

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Índice de favorabilidade agrometeorológica da ramulose (*Coletotrichum gossypii* pv. *cephalosporioides*) e da mancha angular (*Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*) do algodoeiro**

**José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia. Área de concentração: Física do Ambiente  
Agrícola

**Piracicaba  
2007**

**José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Índice de favorabilidade agrometeorológica da ramulose**  
**(*Coletotrichum gossypii* pv. *cephalosporioides*) e da mancha angular (*Xanthomonas***  
***axonopodis* pv. *malvacearum*) do algodoeiro**

**Orientador:**  
**Prof. Dr. PAULO CESAR SENTELHAS**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em**  
**Agronomia. Área de concentração: Física do Ambiente**  
**Agrícola**

**Piracicaba**  
**2007**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Monteiro, José Eduardo Boffino de Almeida

Índice de favorabilidade agrometeorológica da ramulose (*Coletotrichum gossypii* pv. *Cephalosporioides*) e da mancha angular (*Xanthomonas axonopalis* pv. *Malvacearum*) do algodoeiro / José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro. - - Piracicaba, 2007.

109 p.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.  
Bibliografia.

1. Agrometeorologia 2. Algodão 3. Doença de Plantas 4. Mancha angular 5. Ramulose I. Título

CDD 633.51

## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, aos meus pais Manoel A. A. Monteiro e Maria Cristina B. A. Monteiro, pelo incentivo, confiança, paciência, educação, exemplos e valores transmitidos.

Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas pelo exemplo profissional e ético, orientação dedicada e, principalmente, pela grande amizade.

Ao Prof. Dr. Ederaldo José Chiavegato, pela atenção, amizade e colaboração no projeto e condução do experimento.

Ao Prof. Dr. Mark L. Gleason, ao Prof. Dr. Paul Esker e aos demais colegas do “Department of Plant Pathology” da “Iowa State University”, Ames, Iowa, Estados Unidos, pelas valiosas contribuições.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola, pelas oportunidades. Aos Departamentos de Ciências Exatas, de Produção Vegetal e de Fitopatologia da ESALQ, pela infra-estrutura e materiais.

Ao Centro de Análise de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras e ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Fitossanidade do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Aos colegas e amigos de curso, não só pelo companheirismo, mas também, pelas colaborações na fase experimental.

Ao Grupo de Estudos do Algodão (GEALG) e todos os seus integrantes que se contribuíram para a condução do experimento.

À Silvia de Afonseca Lourenço, do Depto. de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola, pela grande ajuda com os experimentos em câmaras de crescimento, a produção de meio de cultura e a multiplicação de inóculo.

Aos professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-Graduação em Física do Ambiente Agrícola do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, pela amizade, colaboração e apoio.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, que auxiliaram em diversas atividades.

À FAPESP pelo privilégio da bolsa de estudos, mas não pela burocracia hedionda. À CAPES, pela bolsa de Doutorado “sanduíche”. Ao CNPq, pelos meses iniciais de bolsa.

“A consciência é a última evolução da vida orgânica e, por conseguinte, o que nela existe de menos acabado e de mais frágil.”

Friedrich Nietzsche

“O homem nobre é aquele que aceita a mais nobre missão. A missão de desenvolver a consciência em si mesmo e nos outros animais humanos.”

O autor

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	15
1 INTRODUÇÃO .....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1 Doenças do algodoeiro .....	19
2.1.1 Ramulose ( <i>Colletotrichum gossypii</i> (South) var. <i>cephalosporioides</i> A. S. Costa).....	20
2.1.2 Mancha angular ( <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>malvacearum</i> (E. F. Smith) Dye.).....	23
2.2 Condições meteorológicas e a ocorrência de doenças.....	25
2.2.1 Microclima da cultura .....	26
2.2.1.1 Temperatura .....	27
2.2.1.2 Duração do período de molhamento .....	29
2.3 Modelos de simulação em epidemiologia .....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	34
3.1 Experimentos em câmaras de crescimento.....	34
3.1.1 Inoculação .....	34
3.1.2 Quantificação de componentes monocíclicos das doenças .....	35
3.1.3 Análise dos componentes monocíclicos em função da temperatura e do molhamento foliar e ajuste dos modelos não lineares (bidimensionais).....	36
3.1.4 Ajuste dos modelos de superfície (tridimensionais).....	37
3.2 Experimentos de campo .....	38
3.2.1 Local.....	38
3.2.2 Cultura: cultivar, semeadura, condução da cultura.....	39
3.2.3 Inoculação e avaliações da ramulose e da mancha angular.....	40
3.2.4 Área Foliar, Massa Seca e Produtividade do Algodoeiro.....	43
3.2.5 Instrumentação e monitoramento agrometeorológico .....	44
3.2.5.1 Estação meteorológica .....	44
3.2.5.2 Conjunto Sensor de Monitoramento Microclimático (CSMM) .....	44
3.3 Determinação do índice de favorabilidade temperatura – molhamento foliar (IFtm).....	45
3.4 Análise de dados.....	46
3.4.1 Modelo de previsão da ramulose e da mancha angular no algodoeiro .....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48

4.1	Experimentos em câmaras de crescimento.....	48
4.1.1	Resultados dos experimentos com ramulose.....	48
4.1.2	Resultados dos experimentos com mancha angular.....	52
4.1.3	Ajuste dos modelos de superfície de resposta.....	55
4.1.3.1	Ajuste do modelo de superfície de resposta da ramulose.....	56
4.1.3.2	Ajuste do modelo de superfície de resposta da mancha angular.....	63
4.2	Experimentos de campo.....	68
4.2.1	Desenvolvimento da cultura.....	68
4.2.1.1	Massa seca e área foliar das plantas.....	68
4.2.1.2	Produtividade do algodoeiro.....	72
4.2.2	Condições meteorológicas.....	73
4.2.2.1	Temperatura e umidade relativa do ar.....	73
4.2.2.2	Duração do período de molhamento (DPM).....	77
4.2.2.3	Índice de favorabilidade.....	79
4.2.3	Ocorrência de doenças na cultura do algodoeiro.....	82
4.2.3.1	Ramulose.....	82
4.2.3.2	Mancha Angular.....	85
4.3	Relações entre as condições meteorológicas no campo e a ocorrência das doenças.....	89
4.3.1	Condições meteorológicas e ocorrência de Ramulose.....	89
4.3.2	Condições meteorológicas e ocorrência de Mancha angular.....	93
5	CONCLUSÕES.....	99
	REFERÊNCIAS.....	101



## RESUMO

### **Índice de favorabilidade agrometeorológica da ramulose (*Coletotrichum gossypii* pv. *cephalosporioides*) e da mancha angular (*Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*) do algodoeiro**

*Coletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*, fungo causador da ramulose do algodoeiro, é ocorre disperso em quase todo Brasil. Sem um eficiente esquema de aplicação de fungicidas, a ramulose pode provocar severos danos. Outra importante doença para o algodoeiro, em muitas regiões do mundo, é a mancha angular, causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um índice de favorabilidade baseado em variáveis meteorológicas para estimar a ocorrência da ramulose e da mancha angular (MA) do algodoeiro. O período de incubação, a frequência de infecção e a severidade das doenças foram avaliados em câmaras de crescimento mantidas a 15, 20, 25 e 30°C e com períodos de câmara úmida de 0, 2, 4, 8, 16, 32, e 64 horas após inoculação com suspensão inóculo de  $10^5$  conídios  $\text{mL}^{-1}$  e  $10^6$  IFC  $\text{mL}^{-1}$ . Severidade da doença. Severidade (MA) e número de lesões por área (Ramulose) foram modelados como função da duração do período de molhamento (DPM) e da temperatura (T). Em experimentos de campo em Piracicaba, SP, parcelas de algodão foram inoculadas com ramulose e mancha angular, separadamente, a fim de se avaliar semanalmente o progresso das doenças ao longo do tempo. Os dados de temperatura do ar e molhamento foliar no campo foram utilizados no modelo obtido com os resultados de câmaras de crescimento e assim calcular o índice de favorabilidade. As variáveis meteorológicas radiação solar, T, umidade relativa do ar, DPM, chuva e velocidade do vento foram avaliadas como possíveis variáveis explanatórias às taxas de crescimento da doença no campo. Testou-se também, como variável explanatória, o índice de favorabilidade ( $0,0 < IF < 1,0$ ), calculado com os modelos de superfície utilizando os dados de T e DPM, obtidos dos experimentos de campo. Em câmaras de crescimento, a temperatura ótima foi de 27°C para ramulose e 22°C para mancha angular, com período de incubação de 10 dias para ramulose e entre 5 e 6 dias para mancha angular. A máxima severidade de ramulose ocorreu entre 25 e 30°C e a máxima severidade de ALS ocorreu entre 20 e 25°C. A severidade de ambas diminui rapidamente em temperaturas maiores ou menores que nessa faixa. A severidade de ramulose aumentou no intervalo de 4 até 32 horas de molhamento enquanto que ocorreu o mesmo com ALS no intervalo de 0 a 8 horas de molhamento. A severidade de ambas foi melhor ajustada por um modelo exponencial logarítmico em função do molhamento que, pela substituição dos parâmetros por funções de temperatura, descreveu a superfície de resposta com elevada precisão e exatidão. No campo, a taxa de crescimento da ramulose foi melhor relacionada ao índice de favorabilidade e à chuva, por regressão não linear, com coeficientes de determinação de 0,89 e 0,91, respectivamente. A taxa de crescimento da mancha angular apresentou razoável relação linear com as variáveis temperatura durante o período de molhamento e vento máximo, com  $R^2$  de 0,75 e 0,84 respectivamente.

Palavras-chave: Ramulose; Mancha angular; Algodoeiro; Favorabilidade; Molhamento; Sistema de alerta

## ABSTRACT

### **Favorability index applied to ramulosis (*Coletotrichum gossypii* pv. *cephalosporioides*) and angular leaf spot (*Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*) diseases on cotton crop**

*Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*, the fungus that causes ramulosis in cotton crops, is widespread in Brazil. Without an efficient fungicide schedule, ramulosis disease could provoke severe yield losses on cotton. Other important disease to cotton crop in several regions of the world is the bacterial blight also known as angular leaf spot (ALS), caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*. The objective of this work was develop a weather based favorability index to each of this diseases. The incubation period, the infection frequency and the severity of both diseases were evaluated in growth-chamber experiments, incubated at 15, 20, 25, 30, and 35°C while exposed to wetness periods of 0, 2, 4, 8, 16, 32 and 64 h after inoculation with  $10^5$  conidium  $\text{mL}^{-1}$  and  $10^6$  CFU  $\text{mL}^{-1}$ . Disease severity (ALS) and number of lesions per leaf area (ramulosis), was modeled as a function of leaf wetness duration (LWD) and temperature (T). At the field experiments in Piracicaba, cotton plots were inoculated with both pathogens separately, and disease severity was evaluated weekly. LWD and T data from the field trials were used as input to the model from growth chambers results and output the disease favorability index. Weather variables as solar radiation, temperature, relative humidity, wetness duration, rain, and wind speed were also evaluated as possible explanatory variables to the disease growth rate in the field. Was also tested the favorability index ( $0.0 < \text{FI} < 1.0$ ), as explanatory variable, calculated with the surface models using T and LWD from the field. In growth chambers, the optimum temperature for ramulosis was 27°C and 22°C for ALS and incubation of 10 days to ramulosis and 5 to 6 days do ALS. Maximum ramulosis severity occurred from 20 to 30° C, and between 20 and 25°C to bacterial blight, and both decreased sharply at warmer or cooler temperatures. Ramulosis severity increased as wetness periods were increased from 4 to 32 h. Bacterial blight severity increased from 0 to 8 h of wetness period. The severity of both diseases, were best fitted by a logarithmic exponential model as function of LWD which, by the substitution of parameters for temperature functions, described the surface response with high precision and accuracy, even being a very flexible model. In the field, ramulosis growth rate was strongly correlated with values of the disease favorability index and rainfall with  $R^2=0.89$  and  $R^2=0.91$ , respectively. Bacterial blight growth rate had best linear correlation to temperature during the wetness period and maximum wind with  $R^2=0.75$  and  $R^2=0.84$ , respectively.

**Keywords:** Bacterial blight; Ramulosis; Favorability model; Wetness; Temperature; Warning system

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Representação do esquema de amostragem das plantas para as avaliações das doenças em uma parcela experimental..... 42
- Figura 2 – Representação esquemática de como a taxa de crescimento do intervalo entre duas avaliações foi analisada em relações às variáveis meteorológicas em diferentes períodos, desde 0 até 8 dias antes..... 46
- Figura 3 – Tempo de secagem da solução inóculo após a retirada da câmara úmida, observado em diferentes temperaturas..... 48
- Figura 4 – Densidade relativa de lesões (DRL) de ramulose em algodoeiro em função de diferentes durações do período de molhamento (DPM) nas temperaturas de 15, 20, 25 e 30°C. Os pontos circulares representam as médias e as barras verticais o intervalo de confiança a 95% de probabilidade..... 49
- Figura 5 – Superfície de resposta da densidade relativa de lesões (DRL) de ramulose no algodoeiro em função de diferentes durações do período de molhamento (DPM) nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30°C..... 50
- Figura 6 – Curva de progresso da ramulose em plantas de algodão em condições de câmaras de crescimento aos n dias após inoculação (DAI) nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30°C, média dos seis níveis de DPM aplicados..... 51
- Figura 7 – Severidade de mancha angular em plantas de algodão em função de diferentes durações do período de molhamento (DPM) nas temperaturas de 15, 20, 25 e 30°C. Os pontos circulares representam as médias e as barras verticais o intervalo de confiança a 95% de probabilidade..... 53
- Figura 8 – Superfície de resposta da severidade de mancha angular em plantas de algodão em função de diferentes durações do período de molhamento (DPM) nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30°C..... 54
- Figura 9 – Curva de progresso da mancha angular em plantas de algodão em condições de câmaras de crescimento aos n dias após inoculação (DAI) nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30°C, média dos seis molhamentos aplicados. .... 55

- Figura 10 – Densidade relativa de lesões (DRL) da ramulose no algodoeiro obtidas com 0,5, 4,5, 8, 17, 32 e 64 horas de molhamento (DPM), no intervalo de 10 a 40°C. As linhas correspondem ao modelo ajustado, segundo a equação 2 e os pontos aos valores observados. .... 58
- Figura 11 – Densidade relativa de lesões (DRL) da ramulose no algodoeiro obtidas a 15, 20, 25, 30 e 40°C, no intervalo de 0 a 64 h de duração do período de molhamento. As linhas correspondem ao modelo ajustado, segundo a equação 3 e os pontos aos valores observados. .... 59
- Figura 12 – Relação entre os parâmetros “a”, “b” e “c” da equação 3 e a temperatura do ar nos experimentos da ramulose do algodoeiro em câmaras de crescimento, no intervalo de temperatura do ar de 10 a 40°C..... 61
- Figura 13 – Superfície de resposta gerada pelo modelo em que a densidade relativa de lesões (DRL) da ramulose no algodoeiro é dada pela equação 3 em função da DPM e os parâmetros “a”, “b” e “c” pelas equações 4, 5 e 6, em função da temperatura do ar. .... 62
- Figura 14 – Relação entre os valores de DRL da ramulose no algodoeiro observados e estimados pelo modelo baseado no binômio T-DPM. \*\*Estatisticamente significativo a 1% de probabilidade. .... 63
- Figura 15 – Severidade da mancha angular em algodoeiro a 15, 20, 25, 30 e 40°C, no intervalo de 0 a 32 h de molhamento. As linhas correspondem ao modelo ajustado, segundo a equação 7 e os pontos aos valores observados. .... 64
- Figura 16 – Relação entre os parâmetros “a”, “b” e “c” da equação 7 e a temperatura do ar nos experimentos da mancha angular do algodoeiro em câmaras de crescimento, no intervalo de 10 a 40°C. .... 66
- Figura 17 – Superfície de resposta gerada pelo modelo em que a severidade da mancha angular no algodoeiro é dada pela equação 7 em função da DPM e os parâmetros “a”, “b” e “c” pelas equações 8, 9 e 10, em função da temperatura do ar. .... 67
- Figura 18 – Relação entre os valores de severidade da mancha angular do algodoeiro observados e estimados pelo modelo baseado no binômio T-DPM..... 68
- Figura 19 – Acúmulo de massa seca no algodoeiro, cultivar Makina, nas parcelas não inoculadas (testemunha), inoculadas com ramulose e inoculadas com mancha angular, de 0 a

- 124 dias após emergência (DAE), em Piracicaba, SP, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06. .... 69
- Figura 20 – Índice de área foliar do algodoeiro, cultivar Makina, nas parcelas não inoculadas (testemunha), inoculadas com ramulose e inoculadas com mancha angular, de 0 a 124 dias após emergência (DAE), em Piracicaba, SP, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06. .... 70
- Figura 21 – Duração do índice de área foliar do algodoeiro (DIAF), cultivar Makina, nas parcelas não inoculadas (testemunha), inoculadas com ramulose e inoculadas com mancha angular, de 0 a 124 dias após emergência, em Piracicaba, SP, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06. Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. .... 71
- Figura 22 – Rendimento, em  $\text{Kg.m}^{-2}$ , de algodão em caroço, do algodoeiro, cultivar Makina, nas parcelas inoculadas com ramulose e com mancha angular e nas parcelas não inoculadas (Testemunha), nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. .... 72
- Figura 23 – Média móvel da temperatura média diária do ar, para períodos de sete dias, ao nível do dossel da cultura do algodoeiro e na estação meteorológica a 1,5 m de altura, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. .... 74
- Figura 24 – Média móvel da umidade relativa média diária do ar, para períodos de sete dias, ao nível do dossel da cultura do algodoeiro e na estação meteorológica a 1,5 m de altura, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. .... 76
- Figura 25 – Média móvel da duração do período de molhamento (DPM), para períodos de sete dias, ao nível do dossel da cultura do algodoeiro e na estação meteorológica a 1,5 m de altura, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. ... 78
- Figura 26 – Média móvel do índice de favorabilidade de temperatura e molhamento (IFtm) para a ramulose (A) e mancha angular (B) do algodoeiro, aos n dias após inoculação (DAI), para medidas junto ao dossel das plantas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. .... 80

- Figura 27 – Frequência relativa do IF<sub>tm</sub>, abaixo e acima do valor médio de 0,45, obtido junto ao dossel da cultura, de 0 a 75 dias após inoculação, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. .... 81
- Figura 28 – Intensidade média de ramulose na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, aos n dias após inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. Escala de Cia et al. (1982). .... 82
- Figura 29 – Intensidade média de ramulose na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, aos n dias após inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2004/05 e 05/06, em Piracicaba, SP, de acordo com a *Escala Proposta*. .... 84
- Figura 30 – Área abaixo da curva de progresso da doença (AUDPC) – ramulose – na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, de 0 a 80 dias após a inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. .... 85
- Figura 31 – Severidade média de mancha angular na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, aos n dias após inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. .... 86
- Figura 32 – Incidência média de mancha angular na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, aos n dias após inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. .... 87
- Figura 33 – Área abaixo da curva de progresso da doença (AUDPC) – mancha angular – na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, de 0 a 50 dias após a inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04 e 2004/05, em Piracicaba, SP. .... 88
- Figura 34 – Taxa de crescimento semanal da ramulose na cultura do algodão em função do IF<sub>tm</sub> acumulado em um período de sete dias, defasado seis dias da data de referência, nos experimentos de 2004/05 e 2005/06. Os pontos vazios foram excluídos do conjunto de dados do ajuste do modelo apresentado. .... 89
- Figura 35 – Relação entre a taxa de crescimento da ramulose observada e a estimada pela equação 12, em função do IF<sub>tm</sub> acumulado no período anterior, considerando-se os dados dos experimentos de 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. .... 90

- Figura 36 – Taxa de crescimento semanal da ramulose em função da chuva acumulada no período anterior, nos experimentos de 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP..... 91
- Figura 37 – Relação entre a taxa de crescimento da ramulose observada e a estimada pela equação 13, em função da chuva acumulada no período anterior, utilizando-se os dados dos experimentos de 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP..... 93
- Figura 38 – Relação entre a taxa de crescimento da mancha angular em algodoeiro em função da temperatura mínima média, da temperatura média durante o período de molhamento e da velocidade máxima do vento, utilizando-se os dados dos experimentos de 2003/04 e 2004/05, em Piracicaba, SP. .... 97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Importância de doenças do algodoeiro em Estados produtores do Brasil <sup>(1)</sup> . .....	19
Tabela 2 – Médias mensais dos elementos meteorológicos em Piracicaba, SP, referente ao período de 1917 a 2000. ....	39
Tabela 3 – Parâmetros da equação 2 que descreve a relação entre a DRL da ramulose em algodoeiro e a temperatura do ar em condições de câmara de crescimento. ....	57
Tabela 4 – Parâmetros da equação 3 que descreve a relação entre a DRL da ramulose no algodoeiro e a duração do período de molhamento. ....	57
Tabela 5 – Parâmetros obtidos pelo ajuste do modelo de DRL em função da duração do molhamento. ....	65
Tabela 6 – Coeficientes de correlação entre a taxa de crescimento da ramulose no algodoeiro com as variáveis IFtm e Chuva acumuladas no mesmo período (n) e em períodos anteriores (n-1 a n-8). ....	89
Tabela 7 – Coeficientes de correlação entre a taxa de crescimento da mancha angular e as variáveis meteorológicas estudadas, acumuladas no mesmo período (n) e em períodos anteriores (n-1 a n-8). ....	95



## 1 INTRODUÇÃO

A cotonicultura no Brasil consolidou sua recuperação em termos de produção e até mesmo de inserção nos mercados internacionais, no ano de 2001. Depois de anos de estagnação do setor produtivo e de chegar a ser um dos maiores importadores mundiais da fibra, o Brasil volta a exportar volume significativo. Dados da Companhia Nacional de Abastecimento indicam que a safra de algodão em caroço em 2005/06 foi cerca de 1,7 milhões de toneladas (CONAB, 2006).

A expansão da cultura do algodão no Centro-Oeste e em certas regiões do Norte e Nordeste do Brasil representou a migração da cultura para novas áreas, as quais, apesar da maior favorabilidade climática para ocorrência de algumas doenças, permitiam certas vantagens em relação às áreas tradicionais. Representou também, uma profunda mudança nos paradigmas básicos da cultura, na medida em que mudou completamente a escala de produção, o sistema de produção e o processo administrativo (FNP, 2002).

Visto o mercado sob este prisma, são altamente positivas as iniciativas como a do Proalba (Programa de Incentivo à Cultura do Algodão no Cerrado Baiano), que vem estimulando a expansão da cultura, tomando por base os princípios de eficiência produtiva, ou seja, mediante a combinação de baixos custos com elevada qualidade da fibra. O programa investe em pesquisa para elevar a produtividade, com o desenvolvimento de novos cultivares e tecnologias de controle de pragas e doenças, atualmente um dos principais problemas da cultura, juntamente com os aspectos de qualidade da fibra.

Com relação aos problemas da ocorrência de doenças no algodoeiro, encontram-se registrados na literatura especializada mais de 250 espécies de agentes causais de doenças. É certo que muitas dessas doenças não apresentam qualquer importância econômica, porém, outras são altamente destrutivas. O método mais econômico e seguro de controle de doenças é o emprego de cultivares resistentes. Todavia, nem sempre existem fatores de resistência no germoplasma disponível ou o material não apresenta resistência múltipla às principais doenças que ocorrem na região ou, ainda, por opção de produtores – por razões técnicas ou econômicas diversas – pelo plantio de cultivares suscetíveis (CIA; FUZZATTO, 1999).

Cia e Fuzatto (1999), classificando a importância potencial de doenças de algodoeiro, até o ano de 1999, em Estados produtores da região meridional do Brasil, responsável

por 92% da produção nacional, identificaram a ramulose e a mancha angular como as de maior importância dentre as doenças fúngicas e bacterianas, principalmente nas regiões produtoras do Cerrado. Essas doenças se encontram disseminadas praticamente por todas as regiões do país onde se cultiva o algodoeiro e, atualmente, vem causando problemas sérios nos Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e em algumas localidades do Nordeste brasileiro.

Sabe-se que o desenvolvimento de uma doença é resultante da interação de uma planta suscetível com um agente patogênico agressivo, ambos sob condições ambientais favoráveis. O ambiente, portanto, é um componente relevante nessa interação, podendo, inclusive, impedir a ocorrência de doença mesmo na presença de hospedeiro suscetível e do patógeno. Doenças altamente destrutivas quando em ambiente favorável, podem passar despercebidas sob certas condições ambientais (BEDENDO, 1995), dependendo das condições meteorológicas de um ano específico.

Segundo Cia e Salgado (1995), condições favoráveis ao desenvolvimento da ramulose são alta pluviosidade, boa fertilidade de solo e temperaturas entre 25° e 30°C. Para a mancha angular, além da alta umidade do ar e vento, outro fator essencial para a ocorrência de epidemias é a temperatura, que tem grande importância na manifestação dos sintomas, até mesmo em cultivares resistentes.

No entanto, a simples noção geral sem a quantificação precisa das condições ambientais que favorecem o desenvolvimento destas doenças proporciona poucos resultados práticos. Logo, demanda-se aprofundamento nos estudos das relações entre as condições meteorológicas, mais precisamente do microclima da cultura, e a epidemiologia destas doenças. Somente a partir de uma determinação acurada dessas relações é que se pode viabilizar o desenvolvimento de métodos ou modelos que identifiquem as situações em que a ocorrência ou agravamento da doença é iminente para, nesses casos, empregar as medidas de controle mais adequadas.

A agricultura moderna requer práticas cada vez mais eficientes, onde a tecnologia caminhe paralelamente à proteção do ambiente e dos seres vivos, na busca da alta produtividade. Para que isto seja alcançado, é preciso conhecer, entender e respeitar a Ecologia como Ciência e o Agroecossistema como parte dessa Ciência (ZÄHLER, 1989). Hoje em dia, é aceito que para se controlar economicamente as doenças de plantas não é necessário bani-las de uma área e, desse modo, é função do epidemiologista encontrar um certo equilíbrio entre o nível de doença e as

medidas de controle a serem utilizadas (ZADOKS; SCHEIN, 1979). Este equilíbrio, em essência, é a idéia que está por trás do manejo integrado de doenças e implica no conceito de que tanto a falta quanto o excesso de medidas de controle levam a prejuízos semelhantes (LOPES, 1994). O aumento do número de pragas e doenças em áreas agrícolas tem sido agravado pelo uso indiscriminado de defensivos, os quais contribuem ainda mais para o desequilíbrio do agroecossistema e para o desenvolvimento da resistência dos organismos aos princípios ativos. É necessário então, desenvolver tecnologias para um manejo mais racional de pragas e doenças, adaptadas às características de cada região (ZÄHLER, 1989).

Para este propósito, é indispensável uma abordagem interdisciplinar da temática; com a participação integrada de diferentes áreas do conhecimento agrônômico, como a *Agrometeorologia*, a *Fitopatologia* e a *Fitotecnia*, cujo objetivo é alcançar o máximo proveito da cultura com um mínimo de intervenção no ambiente. Tal integração é fundamental para a troca de informações e experiência, já que resultados consistentes dependem de levantamentos, observações e estudos acumulados no decorrer dos anos.

Este é o princípio da previsão agrometeorológica de doenças de plantas que, em outras palavras, pode ser conceituada como a “arte de definir, em valores quantitativos e com a maior acuidade possível, os fatores que limitam o desenvolvimento de um patógeno, relacionando-os com os períodos de maior probabilidade de ataque em função das condições ambientais”, orientando a tomada de decisão com relação ao uso das medidas de controle pelo agricultor.

Dentro desse contexto, os objetivos principais deste trabalho podem ser assim resumidos: I) estabelecer, em câmaras de crescimento, a relação entre diversas combinações de temperatura e duração do período de molhamento foliar e a intensidade de infecção da ramulose e da mancha angular em plantas de algodoeiro; II) em experimentos de campo, avaliar o progresso da ramulose e mancha angular na cultura do algodoeiro, e correlacioná-los com as variáveis meteorológicas obtidas em estação padrão e por conjuntos de monitoramento microclimático, ao longo do ciclo da cultura; III) com base nas relações estabelecidas nas câmaras de crescimento, avaliar a correlação entre a ocorrência da ramulose e da mancha angular e as variáveis meteorológicas monitoradas em experimentos de campo, testar ajustes e, a partir das melhores correlações, propor um modelo de favorabilidade agrometeorológica para a ocorrência da ramulose e da mancha angular na cultura do algodoeiro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Doenças do algodoeiro

No Brasil não existem dados precisos sobre os efeitos somados de todas as doenças sobre a produção de pluma; há apenas relatos de danos decorrentes da ação de patógenos, individualmente. Entretanto, como muitos patógenos da cultura ocorrem nas regiões produtoras (CIA; SALGADO, 1995), estima-se que as perdas sejam substanciais. Depois que grandes áreas produtoras de algodão se instalaram na região do Cerrado, tem sido constatada alta incidência de doenças foliares (Tabela 1), inclusive aquelas consideradas, até então, de pouca importância para o algodoeiro nas regiões tradicionalmente produtoras.

Tabela 1 – Importância de doenças do algodoeiro em Estados produtores do Brasil <sup>(1)</sup>

Doenças	Sul / Sudeste		Centro Oeste			Norte		NE		Total
	PR	SP	MG	GO	MS	MT	RO	PA	Outros	
Murcha de Fusarium	4	5	3	3	2	1				18
Murcha de Verticillium	3	3	1	1	1	1			X	10
ramulose	3	3	4	5	4	5	5	5	X	34
mancha angular	4	3	3	3	3	3	3	3	X	25
Manchas foliares	3	2	2	3	3	4	3	3	X	23
Mosaico das nervuras	4	5	5	5	5	5	X	X	X	29
Viroses	X	X	X	X	X	X			X	
Murchamento avermelhado	4	5	3	3	3	3				21
Nematóides	4	5	4	3	3	2				21
Podridão das Maçãs	X	X	X	X	X	X			X	
Mofo Branco									X	

Fonte: Chiavegato (2001), modificado de Cia e Fuzatto (1999). <sup>(1)</sup> Escala de notas: 1 = sem importância; 2 = pequena importância; 3 = medianamente importante, necessitando de precauções e estudos; 4 = importante, demandando medidas de controle; 5 = muito importante, inviabilizando a cultura se não houver controle; X = presença constatada.

Na literatura são relatados muitos patógenos na cultura do algodoeiro, dos quais 90% são fungos, além de 16 vírus, dois fitoplasmas, 10 nematóides e uma bactéria (CIA; SALGADO, 1995). No Estado de Mato Grosso, as doenças fúngicas mais importantes são a

ramulose, causada pelo fungo *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*, e o falso oídio ou mancha de ramulária, causada pelo fungo *Ramularia aréola* (CIA; ARAUJO, 1999).

Outra doença de grande importância é a bacteriose ou crestamento bacteriano, mais conhecida como mancha angular do algodoeiro. Esta doença ocorre de forma generalizada em todas as regiões produtoras de algodão em todo o mundo e está entre as doenças mais danosas à cultura (DELANNOY et al., 2005). Devido à ampla disseminação e alta variabilidade do patógeno, constitui-se como um sério problema à cotonicultura também no Brasil (CIA; SALGADO, 1995) e sua severidade depende de fatores climáticos e da cultivar (ZADONÁ et al., 2005).

O principal método de controle de doenças do algodoeiro consiste na utilização de cultivares resistentes. Todavia, para certos patógenos não se dispõe de genótipos com essa propriedade e, por outro lado, mesmo que se use material resistente, é sempre conveniente se complementar essa medida com outras de natureza diversa. O ideal, de fato, seria combinar também medidas de profilaxia, além de técnicas culturais. O uso de defensivos no controle de doenças do algodoeiro está associado à ausência, nas cultivares disponíveis, de resistência genética a certas doenças e, também, à opção dos produtores – por razões técnicas ou econômicas diversas – pela semeadura de cultivares suscetíveis (CIA; FUZZATO, 1999). As vantagens do uso de cultivares resistentes são evidentes. Por outro lado, nem sempre isso significa garantia da não ocorrência de epidemias, até mesmo em genótipos resistentes. Monteiro (2002), estudando o microclima do algodoeiro e a ocorrência de ramulose em duas cultivares, uma resistente (IAC 23) e outra suscetível (Coodetec 401) à doença, identificou que ao ocorrer temperaturas abaixo de 15°C – temperatura-base do algodoeiro, segundo Bolonhezi (2001) – ocorreu grande aumento da predisposição da cultura à ocorrência da ramulose, mesmo na cultivar resistente.

### **2.1.1 Ramulose (*Colletotrichum gossypii* (South) var. *cephalosporioides* A. S. Costa)**

Esta doença foi constatada pela primeira vez no município de Rancharia, SP, em 1936, e já se encontra disseminada praticamente por todas as regiões do país onde se cultiva o algodoeiro. Atualmente, vem causando problemas sérios nos Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e em algumas localidades do Nordeste brasileiro. Fora do Brasil, sua ocorrência é relatada somente na Venezuela e no Paraguai. A doença é causada por uma variedade

fisiológica do agente causal da antracnose e recebeu o nome de *Colletotrichum gossypii* South. var. *cephalosporioides* (CIA; SALGADO, 1995).

A ramulose pode manifestar-se em plantas de qualquer idade, desenvolvendo-se de preferência nos tecidos jovens. Os sintomas diretos aparecem primeiramente nas folhas novas, tanto na haste principal como nas laterais, na forma de manchas necróticas, mais ou menos circulares quando situadas no limbo entre as nervuras, e alongadas quando no sentido longitudinal. O tecido necrosado tende a cair, formando perfurações. As lesões, principalmente das nervuras, acarretam o desenvolvimento desigual dos tecidos foliares, ocasionando o enrugamento da superfície do limbo. O fungo afeta o meristema apical provocando sua necrose, o que estimula o desenvolvimento dos brotos laterais que se transformam em “ramos extranumerários”, conferindo à planta um aspecto de superbrotamento ou envassouramento. Os internódios, via de regra, apresentam intumescimento, e as plantas doentes ficam com porte reduzido (PAIVA; ASMUS; ARAÚJO, 2001).

Quando a doença afeta plantas novas, as gemas terminais dos ramos extranumerários podem sofrer novas infecções e, pela sua morte, estimulam o desenvolvimento de novas gemas. Esse carrear de energias para o crescimento vegetativo em resposta à sucessiva destruição das gemas apicais, exaure a planta para a finalidade de frutificação. Plantas doentes podem ser facilmente distinguidas das sadias, pois estas derrubam as folhas e apresentam grande número de capulhos, ao passo que plantas doentes apresentam densa massa de folhagem escura e poucos capulhos. Normalmente, observam-se na parte inferior de plantas com muitos sintomas, algumas folhas mais desenvolvidas, de coloração verde mais escuro e aspecto coriáceo ou quebradiço (CIA; SALGADO, 1995). A manifestação tardia da doença originou a denominação ramulose tardia, de sintomas muito semelhantes. Entretanto, neste último caso as plantas doentes apresentam o superbrotamento só no ápice, não afetando muito a produtividade (ABRAHÃO, 1961; CIA; SALGADO, 1995).

A principal via de transmissão e disseminação do fungo é a semente, na qual pode ser veiculado externamente, na forma de conídios, ou internamente, na forma de micélio dormente. O fungo pode ainda sobreviver de um ano para outro em solo contaminado, sendo também considerado causador de tombamento pré e pós-emergência das plântulas (WATKINS, 1981). Em condições normais de armazenamento, Kimati (1980) cita que o fungo pode permanecer viável no interior das sementes, como micélio dormente, por até três anos. Por meio

das sementes, esses microorganismos são introduzidos em novas áreas, sobrevivem por anos e se disseminam pela população de plantas, como focos primários da doença (GOULART, 2001). Veiculado pela semente ou presente no solo, o inóculo primário causa lesões primárias em algumas plantas que vão servir como fonte de inóculo secundário. Lesões secundárias ocorrem nas plantas adjacentes, e o patógeno, propagando-se radialmente, forma reboleiras (CIA; SALGADO, 1995). Assim, o tratamento químico de sementes com fungicidas, do ponto de vista de manejo integrado de doenças, é um dos métodos mais simples, de baixo custo e resulta em reflexos altamente positivos para o aumento da produtividade da cultura (GOULART, 2001).

O processo de infecção inicia-se quando a unidade de dispersão do patógeno entra em contato com o hospedeiro suscetível sob condições ambientais favoráveis (ZADOKS; SCHEIN, 1979). O inóculo primário causa lesões primárias em algumas plantas que vão servir como fontes de inóculo secundário. As lesões secundárias ocorrem nas plantas adjacentes, o que resulta em plantas com sintomas mais severos da ramulose, próximos dos focos iniciais (KIMATI, 1980). Abrahão (1961), em observações de campo, verificou que a disseminação da doença em condições normais inicia-se a partir de reduzido número de plantas, às vezes, uma ou duas que funcionam como centro de irradiação. Há tendência de a ramulose disseminar-se em áreas circulares ou elípticas, mas também com aparecimento simultâneo de novos focos (DRUMMOND, 1961). Nos estudos envolvendo o progresso e o gradiente da ramulose no espaço, observou-se que a doença foi constatada nas plantas adjacentes à fonte de inóculo, aos 32 dias da emergência. A curva de progresso apresentou tendência linear até 2 m da fonte de inóculo. Nas áreas localizadas a partir de 3 m da fonte de inóculo, o aumento da incidência seguiu tendência sigmoideal (SANTOS, 1993).

A principal medida de controle é a utilização de cultivares com resistência ao patógeno. Outro método de controle é o uso de sementes sadias e seu tratamento com fungicidas eficientes. A Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo adotou, a partir de 1949, a prática de não aproveitar sementes oriundas de campos de cooperação com sintomas severos de ramulose, aceitando uma tolerância de 5% de plantas doentes. Complementarmente, recomenda-se a rotação de culturas e a queima dos restos de cultura (CIA; SALGADO, 1995). Recomenda-se, ainda, o controle químico com fungicidas, os quais devem ser aplicados quando a doença se encontra na fase inicial de manchas necróticas. O controle químico não se mostra efetivo quando a doença encontra-se na fase de indução de superbrotamento. Rotação de culturas

e destruição de restos culturais ajudam a manter a doença em níveis baixos de incidência (PAIVA; ASMUS; ARAÚJO, 2001). Nos estágios iniciais da ramulose tardia, recomenda-se ainda as seguintes medidas: 1) inspeção freqüente do campo para localização e erradicação das plantas foco; 2) poda e eliminação das extremidades das plantas doentes nas adjacências do foco; 3) pulverização preventiva com tiocarbamatos ou cúpricos das plantas sadias adjacentes às plantas erradicadas (CIA; SALGADO, 1995). Atualmente, embora ainda não existam trabalhos científicos relatando isso, outros grupos de fungicidas já vêm sendo empregados no campo para o manejo da ramulose.

### **2.1.2 Mancha angular (*Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* (E. F. Smith) Dye.)**

Esta doença é causada pela bactéria *Xanthomonas axonopodis* p.v. *malvacearum*, que pode sobreviver por vários anos na semente, folha, caule e capulho infectados. A transmissão interna pela semente pode chegar a 4%. A disseminação da bactéria dentro do campo ocorre em razão de chuvas acompanhadas de ventos fortes. Essas condições favorecem também a infecção, pois provocam molhamento dos tecidos do hospedeiro e injúrias mecânicas facilitando a penetração. Para ocorrer lesões nas folhas é preciso que os estômatos estejam abertos e os tecidos com molhamento. Lesões nos ramos ocorrem geralmente pela movimentação das bactérias nas lesões nas nervuras ou brácteas, através do parênquima cortical, para o córtex do caule. Nas condições do Estado de São Paulo e Paraná, sintomas de mancha angular intensificam-se a partir de meados de dezembro, que corresponde à época chuvosa e de temperatura mais propícia ao desenvolvimento da doença (CIA; SALGADO, 1995).

A planta de algodão pode ser afetada pela mancha angular em todos os estágios de desenvolvimento, começando com o “seedling”. Nas folhas, os sintomas são identificados por manchas angulares no limbo foliar, pois as lesões são delimitadas pelas nervuras, conferindo-lhes um contorno anguloso. Como nos cotilédones, as lesões se apresentam inicialmente aquosas e, na maioria das vezes, primeiro na face inferior da folha. Em hospedeiro suscetível, as lesões se tornam numerosas e, freqüentemente, ocorre coalescência atingindo grandes áreas da folha, que se torna distorcida e necrosada, caindo posteriormente. Outro sintoma comum ocorre quando as lesões se estendem ao longo dos lados das nervuras principais (HILLOCKS, 1992).



Perdas de produção provocadas por mancha angular são bastante variáveis de ano para ano, e de região para região. Diversos trabalhos têm reportado perdas desde valores mínimos em anos desfavoráveis à doença (BLASINGAME, 1990) até 77% em casos de infecção severa em anos favoráveis (EL-NUR, 1970). Resultados variáveis têm sido observados com qualquer dos métodos utilizados para estimar a redução de rendimento provocado pela doença que, em média, variam na faixa de 5% a 35%, segundo Delannoy et al., (2005). Isso se deve à dificuldade de se restringir a disseminação da doença para parcelas controle e ao fato de que altos níveis de infecção ocorrem somente sob certas condições meteorológicas (HILLOCKS, 1992). Massey (1931) encontrou lesões foliares formadas mesmo em condições de umidade relativa em torno de 25%, porém, providas por superfície foliar molhada. Isto, provavelmente, explica o porquê epidemias da doença na Califórnia têm sido associadas ao uso de irrigação por aspersão (SCHNATHORST; HALISKY; MARTIN, 1960). Stoughton (1971) afirmou que a 25°C a infecção foi maior com umidade relativa de 85%, mas discreta quando em 70%. No nordeste da Índia, a incidência de mancha angular foi mais severa onde a umidade relativa foi, em média, 75% ou mais, por pelo menos dez semanas durante a estação de cultivo. A ocorrência de chuvas de quatro a seis semanas após o plantio é considerada como condição iminente para uma possível epidemia (VERMA; SINGH, 1971).

Segundo Hillocks (1992), condições ótimas para o desenvolvimento de uma epidemia são: i) o estabelecimento de infecção primária no estágio de “seedling”; ii) chuva para distribuir a doença na cultura até seis semanas após plantio; iii) períodos de vento forte e chuva depois da formação do dossel, intercalados por períodos de brilho solar, fazendo com que a umidade relativa no interior da cultura atinja 85% ou mais; e iv) altas temperaturas durante a fase secundária da doença, 32°C a 38°C durante o dia e 17°C a 20°C à noite. Trabalho conduzido por Stoughton (1971) mostrou que sob alta umidade relativa a doença foi mais severa a 36°C, especialmente quando as temperaturas noturnas foram amenas, ao redor de 19°C.

Foi determinado precocemente no histórico da mancha angular que sementes contaminadas são fonte de inóculo primário (MASSEY, 1931). Quando o tratamento de sementes falha no controle da doença por volta do estágio de emergência, o cultivo pode ser protegido de epidemias por agentes químicos aplicados na folhagem. Esta é uma prática cara, mas é justificável em cultivares de ciclo longo. Verma (1986) concluiu, em sua revisão sobre controle químico da doença, que a prática mais efetiva era usar algum componente *oxanthiin* no

tratamento de sementes para redução do inóculo primário, além de aplicar pulverizações foliares do mesmo componente de seis a oito semanas após a semeadura, se necessário. A decisão da pulverização deve basear-se na avaliação da cultura seis semanas após a semeadura. As pulverizações devem então começar nas próximas duas semanas com 10 a 20 dias de intervalo, até um máximo de três pulverizações.

Em áreas onde as condições são favoráveis ao desenvolvimento de epidemias, nenhuma das medidas de controle adotadas isoladamente é capaz de prover resultados efetivos. Nesses casos, devem ser adotados programas de controle integrado que combinem diversas ações (HILLOCKS, 1992).

Atualmente, existem alguns cultivares resistentes, tais como Delta Opal, EPAMIG Liça e Fibermax 986 (METHA; BOMFETI; BOLOGNINI, 2005). Porém, há demanda por parte dos produtores por informações sobre controle da mancha angular, devido às cultivares mais plantadas no Brasil (Delta Pine, Acala 90 e ITA 90) serem suscetíveis, ocasionando o aumento da incidência desta doença nos últimos anos (SIQUERI, 2005).

## **2.2 Condições meteorológicas e a ocorrência de doenças**

Chiavegato (1995), estudando o efeito do ambiente e de cultivares nos componentes da produção e nas características tecnológicas da fibra e do fio de algodão, concluiu que a influência do ambiente na produção de algodão em caroço foi dez vezes maior à da cultivar. Essa grande influência do ambiente na produção é esperada e explicada pela grande variação entre locais e anos quanto às condições edafo-climáticas regionais e pelos fatores adversos, tais como pragas, doenças, nematóides, deficiências nutricionais, condições meteorológicas e técnicas de cultivo.

O desenvolvimento de uma doença é a resultante da interação entre uma planta suscetível, um agente patogênico agressivo e condições ambientais favoráveis. O ambiente, portanto, é um componente relevante nesta interação, podendo, inclusive, impedir a ocorrência da doença mesmo na presença de hospedeiro suscetível e de fonte de inóculo. Doenças que se apresentam como altamente destrutivas em ambiente favorável, podem passar despercebidas, sob condições ambientais desfavoráveis (BEDENDO, 1995; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996).

As doenças de plantas provocadas por fungos que atacam folhas e frutos são influenciadas, principalmente, pelo macroclima da região. Porém, o uso de técnicas agrícolas como sombreamento, quebra-ventos, cobertura morta do solo, densidade de plantio e irrigação, podem modificar o microclima da comunidade vegetal, alterando o curso diário da temperatura e da umidade do ar, influenciando decisivamente na instalação do processo infeccioso e no desenvolvimento epidemiológico, por suas inter-relações com o patógeno (PEDRO JR., 1989).

### **2.2.1 Microclima da cultura**

O clima de determinada região pode ser subdividido em macroclima, cuja caracterização se dá na escala de 50 a 1000 km em relação ao local considerado; mesoclima, que se caracteriza pelas condições normais numa escala de 100 m a 1000 km e microclima, na escala de 1 mm a 300 m. Usualmente, em fitopatologia, o microclima se restringe à área de influência do dossel da cultura, pois as doenças são mais influenciadas pelas condições do microclima na cultura do que pelo macroclima (VALE et al., 2004).

Segundo Rotem e Palti (1969), o microclima de uma cultura é determinado pela densidade de plantio, topografia, tipo de solo, drenagem e fatores de manejo da cultura, como a irrigação.

O incremento da densidade populacional de uma cultura, dentre outras técnicas de cultivo intensivo, afeta marcadamente o balanço de energia radiante e, conseqüentemente, a velocidade de evaporação de água proveniente de chuva, orvalho ou irrigação (PEDRO JR., 1989). Isso resulta em alterações microclimáticas que afetam o curso diário da umidade e da temperatura dentro do dossel das plantas, favorecendo o desenvolvimento de epidemias (ROTEM; PALTI, 1969; PEDRO JR., 1989). Muitas vezes, apesar da cultura estar exposta a um ambiente supostamente adverso à doença, epidemias continuam a ocorrer porque técnicas de cultivo intensivo, como irrigação ou adensamento populacional, formam um microclima favorável à doença (ROTEM, 1988). A extensão e a frequência da ocorrência de determinada doença, assim como sua severidade, são influenciadas pelo grau de desvio do ponto no qual, cada condição ambiental é ótima para seu desenvolvimento (AGRIOS, 1997).

Dentre os elementos meteorológicos que influenciam o desenvolvimento do hospedeiro e do patógeno, podem ser citados como principais: umidade do ar, temperatura,

precipitação pluvial e velocidade e direção do vento (ZAHLER; MOTA; AGENDES, 1991). A observação contínua dessas variáveis, bem como as da cultura e do patógeno, é necessária para melhor entendimento e quantificação dessas inter-relações (SUTTON; GILLESPIE; HILDEBRAND, 1984).

Santos (1993) atribuiu a um período com elevada umidade relativa e temperatura mínimas diárias muito baixas um aumento pronunciado na incidência da ramulose. A falta de chuvas e o abaixamento da temperatura média coincidiram com a paralisação da doença, demonstrando que essas variáveis climáticas são importantes para o progresso da doença.

Monteiro (2002), analisando o microclima da cultura do algodoeiro e a ocorrência de ramulose, concluiu que o monitoramento agrometeorológico apresenta-se como uma ferramenta extremamente útil e eficiente na identificação de momentos em que se faz mais necessária a aplicação de fungicidas para o controle desta doença, antes mesmo da manifestação dos sintomas, que geralmente ocorrerem dias depois do período de infecção mais intensa.

Embora a epidemiologia da ramulose tenha recebido alguma atenção no passado (COSTA, 1941; ABRAHÃO, 1961; DRUMMOND, 1961; TANAKA, 1990; TEIXEIRA, 1995; SANTOS, 1993; CIA, et al., 2001; MONTEIRO, 2002), a influência das condições ambientais no seu desenvolvimento ainda não foi totalmente esclarecida.

A quantificação da influência das condições climáticas no desenvolvimento de epidemias é feita usualmente em experimentos conduzidos em câmaras de crescimento de plantas. Experimentos em câmaras de crescimento permitem isolar os efeitos de variáveis ambientais específicas, fornecendo dados que explicam o desenvolvimento da doença em campo (KRANZ; HAU, 1980; ROTEM, 1988). Desta forma, determinando-se o efeito do ambiente sobre o desenvolvimento dos processos de infecção e colonização de uma doença pode-se inferir sobre o desenvolvimento de epidemias no campo.

### **2.2.1.1 Temperatura**

A taxa de crescimento de um microorganismo - que é, certamente, a melhor integração da maioria de suas atividades metabólicas - varia conforme a temperatura. Essa relação entre crescimento e temperatura assemelha-se, dentro de um intervalo definido, à lei de Arrhenius, que descreve que a velocidade de uma reação química é função da temperatura, pois

está relacionada com a energia de ativação necessária a cada processo. Isto está diretamente ligado com os processos biológicos de síntese e análise de um grande número de substâncias e moléculas essenciais, não só aos microorganismos, mas à vida em geral. No entanto, fora desse intervalo, próximo de um limite superior ou inferior, a curva de crescimento dos organismos vivos decresce abruptamente, até chegar a zero (ARAGNO, 1981).

O efeito da temperatura no desenvolvimento de microorganismos patogênicos vem sendo muito estudado, tendo sido detectada a influência dessa variável em todas as fases do ciclo de infecção, desde a germinação dos esporos até a produção de novas unidades de reprodução. Sabe-se, mesmo sendo a temperatura um fator crítico para o desenvolvimento da cadeia de infecção, que temperaturas desfavoráveis para o desenvolvimento da doença no campo frequentemente inibem uma epidemia temporariamente, mas não proporcionam a erradicação do patógeno (ROTEM, 1978; AGRIOS, 1997). Em condições de temperatura diferente do ótimo para o desenvolvimento do patógeno, a taxa de desenvolvimento da doença é reduzida, principalmente devido a um decréscimo no número de novas infecções e diminuição do inóculo, e o patógeno, que já se encontra no tecido infectado, continua seu desenvolvimento lentamente até que condições favoráveis de temperatura voltem a ocorrer (ROTEM, 1978; ZADOKS; SCHEIN, 1979).

A influência da temperatura na quantificação dos parâmetros monocíclicos de resistência como período latente, frequência de infecção, período infeccioso e produção de esporos, tem sido estudada em diversos patossistemas, já que esses dados são de grande utilidade na construção de modelos de simulação de epidemias (ZADOKS; SCHEIN, 1979). Estudos sob condições controladas demonstraram que ao se aumentar a temperatura de 10°C para 20°C ocorreu uma diminuição no valor do período latente de aproximadamente dois dias para os patógenos *Venturia inaequalis* (TORMELIN; JONES, 1983); *Alternaria helianthi* (ALLEN; BROWN; KOCKMAN, 1982); e *Puccinia recondita tritici* (TORMELIN et al., 1983).

A temperatura não afeta a doença apenas pelo desenvolvimento do patógeno. Segundo Bedendo (1995), a ocorrência de temperaturas extremas (altas ou baixas) durante o período que antecede a infecção pode alterar a suscetibilidade das plantas às doenças, o que varia de acordo com a espécie do hospedeiro e do patógeno. Segundo Doorenbos et al. (1979), a semeadura do algodoeiro é aconselhável em regiões ou épocas em que as temperaturas permaneçam entre 18°C e 30°C, nunca ultrapassando o limite inferior de 14°C. Monteiro (2002)

identificou um aumento extremamente intenso de incidência de ramulose no algodoeiro após um período com temperaturas mínimas diárias menores que a temperatura basal da planta, que é cerca de 14°C, e atribuiu isso a uma provável indução de predisposição das plantas, provocada pelas baixas temperaturas.

### 2.2.1.2 Duração do período de molhamento

A água constitui-se num fator vital para a germinação de esporos e penetração no hospedeiro. Em particular, a água na forma de orvalho tem grande relevância no processo de infecção. Nesse caso, a intensidade da doença está diretamente relacionada à quantidade e a duração do período de orvalho. Embora uma grande parte dos patógenos fúngicos dependa do molhamento da superfície da planta para a germinação, alguns são desfavorecidos por esta condição, mas ainda assim, nestes casos, a germinação se dá com alta umidade do ar, próximo à saturação (BEDENDO, 1995).

Vários autores evidenciam a importância do período de molhamento foliar, caracterizado quando a folha está coberta com uma película ou gotas de água, proporcionada por orvalho, nevoeiro, chuva ou irrigação (ROTEM, 1978; PEDRO JR. et al., 1991), para a ocorrência de epidemias em plantas, devido à formação de condições ideais para a germinação e penetração dos esporos. Assim, a presença ou ausência de água líquida nas superfícies da planta pode favorecer ou restringir o desenvolvimento da cadeia de infecção, principalmente nas fases de germinação e penetração (ZADOKS; SCHEIN, 1979; GROVE et al., 1985; ROYLE; BUTLER, 1986).

Estudos sobre o número mínimo de horas de molhamento para a germinação de esporos de fungos fitopatogênicos na superfície foliar têm demonstrado que esse processo ocorre num espaço de tempo pequeno, onde um período de duas a cinco horas de molhamento foi suficiente para a germinação dos esporos de *Puccinia coronata avenae* (POLITOWSKI; BROWING, 1975), *Phyllosticta maydis* (CASTOR; AYRES; NELSON, 1977), *Uromyces phaseoli* (IMHOF; LEONARD; MAIN, 1982), *Puccinia polysora* (HOLLIER; KING, 1985) e *Cercospora arachidicola* (ALDERMAN; BEUTE, 1986). Mas a continuidade do processo de infecção, isto é, o crescimento do tubo germinativo, a formação dos apressórios e a infecção propriamente dita, requer um maior número de horas de água livre na superfície foliar. Assim, no

caso de *Puccinia coronata avenae* (POLITOWSKI; BROWING, 1975), apesar da maioria dos uredosporos germinar em duas horas, a porcentagem de uredosporos com apressórios nesse período é bastante baixa e nenhuma infecção ocorre com menos de quatro horas de molhamento. Também no patossistema *Phyllosticta maydis* – milho (CASTOR; AYRES; NELSON, 1977), a maioria dos uredosporos germina com 3,5 horas de molhamento, mas um número significativo de infecções só foi obtido após um período de molhamento de 6 a 9 horas.

Essa relação temperatura-molhamento foliar também varia conforme o patógeno. Estudando a infecção de *Microcyclus ulei* em seringueira, Gasparotto (1988) verificou ser necessário pelo menos 6 horas de molhamento a uma temperatura de 24°C para ocorrer infecção. A 20°C foram necessárias 8 horas de molhamento e a 16°C não houve infecção.

De maneira geral, sabe-se que são necessárias de duas a seis horas de molhamento para que ocorra um número mínimo de infecções (ALLEN; BROWN; KOCKMAN, 1982). A *Phytophthora infestans*, por exemplo, não resiste a períodos secos após o início do processo de germinação, compensando esse fato pela alta taxa de germinação e penetração dos esporos (BASHI; ROTEM, 1974).

As chuvas também têm importância elevada no processo de epidemias de plantas porque dispersam o inóculo, reduzem a luminosidade e provocam quedas de temperatura, aumentando a probabilidade de formação de molhamento por dias seguidos (EVERSMeyer; BURLEIGH, 1970; DEL PONTE et al., 2006).

### **2.3 Modelos de simulação em epidemiologia**

Carneiro (1998), avaliando o efeito de diferentes temperaturas e períodos de molhamento em componentes monocíclicos do “Mal de sete voltas” (*Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *cepae*) em plantas de cebola, realizou o ajuste dos dados relativos aos componentes monocíclicos avaliados, com boa correlação entre alguns componentes medidos e estimados pelo modelo beta generalizado em função da temperatura, mas com baixa correlação entre a severidade medida e a estimada em função do período de molhamento, com o modelo de Gompertz. Também em câmaras de crescimento, Leite (2002), estudando a influência da temperatura e do molhamento no monociclo da mancha de alternaria (*Alternaria helianthi*) em girassol, realizou o ajuste dos dados por meio de alguns modelos matemáticos e obteve bons

coeficientes de determinação nas estimativas pelo modelo logístico em função do molhamento e pelo modelo beta generalizado em função da temperatura.

Mendes (1987), analisando a influência da temperatura e do molhamento foliar, em câmaras de crescimento, no desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* f.sp. *typica* Arth.), observou um aumento crescente na intensidade da doença com o aumento do período de molhamento na inoculação, sendo que a maior intensidade ocorreu na temperatura de 17°C, se comparada com as de 21°C e 25°C, também testadas.

Quando as plantas são submetidas a uma ampla gama de temperatura, desde o limite mínimo até o máximo, é possível descrever a influência da temperatura no componente monocíclico por meio de modelos matemáticos, que permitem a interpolação dos dados para temperaturas não testadas, desde que se encontrem dentro do intervalo estudado (HAU, 1988). Modelos polinomiais são freqüentemente utilizados em função da flexibilidade das curvas dada pelo grau do polinômio. Essas funções são matematicamente simples, mas tem pouco significado biológico, sendo seu ajuste limitado pelo grau do polinômio utilizado. Um modelo específico utilizado nesse tipo de estudo, é a função beta generalizada (HAU; KRANZ, 1990), sendo esta, mais condizente com a resposta de eventos biológicos à variação de temperatura.

Godoy (2000), estudando a influência da temperatura e do molhamento no desenvolvimento da ferrugem polysora na cultura do milho, em câmaras de crescimento, obteve boa correlação entre os períodos latente e de incubação com a temperatura, determinada por meio de um modelo beta generalizado, e de molhamento com a severidade, determinada por meio de um modelo logístico.

No entanto, as condições em experimentos conduzidos em câmaras de crescimento apenas simulam parte da situação real de campo, na qual as atividades cíclicas do patógeno são inevitavelmente influenciadas por muitos outros fatores que interagem entre si (BUTT; ROYLE, 1990). Assim, Godoy (2000), ao testar em condições de campo, o simulador desenvolvido para ferrugem polysora no milho, não pôde estabelecer correlação entre os períodos de favorabilidade estabelecidos em câmaras de crescimento e a taxa de progresso da doença obtida a campo, atribuindo a isso o fato de que períodos muito prolongados de molhamento acabaram resultando em correlação negativa, possivelmente por limitar o processo de dispersão do inóculo. Desse modo, esse autor recomenda que experimentos de campo sejam conduzidos com o objetivo de se testar e ajustar os modelos, antes desses serem implementados no campo.



Ao que parece, a ocorrência de chuva em qualquer cultura, realmente favorece a maioria dos patossistemas, porém, dentro de certos limites (DEL PONTE et al., 2006). Da mesma forma que no exemplo citado para a ferrugem polysora milho, o simulador desenvolvido para o patossistema *Uromyces appendiculatus* – feijão (BERGER et al., 1995) foi impreciso na previsão de epidemias de ferrugem no feijoeiro no campo, em Viçosa, por desconsiderar o efeito do molhamento na esporulação e na dispersão do patógeno. Apesar de apresentar correlação positiva com o número de lesões, períodos de molhamento prolongados dificultaram a liberação do inóculo das pústulas e desfavoreceram sua disseminação. Em Viçosa, os frequentes períodos de alta favorabilidade climática determinados pelo simulador estavam correlacionados com períodos prolongados de molhamento, não havendo naquelas condições incremento da doença no campo (AMORIM et al., 1995).

Fica claro, portanto, que não se pode considerar, para a ocorrência de doenças, prolongados períodos de molhamento provocados por dias chuvosos consecutivos. Ao contrário do que ocorre em uma câmara de crescimento com longo período de molhamento, no campo a chuva muito intensa ou prolongada atua na remoção do inóculo, inevitavelmente “lavando” para o solo as estruturas reprodutivas depositadas nas plantas em dias anteriores. Obviamente, isso deve ser considerado para a proposição de novos simuladores de epidemias.

Apesar de serem uma simplificação da realidade, os experimentos em câmara de crescimento são extremamente úteis para a obtenção de informações iniciais a respeito do desenvolvimento dos patossistemas, uma vez que é possível isolar os efeitos da temperatura e da umidade (molhamento), normalmente as variáveis mais importantes no estabelecimento de epidemias. As informações levantadas nesses experimentos servem como base ou ponto de partida para a incorporação de novas informações obtidas em condições de campo. Sem essa base inicial, a proposição de simuladores de epidemias demandaria muito mais tempo, sendo muito mais complexa devido à dificuldade de se isolar os fatores determinantes na manifestação de doenças.

Logo, como recomendado por Godoy (2000), é mais adequado que antes de se propor um simulador baseado somente nas observações em câmaras de crescimento sejam conduzidos experimentos em condições naturais para que se detecte as particularidades de cada caso e para que, de alguma maneira, essas informações possam ser acrescidas ao modelo inicial. Dessa forma, é possível que as limitações apontadas por Amorim et al. (1995), para o

patossistema *Uromyces appendiculatus* – feijão, e por Godoy (2000), para ferrugem polysora no milho, sejam contornadas, ou ainda, que novas limitações possam ser detectadas e, posteriormente, solucionadas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Experimentos em câmaras de crescimento

Os experimentos em câmaras de crescimento foram realizados de agosto a dezembro de 2004 e de janeiro a junho de 2005, no Departamento de Entomologia e Fitopatologia, ESALQ/USP.

##### 3.1.1 Inoculação

Os isolados de *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides* para a inoculação da cultura, foram cedidos pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Fitossanidade do Instituto Agrônomo de Campinas. Os isolados de *X. axonopodis* pv. *malvacearum*, a12430, R12474, C12732 e Q12400, foram produzidos no Departamento de Entomologia e Fitopatologia, ESALQ/USP.

Para o processo de inoculação, foram adicionados de 15 a 20 mL de água destilada em cada placa de Petri, contendo a cultura do patógeno. Com auxílio de uma colher, foi removida a parte superficial da colônia, sem o meio de cultura. O material resultante foi misturado em água destilada e, em seguida, filtrado em duas camadas de gaze esterilizada, obtendo-se assim, a suspensão de inóculo, cuja concentração foi determinada em Câmara de Neubauer.

Em seguida, a suspensão inóculo foi introduzida em um pulverizador manual e seu volume completado de modo a se obter a concentração de inóculo aproximada de  $2 \times 10^5$  conídios/mL no caso do fungo e  $10^6$  UFC/mL no caso da bactéria.

Entre 21 e 28 dias após emergência, aproximadamente entre os estádios fenológicos V4 e V5, foi realizada a inoculação da cultura do algodoeiro, por meio da aspersão da suspensão de inóculo sobre as plantas, sendo uniformemente molhadas, na face superior das folhas, evitando-se o escorrimento. Na seqüência, as plantas foram mantidas em câmara úmida por diferentes períodos, dentro de câmaras de crescimento com temperatura controlada e fotoperíodo de 12 horas.

O período de câmara úmida correspondeu ao tempo durante o qual, as plantas que receberam a suspensão de inóculo, permaneceram dentro de um saco plástico transparente, previamente umedecidos em seu interior, o que impede a evaporação da suspensão aplicada, mantendo água líquida na superfície das plantas. Neste caso, a água líquida mantida sobre as

plantas, corresponderia ao molhamento que ocorre em condições normais de campo provocado pela deposição de orvalho, água de chuva ou de irrigação.

As temperaturas testadas nas câmaras de crescimento foram: 15, 20, 25 e 30°C. Em cada temperatura ajustada, foram aplicados os períodos de câmara úmida de 0, 4, 8, 16, 32, e 64 horas, o que correspondeu à duração do período de molhamento nas folhas.

Foram realizados também, separadamente, alguns testes de sobrevivência com placas excedentes com cultura de *C. gossypii* var *cephalosporioides*, mantidas sob temperatura de 40°C por 48 horas.

A combinação dos seis períodos de câmara úmida com as quatro temperaturas utilizadas resultou em 24 tratamentos, em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições, sendo que cada repetição foi constituída por uma planta.

O tempo de secagem da solução inóculo, após a retirada do saco plástico, foi observado em cada temperatura, para a correção do tempo de molhamento inicialmente adotado. Na câmara úmida, com duração de molhamento igual a zero, foi colocado o saco plástico umedecido, porém, foi considerado o tempo necessário para que a suspensão inóculo secasse.

### **3.1.2 Quantificação de componentes monocíclicos das doenças**

Alguns dos componentes monocíclicos mais utilizados em estudos epidemiológicos são: período de incubação, período latente, frequência de infecção e severidade (AMORIM, 1995). Abaixo segue a definição de cada um desses componentes:

a) Período de incubação: tempo decorrido entre a inoculação e o aparecimento dos sintomas. Foi considerado como período de incubação o tempo entre a inoculação e o aparecimento de 50% dos primeiros sintomas.

b) Frequência de infecção: número de lesões produzidas por unidade de área, a partir de uma concentração conhecida de inóculo.

c) Severidade: porcentagem da área de tecido coberto por sintomas.

Após a retirada da câmara úmida dos tratamentos, os mesmos permaneceram na câmara com a temperatura controlada. Após o aparecimento dos primeiros sintomas, as avaliações de frequência de infecção foram realizadas a cada 48 horas. Essas avaliações foram realizadas até que os valores de frequência de infecção se estabilizassem. A severidade foi avaliada aos 21 dias após a inoculação, quando todos os tratamentos apresentavam número de

lesões estável. As plantas foram retiradas das câmaras, as folhas destacadas e suas imagens digitalizadas. A severidade foi então mensurada através do software QUANT v.1.0 (VALE et al., 2001).

### **3.1.3 Análise dos componentes monocíclicos em função da temperatura e do molhamento foliar e ajuste dos modelos não lineares (bidimensionais)**

Os valores de severidade de mancha angular foram expressos na forma de unidade de área de tecido doente por área de tecido sadio, ou seja, em termos percentuais.

Os valores de intensidade de ramulose foram expressos na forma de número de lesões por área de tecido, já que as lesões provocadas pela ramulose resultam em perfurações do limbo foliar com mínima expansão das lesões doentes. Nessas condições, o agravamento da doença se dá mais pelo aumento do número de lesões do que pelo aumento do tamanho delas.

A transformação dos resultados de frequência de lesões da ramulose em densidade relativa de lesões (DRL para ramulose) consistiu na relação entre a intensidade observada em cada planta e a maior intensidade observada no mesmo experimento. Em outras palavras, o valor de DRL igual a 1,0 corresponde ao maior número de lesões observado em uma planta e um valor de 0,5 corresponde à metade desse valor.

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de regressões não-lineares. Modelos não lineares, tais como monomolecular, logístico, Gompertz e beta generalizado foram ajustados às curvas de frequência de infecção e severidade em função da temperatura e do molhamento. Em trabalhos anteriores, com diversas culturas e patossistemas, foram relatados bons ajustes pelo modelo logístico, para severidade e frequência de infecção em função do molhamento; já para período latente e de infecção, bons ajustes têm sido obtidos por meio do modelo beta generalizado (HAU, 1988; CARNEIRO, 1998; GODOY, 2000; LEITE, 2002).

A adequação dos modelos aos dados de duração do período de molhamento, para cada temperatura, foi avaliada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), oriundo da regressão não-linear, e pela análise dos resíduos, ou seja, da diferença entre os valores observados e os previstos (CAMPBELL; MADDEN, 1990; HAU, 1988).

O ajuste da duração do período de molhamento à severidade de doenças é normalmente descrito por modelos não lineares que assumem as premissas básicas de que a

severidade aumenta com a duração do período de molhamento e tende a um limite superior quando o molhamento é prolongado (GODOY, 2000). No entanto, no presente trabalho, essa premissa não foi atendida uma vez que a severidade aumentou até 32 horas de molhamento e a partir disso diminuiu.

Em função disso, foram considerados modelos alternativos utilizando-se o software “Table Curve 2D” que conta com uma biblioteca de pouco mais de 8 mil dos modelos matemáticos mais utilizados. Os critérios adotados para a seleção do melhor modelo foram: (1) melhor ajuste possível dado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ); (2) simplicidade matemática; (3) menor número possível de parâmetros e (4) características visuais da curva.

Dentro do critério características visuais da curva excluiu-se aquelas com intervalos em que ocorriam valores negativos, uma vez que não isso não é possível no presente caso. Foram desconsideradas também as curvas com alterações súbitas de tendência e com descontinuidades, já que processos biológicos tendem a ser contínuos e apresentar alterações progressivas ou regressivas.

Assim, o modelo selecionado foi aquele que apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior que 0,9 (valor este adotado como referência), em todas as temperaturas e molhamentos testados, e com o menor número de parâmetros possível.

Esse procedimento foi realizado para cada temperatura testada utilizando como variável independente as diferentes durações dos períodos de molhamento (DPM) testadas. Em seguida, fez-se o inverso fixando-se a DPM e utilizando-se a temperatura como variável independente.

#### **3.1.4 Ajuste dos modelos de superfície (tridimensionais)**

A escolha do melhor modelo para relacionar DRD ou DRL à temperatura e à DPM simultaneamente foi feito com o software “Table Curve 3D” que conta com uma biblioteca de pouco mais de 3,6 mil dos modelos matemáticos mais utilizados para regressão de modelos com 2 variáveis independentes. Os dois critérios para a seleção do melhor modelo foram os mesmos adotados anteriormente. Assim, o modelo selecionado foi aquele que apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior que 0,9 e com o menor número de parâmetros possível.

No entanto, nenhum ajuste produzido pelo software resultou em  $R^2$  maior do que 0,9, mesmo considerando equações complexas. Nestes termos, optou-se pelo modelo bidimensional que descreve a relação da DRD ou DRL em função da DPM, pois foi o que apresentou o melhor  $R^2$  e com apenas 3 parâmetros “a”, “b” e “c”, para cada temperatura, atendendo o requisito de simplicidade. No entanto, o uso de parâmetros fixos para cada temperatura ou médios para faixas de temperatura diminuem muito a praticidade do modelo.

Para a geração da superfície de resposta de DRL ou severidade em função das variáveis estudadas, ao invés de se multiplicar as equações ajustadas para temperatura e molhamento separadamente para resultar em um modelo de superfície, optou-se por um método alternativo. Como os próprios parâmetros de temperatura “a”, “b” e “c” seguiam a uma tendência clara, estes também puderam ser ajustados a um modelo que descrevesse a variação dos parâmetros em função da variação da temperatura. Assim, foram substituídos os valores fixos dos parâmetros correspondentes a cada temperatura por uma segunda, terceira e quarta equações. Desta forma, a equação resultante estima os valores de DRL em função de temperatura e molhamento simultaneamente, gerando uma superfície de resposta que, desta vez, atendeu aos quatro critérios considerados, inclusive com  $R^2$  maior que 0,90.

## **3.2 Experimentos de campo**

### **3.2.1 Local**

Os experimentos de campo foram realizados na área experimental do Departamento de Produção Vegetal, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), no município de Piracicaba, SP, localizada nas seguintes coordenadas geográficas: a) latitude de 22° 42' S; b) longitude de 47° 37' W; e altitude de 546 metros.

O clima da região segundo a classificação de Köppen, é Cwa, tropical úmido com seca no inverno (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). A Tabela 2 apresenta os dados médios normais dos elementos meteorológicos no local de estudo.

Tabela 2 – Médias mensais dos elementos meteorológicos em Piracicaba, SP, referente ao período de 1917 a 2000

Mês	Rad. Global (MJ/m <sup>2</sup> d)	Insolação (horas/dia)	Precipitação (mm)	Umidade Relativa (%)	Vento médio (km/hora)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura Média (°C)	Evaporação (mm/dia)
<b>Jan</b>	18,8	6,4	224,5	76,3	7,8	30,0	19,0	24,4	4,5
<b>Fev</b>	18,4	6,5	184,1	76,4	7,4	30,2	19,0	24,6	4,2
<b>Mai</b>	16,7	6,8	143,2	76,1	7,2	30,0	18,2	24,1	4,0
<b>Abr</b>	15,6	7,5	63,6	74,1	7,1	28,4	15,4	21,8	3,7
<b>Mai</b>	12,6	7,3	52,1	75,2	6,4	26,1	12,1	19,1	3,1
<b>Jun</b>	11,7	7,1	44,0	74,9	6,8	24,9	10,3	17,6	2,9
<b>Jul</b>	12,8	7,8	27,2	69,9	7,5	25,3	9,5	17,4	3,5
<b>Ago</b>	14,7	8,1	29,7	64,3	8,2	27,3	11,0	19,1	4,6
<b>Set</b>	15,8	6,8	63,9	65,0	9,3	28,1	13,4	20,7	5,3
<b>Out</b>	18,2	6,9	110,3	69,7	9,8	28,9	15,6	22,3	5,2
<b>Nov</b>	19,8	7,4	130,4	69,8	9,7	29,6	16,7	23,1	5,5
<b>Dez</b>	18,8	6,6	201	74,5	8,9	29,6	18,2	23,9	4,9

Fonte: Departamento de Ciências Exatas /ESALQ/USP.

### 3.2.2 Cultura: cultivar, semeadura, condução da cultura

Foi utilizada a cultivar de algodoeiro Makina, exatamente por ser suscetível à ramulose e à mancha angular, o que permitiu a manifestação abundante dos sintomas na cultura, facilitando os procedimentos de avaliação e quantificação das duas doenças. Além disso, lavouras com cultivares mais suscetíveis, como esta, apresentam maior necessidade do emprego de medidas de controle.

Neste contexto, é oportuno enfatizar que a utilização de apenas uma única cultivar suscetível atende ao objetivo específico deste estudo, que é, resumidamente, quantificar os efeitos das condições meteorológicas na epidemiologia das doenças em questão, com ênfase, apenas no efeito das condições meteorológicas, sem incluir os efeitos dos diferentes graus de resistência que diferentes cultivares tem.

Obviamente, prevê-se que a intensidade da doença ocorra de forma diferenciada de acordo com a suscetibilidade da cultivar em questão. No entanto, uma vez definidas as relações



entre condições meteorológicas e a doença, essas relações podem ser facilmente ajustadas de acordo com o índice relativo de resistência de cada cultivar, determinado nas avaliações de resistência de cultivares, o que se refere a outro campo de estudo.

As parcelas experimentais foram constituídas de quatro linhas de semeadura de 5m de comprimento, considerando-se para as avaliações apenas as duas linhas centrais (úteis), sendo que as duas laterais restantes serviram como bordadura. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,9 m em todas as parcelas. O espaçamento entre plantas, na linha de semeadura, foi de aproximadamente 0,1 m, ou seja, 10 plantas por metro ou 111.111 plantas por hectare.

Para os experimentos de campo, foram utilizadas 36 parcelas, dentre as quais, parcelas inoculadas com o fungo causador da ramulose, parcelas não inoculadas e parcelas inoculadas com a bactéria causadora da mancha angular. Os 3 tratamentos foram conduzidos com 8 repetições cada, correspondendo a 24 parcelas. As 12 parcelas restantes foram distribuídas entre os blocos como parcelas auxiliares não inoculadas.

As plantas das parcelas não inoculadas foram utilizadas para a comparação com as plantas das parcelas inoculadas com ramulose ou mancha angular. As parcelas não inoculadas, nas adjacências da área inoculada atenderam ao objetivo de avaliar a eventual ocorrência da ramulose e da mancha angular em condições normais de disseminação, sem o processo artificial de inoculação.

Os tratos culturais e a aplicação de inseticidas foram realizados a fim de se manter a cultura livre da competição de daninhas e da incidência de pragas, principalmente do bicudo.

Todos os experimentos de campo tiveram início com a semeadura da cultura na primeira semana do mês de novembro e encerraram-se com a colheita entre 150 e 155 dias após a emergência (primeira quinzena de abril do ano seguinte), dependendo do ano.

### **3.2.3 Inoculação e avaliações da ramulose e da mancha angular**

Como na área experimental não havia histórico de ocorrência de ramulose e nem ocorrência sistemática de mancha angular, foi preciso garantir a presença dos patógenos por meio da sua inoculação. Os isolados de *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*, para a inoculação da cultura do algodoeiro, foram cedidos pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Fitossanidade do Instituto Agrônomo de Campinas, enquanto que os isolados de

*Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*, a12430, R12474, C12732 e Q12400, foram produzidos no Departamento de Entomologia e Fitopatologia, ESALQ/USP.

As culturas do fungo e da bactéria foram desenvolvidas em meio sólido e após o período de incubação foi preparada, separadamente para cada patógeno, a suspensão de inóculo. Para este processo, foi adicionado de 15 a 20 mL de água destilada em cada placa de Petri contendo a cultura dos patógenos, e com auxílio de uma colher, foi removida a parte superficial da colônia, sem o meio de cultura. O material resultante foi misturado e adicionado a um volume de 2 litros de água destilada e, em seguida, filtrado em duas camadas de gaze esterilizada, obtendo-se, assim, a suspensão de inóculo.

Em seguida, a suspensão foi introduzida em um pulverizador costal e seu volume completado de modo a se obter a concentração aproximada de  $10^5$  conídios por mL. Essa concentração, para a ramulose, foi recomendada por Carvalho et al. (1981), pois concentrações maiores do que essa resultaria na ocorrência muito severa da doença, mascarando a manifestação normal da doença. O mesmo procedimento foi adotado para a suspensão de inóculo da bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*, com concentração aproximada de  $10^6$  UFC mL<sup>-1</sup>.

A inoculação foi feita após o pôr do Sol, por volta de 20 h, a fim de se favorecer o processo de infecção. As soluções de inóculo de cada patógeno foram pulverizadas sobre todas as plantas de todas as parcelas das respectivas áreas reservadas para cada patógeno.

No caso da *X.s axonopodis* pv. *malvacearum*, antes da inoculação, foi realizado um processo de injúria mecânica nas folhas do topo da planta a fim de facilitar o processo de infecção da bactéria. Para isso, foi utilizada uma chapa plástica muito flexível, na qual foi aderida uma folha de lixa graduação 60. A placa áspera foi passada sobre as plantas nas linhas, imediatamente antes de serem inoculadas.

As inoculações de *C. gossypii* var. *cephalosporioides* foram realizadas em todos os anos de experimento aos  $35 \pm 5$  dias após a emergência, entre as fases fenológicas V5 e R1. Foi utilizado sempre apenas uma inoculação por cultura, pois atingiu-se o objetivo de garantir a presença da doença na área, para que as lesões resultantes servissem como fonte de inóculo para ciclos secundários. As inoculações de *X. axonopodis* pv. *malvacearum* foram realizadas aos 60 dias após emergência, na fase fenológica R2.

As avaliações dos sintomas da doença foram realizadas a cada sete dias. Foi marcada uma planta a cada metro, alternando entre as duas linhas centrais (Figura 1). Como as

parcelas tinham 5m de comprimento, foram marcadas cinco plantas, sendo avaliadas a planta marcada e a planta adjacente na mesma linha, ou seja, duas a duas, perfazendo um total de 10 plantas avaliadas em cada parcela e 80 em cada tratamento. As notas correspondentes ao grau de severidade foram atribuídas sempre às mesmas plantas. A nota média da parcela foi determinada pela média aritmética das notas das 10 plantas avaliadas.

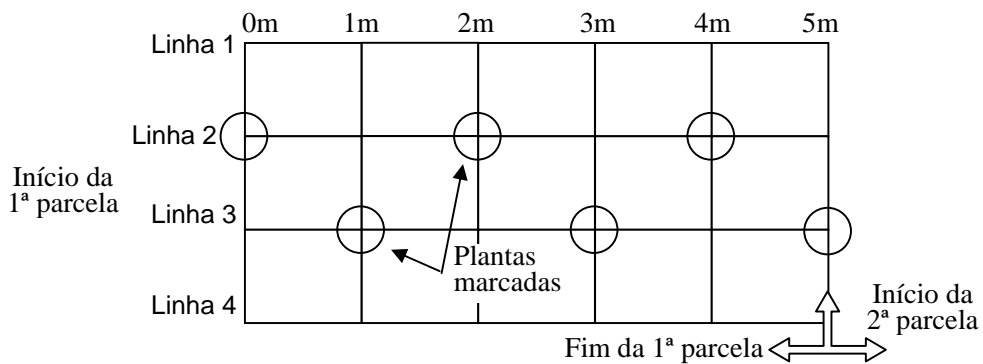


Figura 1 – Representação do esquema de amostragem das plantas para as avaliações das doenças em uma parcela experimental

A intensidade da ramulose foi inferida por meio de uma chave descritiva (CIA et al., 1982), considerando-se as seguintes notas (graus):

Nota 1: ausência de sintomas;

Nota 2: apenas lesões necróticas nas folhas ou ramos;

Nota 3: comprometimento da região apical, morte do meristema;

Nota 4: superbrotamento da região apical;

Nota 5: superbrotamento da região apical e redução acentuada do porte da planta em relação às plantas sadias.

A intensidade de ramulose foi também inferida por meio de uma escala quantitativa, baseada no número de lesões por unidade de área foliar, no terço superior da planta. Esta escala se baseou na variabilidade normal do número de lesões encontrada em plantas adultas nos experimentos realizados, utilizadas como referência inicial, com área foliar de  $0,36\text{m}^2$ , sendo, portanto, uma nova escala, denominada aqui de *Escala Proposta*. Abaixo, são apresentadas as notas referentes a cada intensidade em relação à planta referência, e transformada em número de lesões por  $\text{m}^2$  de área foliar.

Nota 0: nenhuma lesão aparente;

Nota 1: de 1 a 10 lesões por planta ou 1 a 28 lesões por m<sup>2</sup> de folha;

Nota 2: de 11 a 20 lesões por planta ou 29 a 55 lesões por m<sup>2</sup> de folha;

Nota 3: de 21 a 30 lesões por planta ou 56 a 83 lesões por m<sup>2</sup> de folha;

Nota 4: de 31 a 40 lesões por planta ou 84 a 112 lesões por m<sup>2</sup> de folha;

Nota 5: com 41 ou mais lesões por planta ou 113 ou mais lesões por m<sup>2</sup> de folha.

A intensidade da mancha angular foi determinada com o auxílio da escala proposta por Ribeiro (2001), como segue:

Nota 1: ausência de sintomas;

Nota 2: até 10% do limbo foliar tomado pelas manchas típicas da doença;

Nota 3: de 11% a 25% da área com lesões;

Nota 4: de 26% a 50% da área da folha com lesões;

Nota 5: mais de 50% da área foliar coberta pelos sintomas.

A taxa de crescimento da doença de cada semana foi determinada pela diferença entre a média de uma avaliação e a média da semana anterior, em relação a média anterior.

### **3.2.4 Área Foliar, Massa Seca e Produtividade do Algodoeiro**

As avaliações de área foliar da cultura foram realizadas aos 30, 60, 90 e 120 dias após a emergência das plântulas, nos três tratamentos e nos diferentes anos de condução dos experimentos. Foram retiradas duas plantas de cada parcela e levadas ao laboratório onde todas as folhas de cada planta foram passadas no integrador de área foliar LI-3000, equipamento que totaliza a área das folhas. Dessa forma, se obteve um valor médio de área foliar por planta de cada parcela. Para o cálculo do índice de área foliar (IAF), multiplicou-se o valor médio da área foliar por planta, pelo número de plantas por metro quadrado de terreno.

As mesmas plantas amostradas e utilizadas para determinação da área foliar foram então levadas à estufa de secagem por 72 horas para determinação da massa seca.

A produção dos tratamentos foi determinada, ao final do ciclo, por meio da colheita e pesagem do algodão com caroço de todos os capulhos das duas linhas centrais (úteis) de cada parcela. A produtividade foi determinada pela razão entre a produção e a área ocupada pelas linhas centrais (kg m<sup>-2</sup>).

### 3.2.5 Instrumentação e monitoramento agrometeorológico

#### 3.2.5.1 Estação meteorológica

Após a semeadura da cultura foi instalada uma plataforma de aquisição de dados, na região central da área experimental, a qual forneceu os dados meteorológicos durante o ciclo da cultura, nos três experimentos do projeto.

Foi utilizado o sistema automático de aquisição de dados, modelo CR23X, da Campbell Scientific. As variáveis monitoradas foram medidas a cada 5 segundos e armazenadas a cada 15 minutos pela média dos valores ou seu total, no caso da chuva. A este sistema foram conectados os seguintes sensores:

1) Psicrômetros aspirados com sensores de termopar, que forneceu os dados de temperatura de bulbo úmido e de bulbo seco, utilizados para a determinação da temperatura e umidade relativa do ar;

2) Sensor de radiação solar, marca *LI-COR*, modelo *LI-200SZ*, de resposta espectral no intervalo entre 0,4 e 1,2  $\mu\text{m}$

3) Sensor de radiação fotossinteticamente ativa, marca *LI-COR*, modelo *LI-190SZ*, de resposta espectral no intervalo entre 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ;

4) Pluviômetro de balança, marca *Texas Eletronics*, modelo *TR-525M*;

5) Anemômetro de caneca, marca *Met-One*, modelo *014A*.

6) Sensor eletrônico de umidade relativa e temperatura do ar *HMP35C*, Campbell.

#### 3.2.5.2 Conjunto Sensor de Monitoramento Microclimático (CSMM)

Além da plataforma de aquisição de dados que forneceu os dados relativos às condições meteorológicas gerais (macroclimáticas) durante o experimento, foi instalado um conjunto sensor – próximo à plataforma – com um psicrômetro aspirado e um sensor eletrônico de molhamento.

O psicrômetro possibilitou o registro dos dados relativos à temperatura e umidade relativa do ar. O sensor eletrônico de molhamento foliar possibilitou o registro da duração do período de molhamento (DPM), ou seja, o período durante o qual ocorreu água líquida na superfície das plantas (e do sensor) seja por deposição de orvalho ou água de chuva. Os sensores de molhamento foram pintados de acordo com o processo descrito por Sentelhas; Monteiro e Gillespie (2004). Segundo descrevem os autores, este procedimento reduz a subestimativa e

aumenta a precisão das medidas, procedimento este indispensável para sensores de DPM utilizados em sistemas de alerta fitossanitário.

Esse conjunto sensor foi fixado na entrelinha das linhas centrais (úteis) de uma parcela não inoculada. A altura dos sensores foi regulada de modo a acompanhar o crescimento da cultura, visando a mantê-los sempre na altura do terço superior das plantas.

### 3.3 Determinação do índice de favorabilidade temperatura – molhamento foliar (IFtm)

O índice de favorabilidade agrometeorológica de cada dia foi calculado com a mesma equação obtida em câmaras de crescimento com o ajuste da densidade relativa de lesões (DRL) às diferentes temperaturas e durações de molhamento:

$$IFtm = (1,0638) \times a \times 10^{\left\{ -0,5 \left[ \left( \frac{\ln\left(\frac{DPM}{b}\right)}{c} \right)^2 \right] \right\}} \quad (1)$$

em que: “a”, “b” e “c” são coeficientes do modelo, dependentes da temperatura do ar.

Neste caso, porém, quando o modelo é utilizado com os dados obtidos em condições de campo, passa a ser denominado de índice de favorabilidade para temperatura e molhamento (IFtm), e varia numericamente dentro do intervalo de 0 a 1. Nas condições de campo, os dados foram utilizados na escala diária, portanto, com um período de molhamento máximo de 24 horas. A DRL máxima calculada pelo modelo com 24 horas de molhamento é de no máximo 0,94, o que exigiu uma correção do IFtm de 6,38%, alterando o intervalo  $0 < DRL < 0,94$  para  $0 < IFtm < 1$ .

Neste caso, a DPM de um dia “n” é totalizada entre as 12 h do dia em questão e as 12 h do dia anterior (n-1), e a temperatura média é calculada com base nesse mesmo período.

Para a análise comparativa entre os três anos de experimento, foi calculado o IFtm médio para os três anos, adotando-se esse valor como referência, para comparação direta em termos de distribuição de frequência de dias com IFtm acima e abaixo da média.

### 3.4 Análise de dados

As relações existentes entre a taxa de crescimento das doenças e as variáveis meteorológicas monitoradas foram testadas por meio de análises de regressão linear e não linear.

Foram feitas análises exploratórias de dados para se verificar possíveis efeitos de todas as variáveis meteorológicas monitoradas na taxa de crescimento das doenças. Com os dados de campo, tanto para ramulose quanto para mancha angular, foram testados no esquema de intervalos de sete dias (mesmo intervalo entre avaliações), desde 0 até 8 dias precedentes: temperatura média diária, temperatura média durante o período de molhamento, umidade relativa do ar média, radiação solar global média, velocidade média do vento, velocidade máxima do vento, duração do período de molhamento, chuva acumulada e chuva máxima, IFtm baseado na temperatura média diária e IFtm baseada na temperatura média do período com molhamento.

No diagrama da Figura 2 é apresentado o esquema ilustrativo de como a taxa de crescimento da doença foi analisada em relação às variáveis explanatórias consideradas em diferentes períodos precedentes. O diagrama mostra o período compreendido entre duas avaliações. A taxa de crescimento calculada nesses intervalos de sete dias, foi analisada em relação à variável explanatória média ou acumulada também em sete dias, no mesmo período ou em períodos defasados, desde 1 até 8 dias antes.

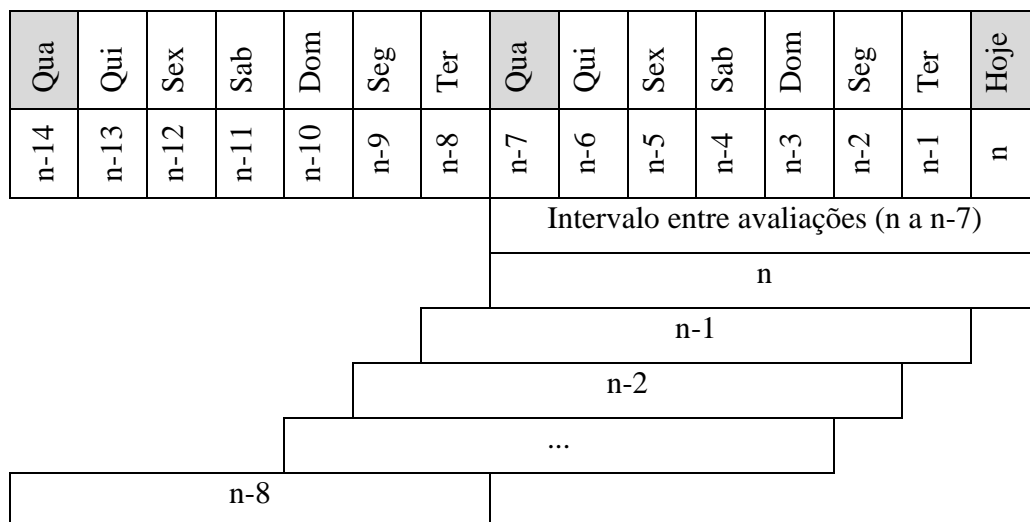


Figura 2 – Representação esquemática de como a taxa de crescimento do intervalo entre duas avaliações foi analisada em relações às variáveis meteorológicas em diferentes períodos, desde 0 até 8 dias antes

### **3.4.1 Modelo de previsão da ramulose e da mancha angular no algodoeiro**

Baseado nas variáveis que melhor se correlacionaram com o progresso da doença, ajustou-se um modelo não linear para estimativa da taxa de crescimento da doença em função da variável em questão.

Isso foi viável para a ramulose uma vez que foi identificada uma tendência definida entre uma ou mais variáveis e a taxa de crescimento desta doença, determinada por meio da escala quantitativa, tanto em 2004/05 como em 2005/06. Em 2003/04 ainda não havia sido desenvolvida a escala quantitativa e, portanto, os dados obtidos a partir da escala qualitativa não apresentaram boa correlação com as condições do tempo.

Para a mancha angular, não foi possível ajustar um modelo com boa correlação entre crescimento da doença e condições meteorológicas. Embora algumas variáveis apresentassem boa correlação em um dado ano, a relação de proporcionalidade eventualmente não se mantinha em outro ano. Portanto, embora tenha sido possível verificar condições gerais quanto à favorabilidade para ocorrência desta doença bacteriana, não foi possível defini-la em valores quantitativos, através de uma equação da mesma maneira que o foi para a ramulose.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimentos em câmaras de crescimento

O tempo de secagem da solução inóculo, após a retirada do saco plástico, foi observado em cada temperatura, para a correção do tempo inicialmente proposto de molhamento (Figura 3). Na câmara úmida com 0 h de duração não foi colocado o saco plástico umedecido, porém, foi considerado o tempo necessário para que a solução inóculo secasse. Sendo assim, este é o tempo mínimo de molhamento, e não 0 h, pois a folha pulverizada demorou algum tempo para secar.

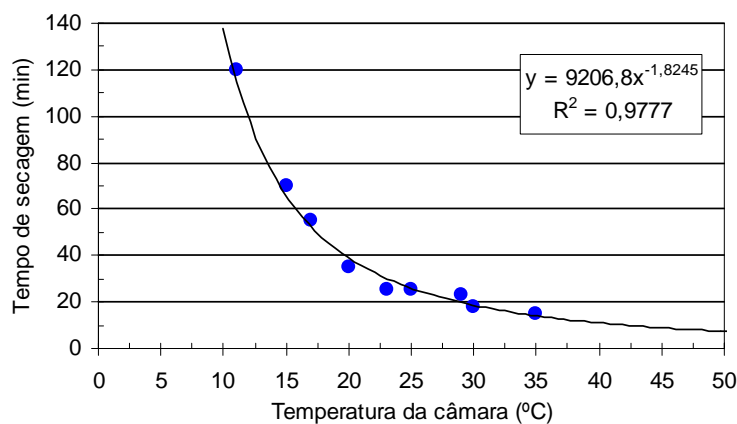


Figura 3 – Tempo de secagem da solução inóculo após a retirada da câmara úmida, observado em diferentes temperaturas

#### 4.1.1 Resultados dos experimentos com ramulose

Vários estudos têm sido realizados demonstrando o efeito da temperatura e da umidade no desenvolvimento de patossistemas, sendo suas informações úteis para o entendimento da relação patógeno-ambiente. Como já mencionado por Lalancete, Ellis e Madden (1988), a previsão da intensidade da doença a partir de variáveis meteorológicas é uma alternativa para prever a eficiência da doença.

Observa-se na Figura 4 uma grande variação na DRL da ramulose em função do molhamento, com incrementos crescentes desde DPM igual a 4,5 h até cerca de 32 h de molhamento, quando o máximo foi atingido. A severidade de doenças provocadas por outras espécies do gênero *Colletotrichum* em cucurbitáceas atinge o máximo em períodos de

molhamento superiores a 16 horas (THOMPSON; JENKINS, 1985; McRAE; AULD, 1988; DALLA PRIA, 1997).

Pode-se inferir pelos resultados obtidos, que as epidemias são mais influenciadas pela variação da DPM do que da temperatura, principalmente em condições de campo onde a variação diária do molhamento costuma ser maior que a de temperatura. A ferrugem *Polysora* do milho, por exemplo, se estabelece com sucesso com apenas 2 a 4 h de molhamento (GODOY, 2000) enquanto que a ramulose, ao contrário, demonstrou se manifestar mais intensamente com DPM maior que 8 h, sendo que a DRL superior a 50% foi atingida no intervalo entre 8 e 17 h de molhamento.

A redução da intensidade da doença nos tratamentos com DPMs maiores que 32 h está associada, provavelmente, à falta de oxigênio devido ao longo período de permanência da planta fechada em câmara úmida.

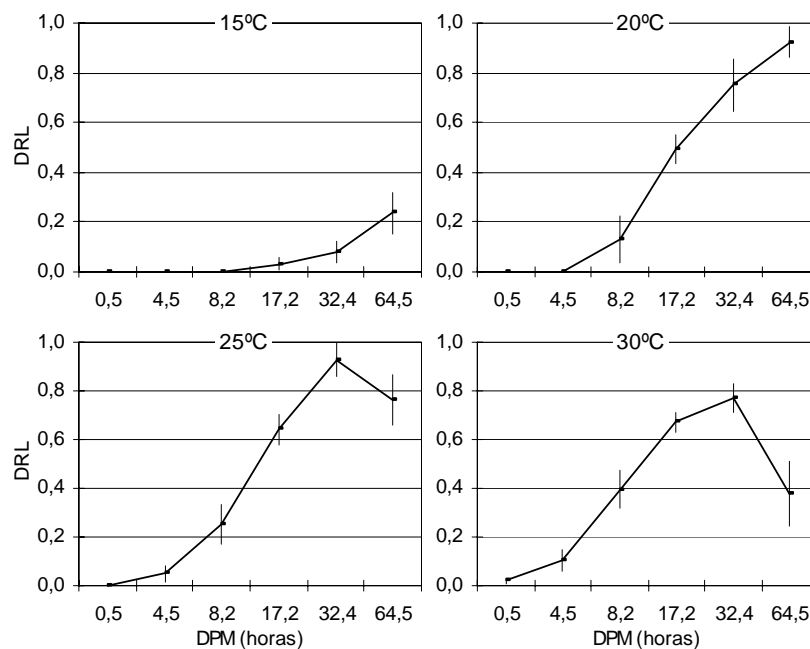


Figura 4 – Densidade relativa de lesões (DRL) de ramulose em algodoeiro em função de diferentes durações do período de molhamento (DPM) nas temperaturas de 15, 20, 25 e 30°C. Os pontos circulares representam as médias e as barras verticais o intervalo de confiança a 95% de probabilidade

Os resultados com *C. gossypii* var *cephalosporioides* mostram que plantas inoculadas submetidas a 0 horas em câmaras úmida mas com molhamento residual da solução inóculo não apresentaram sintomas a 15, 20 e 25°C. Com período de molhamento de 4 h, nenhum

sintoma foi observado a 15 e 20°C. Apenas as plantas mantidas a 15° não apresentaram sintomas com molhamento de 8 h. Estes dados mostram que o período mínimo de molhamento necessário para viabilizar a infecção varia de acordo com a temperatura, sendo difícil resumir esta informação a um único valor no caso da ramulose do algodoeiro. Porém, segundo Dalla Pria (1997), foi possível determinar um período mínimo de 6 horas de molhamento para infecção de *C. lindemuthianum* e de 2 h para *C. orbiculare* segundo Monroe et al. (1997).

A superfície de resposta da densidade relativa de lesões da ramulose (Figura 5) indica que a severidade mais elevada dentro da faixa de temperatura ocorreu entre 25°C e 30°C. Pela equação ajustada, foi possível determinar a temperatura ótima de 27°C, bem acima da ótima de 17°C encontrada para *Colletotrichum lindemuthianum* por Dalla Pria (1997) e um pouco acima dos 24°C encontrado para *Colletotrichum orbiculare* em melancia por Monroe, Sentini e Latin (1997).

Os valores de densidade relativa de lesões foram bastante similares entre si nas câmaras de crescimento com 20°C, 25° e 30°C, da mesma forma que para *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *cepae*, estudado por Carneiro (1998). Essa faixa relativamente ampla de temperatura favorável ao desenvolvimento da ramulose ratifica a já conhecida importância do melhoramento para seleção de genótipos resistentes a esta doença, uma vez que essa faixa de temperatura ocorre freqüentemente em todas as áreas produtoras de algodão no Brasil, tornado a cultura vulnerável às epidemias em cultivares suscetíveis quando na presença de inóculo.

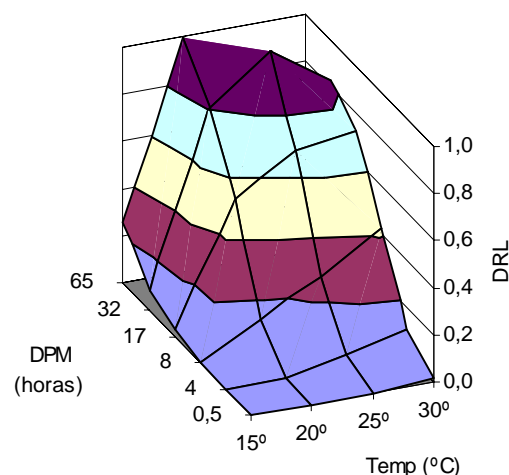


Figura 5 – Superfície de resposta da densidade relativa de lesões (DRL) de ramulose no algodoeiro em função de diferentes durações do período de molhamento (DPM) nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30°C

A temperatura afetou a quantidade de lesões por unidade de área, ou seja, a frequência de infecção e também o período de incubação (Figura 6). A severidade máxima observada nos experimentos em câmaras de crescimento foi de 26 lesões por  $\text{dm}^2$  de folha em uma planta mantida a 25°C com DPM de 32 h após inoculação. Considerando-se o valor médio do número de lesões para os diferentes períodos de molhamento aplicados, o período de incubação foi de 15 dias quando as plantas foram mantidas a 15°C, 11 dias a 20°C, 10 dias a 25°C e 9 dias a 30°C. A redução do período de incubação e latente paralelamente ao aumento na temperatura também foi observado em muitos outros patógenos, dentre eles *Uromyces phaseoli* (MENDES, 1987), *Colletotrichum lindemuthianum* (DALLA PRIA, 1997), *Puccinia polysora* (GODOY, 2000), *Xanthomonas Axonopodis* pv. *citri* (CHRISTIANO, 2003).

A variação do período de incubação em função dos períodos de molhamento utilizados foi menor do que a provocada pela temperatura. A média apresentada na Figura 6 mostra resultados muito semelhantes aos obtidos com 17 h de molhamento, que poderia ser considerado como uma situação intermediária em relação aos demais. Os molhamentos mais curtos apresentaram até dois dias a mais para incubação e os molhamentos mais longos até dois dias a menos. Essa diferença não é muito clara principalmente entre os mínimos de 0 e 4 h de DPM, principalmente porque as plantas incubadas com 0 h de DPM apresentaram sintomas na temperatura de 30°C apenas. Nas DPMs mais longas, em 32 e 64 h, a média do período de incubação foi praticamente a mesma.

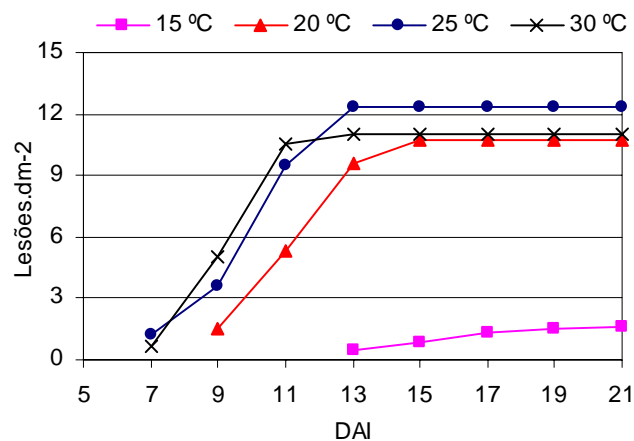


Figura 6 – Curva de progresso da ramulose em plantas de algodão em condições de câmaras de crescimento aos dias após inoculação (DAI) nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30°C, média dos seis níveis de DPM aplicados

Outros autores também evidenciaram o efeito do molhamento no período de incubação. Biggs e Northover (1988), estudando o efeito da temperatura e do molhamento foliar no desenvolvimento de *Monilinia fructicola* em frutos de pêsego e cereja, acreditam que a diminuição do período de incubação com o aumento do molhamento deve-se a maior porcentagem de penetração dos esporos. Por outro lado, Jacome e Schuh (1992), acreditam que o atraso no aparecimento dos sintomas da Sigatoka Negra em folhas de bananeira, com períodos de molhamento menores, está relacionado à necessidade de um período mais longo de absorção de água para a germinação dos conídios.

Vários estudos têm investigado o papel do aumento da DPM na ocorrência das doenças. A espécie *Colletotrichum acutatum*, incluída na revisão de Huber e Gillespie (1990), necessita de apenas 3 h de molhamento para que ocorra infecção em frutos de morango. Segundo Waller (1992), para espécies do gênero *Colletotrichum* são necessárias em torno de 4 h de molhamento para que os esporos germinem e a infecção ocorra. No entanto, ao se analisar o efeito combinado da temperatura, fica evidente, assim como identificado neste trabalho com *C. gossypii* var. *cephalosporioides*, que a duração do período de molhamento necessária para o estabelecimento das doenças não podem ser resumida a um valor fixo. Os trabalhos de Lancelette; Ellis; Madden (1988) e de Evans, Nyquist e Latin (1992), mostram que, de maneira geral, o molhamento foliar afeta mais a quantidade de esporos que germinam e a penetração nos tecidos do hospedeiro, enquanto que a temperatura determina a velocidade e a extensão da infecção.

#### **4.1.2 Resultados dos experimentos com mancha angular**

Os valores de severidade obtidos nos experimentos em câmaras de crescimento com mancha angular foram muito baixos, bastante variáveis e não apresentaram diferença estatística entre os diferentes tratamentos (Figura 7). Por essa razão, a superfície de resposta da severidade em função da T e da DPM foi muito irregular (Figura 8). Christiano (2003), estudando o efeito da temperatura e do molhamento no desenvolvimento do cancro cítrico (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*) em limão Tahiti em câmaras de crescimento, encontrou amplo intervalo de severidade ocorrendo num mesmo tratamento o que, por sua vez, também resultou em médias sem diferenças estatísticas significativas.

A partir dos resultados apresentados nas Figuras 7 e 8, pode-se inferir que a severidade da doença foi mais influenciada pela variação da temperatura do que a da DPM. Nas temperaturas de 20 e 25°C observa-se que o aumento de severidade da doença ocorreu principalmente até 8,5 h de molhamento, sem apresentar uma tendência uniforme nos molhamentos mais longos. Apenas a 30°C constatou-se aumento contínuo com o aumento do período de molhamento desde 0,3 a 32 h. A severidade máxima observada foi de 3,3% em uma planta mantida a 25°C com DPM de 16 h após inoculação.

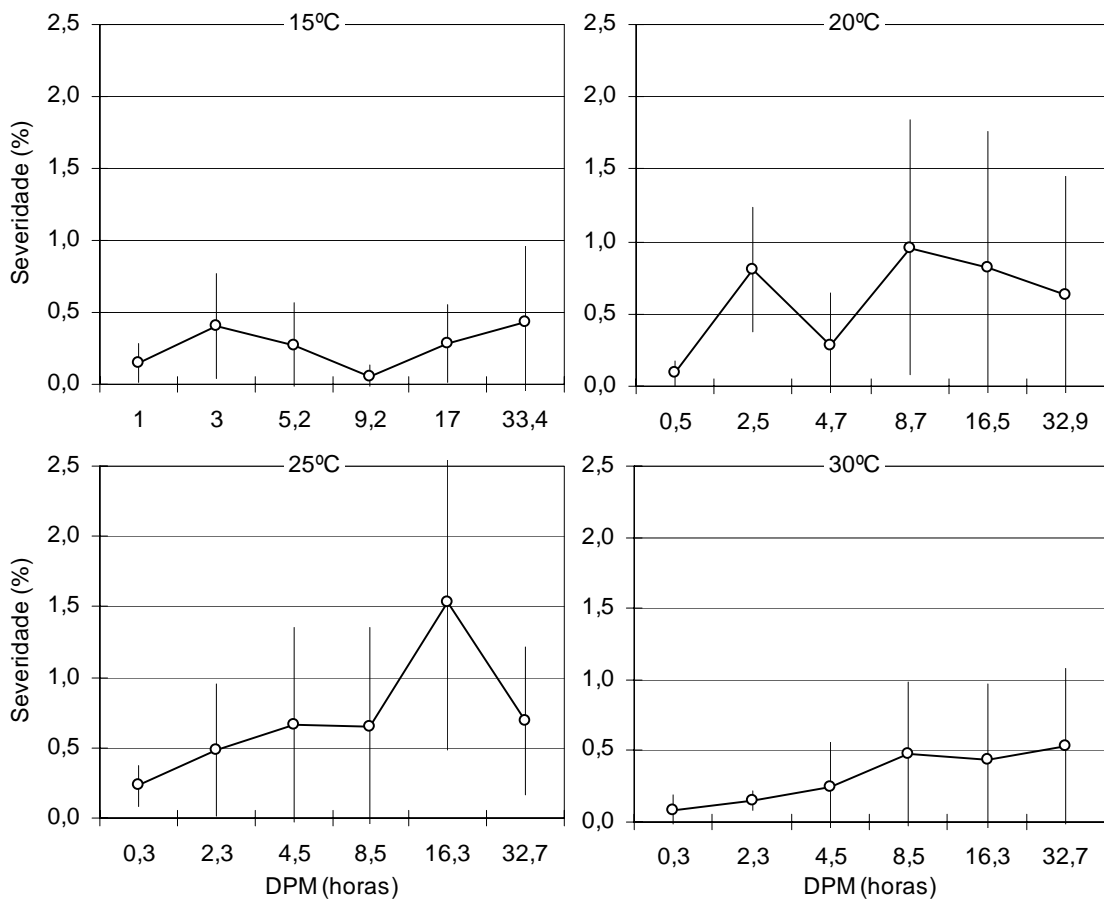


Figura 7 – Severidade de mancha angular em plantas de algodão em função de diferentes durações do período de molhamento (DPM) nas temperaturas de 15, 20, 25 e 30°C. Os pontos circulares representam as médias e as barras verticais o intervalo de confiança a 95% de probabilidade

Uma característica comum às quatro temperaturas testadas é que se constataram sintomas mesmo nas inoculações não seguidas de molhamento o que indica que o período de secagem da suspensão de inóculo foi suficiente para viabilizar a infecção por esse patógeno.

Devido ao menor déficit de saturação no interior das câmaras nas temperaturas mais baixas, o período de secagem foi maior. Cerca de 1 h a 15°C e 0,5 h a 20°C.

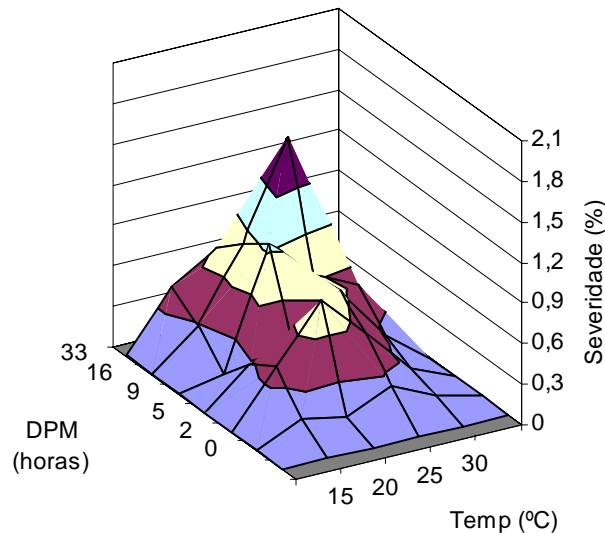


Figura 8 – Superfície de resposta da severidade de mancha angular em plantas de algodão em função de diferentes durações do período de molhamento (DPM) nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30°C

Pelo ajuste do modelo de superfície, que será apresentado mais adiante, foi possível estimar a temperatura ótima para a ocorrência da mancha angular nem condições controladas, em torno de 22°C. Diferentemente, Christiano (2003), encontrou a temperatura ótima de 31,7°C para *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*. De maneira mais geral, Hillocks (1992), afirma que temperaturas favoráveis para o desenvolvimento de mancha angular do algodoeiro são altas temperaturas durante o dia, 32°C a 38°C e baixas temperaturas durante a noite, 17°C a 20°C.

A variação do período de incubação em função dos períodos de molhamento utilizados foi pequena. Já a temperatura influenciou fortemente a incubação. A média apresentada na Figura 9 mostra resultados muito semelhantes aos valores obtidos com 8 h de molhamento, que poderia ser considerado como uma situação intermediária em relação aos demais. Considerando-se o valor médio do número de lesões para os diferentes períodos de molhamento aplicados, o período de incubação foi de 17 dias quando as plantas foram mantidas a 15°C, 9 dias a 20°C, 7 dias a 25°C e 6 dias a 30°C. A redução do período de incubação e latente em função do aumento da temperatura também foi constatada para outros patógenos, dentre eles, *Xanthomonas Axonopodis* pv. *citri* (CHRISTIANO, 2003).

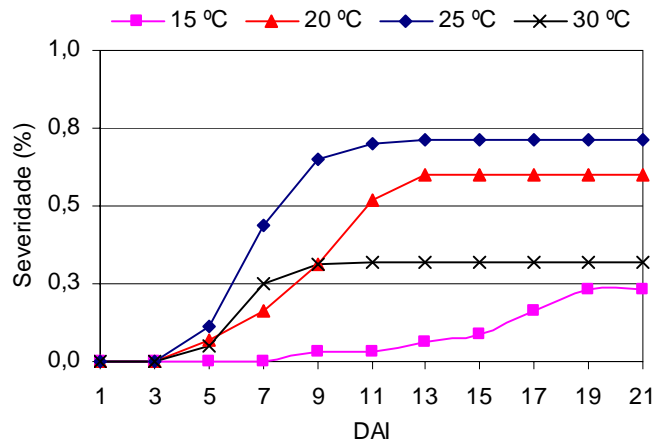


Figura 9 – Curva de progresso da mancha angular em plantas de algodão em condições de câmaras de crescimento aos n dias após inoculação (DAI) nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30°C, média dos seis molhamentos aplicados

#### 4.1.3 Ajuste dos modelos de superfície de resposta

Vários pesquisadores vêm tentando descrever o processo de infecção das doenças de plantas em função da temperatura e duração do molhamento foliar. Modelos polinomiais geralmente são usados para descrever o efeito de fatores do ambiente na infecção (ARAUZ; SUTTON, 1989). Esses modelos são preferidos devido à flexibilidade da curva, dada pelo grau do polinômio. As funções são matematicamente simples e os métodos utilizados estão disponíveis na literatura (STEEL; TORRIE, 1980; SAS/Stat, 1987). Entretanto, funções polinomiais tem pouco significado biológico e o ajuste é limitado pelo grau do polinômio que pode ser usado (VÊNUS; CAUSTON, 1979). Dalla Pria (1997), que utilizou o modelo de Richards para explicar a severidade da antracnose e da mancha angular do feijoeiro, afirma que este modelo considera processos biológicos, mas que sua função matemática é difícil de ser utilizada e a estimativa direta dos parâmetros nem sempre é possível quando eles estão correlacionados.

A relação encontrada por Butler, Wadia e Jadhav (1994) para explicar o efeito do molhamento sobre a infecção de plantas de amendoim por *Phaeoisariopsis personata* forneceu uma curva que foi ajustada por uma equação exponencial, bastante semelhante à utilizada por Dalla Pria (1997), para o ajuste dos dados referentes à duração do período de molhamento sobre a mancha angular do feijoeiro. Nos dados obtidos por Sah (1994), para o patossistema trigo-



*Pyrenophora tritici-repentis*, o aumento da severidade da doença em função da duração do molhamento foliar não foi linear, sendo os dados melhor ajustados por um modelo quadrático.

Entre os modelos mais utilizados para o estudo do progresso das epidemias estão: exponencial, monomolecular, logístico e gompertz. Nenhum desses modelos foi desenvolvido especificamente para utilização em fitopatologia e desta forma, deve-se lembrar que são modelos teóricos baseados em premissas que nem sempre ocorrem na natureza (CAMPBELL; MADDEN, 1990; BERGAMIN FILHO, 1995b). Portanto, não havendo uma regra para a escolha do modelo que se aplique a todos os patossistemas, o critério adotado para a seleção do modelo de ajuste aos dados deste trabalho, da ramulose em algodoeiro, foram quatro: melhor ajuste possível dado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ); simplicidade matemática; menor número possível de parâmetros e características visuais da curva.

#### 4.1.3.1 Ajuste do modelo de superfície de resposta da ramulose

O modelo que melhor se ajustou aos dados de DRL da ramulose no algodoeiro foi o exponencial em função da temperatura:

$$DRL = a \times e^{\left\{ -0,5 \left[ \frac{(Temperatura+b)}{c} \right]^d \right\}} \quad (2)$$

A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros “a”, “b”, “c” e “d” obtidos por meio do ajuste da equação aos valores de densidade relativa de lesões (DRL) da ramulose observada em diferentes períodos de molhamento em câmaras de crescimento. Desta forma, para cada DPM estudada, pôde-se avaliar o efeito da variação da temperatura no intervalo considerado de 15 a 40°C.

Os valores de DRL da ramulose foram obtidos nas temperaturas de 15, 20, 25 e 30°C. Testes realizados com placas excedentes com cultura de *C. gossypii* var. *cephalosporioides*, utilizadas como fonte de inóculo para os experimentos em câmaras de crescimento, demonstraram que a colônia morre em poucas horas quando mantida na temperatura de 40°C. Nessas condições, admitiu-se que o desenvolvimento da doença não ocorreria se as plantas inoculadas fossem mantidas a 40°C, resultando em uma DRL nula, independentemente da DPM adotada. Assim, os modelos não lineares de DRL da ramulose em função da temperatura do ar

foram gerados a partir dos dados obtidos a 15, 20, 25, 30 e 40°C, como mostra a Figura 10, onde observa-se também, elevada concordância entre os valores observados e o modelo ajustado.

Tabela 3 – Parâmetros da equação 2 que descreve a relação entre a DRL da ramulose em algodoeiro e a temperatura do ar em condições de câmara de crescimento

Parâmetro	DPM (horas)					
	0,5	4,5	8,2	17,2	32,4	65,5
<i>a</i>	0,053	0,170	0,432	0,733	1,000	1,021
<i>b</i>	-33,50	-32,80	-30,67	-26,59	-25,33	-22,50
<i>c</i>	3,00	5,00	5,93	7,00	6,82	5,30
<i>d</i>	2,00	1,75	1,59	3,40	3,75	2,50
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,97	0,96	0,98	0,99	1,00	0,95

O mesmo procedimento utilizado para o ajuste da DRL da ramulose em função da temperatura do ar foi adotado para o ajuste da DRL em função da DPM como variável independente. Assim, a variação do DRL em função da DPM nas diferentes temperaturas estudadas, resultou na seguinte equação exponencial, com três parâmetros:

$$DRL = a \times e^{\left\{ -0,5 \left[ \frac{\ln(DPM/b)}{c} \right]^2 \right\}} \quad (3)$$

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros “a”, “b” e “c” obtidos por meio do ajuste da equação aos valores de DRL da ramulose, observada em diferentes temperaturas. Desta forma, para cada temperatura estudada, pode-se avaliar o efeito da variação da DPM no intervalo considerado de 0 a 64 h de molhamento (Figura 11).

Tabela 4 – Parâmetros da equação 3 que descreve a relação entre a DRL da ramulose no algodoeiro e a duração do período de molhamento

Parâmetro	Temperatura (°C)				
	15	20	25	30	40
<i>a</i>	0,27	1,00	1,00	0,83	0,01
<i>b</i>	95	57	36	26	2
<i>c</i>	0,92	0,96	0,93	0,90	0,60
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,99	0,99	1,00	0,98	1,00

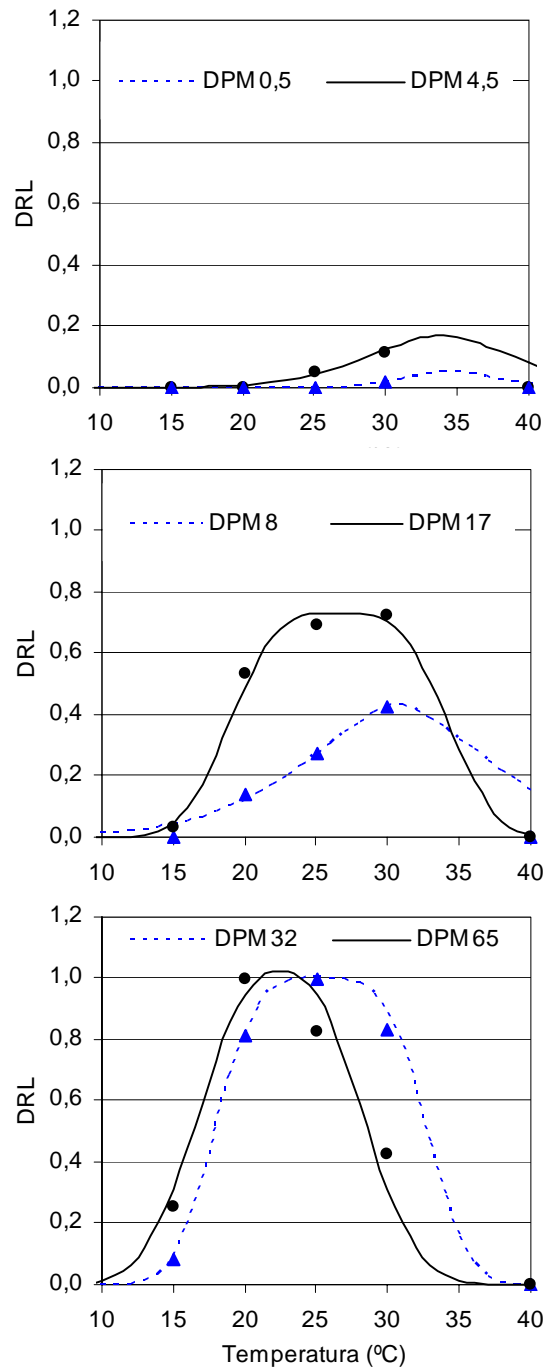


Figura 10 – Densidade relativa de lesões (DRL) da ramulose no algodoeiro obtidas com 0,5, 4,5, 8, 17, 32 e 64 horas de molhamento (DPM), no intervalo de 10 a 40°C. As linhas correspondem ao modelo ajustado, segundo a equação 2 e os pontos aos valores observados

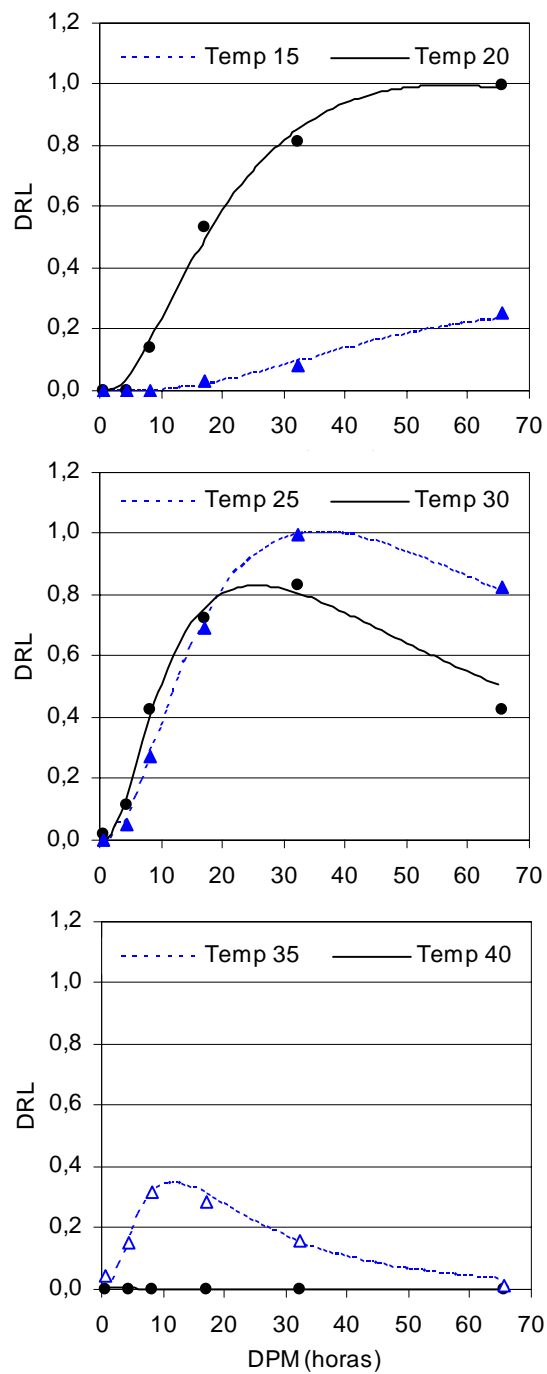


Figura 11 – Densidade relativa de lesões (DRL) da ramulose no algodoeiro obtidas a 15, 20, 25, 30 e 40°C, no intervalo de 0 a 64 h de duração do período de molhamento. As linhas correspondem ao modelo ajustado, segundo a equação 3 e os pontos aos valores observados

Além dos modelos não lineares descritos acima, cuja multiplicação de suas equações resultaria no modelo de superfície desejado, realizou-se primeiramente a tentativa de um ajuste direto de um modelo de superfície, realizado com o Software “Table Curve 3D”. Nesse caso, porém, os coeficientes de determinação obtidos foram menores que 0,90 para todas as equações obtidas, mesmo com aquelas mais complexas, com até oito parâmetros.

Nessas condições, optou-se por utilizar o modelo exponencial que descreve a relação da DRL ramulose em algodoeiro em função da DPM, pois foi a que apresentou os melhores coeficientes de determinação, em média  $R^2 = 0,993$ . Além disso, o modelo de DRL em função da DPM utiliza apenas três parâmetros (“a”, “b” e “c”).

Assim, o modelo de superfície de resposta foi obtido através desse método, denominado de “substituição de parâmetros”, que se mostrou simples de ser empregado, além de flexível, resultando em elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Os parâmetros “a”, “b” e “c”, que também seguem a um padrão dentro do intervalo estudado de temperatura (15 a 40°C), foram determinados por equações de ajuste que descrevem suas relações com a temperatura, como mostra a Figura 12.

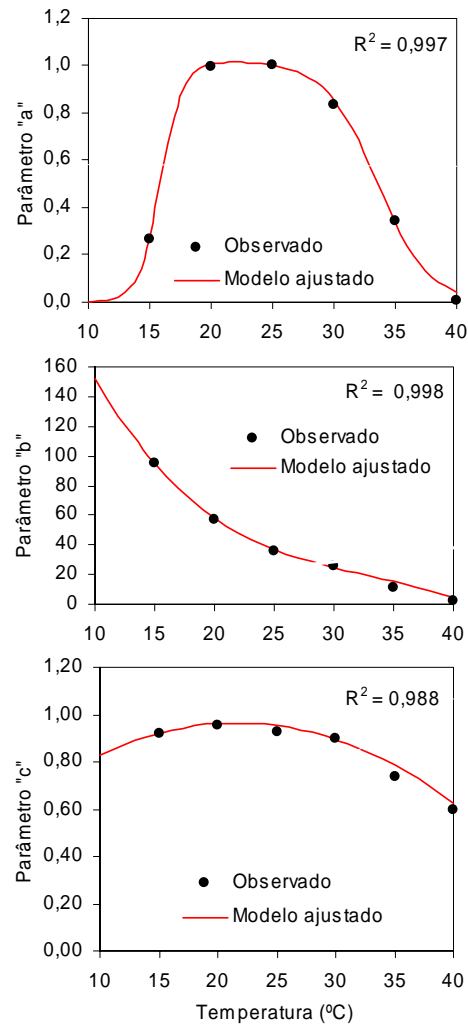


Figura 12 – Relação entre os parâmetros “a”, “b” e “c” da equação 3 e a temperatura do ar nos experimentos da ramulose do algodoeiro em câmaras de crescimento, no intervalo de temperatura do ar de 10 a 40°C

Os modelos de ajuste dos parâmetros da equação 3 em função da temperatura do ar são:

$$a = \left\{ \frac{1,02}{1 + e^{[(15,9 - T)/0,9]}} \right\} \times \left\{ 1 - \frac{1}{1 + e^{[(T - 33,5)/2,1]}} \right\} \quad (4)$$

$$b = -0,0078T^3 + 0,768T^2 - 26,98T + 353 \quad (5)$$

$$c = -0,001T^2 + 0,043T + 0,4984 \quad (6)$$

em que T é a temperatura média do ar, em °C.

A substituição dos parâmetros por suas equações 4 a 6 no modelo em função da DPM (equação 3), resultou em um modelo de duas variáveis independentes (Temperatura e DPM), sendo possível descrever, assim, a superfície de resposta apresentada na Figura 13.

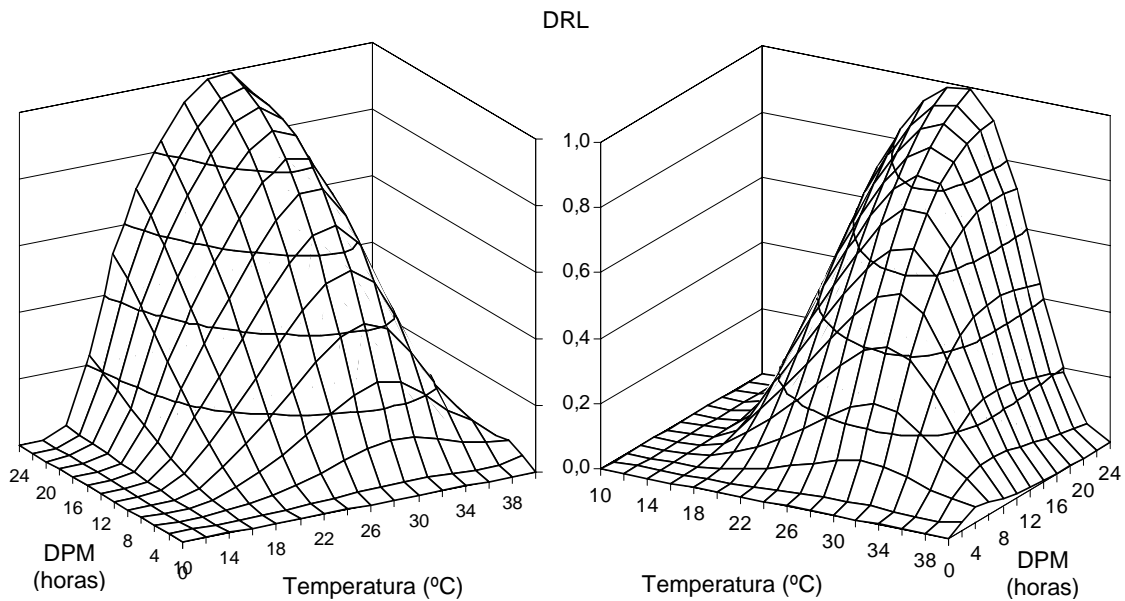


Figura 13 – Superfície de resposta gerada pelo modelo em que a densidade relativa de lesões (DRL) da ramulose no algodoeiro é dada pela equação 3 em função da DPM e os parâmetros “a”, “b” e “c” pelas equações 4, 5 e 6, em função da temperatura do ar

A obtenção de superfícies de resposta em forma de sino é comum em estudos sobre o efeito da temperatura e da duração do período de molhamento foliar sobre a severidade das doenças. Várias combinações de fitopatossistemas seguem este modelo, como a infecção de *Stemphylium vesicarium* em pêra (MONTESINOS et al., 1995); *Alternaria cucumerina* em melão rajado (EVANS; NYQUIST; LATIN, 1992); *Colletotrichum orbiculare* em melancia (Monroe et al., 1997) e *Colletotrichum lindemuthianum* no feijoeiro (DALLA PRIA, 1997).

A relação entre os valores médios observados e os estimados pelo modelo demonstram elevadas exatidão e precisão, com  $R^2 = 0,9926$  e  $b = 1,0125$ , o que indica uma leve tendência de superestimativa de pouco mais de 1%, no intervalo de 15 a 30°C (Figura 14).

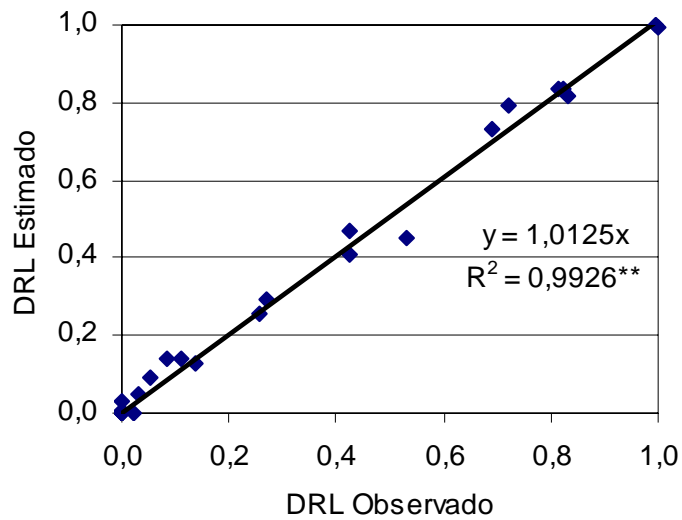


Figura 14 – Relação entre os valores de DRL da ramulose no algodoeiro observados e estimados pelo modelo baseado no binômio T-DPM. \*\*Estatisticamente significativo a 1% de probabilidade

#### 4.1.3.2 Ajuste do modelo de superfície de resposta da mancha angular

Os valores de severidade de mancha angular em plantas de algodoeiro foram obtidos nas temperaturas de 15, 20, 25 e 30°C. Testes realizados com placas excedentes com cultura de *X. axonopodis* pv. *malvacearum*, utilizadas como fonte de inóculo para os experimentos em câmaras de crescimento, demonstraram que a colônia morre quando mantida na temperatura de 40°C. Nessas condições, foi assumido que o desenvolvimento da doença não ocorreria se as plantas inoculadas fossem mantidas a 40°C, resultando em uma severidade nula, independentemente da DPM adotada. Assim, os modelos de severidade em função do molhamento foram gerados a partir dos dados obtidos em 15, 20, 25, 30 e 40°C.

O mesmo procedimento utilizado para o ajuste da DRL de ramulose em função da DPM foi adotado para os resultados de severidade de mancha angular. Assim, ajustou-se a variação da severidade em função da DPM nas diferentes temperaturas estudadas, com a mesma equação adotada para a ramulose (equação 7).

$$Y = a \times e^{\left\{ -0,5 \left[ \frac{\ln(DPM/b)}{c} \right]^2 \right\}} \quad (7)$$



A Tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros “a”, “b” e “c” obtidos por meio do ajuste da equação aos valores de severidade observada em diferentes temperaturas. Desta forma, para cada temperatura estudada, pode-se avaliar o efeito da variação de DPM no intervalo considerado de 0 a 32 h de molhamento (Figura 15).

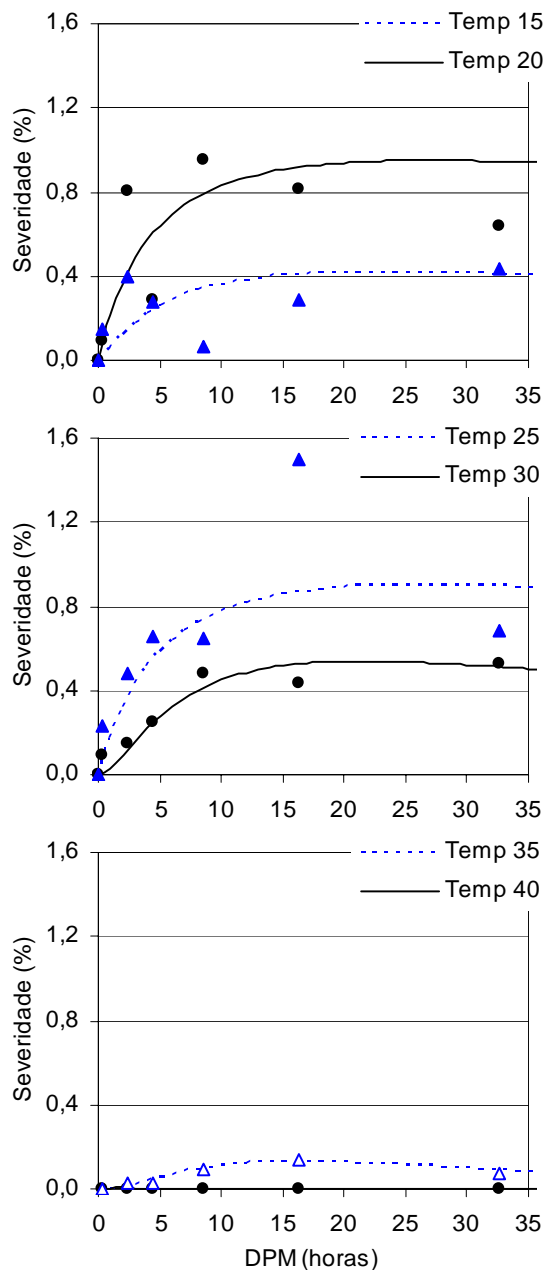


Figura 15 – Severidade da mancha angular em algodoeiro a 15, 20, 25, 30 e 40°C, no intervalo de 0 a 32 h de molhamento. As linhas correspondem ao modelo ajustado, segundo a equação 7 e os pontos aos valores observados

Tabela 5 – Parâmetros obtidos pelo ajuste do modelo de DRL em função da duração do molhamento

Parâmetro	Temperatura (°C)				
	15	20	25	30	40
a	0,42	0,95	0,90	0,54	0,01
b	23,30	27,00	26,50	21,60	2,00
c	1,55	1,90	1,80	1,27	0,25
R <sup>2</sup>	0,10	0,57	0,65	0,93	1,0

Optou-se por utilizar o modelo exponencial que descreve a relação da severidade em função da DPM, pois apresentou melhores coeficientes de determinação e com apenas três parâmetros (“a”, “b” e “c”). Seguiu-se, então, o mesmo método da “substituição de parâmetros”, utilizado para o caso da ramulose. Os parâmetros “a”, “b” e “c”, seguiram também a um padrão dentro do intervalo estudado de 15 a 40°C, tornando possível se ajustar um modelo matemático que descrevesse a relação entre cada parâmetro e a temperatura, como mostra a Figura 16.

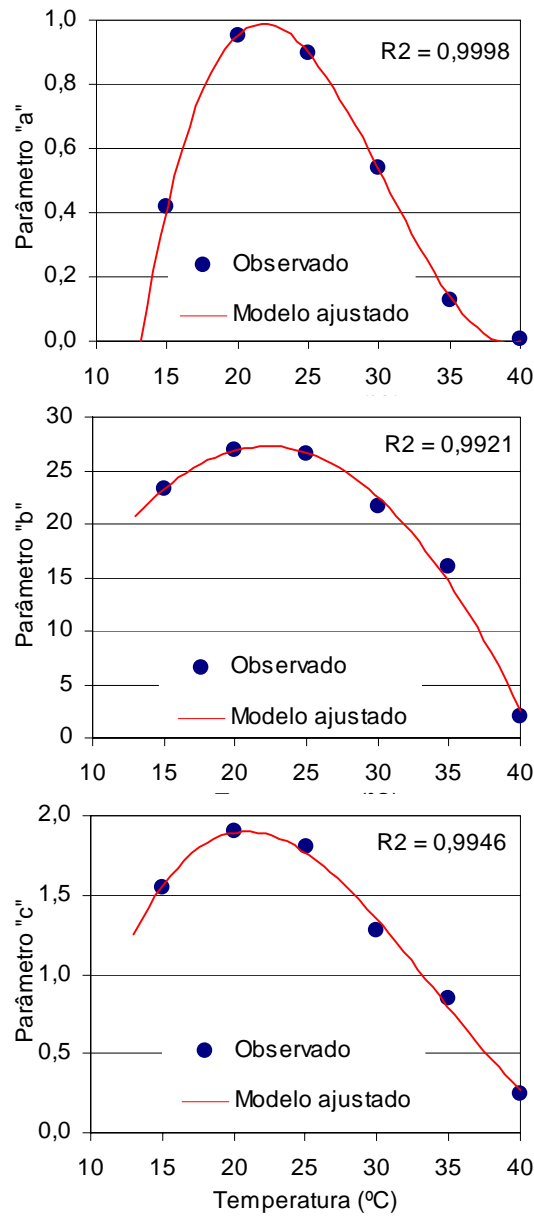


Figura 16 – Relação entre os parâmetros “a”, “b” e “c” da equação 7 e temperatura do ar nos experimentos da mancha angular do algodoeiro em câmaras de crescimento, no intervalo de 10 a 40°C

Os modelos de ajuste dos parâmetros da equação 7 em função da temperatura do ar resultaram nas seguintes equações:

$$a = 0,000379T^3 - 0,0346T^2 + 0,967T - 7,6 \quad (8)$$

$$b = -0,0778T^2 + 3,453T - 11,62 \quad (9)$$

$$c = 0,00022T^3 - 0,0225T^2 + 0,65T - 3,88 \quad (10)$$

em que T é a temperatura média do ar, em °C.

A substituição do parâmetro por sua respectiva equação no modelo da mancha angular em função da DPM (equação 7), resultou em um modelo de duas variáveis independentes (Temperatura e DPM), sendo possível descrever a superfície de resposta apresentada na Figura 17.

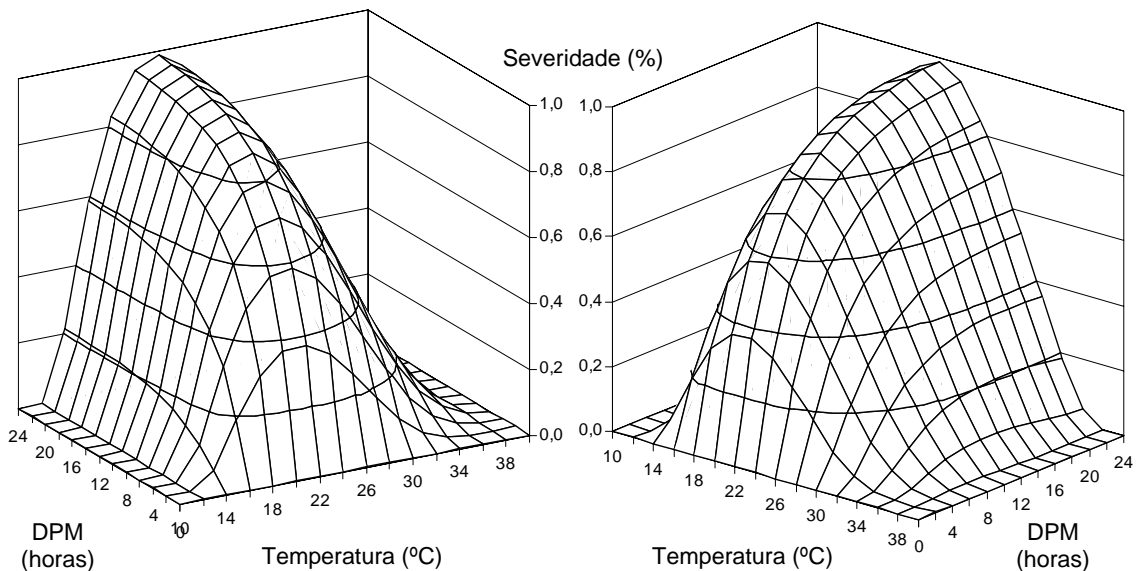


Figura 17 – Superfície de resposta gerada pelo modelo em que a severidade da mancha angular no algodoeiro é dada pela equação 7 em função da DPM e os parâmetros “a”, “b” e “c” pelas equações 8, 9 e 10, em função da temperatura do ar

Assim como para a ramulose, a superfície de resposta da mancha angular apresentou forma de sino, o que é comum em estudos do efeito da temperatura e da duração do período de molhamento foliar sobre a severidade das doenças, como é o caso da *X. axonopodis* pv. *citri* em limão Tahiti (CHRISTIANO, 2003).

A relação entre os valores médios observados e estimados da severidade da mancha angular no algodoeiro pelo modelo proposto mostrou haver pouca exatidão e precisão

das estimativas (Figura 18), o que provavelmente se deve à grande variabilidade dos resultados de severidade da mancha angular, observada na Figura 7.

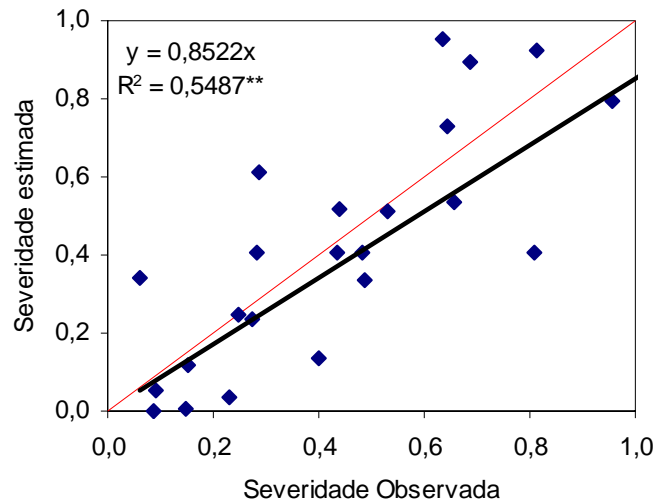


Figura 18 – Relação entre os valores de severidade da mancha angular do algodoeiro observados e estimados pelo modelo baseado no binômio T-DPM. **\*\*Estatisticamente significativo a 1% de probabilidade**

## 4.2 Experimentos de campo

### 4.2.1 Desenvolvimento da cultura

#### 4.2.1.1 Massa seca e área foliar das plantas

A Figura 19 apresenta a variação da massa seca das plantas ao longo do ciclo da cultura, nas parcelas inoculadas com o fungo da ramulose, nas inoculadas com a bactéria da mancha angular e nas não inoculadas, durante os três períodos experimentais. As determinações foram feitas, aproximadamente, aos 30, 60, 90 e 120 dias após a emergência das plantas.

No experimento de 2003/04, pode-se constatar o pequeno grau de interferência das doenças no acúmulo de massa seca na cultura até os 94 DAE. Após essa data todos os tratamentos, de um modo geral, evidenciam diminuição de massa devido à senescência e queda progressiva das folhas das partes baixas da planta. Em média, a redução de massa seca nas parcelas com ramulose, em relação às sadias, foi de 3,2% aos 94 DAE e de 14,0% aos 124 DAE.

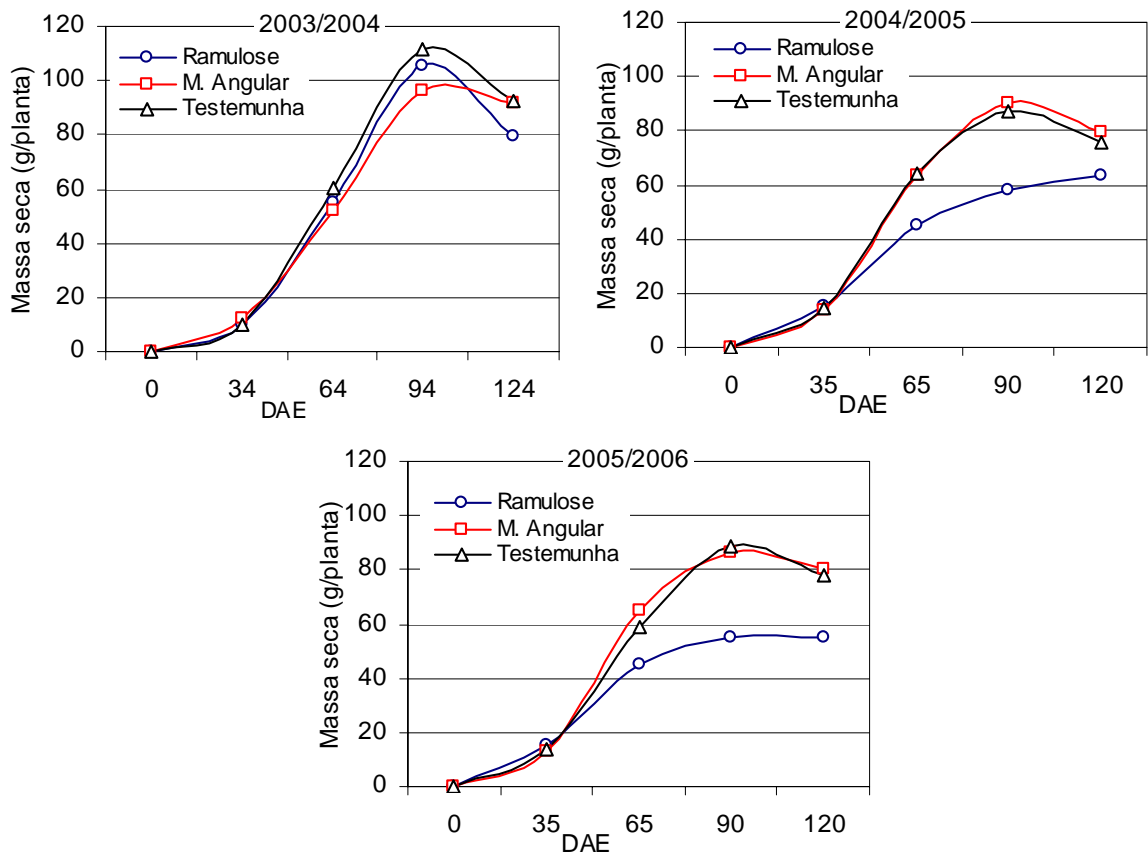


Figura 19 – Acúmulo de massa seca no algodoeiro, cultivar Makina, nas parcelas não inoculadas (testemunha), inoculadas com ramulose e inoculadas com mancha angular, de 0 a 124 dias após emergência (DAE), em Piracicaba, SP, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06

No experimento 2004/05, assim como no ano anterior, o acúmulo de fitomassa ao longo do ciclo foi praticamente o mesmo nas parcelas não inoculadas (testemunha) e nas inoculadas com mancha angular. A maior diferença foi observada nos anos de 2004/05 e 2005/06, nas parcelas inoculadas com ramulose, devido à maior intensidade da doença.

A Figura 20 apresenta a variação do índice de área foliar (IAF) nos três tratamentos. Em 2003/04, os valores de IAF mantiveram-se muito semelhantes até a avaliação dos 64 DAE. Nas duas avaliações seguintes, no tratamento com mancha angular e na testemunha, os respectivos IAFs ainda permaneceram similares. No tratamento com ramulose foi possível se constatar valores menores a partir de 94 DAE. Nos anos seguintes, as parcelas inoculadas com ramulose apresentaram IAF bem menor a partir da avaliação dos 65 DAE, devido à ação da doença sobre o crescimento das plantas.

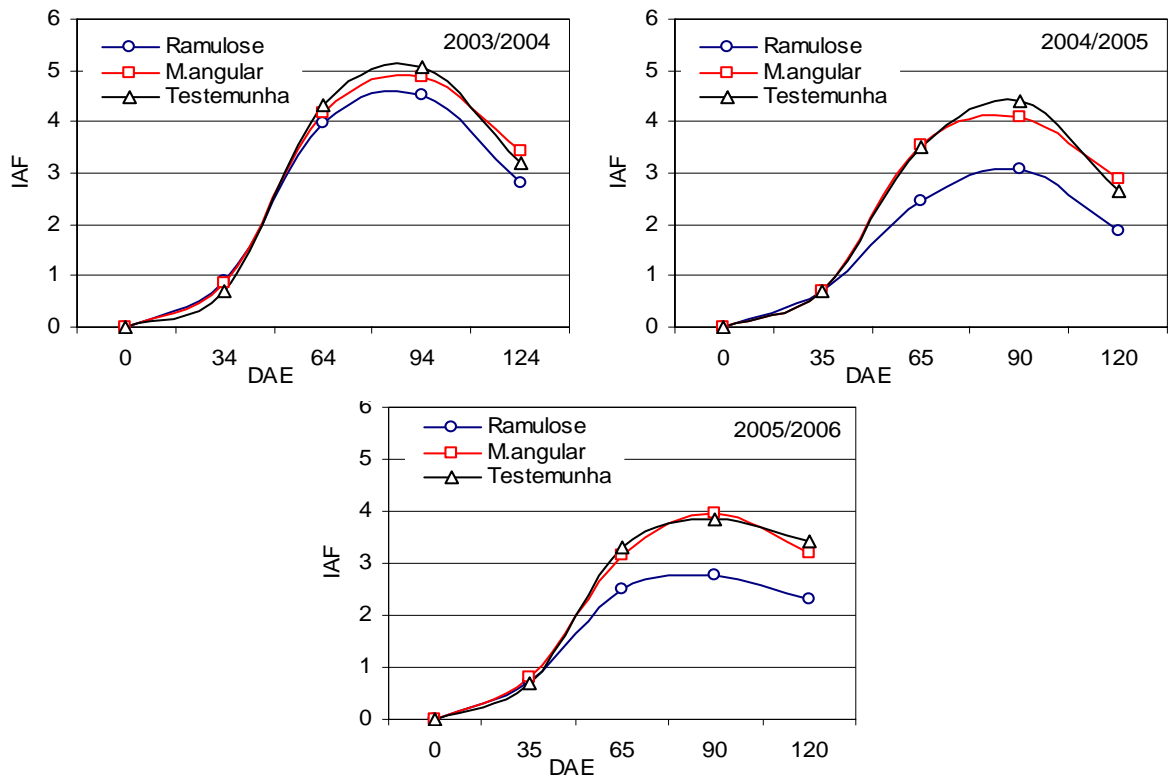


Figura 20 – Índice de área foliar do algodoeiro, cultivar Makina, nas parcelas não inoculadas (testemunha), inoculadas com ramulose e inoculadas com mancha angular, de 0 a 124 dias após emergência (DAE), em Piracicaba, SP, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06

A identificação das diferenças quanto ao IAF ficam mais fáceis de serem constatadas por meio da duração da área foliar (DAF), ou seja, da integral da área foliar ao longo do tempo, de 0 a 124 DAE, apresentada na Figura 21.

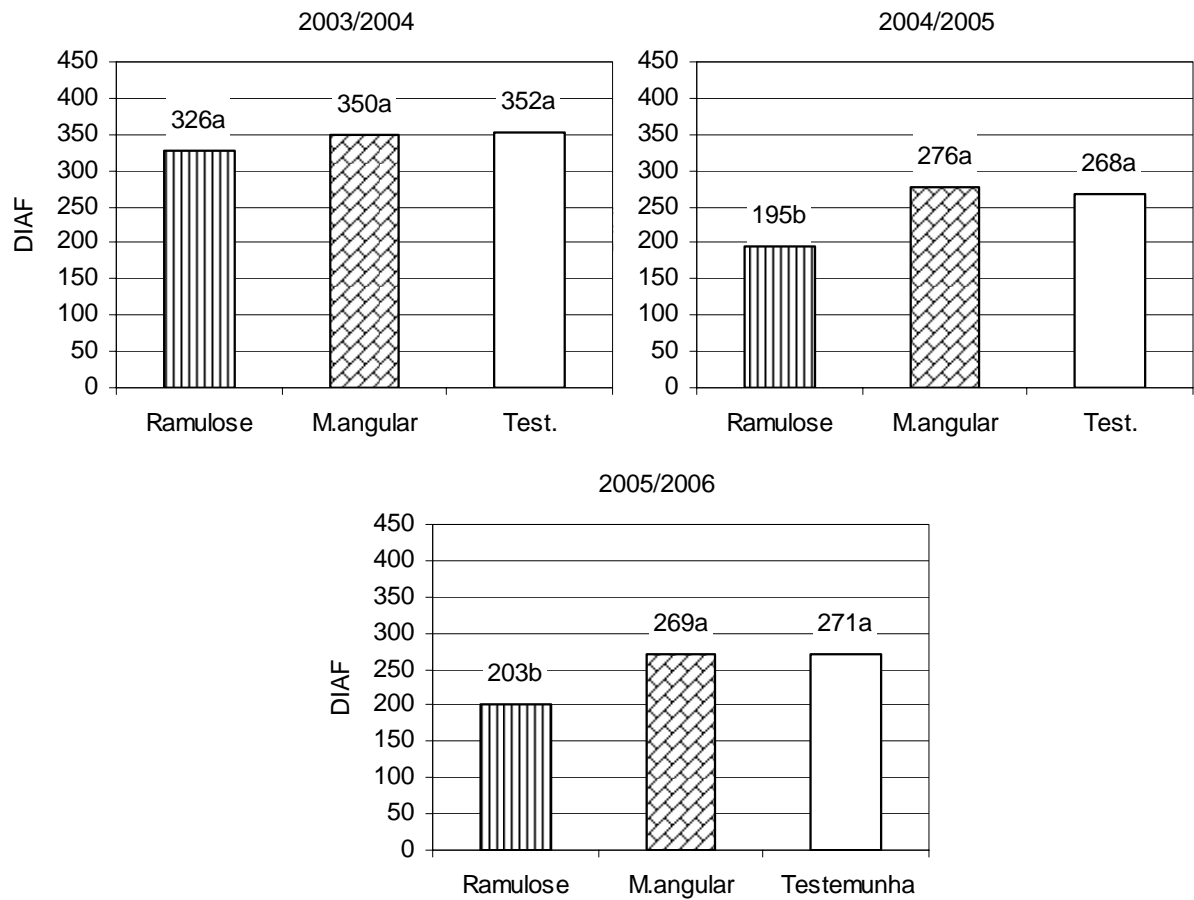


Figura 21 – Duração do índice de área foliar do algodoeiro (DIAF), cultivar Makina, nas parcelas não inoculadas (testemunha), inoculadas com ramulose e inoculadas com mancha angular, de 0 a 124 dias após emergência, em Piracicaba, SP, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06. Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Praticamente não ocorreu diferença entre o tratamento com mancha angular e o não inoculado, em todos os anos de experimentação. No experimento de 2003/04, o tratamento com ramulose apresentou redução de 7,5% no DIAF em relação ao não inoculado (Testemunha). Já em 2004/05, essa redução foi de 27,5% no tratamento com ramulose e de menos que 2% no tratamento com mancha angular. Em 2005/06, foram observadas reduções semelhantes às de 2004/05, com o DIAF 25,1% menor no tratamento com ramulose e 0,7% menor no tratamento com mancha angular.



#### 4.2.1.2 Produtividade do algodoeiro

A Figura 22 ilustra a produtividade de algodão em caroço, nas parcelas inoculadas e não inoculadas com os patógenos da ramulose e da mancha angular.

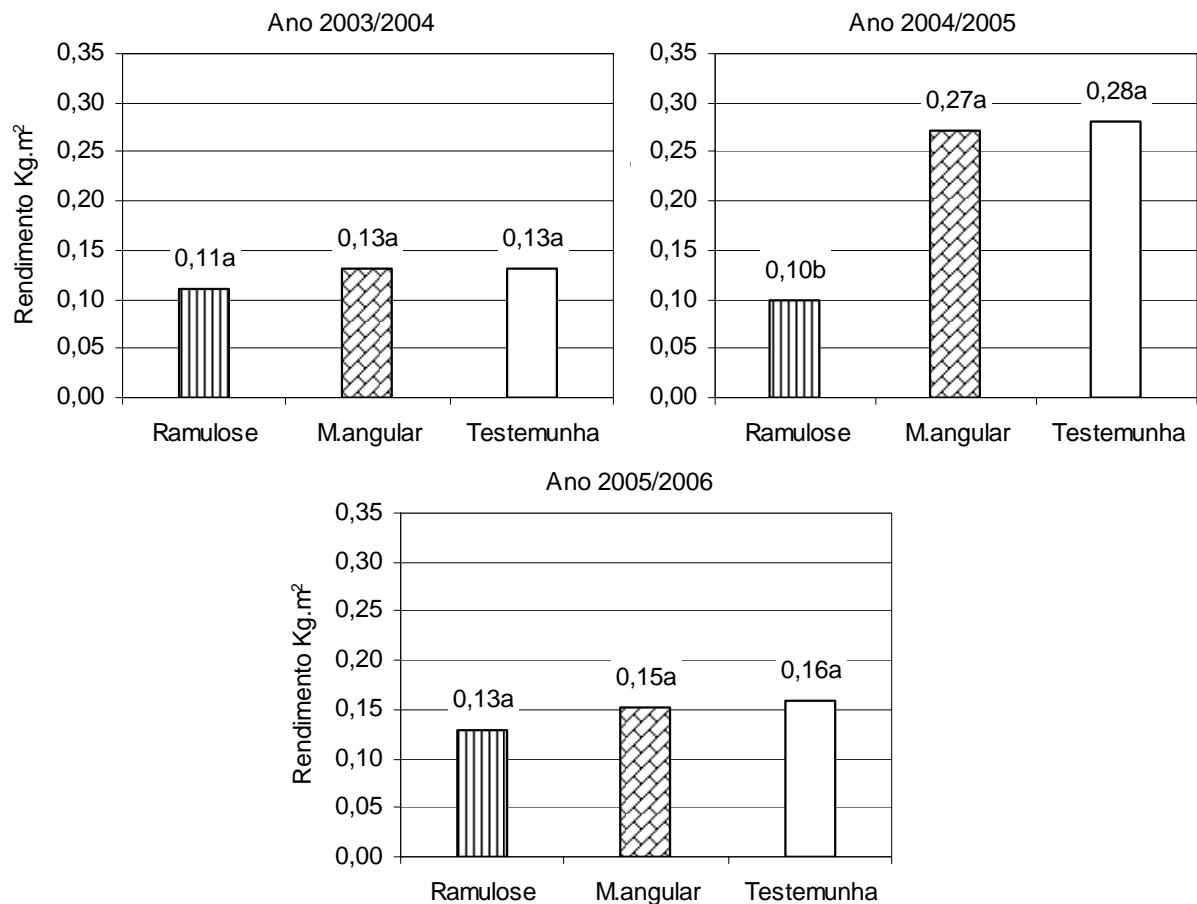


Figura 22 – Rendimento, em Kg.m<sup>-2</sup>, de algodão em caroço, do algodoeiro, cultivar Makina, nas parcelas inoculadas com ramulose e com mancha angular e nas parcelas não inoculadas (Testemunha), nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

No experimento de 2003/04, a produção média nas parcelas inoculadas com a bactéria e nas não inoculadas foi de aproximadamente 0,131 Kg m<sup>-2</sup> de algodão em caroço, ou seja 1.310 Kg ha<sup>-1</sup>. Já nas parcelas inoculadas com o fungo causador da ramulose, o rendimento médio foi de 0,110 Kg m<sup>-2</sup> de algodão em caroço, ou 1.100 Kg ha<sup>-1</sup>. Essa diferença de rendimento, apesar de muito pequena, evidencia a maior intensidade do ataque da ramulose do algodoeiro nesse ano.

De um modo geral, o rendimento obtido em todos os tratamentos foi baixo, devido principalmente às perdas provocadas pela alta incidência de bicudo (*Anthonomus grandis*), que se manifestou apesar das medidas de controle adotadas sistematicamente. Constatou-se uma redução aproximada de 16% no rendimento das parcelas inoculadas com ramulose em relação às demais. No experimento de 2004/05, o bicudo foi controlado satisfatoriamente e a produção foi maior. Nas parcelas não inoculadas, a produção média foi de 0,281 Kg m<sup>-2</sup>, ou 2.810 Kg ha<sup>-1</sup>. As parcelas inoculadas com mancha angular apresentaram produção média de 0,251 Kg m<sup>-2</sup>, com redução de 11% em relação às não inoculadas. Foi verificada uma grande redução na produção das parcelas inoculadas com ramulose devido à alta incidência dessa doença. Neste caso, a redução média foi de 76% em relação à testemunha, o que corresponde a 0,067 Kg m<sup>-2</sup> ou 670 Kg ha<sup>-1</sup>.

#### **4.2.2 Condições meteorológicas**

O grau de interação entre a atmosfera e a cultura depende das características da vegetação. Essa interação resulta em fluxos, trocas gasosas e de calor entre a superfície e o ar, que mudam as propriedades físicas da atmosfera adjacente, e definem as condições de microclima. Assim, o microclima de uma cultura é a resultante da interação de diversos fatores, tanto da cultura como meteorológicos, o que o torna bastante variável, tanto no tempo como no espaço.

De modo geral, os microclimas das duas parcelas monitoradas, uma inoculada com *C. gossypii* var. *cephalosporioides* e a outra com *X. axonopodis* pv. *malvacearum*, foram muito semelhantes entre si. Porém, diferiram da condição geral do tempo – representada pelos dados registrados na estação meteorológica padrão – com pequenas diferenças, de acordo com a fase do ciclo da cultura.

##### **4.2.2.1 Temperatura e umidade relativa do ar**

A temperatura é a variável do ambiente que, frequentemente, está mais relacionada com respostas biológicas e é quase que universalmente citada nos estudos epidemiológicos (SUTTON et al., 1984). As temperaturas limites raramente ocorrem nos trópicos e subtropicais para a maioria dos patógenos presentes nessas regiões. Assim, a temperatura tem, então, um

efeito mais regulador, modulando o progresso da doença (ROTEM, 1978; VALE; ZAMBOLIM, 1996). A Figura 23 ilustra a variação da temperatura do ar ao longo do ciclo da cultura, no intervalo de 20 a 130 DAE, durante os experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, monitorada ao nível do terço superior do dossel da cultura e na estação meteorológica padrão, na área experimental. Observa-se, nos três anos, que a temperatura média diária se manteve, predominantemente, entre os 20 e 26°C, ou seja, dentro da faixa favorável tanto para a ramulose (20 a 30°C) como para a mancha angular (20 a 25°C).

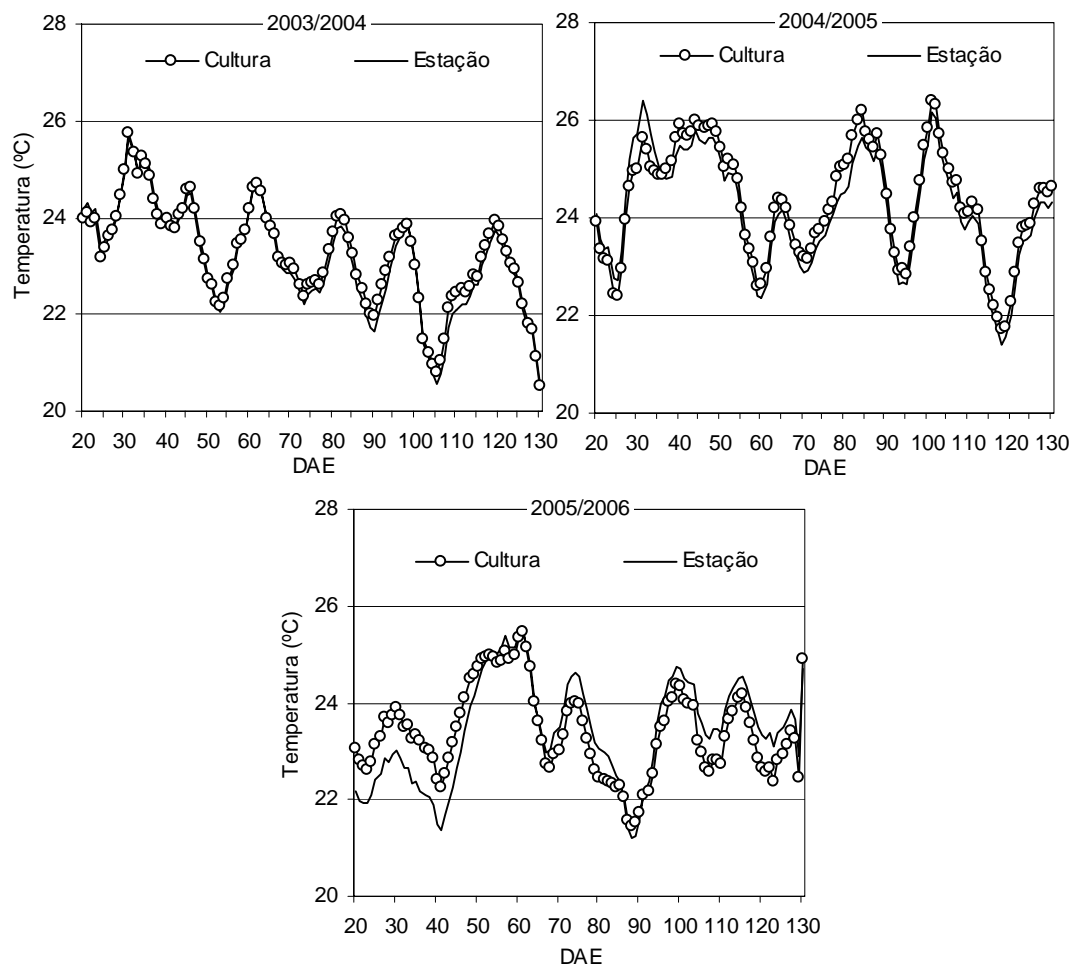


Figura 23 – Média móvel da temperatura média diária do ar, para períodos de sete dias, ao nível do dossel da cultura do algodoeiro e na estação meteorológica a 1,5 m de altura, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

As medidas de temperatura e umidade do ar junto ao dossel da cultura são influenciadas diretamente pelas plantas de cada parcela. Já as medidas na estação meteorológica representam a condição média da área experimental que também é influenciada pela cultura e, conseqüentemente, pelo grau de desenvolvimento da mesma, mas principalmente pelo macroclima da região. Portanto, é pertinente avaliar as diferenças da temperatura provocadas pelo microclima da cultura uma vez que não se pode desassociá-la da marcha de desenvolvimento dos patógenos. Isso significa que uma vez que existam diferenças significativas isto deverá ser considerado já que poderá afetar o progresso da doença.

Os gradientes espaciais de temperatura média diária foram muito pequenos entre a estação e o dossel da cultura. Na maior parte do período, houve variação similar dos dados, com as curvas quase sempre paralelas. Em média, a diferença não passou de 0,2°C entre a estação meteorológica e as parcelas da cultura nos anos de 2003/04 e 2004/05. Em 2005/06, houve algumas diferenças, especialmente no início do ciclo, sem, no entanto, ultrapassar 1°C. Monteiro et al. (2004), avaliando o microclima do algodoeiro em diferentes densidades populacionais, identificou resultados semelhantes para as médias diárias, porém, enfatizando que em condições favoráveis, pode ocorrer rápida diminuição da temperatura do dossel da cultura por perda radiativa, provocando diferenças de até 4,6°C entre o nível da cultura e o da estação meteorológica.

A Figura 24 ilustra a variação da umidade relativa do ar (média diária) ao longo do ciclo da cultura, no intervalo de 20 a 130 DAE, monitorada nas parcelas da cultura com ramulose e com mancha angular e na estação meteorológica padrão da área experimental. As diferenças de umidade relativa nos dois pontos de medida são um pouco maiores do que as observadas para a temperatura do ar. As oscilações observadas nos dados de umidade relativa ao longo do tempo acompanharam as oscilações registradas no Posto Meteorológico (DCE/ESALQ/USP) (dados não apresentados), sendo, portanto, reflexo das condições macrometeorológicas da região.

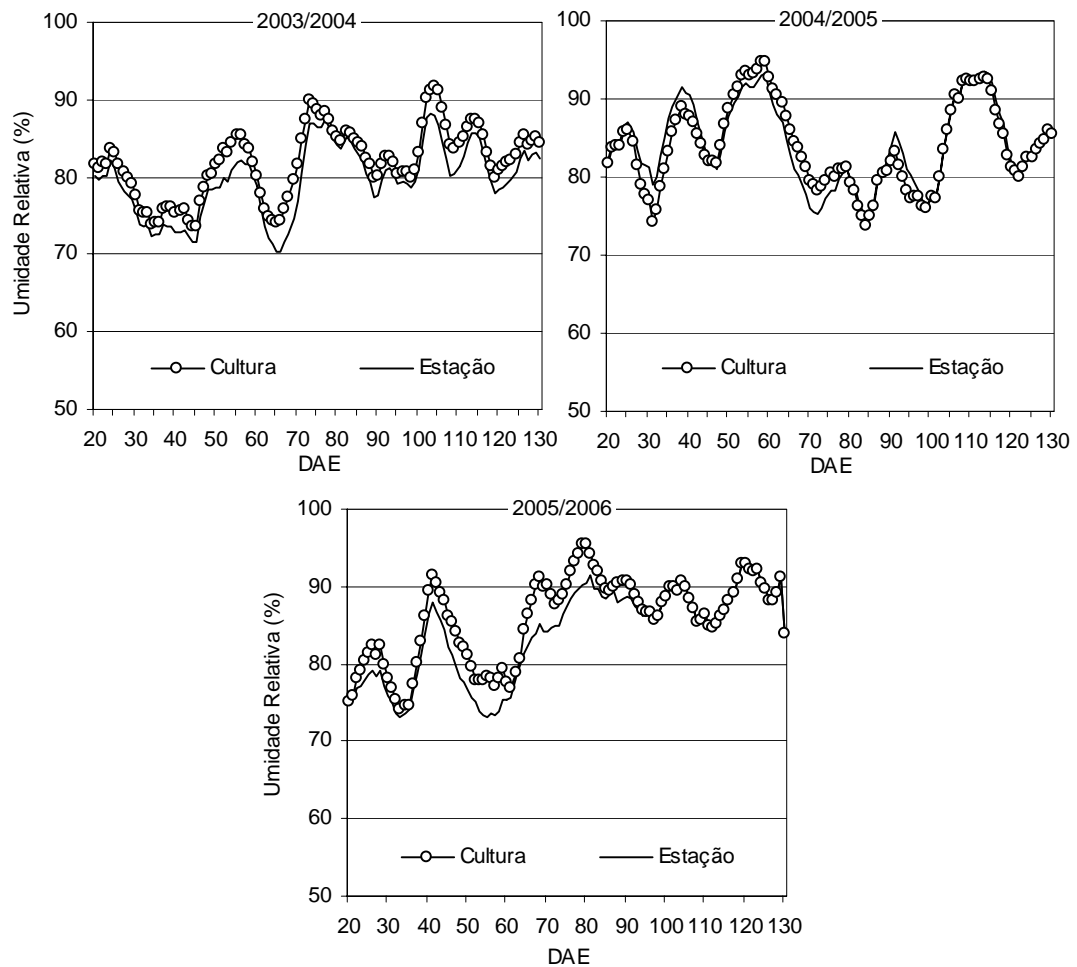


Figura 24 – Média móvel da umidade relativa média diária do ar, para períodos de sete dias, ao nível do dossel da cultura do algodoeiro e na estação meteorológica a 1,5 m de altura, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

Estudos sobre o efeito da umidade na infecção indicam que a maioria dos patógenos, exceto os agentes causais de oídios, requer água livre ou umidade relativa elevada na superfície foliar para que a infecção seja bem sucedida, sendo essa a variável chave que determina a ocorrência da doença (SUTTON, 1988; HUBER; GILLESPIE, 1992; VALE; ZAMBOLIM, 1996). A variação de umidade relativa do ar nas duas áreas de medida no dossel da cultura praticamente coincide durante todo o ciclo, se mantendo sempre um pouco maiores, em média 3%, do que as medidas feitas na estação meteorológica. Monteiro (2002), avaliando o microclima do algodoeiro na mesma região, obteve gradiente médio de 5% com o mesmo tipo de medida, porém, em condições topoclimáticas diferentes.

#### **4.2.2.2 Duração do período de molhamento (DPM)**

A duração do período de molhamento sobre a superfície foliar, necessária para que ocorra a infecção, bem como a temperatura, variam entre os diferentes patógenos. De modo geral, organismos biotróficos conseguem infectar seus hospedeiros em períodos de molhamento relativamente curtos (SUTTON, 1988). No entanto, o número de lesões e a severidade da maioria dos patógenos aumentam, até certo limite, quanto maior for o período de molhamento disponível. Daí a importância de medidas ou estimativas exatas que representem a realidade junto ao dossel da cultura.

Normalmente, os instrumentos e sensores utilizados para a coleta dos dados meteorológicos são instalados em estações meteorológicas. Dessa forma, as medidas feitas e os dados gerados nessa situação, especialmente de umidade relativa e molhamento foliar, não representam as mesmas condições que ocorrem ao nível do dossel da cultura. Ocorrem, na verdade, diferenças consideráveis entre as duas posições de medida (MONTEIRO, 2002).

A Figura 25 apresenta a variação da DPM ao longo do ciclo da cultura do algodoeiro, no intervalo de 20 a 130 DAE, monitorada em três condições distintas: na parcela da cultura com mancha angular, naquela com ramulose e na estação meteorológica padrão da área experimental.

Uma vez que essa variável está diretamente relacionada à umidade do ar, a DPM apresentou variação similar às curvas de umidade relativa, porém, com algumas diferenças. Observa-se um claro efeito do microclima na DPM, maior do que na umidade relativa média, ou seja, uma maior diferença entre os pontos de medida, nos três anos de experimentação, com valores de DPM maiores na condição da cultura.

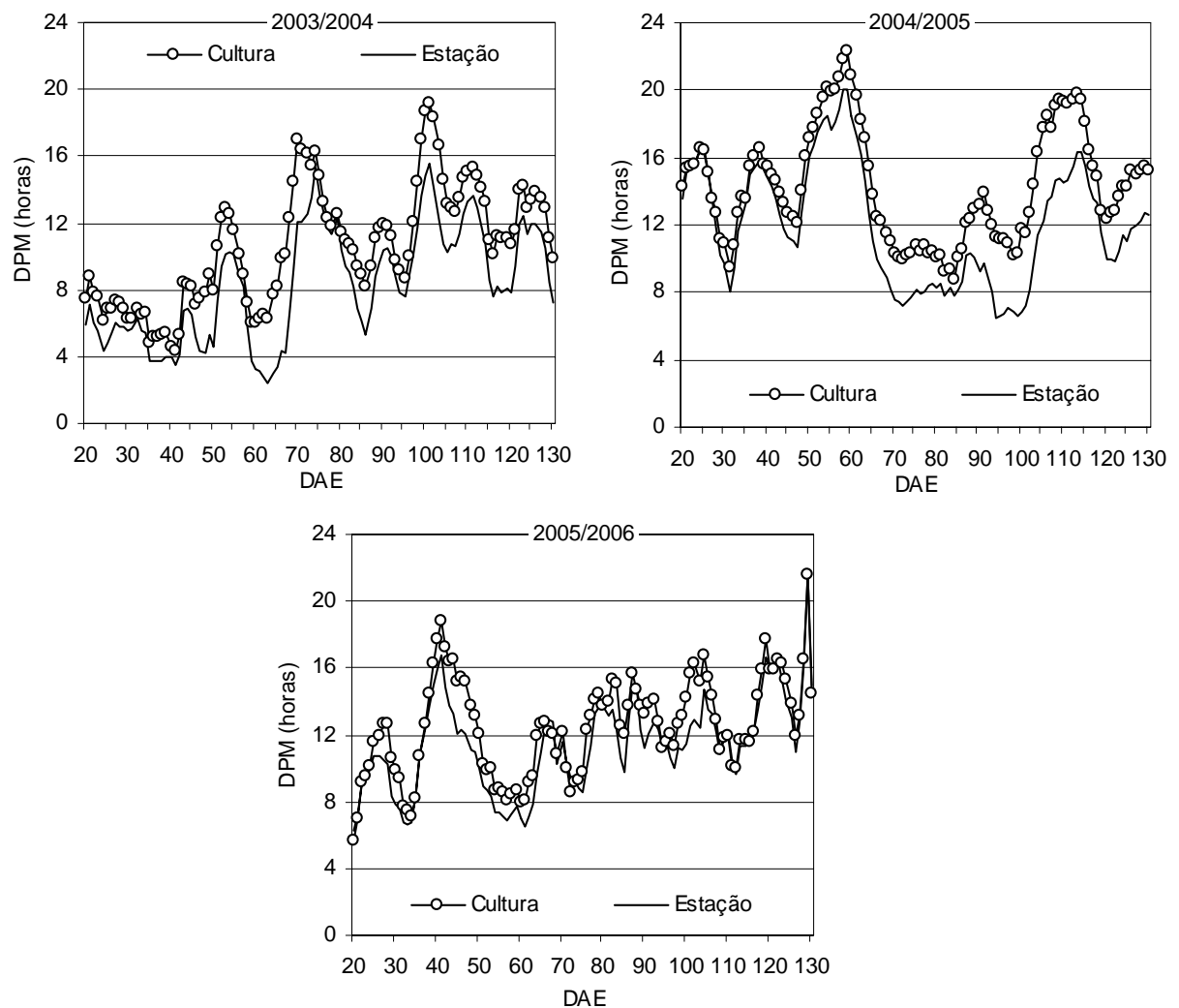


Figura 25 – Média móvel da duração do período de molhamento (DPM), para períodos de sete dias, ao nível do dossel da cultura do algodoeiro e na estação meteorológica a 1,5 m de altura, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

Verifica-se, ainda, variação relativa com amplitude muito maior na escala de DPM do que na de umidade relativa, o que fica bem evidente comparando-se períodos mais úmidos com outros mais secos. Nessas condições, é mais apropriado definir como períodos favoráveis à infecção e períodos menos ou não favoráveis a ela. Isso significa que é possível distinguir com clareza a alternância de períodos mais e menos favoráveis às doenças, ao longo de todo o ciclo, utilizando-se a variável DPM.

### 4.2.2.3 Índice de favorabilidade

A utilidade maior de qualquer estudo avaliando o microclima e o progresso de doenças em plantas é estabelecer, com a maior precisão possível, uma relação causal entre essas duas componentes. Na literatura nacional e internacional encontra-se disponível uma grande quantidade de trabalhos que versão sobre os efeitos da temperatura e do molhamento na ocorrência de doenças. No entanto, pouco se tem avançado no que diz respeito à quantificação dos efeitos dessas variáveis no progresso de doenças de plantas, especialmente em condições de campo.

O modelo gerado com os dados dos experimentos em câmaras de crescimento (equação 3), para a estimativa da densidade relativa de lesões para a ramulose e da severidade para mancha angular, quando utilizado nas condições de campo passou a ser denominado de índice de favorabilidade para condições de temperatura e molhamento (IFtm). Especificam-se, neste caso, somente a temperatura e o molhamento, pois são estas as duas variáveis que estão sendo utilizadas para a geração do valor de favorabilidade, uma vez que, no campo, ao contrário das câmaras de crescimento, outras variáveis interagem, mas não foram consideradas no modelo. Logo, a equação 11 pode ser expressa da seguinte forma:

$$IFtm = a \times 10^{\left\{ -0,5 \left[ \frac{\left( \ln \left( \frac{DPM}{b} \right) \right)^2}{c} \right] \right\}} \quad (11)$$

Na Figura 26 são apresentados os valores da média móvel do IFtm para períodos de 7 dias, considerando-se os dias após a inoculação. Observa-se que esse índice varia continuamente ao longo da estação de cultivo, assim como entre os anos experimentais. Essa variação é decorrente da variação nos valores de temperatura e DPM, mostrando assim o favorecimento das condições meteorológicas para a ocorrência da ramulose no algodoeiro. Apesar de esses dados estarem sendo apresentados em valores médios para minimizar a oscilação dos dados, é interessante enfatizar que para aplicações práticas, é melhor se acompanhar a evolução do IFtm na escala diária.



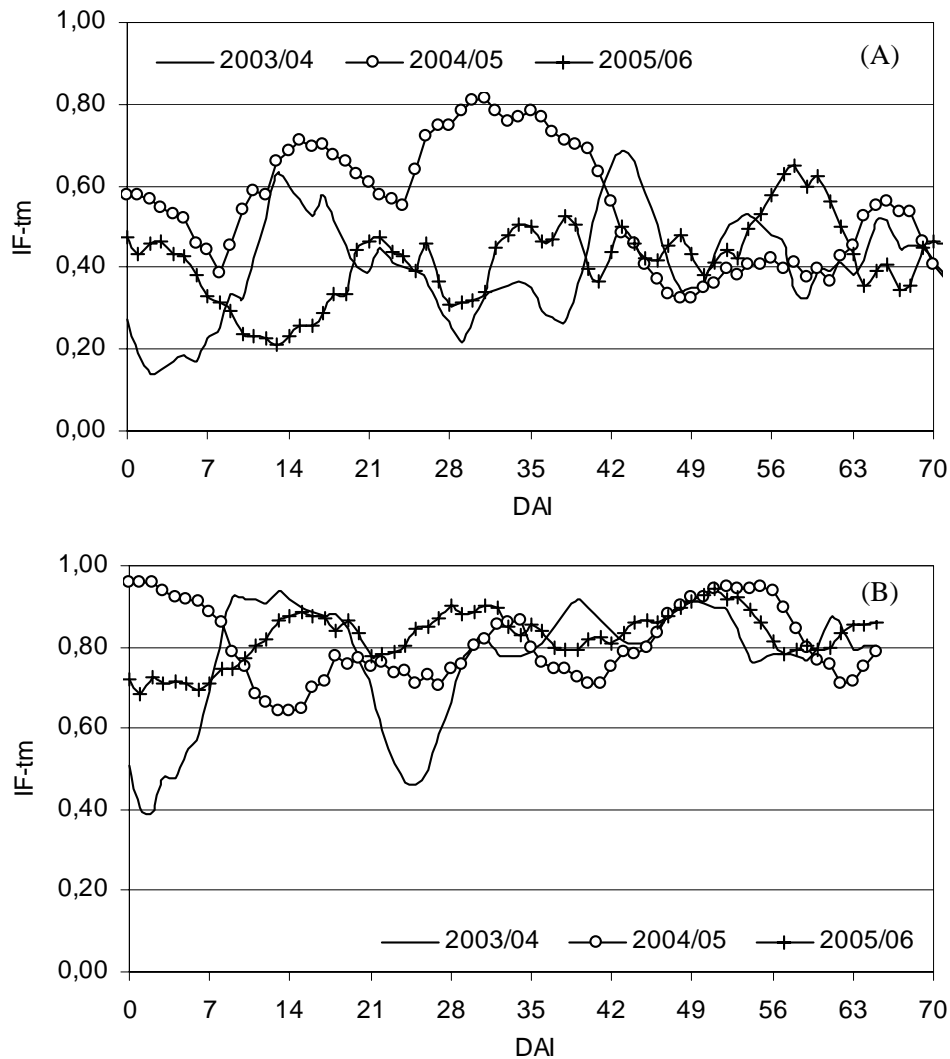


Figura 26 – Média móvel do índice de favorabilidade de temperatura e molhamento (IFtm) para a ramulose (A) e mancha angular (B) do algodoeiro, aos n dias após inoculação (DAI), para medidas junto ao dossel das plantas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

Observa-se que o IFtm pode apresentar um amplo intervalo de variação. No caso da ramulose, próximo aos 30 dias após a inoculação, os valores de IFtm estavam abaixo de 0,3 em 2003/04 e 2005/06, enquanto que na mesma época de 2004/05, os valores alcançavam o máximo registrado, acima de 0,8.

O IFtm para a ramulose apresentou padrão de variação muito semelhante ao padrão de variação da DPM, já que a magnitude de variação desta última variável no campo costuma ser maior que a da temperatura, tendo, portanto, um peso maior na determinação do IFtm. Além disso, a temperatura se manteve predominantemente no intervalo entre 20 e 30°C, no

qual a intensidade da doença não foi muito influenciada nas câmaras de crescimento. Esses resultados diferem dos encontrados para *Puccinia polysora*, causadora da ferrugem do milho, a qual se mostrou bastante afetada pela temperatura (GODOY, 2000).

O IFtm para mancha angular se manteve com valores mais altos durante todo o ciclo, devido ao fato da doença atingir severidades mais elevadas mesmo com períodos curtos de molhamento. Dessa forma, mesmo registrando-se oscilações consideráveis de DPM no campo, os valores de favorabilidade se mantiveram sempre altos. Exceção feita ao período logo após a inoculação e aos 25 dias após inoculação, ambos em 2003/04, quando não houve molhamento em alguns dias.

A Figura 27 apresenta a frequência do IFtm da ramulose acima e abaixo do valor médio observado (= 0,45) nos três anos de experimentos de campo, o que ilustra a variabilidade das condições para a ocorrência da ramulose em cada ano. O mesmo tipo de análise não se justifica para o IFtm da mancha angular já que se manteve quase sempre com valores próximos ao máximo, ou seja, 1,0.

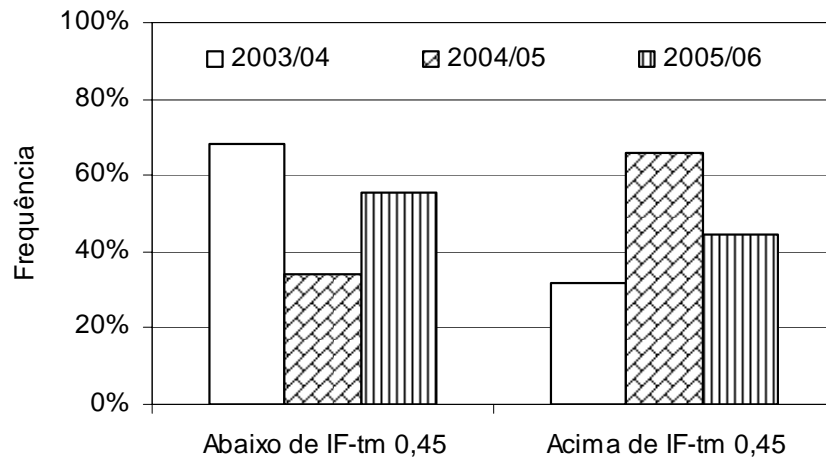


Figura 27 – Frequência relativa do IFtm, abaixo e acima do valor médio de 0,45, obtido junto ao dossel da cultura, de 0 a 75 dias após inoculação, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

Em 2003/04, do total de dias analisados após a inoculação apenas 32% apresentaram IFtm maior que a média. Em 2004/05, esse valor subiu para 66% dos dias,

enquanto que em 2005/06 houve uma frequência intermediária, da ordem de 45% dos dias com IFtm acima da média.

### 4.2.3 Ocorrência de doenças na cultura do algodoeiro

#### 4.2.3.1 Ramulose

Utilizando-se a chave descritiva de Cia et al. (1982) para avaliação da intensidade da ramulose foi possível comparar o progresso da ramulose observada nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06. Comparando-se o progresso da doença nos três anos nas parcelas inoculadas, ao longo dos n dias após a inoculação, constatou-se que até os 20 dias após a inoculação, os valores de intensidade foram muito semelhantes (Figura 28).

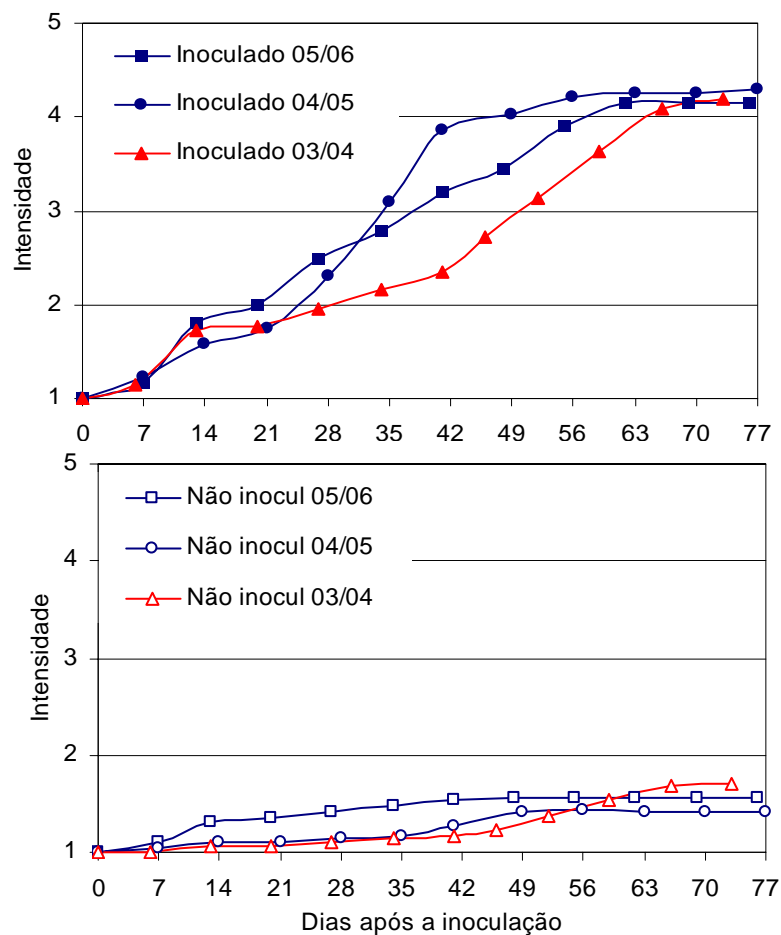


Figura 28 – Intensidade média de ramulose na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, aos n dias após inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP. Escala de Cia et al. (1982)

A partir de 20 DAI, a intensidade média verificada nas avaliações subseqüentes apresentaram diferenças significativas, com um aumento mais acelerado em 2004/05, intermediário em 2005/06, e menos acelerado em 2003/04.

Além disso, observa-se que nas parcelas inoculadas ocorre um rápido aumento da severidade nas duas primeiras avaliações, como conseqüência da carga de inóculo introduzida artificialmente na área. Depois desse período inicial, a diferenciação das curvas de progresso da ramulose ocorre em função da favorabilidade imposta pelas condições meteorológicas em cada período. Nos anos de 2003/04 e 2005/06, as taxas de crescimento da ramulose no algodoeiro foram muito semelhantes, com um pequeno retardamento do incremento no ano de 2005/06. Apesar disso, a intensidade da ramulose, nesses anos, atingiu a mesma intensidade máxima aos 77 dias após a inoculação (>4) do que a observada no ano de 2004/05, no qual a ramulose teve um crescimento inicial mais acelerado. Nesses casos, observou-se que a partir da inoculação originaram-se as primeiras lesões, as quais serviram de fonte de inóculo para as lesões secundárias na mesma planta ou em plantas vizinhas, com a doença se propagando radialmente, formando reboleiras, assim como descrito por Cia e Salgado (1995).

Devido ao caráter qualitativo da chave descritiva utilizada desde o primeiro experimento de campo, foi utilizada nos experimentos de 2004/05 e 2005/06 uma nova escala, proposta em função das experiências adquiridas nos primeiros anos de experimentação, denominada de *Escala Proposta*, a qual permite avaliações quantitativas da ramulose, baseada no número de lesões por unidade de área (Figura 29).

Apesar de a chave descritiva ser extremamente pertinente do ponto de vista fitotécnico, pois considera os principais sintomas provocados pela doença e, conseqüentemente, os efeitos na produção, essa escala não leva em consideração o número de lesões ou a área afetada pela doença. Como exemplo, pode-se afirmar que segundo a chave descritiva de Cia et al. (1982), uma planta atingida no ápice (nota 3), mesmo que apresentasse aumento no número de lesões não resultaria em uma nota maior, embora houvesse um aumento do número de lesões.

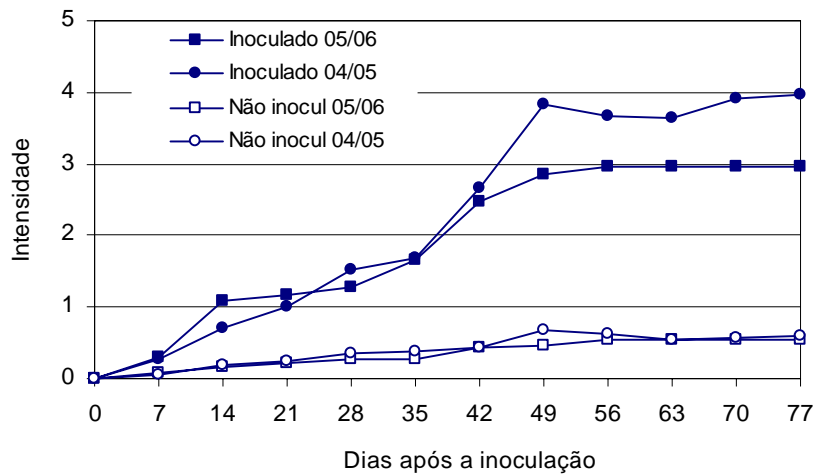


Figura 29 – Intensidade média de ramulose na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, aos n dias após inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2004/05 e 05/06, em Piracicaba, SP, de acordo com a *Escala Proposta*

Observaram-se algumas diferenças importantes entre as duas escalas nos dois anos. Em 2004/05, enquanto a escala qualitativa exibiu um crescimento mais acentuado entre 21 e 42 DAI, a escala quantitativa exibiu aumento mais acelerado entre 35 e 49 DAI, inclusive com decréscimo de severidade entre 49 e 56 DAI, enquanto na outra escala foi registrado ainda um pequeno aumento. Esse decréscimo é possível de ser verificado quando as plantas crescem, emitindo novas folhas sadias, diminuindo o número relativo de lesões. Por outro lado, na escala qualitativa, um aumento pôde ser registrado no mesmo período uma vez que pode ocorrer o brotamento lateral de plantas com ápice comprometido ou mesmo a redução relativa do porte, significando mudança de nota 3 para 4 e 4 para 5, respectivamente, afetando as médias de intensidade da doença sem ocorrência de novas infecções.

Outro aspecto a ser mencionado é que a disseminação do patógeno pouco ultrapassou os limites das parcelas inoculadas, já que houve pouco aumento nas parcelas testemunhas (Figura 29) e menos ainda nas parcelas auxiliares, mais distantes e utilizadas apenas em 2003/04. Isso se confirmou analisando-se os dados de incidência (dados não apresentados).

Nota-se, nesse caso, que a incidência nas parcelas não inoculadas começou a apresentar aumento mais expressivo a partir dos 40 DAI, tanto em 2003/04 e 2004/05 como em 2005/06. Isto se dá provavelmente pela maior disponibilidade de inóculo disseminada pelas lesões das parcelas inoculadas, nessa fase mais adiantada da epidemia.

Na Figura 30 são apresentados os dados referentes à área abaixo da curva de progresso da doença (AUDPC), para a ramulose, a qual reduz para um valor único a intensidade da doença ao longo do ciclo da cultura.

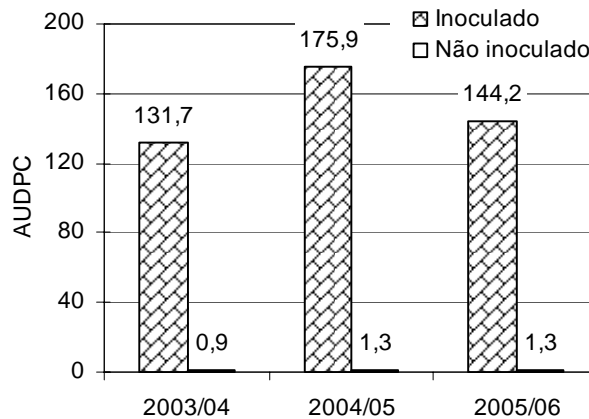


Figura 30 – Área abaixo da curva de progresso da doença (AUDPC) – ramulose – na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, de 0 a 80 dias após a inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

De um modo geral, a AUDPC permitiu identificar com mais clareza os aspectos descritos anteriormente, que foram a grande diferença de intensidade da doença entre as parcelas inoculadas e não inoculadas. Este fato revela a baixa taxa de disseminação da doença para as parcelas vizinhas não inoculadas. Além disso, é possível constatar que no experimento de 2004/05 a AUDPC nas parcelas inoculadas foi 42% maior que no experimento de 2003/04, e 22% maior que do de 2005/06.

#### 4.2.3.2 Mancha Angular

Na Figura 31 são apresentadas as curvas de progresso da mancha angular ao longo do ciclo do algodoeiro, tanto nas parcelas inoculadas como nas não inoculadas, nos experimentos realizados em 2003/04, 2004/05 e 2005/06.

Nas condições em que se desenvolveu o experimento de 2003/04, as primeiras lesões foram identificadas a partir da segunda avaliação após a inoculação. A partir de então, a severidade da doença aumentou lentamente até por volta de 36 DAI, quando se estabilizou em níveis bastante baixos de severidade, se mantendo em torno de 7% até o final do ciclo da cultura.

Diferentemente, em 2004/05, a severidade da mancha angular aumentou mais rapidamente no início, atingindo um máximo de 28% aos 28 e 35 DAI, decrescendo um pouco

nas avaliações seguintes. Em 2005/06, apesar de a inoculação ter sido feita com os mesmos procedimentos dos anos anteriores, não houve aparecimento dos sintomas.

A evolução das curvas de incidência de mancha angular ao longo do ciclo foi semelhante à das curvas de severidade, como pode ser observado nas Figuras 31 e 32. Neste caso, porém, a incidência apresentou maior amplitude de variação (Figura 32).

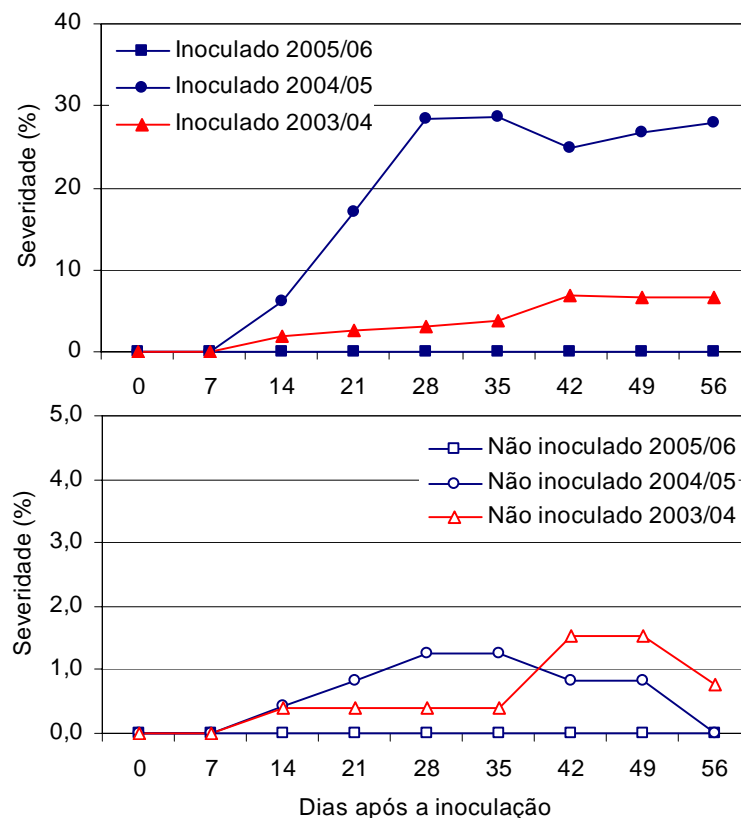


Figura 31 – Severidade média de mancha angular na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, aos n dias após inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

No experimento de 2003/04, chamou a atenção o período compreendido entre as avaliações dos 35 e 42 DAI, quando ocorreu um aumento, tanto na severidade como na incidência, porém mais expressivo na incidência, se comparado ao restante do ciclo.

Há que se considerar o período de incubação da doença, o qual é definido como o intervalo de tempo entre a infecção do patógeno e o aparecimento dos sintomas. Então, se o período de incubação foi definido como próximo de seis dias em câmaras de crescimento, no campo, o aumento da severidade no campo será identificada entre os 7 e 14 dias após a

inoculação (devido ao intervalo de avaliação). Nesse caso, deve se considerar que o incremento na severidade avaliada é resultado, principalmente, da favorabilidade ao redor dos 28 DAI. Nesse período, porém, o IF<sub>tm</sub> valores baixos se comparado com o restante do período, devido à curtas DPMs ocorridas nessa fase. Por outro lado, é nesse período que registrou-se as maiores velocidades médias e máximas do vento, de todo o ciclo.

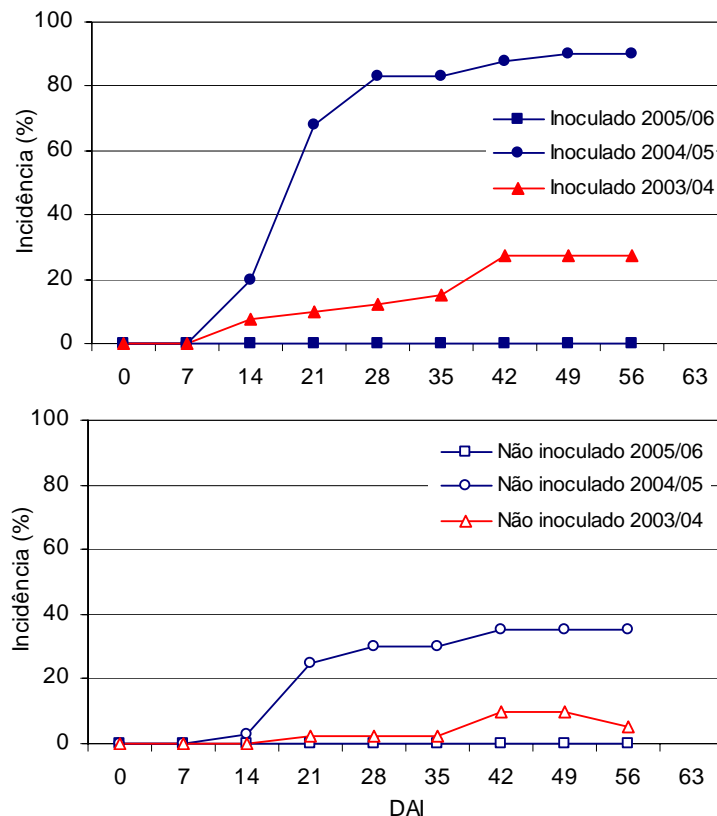


Figura 32 – Incidência média de mancha angular na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, aos n dias após inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04, 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

O vento é outro elemento meteorológico que pode interferir na ocorrência de infecção de forma negativa por promover a secagem da água da superfície da planta. Por outro lado, o efeito pode se dar de forma positiva por provocar ferimentos, em razão do atrito entre as diferentes partes das plantas ou por partículas do solo (BEDENDO, 1995). Logo, se o vento terá um efeito positivo ou negativo para o progresso da doença, isso irá depender de sua intensidade e da ocorrência combinada com outros fatores. Essa relação existente entre a intensidade do vento e a disseminação da mancha angular concorda com Cia e Salgado (1995), que afirmam que a disseminação da bactéria dentro do campo ocorre em razão de chuvas acompanhadas de ventos



fortes. Essas condições favorecem a infecção, pois provoca o molhamento dos tecidos do hospedeiro e injúrias mecânicas que facilitam a penetração do patógeno.

Ao se analisar os dados obtidos a partir do cálculo da área sob a curva de progresso da doença (Figura 33), observa-se que a mancha angular se desenvolveu muito pouco nas parcelas inoculadas, disseminando-se, também muito pouco, nas parcelas adjacentes não inoculadas. No entanto, é possível se identificar, por meio desses dados, as diferenças da intensidade da mancha angular nos três experimentos, tendo ocorrido uma maior AUDPC no experimento de 2004/05.

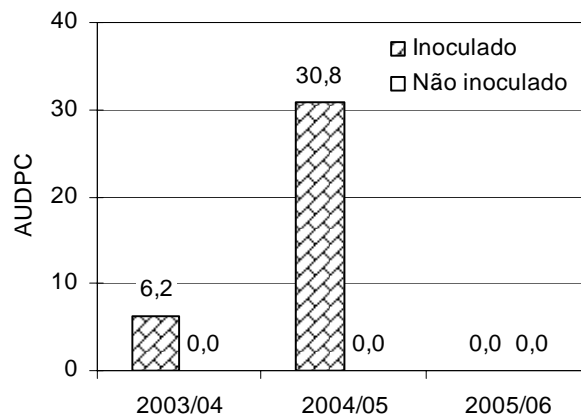


Figura 33 – Área abaixo da curva de progresso da doença (AUDPC) – mancha angular – na cultura do algodoeiro, cultivar Makina, de 0 a 50 dias após a inoculação, nas parcelas inoculadas e não inoculadas, nos experimentos de 2003/04 e 2004/05, em Piracicaba, SP

Dada a grande importância da ocorrência concomitante do vento e da chuva na disseminação de doenças bacterianas, inclusive da mancha angular, é possível associar a baixa intensidade da doença constatada no ano 2003/04 à ausência de eventos com chuva e vento intensos, exceto no período já mencionado, o qual foi seguido por chuva nos dias 27 e 28 DAI. Na ausência de chuva, o vento não passa de um agente provocador das injúrias que viabilizam a penetração passiva das bactérias, que se desidratam e morrem na ausência de água. Sem vento, a água da chuva é um meio de dispersão apenas para tecidos sadios de folhas ou plantas adjacentes, o que, por sua vez, tem pouca importância na ausência de injúrias. Logo, é evidente que a ocorrência isolada do vento ou da chuva é muito menos importante para o progresso da doença do que a ocorrência simultânea deles.

### 4.3 Relações entre as condições meteorológicas no campo e a ocorrência das doenças

#### 4.3.1 Condições meteorológicas e ocorrência de Ramulose

Na Tabela 6, observa-se que a melhor correlação entre a taxa de crescimento da ramulose e o IFtm ocorreu quando foi considerado para acúmulo do IFtm o período de 6 a 13 dias antes da última avaliação de doenças. Isso mostra exatamente o período de incubação (período latente), em que as condições meteorológicas favorecem a manifestação do sintoma que se torna visível somente alguns dias depois da infecção. Com base nisso, foi obtida uma relação sigmoideal entre IFtm acumulado e taxa de crescimento da ramulose (Figura 34).

Tabela 6 – Coeficientes de correlação entre a taxa de crescimento da ramulose no algodoeiro com as variáveis IFtm e Chuva acumuladas no mesmo período (n) e em períodos anteriores (n-1 a n-8)

Ano	Variável	Dias antes da data referência									
		n	n-1	n-2	n-3	n-4	n-5	n-6	n-7	n-8	
2005	IFtm	0,07	0,04	0,09	0,24	0,44	0,66	0,80	<b>0,89</b>	0,75	
	Chuva	0,37	0,39	0,45	0,62	0,62	0,83	<b>0,92</b>	0,81	0,70	
2006	IF	0,77	0,61	0,50	0,62	0,79	0,91	<b>0,95</b>	0,57	0,42	
	Chuva	0,32	0,45	0,53	0,59	0,81	0,90	<b>0,95</b>	0,77	0,71	

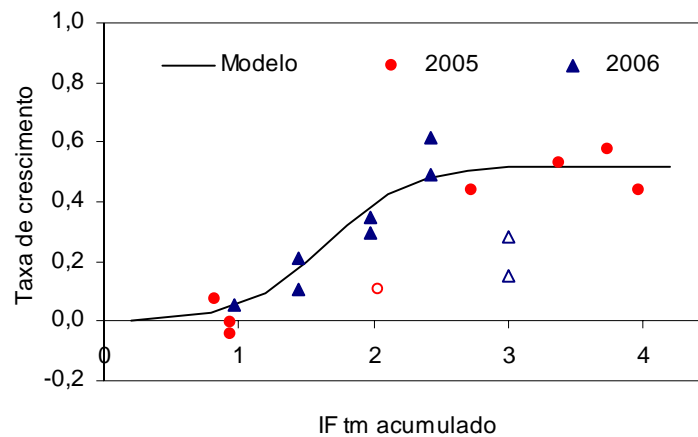


Figura 34 – Taxa de crescimento semanal da ramulose na cultura do algodão em função do IFtm acumulado em um período de sete dias, defasado seis dias da data de referência, nos experimentos de 2004/05 e 2005/06. Os pontos vazios foram excluídos do conjunto de dados para o ajuste do modelo apresentado

Essa relação entre o IFtm acumulado e a taxa de crescimento da ramulose (TC) resultou na seguinte expressão:

$$TC = \frac{0,52}{1 + e^{\left[ \frac{-(IFtm-1,65)}{0,3} \right]}} \quad (12)$$

cujo valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,89, o qual pode ser admitido como muito alto, considerando-se a variabilidade associada à avaliação da doença, das condições microclimáticas e de outras variáveis não quantificadas. Observa-se que a ramulose praticamente não apresentou crescimento no intervalo de 0 a 1. Acima de 1, o crescimento da doença aumenta a medida em que se aumenta o IFtm, até aproximadamente 2,5, quando a doença atinge, provavelmente, seu potencial biológico máximo de crescimento em condições naturais e, nessas condições, mesmo aumentando-se a favorabilidade, a taxa de crescimento se manteria estável.

A relação da temperatura e do molhamento com a severidade da doença estabelecida em condições controladas nem sempre pode ser observada no campo devido às variáveis naturais que não são consideradas em condições controladas (SUTTON, 1988). Os três pontos vazios que aparecem na Figura 34 foram excluídos da análise inicialmente, por não se ajustarem ao padrão sigmoidal encontrado e, posteriormente, por estarem associados a condições específicas de chuva, que serão discutidas adiante.

A Figura 35 apresenta a relação entre a taxa de crescimento observada e a estimada pela equação 12, em função do IFtm acumulado no período anterior.

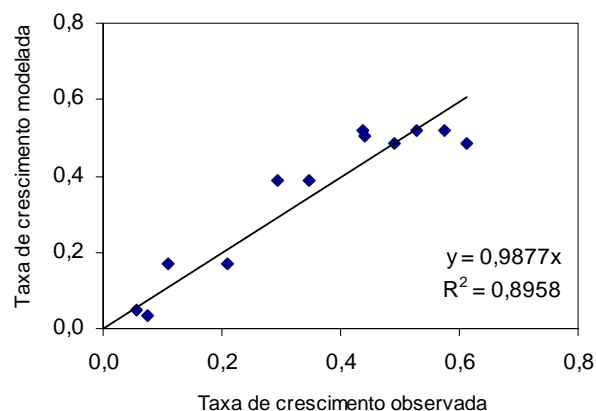


Figura 35 – Relação entre a taxa de crescimento da ramulose observada e a estimada pela equação 12, em função do IFtm acumulado no período anterior, considerando-se os dados dos experimentos de 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

Observa-se que existe uma ótima concordância entre os dados observados e estimados ( $b = 0,99$  e  $R^2 = 0,90$ ), mostrando a potencialidade do uso desse método para a previsão da ramulose. Em média, houve uma sub-estimativa da taxa de crescimento da ordem de 1,2%. No entanto, a existência de pontos discrepantes só pôde ser explicada pela análise da relação entre o crescimento da doença e outras variáveis meteorológicas monitoradas no campo. Dentre essas variáveis, apenas chuva apresentou relação coerente.

O mesmo procedimento de comparação entre IFtm e taxa de crescimento foi adotado para relacionar a taxa de crescimento da ramulose com a chuva acumulada (Figura 36). Dos três pontos retirados da análise anteriormente, dois se referiam a condições ambientais específicas, com chuvas intensas, da ordem de 90mm e, o restante, com chuva menos abundante, em torno de 30mm. Com base nesses resultados, foi obtida uma relação exponencial quadrática entre a taxa de crescimento da ramulose e a chuva acumulada (Figura 36).

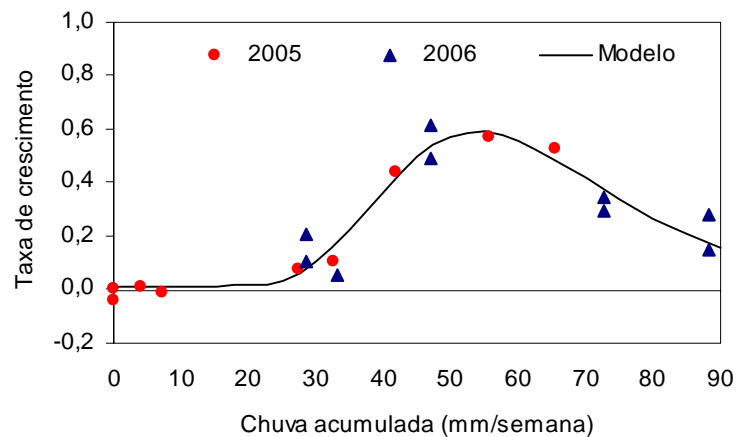


Figura 36 – Taxa de crescimento semanal da ramulose em função da chuva acumulada no período anterior, nos experimentos de 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

Essa relação entre a chuva acumulada e a taxa de crescimento da doença (TC) resultou na seguinte expressão:

$$TC = 0,58 \left\{ e^{-0,5 \left[ \left( \frac{\ln(\text{Chuva} / 54)}{0,305} \right)^2 \right]} \right\} + 0,122 \quad (13)$$

cujo valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,91, o qual também pode ser admitido como muito alto, considerando-se a variabilidade associada ao erro de mensuração da doença, das condições microclimáticas e de outras variáveis desconsideradas.

Os três pontos vazios que foram excluídos do modelo ajustado para transformação do IFtm em taxa de crescimento (Figura 34), neste caso, não mostraram discrepância e, portanto, fizeram parte do ajuste da equação 13.

Apesar da pouca disponibilidade de informações sobre a epidemiologia da ramulose, são frequentes na literatura informações associando períodos de chuva intensa com epidemias causadas por diversas espécies de *Colletotrichum* em diferentes culturas. A água da chuva bem como a água de irrigação por aspersão é um importante agente de disseminação, estando envolvida até mesmo na disseminação de patógenos tipicamente dispersos pelo ar (FITT; McCARTNEY; WALKLATE, 1989). Contudo, essa variável assume importância crucial na disseminação de patógenos como os do gênero *Colletotrichum*, cujos esporos são envoltos em uma massa mucilaginosa hidrossolúvel. Para esses microorganismos somente respingos de chuva ou água de irrigação são capazes de disseminá-los.

Apesar de ferrugens apresentarem mecanismos de disseminação bastante diferentes dos patógenos do gênero *Colletotrichum*, vale citar Melching (1975), que ressalta que chuvas intensas podem retardar o desenvolvimento de ferrugens pela transferência de uma grande quantidade de uredinósporos das pústulas nas folhas para o solo. Tais esporos rapidamente perdem a viabilidade e são efetivamente removidos de tecidos infectados.

A Figura 36 mostra que a chuva teve papel importante na taxa de crescimento da ramulose, contribuindo para seu aumento até um limite aproximado de 60 mm, a partir do que, essa variável passa a ter efeito negativo, havendo redução da taxa de crescimento em condições de chuva excessiva. Fica claro, portanto, que não se pode considerar, para a ocorrência de doenças, prolongados períodos de molhamento provocados por dias chuvosos consecutivos. Ao contrário do que ocorre em uma câmara de crescimento com longo período de molhamento, no campo a chuva muito intensa ou prolongada atua como um mecanismo de remoção de inóculo, inevitavelmente “lavando” para o solo as estruturas reprodutivas depositadas nas plantas em dias anteriores.

A Figura 37 apresenta a relação entre a taxa de crescimento observada e a estimada pela equação 13, em função da chuva acumulada no período anterior. Observa-se que

existe uma ótima concordância entre os dados observados e estimados ( $b = 0,96$  e  $R^2 = 0,91$ ), mostrando que este método também tem potencialidade para a previsão da ramulose. No entanto, apesar de apresentar uma precisão um pouco melhor do que o método do IFtm, o método da chuva mostrou uma exatidão um pouco menor, com subestimativas da taxa de crescimento da ordem de 3,84% (Figura 37).

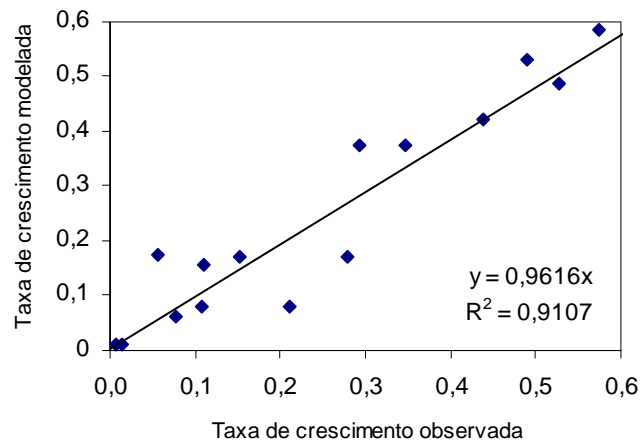


Figura 37 – Relação entre a taxa de crescimento da ramulose observada e a estimada pela equação 13, em função da chuva acumulada no período anterior, utilizando-se os dados dos experimentos de 2004/05 e 2005/06, em Piracicaba, SP

Em trabalhos de previsão de doenças causadas por *Colletotrichum falcatum* em cana (KUMAR; SATYAVIR; NIWAS, 1998), *C. acutatum* em citros (TIMMER; ZITKO, 1998) e *C. gloeosporioides* em *Stylosantes scabra* (CHAKRABORTY; BILLARD, 1995), os modelos desenvolvidos apresentaram as variáveis número de dias chuvosos e intensidade da chuva como os parâmetros que mais influenciaram a ocorrência e o desenvolvimento dessas doenças.

#### 4.3.2 Condições meteorológicas e ocorrência de Mancha angular

Os primeiros experimentos a demonstrar a dispersão de doenças bacterianas por chuva foram os de Faulwetter em 1917, que mostraram que a chuva e o vento eram responsáveis pela dispersão de *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*, causadora da mancha angular do algodoeiro no sul dos Estados Unidos (FITT; McCARTNEY; WALKLATE, 1989).

Na bibliografia disponível encontram-se muitos resultados evidenciando a importância da chuva e do vento na ocorrência de epidemias bacterianas em culturas agrícolas. Porém, em termos gerais, pouco se tem avançado no sentido de definir, por meio de valores quantitativos, de que forma as condições meteorológicas afetam o progresso dessas doenças.

Dos três anos consecutivos de experimentos realizados para a execução deste estudo, dois apresentaram ocorrência satisfatória da mancha angular para geração das curvas de progresso da doença. Os maiores coeficientes de correlação foram encontrados nos períodos de 5 dias antes do período de crescimento considerado. As análises de correlação e regressão realizadas entre a taxa de crescimento da doença e as variáveis meteorológicas registradas não apresentaram ajustes consistentes para a maioria dos fatores testados. A Tabela 7 resume, em termos de coeficientes de correlação, a grande variabilidade encontrada nos resultados. Se, no experimento de um ano, identificou-se boa correlação com umas das variáveis analisadas, o mesmo não se repetiu no ano seguinte ou vice versa. A umidade relativa, por exemplo, apresentou correlação negativa em 2004 e positiva em 2005. Velocidade média do vento, considerada aqui como possível fator de dispersão, apresentou elevada correlação em 2004, mas muito baixa em 2005.

Esporos e bactérias de várias espécies patogênicas produzem uma matriz gelatinosa que os protege contra dessecação e perda de viabilidade durante condições secas. Esta mucilagem, composta de proteínas e açúcares absorve água e se dilui quando a umidade relativa do ar permanece muito alta, principalmente quando há molhamento (HUANG, 1986; FITT; McCARTNEY; WALKLATE, 1989). Assim, a dissolução da matriz que envolve as células bacterianas permite a liberação dessas estruturas da superfície da lesão.

As células suspensas no molhamento podem ter acesso a aberturas naturais e, ou, ferimentos, por onde iniciam novas infecções. A remoção de células bacterianas da superfície foliar pela chuva ou irrigação por aspersão é muito eficiente e, em geral, é responsável pela dispersão local do inóculo (HIRANO; UPPER, 1990). Muitas das células removidas são transportadas para o solo, e somente uma pequena porção é depositada na própria planta ou em plantas situadas próximas da fonte. Porém, ao contrário do esperado para a mancha angular, nos experimentos realizados os dados de molhamento apresentaram correlação negativa com o crescimento da doença em ambos os experimentos. Além disso, a radiação solar apresentou correlação positiva em ambos os anos.

Tabela 7 – Coeficientes de correlação entre a taxa de crescimento da mancha angular e as variáveis meteorológicas estudadas, acumuladas no mesmo período (n) e em períodos anteriores (n-1 a n-8)

Variável meteorológica	Ano	Período testado									
		n	n-1	n-2	n-3	n-4	n-5	n-6	n-7	n-8	n-9
Temperatura média	2004	-0,20	-0,26	0,24	0,24	0,14	-0,15	-0,26	<b>-0,28</b>	-0,02	0,26
	2005	0,12	0,02	-0,15	-0,16	-0,23	-0,29	-0,44	-0,54	<b>-0,65</b>	-0,58
Temperatura mínima	2004	0,23	0,16	-0,08	-0,53	-0,76	<b>-0,79</b>	-0,66	-0,52	-0,36	0,02
	2005	-0,27	-0,32	-0,41	-0,38	-0,49	-0,62	<b>-0,87</b>	-0,85	-0,70	-0,40
Temperatura máxima	2004	0,15	0,07	0,07	<b>0,32</b>	0,24	0,28	0,04	-0,05	0,09	0,29
	2005	0,16	0,14	-0,03	-0,15	-0,19	-0,23	-0,30	-0,40	-0,55	<b>-0,69</b>
Umidade relativa	2004	-0,09	-0,17	-0,32	-0,51	-0,58	<b>-0,68</b>	-0,64	-0,50	-0,38	-0,24
	2005	-0,28	-0,25	-0,16	0,02	0,29	0,37	0,32	0,30	0,52	<b>0,68</b>
Molhamento	2004	0,12	0,00	-0,16	-0,47	-0,62	<b>-0,83</b>	-0,83	-0,75	-0,59	-0,52
	2005	-0,41	-0,48	-0,66	-0,72	<b>-0,88</b>	-0,81	-0,52	-0,29	-0,26	-0,16
Temperatura média durante o molhamento	2004	0,18	0,14	-0,04	-0,30	-0,73	<b>-0,82</b>	-0,77	-0,72	-0,54	-0,27
	2005	-0,30	-0,37	-0,43	-0,40	-0,48	-0,58	<b>-0,92</b>	-0,82	-0,62	-0,58
Radiação global	2004	0,12	0,16	0,18	0,16	0,33	0,56	<b>0,62</b>	0,56	0,41	0,29
	2005	0,72	0,80	0,85	0,88	0,90	<b>0,94</b>	0,88	0,82	0,75	0,73
Vento médio	2004	-0,16	-0,06	0,09	0,44	0,81	<b>0,93</b>	0,89	0,86	0,75	0,58
	2005	-0,26	-0,24	-0,23	-0,12	0,05	0,19	0,31	0,45	0,59	<b>0,69</b>
Chuva total	2004	0,08	0,05	-0,20	-0,30	-0,35	-0,55	-0,63	<b>-0,72</b>	-0,62	-0,53
	2005	-0,39	-0,41	-0,41	<b>-0,43</b>	-0,42	-0,32	-0,31	-0,36	0,08	0,07
Vento máximo	2004	-0,20	-0,18	-0,04	0,16	0,43	0,64	<b>0,94</b>	0,92	0,83	0,75
	2005	-0,06	0,03	0,07	0,59	0,64	<b>0,73</b>	0,61	0,72	0,63	0,51
Chuva máxima	2004	-0,35	-0,40	-0,43	-0,60	<b>-0,72</b>	-0,57	-0,57	-0,62	-0,61	-0,44
	2005	-0,44	-0,46	-0,46	<b>-0,47</b>	-0,44	-0,34	-0,31	-0,34	0,17	0,15
IF-tm	2004	0,10	-0,18	-0,72	-0,82	<b>-0,90</b>	-0,85	-0,81	-0,66	-0,48	0,10
	2005	0,23	0,21	0,13	0,06	0,03	0,01	0,05	0,05	0,05	<b>0,23</b>

Além das variáveis meteorológicas que afetam o processo de infecção em si, são importantes as que atuam na dispersão do inóculo para outras folhas ou plantas sadias. A dispersão de bactérias pode ocorrer a maiores distâncias, apesar de, na maioria das vezes, o desenvolvimento de sintomas somente ocorrer próximo à fonte.

Por exemplo, no patossistema *X. axonopodis* pv. *oryzae* x arroz, recuperaram-se bactérias a 64m da fonte de inóculo, mas sintomas só foram observados num raio de 4m da fonte (GOTO, 1992). Esta tendência provavelmente ocorre devido a uma concentração limiar de



inóculo para início da infecção, que está associada à sobrevivência por tempo suficiente para concluir a infecção (McGUIRE; JONES; SCOTT, 1991). Assim, quanto mais favorável o ambiente, menor pode ser a concentração de inóculo, pois maior a sobrevivência média. Outra característica importante é a quantidade de penetração no hospedeiro, o que depende do número de entradas disponíveis (BEATTIE; LINDOW, 1995). A quantidade de entradas naturais é influenciada pelo genótipo do hospedeiro, idade da folha, e posição na superfície foliar. Uma alta frequência de estômatos ou uma ampla abertura estomática tem sido correlacionada com o grau de suscetibilidade do hospedeiro (RAMOS; VOLIN, 1987).

Uma forma bastante eficiente de interpretação dos resultados é pela análise visual, quando se avalia a dispersão dos dados em gráficos de taxa de crescimento da doença em função das variáveis testadas. Neste caso, pode-se facilmente identificar padrões que, mesmo com baixo valor de correlação, podem apresentar elevado coeficiente de determinação em um modelo não linear, o que é crucial para o entendimento da favorabilidade meteorológica no crescimento de doenças de plantas, a exemplo dos resultados obtidos de crescimento da ramulose em relação à chuva e ao IF<sub>tm</sub>.

Na Figura 38 são apresentadas os gráficos de dispersão apenas das variáveis testadas que apresentaram correlações mais consistentes com a taxa de crescimento da mancha angular no algodoeiro: temperatura mínima, vento máximo e temperatura durante o período de molhamento.

A velocidade máxima do vento foi a variável que apresentou os melhores coeficientes de determinação, tanto em 2004 como em 2005. Segundo Pohronezny et al. (1992), ferimentos também são importantes sítios de entrada para patógenos foliares, uma vez que folhas lesionadas apresentam maior incidência e/ou severidade de doenças do que folhas sem lesões. Ferimentos comuns incluem abrasão epidérmica causada pelo impacto de areia ou tricomas quebrados causados pelo atrito entre as folhas, cuja ocorrência depende basicamente das condições meteorológicas. Por exemplo, o aumento das taxas de infecção e agravamento de doenças subsequente a chuvas e ventos pode ser o resultado, pelo menos em parte, de: (a) aumento do número de sítios de entrada provocados por ferimentos, (b) maior acesso a esses sítios devido ao molhamento, e (c) maior penetração nesses sítios devido à infiltração de água com inóculo (BEATTIE; LINDOW, 1995).

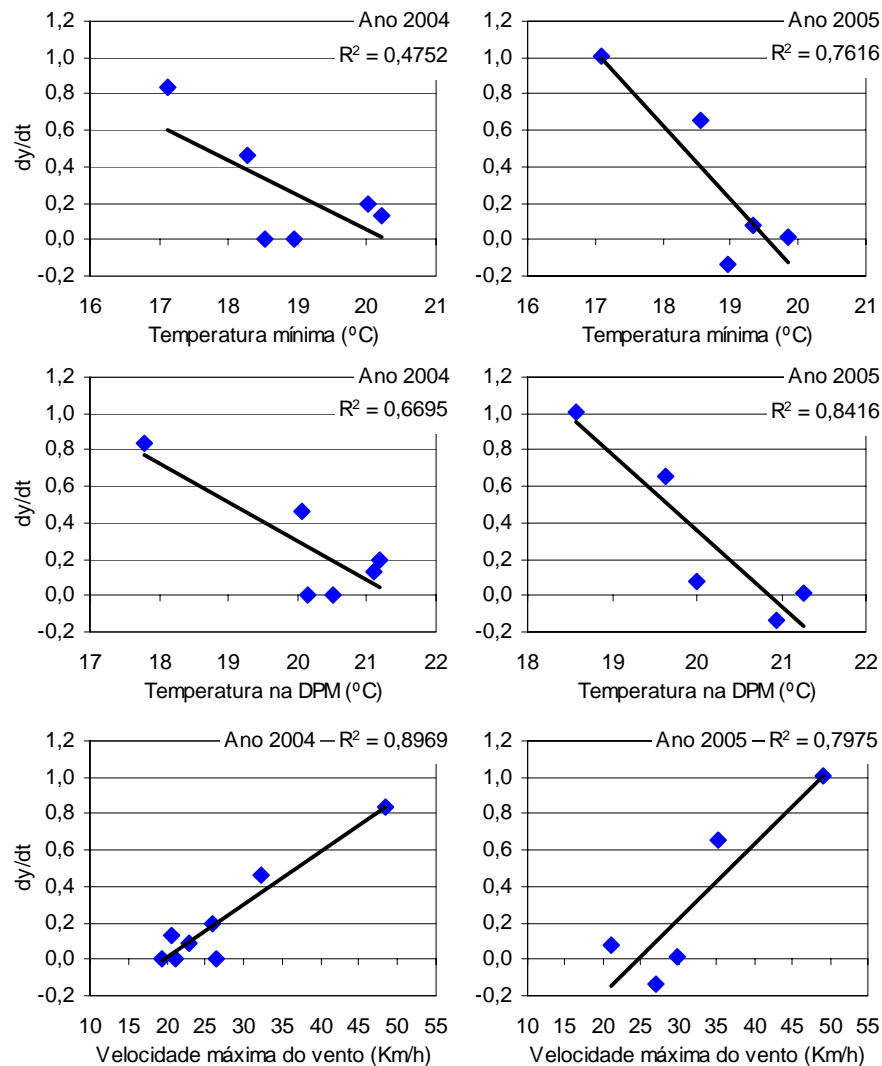


Figura 38 – Relação entre a taxa de crescimento da mancha angular em algodoeiro em função da temperatura mínima média, da temperatura média durante o período de molhamento e da velocidade máxima do vento, utilizando-se os dados dos experimentos de 2003/04 e 2004/05, em Piracicaba, SP

A temperatura mínima média e a temperatura média durante o período de molhamento apresentaram boa correlação com o crescimento da doença. É difícil de se isolar o efeito dessas duas variáveis uma vez que o molhamento normalmente ocorre nas horas mais frias do dia. Além disso, como se observa na Figura 38, quanto menor a temperatura durante o período de molhamento, maior a taxa de crescimento. Segundo Stoughton (1971) e Hillocks (1992), a ocorrência de temperaturas amenas durante a noite (17 a 20°C) é fator importante para a ocorrência da mancha angular no algodoeiro.

Embora tenha se verificado que o vento atuou positivamente para o crescimento da mancha angular, o mesmo não se pode afirmar para chuva, já que esta, assim como o molhamento, apresentou correlação negativa com o crescimento da doença (Tabela 7), apesar de diversos estudos anteriores ressaltarem a importância desta variável no processo de disseminação de doenças bacterianas.

Segundo Swings e Civerolo (1993), se as condições meteorológicas forem propícias e os agentes de disseminação eficazes, em curto espaço de tempo toda a cultura estará infectada e, no caso da mancha angular que apresenta epidemia considerada explosiva, isso acontece freqüentemente. De fato, epidemias explosivas de mancha angular em culturas de algodão têm ocorrido isoladamente nas principais regiões produtoras brasileiras. Ao que parece, essas ocorrências extremas devem estar relacionadas a condições muito específicas ou a uma seqüência de fatores que ainda não foi esclarecida.

Esta alta variabilidade dos resultados pode ser explicada principalmente por dois aspectos. Em primeiro lugar, os níveis muito baixos de severidade da doença, como ocorreram nos dois anos de experimento, são, proporcionalmente, muito mais afetados pelos erros de avaliação do que severidades maiores. Em segundo lugar, a própria variabilidade biológica do patógeno, o que foi observado não só no campo e nas câmaras de crescimento, mas também em trabalhos anteriores envolvendo doenças bacterianas. Por exemplo, Carmo (1995), estudando a epidemiologia de *X. axonopodis* pv. *vesicatoria* em pimentão, encontrou poucas correlações significativas dos índices de doença com temperatura mínima, média, máxima, umidade relativa média e número de horas com umidade superior a 90%. Quanto à precipitação, os resultados também foram variáveis, com correlação negativa em dois anos e positiva em outro, sendo impossível identificar com segurança as relações de causa e efeito do desenvolvimento dessa doença bacteriana com as condições meteorológicas naquele estudo.

## 5 CONCLUSÕES

Das hipóteses iniciais que motivaram o desenvolvimento deste trabalho e dos resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

1. Em relação ao efeito da temperatura e do período de molhamento na ramulose:

- Os períodos de incubação da ramulose foram afetados pela temperatura e muito pouco pelo molhamento, sendo mais curtos quanto maior a temperatura.
- O período mínimo de molhamento necessário para que a infecção de ramulose ocorra diminui com o aumento da temperatura, sendo de 4 horas para temperaturas iguais ou maiores que 25°C, 8 h a 20°C e 17 h a 15°C. A intensidade aumenta com a duração do molhamento, de 0 a 34 h.
- A máxima densidade relativa de lesões de ramulose estimada pelo modelo ocorreu a 26°C e 34 h de molhamento, considerados com condições ótimas para a infecção). As temperaturas mínima e máxima foram 12 e 38°C, respectivamente.

2. Em relação ao efeito da temperatura e do período de molhamento na mancha angular:

- Os períodos de incubação da mancha angular foram muito afetados pela temperatura e pouco pelo molhamento, sendo mais curtos quanto maior a temperatura.
- O período mínimo de molhamento necessário para a ocorrência de infecção de mancha angular foi muito pequeno, inferior a 0,5 h no intervalo de 20 a 30°C e menor que 1 h a 15°C. A severidade aumenta com a duração do molhamento, de 0 a 24 horas.
- A máxima severidade de mancha angular estimada pelo modelo ocorreu a 22°C e 24 h de molhamento, condições consideradas ótimas para a infecção). As temperaturas mínima e máxima foram 13 e 35°C, respectivamente.

3. Em relação ao ajuste dos modelos:

- O método da “substituição de parâmetros” se mostrou viável para o ajuste de superfícies de resposta de intensidade de ramulose e mancha angular em função da temperatura e do molhamento.

- O modelo de superfície de resposta expo logarítmico descrito pela função

$Y = a \times e^{\left\{-0,5 \left[ \frac{\ln(DPM / b)}{c} \right]^2 \right\}}$ , descreve a severidade (Y) em função da duração do período de molhamento (DPM) e da temperatura através de seus parâmetros (a, b, c).

4. Em relação às variáveis meteorológicas no campo e a taxa de crescimento das doenças:

- A taxa de crescimento da ramulose foi melhor correlacionada ao índice de favorabilidade para temperatura e molhamento (IFtm) desenvolvido em condições controladas e, principalmente, à chuva. Razoável correlação foi obtida com duração do período de molhamento. Baixas correlações foram obtidas com radiação solar, velocidade média e máxima do vento, umidade relativa, temperatura máxima, mínima e média do ar.

- A taxa de crescimento da mancha angular foi melhor correlacionada à temperatura média durante o período de molhamento e, principalmente, à velocidade máxima do vento. Razoável correlação foi obtida com temperatura mínima. Baixas correlações foram obtidas com chuva, radiação solar, velocidade média do vento, temperatura máxima e média do ar.

5. Em relação aos modelos de favorabilidade:

- O modelo de índice de favorabilidade de temperatura e molhamento da ramulose apresentou boa correlação com a taxa de crescimento desta doença no campo, porém, com resultados discrepantes em períodos com condições específicas de precipitação muito baixa ou muito alta.

- O modelo ajustado para taxa de crescimento da ramulose no campo em função de precipitação acumulada apresentou alta exatidão ( $b=0,96$ ) e precisão ( $R^2=0,91$ ), sem dados discrepantes.

- O modelo de índice de favorabilidade de temperatura e molhamento da mancha angular desenvolvido em condições controladas não apresentou correlação com as taxas de crescimento da doença no campo.

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, J. Controle da ramulose tardia do algodoeiro. **O Biológico**, São Paulo, v. 27, n. 6, p. 121-123, 1961.

AGRIOS, G.N. Environmental effects on disease development. In: AGRIOS, G.N. (Ed.) **Plant pathology**. New York: Academic Press, 1997. p. 143-172.

ALDERMAN, S.C.; BEUTE, M.K. Influence, of temperature and moisture on germination and germ tube elongation of *Cercospora arachidicola*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 76, p. 715-719, 1986.

ALLEN, S.J.; BROWN, J.F.; KOCHMAN, J.K. Effect of temperature, dew period, and light on the growth and development of *Alternaria helianthi*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 73, p. 793-796, 1982.

AMORIM, L. Avaliação de doenças. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 646-690.

AMORIN, L.; BERGER, R.D.; BERGAMIN FILHO, A.; HAU, B.; WEBER, G.E.; BACCHI, L.M.A.; VALE, F.X.R.; SILVA, M.B. A simulation model to describe epidemics of rust of *phaseolus* beans II. Validation. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 85, p.722-727, 1995.

ARAGNO, M. Responses of microorganisms to temperature. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H. **Physiological plant ecology: responses to the physical environment**. New York: Heidelberg, 1981. p. 339-369.

BARRETO, M.; VALE, F.X.R.; PAUL, P.A.; SCALOPPI, E.A.G.; ANDRADE, D.A. Sistemas de previsão e estações de aviso. In: VALE, F.X.R. JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIN, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de plantas**. Belo Horizonte: Editora Perfil, 2004. p. 242-270.

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

BEATTIE, G.A.; LINDOW, S.E. The secret life of foliar bacterial pathogens on leaves. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 33, p. 175-172, 1995.

BEDENDO, I.P. Ambiente e doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIN, A. **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 331-341.

BERGAMIN FILHO, A. Curvas de progresso da doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Ceres, 1995. v.1: Princípios e conceitos, p. 602-626.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Sistemas de previsão e avisos. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATIA, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Ceres, 1995. v.1: Princípios e conceitos, p. 627-646.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1996. 289 p.

BERGER, R.D.; HAU, B.; WEBER, G.E.; BACCHI, L.M.A.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. A simulation model to describe epidemics of rust of Phaseolus beans. I. Development of the model and sensitivity analysis. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 85, p. 715-721, 1995.

BLASINGAME, D. Disease loss estimate committee report. In: BELTWIDE COTTON PRODUCTION RESEARCH CONFERENCE. 1990, Memphis. **Proceedings...** Memphis: National Cotton Council, 1990. p. 4.

BUTLER, D.R.; WADIA, K.D.R.; JADHAV, D.R. Effects of leaf wetness and temperature on late leaf-spot infection on groundnut. **Plant Pathology**, Reading, v. 43, p. 112-120, 1994.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley, 1990. 531 p.

CARNEIRO, L.C. **Influência da temperatura e do molhamento foliar no monociclo do “mal-de-sete-voltas” da cebola e transporte de *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *cepae* pela semente**. 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

CARVALHO, L.P.; CARVALHO, J.M.F.C.; LIMA, E.F.; CAVALCANTE, F.B. Influência da concentração de esporos na patogenicidade de *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides* A.S. Costa e avaliação da resistência de cultivares e linhagens de algodoeiro herbáceo à ramulose. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 6, p. 395-402, 1981.

CASTOR, L.L.; AYRES, J.E.; NELSON, R.R. Controlled environment studies of epidemiology of yellow leaf blight of corn. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, p. 85-90, 1977.

CHAKRABORTY, S.; BILLARD, L. Quantitative relationships between *Colletotrichum gloeosporioides* infection of *Stylosanthes scabra* and weather under field conditions. **Plant Pathology**, Reading, v. 44, p. 63-72, 1995.

CHIAVEGATO, E.J. **Efeito do ambiente e de cultivares nos componentes da produção e nas características tecnológicas da fibra e do fio de algodão**. 1995. 115 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

CHIAVEGATO, E.J. Importância potencial de doenças do algodoeiro nas regiões produtoras do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2001, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Embrapa Algodão, 2001. p. 215-218

- CHRISTIANO, R.S.C. **Componentes monocíclicos do Cancro Cítrico no sistema *Xanthomonas axonopodis* pv. citri-Limão Tahiti-Phyllocnistis citrella, sob condições controladas**. 2003. 104 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- CIA, E.; FUZATTO, M.G. Manejo de doenças na cultura do algodão. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. (Ed.) **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba:Potafos, 1999. p. 121-131.
- CIA, E.; SALGADO, C.L. Doenças do algodoeiro (*Gossypium spp.*). In: BERGAMIM FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v.2: Doenças das plantas cultivadas, p. 331-341.
- CIA, E.; GRIDI-PAPP, I.L.; CHIAVEGATO, E.J.; SABINO, N.P.; KONDO, J.I.; PIZZINATO, M.A.; BORTOLETTO, N.; CARVALHO, L.H. Melhoramento do algodoeiro no Estado de São Paulo: Obtenção da Cultivar IAC 21. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 9-17, 2001.
- CIA, E.; FUZATTO, M.G.; GRIDI-PAPP, I.L.; SOAVE, J. Avaliação da intensidade da ramulose do algodoeiro através de inoculação artificial. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 2., 1982, Salvador. **Resumos...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 1982. p. 241.
- COAKLEY, S.M. Variation in climate and prediction of disease in plants. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 26, p. 163-181, 1998.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 14 nov. 2006.
- COSTA, A.S. **Investigações sobre a ramulose**. Campinas: Instituto Agronômico, 1941. 42 p. (Relatório da Seção de Algodão).
- DALLA PRIA, M. **Quantificação de parâmetros monocíclicos da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e da mancha angular (*Phaesariopsis griseola*) do feijoeiro**. 1997. 82 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 96, n. 7, p. 797-803, 2006.
- DELANNOY, E.; LYON, B.R.; MARMEY, P. JALLOUL, A.; DANIEL, J.F.; MONTILLET, J.L.; ESSEMBERG, M.; NICOLE, M. Resistance of cotton towards *Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum*. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 43, p. 63-82, 2005.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H.; BENTVELSEN, C.L.M.; BRANSCHIED, V.; PLUSJÉ, J.M.G.A.; SMITH, M.; UITTENBOAGAARD, G.O.; VAN DER VAL, H.K. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (FAO. Riego y Drenaje, 33).
- DRUMMOND, O.A. A ramulose em Minas Gerais. **Boletim da Agricultura**, Belo Horizonte, v. 10, n. 3, p. 95-97, 1961.



EL-NUR, E. Bacterial blight of cotton. In: SIDDING, M.A.; HUGHES, L. (Ed.). **Cotton growth in the Gezira environment**. Gezira: Sudan Agricultural Research Corporation, 1970. p. 179-188.

EVANS, K.J.; NYQUIST, W.E.; LATIN, R.X. A model based on temperature and leaf wetness duration for establishment of *Alternaria* leaf blight of muskmelon. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 82, n. 83, p. 890-895, 1992.

FITT, B.D.L.; McCARTNEY, H.A.; WALKLATE, P.J. The role of rain in dispersal of pathogen inoculum. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 27, p. 241-270, 1989.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. Algodão. Programas incentivam a cotonicultura no Mato Grosso e Bahia. In: \_\_\_\_\_. **Agriannual 2002**: anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo. 2002. p. 141-154.

FREIRE, E.C. Cultivares, épocas de plantio e doenças do algodoeiro em Mato Grosso. In: SEMINÁRIO ESTADUAL COM A CULTURA DO ALGODÃO EM MATO GROSSO 3., 1996, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: EMPAER-MT, 1996. p. ???-???

GASPAROTTO, L. **Epidemiologia do mal da folhas (*Microcylus ulei* (P. Henn) v. Arx) da seringueira (*Hevea spp.*)**. 1988. 124 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

GILLESPIE, T. J.; KIDD, G. E. Sensing duration of leaf moisture retention using electrical impedance grids. **Canadian Journal of Plant Science**, Truro, v. 58, p. 179-187, 1978.

GODOY, C.V. **Influência de variáveis climáticas no desenvolvimento da ferrugem polysora na cultura do milho**. 2000. 79 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

GOODMAN, R.N. **Phytopathogenic prokaryotes**. New York: Academic Press, 1982. 415 p.

GOTO, M. **Fundamentals of bacterial plant pathology**. San Diego: Academic Press, 1992. 342 p.

GOULART, A.C.P. Tratamento de sementes do algodoeiro com fungicidas. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados, 2001. p. 140-158.

GRIFFITHS, E.; AO, H.C. Effects of humidity and cirrus extract on survival of *Septoria nodorum* spores. **Transactions of the British Mycological Society**, Exeter, v. 75, p. 147-150,

GROVE, G.G.; MADDEN, L.V.; ELLIS, M.A. SCHMITTHERNNER, A.F. Influence of temperature and wetness duration of infection of immature strawberry fruit by *Phytophthora cactorum*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 75, p. 165-166, 1985.

HAU, B. Modeling epidemics of polycyclic foliar diseases and development of simulators In: KRANZ J.; ROTEM, J. (Ed.). **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1988. p. 267-278.

- HAU, B.; KRANZ, J. Mathematics and statistics for analyses in epidemiology. In: KRANZ, J. (Ed.). **Epidemics of plant disease: mathematical analyses and modeling**. 2<sup>nd</sup> ed. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p. 12-52.
- HILLOCKS, R. J. **Cotton diseases**. Wallingford: CAB International, 1992. 415 p.
- HIRANO, S.S.; UPPER, C.D. Population biology and epidemiology of *Pseudomonas syringae*. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 28, p. 155-177, 1990.
- HOLLIER, C.A.; KING, S.B. Effect of dew period and temperature on infection of seedling maize plants by *Puccinia polysora*. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 69, p. 219-220, 1985.
- HUBER, L.; GILLESPIE, T.J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 30, p. 553-577, 1992.
- IGGS, A.R.; NORTHOVER, J. Influence of temperature and wetness duration on infection of peach and sweet cherry fruits by *Monilinia Fructicola*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, p. 1352-1356, 1988.
- IMHOFF, M.W.; LEONARD, K.J.; MAIN, C.E. Analysis of disease progress curves, gradients and incidence severity relationships for field and phytotron bean rust epidemics. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 72, p. 72-80, 1982.
- JACOME, L.H.; SCHUH, W. Effects of leaf wetness duration and temperature on development of Black Sigatoka disease on banana infected by *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 82, n. 5, p. 515-520, 1992.
- KIMATI, H. Doenças do algodoeiro – *Gossypium spp.* In: GALLI, F.(Coord.). **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Ceres, 1980. v. 2, p. 29-48.
- KLEMENT, Z.; RUDOLPH, K.; SANDS, D.C. (Ed.). **Methods in phytobacteriology**. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1990. 568 p.
- KRANZ, J.; HAU, B. Systems analysis in epidemiology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 18, p. 67-83, 1980.
- KUMAR, A.; SATYAVIR; NIWAS, R. Prediction of red rot *Colletotrichum falcatum* incidence in sugarcane under field conditions using climatic variables. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PHYTOPATHOLOGY, 7., 1998, Edinburgh. **Abstracts...** Edinburgh: Academic Press, 1998. p. 333-335
- LANCELETTE, N.; ELLIS, M.A.; MADDEN, L.V. Development of an infection efficiency model for *Plasmopara viticola* on american grape based on temperature and duration of leaf wetness. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, p. 794-800, 1988.

- LEITE, R.M.V.B.C. **Influência da temperatura e da duração do período de molhamento foliar no monociclo da mancha de alternaria em girassol**. 2002. 78 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- LOPES, D.B.; BERGER, R.D.; BERGAMIN FILHO, A. Absorção da área foliar sadia (HAA): uma nova abordagem para a quantificação de dano e para o manejo integrado de doença. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 20, p.143-151, 1994.
- MASSEY, R.E. Studies on blackarm disease of cotton. 2. **Empire Cotton Growing Review**, London, v. 8, p. 187-213, 1931.
- McGUIRE, R.G.; JONES, J.B.; SCOTT, J.W. Epiphytic populations of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* on tomato cultigens resistant and susceptible to bacterial spot. **Plant Disease**, Sant Paul, v. 75, p. 606-609, 1991.
- McRAE, C.F.; AULD, B.A. The influence of environmental factors on anthracnose of *Xanthium spinosum*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, p. 1182-1186, 1988.
- MENDES, B.M.J. **Influência de parâmetros de clima e do hospedeiro no desenvolvimento da ferrugem do feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica* Arth.)**. 1987. 102 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.
- METHA, Y.R.; BOMFETI, C.; BOLOGNINI, V. A semi-selective Agar medium do detect the presence of *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* in naturally infected cotton seed. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 489-496, set./out. 2005.
- MONROE, J.S.; SANTINI, J.B.; LATIN, R. A model defining the relationship between temperature and leaf wetness duration, and infection of watermelon by *Colletotrichum orbiculare*. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 81, n. 7, p. 739-742, 1997.
- MONTEIRO, J.E.B.A. **Microclima e ocorrência de ramulose no algodoeiro em diferentes densidades populacionais**. 2002. 99 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS, P.C.; CHIAVEGATO, E.J. Microclima da cultura do algodoeiro em três densidades populacionais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 257-264, 2004.
- MONTESINOS, E.; MORAGREGA, C.; LLORENTE, I.; VILARDELL, P.; BONATERRA, A.; PONTI, I.; BUGIANI, R.; CAVANNI, P.; BRUNELLI, A. Development and evaluation of an infection model for *Stemphylium vesicarium* on pear based on temperature and wetness duration. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 85, p. 586-592, 1995.
- PAIVA, F.A.; ASMUS, G.L.; ARAÚJO, A.E. Doenças In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados, 2001. p. 245-272.

- PEDRO JR., M.J. Aspectos microclimáticos e epidemiologia. In: CURSO PRÁTICO INTERNACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA PARA A OTIMIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO, 3, 1989. Resumos... Campinas: Instituto Agronômico, 1989. p. ???-???.
- PEDRO JR.; M.J.; PEZZOPANE, J.E.M.; ALFONSI, R.R.; MARTINS, F:P. Duração do período de molhamento em videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: UFV; SBA, 1991. p. 151-153.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R; SENTELHAS, P.C **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- POHRONEZNY, K.; HEWITT, M.; INFANTE, J.; DATNOFF, L. Wind and wind generated sand injury as factors in infection of pepper by *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 76, p. 1036-1039, 1992.
- POLITOWSKI, K.; BROWNING, J.A. Effect of temperature light and dew duration on relative numbers of infection structures of *Puccinia coronata avenae*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 65, p. 1400-1404, 1975.
- RAMOS, L.J.; VOLIN, R.B. Role of stomatal opening and frequency on infection of *Lycopersicum* spp. by *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 77, p. 1311-1317, 1987.
- RIBEIRO, J.S.F.; NOGUEIRA, R.F.; RIBEIRO, J.F.; BARROS, R.; STÁBILLE, R.C.; OLIVEIRA, M.A.; DEGRANDE, P.E.; BACCHI, L.M.A. Comparação de escalas de notas para quantificação de doenças do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., 2001, Campo Grande. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2001. p. 537-539
- ROTEM, J. Climatic and weather influences on epidemics. In: HORSFAL, J.G.; COWLING, E.B. (Ed.). **Plant disease: an advanced treatise.** New York: Academic Press, 1978. v. 2, p. 317-334.
- ROTEM, J. Techniques of controlled condition experiments. In: KRANZ J.; ROTEM J. (Ed.). **Experimental techniques on plant disease epidemiology.** Berlin: Springer-Verlag, 1988. p. 279-289.
- ROTEM, J.; PALTÍ, J. Irrigation and plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 7, p. 267-288, 1969.
- ROYLE, D.J.; BUTLER, D.R. Epidemiological significance of liquid water in crop canopies and its role in disease forecasting. In: AYRES, P.G.; BODDY, L. (Ed.). **Water, fungi and plants.** Cambridge: Cambridge University Press, 1986. p. 139-156.
- SAH, D.N. Effects of leaf wetness duration and inoculum level on resistance of wheat genotypes to *Pyrenophora tritici-repentis*. **Journal of Phytopathology**, St. Paul, v. 142, p. 324-330, 1994.

SANTOS, G.R. **Progresso da ramulose do algodoeiro e transmissão de *Colletotrichum gossypii* South. var. *cephalosporioides* Costa pelas sementes.** 1993. 53 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

SCHNATHORST, W.C.; HALISKY, P.M.; MARTIN, R.D. History, distribution, races and disease cycle of *Xanthomonas malvacearum* in California. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 44, p. 603-608. 1960.

SENTELHAS, P.C. **Ocorrência de helmintosporiose (*Helminthosporium sativum*) e de oídio (*Erysiphe graminis*) na cultura do trigo (*Triticum aestivum*, L.) sob diferentes condições microclimáticas.** 1992. 103 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J.E.B.A.; GILLESPIE, T.J. Electronic leaf wetness duration sensor: why it should be painted. **International Journal of Biometeorology**, Berlin, v. 48, p. 202-205, 2004.

SIQUERI, F.V. Controle químico da mancha angular (*Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*) do algodoeiro. In: FUNDAÇÃO MT; EMBRAPA MATO GROSSO. **Liderança e competitividade.** Rondonópolis: Fundação MT; EMBRAPA, 2005. p. 100-112. (Boletim, 3).

STOUGHTON, R.H. The influence of environmental conditions on the development of the angular leaf spot disease of cotton. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 69, p. 590-611, 1971.

SUTTON, J.C. Predictive value of weather variables in the epidemiology and management of foliar diseases. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 13, p. 305-312, 1988.

SUTTON, J.C.; GILLESPIE, T.J.; HILDEBRAND, P.D. Monitoring weather factors in relation to plant disease. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 68, n. 1, p. 78-84, 1984.

TANAKA, M.A.S. **Patogenicidade e transmissão por sementes do agente causal da ramulose do algodoeiro.** 1990. ??? p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

TEIXEIRA, H. ***Colletotrichum gossypii* South. em sementes de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.): Transmissibilidade e controle.** 1995. 74 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1995.

THOMPSON, D.C.; JENKINS, S.F. Effect of temperature, moisture, and cucumber cultivar resistance on lesion size increase and conidial production by *Colletotrichum lagenarium*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 75, p. 828-832, 1985.

TIMMER, L.W.; ZITKO, S.E. Forecasting outbreaks of post bloom fruit drop of citrus caused by *Colletotrichum acutatum*. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 7., 1998, Edinburgh. **Abstracts...** Edinburg: Academic Press, 1998. p. 97-99.

TORMELIN, J.R.; JONES, A.L. Effect of temperature and relative humidity on the latent period of *Venturia inaequalis* in apple leaves. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 73, p. 51-54, 1983.

TORMELIN, J.R.; EVERSMEYER, M.G.; KRAMER, C.L.; BROWDER, L.E. Environmental and host effects on latent and infections periods and on urediniospore production of *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 73, p. 414-419, 1983.

VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L. Influência da temperatura e da umidade nas epidemias de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, RS, v.4, p.149-207, 1996.

VALE, F.X.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; LIBERATO, J.R.; ZAMBOLIM, L. Quant-A software to quantify plant disease severity. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PLANT DISEASE EPIDEMIOLOGY, 8., 2001, Ouro Preto. **Proceedings...** Ouro Preto: International Society of Plant Pathology, 2001. p. 160.

VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, L.C.; LIBERATO, J.R.; DIAS, A.P.S. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de plantas**. Belo Horizonte: Editora Perfil, 2004. p.48-87

VERMA, J.P. **Bacterial blight of cotton**. Boca Raton: CRC Press, 1986. 176 p.

VERMA, J.P.; SINGH, R.P. Epidemiology and control of bacterial blight of cotton. **Proceedings of the Indian National Science Academy**, New Delhi, v. 74, p. 326-331, 1971.

WALLER, J.M. *Colletotrichum* diseases of perennial and other cash crops. In: BARLEY, J.A.; JEGER, M.J. (Ed.). **Colletotrichum: biology, pathology and control**. London: CAB International, 1992. chap. 8, p. 167-185.

WATKINS, G.M. (Ed.). **Compendium of cotton diseases**. St. Paul: APS, 1981. 87 p.

ZADOKS, J.C.; SCHEIN, R.D. **Epidemiology and plant disease management**. Oxford: Oxford University Press, 1979. 427 p.

ZADONÁ, C.; METHA, Y.R.; SCHUSTER, I.; ALVES, P.F.R.; BOMFETI, C.A.; VIVANCO, K.R.P.; SILVA, R.B.; LOPES L.P. Mecanismo genético da resistência com três cultivares de algodoeiro a *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum*. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 30, n. 6, p. 647-649, nov./dez. 2005.

ZAHLER, P.M. Agrotóxicos nos alimentos. **Jornal de Brasília**, Suplemento do Campo, Brasília, n. 92, p. 6, 1989.

ZAHLER, P.M.; MOTA, F.S.; AGENDES, M.O.O. **Previsão agrometeorológica no controle de doenças e pragas**. Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1991. 54 p.