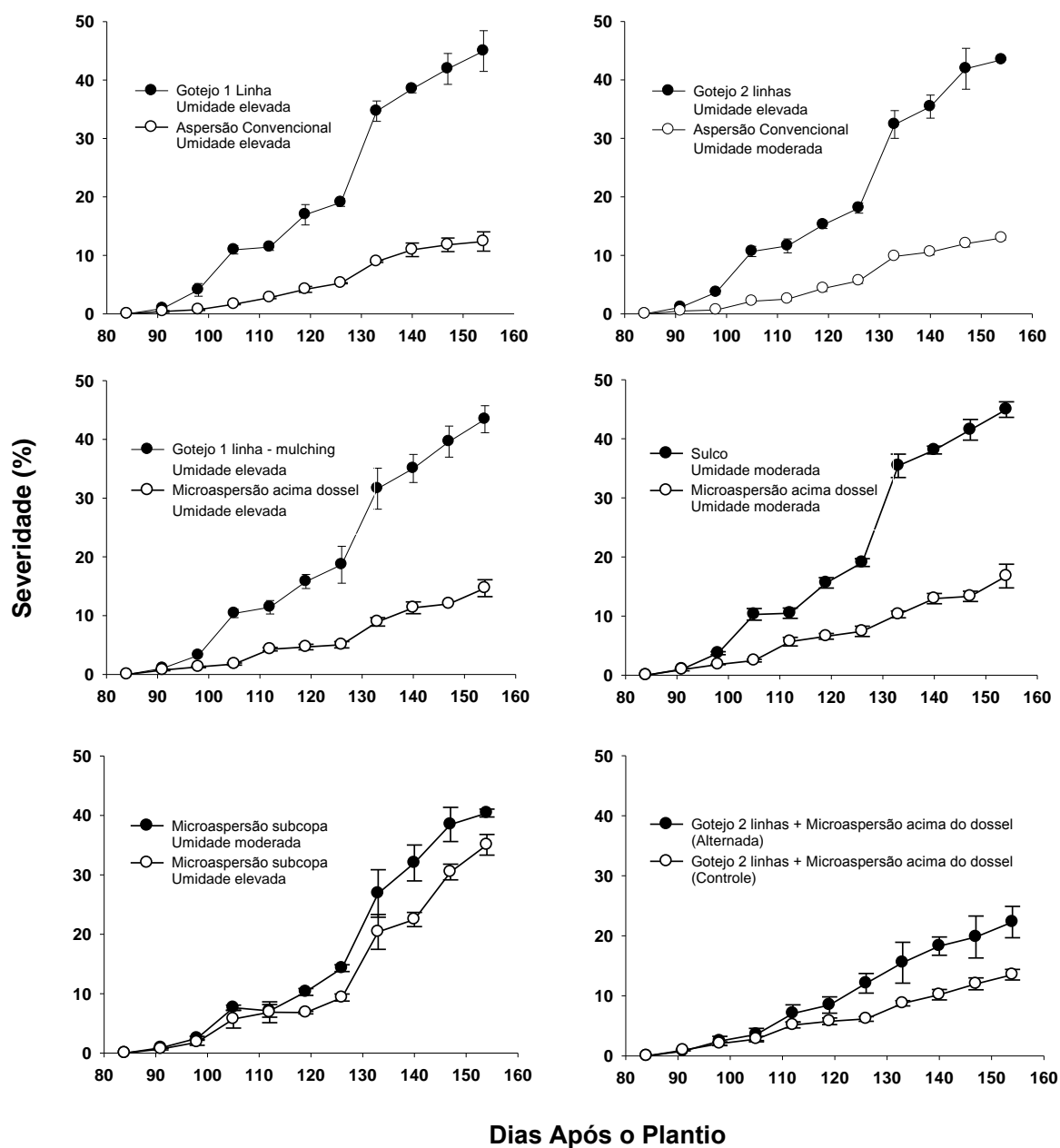


Figura 6. Curvas de progresso do oídio (*Leveillula taurica*) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação. As barras verticais representam o desvio padrão de cada estimativa. Brasília, 2011.

CAPÍTULO 3

**EFEITO DE DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NA DINÂMICA DA
REQUEIMA DO TOMATEIRO EM CONDIÇÕES DE CULTIVO ORGÂNICO E
AMBIENTE SECO**

EFEITO DE DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NA DINÂMICA DA REQUEIMA DO TOMATEIRO EM CONDIÇÕES DE CULTIVO ORGÂNICO E AMBIENTE SECO

RESUMO

O atual entendimento da epidemiologia da requeima (*Phytophthora infestans*) está fortemente baseado em estudos conduzidos em regiões temperadas, sendo relativamente escassos os estudos em condições climáticas subtropicais e em cultivo orgânico. O inverno na região dos Cerrados brasileiro é caracterizado por um clima seco e elevada amplitude térmica. Essa condição é desfavorável ao desenvolvimento da grande maioria das doenças fúngicas e bacterianas do tomateiro, incluindo a requeima. Um eficiente manejo da água de irrigação neste período pode permitir a obtenção de elevadas produtividades e menores problemas fitossanitários, o que se torna uma excelente oportunidade para o desenvolvimento da produção orgânica. O objetivo deste trabalho foi avaliar epidemias de requeima em tomateiro orgânico sob diferentes sistemas de irrigação em ambiente seco. Os experimentos foram conduzidos na área de cultivo orgânico da Embrapa Hortaliças (Brasília, DF), nos anos de 2009 e de 2011, seguindo delineamento em blocos ao acaso com oito tratamentos, três repetições e cem plantas por parcela. Foram avaliados os seguintes sistemas: gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas (GO_{1L}); gotejamento com duas linhas laterais (GO_{2L}); gotejamento com uma linha lateral com “mulch” plástico preto (GO_M); sulco (SU); microaspersão subcopia (MI); e aspersão convencional acima do dossel (AS). As regas nos sistemas GO_{1L} , GO_{2L} e GO_M foram realizadas quando a tensão matricial de água no solo atingia 15-30 kPa (umidade elevada), enquanto para o sistema SU irrigou-se considerando a tensão-limite de 30-60 kPa (umidade moderada). Nos sistemas MI e AS, as plantas foram irrigadas considerando-se os dois níveis de água no solo com base nas tensões preestabelecidas. A severidade da doença foi avaliada semanalmente e o modelo de progresso temporal do tipo Gompertz foi ajustado aos dados obtidos. Foram comparadas as seguintes variáveis epidemiológicas: severidade da doença na metade do curso da epidemia (Y_{50}), severidade máxima ($Y_{máx}$), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e taxa de progresso (r). Os tratamentos irrigados por gotejamento e por sulco apresentaram as menores médias para todas as variáveis epidemiológicas enquanto os sistemas de irrigação por aspersão convencional apresentaram os maiores valores de doença. Em nível intermediário

entre os dois grupos, o sistema de microaspersão em ambos os níveis de água no solo. Em 2009, a maior severidade foi observada com a aspersão com umidade elevada e, em 2011, esta foi verificada na aspersão com umidade moderada. A irrigação por aspersão promoveu um acréscimo de até $0,8 \text{ h dia}^{-1}$ de água livre na folha em relação ao gotejamento e ao sulco, durante os primeiros 70 dias após o transplante. Constatou-se que a aspersão convencional promoveu o maior desenvolvimento de epidemias de requeima, mesmo em ambiente seco, apesar de não apresentar redução significativa de produtividade. As irrigações por gotejamento e por sulco resultaram consistentemente nos níveis mais baixos para todas as variáveis epidemiológicas, enquanto os tratamentos irrigados por microaspersão apresentaram níveis intermediários, mas relativamente baixos, de requeima.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, *Phytophthora infestans*, epidemiologia, agricultura orgânica.

Effect of different irrigation systems on tomato late blight epidemics in organic cropping and dry environment

ABSTRACT

Present understanding of late blight (*Phytophthora infestans*) epidemics is based mainly on studies conducted in temperate climates. Conversely, studies carried out in sub-optimum conditions and organic cropping are relatively rare. Winter in the Brazilian Cerrado is characterized by dry weather and large daily thermal ranges. These conditions are generally unfavorable to the development of most fungal or bacterial diseases of tomato. Thus, the efficient management of irrigation during the winter may lead to high tomato yields and fewer phytosanitary problems, creating an excellent opportunity for organic cropping. We studied the temporal dynamics of powdery mildew in organic tomato crops, under different irrigation systems and water management strategies. Studies were carried out in 2009 and 2011 in the organic field area of Embrapa - Vegetable Crops (Brasília, DF), in a randomized complete block design, with eight treatments and three replicates, with one hundred plants per plot. The following systems were evaluated: drip irrigation, with one lateral plastic tape line per line of plants (GO_{1L}); drip irrigation, with two lateral tape lines (GO_{2L}); drip irrigation, with one lateral tape line and plastic mulch (GO_M); furrow irrigation (SU); small droplet, microsprinkler irrigation, below plant canopy (MI); and conventional (above plant canopy) overhead irrigation (AS). Based on the soil water tensions, two water management strategies were examined: irrigation at high soil moisture (15-30 kPa) and at moderate soil moisture (30-60 kPa). The irrigation on systems GO_{1L}, GO_{2L} and GO_M were performed in high soil moisture. Furrow irrigation was managed in moderate soil moisture only. The systems MI and AS were studied at both high or moderate soil moisture. Late blight severity was measured weekly and the Gompertz disease progress model was fit to disease data. Several epidemiological variables such as the disease severity at half of the epidemic course (Y_{50}), the maximum disease severity (Y_{max}), the area under disease progress curve (AUDPC) and the apparent disease progress rate (r) were obtained from the model analysis. Drip and furrow irrigated plots had the lowest values of all epidemiological variables and had very slow epidemics, while conventional overhead irrigated plots had the highest such values and caused severe epidemics. Microsprinkler irrigation at either moderate or high soil moisture management resulted in intermediate disease responses. In 2009, the highest disease intensity

was observed in overhead irrigated plots, at high soil moisture management, while in 2011 the highest disease intensity was observed in overhead irrigated plots at moderate soil moisture management. Up to 70 days after transplanting, overhead irrigation caused a 0.8 h day^{-1} increase of leaf wetness period, when compared to drip or furrow. We conclude that conventional overhead irrigation promoted more severe late blight epidemics, even in dry weather. In spite of that, no significant yield reduction due to the disease was observed. Drip or furrow irrigation caused low values for all epidemiological variables and consistently controlled late blight on organic tomato, while the microsprinkler irrigation was associated to intermediate, but relatively low disease levels.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Phytophthora infestans*, epidemiology, organic agriculture.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as doenças que incidem sobre o tomateiro, a requeima, causada pelo oomiceto *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, é a mais destrutiva em condições de ambiente favorável e ausência de medidas eficazes de controle, podendo ocorrer perda total da cultura em poucos dias (Lopes & Ávila, 2005; Lima *et al.*, 2009). Elevada umidade relativa do ar e temperaturas amenas, entre 10 e 20 °C, favorecem o rápido desenvolvimento do patógeno (Fohner *et al.*, 1984; Harrison, 1992), que, nestas condições, pode apresentar um período latente de apenas três a quatro dias (Mizubuti & Fry, 1998; Flier & Turkensteen, 1999). Na presença de água livre sobre a superfície foliar e em temperaturas abaixo de 15 °C, os esporângios do fungo se diferenciam e germinam indiretamente na forma de zoósporos (Melhus, 1915). A germinação indireta contribui para o aumento das taxas de progresso da doença, dificultando ainda mais o seu controle (Maziero *et al.*, 2009). A temperatura afeta a infecção e a taxa de expansão da lesão (Hartill *et al.*, 1990) além da esporulação. A esporulação também é diretamente influenciada pela umidade relativa do ar (Rotem *et al.*, 1978) e o controle da doença está baseado no uso contínuo, muitas vezes indiscriminado, de fungicidas sistêmicos e protetores (Batista *et al.*, 2006; Fry, 2008).

O atual entendimento da epidemiologia da requeima está fortemente baseado em estudos conduzidos em regiões temperadas, havendo a necessidade de se compreender melhor o comportamento da doença em condições climáticas distintas como as dos planaltos próximos aos trópicos (Grunwald & Flier, 2005). O Cerrado brasileiro, localizado em sua maior parte no planalto central, possui clima tropical a subtropical com estação seca de inverno, do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Peel *et al.*, 2007). No período compreendido entre os meses de maio e outubro, a estação seca predomina, com elevadas amplitudes de temperatura e umidade relativa do ar e ausência ou pequenos registros de precipitação.

Essa condição é desfavorável ao desenvolvimento da grande maioria das doenças fúngicas e bacterianas do tomateiro, o que se tornou uma excelente oportunidade para o desenvolvimento da agricultura orgânica irrigada na região. O progresso epidemiológico da requeima, por sua vez, é lento ou paralisado em temperaturas acima de 28°C e umidades relativas do ar baixas, mas o patógeno pode permanecer vivo nos tecidos do hospedeiro, em estágio latente, até que as condições ambientais sejam novamente favoráveis ao seu desenvolvimento (Rotem & Cohen, 1974; Rotem *et al.*, 1978; Lima *et al.*, 2009).

Acompanhando a demanda crescente do mercado interno e mundial por alimentos livres de agrotóxicos e produzidos em ambientes sustentáveis, a produção de tomate tornou-se um grande desafio. Dentro da concepção da agricultura orgânica, o produtor deve manejar o sistema produtivo de modo a desfavorecer as doenças. Nesse sentido, a utilização de um conjunto de práticas culturais que aumentem a biodiversidade do ambiente e minimizem o impacto das doenças se torna imprescindível (Van Bruggen, 1995; Diver *et al.*, 1999).

A irrigação é uma das práticas culturais com maior impacto na produtividade, na qualidade de frutos e na ocorrência de doenças no tomateiro (Rotem & Palti, 1969; Lopes *et al.*, 2006). A frequência entre irrigações, a quantidade de água aplicada por irrigação e a forma com que a água é aplicada às plantas interferem substancialmente na disseminação e na sobrevivência dos patógenos e no processo de colonização e infecção da hospedeira, afetando, portanto, a intensidade de doenças na planta (Lopes *et al.*, 2006). É consenso que a irrigação por aspersão, em relação a outros métodos, favorece epidemias de diversas doenças foliares do tomateiro, a requeima inclusive (Rotem *et al.*, 1962; Rotem & Cohen, 1966; Johnson *et al.*, 2003). No entanto, as condições macroclimáticas locais, muitas vezes, possuem maior impacto sobre o desenvolvimento da doença do que o efeito de um sistema de irrigação sobre o microclima foliar (Wilson *et al.*, 1999; Olanya *et al.*, 2007). Porém, quando as condições regionais ou sazonais tornam-se progressivamente menos favoráveis a doença, o microclima foliar assume grande importância e o sistema de irrigação adotado torna-se determinante para o desenvolvimento das epidemias (Rotem & Palti, 1969).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar epidemias de requeima em tomateiro orgânico sob diferentes sistemas de irrigação e ambiente seco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos anos de 2009 e 2011, na Área de Pesquisa e Produção Orgânica de Hortaliças, localizada na Embrapa Hortaliças, Distrito Federal (latitude 15° 56', longitude 48° 08', altitude 997 m), entre maio e outubro, período caracterizado por ausência de chuvas e um clima de inverno tipicamente seco. O solo da área experimental foi classificado como latossolo vermelho distrófico típico, fase cerrado, textura argilosa e capacidade de retenção de água de 1,2 mm cm⁻¹.

Foram avaliadas as seguintes configurações de sistemas de irrigação: gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas – GO_{IL}; gotejamento com duas linhas laterais por

fileira de planta – GO_{2L}; gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto – GO_M; sulco – SU; microaspersão “subcopa” com uma linha lateral entre fileiras de plantas – MI; e aspersão convencional acima do dossel – AS. As regas nos sistemas GO_{1L}, GO_{2L} e GO_M foram realizadas quando a tensão matricial de água no solo atingia 15-30 kPa (umidade elevada), enquanto para o sistema SU irrigou-se considerando a tensão-limite de 30-60 kPa (umidade moderada). Nos demais sistemas, as plantas foram irrigadas considerando-se as duas faixas de tensão.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com oito tratamentos e três repetições. Cada parcela experimental, com 50 m², foi constituída de cinco fileiras de plantas com 10 m de comprimento, totalizando cem plantas. Ao redor do experimento foram cultivadas bordaduras de crotalária (*Crotalaria juncea*), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*), flor de mel (*Tithonia diversifolia*) e capim-elefante (*Panicum maximum*), visando aumentar a diversidade biológica no sistema produtivo e criar uma barreira física em torno da área experimental.

A adubação em pré-plantio foi realizada com 2.500 g de composto orgânico (1,5% de N, 4,0% de P₂O₅; 2,0% de K₂O; 6,3% de Ca; 1,0% de Mg; 0,7% de S; 0,02% de Zn; 0,02% de Cu; 0,07% de Mn e 0,01% de B) e 250 g de termofosfato magnésiano (17% de P₂O₅; 7% Mg; 20% Ca) por metro linear de fileira de plantas.

As mudas do cultivar Duradoro (2009) e Pérola (2011), ambas do grupo Santa Cruz, suscetíveis à requeima, foram transplantadas com 30 dias na segunda semana de maio. Foi adotado o sistema de fileira simples com espaçamento de 1,0 m x 0,5 m. As plantas foram tutoradas na vertical, com o uso de fitilho, e conduzidas com uma haste, sendo podadas com 1,7 m de altura. As desbrotas foram realizadas semanalmente e as capinas a cada duas semanas. Aos 40, 70 e 100 dias após o plantio foram feitas adubações de cobertura, cada qual com 500 g de composto orgânico (2,4% de N, 5,8% de P₂O₅; 2,6% de K₂O; 7,5% de Ca; 2,3% de Mg) por metro linear de fileira de plantas.

Seguindo as práticas adotadas pelos produtores orgânicos na região, foram realizadas, em cada ano, duas pulverizações com calda bordalesa, na concentração de 0,5%, durante os primeiros 30 dias após o transplante e quatro outras, na concentração de 2,0%, após este período. Adicionalmente, foram realizadas cinco pulverizações com óleo emulsionável de nim (2 mL L⁻¹ de água) e três com *Bacillus thuringiensis* Berl. subsp. *kurstaki* (1,5 mL L⁻¹), ambos inseticidas naturais registrados no Brasil para uso em agricultura orgânica. Uma pulverização com calda sulfocálcica na concentração de 0,5% foi realizada aos 110 dias após o plantio.

2.1. Sistemas de manejo de irrigação

Nas parcelas experimentais irrigadas por gotejamento foram usados tubos gotejadores com emissores espaçados a cada 0,20 m, pressão de serviço de 100 kPa e vazão de 1,4 L h⁻¹. As linhas de gotejadores foram inicialmente posicionadas em torno de 0,05 m da fileira de plantas e posteriormente a 0,15 m. No tratamento irrigado por sulco, a distribuição de água foi feita com tubos de PVC, tendo sido utilizado um sulco, com declividade de 0,5%, por fileira de plantas. O controle do volume de água aplicado em cada parcela foi realizado com hidrômetro e registro na entrada de cada sulco. Microaspersores do tipo difusor, com aplicação de água para baixo, bocal de 1,4 mm, pressão de 100 kPa, espaçamento triangular de 1,0 m x 1,0 m e intensidade de aplicação de 70,0 mm h⁻¹ foram utilizados nos tratamentos irrigados por microaspersão “subcopia”. Nesta configuração, os microaspersores molharam 100% da superfície do solo e apenas os primeiros 0,25 m da altura das plantas. Nas parcelas irrigadas por aspersão convencional acima do dossel vegetativo foram utilizados aspersores de impacto com bocais de 5 mm x 8 mm, espaçados de 18 m x 12 m, pressão de serviço de 250 kPa e intensidade de aplicação de 23,5 mm h⁻¹. Os aspersores foram inicialmente instalados a 0,4 m de altura e, posteriormente, elevados para 1,9 m, sempre acima do dossel do tomateiro.

As irrigações em cada tratamento foram realizadas a todo o momento em que a tensão de água no solo, avaliada entre 40% e 50% da profundidade radicular efetiva, atingia as tensões-limite preestabelecidas, ou seja, 15-30 kPa (umidade elevada) ou 30-60 kPa (umidade moderada). As menores tensões-limite, dentro de cada estratégia de manejo, foram consideradas durante o estágio de frutificação, que é o mais sensível ao déficit de água no solo (Marouelli & Silva, 2007). O monitoramento da tensão foi realizado por tensiômetros instalados em cada uma das parcelas experimentais. As irrigações foram realizadas preferencialmente pela manhã e as lâminas de água aplicadas visavam retornar o solo a sua condição de capacidade de campo até a camada de solo correspondente à profundidade radicular efetiva (Marouelli *et al.*, 2011b).

2.2. Quantificação da doença, monitoramento do microclima e produtividade

A requeima manifestou-se por infecção natural nas plantas do experimento e a quantificação da doença foi realizada semanalmente, a partir do surgimento dos primeiros sintomas. As avaliações foram feitas em 28 plantas localizadas nas fileiras centrais de cada

parcela experimental. A severidade da doença foi estimada com auxílio de escala diagramática desenvolvida por James (1971). Foram avaliados os terços inferiores, médios e superiores de cada planta e estimada a severidade por planta. A partir das notas de severidade da doença atribuídas ao longo das avaliações, determinou-se a severidade na metade do curso temporal da epidemia (Y_{50}), a severidade ao final da epidemia (Y_{\max}) e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), conforme proposto por Shaner & Finney (1977).

Para a análise do progresso temporal das epidemias, os dados foram ajustados aos principais modelos de progresso de doença, por meio de regressão linear, sendo selecionado o modelo de Gompertz. Na seleção do modelo considerou-se o tipo de curva obtida, os maiores valores de coeficiente de determinação ajustado (R^{*2}) e a independência e homogeneidade de resíduos (Madden *et al.*, 2007). A partir do modelo de regressão ajustado, foram estimados os valores de taxa de progresso da doença (r) em cada tratamento.

Para avaliação do microclima em cada tratamento, sensores de temperatura do ar, de umidade relativa (UR) do ar e de molhamento foliar foram instalados na linha de plantio, a 0,30 m da superfície do solo, entre duas plantas da fileira central de cada parcela do segundo bloco experimental. Os dados foram armazenados, a cada 30 min, em coletores automáticos (Logger WatchDog, modelo 1000, Spectrum Technologies). Aos 60 dias, os sensores foram elevados a 0,60 m de altura, acompanhando o desenvolvimento das plantas e foram mantidos nesta condição até o final do experimento (Guzmán-Plazola *et al.*, 2011). Os dados de molhamento foliar foram registrados apenas para os ensaios de 2011. A precipitação na área experimental foi medida em um pluviômetro tipo Ville de Paris.

As colheitas foram conduzidas semanalmente e os frutos foram colhidos no estágio verde-maduro.

2.3. Análise dos dados

Os dados de Y_{50} , Y_{\max} , AACPD e produtividade foram testados quanto à normalidade e à homogeneidade do erro experimental. Em seguida, os dados foram transformados por $\log(x+1)$ e submetidos à análise de variância e teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para comparação de médias. As estimativas das taxas de progresso da doença (r) entre os tratamentos foram comparadas por meio do intervalo de confiança a 95% de probabilidade (Madden *et al.*, 2007; Diniz *et al.*, 2006). O software SAS System, versão 9.0, foi utilizado para as análises.

3. RESULTADOS

Ao longo do ciclo do tomateiro, considerando os dois anos de ensaio, as lâminas totais de água aplicadas e o número total de irrigações realizadas entre os diferentes tratamentos variaram de 322 a 575 mm (2009) e de 378 a 889 mm (2011) e de 20 a 40 (2009) e de 31 a 61 (2011) irrigações (Tabela 1), respectivamente. Para um mesmo sistema de irrigação, maiores lâminas e maior número de irrigações ocorreram nos tratamentos manejados com umidade elevada (15-30 kPa) e foram menores naqueles manejados com umidade moderada (30-60 kPa), como esperado. Enquanto no tratamento irrigado por aspersão convencional com umidade elevada foram realizadas de 40 a 49 irrigações e aplicados de 524 a 741 mm de água, na aspersão com umidade moderada foram realizadas de 20 a 31 irrigações e aplicadas lâminas entre 428 e 684 mm. No sistema por sulco foram aplicados de 575 a 889 mm entre 18 e 35 irrigações. Lâminas de irrigação entre 322 e 505 e entre 426 e 715 mm foram aplicadas nos sistemas por gotejamento e por microaspersão subcopa, respectivamente. Maiores lâminas e número de irrigações foram realizados em 2011 comparativamente com 2009.

Não foram verificadas variações consistentes nos dados de temperatura e UR do ar, no interior do dossel vegetativo do tomateiro, que explicassem as diferenças observadas nas epidemias de requeima em cada tratamento (dados não mostrados). Ao longo do período de condução do experimento foi possível confirmar a ausência de chuvas e a elevada amplitude térmica e de UR do ar que caracterizam a região nos meses de maio a outubro. A precipitação quantificada durante os 142 dias de cultivo em 2009 totalizou 221 mm (Figura 1). Desse total, 137 mm foram registrados durante os últimos 12 dias do ciclo do tomateiro, portanto, com frutos em estágio final de amadurecimento. Em 2011, foram 154 dias de cultivo, com apenas 17 mm de precipitação (Figura 2). Nos primeiros 70 dias após o transplântio das mudas foram observados os maiores períodos de molhamento foliar sobre a cultura. Os tratamentos que aplicam a água diretamente no solo, GO_{1L}, GO_{2L}, GO_M e SU, apresentaram entre 3,1 e 3,6 horas de molhamento foliar diário, decorridos 70 dias do transplântio das mudas, e entre 2,1 e 4,1 horas ao longo dos 154 dias de cultivo (Tabela 2). Por sua vez, os tratamentos que promovem o molhamento parcial ou total do dossel, MI e AS, apresentaram entre 3,9 e 5,4 horas e entre 2,6 e 4,9 horas de molhamento foliar diário, após 70 e 154 dias de cultivo, respectivamente. Ao longo dos 154 dias de cultivo, foi registrado, em média, para os tratamentos GO_{1L}, GO_{2L}, GO_M e SU um total de 452,5 horas de molhamento foliar, o que representa 3,1 horas de molhamento foliar médio diário (dados não mostrados). Considerando

o grupo formado pelos tratamentos MI e AS, registrou-se 494 horas de molhamento foliar total (média de 3,4 horas de molhamento foliar diário).

As curvas de progresso da doença revelaram dinâmicas temporais distintas entre os sistemas de irrigação que promovem o molhamento da parte aérea da cultura e aqueles sistemas que aplicam a água diretamente no solo (Figura 3). Em 2009, todos os tratamentos irrigados por gotejamento, assim como o sistema por sulco apresentaram os menores valores de severidade máxima (Y_{\max} abaixo de 2%), severidade na metade do curso temporal da epidemia (Y_{50} abaixo de 0,7%), taxa de progresso e AACPD (Tabela 3). O sistema de aspersão convencional com umidade elevada apresentou as maiores médias para todas as variáveis epidemiológicas avaliadas, com destaque para Y_{\max} acima de 32%. Em nível intermediário, mas sem diferenças significativas entre si, os tratamentos irrigados por aspersão com umidade moderada e por microaspersão subcopa com umidade elevada, com severidades máximas de 4,5% e de 3,6%, respectivamente. As epidemias foram menos expressivas no ano de 2011, porém o mesmo comportamento foi verificado na relação sistema de irrigação e desenvolvimento da requeima (Figura 3 e Tabela 3) para os tratamentos irrigados por gotejamento e sulco e para aqueles irrigados por microaspersão subcopa. Entretanto, neste ensaio as maiores médias foram observadas para a aspersão com umidade moderada ($Y_{\max} = 12,6\%$), sendo significativamente diferentes daquelas verificadas para a aspersão com umidade elevada ($Y_{\max} = 4,6\%$).

A maior produtividade foi obtida, em 2009, no tratamento irrigado por sulco (100 Mg ha^{-1}), a qual não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 3), exceto do tratamento irrigado por aspersão, manejado com umidade moderada ($70,2 \text{ Mg ha}^{-1}$). Apesar da requeima ter afetado significativamente as plantas irrigadas por aspersão com umidade elevada, a produtividade total deste tratamento ($95,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) não diferiu das demais. Em 2011, a produtividade variou de $114,6$ a $137,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 3), sendo as maiores obtidas nos tratamentos irrigados por sulco e por aspersão convencional com umidade elevada. O sistema de gotejamento com uma linha lateral apresentou a menor produtividade, significativamente distinta daquelas obtidas no sulco e na microaspersão subcopa com umidade moderada. As perdas médias de produção verificadas para 2009 e para 2011 mantiveram-se em torno de 33% e 25%, respectivamente, e não foram significativamente diferentes entre os tratamentos. Estas se deveram, principalmente, aos danos causados por insetos, podridões, rachaduras, escaldadura por sol e defeitos em geral.

4. DISCUSSÃO

A requeima é uma doença muito importante na cultura do tomateiro e, quando em condições de umidade relativa do ar acima de 90% e temperaturas abaixo de 15°C, pode causar epidemias com elevadas taxas de progresso, devido ao curto período latente (três a quatro dias) e a germinação indireta dos esporângios na forma de zoósporos (Mizubuti & Fry, 1998; Flier & Turkensteen, 1999). Ambientes secos com elevadas temperaturas diurnas costumam ser extremamente desfavoráveis à doença, dificultando a ocorrência de epidemias nestas condições (Rotem & Cohen, 1974). No presente trabalho, verificou-se que as condições ótimas de umidade relativa e temperatura do ar para o desenvolvimento da requeima foram atingidas em diversos momentos ao longo do ciclo de cultivo do tomateiro, principalmente nos primeiros 70 dias após o transplântio das mudas. Neste período, as temperaturas noturnas foram baixas e a UR do ar elevada, proporcionando períodos superiores a 3 horas de molhamento foliar em todos os tratamentos (médias superiores a 2 horas ao longo do ciclo do tomateiro). A disponibilidade de água livre, por ao menos um curto período de tempo na superfície da planta, é essencial para a germinação dos esporângios de *P. infestans* (Fry, 2008). Períodos de molhamento foliar superiores a 3 horas são suficientes para a germinação dos esporângios (Rotem *et al.* 1971), o que possibilitou a infecção pelo patógeno e o início da epidemia nas nossas condições experimentais.

Verificou-se, no entanto, uma grande amplitude tanto de temperatura quanto de UR do ar ao longo do dia, o que pode ter contribuído para um lento aumento da doença durante o ciclo de cultivo, constatado pelos pequenos valores obtidos de taxa de progresso da epidemia. As condições climáticas foram favoráveis à doença durante a noite e extremamente desfavoráveis durante o dia. Os esporângios de *P. infestans* sobrevivem em condições secas por curtos períodos, mas precisam reidratar lentamente para que possam estar novamente ativos (Minogue & Fry, 1981). Além disso, em condições secas com elevadas temperaturas, a esporulação é reduzida e o aumento da severidade se torna dependente do aumento do tamanho das lesões, contribuindo para a redução da velocidade de desenvolvimento da epidemia (Hau, 1990; Mizubuti & Fry, 1998). Sendo assim, as epidemias de requeima nas condições deste experimento podem ser classificadas como tardívas ou de lento desenvolvimento (Gäumann, 1950; Bergamin Filho & Amorim, 1996), o que permitiu conviver com a doença ao longo do ciclo de cultivo, utilizando como única medida de controle a calda bordalesa, que possui apenas efeito protetor. Epidemias de requeima em

batateira também foram desfavorecidas em condições de ambiente seco e temperaturas elevadas em Israel, apesar da maior dispersão de esporângios do fungo ocorrer nesta condição (Rotem & Cohen, 1974). Segundo os mesmos autores, curtos períodos diários de UR do ar baixas são necessários para que o esporângio do fungo se desprenda do esporangióforo e possa ser disperso pelo vento. No entanto, condições de UR do ar muito baixas, juntamente com a maior intensidade de radiação solar verificada em regiões tropicais e subtropicais, contribuem para a menor sobrevivência do esporângio (Mizubuti *et al.*, 2000; Lima *et al.*, 2009).

Considerando os dois anos de estudo, a doença atingiu as maiores severidade nos tratamentos irrigados por aspersão, não sendo possível distingui-los quando manejados com umidade elevada (2009) ou moderada (2011). Os sistemas de gotejamento, sulco e microaspersão subcopa, em ambos os ensaios, não favoreceram o desenvolvimento da epidemia. Acredita-se que a forma com que a água é aplicada sobre as plantas seja o principal fator promotor de um microclima mais favorável a requeima (Rotem & Palti, 1969). A lâmina de água aplicada e a frequência de irrigação foram fatores secundários, ao menos nas condições destes ensaios. Os maiores períodos de molhamento foliar foram observados para os tratamentos nos quais a água é aplicada parcial ou totalmente sobre o dossel da cultura. O período compreendido entre o transplântio e os 70 dias de cultivo coincidiu com o início da epidemia, demonstrando que o maior molhamento foliar diário nesta fase contribuiu para a maior severidade nos tratamentos irrigados por aspersão e microaspersão subcopa.

Quando as condições macroclimáticas são extremas, com temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar, a irrigação por aspersão pode promover decréscimos de até 9°C na temperatura e aumentos na ordem de até 50% na umidade (Rotem & Cohen, 1966). Foi possível observar, pelos dados obtidos nos “data loggers”, que estas alterações na temperatura e na UR do ar ocorreram, porém de forma muito rápida nas nossas condições experimentais. Em pouco mais de 30 minutos após o término da irrigação as condições microclimáticas da área experimental estavam novamente reestabelecidas para os tratamentos irrigados por aspersão. A irrigação por aspersão não proporcionou alterações superiores ao erro instrumental sobre as médias diárias e, principalmente noturnas, de temperatura e UR do ar. Em ensaio com requeima em batata, os métodos de irrigação aplicados também não promoveram impacto consistente nos parâmetros microclimáticos (temperatura e UR) associados ao desenvolvimento da doença (Olanya *et al.*, 2007). Cabe ressaltar que, no presente trabalho, as irrigações foram sempre realizadas pela manhã, quando as folhas do

tomateiro não apresentavam mais o orvalho. Em Israel, a taxa de secagem das folhas do tomateiro após a irrigação por aspersão foi de 5 min para folhas externas sob condições de céu aberto, 36°C e 16% UR. Em condições de céu nublado, 17°C e 86% de UR o tempo aumentou para 4 horas. Este intervalo pode ultrapassar 20 horas se as gotas persistirem até o período de formação de orvalho (Rotem & Cohen, 1966). Provavelmente, se as irrigações tivessem sido realizadas ao final da tarde, o impacto do sistema de aspersão sobre o microclima tivesse sido maior e as epidemias poderiam ser mais prejudiciais, especialmente por estar em cultivo orgânico.

Um segundo fator que certamente contribuiu para a maior severidade da requeima na aspersão em relação aos demais sistemas de irrigação, inclusive a microaspersão subcopia, foi a provável maior remoção de cobre (calda bordalesa) presente na superfície da folha pela água de irrigação aspergida sobre as plantas. A remoção foliar de resíduos de fungicidas pela água é um evento conhecido e já demonstrado em alguns trabalhos (Fife & Nokes, 2002; Hunsche *et al.*, 2007). Mesmo quando se respeita um intervalo de 24 horas entre a aplicação da calda e a irrigação, o que foi observado no presente estudo, a remoção do cobre aplicado pode chegar a 30% (Duarte, 2008). O menor poder residual do fungicida protetor sobre a superfície foliar aumenta o potencial de sítios de infecção, proporcionando maiores severidades da doença e por consequência uma epidemia mais destrutiva.

Em condições de inverno, na região dos Cerrados brasileiros, a aspersão vem se destacando como principal método de irrigação para sistemas de produção orgânicos de tomate, devido a maior quantidade de frutos produzidos, melhor distribuição de raízes no solo e maior controle de insetos-pragas e de doenças como oídio (Lage *et al.*, 2011; Marouelli *et al.*, 2011a). No presente trabalho, a produtividade obtida na aspersão foi semelhante àquelas dos demais tratamentos, apesar da maior severidade da requeima, o que demonstra a eficiência deste sistema de irrigação na produção orgânica de tomate e ajuda a explicar a preferência por este sistema entre os produtores. A produtividade é influenciada não somente pela severidade da doença, mas pela frequência, pela quantidade de água aplicada e pela forma com que a água é aplicada às plantas, o que afeta o volume de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente, a disponibilização de nutrientes no solo (Rotem & Palti, 1969; Lopes *et al.*, 2006). Em sistemas orgânicos este processo é lento e gradativo devido à utilização de fertilizantes de baixa solubilidade, o que limita a absorção de nutrientes e interfere no desenvolvimento das plantas (Marouelli *et al.*, 2011a). Estes fatores podem

explicar a redução do potencial produtivo do sistema de gotejamento em cultivos orgânicos, o que não é verificado em cultivos convencionais.

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, verifica-se que o sistema de irrigação por aspersão convencional favoreceu a epidemia da requeima, mesmo em condições de ambiente seco, embora sem redução significativa de produtividade. Os sistemas por gotejamento e por sulco mostraram-se eficazes, não permitindo o pleno desenvolvimento do patógeno. No que se refere exclusivamente em garantir o controle da requeima, os sistemas de gotejamento e sulco são os mais recomendados. Entretanto, a aspersão convencional pode ser adotada em sistemas orgânicos nas condições de clima seco prevalente no inverno do Planalto Central brasileiro, considerando outros benefícios como a melhor absorção de nutrientes do solo e elevada produtividade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, D.C.; LIMA, M.A.; HADDAD, F.; MAFFIA, L.A. & MIZUBUTI, E.S.G. 2006. Validation of decision support systems for tomato early blight and potato late blight, under Brazilian conditions. *Crop Protection* 25:664-670.
- BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. 1996. Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. *Agronômica Ceres*. São Paulo.
- DINIZ, L. P.; MAFFIA, L.A.; DHINGRA, O.D.; CASALI, V.W.D.; SANTOS, R. H. S. & MIZUBUTI, E. S. G. 2006. Avaliação de produtos alternativos para o controle da requeima do tomateiro. *Fitopatologia Brasileira* 31:171-179.
- DIVER, S.; KUEPPER, G. & BORN, H. 1999. Organic tomato production. *In: Horticultural Production Guide*. ATTRA. Fayetteville – Arkansas. p.1-21.
- DUARTE, A.R. 2008. Remoção de resíduos de fungicidas por meio de chuva simulada e de irrigação em batateira e tomateiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil.
- FIFE, J.P. & NOKES, S.E. 2002. Evaluation of the effect of rainfall intensity and duration on the persistence of chlorothalonil on processing tomato foliage. *Crop Protection* 21:733-740.
- FLIER, W.G. & TURKENSTEEN, L.J. Foliar aggressiveness of *Phytophthora infestans* in three potato growing regions in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology* 105:381-388.

- FOHNER, G.R.; FRY, W.E. & WHITE, G.B. 1984. Computer simulation raises question about timing protecting fungicide application frequency according to potato late blight forecast. *Phytopathology* 74:1145-1147.
- FRY, W.E. 2008. *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology* 9:385-402.
- GÄUMANN, E.A. 1950. Principles of plant infection. Crosby Lockwood & Sons. London.
- GRÜNWARD, N.J. & FLIER, W.G. 2005. The biology of *Phytophthora infestans* at its center of origin. *Annual Review of Phytopathology* 43:171–190.
- GUZMÁN-PLAZOLA, R.A.; FAJARDO-FRANCO, M.L. & COFFEY, M.D. 2011. Control of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*) in the Comarca Lagunera, Coahuila State, Mexico, supported by the spray forecast model Tomato.PM. *Crop Protection* 30:1006-1014.
- HARRISON, J.G. 1992. Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage – a review. *Plant Pathology* 41: 384–416.
- HARTILL, W.F.T.; YOUNG, K.; ALLAN, D.J. & HENSHALL, W.R. 1990. Effects of temperature and leaf wetness on the potato late blight. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*: 18:181–184.
- HAU, B. 1990. Analytic models of plant disease in a changing environment. *Annual Review of Phytopathology* 28:221-245.
- HUNSCHE, M.; DAMEROW, L.; SCHMITZ-EIBERGER, M. & NOGA, G. 2007. Mancozeb wash-off from apple seedlings by simulated rainfall as affected by drying time of fungicide deposit and rain characteristics. *Crop Protection* 26:768-774.
- JAMES, W.C. 1971. Assessment keys. *Canadian Plant Disease Survey* 51:39-65.
- JOHNSON, D.A.; MARTIN, M. & CUMMINGS, T.F. 2003. Effect of chemical defoliation, irrigation water, and distance from the pivot on late blight tuber rot in center-pivot irrigated potatoes in the Columbia Basin. *Plant Disease* 87:977-982.
- LAGE, D.A.C.; MAROUELLI, W.A. & CAFÉ FILHO, A.C. 2011. Tomato powdery mildew may be significantly reduced by choice and management of irrigation system in the Brazilian Mid-West. *Phytopathology* 101:S97. (Resumo).
- LIMA, M.A.; MAFFIA, L.A.; BARRETO, R.W. & MIZUBUTI, E.S.G. 2009. *Phytophthora infestans* in a subtropical region: survival on tomato debris, temporal dynamics of airborne sporangia and alternative hosts. *Plant Pathology* 58:87–99.
- LOPES, C.A. & ÁVILA, A. C. 2005. Doenças do tomateiro. Embrapa Hortaliças. Brasília.
- LOPES, C.A.; MAROUELLI, W.A. & CAFÉ FILHO, A.C. 2006. Associação da irrigação com doenças de hortaliças. *Revisão Anual de Patologia de Plantas* 14:151-179.

- MADDEN L.V; HUGHES, G. & VAN DEN BOSCH, F. 2007. The Study of Plant Disease Epidemics. APS Press. Saint Paul. USA.
- MAROUELLI, W.A.; MEDEIROS, M.A.; SOUZA, R.F. & RESENDE, F.V. 2011a. Produção de tomateiro orgânico irrigado por aspersão e gotejamento, em cultivo solteiro e consorciado com coentro. Horticultura Brasileira 29:429-434.
- MAROUELLI, W.A. & SILVA, W.L.C. 2007. Water tension thresholds for processing tomatoes under drip irrigation in Central Brazil. Irrigation Science 25:411-418.
- MAROUELLI, W.A.; OLIVEIRA, A.S.; COELHO, E.F.; NOGUEIRA, L.C. & SOUSA, V.F. 2011b. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M. & COELHO FILHO, M.A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília. p.157-232.
- MAZIERO, J.M.N.; MAFFIA, L.A. & MIZUBUTI, E.S.G. 2009. Effects of temperature on events in the infection cycle of two clonal lineages of *Phytophthora infestans* causing late blight on tomato and potato in Brazil. Plant Disease 93:459-466.
- MELHUS, I.E. 1915. Germination and infection with the fungus of the late blight of potato (*Phytophthora infestans*). Agricultural Experiment Station of the University of Wisconsin Research Bulletin 37:1-64.
- MINOGUE, K.P. & FRY, W.E. 1981. Effect of temperature, relative humidity and rehydration rate on germination of dried sporangia of *Phytophthora infestans*. Phytopathology 71:1181-1184.
- MIZUBUTI, E.S.G.; AYLOR, D.E. & FRY, W.E. 2000. Survival of *Phytophthora infestans* sporangia exposed to solar radiation. Phytopathology 90:78-84.
- MIZUBUTI, E.S.G. & FRY, W.E. 1998. Temperature effects on developmental stages of isolates from three clonal lineages of *Phytophthora infestans*. Phytopathology 88:837-843.
- OLANYA, O.M.; STARR, G.C.; HONEYCUTT, C.W.; GRIFFIN, T.S. & LAMBERT, D.H. 2007. Microclimate and potential for late blight development in irrigated potato. Crop Protection 26:1412-1421.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L. & MCMAHON, T. A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences 11:1633-1644.
- ROTEM, J. & COHEN, Y. 1966. The relationship between mode of irrigation and the severity of tomato foliage diseases in Israel. Plant Disease Reporter 50:635-639.
- ROTEM, J. & COHEN, Y. 1974. Epidemiological patterns of *Phytophthora infestans* under semi-arid conditions. Phytopathology 64:711-714.

- ROTEM, J.; COHEN, Y. & BASHI, E. 1978. Host and environmental influences on sporulation in vivo. *Annual Review of Phytopathology*: 16:83–101.
- ROTEM, J.; COHEN, Y. & PUTTER, J. 1971. Relativity of limiting and optimum inoculum loads, wetting durations, and temperatures for infection by *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 61:275–278.
- ROTEM, J. & PALTU, J. 1969. Irrigation and plant diseases. *Annual Review of Phytopathology* 7:267-288.
- ROTEM, J.; PALTU, J. & RAWITZ, E. 1962. Effect of irrigation method and frequency on development of *Phytophthora infestans* on potatoes under arid conditions. *Plant Disease Reporter* 46:145-149.
- SHANER, G. & FINNEY, R.E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology* 67:1051-1056.
- VAN BRUGGEN, A.H.C. 1995. Plant disease severity in high-input compared to reduced-input and organic farming systems. *Plant Disease* 79:976-984.
- WILSON, T.B.; BLAND, W.L. & NORMAN, J.M. 1999. Measurement and simulation of dew accumulation and drying in a potato canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 93:111-119.

Tabela 1. Número de irrigações, lâmina de água aplicada e frequência de irrigação ao longo do cultivo do tomateiro, em diferentes configurações de sistema de irrigação. Brasília, 2009 e 2011.

Sistema ¹	Nível de água no solo	2009			2011		
		Nº de irrigações	Lâmina (mm)	Frequência (dias)	Nº de irrigações	Lâmina (mm)	Frequência (dias)
GO _{1L}	Elevado	37	322	3,6	60	458	2,5
GO _{2L}	Elevado	31	355	4,4	61	505	2,4
GO _M	Elevado	33	335	4,1	52	378	2,8
SU	Moderado	18	575	7,5	35	889	4,2
MI	Elevado	29	510	4,7	49	715	3,0
MI	Moderado	23	426	5,9	33	691	4,5
AS	Elevado	40	524	3,4	49	741	3,0
AS	Moderado	20	428	6,8	31	684	4,8

¹GO_{1L} – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas; GO_{2L} – gotejamento com duas linhas laterais por fileira de planta; GO_M – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto; SU – sulco; MI – microaspersão “subcopa” com uma linha lateral entre fileiras de plantas; e AS – aspersão convencional acima do dossel.

Tabela 2. Médias de horas de molhamento foliar, em diferentes configurações de sistema de irrigação, registradas após 70 e 154 dias de cultivo do tomateiro. Brasília, 2011.

Sistema ¹	Nível de água no solo	Molhamento Foliar (horas)	
		Até os 70 DAT*	Até os 154 DAT*
GO _{1L}	Elevado	3,0	2,1
GO _{2L}	Elevado	3,6	3,7
GO _M	Elevado	3,3	2,6
SU	Moderado	3,1	4,1
MI	Elevado	5,4	4,9
MI	Moderado	4,9	3,5
AS	Elevado	3,9	2,6
AS	Moderado	4,4	2,6
Média		4,0	3,3

*DAT – dias após o transplantio.

¹GO_{1L} – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas; GO_{2L} – gotejamento com duas linhas laterais por fileira de planta; GO_M – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto; SU – sulco; MI – microaspersão “subcopa” com uma linha lateral entre fileiras de plantas; e AS – aspersão convencional acima do dossel.

Tabela 3. Severidade máxima ($Y_{m\acute{a}x}$) e na metade do curso temporal da epidemia (Y_{50}) de requeima (*Phytophthora infestans*), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de progresso (r) estimada com o modelo Gompertz e produtividade (PT), em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação. Brasília, 2009 e 2011.

Sistema ¹	Nível de água no solo	2009					2011				
		AACPD*	Y_{max}^* (%)	Y_{50}^* (%)	r**	PT* (Mg ha ⁻¹)	AACPD*	Y_{max}^* (%)	Y_{50}^* (%)	r**	PT* (Mg ha ⁻¹)
GO _{1L}	Elevado	3,61 d	1,2 d	0,4 c	0,0073 c	76,1 ab	2,80 d	0,7 d	0,5 d	0,00846 c	114,6 b
GO _{2L}	Elevado	3,75 d	1,4 d	0,4 c	0,0077 c	96,8 ab	2,79 d	0,6 d	0,5 d	0,00845 c	121,7 ab
GO _M	Elevado	3,93 cd	1,7 d	0,5 c	0,0084 c	98,5 ab	2,85 d	0,7 d	0,6 d	0,00882 c	128,0 ab
SU	Moderado	3,80 d	1,4 d	0,6 c	0,0078 c	100,0 a	2,78 d	0,6 d	0,4 d	0,00848 c	137,4 a
MI	Elevado	4,89 b	3,6 bc	1,9 b	0,0114 b	96,5 ab	3,98 c	2,2 c	1,6 bc	0,01489 b	133,5 ab
MI	Moderado	4,38 c	2,5 c	0,8 c	0,0100 b	96,4 ab	3,77 c	1,8 c	1,5 c	0,01427 b	137,6 a
AS	Elevado	7,05 a	32,6 a	23,5 a	0,0246 a	95,9 ab	4,58 b	4,6 b	3,3 ab	0,01814 ab	130,4 ab
AS	Moderado	4,96 b	4,5 b	2,2 b	0,0118 b	70,2 b	5,43 a	12,6 a	4,1 a	0,02698 a	128,1 ab
CV(%)		4,2	23,1	11,5	-	10,9	5,7	22,8	22,7	-	7,4

*médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey ao nível de 5%. Para análise estatística de AACPD, Y_{50} e $Y_{m\acute{a}x}$, os valores foram submetidos à transformação logarítmica ($\log x+1$).

**valores de r seguidos da mesma letra não diferem entre si, segundo o intervalo de confiança, a 95% de probabilidade, da diferença entre as estimativas do parâmetro.

¹GO_{1L} – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas; GO_{2L} – gotejamento com duas linhas laterais por fileira de planta; GO_M – gotejamento com uma linha lateral por fileira de plantas em solo com “mulch” de plástico preto; SU – sulco; MI – microaspersão “subcopa” com uma linha lateral entre fileiras de plantas; e AS – aspersão convencional acima do dossel.

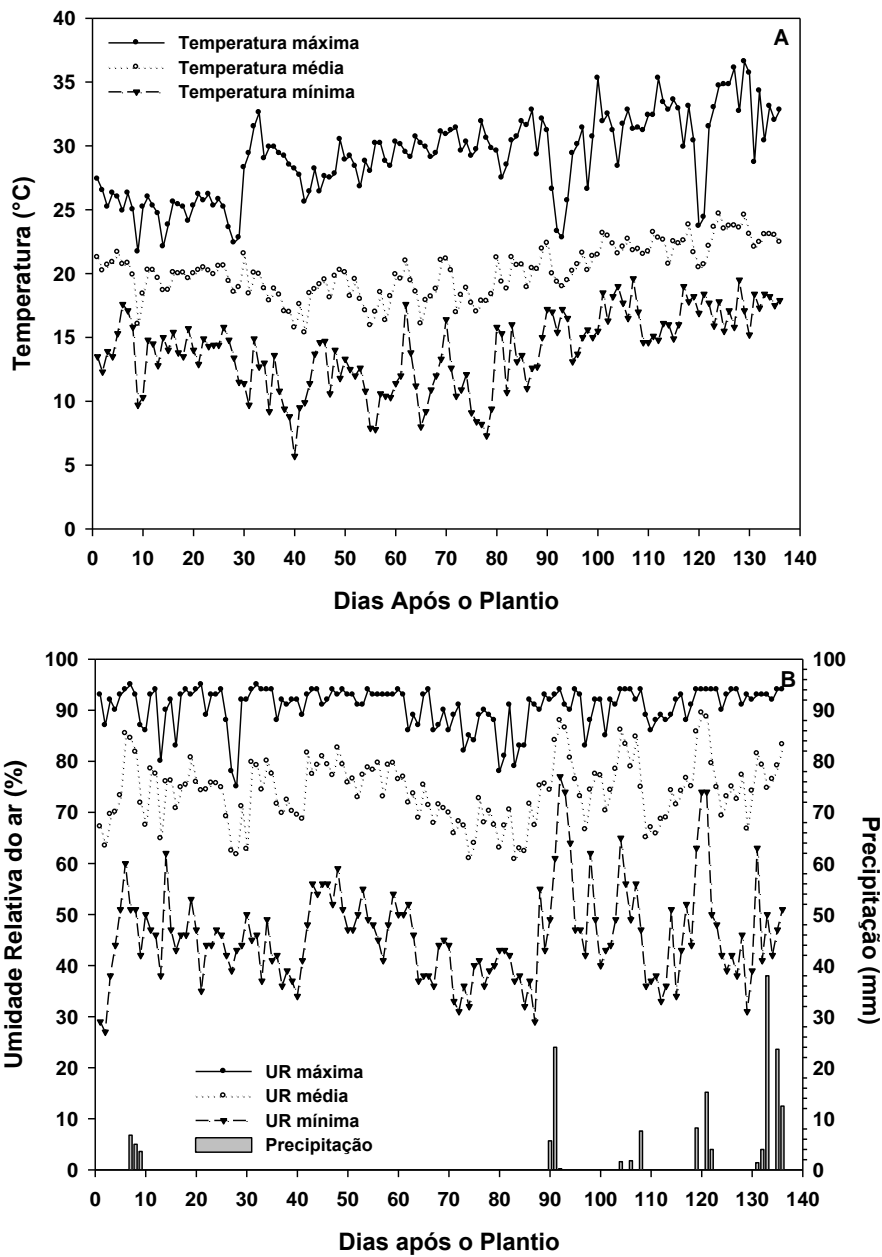


Figura 1. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias. Brasília, 2009.

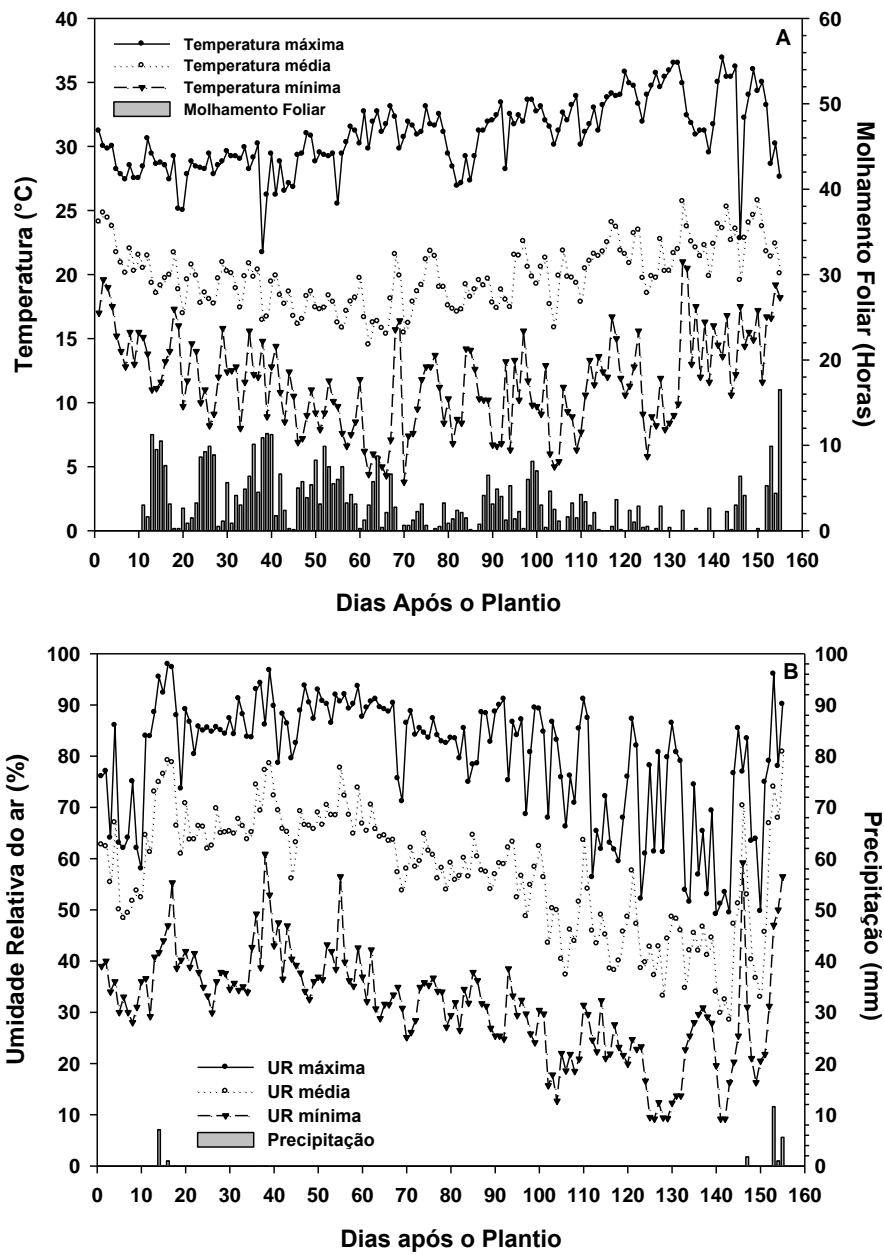


Figura 2. Média de variáveis climáticas registradas nos tratamentos durante a condução do experimento. A – Molhamento foliar e temperaturas médias, máximas e mínimas diárias. B – Precipitação e umidades relativas do ar médias, máximas e mínimas diárias. Brasília, 2011.

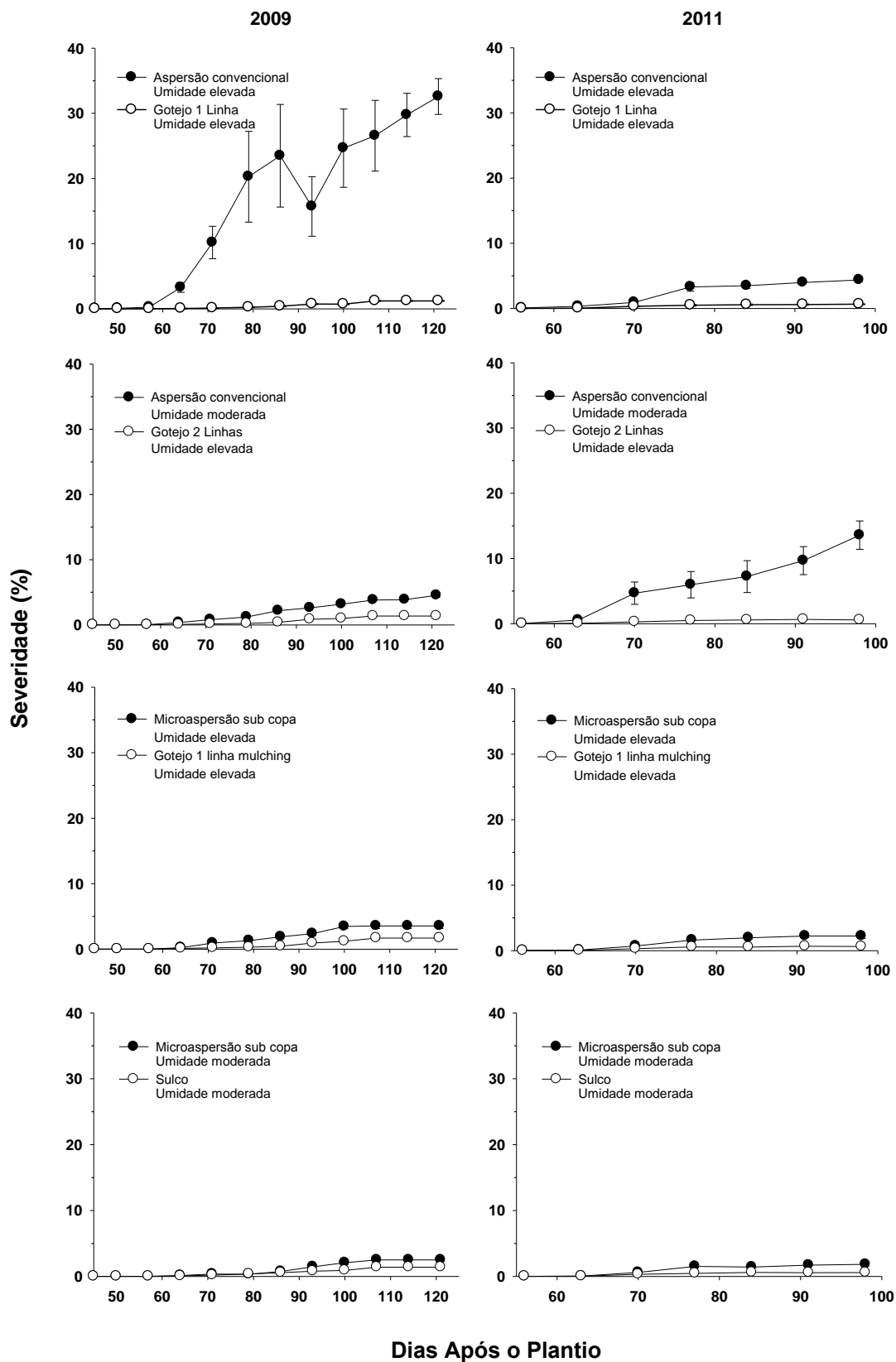


Figura 3. Curvas de progresso da requeima (*Phytophthora infestans*) em tomateiro orgânico submetido a diferentes configurações de sistema de irrigação. As barras verticais representam o erro-padrão da média de cada estimativa. Brasília, 2009 e 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em condições de inverno tipicamente seco com elevadas amplitudes de temperatura e de UR do ar na região dos Cerrados, verificou-se que a irrigação é componente intrínseco do vértice “ambiente” do triângulo da doença. A forma com que a água é aplicada às plantas, a frequência entre irrigações e a quantidade de água aplicada por irrigação influenciam a dinâmica de epidemias de oídio e de requeima em tomateiro orgânico. O correto manejo da água de irrigação torna-se uma medida cultural de controle de doenças, contribuindo para o aumento da eficiência do manejo integrado de doenças do tomateiro em cultivo orgânico, e certamente também em cultivos convencionais.

Os ensaios de campo foram conduzidos durante os meses de maio a outubro ao longo de três anos. As epidemias de requeima e de oídio ocorreram em momentos distintos em cada ano. Os meses de maio, junho e julho foram os meses mais favoráveis às epidemias de requeima. Neste período, as temperaturas noturnas são muito baixas e a UR do ar é elevada a noite com períodos de molhamento foliar superiores a três horas por dia. Como as temperaturas durante o dia são altas e a umidade relativa do ar é baixa, as epidemias de requeima não foram muito severas e a doença progrediu lentamente, devido às condições ambientais não serem completamente favoráveis. As epidemias de oídio ocorreram principalmente durante os meses de agosto, setembro e outubro, quando o ambiente se tornou mais seco, com menores períodos de molhamento foliar. Neste período, as plantas apresentaram predominância de folhas adultas, fenologicamente mais suscetíveis à doença. As taxas de progresso do oídio foram elevadas, demonstrando que as condições ambientais foram perfeitamente favoráveis ao desenvolvimento das epidemias.

Neste contexto, os sistemas de irrigação influenciaram as epidemias de requeima e de oídio de maneira distinta. Os sistemas de irrigação por gotejamento e sulco, por não promoverem o molhamento foliar durante a irrigação, não favoreceram epidemias de requeima. Em contrapartida, as epidemias de oídio foram muito severas e com intensa desfolha das plantas nestes tratamentos. O sistema de irrigação por aspersão permitiu o estabelecimento de epidemias de requeima, apesar das baixas taxas de progresso da doença. Por sua vez, a aspersão desfavoreceu o desenvolvimento do oídio, devido ao molhamento foliar promovido durante as irrigações. Como as epidemias de requeima são de ocorrência esporádica e com severidades variáveis e, as de oídio são prevalentes a cada ano e com

severidades elevadas, o sistema mais adequado para irrigação do tomateiro orgânico na região dos Cerrados durante os meses de maio a outubro é a aspersão convencional. A combinação de sistemas de aspersão convencional com gotejamento pode ser uma alternativa para reduzir os problemas com epidemias de requeima durante os períodos mais favoráveis a esta doença e, assim, obter maiores produtividades. Para tanto, deve-se realizar o monitoramento diário das condições climáticas do campo de cultivo e optar pelo sistema mais adequado a cada situação.

A partir dos resultados alcançados no presente trabalho e considerando os objetivos, geral e específicos, destacam-se as seguintes conclusões:

- As escalas diagramáticas propostas neste trabalho permitem aumento da acurácia e da precisão de avaliadores nas estimativas de severidade de oídio do tomateiro, contribuindo para a reprodutibilidade de diversos estudos com este patossistema;
- Os sistemas de irrigação por gotejamento e por sulco favorecem as epidemias do oídio, enquanto os sistemas por aspersão convencional e microaspersão acima do dossel desfavorecem o desenvolvimento de epidemias desta doença;
- A aspersão de água sobre o dossel do tomateiro pode ser utilizada como medida de controle de oídio em ambiente favorável à doença;
- O tamanho das gotas de água aspergidas sobre as plantas não apresenta efeito sobre a severidade da doença, demonstrando que a frequência e o tempo de irrigação por aspersão são responsáveis pelo controle do oídio;
- A estratégia de irrigação baseada na manutenção da umidade elevada no solo (tensão matricial limite de 15-30 kPa) proporciona um atraso na epidemia do oídio nas plantas irrigadas por microaspersão subcopa, devido à maior frequência de irrigação;
- O sistema de irrigação por aspersão convencional favorece epidemias de requeima, mesmo em condições de ambiente seco, embora sem redução significativa de produtividade quando comparado aos sistemas por gotejamento, sulco e microaspersão;
- A irrigação por gotejamento e por sulco, por não promoverem o molhamento foliar, não permitem o pleno desenvolvimento da requeima e são os sistemas mais recomendados para o manejo desta doença;
- As diferentes configurações de sistemas de irrigação testadas não influenciam significativamente o microclima foliar do tomateiro, indicando que, nas condições de inverno seco do Cerrado, a forma como a água é aplicada às plantas e, em alguns casos, a frequência

de irrigação são os fatores mais importantes associados ao desenvolvimento de epidemias de requeima e oídio;

- A aspersão convencional pode ser adotada em sistemas orgânicos nas condições de clima seco prevalente no inverno do Planalto Central brasileiro, considerando outros benefícios como o controle de oídio e a elevada produtividade;
- A combinação de sistemas de gotejamento com aspersão pode ser uma alternativa para o manejo de doenças na cultura do tomateiro quando utilizada com base no monitoramento do ambiente de cultivo. Tal estratégia mostrou-se eficiente no controle do oídio.