

**JEFFERSON FERNANDES DO NASCIMENTO**

**EPIDEMIOLOGIA E DANO CAUSADO PELA FERRUGEM ASIÁTICA  
(*Phakopsora pachyrhizi*) DA SOJA (*Glycine max.*)**

**MARINGÁ  
PARANÁ – BRASIL  
SETEMBRO – 2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**JEFFERSON FERNANDES DO NASCIMENTO**

**EPIDEMIOLOGIA E DANO CAUSADO PELA FERRUGEM ASIÁTICA  
(*Phakopsora pachyrhizi*) DA SOJA (*Glycine max.*)**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal para obtenção do título de Doutor.

**MARINGÁ  
PARANÁ – BRASIL  
SETEMBRO – 2008**

**JEFFERSON FERNANDES DO NASCIMENTO**

**EPIDEMIOLOGIA E DANO CAUSADO PELA FERRUGEM ASIÁTICA  
(*Phakopsora pachyrhizi*) DA SOJA (*Glycine max.*)**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 12 de setembro de 2008

---

Prof. Laércio Zambolim  
(UFV)

---

Prof. Dauri José Tessmann  
(UEM)

---

Prof. William Mário de Carvalho Nunes  
(UEM)

---

Prof. Wilson Story Venâncio  
(UEPG)

---

Prof. João Batista Vida  
Orientador (UEM)

Aos meus pais, Rosália e José pelo amor incondicional.

Aos meus irmãos, Francisco, Roberto, Rodolfo, Sebastião e Mônica.

Aos meus sobrinhos e sobrinhas.

Aos meus familiares e amigos.

**OFEREÇO**

À minha esposa Ozanir pelo amor, companheirismo e cumplicidade em todos os momentos de mais esta etapa vencida.

À minha filha Yasmin com muito amor

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Eternamente agradecido a Deus, sempre presente na minha vida, por tudo que tem me proporcionado.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (PGA) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelas condições oferecidas para a realização do curso de Pós-graduação em nível de doutorado.

Ao Professor Dr. João Batista Vida, pela orientação, pela paciência, pelos ensinamentos e, sobretudo, por sua amizade.

Ao Prof. Dr. Dauri José Tessmann, pela amizade, pela orientação, sugestões e ajuda nas análises dos dados deste trabalho.

A Cooperativa Agrícola Mourãoense - Coamo, especialmente na pessoa do Dr. Joaquim Mariano Costa, pelo apoio logístico durante a execução deste trabalho.

Aos funcionários da Coamo, Guedes e Valdir pela valorosa e incansável ajuda na coleta dos dados no campo experimental.

Ao Prof. Dr. Laércio Zambolim (UFV) pela amizade, sugestões e apoio.

À Universidade Federal de Roraima pelo afastamento temporário e oportunidade oferecida para realização do curso.

Aos colegas Professores do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima, especialmente aos colegas do Departamento de Fitotecnia.

Aos funcionários do Laboratório de Fitopatologia da UEM: Mauro, Júnior e Sônia, pelo convívio sempre agradável, pela ajuda durante a condução e avaliação dos experimentos.

Aos estagiários: Rafael A. Vieira, Bruna, Rafael Sanches, Riviane, Brasil, pela ajuda nas avaliações dos experimentos.

Aos colegas do curso de Pós-graduação, em especial a Maria Balbi, Ronilda, Bárbara, Ricardo, Júlio, Francielli, Tatiana, Luciana, Marinelva, Guto, Adriana, Marilda, Gabriela, Fernanda, Claudia, Leonardo.

A Solange Maria Bonaldo pela convivência saudável, amizade e apoio.

Aos meus irmãos, pelo estímulo, pela ajuda nos momentos difíceis, pela alegria compartilhada, e, sobretudo pelo exemplo de humildade.

À minha sogra Rosa e minha amiga Terezinha pelo apoio sempre incondicional.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

JEFFERSON FERNANDES DO NASCIMENTO, filho de José Fernandes de Freitas e Rosália Nascimento de Freitas, nasceu em 23 de setembro de 1964, em Boa Vista-RR.

Em janeiro de 1993, concluiu o curso de graduação em Engenharia Agrônômica, pela Universidade Federal do Ceará.

Em novembro de 1993, prestou concurso público na Universidade Federal de Roraima, sendo nomeado Professor Auxiliar do curso de Bacharelado em Agronomia em dezembro do mesmo ano.

Em dezembro de 2000, concluiu o curso de Mestrado em Fitopatologia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 2006, foi admitido no curso de Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal da Universidade Estadual de Maringá-PR, submetendo-se à defesa de tese no dia 12 de setembro de 2008.



*“Se alguém lhe bloquear a porta, não  
gaste sua energia com o confronto,  
procure as janelas. Lembre-se da  
sabedoria da água, ela nunca discute  
com seus obstáculos, ela os contorna”.*

## ÍNDICE

LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
1.1 Sintomas .....	3
1.2 Etiologia .....	4
1.3 Epidemiologia .....	6
1.4 Manejo .....	7
REFERÊNCIAS .....	10
CAPÍTULO I .....	13
ANÁLISE DE PROGRESSO TEMPORAL DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA E DE UREDINIÓSPOROS DE <i>Pakopsora pachyrhizi</i> NO AR NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ .....	13
RESUMO .....	13
ABSTRACT .....	14
1. INTRODUÇÃO .....	15
1.1 Progresso da doença .....	16
1.2 Variáveis climáticas e ferrugens .....	17
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
2.1 Progresso da doença .....	20
2.1.1 Delineamento experimental .....	21
2.1.2 Dados meteorológicos .....	21
2.1.3 Avaliação e análise dos dados .....	21
2.1.3.1 Incidência .....	21
2.1.3.2 Severidade .....	23
2.2 Quantificação de urediniósporos de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> no ar ....	24
2.2.1 Análise dos dados .....	26
3. RESULTADOS .....	27
3.1 Curvas de progresso .....	27
3.1.1 Incidência .....	27

3.1.2 Severidade .....	30
3.1.3 Ajuste do modelo .....	32
3.1.3.1 Incidência .....	32
3.1.3.2 Severidade .....	39
3.2 Quantificação de urediniósporos de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> no ar ....	46
4. DISCUSSÃO .....	52
5. CONCLUSÕES .....	60
REFERÊNCIAS .....	61
CAPÍTULO II .....	67
AVALIAÇÃO DE DANOS NA PRODUÇÃO DA SOJA CAUSADOS POR EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ .....	67
RESUMO .....	67
ABSTRACT .....	68
1. INTRODUÇÃO .....	69
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	73
2.1 Delineamento experimental .....	74
2.2 Dados meteorológicos .....	74
2.3 Avaliação e análise dos dados .....	74
2.3.1 Incidência .....	74
2.3.2 Severidade .....	76
2.3.3 Crescimento .....	77
2.3.4 Desfolha .....	77
2.3.5 Produção .....	78
2.4 Função de dano .....	78
3. RESULTADOS .....	79
3.1 Crescimento .....	79
3.2 Desfolha .....	81
3.3 Progresso das epidemias .....	82
3.4 Função de dano .....	86
3.4.1 Relação entre incidência, severidade, AACPD e componentes de rendimento .....	86
3.4.2 Efeito da ferrugem na produção .....	92

4. DISCUSSÃO .....	94
5. CONCLUSÕES .....	98
REFERÊNCIAS .....	99

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1	Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de incidência da ferrugem asiática da soja ( <i>Phakopsora pachyrizi</i> ) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2006/07 em Luiziana/PR .....	33
Tabela 2	Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de incidência da ferrugem asiática da soja ( <i>Phakopsora pachyrizi</i> ) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2006/07 em Campo Mourão - PR .....	34
Tabela 3	Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de incidência da ferrugem asiática da soja ( <i>Phakopsora pachyrizi</i> ) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2007/08 em Campo Mourão - PR .....	34
Tabela 4	Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de severidade da ferrugem asiática da soja ( <i>Phakopsora pachyrizi</i> ) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2006/07 em Luiziana/PR .....	39
Tabela 5	Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de severidade da ferrugem asiática da soja ( <i>Phakopsora pachyrizi</i> ) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2006/07 em Campo Mourão - PR .....	40
Tabela 6	Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de severidade da ferrugem asiática da soja ( <i>Phakopsora pachyrizi</i> ) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2007/08 em Campo Mourão - PR .....	40
Tabela 7	Taxa de progresso da ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrizi</i> ) ( $r$ ) estimado pelo modelo logístico para os dados de incidência e severidade para plantas de soja tratadas e não-tratadas com tebuconazole em Luiziana – LZ e Campo Mourão – CM/PR, safras 2006/07 e 2007/08 .....	45

Tabela 8	Correlação entre urediniósporos coletados, intensidade de ferrugem asiática e variáveis climáticas na safra agrícola 2006/07 em Campo Mourão - PR .....	50
Tabela 9	Correlação entre urediniósporos coletados, intensidade de ferrugem asiática e variáveis climáticas na safra agrícola 2007/08 em Campo Mourão - PR .....	51
CAPÍTULO II		
Tabela 1	Índices de crescimento de plantas de soja, durante as avaliações de severidade da ferrugem asiática, em diferentes níveis de Intensidade .....	81
Tabela 2	Parâmetros do modelo Logístico ajustados por meio de regressão linear aos dados de incidência da ferrugem asiática da soja em folhas, com quatro níveis proporcionados pelo tratamento com tebuconazole, nas safras 2006/07 e 2007/08 em Luiziana e Campo Mourão - PR .....	83
Tabela 3	Parâmetros do modelo Logístico ajustados por meio de regressão linear aos dados de severidade da ferrugem asiática da soja em folhas, com quatro níveis proporcionados pelo tratamento com tebuconazole, nas safras 2006/07 e 2007/08 em Luiziana e Campo Mourão - PR .....	83
Tabela 4	Níveis de intensidade de epidemias de ferrugem asiática da soja ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) na safra 2006/07 em Luiziana - PR .....	84
Tabela 5	Níveis de intensidade epidemias de ferrugem asiática da soja ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) na safra 2006/07 em Campo Mourão - PR .....	85
Tabela 6	Níveis de intensidade de epidemias de ferrugem asiática da soja ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) na safra 2007/08 em Campo Mourão - PR .....	85
Tabela 7	Estimativas da interseção da reta ( <i>a</i> ) e do coeficiente angular ( <i>b</i> ) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações de regressão linear ( $y = a + bx$ ) calculadas entre as variáveis avaliadas nos anos agrícolas 2006/07 e 2007/08 .....	90
Tabela 8	Efeito dos níveis de intensidade de ferrugem asiática nos componentes de rendimento da soja em três ensaios experimentais, com quatro níveis de intensidade de doença .....	91

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1	Escala diagramática de severidade de ferrugem asiática da soja (GODOY et al., 2006) .....	24
Figura 2	Coletor de esporos tipo catavento posicionado no campo (A). Detalhe da lâmina instalada ao suporte (B). Urediniósporos de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> (40x) (C) .....	25
Figura 3	Curvas de progresso de incidência da ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) para níveis crescentes de doença nas safras 2006/07 - Luiziana e Campo Mourão (A e B) e 2007/08 – Campo Mourão (C). Plantas não- tratadas (Nível 1) e tratadas (Níveis 2, 3 e 4, correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente) .....	28
Figura 4	Dados diários de precipitação pluvial acumulada, temperatura média observadas durante no período 10/01/2006 a 14/03/2007 (safra 2006/07) e 10/01/2007 a 14/03/2008 (safra 2007/08) no município de Campo Mourão - PR .....	29
Figura 5	Área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) em plantas tratadas com tebuconazole em função do tempo (AACPD). Plantas não-tratadas (Nível 1) e tratadas (Níveis 2, 3 e 4, correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente), safras 2006/07 e 2007/08 – Luiziana e Campo Mourão - PR .....	29
Figura 6	Curvas de progresso da severidade da ferrugem asiática ( <i>P. pachyrhizi</i> ) para níveis crescentes de doença nas safras 2006/07 - Luiziana e Campo Mourão (A e B) e 2007/08 – Campo Mourão (C). Plantas não-tratadas (Nível 1) e tratadas (Níveis 2, 3 e 4, correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente) .....	31
Figura 7	Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem asiática ( <i>P. pachyrhizi</i> ) em folhas tratadas com tebuconazole em função do tempo (AACPD). Plantas não-tratadas (Nível 1) e tratadas (Níveis 2, 3 e 4, correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente), safras 2006/07 e 2007/08 – Luiziana e Campo Mourão - PR .....	32

Figura 8	Curva de progresso de incidência de ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2006/07 em Luiziana-PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H) .....	36
Figura 9	Curva de progresso de incidência de ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2006/07, Campo Mourão - PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H) .....	37
Figura 10	Curva de progresso de incidência de ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2007/08, Campo Mourão - PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H) .....	38
Figura 11	Curva de progresso da severidade da ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2006/07 em Luiziana-PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H) .....	42
Figura 12	Curva de progresso da severidade da ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2006/07, Campo Mourão - PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H) .....	43
Figura 13	Curva de progresso de severidade de ferrugem asiática ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2007/2008, Campo Mourão - PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H) .....	44
Figura 14	Urediniósporos de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> coletados de 1º de dezembro de 2006 a 31 de março de 2008 e Temperatura média (°C) (A). Intensidade de ferrugem asiática nas safras 2006/07 e 2007/08 (B). A seta indica o início da coleta de urediniósporos . Campo Mourão - PR .....	47
Figura 15	Precipitação pluvial (mm) e umidade relativa (%) no período de 1º/12/2006 a 31/03/2008. Campo Mourão - PR .....	48



## CAPÍTULO II

Figura 1	Produção de matéria seca da parte aérea (g) de soja afetada por diferentes epidemias de ferrugem asiática safra 2006/07 - Luiziana e Campo Mourão - PR (A e B) e 2007/08 – Campo Mourão (C). Em ordem decrescente, nível 1, corresponde a plantas com maior intensidade e nível 4, plantas com menor intensidade da doença .....	80
Figura 2	Porcentagem de desfolha e área verde da soja no estágio R7. Plantas não-tratadas (nível 1) e plantas tratadas com tebuconazole (níveis 2, 3 e 4 correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L respectivamente). Safra 2007/08 em Campo Mourão - PR .....	82
Figura 3	Relação linear entre peso de 1.000 sementes, AACPD e severidade máxima para a cultura da soja ( <i>Glycine max</i> ) safra 2006/07 – Luiziana (A e D), safra 2006/07 – Campo Mourão (B e E), variedade Embrapa 48 e BRS 154, respectivamente. Safra 2007/08 – Campo Mourão (C e F), variedade Embrapa 48 .....	87
Figura 4	Relação linear entre produção, incidência máxima e AACPD para a cultura da soja ( <i>Glycine max</i> ) safra 2006/07 – Luiziana (A e D), safra 2006/07 – Campo Mourão (B e E), variedade Embrapa 48 e BRS 154, respectivamente. Safra 2007/08 – Campo Mourão (C e F), variedade Embrapa 48 ...	88
Figura 5	Relação linear entre produção, severidade máxima e AACPD para a cultura da soja ( <i>Glycine max</i> ) safra 2006/07 – Luiziana (A e D), safra 2006/07 – Campo Mourão (B e E), variedade Embrapa 48 e BRS 154, respectivamente. Safra 2007/08 – Campo Mourão (C e F), variedade Embrapa 48 ...	89

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] possui grande importância na dieta alimentar humana e animal sendo considerada uma das mais importantes fontes de proteína e óleo vegetal em todo o mundo. É uma espécie originária da Ásia aonde vem sendo cultivada há centenas de anos. Graças às suas características nutritivas, industriais e adaptação a diferentes latitudes, solos e condições climáticas, seu cultivo se expandiu por todo o mundo e hoje é uma das principais plantas cultivadas. Porém, a expansão da cultura no Brasil aconteceu apenas a partir dos anos 1970, com o interesse da indústria de óleo e a demanda do mercado internacional pelo grão de soja.

Os Estados Unidos ocupam a primeira posição entre os países produtores de soja, respondendo por 65,80 milhões de toneladas. O Brasil é o segundo maior produtor, respondendo com 45% da área total de plantio. A produção da safra 2006/07 foi de 58,2 milhões de toneladas, superando em 8,5% a safra 2005/06, de 53,4 milhões/t. Dessas 58,2 milhões de toneladas, a região Centro-oeste produziu 45,9% (26,6 milhões/t), seguida pela região Sul com 38,2% (22,1 milhões/t), região Sudeste com 7,0% (4,1 milhões/t) e Norte com 2,1% (1,2 milhões/t) (CONAB, 2007). O desenvolvimento de variedades adequadas às diferentes regiões do Brasil tem sido um dos principais fatores responsáveis pelo sucesso da cultura. As conquistas nas áreas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico contribuíram diretamente para a rápida expansão da área cultivada e da produtividade.

Embora o Brasil, de maneira geral, tenha aumentado sua produção e produtividade nos últimos anos, a cultura apresenta um potencial ainda maior, e dentre os fatores que impedem a expressão desse potencial estão as doenças. A grande expansão da área cultivada no Brasil e no mundo proporcionou aumento do número e severidade das doenças que afetam a soja, e mais de 100 espécies de patógenos já foram relatados, dos quais, cerca de 35 são de grande importância econômica (SINCLAIR, 1982). Várias doenças fúngicas são importantes para a cultura da soja, e atualmente o maior destaque é para a ferrugem asiática, causada por *Phakopsora pachyrhizi*.

A ferrugem asiática foi relatada pela primeira vez no Japão, em 1902, e estava limitada geograficamente ao continente Asiático. A doença vem provocando perdas de produtividade em Taiwan, Tailândia, Indonésia, Filipinas e Vietnã, e em partes da China, Japão, Austrália, Coréia e Índia (WRATHER et al., 1997). Somente no final dos anos 1990 foi relatada na África, sendo identificada inicialmente em Uganda, Kenya e Ruanda. Em janeiro de 1998, foi identificada no Zimbábue, causando danos que variaram de 60 a 80% no rendimento em culturas comerciais. Em 1994, foi constatada no Hawaí, ficando, no entanto, restrita às ilhas (KILLGORE; HEU, 1994).

No Brasil, o primeiro relato de ferrugem em soja foi feito em 1979, no município de Lavras, MG (DESLANDES, 1979). Segundo Yorinori et al. (2002b), em 1987/88, a doença era atribuída à *P. pachyrhizi*. Porém, a partir de 1992, após comparação com espécime americana e asiática, a espécie americana foi denominada de *Phakopsora meibomiae* e considerada pouco agressiva à soja. Em 2001, amostras do fungo, presentes no Brasil e Paraguai, foram analisadas nos Estados Unidos empregando testes de biologia molecular e constatou-se ser a espécie asiática (*P. pachyrhizi*).

No ano 2000/01, a ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*) foi constatada no Estado do Paraná e disseminou-se rapidamente para outros Estados do Brasil. Na safra 2002, a doença foi relatada nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, e na safra 2003/04 ocorreu de forma generalizada, em quase todo o País, causando prejuízos consideráveis em várias regiões produtoras de soja. Nos locais mais atingidos, as reduções na produtividade da cultura foram estimadas entre 30 e 70% (YORINORI et al., 2003).

Com exceção de Roraima, todos os Estados que possuem cultivo de soja já foram atingidos pela doença (MT, PR, RS, MA, GO, MS, SP, SC, DF, TO, RO, PA e BA), envolvendo uma área de 22 milhões de hectares. Na safra 2006/2007, houve quebra de 4,5% dos grãos em função da doença, ou seja, cerca de 2,67 milhões de toneladas de soja, o que representa 615,7 milhões de dólares. Somam-se a esse número os custos das aplicações de fungicidas necessárias para controlar a doença. Na média nacional, safra 2006/07, foram realizadas 2,3 pulverizações por hectare; correspondendo a 1,58 bilhões de

dólares gastos. No total, o chamado custo-ferrugem chegou a 2,19 bilhões de dólares na safra passada (EMBRAPA, 2007).

As perdas causadas pela ferrugem da soja são variáveis. Em casos severos, quando a doença causa desfolha nas fases vegetativa, floração, formação das vagens ou início de enchimento dos grãos, pode causar aborto das flores e queda total de vagens. Perdas de 80 a 90% foram registradas na Austrália e na Índia, respectivamente (BROMFIELD, 1984). De 10 a 40% na Tailândia, 10 a 90% na Índia, 10 a 50% no Sul da China, 23 a 90% em Taiwan e 40% no Japão (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). No Brasil, safra 2001/2002, as maiores perdas de rendimento variaram de 30 a 75%. Lavouras com rendimento de 55-60 sacos/ha severamente atingidas tiveram redução para 14-15 sacos/ha. Em diversas lavouras dos cerrados da Bahia, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso, onde as sementeiras foram tardias e a doença ocorreu na fase vegetativa, nas áreas sem controle químico, não houve rendimento que justificasse a colheita (YORINORI, 2004).

## 1.1 Sintomas

Os sintomas da ferrugem podem aparecer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, como em cotilédones, folhas e hastes, sendo mais característicos nas folhas. Os primeiros sintomas são caracterizados por minúsculos pontos mais escuros do que o tecido sadio da folha, de coloração esverdeada a cinza-esverdeada, com correspondente protuberância (urédia) na face inferior da folha. As urédias aparecem predominantemente na superfície inferior, mas podem, esporadicamente, aparecer na superfície superior das folhas. Progressivamente, as urédias, adquirem cor castanho-clara a castanho-escura, abrem-se em minúsculo poro, por onde são liberados os urediniosporos (ALMEIDA et al., 2005).

Bromfield et al. (1980) apontam três tipos de reações decorrentes da infecção de *P. pachyrhizi* em plantas hospedeiras, TAN (lesões castanho-claras), RB (lesões castanho-escuras) e imunidade (sem sintomas visíveis da doença). A reação TAN indica suscetibilidade do hospedeiro, com lesões com maior número de urédias e maior esporulação comparada com a sintomatologia da reação RB, que determina um maior grau de resistência do

hospedeiro. Apesar das diferenças entre TAN e RB, com o decorrer da epidemia, elas podem tornar menos evidentes.

As urédias que deixaram de esporular apresentam as pústulas, nitidamente, com os poros abertos, o que permite distinguir da pústula bacteriana, que frequentemente tem sido confundida com a ferrugem. A ferrugem pode também ser facilmente confundida com as lesões iniciais de mancha parda (*Septoria glycines*) que forma um halo amarelo ao redor da lesão necrótica, que é angular e castanho-avermelhada. Em ambos os casos, as folhas amarelecem, secam e caem prematuramente. Em casos de ataques severos, as plantas ficam semelhantes a lavouras dessecadas com herbicidas, ocorrendo abortamento de flores e vagens e deficiência na granação (ALMEIDA et al., 2005).

## 1.2 Etiologia

A soja é infectada por duas espécies de *Phakopsora* que causam a ferrugem: a *P. meibomiae* (ferrugem “americana”), nativa no Continente Americano, ocorre desde Porto Rico (Caribe) ao Sul do Paraná (Ponta Grossa); e a *P. pachyrhizi*, (ferrugem “asiática”), presente na maioria dos países produtores de soja. O agente causal da ferrugem da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, foi descrito pela primeira vez no Japão em 1903. Por muito tempo, acreditou-se que essa doença era causada apenas por *P. pachyrhizi*, mas alguns registros indicaram que os isolados da Ásia e Austrália diferiam dos oriundos do continente Americano, genética e patologicamente (BONDE; BROWN, 1980; BONDE et al., 1988; BROMFIELD et al., 1980). Posteriormente, foi proposta a separação em duas espécies, sendo *Phakopsora pachyrhizi* proveniente da região Austroasiana e *Phakopsora meibomiae* (Arthur) Arthur da região do Novo Mundo (ONO et al., 1992).

No Brasil, o primeiro registro da ferrugem da soja foi realizado em 1979, ocasião na qual se acreditou que se tratava de *P. pachyrhizi* (DESLANDES, 1979). Na época, essa constatação foi de grande preocupação pelo alto potencial de danos que esse patógeno apresentava nos países asiáticos, porém a não-confirmação desse potencial fez com que as pesquisas

conduzidas pelo Centro Nacional de Pesquisas da Soja (CNPSo) fossem desativadas em 1989 (YORINORI, 1997).

Com a constatação esporádica da ferrugem, no Brasil, surgiram dúvidas sobre a verdadeira etiologia da ferrugem no Brasil. Carvalho Júnior e Figueiredo (2000) realizaram uma revisão dos trabalhos publicados e propuseram que a identificação deveria ser corrigida de *Phakopsora pachyrhizi* para *P. meibomiae*. A distinção das duas espécies foi realizada pela morfologia dos teliósporos. *P. pachyrhizi* possui teliósporos organizados em duas a sete camadas, as paredes dos esporos são marron-amarelas pálidas, com espessura mais ou menos uniforme de 1,0  $\mu\text{m}$  ou apenas levemente engrossadas acima e com até 3,0  $\mu\text{m}$  de espessura nas células das camadas apicais. *P. meibomiae* apresenta teliósporos organizados em uma a quatro camadas, raramente cinco, os esporos têm paredes de coloração canela a castanho-clara, com 1,5 a 2,0  $\mu\text{m}$  de espessura, mas com células da camada apical com espessura de até 6,0  $\mu\text{m}$ .

Nos últimos anos, a distinção entre as duas espécies de *Phakopsora* tem sido realizada por meio de técnicas moleculares (FREDERICK et al., 2002).

Dois tipos de esporos são conhecidos em *P. pachyrhizi*: urediniósporos e teliósporos. Os urediniósporos (15-24  $\mu\text{m}$  x 18-34  $\mu\text{m}$ ) são os mais comuns e se constituem na fase epidêmica da doença. São ovoides a elípticos, largos, com paredes com 1,0  $\mu\text{m}$  de espessura, densamente equinulados e variando de incolor a castanho-amarelo pálido. A penetração ocorre de forma direta através da cutícula. O processo de infecção depende da disponibilidade de água livre na superfície da folha, sendo necessário, no mínimo, 6 h, com um máximo de infecção ocorrendo com 10-12 h de molhamento foliar. Temperatura entre 15 e 28°C é favorável à infecção. *P. pachyrhizi* apresenta grande variabilidade patogênica e, pelo uso de variedades diferenciadoras, várias raças têm sido identificadas. Em Taiwan, foram identificadas nove raças e, no Japão, onze. No Brasil, a perda de resistência em uma safra evidenciou a existência de raças (ALMEIDA et al., 2005).

### 1.3 Epidemiologia

O processo infeccioso se inicia quando os urediniósporos germinam e produzem um tubo germinativo que cresce na superfície da folha até formar um apressório. A penetração ocorre diretamente por meio da epiderme, ao contrário das outras ferrugens que penetram por meio dos estômatos. Urédias podem se desenvolver de cinco a dez dias após a infecção e os esporos do fungo podem ser produzidos por até três semanas (ALMEIDA et al., 2005).

A temperatura para a germinação dos urediniósporos pode variar entre 8 a 30°C e a temperatura ótima é próxima de 20°C, porém, sob alta umidade relativa do ar, a temperatura ideal para a infecção situa-se ao redor de 18 a 21°C. Nesta faixa de temperatura, a infecção ocorre em 6,5 h após a penetração, mas são necessárias 16 h de umidade relativa elevada para que a infecção se realize plenamente (SINCLAIR, 1982). Por isso, temperaturas noturnas amenas e presença de água na superfície das folhas, tanto na forma de orvalho como precipitações bem distribuídas ao longo da safra favorecem o desenvolvimento da doença. Outro fator que agrava ainda mais o estabelecimento da doença. no Brasil. é, além da soja, a existência de outras plantas hospedeiras, constituídas por 95 espécies de 42 gêneros de Fabaceae (CALDWEL; MCLAREN, 2004).

Bergamin Filho (2006) propôs que o surgimento de novas urédias em lesões de ferrugem asiática da soja, corresponde a uma nova via anti-horária de infecção do modelo analógico para o patossistema tropical, descrito em Bergamin Filho e Amorin (1996). Uma via anti-horária pela produção de novas urédias, como acontece para a ferrugem asiática da soja, tem a mesma vantagem que o crescimento de lesão para patógeno tropical, exemplificado pela ferrugem do cafeeiro (*Hemilea vastatrix*).

A correlação das variáveis climáticas, temperatura e chuva, com a severidade final da doença, foi estudada por Del Ponte et al. (2006) em epidemias de ferrugem da soja no Brasil, nas safras de 2002/03 e 2004/05. Variáveis relacionadas à quantidade de chuva, ao contrário das relacionadas à temperatura, explicaram parte da variação da severidade final da doença entre os 34 campos experimentais. Em todos os campos onde a severidade da doença foi maior que 70%, a quantidade de chuva variou de 250 a 450 mm

após um mês da primeira detecção da doença e, nos campos experimentais onde a severidade foi menor que 30%, a chuva variou entre 20 e 125 mm.

A alta correlação entre chuva e severidade final da doença pode ser explicada pela característica incomum de *P. pachyrhizi*, não-compartilhada com a maioria das outras ferrugens: uredinósporos do fungo tendem a permanecer firmemente juntos, não sendo facilmente liberados pela ação do vento. No entanto, as gotas de chuva exercem o papel de liberar os esporos, seja por efeito do *splash*, seja pelo impacto que causam nas folhas. Assim, a via anti-horária sempre supre a epidemia com urédias novas, independentemente da temperatura, e a chuva, quando cai, se encarrega de disseminar os esporos nelas produzidos (Bergamin Filho, 2006).

O clima é considerado um fator chave na epidemiologia da ferrugem asiática da soja. Variáveis ambientais são influenciadas pelo macro, meso ou microclima, as quais afetam diferentes processos do ciclo da doença e também influenciam na taxa de progresso e a severidade das epidemias. No campo, a chuva parece ser o fator mais importante que influencia na severidade da doença em termos regionais, a doença aparece mais tarde e sua dispersão é mais lenta em condições de seca por período prolongado (Del Ponte, 2007).

#### **1.4 Manejo**

A medida ideal de controle seria o uso de variedade resistente. Entretanto, a obtenção de variedade resistente à ferrugem asiática tem sido um desafio para pesquisa. Genes dominantes para resistência, denominados *Rpp1*, *Rpp2*, *Rpp3* e *Rpp4*, foram identificados em introduções de plantas (PI's) e cultivares são relatadas na literatura (BROMFIELD; HARTWIG, 1980; MCLEAN; BYTH, 1980). No entanto, a estabilidade dessa resistência é duvidosa, pela grande variabilidade do patógeno (HARTMAN; WANG, 1994). Por exemplo, a PI 230970 foi identificada como resistente “de campo” entre 1971 e 1973. No entanto, em 1976, observaram-se poucas lesões suscetíveis (TAN) e, em 1978, a maioria das lesões encontradas nessas plantas no campo foi do tipo TAN (BROMFIELD et al., 1980).

Estudos realizados pela Embrapa Soja identificaram 11 cultivares com resistência à ferrugem. No entanto, a maioria das cultivares comerciais,



atualmente, utilizadas foi classificada como suscetível (YORINORI, 2002). Das quatro fontes de resistência já descritas na literatura, apenas aquelas com os genes *Rpp2* e *Rpp4* permanecem resistentes à ferrugem no Brasil (ARIAS et al., 2004).

Embora sejam conhecidas algumas cultivares que são mais tolerantes à doença, ainda não se dispõe de cultivares suficientemente resistentes que possam dispensar o uso de fungicidas (YORINORI, 2002).

Em virtude da existência de outras espécies hospedeiras, cultivadas ou não, infectadas durante todo o ano em diversas localidades do Brasil e de países vizinhos, a ocorrência das primeiras infecções na lavoura depende apenas das condições climáticas de cada safra. O momento da primeira aplicação de fungicida depende, portanto, das condições climáticas, incidência e/ou da severidade da doença na região, idade das plantas de soja, extensão das lavouras, capacidade operacional de pulverizar toda área no devido tempo e, principalmente pela eficácia do fungicida escolhido (YORINORI, 2005).

Segundo Almeida et al. (2005), os fungicidas dos grupos dos triazóis e estrobilurinas têm-se mostrado mais eficientes para o controle da doença, com diferença na eficiência entre princípios ativos dentro de cada grupo. Além do controle químico, é importante evitar a semeadura da soja na época mais favorável à doença, selecionar variedades mais precoces e, fundamentalmente, realizar o levantamento periódico da lavoura para detectar a ocorrência da doença no seu início.

Na safra 2002/03, Godoy et al. (2003) acompanharam o progresso da doença em Londrina, PR, em 18 cultivares comerciais de soja, semeadas lado a lado, em duas épocas de semeadura (novembro e dezembro). A evolução da doença e a severidade final nas cultivares variaram em função da época de semeadura. Na semeadura de novembro, a doença iniciou no estágio de formação da semente ( $R_5$ ), ocorrendo maior diferenciação na severidade final das cultivares. Na semeadura de dezembro, quando a doença iniciou no estágio de início da formação da vagem ( $R_3$ ), a severidade final foi maior nas diferentes cultivares. Entre as cultivares testadas, BRS 134 foi a única que apresentou resistência à doença.

Quando a doença já está ocorrendo, o controle químico com fungicida é, até o momento, a principal medida de controle. O número e a necessidade

de reaplicações dependem do estágio inicial em que foi identificada a doença na lavoura e do período residual dos produtos. Outras medidas que podem resultar na melhoria da eficiência do controle são: utilizar cultivares mais precoces semeadas no início da época recomendada para cada região, e assim, evitar o prolongamento do período de semeadura para escapar da maior concentração do inóculo; monitoramento das lavouras; observar as condições de temperatura (15 a 28°C) e período de molhamento acima de 6 h que são favoráveis à infecção (EMBRAPA SOJA, 2004; SOARES et al., 2004). Atualmente, está amplamente difundida a recomendação de aplicações preventivas de fungicida, duas a três vezes em datas fixas (YORINORI; LAZZAROTTO, 2004). Variáveis como densidade de plantio, época, estágio fenológico, espaçamento, variedade, quantidade de inóculo residual, janela de plantio, plantas guaxas, eficiência da deposição de fungicidas nas folhas, dentre outras devem ser consideradas no manejo da doença (YORINORI, 2007).

A avaliação de danos, em condições de campo na produção de soja, considerando diferentes estádios fenológicos e em diferentes safras, pode ser explicada por modelos, relacionando a severidade da ferrugem asiática com a produção. Para isso, o estabelecimento de gradiente de intensidade de doença e do rendimento de grãos permite, por análise de regressão, a obtenção da função de dano, ou seja, a relação existente entre os níveis da doença e a produção das plantas.

Entender o comportamento de epidemias de ferrugem asiática no campo ainda é um desafio para a pesquisa. Estudar a influência da quantidade de urediniosporos no ar, sua relação com as variáveis climáticas, incidência e severidade da ferrugem asiática da soja na macrorregião de Campo Mourão-PR, onde a doença ocorre de forma epidêmica é muito importante e pode contribuir para o entendimento das epidemias nesta região.

Portanto, o presente trabalho teve os seguintes objetivos:

- estudar o progresso temporal da ferrugem asiática da soja e quantificar os urediniosporos no ar na região oeste do Estado do Paraná;
- avaliar os danos na produção de soja causados por epidemias de ferrugem asiática nas safras 2006/07 e 2007/08.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. M. R. et al. Doenças da soja. In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Ceres, 2005. v. 2.

ARIAS, C. A. A. et al. Inheritance of resistance of soybean to rust (*Phakospora pachyrhizi* Sidow). In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7., 2004, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s.n.], 2004. p. 100.

BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: ZAMBOLIM, L. **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa: UFV, 2006. cap. 2, p. 15-32.

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

BROMFIELD, K. R. **Soybean rust**. Saint Paul: APS Press, 1984. (Monography, 11).

BONDE, M. R.; BROWN, M. F. Morphological comparison of isolates of *Phakopsora pachyrhizi* from different areas of the world. **Can. J. Microbiol.**, Ottawa, v. 26, n. 12, p. 1443-1449, 1980.

BONDE, M. R.; PETERSON, G. L.; DOWLER, W.M. A comparison of isozymes of *Phakopsora pachyrhizi* from the eastern hemisphere and the new world. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 78, n. 11, p. 1491-1494, 1988.

BROMFIELD, K. R.; MELCHING, J. S.; KINGSOLVER, C. H. Virulence and aggressiveness of *Phakopsora pachyrhizi* isolates causing soybean rust. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 70, n. 1, p. 17-21, 1980.

BROMFIELD, K. R.; HARTWIG, E. E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Sci.**, Madinson, v. 20, n. 2, p. 254-255, 1980.

CALDWEL, P. M.; MCLAREN, N. W. Soybean rust research in South Africa. In: WORD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7., 2004, Foz do Iguaçu; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4., 2004, Foz do Iguaçu; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Londrina: Embrapa Soybean, 2004. p. 1299-1307.

CARVALHO JÚNIOR, A. A.; FIGUEIREDO, M. B. A verdadeira identidade da ferrugem da soja no Brasil. **Summa Phytopathol.**, Botucatu, v. 26, n. 2, p. 197-200, 2000.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>>. Acesso em: out. 2007.

DEL PONTE, E. O clima e as epidemias de ferrugem da soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FERRUGEM ASIÁTICA, 2007, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2007. Palestra.

DEL PONTE, E. M. et al. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 96, n. 7, p. 797-803, 2006.

DESLANDES, J. A. Ferrugem da soja e de outras leguminosas causadas por *Phakopsora pachyrhizi* no Estado de Minas Gerais. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 4, n. 2, p. 337-339. 1979.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/alerta>>. Acesso em: 23 jul. 2007.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil 2005. Londrina: Embrapa Soja, 2004.

FREDERICK, R. D. et al. Polymerase chain reaction assays for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 92, n. 2, p. 217- 227, 2002.

GODOY, C. V. et al. Análise temporal do progresso da ferrugem da soja em Londrina (PR). **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 28, supl., p. 386, 2003.

HARTMAN, G. L.; WANG, T. C. Soybean rust research: progress and future. In: WORLD SOYBEAN CONFERENCE, 1994, Thailand. **Proceedings...**Thailand: Chang Mai, 1994. p. 180-186.

KILLGORE, E.; HEU, R. First report of soybean rust in Hhawaii. **Plant Dis.**, Saint Paul, v. 78, n. 12, p. 1216, 1994.

McLEAN, R. J.; BYTH, D. E. Histological studies of the pre-penetration development and penetration of soybeans by rust, *Phakopsora pachyrhizi* Syd. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, v. 32, n. 3, p. 435-443, 1981.

ONO, Y.; BURITICA, P.; HENNEN, J. F. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella*, and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. **Mycol. Res.**, Cambridge, v. 96, n. 10, p. 825-850, 1992.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. Soybean rust. In: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. (Ed.). **Compendium of soybean diseases**. 4. ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1999. p. 3-4.

SINCLAIR, J. B. **Compendium of soybean disease**. 2. ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1982.

SOARES, R. M. et al. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1245-1247, 2004.

WRATHER, J. A. et al. Soybean disease loss estimates for the top 10 soybean producing countries in 1994. **Plant Dis.**, Saint Paul, v. 81, n. 1, p. 107-110. 1997.

YORINORI, J. T.; LAZAROTTO, J. J. **Situação da ferrugem asiática da soja no Brasil e na América do Sul**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. (Documentos, 236).

YORINORI, J. T. Ferrugem asiática. **Correio Agrícola**, São Paulo, n. 1, p. 3-7, 2007.

YORINORI, J. T. Ferrugem da soja: panorama geral. In: WORD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7., 2004, Foz do Iguaçu; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4., 2004, Foz do Iguaçu; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Londrina: Embrapa Soybean, 2004. p.1299-1307.

YORINORI, J. T. et al. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*): identificação e controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2003. (Documentos, 204).

YORINORI, J. T. et al. Reações de cultivares de soja a ferrugem “asiática” (*Phakopsora pachyrhizi*). In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.149.

YORINORI, J. T.; MOREL PAIVA, W. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)**. Londrina: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 2002.

## CAPÍTULO I

### ANÁLISE DO PROGRESSO TEMPORAL DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA E DE UREDINIÓSPOROS DE *Pakopsora pachyrhizi* NO AR NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ

**RESUMO.** A ferrugem asiática da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*, relatada em nível epidêmico recentemente, é a principal doença para a cultura no Brasil. Estudos que resultem informações que possam ser empregadas para o manejo da doença constituem prioridades de metas a serem alcançadas em curto prazo. Portanto, este trabalho teve como objetivos estudar a influência do clima no progresso da ferrugem asiática da soja e quantificar os urediniósporos no ar na região Oeste do Estado do Paraná. Para tanto, foram instalados três experimentos em condições de campo, em Luiziana e Campo Mourão – PR nas safras 2006/07 e 2007/08. Utilizando-se o método do gradiente de doenças, proporcionado pela aplicação de doses crescentes de tebuconazole, foram obtidas quatro epidemias em cada experimento com diferentes intensidades de doença. Para quantificar os uredinióporos, foram instalados coletores de esporo tipo catavento durante as duas safras e entressafra. As curvas de progresso da doença nas epidemias foram plotadas e estimaram-se a incidência e severidade máxima. As curvas foram ajustadas ao modelo logístico por apresentarem maiores coeficientes de determinação e melhor aleatoriedade dos resíduos plotados no tempo. As análises da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) mostraram que as maiores epidemias ocorreram na safra 2006/07 e as taxas de progresso foram maiores, tanto para incidência quanto para a severidade, mesmo em plantas protegidas com fungicida. A quantidade de urediniósporos coletados no ar foi relacionada à presença de plantas de soja no campo e a quantidade de urediniósporos teve correlação positiva com severidade, incidência, precipitação acumulada e dias favoráveis a infecção.

**Palavras-chave:** *Pakopsora pachyrhizi*, epidemiologia, soja.

**ANALYSIS OF THE TEMPORAL PROGRESS OF THE ASIAN SOYBEAN  
RUST AND UREDINIOSPORES OF THE *Phakopsora pachyrhizi* ON AIR IN  
THE WEST OF THE STATE OF THE PARANÁ**

**ABSTRACT.** Asianrust caused by *Phakopsora pachyrhizi*, reported at epidemic recently, is main disease for the crop soybean in Brazil. Study results that may be employed for the management of the disease are priorities of targets to be achieved in the short term. Therefore, the objective of this work was to study, the influence of the climate in the progress of the Asian soybean rust and quantifying the urediniospores on air in the western region of the State of the Paraná, Brazil. Three experiments were installed in field conditions, in Luiziana and Campo Mourão country in the cropping season 2006/07 and 2007/08. Using the method of the gradient of diseases, provided by the application of growing doses of tebuconazole fungicide, four epidemics were obtained in each experiment with different intensity of diseases. To quantify the urediniospores were installed collectors of spore type weathercock during two crops. The disease progress curves in the epidemics were plotted and the maxim incidence and severity were appreciated. The curves were adjusted to a model logistic, bigger coefficients of determination and better randomness of the residues plotted in the time. The analyses of the area under the disease progress curve (AUDPC) showed that the biggest epidemics took place in the cropping season 2006/07 and the rates of progress were bigger, for incidence and severity, even in plants protected with tebuconazole. The quantity of urediniospores collected on air was made a list the presence of soybean in the field and the quantity of urediniospores had positive correlation with severity, incidence, accrued haste, and favorable days.

**Key words:** *Pakopsora pachyrhizi*, epidemiology, soybean rust.

## 1. INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) foi descrita pela primeira vez no Japão, em 1903 (SINCLAIR, 1982). Posteriormente, foi constatada em outros países da Ásia e na Austrália em 1934, na Índia em 1951 e no Havaí, nos Estados Unidos em 1994. No Continente Africano, foi detectada a partir de 1996, atingindo a Zâmbia e o Zimbábue em 1998, a Nigéria em 1999, Moçambique em 2000 e a África do Sul em 2001. No Paraguai, surgiu em 2000/01 e na Argentina em 2002 (NUNES et al., 2003).

No Brasil, a ferrugem asiática foi constatada pela primeira vez na safra 2000/01 no Estado do Paraná. A partir dessa data, disseminou-se rapidamente para outros Estados. Na safra 2002, a doença ocorreu nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina (YORINORI, 2004) e São Paulo (ITO et al., 2002) e, na safra 2003/04 ocorreu de forma generalizada, em quase todo o país, causando prejuízos consideráveis em várias regiões produtoras. Nos locais mais atingidos, as reduções na produtividade da cultura foram estimadas entre 30 e 70% (YORINORI, 2002).

Embora as plantas de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] possam ser infectadas em qualquer estágio de desenvolvimento após a emergência, a doença se manifesta principalmente a partir do estágio R5, durante o enchimento dos grãos, e com ataque severo pode causar a desfolha precoce das plantas, comprometendo a formação e o enchimento das vagens e a massa final das sementes, e, conseqüentemente, a produção (YANG et al., 1991). Quanto mais cedo ocorrer a desfolha menor será o tamanho dos grãos e, conseqüentemente, maior a perda de produtividade e de qualidade, pela presença de grãos verdes. Quando a doença atinge a soja na fase de formação de vagens ou granação, pode causar aborto e queda das vagens (YORINORI et al., 2003).

As perdas causadas pela ferrugem da soja são variáveis. Em casos severos, quando a doença causa desfolha nas fases vegetativa, floração, de formação ou início de enchimento das vagens, pode causar aborto das flores e



queda total de vagens. Perdas de 80 a 90% foram registradas na Austrália e na Índia, respectivamente (BROMFIELD, 1984); de 10 a 40% na Tailândia, 10 a 90% na Índia, 10 a 50% no sul da China, 23 a 90% em Taiwan e 40% no Japão (SINCLAIR; HARTMAN, 1999).

Na safra 2006/07, houve quebra de 4,5% na produção de grãos em função da doença, cerca de 2,67 milhões de toneladas de soja, o que representa 615,7 milhões de dólares. Somam-se a esse número os custos das aplicações de fungicidas necessárias para controlar a doença. Na média nacional, na safra 2006/07, foram 2,3 aplicações por hectare; o que corresponde a 1,58 bilhões de dólares gastos. No total, o chamado custo-ferrugem chega a 2,19 bilhões de dólares por ano (EMBRAPA, 2007).

### **1.1 Progresso da doença**

O clima é considerado um fator chave na epidemiologia da ferrugem asiática da soja. Variáveis ambientais são influenciadas pelo macro, meso ou microclima, as quais afetam diferentes processos do ciclo da doença e, também, influenciam na taxa de progresso e a severidade das epidemias. No campo, a chuva parece ser o fator mais importante que influencia na severidade da doença em escala regional (DEL PONTE, 2007).

A correlação das variáveis climáticas, temperatura e chuva, com a severidade final da doença, foi estudada por Del Ponte et al. (2006) em epidemias de ferrugem da soja no Brasil, nas safras de 2002/03 e 2004/05. Variáveis relacionadas à quantidade de chuva, ao contrário das relacionadas à temperatura, explicaram maior parte da variação da severidade final da doença entre os 34 campos estudados. Em todos os campos onde a severidade da doença foi maior que 70%, a quantidade de chuva variou de 250 a 450 mm após um mês da primeira detecção da doença e, nos campos onde a severidade foi menor que 30%, a chuva variou entre 20 e 125 mm. A alta correlação entre chuva e severidade final da doença pode ser explicada pela característica incomum de *P. pachyrhizi*, não compartilhada com a maioria das outras ferrugens: uredinósporos do fungo tendem a permanecer firmemente juntos, não sendo facilmente liberados pela ação do vento. No entanto, as

gotas de chuva, exercem o papel de liberar os esporos, seja por efeito do “*splash*”, seja pelo impacto que causam nas folhas.

Tsukahara et al. (2008) estudaram em condições de campo, a influência do clima no progresso da ferrugem asiática da soja, safra 2005/06, em duas diferentes regiões do Estado do Paraná. Os autores concluíram que houve relação entre a duração do período de molhamento com o aparecimento dos primeiros sintomas, e também houve relação dos dados de precipitação e do índice de número de dias de chuva com o progresso da epidemia. Entretanto, os dados referem-se somente a dois ensaios em uma única safra.

A comparação de epidemias é um instrumento de pesquisa que, além de indicar semelhanças e diferenças existentes entre epidemias, permite definir modelos e princípios gerais para grande número de fenômenos epidemiológicos, servindo para aferir hipótese e teorias, sustentando-as ou refutando-as, em função dos resultados obtidos (KRANZ, 1988). No estudo de epidemias, a dinâmica temporal das doenças de plantas tem sido mais enfatizada, pois o progresso de doenças é, frequentemente, a manifestação mais facilmente visualizada. Na análise temporal de doenças, a curva de progresso é a melhor representação de uma epidemia. Interpretar o formato dessas curvas e determinar seus componentes, como intensidade inicial de doença, taxa de progresso, intensidade final, bem como a área abaixo da curva de progresso, são fundamentais para se efetuar o manejo de epidemias (BERGAMIN FILHO, 1995).

## **1.2 Variáveis climáticas e ferrugens**

Antes da entrada da ferrugem asiática da soja nos Estados Unidos, Pivonia e Yang (2004) avaliaram o potencial de estabelecimento da doença utilizando modelagem. Estudaram o potencial de zonas geográficas onde o fungo ocorre, servindo de possíveis fontes que poderiam causar epidemias. Os autores utilizaram médias meteorológicas de longo prazo com ênfase na temperatura, utilizando o software CLIMEX. Os resultados sugeriram que a doença ocorreu em áreas onde o fungo poderia sobreviver durante todo o ano, como África e América do Sul. A região Sudeste da China e áreas vizinhas seriam de onde os primeiros esporos para epidemias de ferrugem são produzidos. Se a doença se estabelecesse nos EUA seria provavelmente

restrita a algumas áreas da Flórida e Sul do Texas. Concluíram que a ocorrência de epidemias de ferrugem na região produtora de soja americana iria depender da dispersão dos urediniósporos de sul-norte.

Sconyers et al. (2006) utilizaram coletores de esporos para detectar urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi* em dez locais do Estado americano da Geórgia. Os coletores foram colocados no centro de parcelas denominadas “sentinelas” para produzir informações de advertência no sentido de detectar a presença de urediniósporos viáveis de *P. pachyrhizi* que poderia levar ao desenvolvimento da doença no campo. Pelos resultados obtidos, a ferrugem asiática da soja foi relatada de cinco a 55 dias após terem sido detectados urediniósporos de *P. pachyrhizi* no ar em seis localidades. Em duas localidades, foram detectados urediniósporos no ar, mas a doença não ocorreu nas parcelas “sentinela”. Entretanto, em duas localidades não foram detectados urediniósporos no ar e a doença também não ocorreu. Isso reforça a idéia de que a presença de urediniósporos não leva, necessariamente, ao surgimento da ferrugem no campo, ou seja, a concentração e viabilidade do inóculo e as condições ambientais são determinantes para o desenvolvimento da doença.

No Brasil, Blum e Dianese (2001) avaliaram a liberação da aérea de urediniósporos e os danos provocados por *Puccinia psidii* Winter em plantas de jambeiro (*Syzygium jambos*) em Brasília-DF, Brasil, e os fatores ambientais que podem influenciar no desenvolvimento da doença. Constataram que a principal carga de esporos ocorreu de maio a julho, entre 10 e 13 h. Os maiores números de brotos de jambeiro com pústulas esporulantes ocorreram entre 28 de abril e 20 de julho. O número de brotos terminais infectados foi positivamente correlacionado com a quantidade de esporos. A temperatura (às 12 h) foi negativamente correlacionada com a quantidade de urediniósporos dispersos no ar. O número de dias com umidade relativa (UR) do ar (às 24 h)  $\geq 80\%$  foi positivamente correlacionado com a quantidade de brotos deformados. A quantidade de urediniósporos foi positivamente correlacionada com o número de dias com temperatura  $\leq 20^{\circ}\text{C}$  e UR(24 h)  $\geq 80\%$ . Ao maior pico de urediniósporos capturados precedeu um período sem precipitação, porém com vários dias de UR(24 h)  $\geq 80\%$  e temperatura  $\leq 20^{\circ}\text{C}$ . Estes dados indicaram que a doença foi favorecida por temperaturas  $\leq 20^{\circ}\text{C}$  e por UR noturna  $\geq 80\%$ .

A duração do molhamento foliar e umidade relativa combinada com temperaturas noturnas entre 18 e 22°C foram determinantes nos surtos epidêmicos de *Puccinia psidii* em jameiros. Essa evidência foi baseada na correlação positiva e altamente significativa entre componentes harmônicos nas curvas da doença e de variáveis climáticas (temperatura associada a molhamento foliar e umidade relativa). Surtos epidêmicos da ferrugem do jameiro, na região central do Brasil, são consequência das condições climáticas favoráveis, uma vez que inóculo e hospedeiro suscetível estão presentes durante o todo o ano (TESSMANN et al., 2001).

Hovmoller (2001) avaliou a epidemiologia de *Puccinia striiformis* na Dinamarca num período de 15 anos (1985 a 1999) usando cultivares resistentes de trigo em condições de inverno, e os efeitos na alteração na população do patógeno pelo uso de cultivares resistentes. Evidenciou que é importante a dispersão de urediniósporos de *P. striiformis* de fontes externas para a Dinamarca, e que isso tem consequências agrônômicas. Demonstrou que em áreas onde foram plantadas poucas cultivares em grandes extensões durante o período, os genes de resistência Yr9 e Yr17 tornaram-se ineficientes. Yr9 foi superado pelo patógeno em períodos com epidemias severas de ferrugem em plantios comerciais, enquanto a resistência do gene Yr17, foi primeiro observada em anos com quase nenhuma ferrugem. Por outro lado, houve aumento da resistência na cv. Kraka (Yr1, CV) para o controle efetivo da ferrugem, porque patótipos com combinações de emparelhamento de virulência diminuíram dentro da população. A dinâmica na frequência de patótipos foi influenciada pela pressão de seleção dentro da Dinamarca, e pela pressão de seleção em áreas onde os urediniósporos foram disseminados de fora do país. Foi evidenciada a importância de um nível suficiente de resistência em genótipos de trigo para prevenir danos provocados pelas epidemias de ferrugem, em que genes de resistência são superados pela população do patógeno.

Assim, cada vez fica mais evidente que a integração de várias medidas de controle para a ferrugem asiática da soja é fundamental para o seu sucesso. Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar, em condições de campo, a influência do clima no progresso da ferrugem asiática da soja e quantidade de urediniósporos no ar na região Oeste do Estado do Paraná.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Progresso da doença

O presente trabalho foi instalado em área comercial no município de Luiziana - LZ (24°11' de latitude Sul, 52°14' de longitude Oeste e 680 m de altitude) e em outra área, na Fazenda Experimental da Cooperativa Agrícola Mourãoense - Coamo, município de Campo Mourão - CM (24°05' de latitude Sul, 52°21' de longitude Oeste e 623 m de altitude), localizados na região Oeste do Estado do Paraná, na safra 2006/07. Na safra 2007/08, o mesmo ensaio foi repetido somente em CM, totalizando três experimentos em duas safras.

Segundo a classificação de Köppen, trata-se de uma região de clima subtropical (Cfa), caracterizado por apresentar temperatura moderada com chuvas bem distribuídas e verão quente (KÖPPEN; GEIGER, 1928). Nos meses de inverno, há ocorrência de geadas sendo a média de temperatura neste período inferior a 16°C. No mês mais quente, as máximas são maiores que 30°C.

A escolha do local foi baseada principalmente no fato da ferrugem asiática ocorrer de forma epidêmica em plantios comerciais de soja em safras anteriores. Estas condições estratégicas foram essenciais por dispensar a necessidade de inoculação das plantas e, também, por retratar a realidade epidemiológica da doença no campo, permitindo um estudo em condições de lavouras comerciais.

Na safra 2006/07, o plantio em LZ foi realizado em 05 de novembro de 2006, utilizando-se a variedade Embrapa 48. Trata-se de variedade de ciclo semiprecoce e recomendada para a região. Em CM, o plantio foi realizado em 25 de novembro, utilizando-se a variedade BRS 154, também recomendada para a região. Na safra 2007/08, o plantio foi realizado no dia 21 de novembro de 2007, utilizando-se a variedade Embrapa 48.

### 2.1.1 Delineamento experimental

Para estabelecer os diferentes níveis da doença, foram aplicadas doses crescentes do fungicida Tebuconazole com intervalo de 15 dias, desde o aparecimento dos primeiros sintomas, nas seguintes doses por hectare: D1 (0) D2 (0,250); D3 (0,500); e D4 (0,750 L). Essas doses proporcionou quatro níveis de doença: nível um, corresponde a plantas não-protegidas com fungicida e os demais correspondem a plantas protegidas com as doses crescentes, respectivamente. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta de cinco linhas de 5 m, com uma linha de bordadura comum entre os tratamentos. O espaçamento foi de 0,12 m entre plantas e 0,40 m entre linhas. As parcelas foram mantidas com práticas culturais recomendadas para a cultura da soja (EMBRAPA SOJA, 1999).

### 2.1.2 Dados meteorológicos

As informações meteorológicas referentes ao período de desenvolvimento deste estudo foram obtidas junto à estação meteorológica da Coamo localizada no município de Campo Mourão, a uma distância linear de aproximadamente 20 km do local do experimento de LZ e 50 m do experimento de CM. Dados diários de precipitação, umidade relativa do ar, e temperatura foram apresentados graficamente.

### 2.1.3 Avaliação e análise dos dados

#### 2.1.3.1 Incidência

Amostras de folhas foram avaliadas semanalmente até o aparecimento das primeiras pústulas para então efetuar a primeira pulverização do fungicida. As avaliações da incidência da ferrugem asiática foram iniciadas após a primeira aplicação do fungicida, em duas plantas, previamente marcadas em cada parcela. Em cada planta, quantificou-se a incidência da doença em todas as folhas das plantas. No experimento de LZ, a doença foi avaliada aos 67, 73,

79, 87, 94 e 101 dias após o plantio (DAP) e em CM aos 60, 65, 72, 79, 88 e 94 DAP, durante a safra 2006/07. Na safra 2007/08, no experimento em CM, as avaliações foram aos 62, 69, 75, 82, 89, 96, 103 e 110 DAP.

Para determinar a incidência de ferrugem asiática, foram avaliadas todas as folhas de duas plantas, amostradas na linha central da fileira de cada tratamento após a primeira pulverização. Para cada planta avaliada, foram contabilizados o total de folhas presentes e as folhas com sintomas. A incidência da ferrugem asiática foi obtida pelo cálculo da proporção de folhas sintomáticas, em relação ao total de folhas presentes na planta avaliada, independentemente da severidade apresentada. Os dados de incidência da ferrugem asiática, referentes às avaliações, foram utilizados no estabelecimento de curvas temporais de progresso da doença. Para isso, as variáveis estudadas foram individualmente plotadas graficamente (y) em função do tempo (x), possibilitando a comparação do comportamento destas variáveis entre os diferentes tratamentos em períodos correspondentes.

Por meio das avaliações da curva de progresso, foi possível estimar a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), por meio de integração trapezoidal (Equação 1) para cada tratamento estudado

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \left[ \frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \right] \cdot (t_{i+1} - t_i) \quad (1)$$

em que:

$n$  é o número de avaliações;

$Y$  é o valor da variável avaliada em porcentagem;

$t$ , o tempo quando da intensidade da variável em questão;

$(y_i + y_{i+1})$ , a altura média do retângulo entre os pontos  $y_i$  e  $y_{i+1}$ ; e

$(t_{i+1} - t_i)$ , a diferença da base do retângulo entre os pontos  $t_{i+1}$  e  $t_i$  que corresponde ao intervalo de tempo em dias entre duas avaliações consecutivas (CAMPBELL; MADDEN, 1990; VALE; JESUS JUNIOR, ZAMBOLIM, 2004).

Pela variação no intervalo entre as avaliações, a variável integral AACPD foi dividida pelo respectivo período de observação ( $t_{i+1} - t_i$ ), sendo marcada com asterisco(\*). Assim a AACPD\*, utilizada neste trabalho para

comparar os diferentes tratamentos, corresponde à área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem asiática estandardizada e pode ser interpretada como a incidência média da variável analisada durante a condução do experimento (VALE; JESUS JUNIOR; ZAMBOLIM, 2004).

A evolução temporal de incidência da ferrugem asiática também foi analisada por meio do ajuste dos modelos monomolecular, logístico e Gompertz aos dados observados. Estes modelos podem ser linearizados para comparar as curvas de progresso de doença. Para o modelo monomolecular, descrito por  $Y = 1 - (1 - y_0) \cdot \exp(-r \cdot t)$ , em que,  $Y$  = intensidade de doença;  $y_0$  = inóculo inicial;  $r$  = taxa de progresso da doença; e  $t$  = tempo de duração da epidemia; a linearização é dada por:  $M = \ln(1/(1 - y_i))$ , em que,  $y_i$  = intensidade de doença na avaliação  $i$ . Para os modelos logístico, descrito por  $Y = 1/(1 + ((1/y_0) - 1) \cdot \exp(-r \cdot t))$  e de Gompertz, descrito por  $Y = \exp(-(\ln(y_0)) \cdot \exp(-r \cdot t))$ , a linearização é dada, respectivamente por:  $L = \ln(y_i/(1 - y_i))$  e  $G = -\ln(-\ln(y_i))$ . Quando se aplica as linearizações aos dados de intensidade de doença, os valores de  $M$ ,  $L$  e  $G$  são analisados pelo tempo por regressão linear simples. A regressão estima os parâmetros  $B_0$  e  $B_1$  da equação  $Y = B_0 + B_1 X_{1i} + E_i$  em que  $Y$  é o valor predito da variável dependente,  $X$  é o valor da variável independente na observação  $i$ ,  $B_0$  e  $B_1$  são, respectivamente, coeficiente angular e coeficiente linear da reta, e  $E_i$  é o erro associado à regressão (CAMPBELL; MADDEN, 1990; VALE; JESUS JUNIOR; ZAMBOLIM, 2004).

O modelo de melhor ajuste ao progresso da doença foi selecionado pelo coeficiente de determinação dos dados não-linearizados ( $R^2$ ), obtido entre os valores da curva real de progresso da doença e a curva predita pelo modelo, ambos sem transformação, e pela aleatoriedade dos resíduos plotados no tempo (CAMPBELL; MADDEN, 1990; BERGAMIN FILHO, 1995).

### 2.1.3.2 Severidade

Para a avaliação de severidade da ferrugem asiática, foram coletadas duas plantas, amostradas na fileira central de cada parcela dos três experimentos. Notas de severidade foram atribuídas a todas as folhas das plantas amostradas, utilizando uma escala diagramática variando de 0,6 a 78,5% de acordo com Godoy et al. (2006) (Figura 1). Esse método serve de



referência na avaliação do efeito dos níveis de doença existentes no momento de cada avaliação. Após as avaliações, os dados de severidade da ferrugem asiática nas folhas foram dispostos em curvas temporais de progresso. Para isso, os níveis de severidade observados (y) foram plotados graficamente em função do tempo (x), possibilitando a comparação do comportamento desta variável ao longo dos dias entre os diferentes tratamentos. A partir da curva de progresso de severidade, foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença estandardizada (AACPD\*), por meio de integração trapezoidal, assim como descrito no item 2.3.1. Desta forma, a AACPD\* de severidade da ferrugem asiática obtida para as folhas doentes foi utilizada para comparar o efeito das doses do fungicida sobre a quantidade de tecido foliar afetado pela doença.

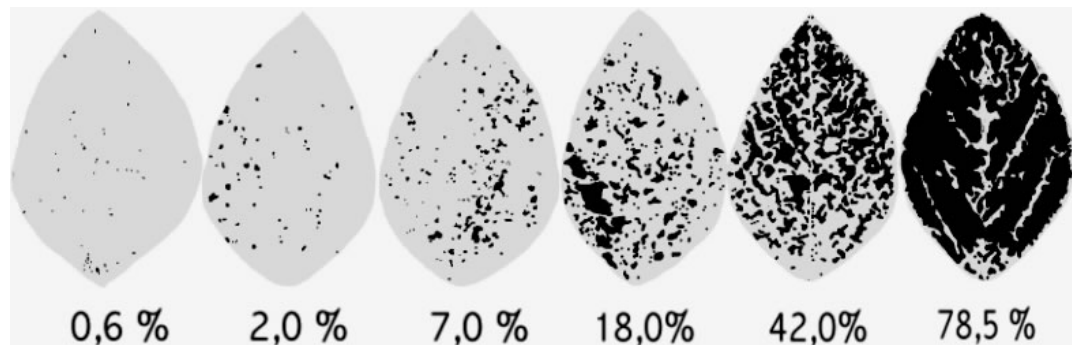


Figura 1 – Escala diagramática de severidade de ferrugem asiática da soja (GODOY et al., 2006).

Os dados de severidade da ferrugem asiática foram submetidos ao ajustamento dos três modelos matemáticos por meio de análise de regressão linear conforme descrito no item 2.3.1., utilizando o software SAS - *Statistical Analysis System* (SAS Institute, Cary, NC, EUA).

## **2.2 Quantificação de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi* no ar**

Este trabalho foi conduzido na Estação Experimental da Cooperativa Agrícola Mourãoense – Coamo, no município de Campo Mourão - PR, (°05' de

latitude Sul, 52°21' de longitude Oeste e 623 m de altitude latitude), durante o período de 1º de dezembro de 2006 a 31 de março de 2008.

Três coletores foram instalados no campo em novembro, por se tratar da época de plantio da maioria das lavouras de soja na região. Os coletores permaneceram no campo durante duas safras, 2006/07 e 2007/08 e entressafra.

Para a coleta e quantificação dos urediniósporos de *P. pachyrhizi* no ar, utilizaram-se coletores de esporos tipo cataento, descritos por Reis e Santos (1985), posicionados a 1,50 m de altura. A superfície de impacto dos esporos foi uma lâmina de microscópio (7,5 x 2,5 cm) coberta com uma fina camada de graxa de silicone. As lâminas permaneceram expostas ao impacto dos urediniósporos por 24 horas, sendo substituídas diariamente (Figura 2).

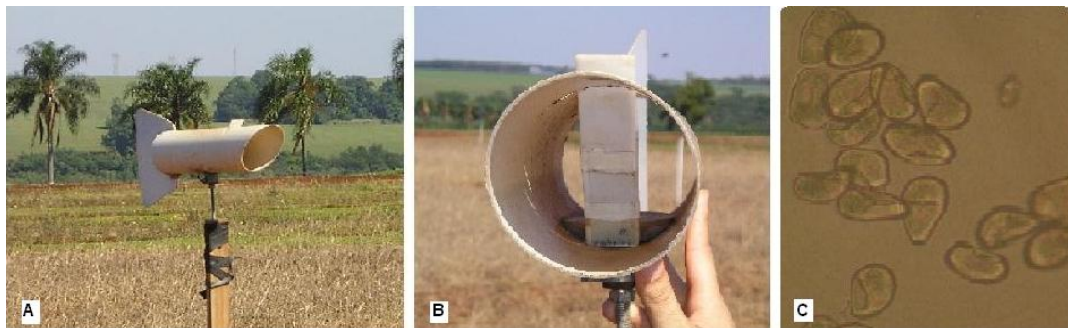


Figura 2 – Coletor de esporos tipo cataento posicionado no campo (A). Detalhe da lâmina instalada ao suporte (B). Urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi* (40x) (C).

Na apresentação dos resultados, foi considerada a média dos três coletores.

As informações meteorológicas referentes ao período de desenvolvimento deste estudo foram obtidas junto à estação meteorológica da Coamo, localizada a uma distância linear de aproximadamente 300 m do local onde se encontravam posicionados os coletores. Dados diários de precipitação, umidade relativa do ar e temperatura foram apresentados graficamente.

### 2.2.1 Análise dos dados

O número de urediniósporos de *P. pachyrhizi* e a intensidade de doença foram submetidos a análises de correlação com as variáveis climáticas temperatura e precipitação, utilizando-se o software SAS - *Statistical Analysis System* (SAS Institute, Cary, NC, EUA).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Curvas de progresso

De modo geral, a intensidade da ferrugem asiática e o progresso variaram em maior ou menor grau de acordo com a safra e o clima prevalente em cada região (Figuras 3 e 6).

##### 3.1.1 Incidência

Na Figura 3A, encontram-se as curvas de progresso de incidência da ferrugem asiática da epidemia em Luiziana – LZ, safra 2006/07. Observou-se que a doença iniciou aos 73 dias após o plantio (DAP) quando as plantas se encontravam no estágio  $R_3$  (início da formação de vagens). Em Campo Mourão – CM, a doença iniciou aos 65 DAP também em  $R_3$  na mesma safra (Figura 3B). Na safra 2007/08, em CM, a doença iniciou aos 82 DAP quando as plantas se encontravam no estágio  $R_4$  (Figura 3C).

Durante todo o período de avaliação, foram observados menores níveis de incidência de ferrugem asiática em plantas tratadas com tebuconazole em relação às plantas não-protegidas quimicamente. Ficou evidente um gradiente dos níveis da doença entre as plantas tratadas com fungicida até a quarta avaliação. Na última avaliação, a incidência da doença atingiu 100% (Figura 3B), provavelmente pela epidemia em CM ter sido mais severa na safra 2006/2007. Na safra 2007/2008 em CM, não houve diferença significativa entre as plantas tratadas, onde a epidemia foi menos severa (Figura 3C).

Pela comparação das curvas de incidência da ferrugem asiática obtidas nas duas safras com as variáveis climáticas registradas no período, foi possível observar que a temperatura média na safra 2006/07 foi menor que na safra 2007/08 e por outro lado, a precipitação acumulada registrada no mesmo período foi maior e melhor distribuída (Figura 4).

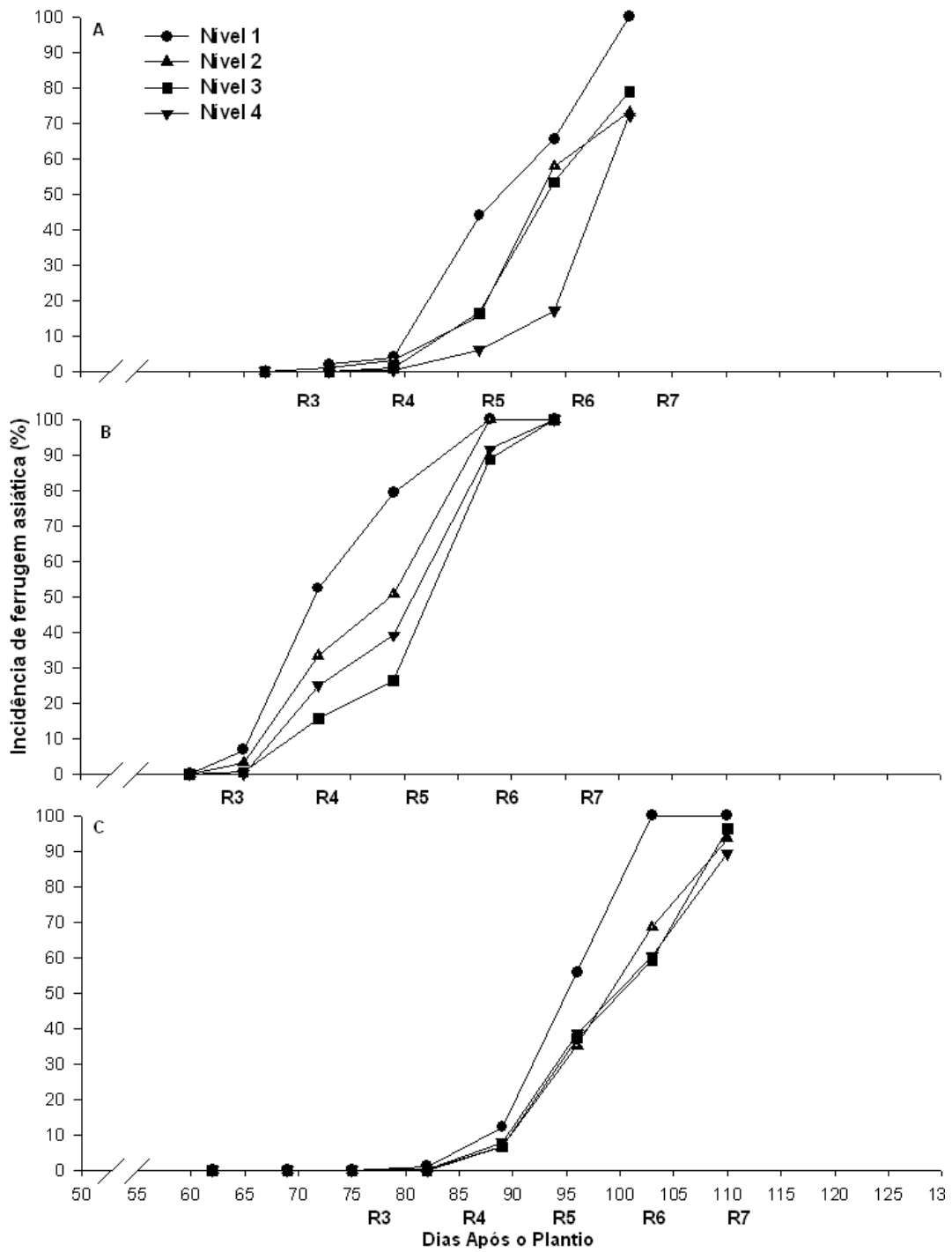


Figura 3 – Curvas de progresso de incidência da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) para níveis crescentes de doença nas safras 2006/07 - Luiziana e Campo Mourão (A e B) e 2007/08 – Campo Mourão (C). Plantas não- tratadas (Nível 1) e tratadas (Níveis 2, 3 e 4, correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

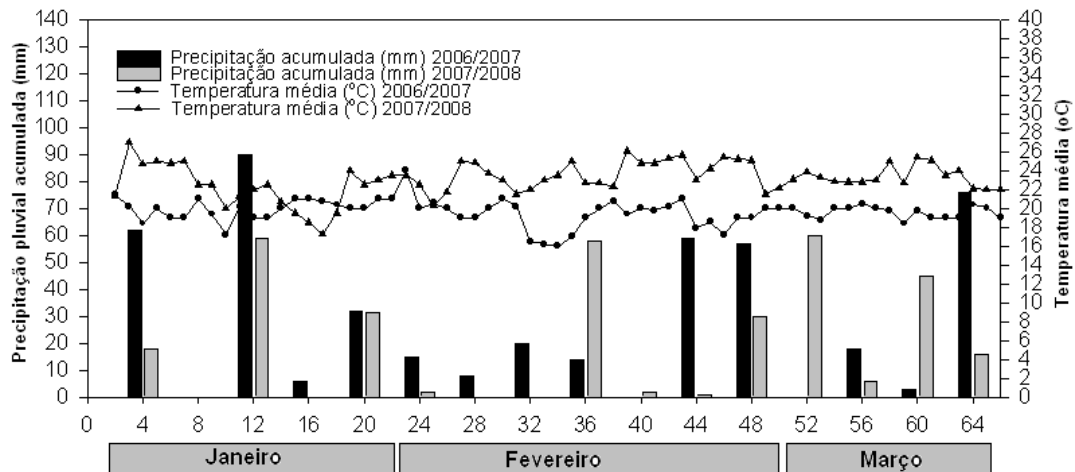
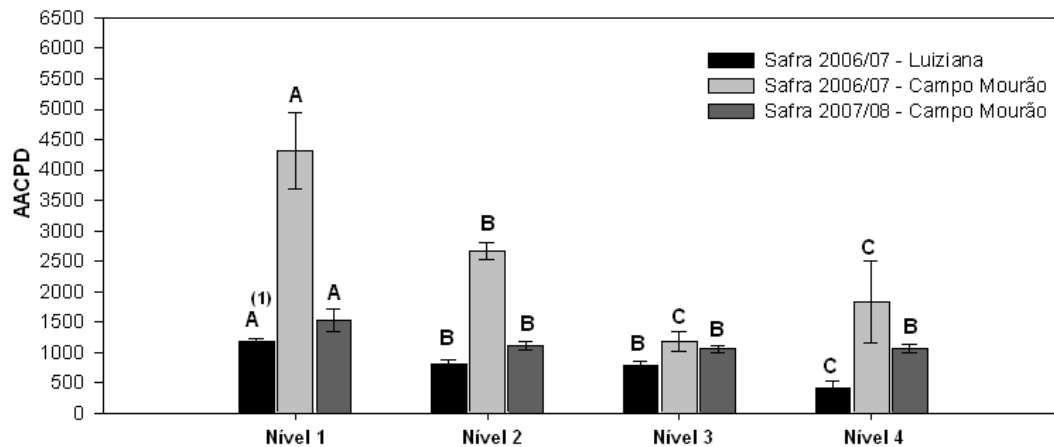


Figura 4 – Dados diários de precipitação pluvial acumulada, temperatura média observadas durante no período 10/01/2006 a 14/03/2007 (safra 2006/07) e 10/01/2007 a 14/03/2008 (safra 2007/08) no município de Campo Mourão - PR.

Plantas de soja tratadas com doses crescentes de tebuconazole apresentaram diferentes valores de área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (Figura 5).



(1) Colunas da mesma cor seguidas da mesma letra não diferem entre a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-knott. Coeficiente de variação: 23,2; 36,3 e 15,7%, respectivamente.

Figura 5 – Área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em plantas tratadas com tebuconazole em função do tempo (AACPD). Plantas não-tratadas (Nível 1) e tratadas (Níveis 2, 3 e 4, correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente), safras 2006/07 e 2007/08 – Luiziana e Campo Mourão - PR.

Analisando os resultados de AACPD da incidência da ferrugem asiática nas duas safras e três ensaios estudados, pode-se inferir que o fungicida reduziu significativamente a incidência da ferrugem asiática nas plantas. Na safra 2006/2007, em LZ, o maior nível de doença (nível 6) apresentou menor AACPD da incidência, por outro lado, em CM o menor foi no nível 4 (correspondente à dose recomendada do produto). Nos dois ensaios, as doses reduziram significativamente a AACPD da incidência (Figura 5).

### 3.1.2 Severidade

Na Figura 6, encontram-se as curvas de progresso de severidade da ferrugem asiática em LZ, safra 2006/07. Observou-se que a doença iniciou aos 87 dias após o plantio (DAP), quando as plantas se encontravam no estágio R<sub>5</sub> (início do enchimento de sementes) e atingiu o nível máximo de 15,5% na parcela não-tratada (Nível 1). Em Campo Mourão (CM), a doença iniciou aos 73 DAP em R<sub>4</sub> (plena formação de vagens) e atingiu 50,3% de severidade na parcela não-tratada (Nível 1), na mesma safra (Figura 6B).

Na safra 2007/08, em CM, a doença iniciou aos 96 DAP, quando as plantas se encontravam no estágio R<sub>5</sub> e chegou a 29,3% de severidade na parcela não-tratada (Nível 1)(Figura 6C).

A severidade da ferrugem asiática foi maior em CM, onde iniciou mais cedo no ano agrícola 2006/07 (73 DAP) em estágio R<sub>4</sub>, cujo plantio da variedade BRS 154 foi mais tardio (25/11/2006), e atingiu os maiores níveis de severidade (Figura 4B). Em LZ, o plantio foi mais cedo (05/11/2006), utilizando-se uma variedade semiprecoce (Embrapa 48), a doença iniciou em R<sub>5</sub>, observando-se menores níveis de severidade.

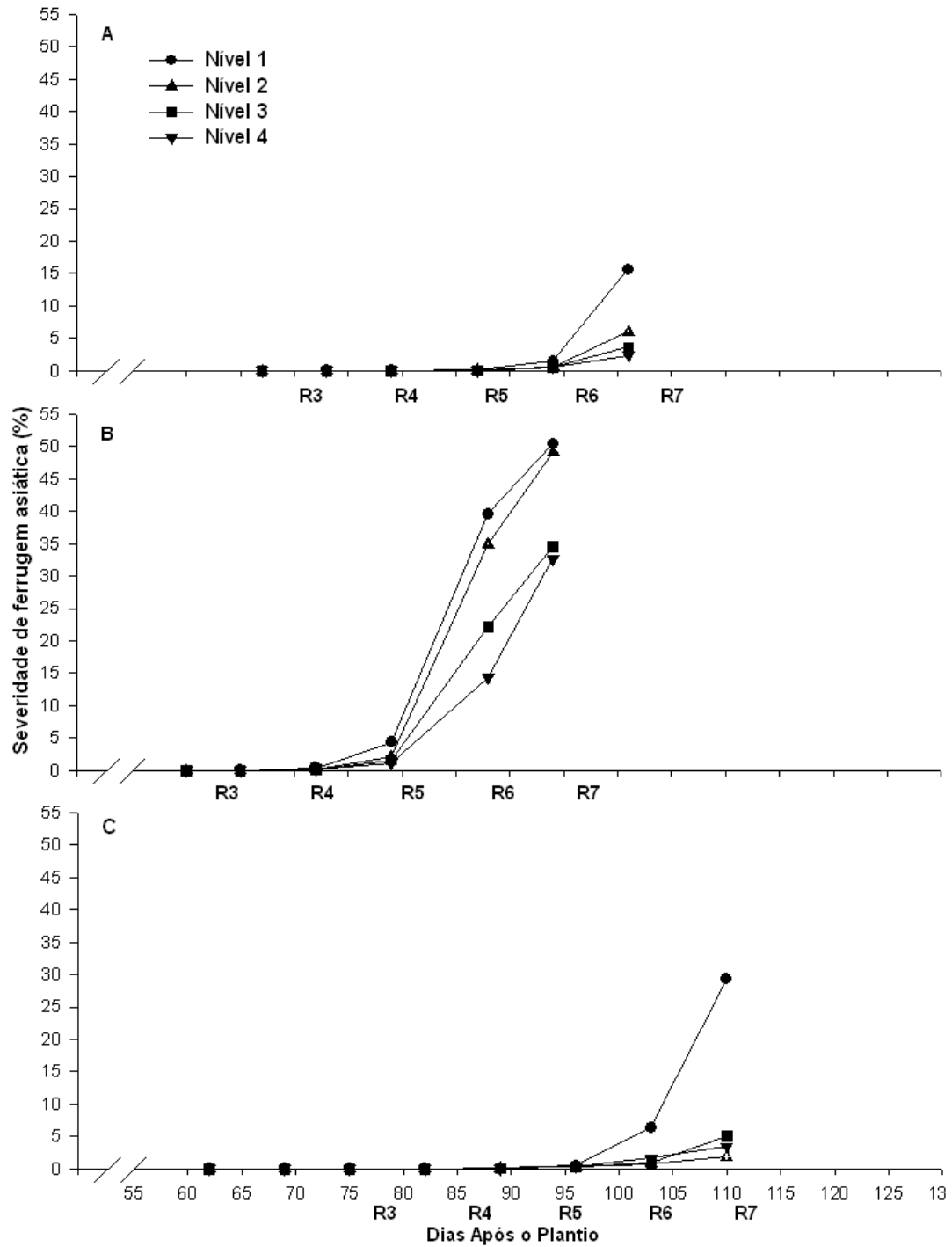
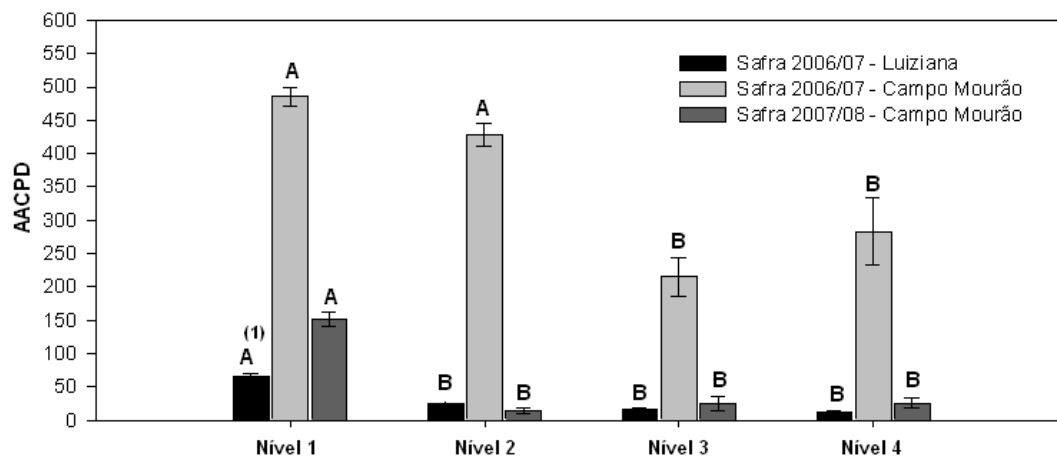


Figura 6 – Curvas de progresso da severidade da ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*) para níveis crescentes de doença nas safras 2006/07 - Luiziana e Campo Mourão (A e B) e 2007/08 – Campo Mourão (C). Plantas não-tratadas (Nível 1) e tratadas (Níveis 2, 3 e 4, correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).



A AACPD expressa a proporção de doença versus tempo e é a variável que melhor representa uma epidemia, pois considera todas as avaliações conjuntamente e resume-se em um só valor. Assim, a AACPD da severidade da ferrugem asiática em folhas tratadas com tebuconazole, em função do tempo, obtida para os diferentes níveis de doença, encontra-se na Figura 7. Foi possível observar a diferença no padrão das epidemias ocorrida em CM, safra 2006/07 e 2007/08, com a primeira epidemia mais severa.



(1) Colunas da mesma cor seguidas da mesma letra não diferem entre a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-knott. Coeficiente de variação: 32,1; 27,2 e 15,8% respectivamente.

Figura 7 – Área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*) em folhas tratadas com tebuconazole em função do tempo (AACPD). Plantas não-tratadas (Nível 1) e tratadas (Níveis 2, 3 e 4, correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente), safras 2006/07 e 2007/08 – Luiziana e Campo Mourão - PR.

### 3.1.3 Ajuste do modelo

#### 3.1.3.1 Incidência

Entre os modelos testados de progresso temporal de doença (monomolecular, logístico e Gompertz), o logístico foi o que se apresentou mais adequado para descrever o progresso de incidência da ferrugem asiática nas duas safras estudadas. Este modelo apresentou maiores coeficientes de

determinação ( $R^2$ ) e menores resíduos (Tabelas 1,2 e 3; Figuras 8,9 e 10). Na safra 2006/07 em LZ, para o modelo logístico, os valores de  $R^2$  variaram entre 0,79 a 0,87; para o modelo monomolecular a variação foi de 0,46 a 0,68 e para Gompertz a variação foi de 0,77 a 0,89 (Tabela 1). Do mesmo modo, em CM, para o modelo logístico, os valores de  $R^2$  variaram entre 0,73 a 0,90; para o modelo monomolecular de 0,39 a 0,77 e para Gompertz a variação foi de 0,70 a 0,91 (Tabela 2).

Tabela 1 – Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de incidência da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrizi*) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2006/07 em Luiziana/PR.

Intensidade**	$R^2$ a	$R^{*2}$ b	$b_1$ c	$dp_{b1}$ d	$b_2$ c	$dp_{b2}$ d
Monomolecular						
Nível 4	0,44	0,46	-0,2794	0,2136	0,0469	0,0125
Nível 3	0,67	0,68	-0,2770	0,1675	0,0601	0,0098
Nível 2	0,52	0,62	-0,3032	0,2542	0,0666	0,0148
Nível 1	0,67	0,57	-0,7083	0,4261	0,1531	0,0249
Logístico						
Nível 4	0,79	0,85	-7,7178	0,5965	0,2923	0,0349
Nível 3	0,92	0,87	-6,6468	0,3461	0,3082	0,0202
Nível 2	0,77	0,79	-5,8957	0,5904	0,2762	0,0345
Nível 1	0,83	0,85	-5,5523	0,6176	0,3497	0,0361
Gompertz						
Nível 4	0,69	0,77	-2,4023	0,2979	0,1108	0,0174
Nível 3	0,88	0,89	-2,1843	0,1855	0,1293	0,0108
Nível 2	0,74	0,81	-2,0397	0,3025	0,1273	0,0177
Nível 1	0,79	0,84	-2,2727	0,4331	0,2142	0,0253

<sup>a</sup> Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), assim como os valores de  $b_1$  e  $b_2$  foram estimados pela regressão linear dos valores de incidência em função do tempo em dias.

<sup>b</sup> Coeficiente de determinação obtido entre os valores previstos e observados.

<sup>c</sup>  $b_1$  e  $b_2$  referem-se, respectivamente, à quantidade de inóculo inicial ( $y_0$ ) e à taxa de progresso da doença ( $r$ ), estimados pelos modelos.

<sup>d</sup> Desvio-padrão obtido para cada variável, segundo o ajuste dos modelos.

\*\* Nível 1 (Plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Tabela 2 – Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de incidência da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrizi*) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2006/07 em Campo Mourão - PR.

Intensidade**	R <sup>2</sup> <sup>a</sup>	R <sup>*2</sup> <sup>b</sup>	b <sub>1</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b1</sub> <sup>d</sup>	b <sub>2</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b2</sub> <sup>d</sup>
Monomolecular						
Nível 4	0,69	0,49	-1,5427	0,8440	0,2996	0,0469
Nível 3	0,66	0,39	-1,6302	0,8955	0,2965	0,0498
Nível 2	0,82	0,50	-1,5067	0,7230	0,3741	0,0418
Nível 1	0,86	0,77	-1,1928	0,6131	0,3677	0,0341
Logístico						
Nível 4	0,88	0,84	-6,4152	0,7567	0,5029	0,0421
Nível 3	0,86	0,85	-6,3227	0,8076	0,4864	0,0449
Nível 2	0,89	0,73	-5,0890	0,7525	0,5237	0,0418
Nível 1	0,90	0,90	-4,1368	0,6854	0,4958	0,0381
Gompertz						
Nível 4	0,78	0,74	-3,0355	0,7925	0,3596	0,0440
Nível 3	0,75	0,70	-3,1411	0,8592	0,3551	0,0478
Nível 2	0,86	0,71	-2,7065	0,7013	0,4228	0,0390
Nível 1	0,90	0,91	-2,1606	0,5666	0,4090	0,0315

<sup>a</sup> Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), assim como os valores de  $b_1$  e  $b_2$  foram estimados pela regressão linear dos valores de incidência em função do tempo em dias.

<sup>b</sup> Coeficiente de determinação obtido entre os valores previstos e observados.

<sup>c</sup>  $b_1$  e  $b_2$  referem-se, respectivamente, à quantidade de inóculo inicial ( $y_0$ ) e à taxa de progresso da doença ( $r$ ), estimados pelos modelos.

<sup>d</sup> Desvio-padrão obtido para cada variável segundo o ajuste dos modelos.

\*\* Nível 1 (Plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Tabela 3 – Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de incidência da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrizi*) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2007/08 em Campo Mourão - PR.

Intensidade	R <sup>2</sup> <sup>a</sup>	R <sup>*2</sup> <sup>b</sup>	b <sub>1</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b1</sub> <sup>d</sup>	b <sub>2</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b2</sub> <sup>d</sup>
Monomolecular						
Nível 4	0,29	0,37	-0,8669	0,5009	0,0681	0,0174
Nível 3	0,37	0,37	-0,8293	0,3990	0,0649	0,0136
Nível 2	0,52	0,43	-0,6464	0,2369	0,0526	0,0080
Nível 1	0,62	0,16	-2,2884	0,7136	0,1931	0,0243

Tabela 3, Cont.

Logístico						
Nível 4	0,77	0,90	-9,0290	0,6088	0,2388	0,0207
Nível 3	0,79	0,91	-9,1204	0,5700	0,2360	0,0194
Nível 2	0,84	0,93	-8,8463	0,4587	0,2236	0,0156
Nível 1	0,83	0,82	-10,2622	0,7749	0,3707	0,0264
Gompertz						
Nível 4	0,51	0,82	-3,1709	0,5246	0,1134	0,0179
Nível 3	0,60	0,82	-3,1598	0,4316	0,1105	0,0147
Nível 2	0,73	0,87	-2,9623	0,2814	0,0983	0,0096
Nível 1	0,70	0,57	-4,5710	0,7403	0,2420	0,0252

<sup>a</sup> Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), assim como os valores de  $b_1$  e  $b_2$  foram estimados pela regressão linear dos valores de incidência em função do tempo em dias.

<sup>b</sup> Coeficiente de determinação obtido entre os valores previstos e observados.

<sup>c</sup>  $b_1$  e  $b_2$  referem-se, respectivamente, à quantidade de inóculo inicial ( $y_0$ ) e à taxa de progresso da doença ( $r$ ), estimados pelos modelos.

<sup>d</sup> Desvio-padrão obtido para cada variável segundo o ajuste dos modelos.

\*\* Nível 1 (Plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Na safra 2007/2008, os valores de  $R^{*2}$  variaram entre 0,82 a 0,93; 0,16 a 0,43 e 0,57 a 0,87, para os modelos logístico, monomolecular e Gompertz, respectivamente (Tabela 3).

Comparando as curvas de progresso em LZ e CM, nas duas safras (Figuras 8, 9 e 10), estimadas pelo modelo logístico obtidos entre os valores de incidência observados, verificou-se que a proporção final de incidência da ferrugem asiática foi, praticamente igual 1,0 em todas as dosagens somente em CM na safra 2006/07 (Figura 9). Isso evidencia a elevada intensidade da epidemia na região durante a referida safra.

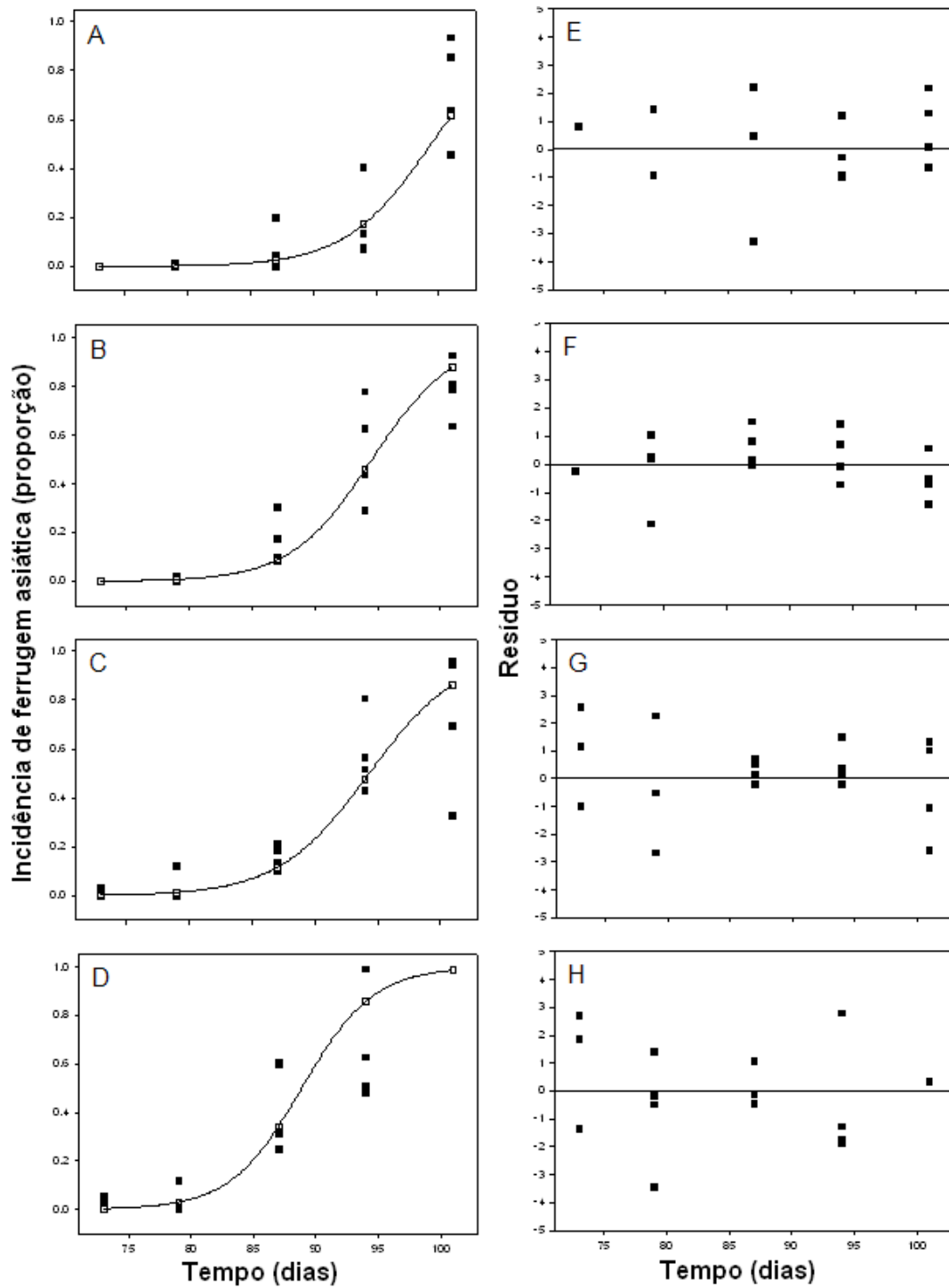


Figura 8 – Curva de progresso de incidência de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2006/07 em Luiziana-PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H).

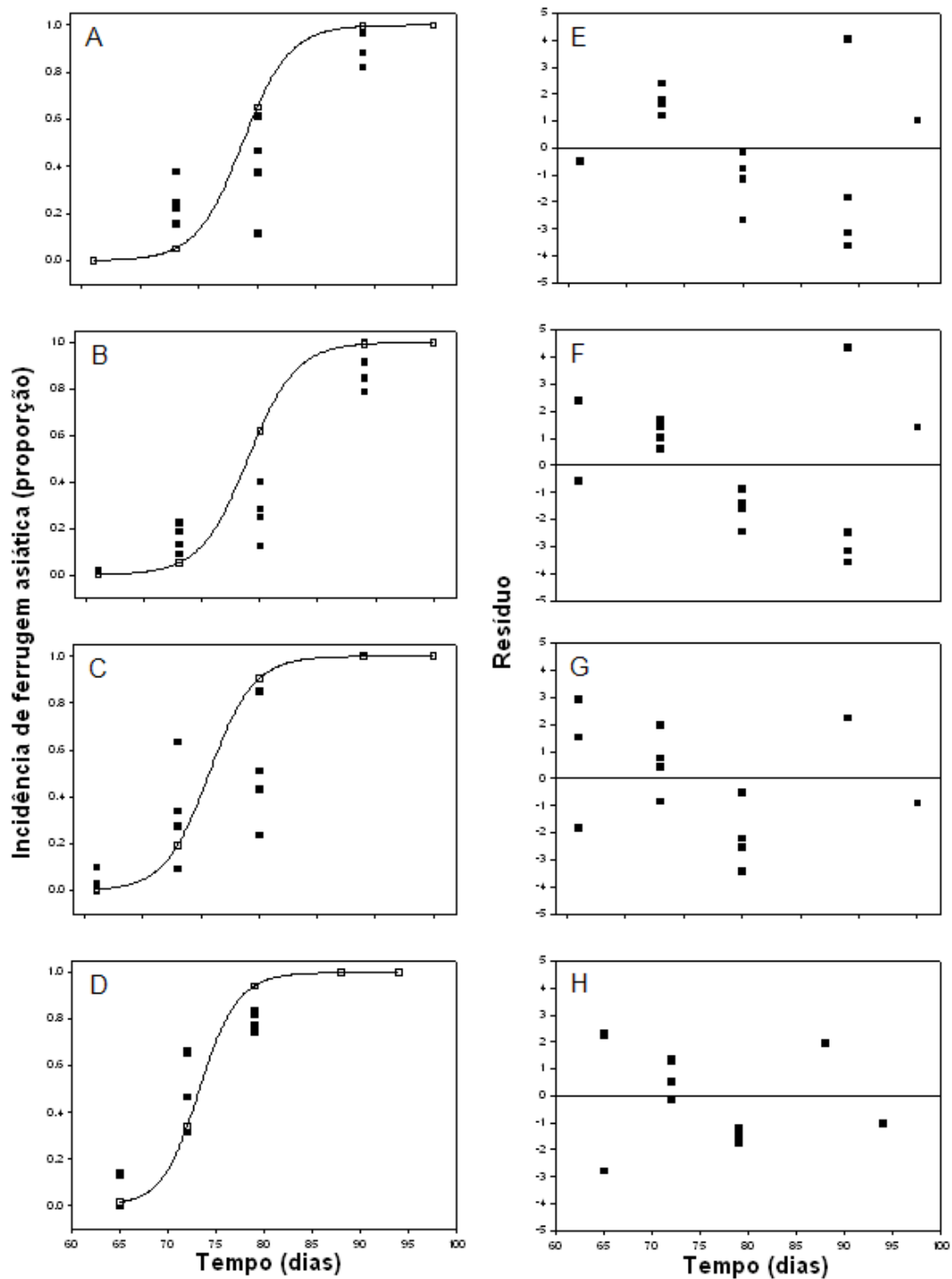


Figura 9 – Curva de progresso de incidência de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2006/07, Campo Mourão - PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H).

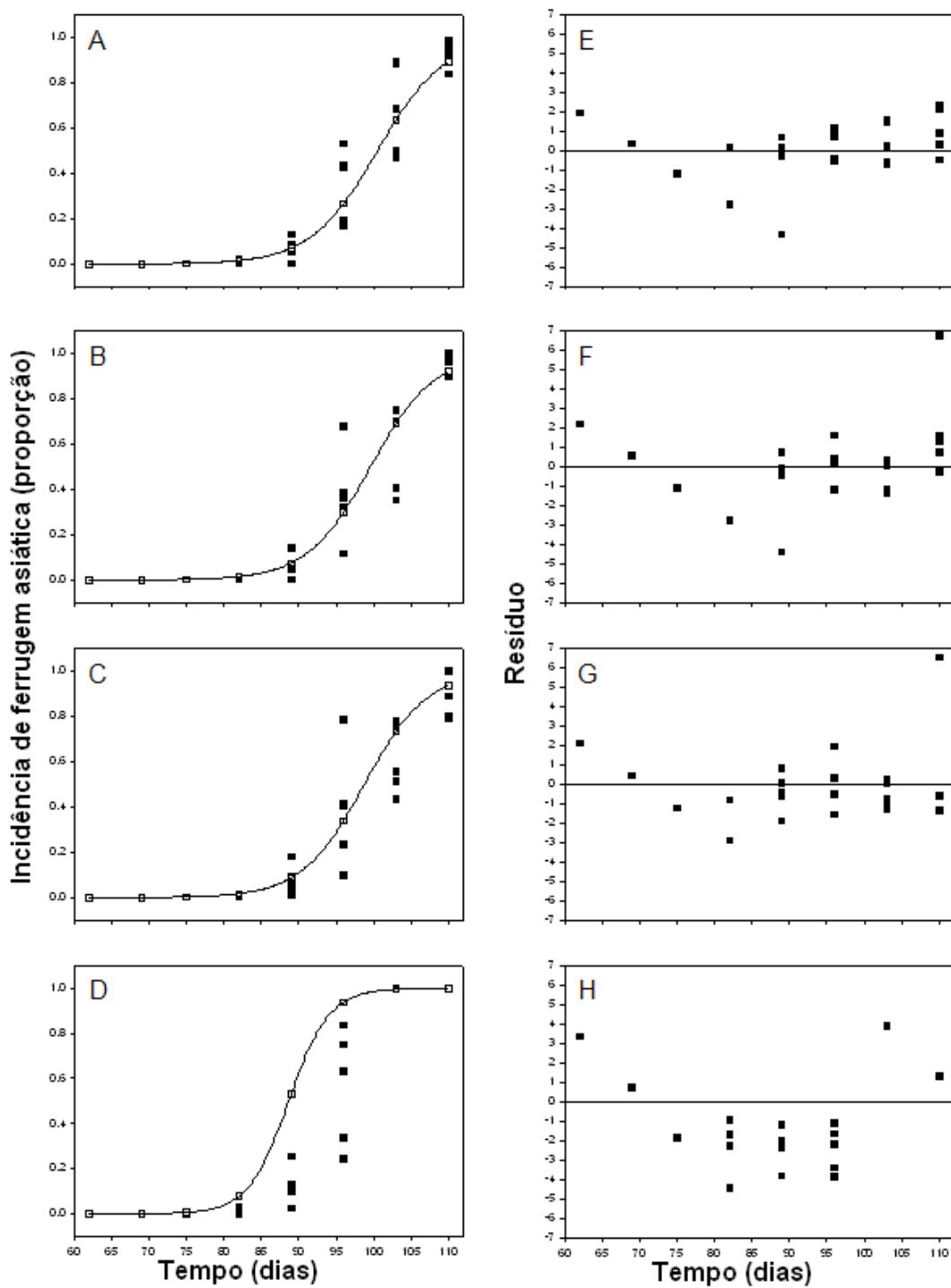


Figura 10 – Curva de progresso de incidência de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2007/08, Campo Mourão - PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H).

### 3.1.3.2 Severidade

Entre os modelos testados de progresso temporal de doença (monomolecular, logístico e Gompertz), o logístico foi o que se apresentou mais adequado para descrever o progresso da severidade da ferrugem asiática nas duas safras estudadas. Este modelo apresentou maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e menores resíduos (Tabelas 4, 5 e 6; Figuras 11, 12 e 13).

Tabela 4 – Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de severidade da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrizi*) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2006/07 em Luiziana/PR.

Intensidade	$R^2$ <sup>a</sup>	$R^{*2}$ <sup>b</sup>	$b_1$ <sup>c</sup>	$dp_{b_1}$ <sup>d</sup>	$b_2$ <sup>c</sup>	$dp_{b_2}$ <sup>d</sup>
Monomolecular						
Nível 4	0,53	0,53	-0,0033	0,0027	0,0007	0,0001
Nível 3	0,48	0,48	-0,0057	0,0046	0,0011	0,0002
Nível 2	0,54	0,54	-0,0104	0,0067	0,0018	0,0003
Nível 1	0,53	0,52	-0,0305	0,0187	0,0049	0,0010
Logístico						
Nível 4	0,79	0,77	-7,3275	0,2237	0,1091	0,0131
Nível 3	0,81	0,74	-7,4732	0,2394	0,1245	0,0140
Nível 2	0,78	0,88	-7,5279	0,2975	0,1402	0,0174
Nível 1	0,82	0,91	-7,5527	0,3301	0,1770	0,0193
Gompertz						
Nível 4	0,75	0,74	-2,0212	0,0473	0,0206	0,0027
Nível 3	0,75	0,71	-2,0525	0,0558	0,0243	0,0032
Nível 2	0,73	0,84	-2,0776	0,0717	0,0293	0,0042
Nível 1	0,75	0,85	-2,1281	0,0989	0,0427	0,0057

<sup>a</sup> Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), assim como os valores de  $b_1$  e  $b_2$  foram estimados pela regressão linear dos valores de severidade em função do tempo em dias.

<sup>b</sup> Coeficiente de determinação obtido entre os valores previstos e observados.

<sup>c</sup>  $b_1$  e  $b_2$  referem-se, respectivamente, ao intercepto, à quantidade de inóculo inicial ( $y_0$ ) e à taxa de progresso da doença ( $r$ ), estimados pelos modelos.

<sup>d</sup> Desvio-padrão obtido para cada variável segundo o ajuste dos modelos.

\*\* Nível 1 (Plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).



Tabela 5 – Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de severidade da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrizi*) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2006/07 em Campo Mourão - PR.

Intensidade	R <sup>2</sup> <sup>a</sup>	R <sup>*2</sup> <sup>b</sup>	b <sub>1</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b1</sub> <sup>c</sup>	b <sub>2</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b2</sub> <sup>d</sup>
Monomolecular						
Nível 4	0,67	0,68	-0,0808	0,0453	0,0153	0,0025
Nível 3	0,63	0,64	-0,0739	0,0416	0,0130	0,0023
Nível 2	0,73	0,71	-0,1310	0,0629	0,0249	0,0035
Nível 1	0,83	0,78	-0,1288	0,0500	0,0261	0,0027
Logístico						
Nível 4	0,93	0,79	-7,2630	0,2559	0,2341	0,0142
Nível 3	0,95	0,86	-7,3456	0,2014	0,2263	0,0112
Nível 2	0,92	0,83	-7,2398	0,3020	0,2559	0,0168
Nível 1	0,97	0,88	-6,7553	0,1748	0,2497	0,0097
Gompertz						
Nível 4	0,89	0,85	-2,1507	0,1033	0,0698	0,0057
Nível 3	0,89	0,86	-2,1571	0,0948	0,0648	0,0052
Nível 2	0,88	0,91	-2,2055	0,1278	0,0855	0,0071
Nível 1	0,95	0,95	-2,1116	0,0823	0,0863	0,0045

<sup>a</sup> Os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), assim como os valores de b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> foram estimados pela regressão linear dos valores de severidade em função do tempo em dias.

<sup>b</sup> Coeficiente de determinação obtido entre os valores previstos e observados.

<sup>c</sup> b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> referem-se, respectivamente, ao intercepto, à quantidade de inóculo inicial (y<sub>0</sub>) e à taxa de progresso da doença (r), estimados pelos modelos.

<sup>d</sup> Desvio-padrão obtido para cada variável segundo o ajuste dos modelos.

\*\* Nível 1 (Plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Tabela 6 – Parâmetros dos modelos Monomolecular, Logístico e Gompertz ajustados por meio de regressão linear aos dados de severidade da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrizi*) em folhas, tratadas com tebuconazole, no ano agrícola 2007/08 em Campo Mourão - PR.

Intensidade	R <sup>2</sup> <sup>a</sup>	R <sup>*2</sup> <sup>b</sup>	b <sub>1</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b1</sub> <sup>d</sup>	b <sub>2</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b2</sub> <sup>d</sup>
Monomolecular						
Nível 4	0,34	0,34	-0,0062	0,0038	0,0005	0,0001
Nível 3	0,30	0,29	-0,0084	0,0052	0,0007	0,0001
Nível 2	0,38	0,38	-0,0028	0,0019	0,0003	0,0000
Nível 1	0,40	0,40	-0,0634	0,0280	0,0048	0,0009

Tabela 6, Cont.

Logístico						
Nível 4	0,72	0,54	-7,6561	0,2079	0,0693	0,0071
Nível 3	0,70	0,53	-7,6930	0,2157	0,0703	0,0073
Nível 2	0,73	0,56	-7,5208	0,1679	0,0583	0,0057
Nível 1	0,73	0,85	-8,1961	0,3337	0,1158	0,0113
Gompertz						
Nível 4	0,65	0,52	-2,0820	0,0465	0,0133	0,0015
Nível 3	0,62	0,49	-2,0936	0,0507	0,0138	0,0017
Nível 2	0,68	0,54	-2,0471	0,0341	0,0105	0,0011
Nível 1	0,64	0,77	-2,2871	0,1057	0,0297	0,0036

<sup>a</sup> Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), assim como os valores de  $b_1$  e  $b_2$  foram estimados pela regressão linear dos valores de severidade em função do tempo em dias.

<sup>b</sup> Coeficiente de determinação obtido entre os valores previstos e observados.

<sup>c</sup>  $b_1$  e  $b_2$  referem-se, respectivamente, ao intercepto, à quantidade de inóculo inicial ( $y_0$ ) e à taxa de progresso da doença ( $r$ ), estimados pelos modelos.

<sup>d</sup> Desvio-padrão obtido para cada variável segundo o ajuste dos modelos.

\*\* Nível 1 (Plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Na safra 2006/07 em LZ, para o modelo logístico, os valores de  $R^{*2}$  variaram entre 0,74 a 0,91; para o modelo monomolecular de 0,48 a 0,54 e para Gompertz a variação foi de 0,71 a 0,85 (Tabela 4). Do mesmo modo, em CM, para o modelo logístico, os valores de  $R^{*2}$  variaram entre 0,79 a 0,88; para o modelo monomolecular de 0,64 a 0,78 e para Gompertz a variação foi de 0,85 a 0,95 (Tabela 5).

Na safra 2007/2008, para o modelo logístico, os valores de  $R^{*2}$  variaram entre 0,53 a 0,85; para o modelo monomolecular variaram de 0,29 a 0,40 e para Gompertz a variação foi de 0,49 a 0,77 (Tabela 6).

As curvas de progresso da ferrugem asiática em LZ e CM, na safra 2006/2007 e CM na safra 2007/2008, estimadas pelo modelo logístico obtido entre os valores de severidade observados, indicaram diferentes padrões (Figuras 11, 12 e 13). Foi constatada a proporção máxima de severidade de 0,6 em plantas não-tratadas (nível 1) somente em CM, safra 2006/07. Por outro lado, em plantas tratadas com fungicida, houve redução para 0,5 (nível 2), 0,3 (nível 3) e 0,3 % (nível 4) respectivamente, somente em CM na safra 2006/07 (Figura 12). Isso evidencia a elevada severidade na safra, em que a doença causou maior epidemia na região.

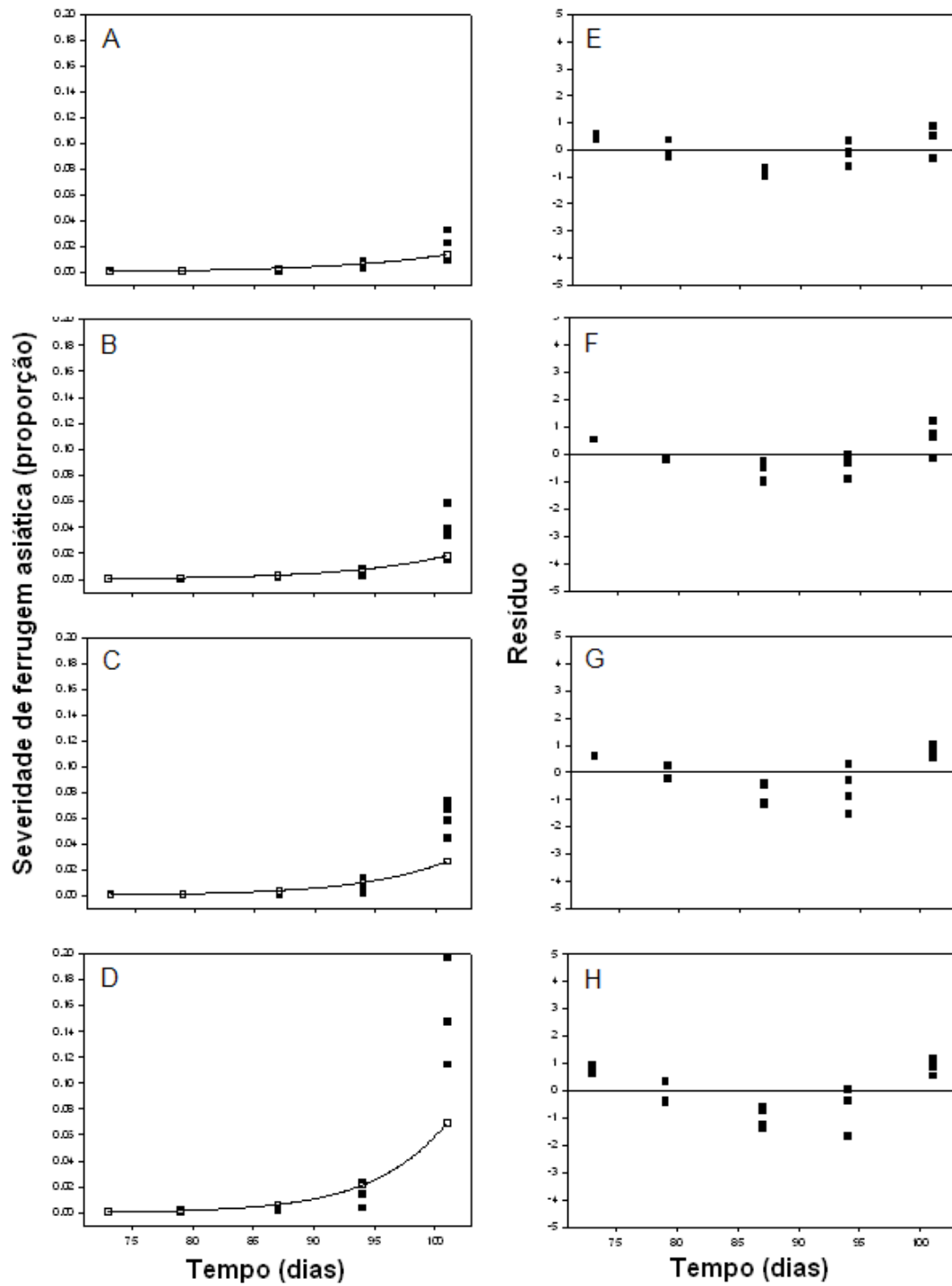


Figura 11 – Curva de progresso da severidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2006/07 em Luiziana-PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H).

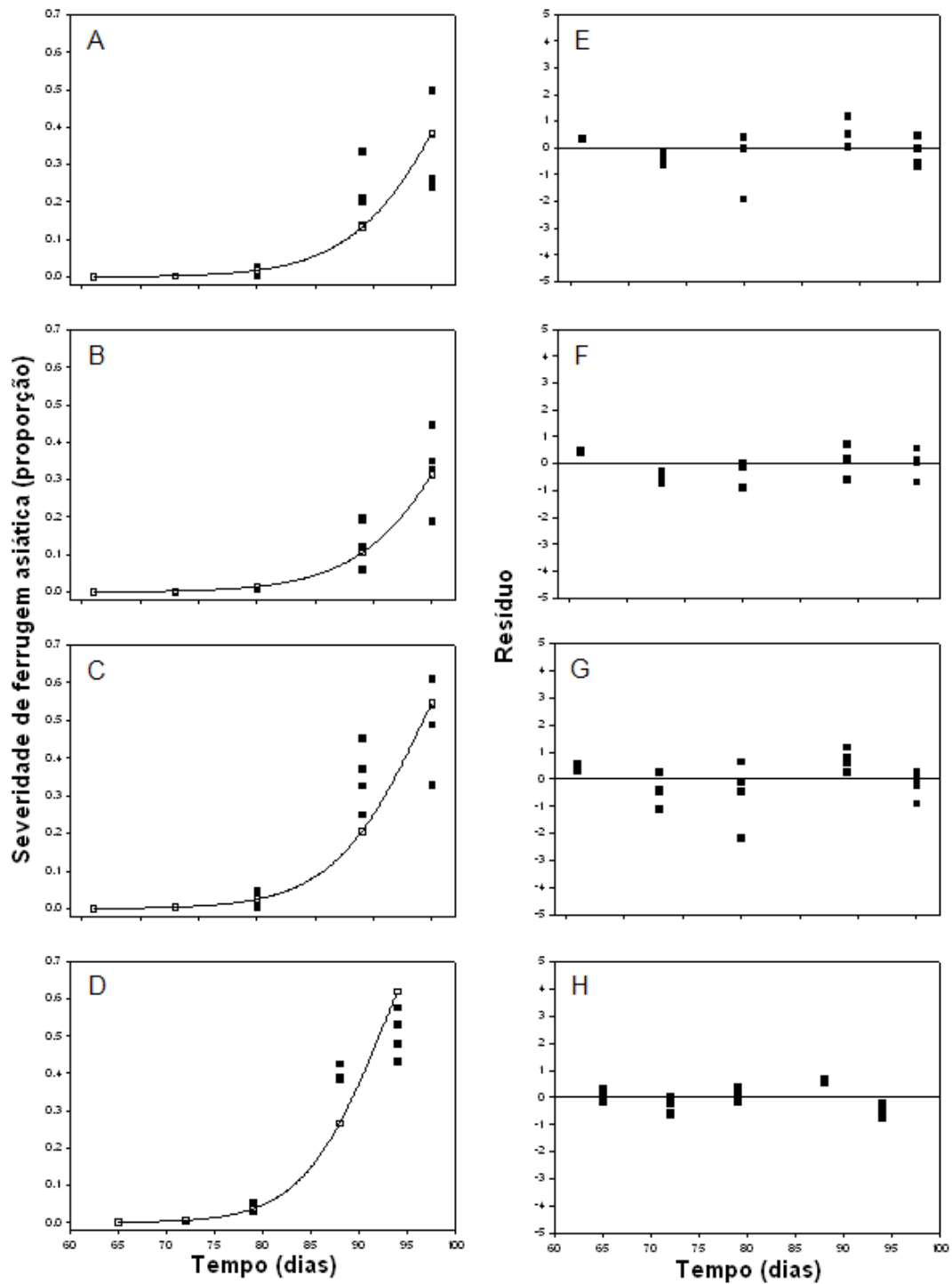


Figura 12 – Curva de progresso da severidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2006/07, Campo Mourão - PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H).

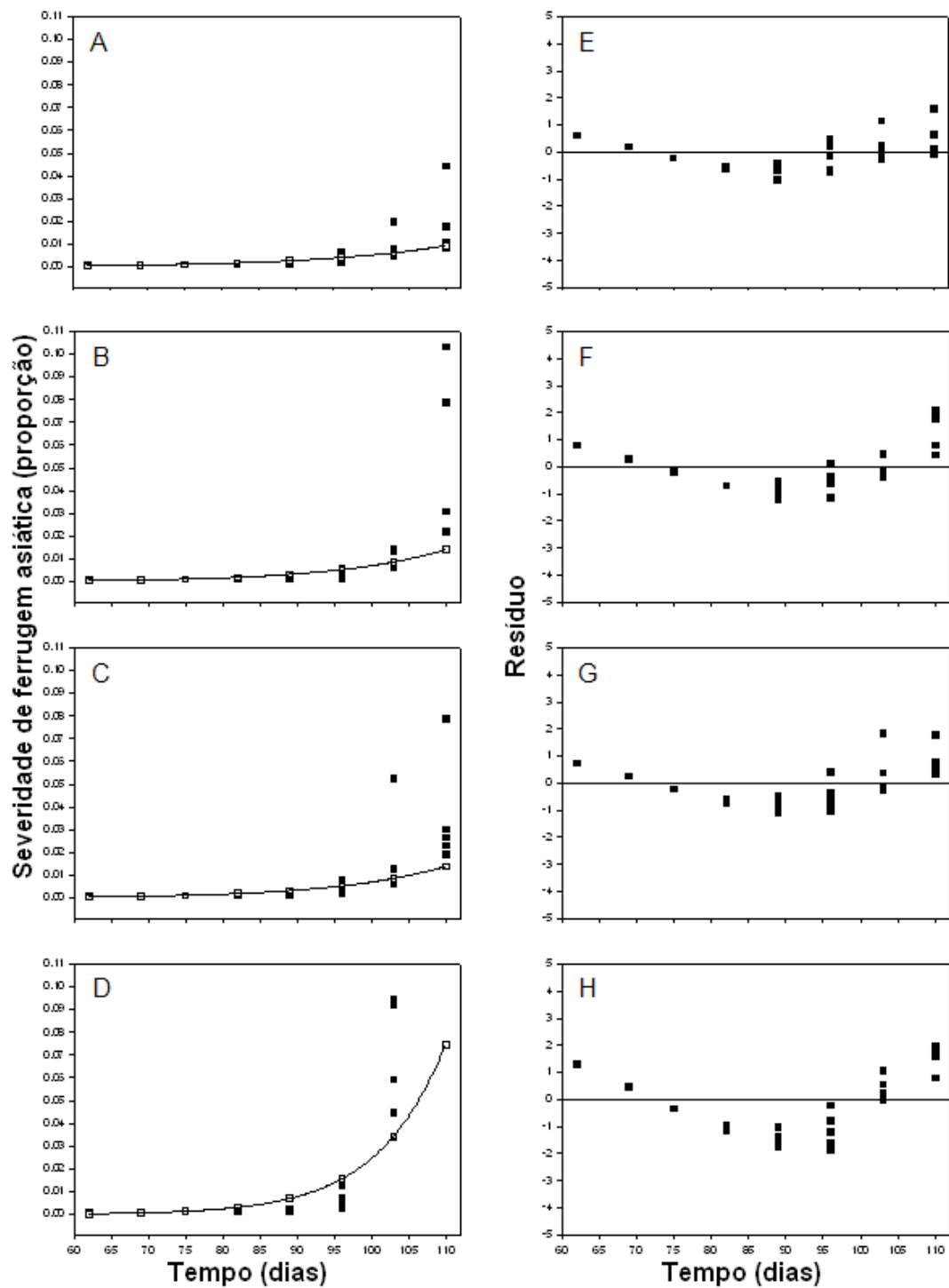


Figura 13 – Curva de progresso de severidade de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) estimada pelo modelo logístico e os respectivos resíduos obtidos entre os valores observados e estimados na safra 2007/2008, Campo Mourão - PR, em folhas tratadas com tebuconazole: níveis 4 (A e E), 3 (B e F), 2 (C e G) e 1 (D e H).

Comparando as taxas de progresso da ferrugem asiática nas duas safras e três ensaios, observou-se que somente para incidência na safra 2006/07 em LZ e CM, não houve diferença significativa entre os níveis de doença. Esse resultado indica que a doença cresceu na mesma velocidade nos dois municípios (Tabela 7). Entretanto, ao analisar a AACPD da incidência nas duas safras, foi possível observar que as plantas não-tratadas com fungicida (nível 1) apresentaram nível de incidência significativamente diferente em relação a plantas tratadas e ainda apresentaram níveis significativamente diferentes de incidência entre as plantas tratadas com diferentes dosagens de tebuconazole (níveis 2, 3 e 4) (Figura 5).

Tabela 7 – Taxa de progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) ( $r$ ) estimado pelo modelo logístico para os dados de incidência e severidade para plantas de soja tratadas e não-tratadas com tebuconazole em Luiziana – LZ e Campo Mourão – CM/PR, safras 2006/07 e 2007/08.

Intensidade**	Safr 2006/07				Safr 2007/08	
	Incidência*		Severidade*		Incidência*	Severidade*
	$r$ (LZ)	$r$ (CM)	$r$ (LZ)	$r$ (CM)	$r$ (CM)	$r$ (CM)
Nível 1	0,342 a	0,385 a	0,185 a	0,243 a	0,279 a	0,122 a
Nível 2	0,250 a	0,403 a	0,147 b	0,236 ab	0,204 b	0,056 c
Nível 3	0,298 a	0,447 a	0,125 bc	0,211 b	0,222 b	0,076 b
Nível 4	0,289 a	0,473 a	0,109 c	0,215 b	0,215 b	0,069 bc
CV%	21,6	16,3	11,5	7,6	15,7	16,3

\* Nas colunas, as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

\*\* Nível 1 (plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Para a severidade, houve diferença significativa na taxa de progresso da doença ( $r$ ) estimada para o modelo logístico para os diferentes níveis de doença, segundo o test-t (Tabela 7). Por outro lado, ao analisar a AACPD da severidade nas duas safras, foi possível observar que, no geral, os níveis de doença das plantas tratadas com fungicida apresentaram níveis de severidade significativamente diferentes em relação ao nível de doença das plantas não-tratadas (Figura 6). Em LZ, safra 2006/07, onde o plantio foi mais cedo, não foi

observada diferença significativa entre os níveis de severidade. Em CM, onde o plantio foi tardio e a epidemia mais severa, nos níveis de doença das plantas tratadas a partir do nível 3 (correspondente a dose recomendada), a severidade foi significativamente menor. Na safra 2007/08, em CM, a epidemia foi menos severa e não se observou diferença significativa no nível de severidade de plantas protegidas pelo fungicida (Figura 6).

### **3.2 Quantificação de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi* no ar**

Na Figura 14, são apresentadas a quantidade de urediniósporos de *P. pachyrhizi*, coletados no período de 1º/12/2006 a 31/12/2008, a intensidade de ferrugem asiática e a temperatura média do período em Campo Mourão - PR. Constatou-se que os primeiros urediniósporos foram coletados no dia 08/12/2006 na primeira safra e no dia 11/12/2007 na segunda safra (Figura 14A).

Urediniósporos foram detectados e capturados durante vários dias (a partir de dezembro), porém, a maior quantidade coincidiu com o aumento da intensidade da doença. A ocorrência da doença nas plantas de soja foi verificada em R3 (início da formação das vagens), na primeira safra e em R4 (plena formação de vagens) na segunda safra (Figura 14B). A partir desses estádios, observou-se aumento explosivo na quantidade de urediniósporos coletados, diminuindo após o final do ciclo da soja.

A incidência e a severidade da doença atingiram o máximo quando a quantidade de urediniósporos foi maior nas duas safras (Figura 14). Coincidindo com a precipitação pluvial diária e com distribuição mais regular durante o período reprodutivo, nas duas safras. A umidade relativa variou de 65 a 100% no período (Figura 15).

A natureza policíclica da ferrugem está relacionada à disponibilidade de tecido verde suscetível da planta. Assim, os coletores de urediósoros foram mantidos no campo no período da entressafra de soja e observou-se que a partir do mês de março ocorreu diminuição na quantidade de urediniósporos coletados. Esse período coincide com o início da colheita de soja na região, onde praticamente não se encontram mais plantas de soja com tecido verde. A partir do mês de maio de 2007 até o início de dezembro do mesmo ano, não foram detectados urediniósporos nos coletores (Figura 14A).

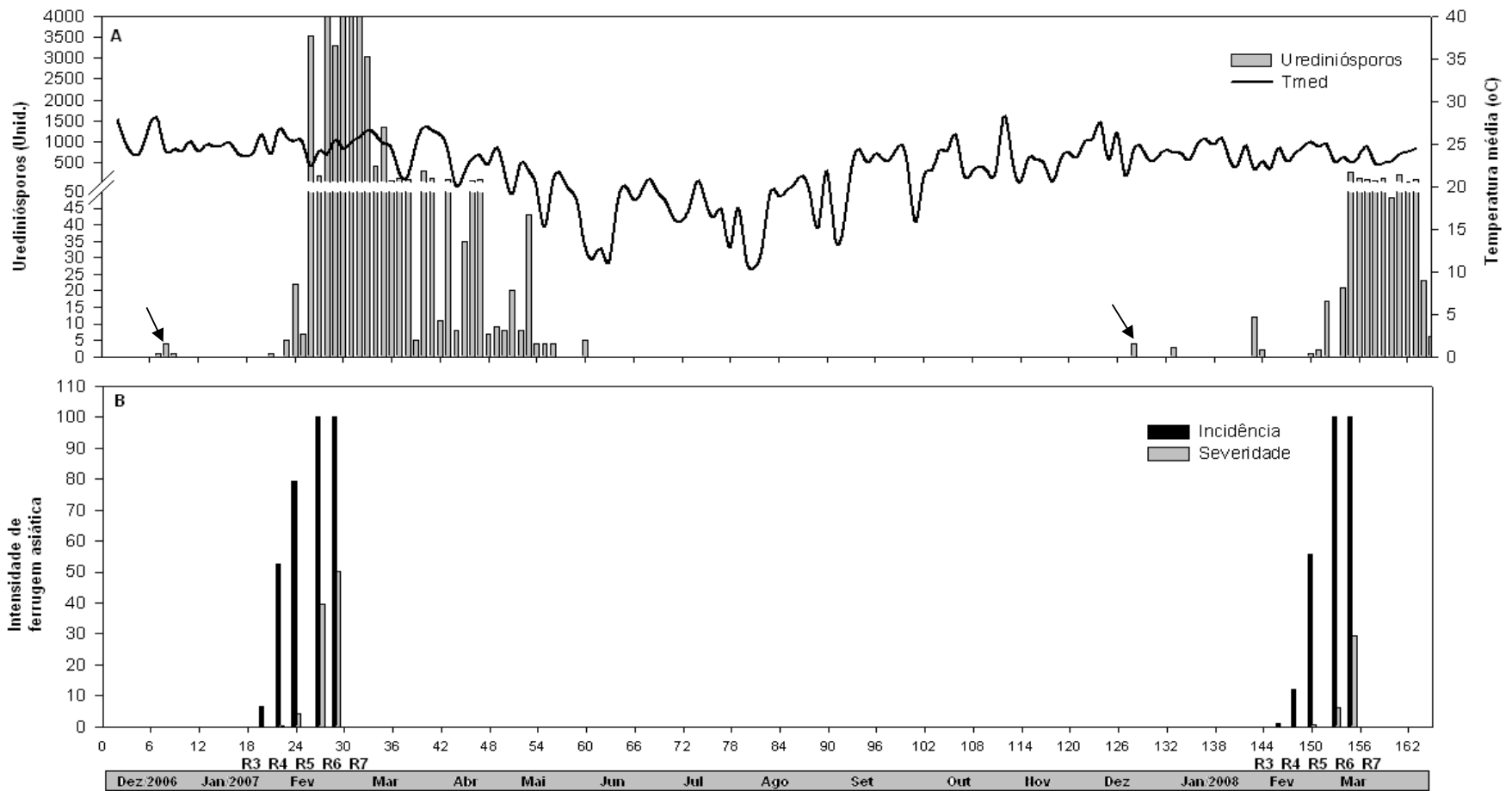


Figura 14 – Urediniósporos de *Phakospora pachyrhizi* coletados de 1º de dezembro de 2006 a 31 de março de 2008 e Temperatura média (°C) (A). Intensidade de ferrugem asiática nas safras 2006/07 e 2007/08 (B). A seta indica o início da coleta de urediniósporos . Campo Mourão - PR.



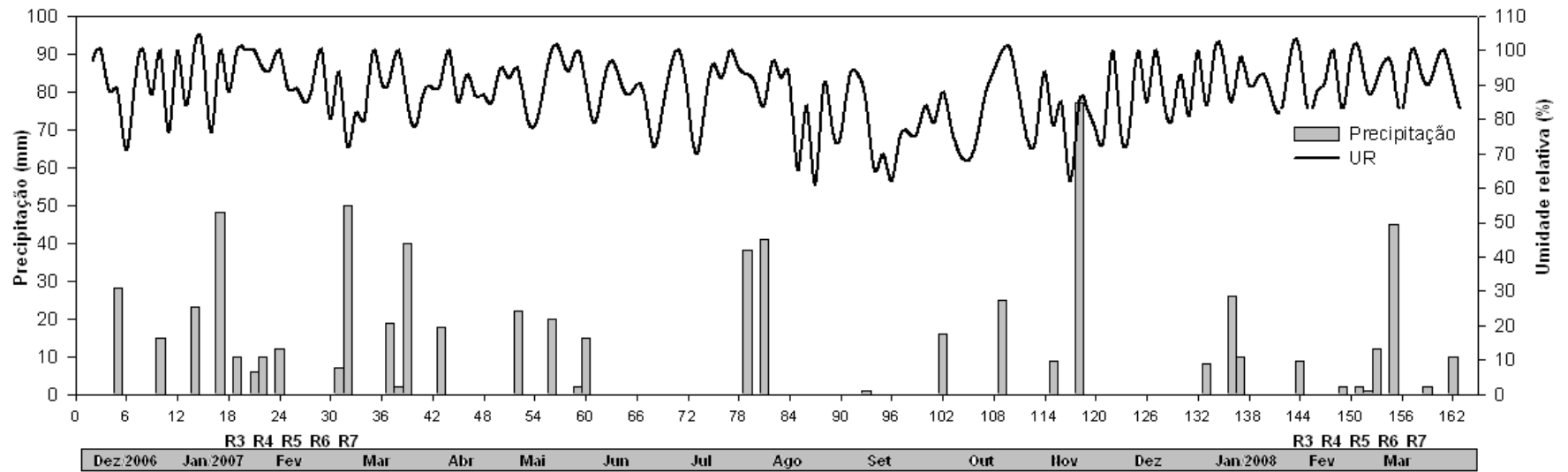


Figura 15 – Precipitação pluvial (mm) e umidade relativa (%) no período de 1º/12/2006 a 31/03/2008. Campo Mourão - PR.

Nas Tabelas 8 e 9 encontram-se os resultados de análise de correlação entre urediniósporos coletados, intensidade de ferrugem e variáveis climáticas nas safras 2006/07 (primeira safra) e 2007/08 (segunda safra) em Campo Mourão – PR.

De modo geral, o número de urediniósporos coletados correlacionou-se positivamente com a intensidade da ferrugem asiática e precipitação nas duas safras (Tabelas 8 e 9). Na primeira safra, na coleta de urediniósporos ocorreram correlações positivas com severidade (Sev), precipitação acumulada (PA) e número de dias com precipitação de 0 a 1 mm (Nd0) ( $r = 0,94$ ;  $0,95$  e  $0,94$ , respectivamente) ( $P < 0,001$ ) (Tabela 8). Do mesmo modo, na segunda safra, além da severidade, a coleta de urediniósporos correlacionou-se positivamente com o número acumulado de dias favoráveis (DF), definido como a combinação de dias com umidade relativa de 90 a 100% e temperatura entre 18 e 26°C, e com o número de dias com precipitação acima de 5 mm (Nd5), ( $r = 0,93$ ;  $0,93$  e  $0,93$ , respectivamente) ( $P < 0,001$ ) (Tabela 9).

Tabela 8 – Correlação entre urediniósporos coletados, intensidade de ferrugem asiática e variáveis climáticas na safra agrícola 2006/07 em Campo Mourão - PR.

	Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis <sup>a</sup>										
	Urediniósporos coletados <sup>b</sup>	Incidência <sup>c</sup>	Severidade <sup>d</sup>	DF <sup>e</sup>	Tmédia <sup>f</sup>	Tmínima <sup>f</sup>	Tmáxima <sup>f</sup>	PA <sup>g</sup>	Nd <sub>0</sub> <sup>h</sup>	Nd <sub>1</sub> <sup>h</sup>	Nd <sub>5</sub> <sup>h</sup>
Urediniósporos coletados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Incidência	0,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Severidade	0,94*	0,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF	0,90	0,82	0,84	-	-	-	-	-	-	-	-
Tmedia	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-	-	-
Tmínima	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-	-
Tmáxima	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-
PA	0,95*	0,81	0,90	0,98*	NS	NS	NS	-	-	-	-
Nd <sub>0</sub>	0,94*	0,83	0,90	0,97*	NS	NS	NS	0,99*	-	-	-
Nd <sub>1</sub>	0,77	0,70	0,69	0,92*	NS	NS	NS	0,91	0,90	-	-
Nd <sub>5</sub>	0,89	0,91	0,87	0,97*	NS	NS	NS	0,96*	0,96*	0,89	-

<sup>a</sup> Coeficientes de correlação significativo (P = 0,05), exceto os valores marcados com \* (P < 0,001).

<sup>b</sup> Número acumulado de urediniósporos de *P. pachyrhizi* coletados durante sete dias antes de cada avaliação da doença.

<sup>c</sup> Incidência de ferrugem asiática.

<sup>d</sup> Severidade de ferrugem asiática.

<sup>e</sup> Número acumulado de dias favoráveis correspondente a sete dias antes de cada avaliação da doença. DF foi definido com temperatura entre 18 e 26°C combinada com umidade relativa de 90 a 100%.

<sup>f</sup> Tmed, Tmin, Tmax, Médias das médias, mínimas e máximas temperaturas, respectivamente.

<sup>g</sup> PA Precipitação acumulada durante as avaliação da doença.

<sup>h</sup> Nd<sub>0</sub>, Nd<sub>1</sub>, Nd<sub>5</sub>, Número de dias com precipitação entre 0-1, 1-5 mm e acima de 5 mm, respectivamente.

Tabela 9 – Correlação entre urediniósporos coletados, intensidade de ferrugem asiática e variáveis climáticas na safra agrícola 2007/08 em Campo Mourão - PR.

	Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis <sup>a</sup>										
	Urediniósporos coletados <sup>b</sup>	Incidência <sup>c</sup>	Severidade <sup>d</sup>	DF <sup>e</sup>	Tmédia <sup>f</sup>	Tmínima <sup>f</sup>	Tmáxima <sup>f</sup>	PA <sup>g</sup>	Nd <sub>0</sub> <sup>h</sup>	Nd <sub>1</sub> <sup>h</sup>	Nd <sub>5</sub> <sup>h</sup>
Urediniósporos coletados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Incidência	0,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Severidade	0,93*	0,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF	0,93*	0,92*	0,89	-	-	-	-	-	-	-	-
Tmédia	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-	-	-
Tmínima	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-	-
Tmáxima	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	-	-	-
PA	0,90	0,94*	0,90	0,98*	NS	NS	NS	-	-	-	-
Nd <sub>0</sub>	0,89	0,91*	0,86	0,98*	NS	NS	NS	0,98*	-	-	-
Nd <sub>1</sub>	0,79	0,45	0,58	0,68	NS	NS	NS	0,58	0,64	-	-
Nd <sub>5</sub>	0,93*	0,93*	0,89	0,99*	NS	NS	NS	0,99*	0,98*	0,64	-

<sup>a</sup> Coeficientes de correlação significativo (P = 0,05), exceto os valores marcados com \* (P < 0,001).

<sup>b</sup> Número acumulado de urediniósporos de *P. pachyrhizi* coletados durante sete dias antes de cada avaliação da doença.

<sup>c</sup> Incidência de ferrugem asiática.

<sup>d</sup> Severidade de ferrugem asiática.

<sup>e</sup> Número acumulado de dias favoráveis correspondente a sete dias antes de cada avaliação da doença. DF foi definido com temperatura entre 18 e 26°C combinada com umidade relativa de 90 a 100%.

<sup>f</sup> Tmed, Tmin, Tmax, Médias das médias, mínimas e máximas temperaturas, respectivamente.

<sup>g</sup> PA Precipitação acumulada durante as avaliação da doença.

<sup>h</sup> Nd<sub>0</sub>, Nd<sub>1</sub>, Nd<sub>5</sub>, Número de dias com precipitação entre 0-1, 1-5 mm e acima de 5 mm, respectivamente.

#### 4. DISCUSSÃO

Durante as duas safras estudadas, a doença ocorreu em maior ou menor intensidade, de acordo com as condições climáticas, e isso se refletiu em padrões diferentes das epidemias no campo.

Os níveis de incidência da ferrugem asiática atingiram 100% nos três ensaios avaliados nas duas safras nas parcelas não-tratadas com fungicida. No entanto, em parcelas tratadas em LZ, safra 2006/07, e CM safra 2007/08 (primeira safra), o nível de incidência foi de 78 e 93%, respectivamente. Em CM, na safra 2007/08 (segunda safra), o nível de incidência foi 100% em plantas tratadas e não-tratadas. Esses resultados demonstraram que a proteção das plantas com o fungicida não evitou o aumento da incidência da doença no campo. Por outro lado, os níveis de severidade máxima da doença variaram entre os três ensaios. Em LZ, onde o plantio foi feito mais cedo, o nível de severidade foi de 15%, em CM foi de 50% na primeira safra. Na segunda safra, em CM o nível de severidade máxima atingiu 29%. Resultados com diferentes intensidades da doença foram obtidos por Alves et al. (2007) ao estudarem o efeito do binômio temperatura e molhamento foliar na incidência e na severidade da ferrugem asiática. Os autores concluíram que, dependendo da temperatura, do número de horas de molhamento foliar e da sua combinação, pode haver diferença na intensidade da doença.

Segundo Del Ponte et al. (2006), existe alta correlação com a precipitação e baixa com a temperatura no período de 30 dias após a detecção da doença para epidemias de ferrugem da soja estudadas em 2002/03 e 2004/05 no Brasil. Segundo os autores, informações de precipitação, em maio, permitem definir regiões com maior risco de epidemia. A chuva pode prolongar o molhamento foliar pelo orvalho, promover a deposição de esporos nas plantas, sua liberação por turbulência e ainda baixar a temperatura no interior do dossel das plantas. Comparando as condições ambientais nas duas safras do presente trabalho, verificou-se que a temperatura média na primeira safra foi em torno de 20°C e na segunda foi de 23°C. A precipitação acumulada foi maior e melhor distribuída na primeira safra e menor na segunda. Portanto, se

considerar que a maior precipitação acumulada aumenta o período de molhamento foliar, essa condição pode ter favorecido a ocorrência da epidemia mais severa na primeira safra. Segundo Sinclair e Backman (1989), as epidemias mais severas de ferrugem asiática tem sido observadas em áreas onde as temperaturas médias diárias são menores que 28°C, com precipitações ou longos períodos de molhamento foliar (10 a 12 h) ocorrendo em toda a safra. Marchetti et al. (1976) demonstraram que a capacidade infectiva de *P. pachyrhizi* variou conforme a combinação do binômio temperatura e período de molhamento foliar. A infecção máxima ocorreu em temperatura de 20-25°C e 12 h de molhamento. O molhamento mínimo necessário para ocorrer infecção foi de 6 h. Nas temperaturas de 15 e 17,5°C, o mínimo de molhamento necessário para infecção foi 10 e 8 h, respectivamente. Independente do período de molhamento foliar não houve doença em plantas incubadas na temperatura de 27,5°C. Experimentos conduzidos no Brasil, com a cultivar BRS 154, revelaram efeitos semelhantes, porém em condições controladas. Neste caso, o fungo necessitou de no mínimo 6 e no máximo 24 h de água livre para infectar, com faixa de temperatura ideal entre 15 e 25°C e temperatura ótima de 23°C. O período latente diminuiu conforme o aumento da temperatura. Em 10, 20 e 28°C, o período latente foi de 30, 10 e 12 dias, respectivamente (ALVES et al., 2006).

O efeito da chuva no desenvolvimento da epidemia pode estar ligado a diferentes processos do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. De acordo com Melching, Bromfield e Kingsolver (1979), os urediniósporos de *P. pachyrhizi* não são facilmente liberados pelo vento, pois formam grupos e ficam fortemente aderidos uns aos outros. Assim, o impacto da gota de chuva sobre a folha de soja pode contribuir para o processo de disseminação da doença. Outro aspecto a ser considerado é o vento de maior velocidade que precede um período chuvoso, o que poderia aumentar a liberação dos urediniósporos. A chuva pode realizar a deposição desses urediniósporos liberados pelo vento e, numa etapa seguinte, fornecer molhamento foliar para o processo de infecção. Além desses efeitos nos processos de disseminação e infecção, existem outras maneiras para a chuva influenciar direta ou indiretamente o desenvolvimento da doença. *P. pachyrhizi* não é favorecido por temperaturas maiores que 28°C,

dessa maneira, a chuva também exerce o papel de diminuir a temperatura no macro e microclima durante as fases de pré-penetração e penetração.

O modelo logístico foi que melhor ajustou os dados da ferrugem asiática, com valores de  $R^2$  entre 0,73-0,93 para incidência e 0,53-0,91 para severidade. No entanto, observou-se redução nas taxas de progresso da doença, que foram maiores na primeira safra e menores na segunda. Portanto, provavelmente, essa redução deve-se a fatores climáticos e/ou do patógeno, visto que foi utilizada a mesma variedade nas duas safras. Segundo Tsukahara et al. (2008), o modelo logístico foi o que melhor se ajustou aos dados de severidade da ferrugem asiática com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,95 e 0,98 em Arapoti e Castro - PR. Do mesmo modo, o modelo logístico também foi o que melhor ajustou os dados de severidade, conforme Gastaldi (2005) no Paraná e Reis (2006) no Rio Grande do Sul. Estudos realizados por YANG et al (1990), em Taiwan, indicaram que a duração da epidemia de ferrugem asiática foi diferente em plantios realizados na primavera, verão e outono. Durante dois anos de observação, no outono, as epidemias atingiram níveis máximos 40-60 dias após o plantio, no entanto, no verão, os níveis máximos de doença ocorreram após 80-100 dias. Uma possível explicação é que a maior sensibilidade da soja ao fotoperíodo do verão resulte em maiores taxas de crescimento com o consequente comprometimento do desenvolvimento da doença, além da sensibilidade do patógeno ao fotoperíodo (KOCH; HOPPE, 1987).

Comparando o progresso da ferrugem asiática nos três ensaios, observou-se que na primeira safra a severidade da doença foi maior em relação à segunda. Por outro lado na primeira safra, embora as condições ambientais tenham sido favoráveis, em LZ, a severidade da doença foi menor, quando comparada com a segunda safra em CM. Isso provavelmente se explica pelo fato do plantio ter sido mais cedo em LZ, quando havia menor disponibilidade de inóculo da doença na região, e ainda ter sido utilizada uma variedade semiprecoce. Em CM, onde o plantio foi mais tardio, observou-se maior severidade. Segundo Gonçalves et al. (2007), variedades de soja semiprecoces apresentam menor severidade da doença possivelmente por atingirem o estágio de maturação mais cedo no campo. O plantio mais tardio favorece o desenvolvimento da ferrugem e apresenta maiores índices de

severidade e menor produtividade (XAVIER et al., 2007). Silva et al. (2007) verificaram que o progresso da ferrugem asiática e a severidade variaram em função da época de semeadura em Uberlândia - MG. Nas cultivares semeadas em novembro, a doença apareceu no estágio R<sub>5</sub> (início de formação de sementes). Nas cultivares semeadas em dezembro, a doença apareceu no estágio R<sub>3</sub> (início de formação de vagens), apresentando maior severidade. Os autores observaram que a ferrugem asiática foi mais agressiva na segunda época de semeadura, com grande e acelerada desfolha, o que causou redução drástica na produtividade da primeira para a segunda época, o que está diretamente relacionado à grande pressão de inóculo ocorrida na segunda época de semeadura. A utilização de cultivares precoces, semeadas no início da época recomendada para cada região, tem sido uma das práticas de manejo recomendadas para evitar redução na produtividade pela ferrugem. Além do mecanismo de escape das cultivares precoces, pelo menor tempo de exposição no campo, a ferrugem por ser um patógeno biotrófico, inicia sua multiplicação nas primeiras semeaduras, que servem para a multiplicação inicial do fungo, estando essas semeaduras sujeitas a menor pressão de inóculo (Oliveira et al., 2005).

O progresso da doença foi maior na primeira safra mesmo em plantas protegidas com fungicida (Figura 4B), e as condições climáticas foram mais favoráveis. Se for considerado que a precipitação nesta safra foi maior em relação à segunda, pode-se inferir que, provavelmente esse fator tenha sido a causa mais provável da maior severidade da ferrugem. Segundo Del Ponte et al. (2006), tal fato se explica pela pluviosidade ser correlacionada positivamente com a severidade final da doença. Porém, outros fatores podem ter sido determinantes para os elevados níveis de doença na segunda safra, dentre eles a quantidade de inóculo disponível na região, densidade de plantas e condições microclimáticas.

De modo geral, a quantidade de urediniosporos coletados está relacionado à presença de soja no campo. A elevada correlação entre severidade, precipitação acumulada e dias favoráveis e quantidade de urediniosporos coletados foi evidente neste trabalho. Isso se deve, provavelmente, à combinação de fatores como maior precipitação e maior severidade da doença e dias favoráveis. Do mesmo modo, estudo recente foi



demonstrado que a chuva tem papel principal no desenvolvimento da ferrugem da soja, a qual apresentou alta correlação com a severidade da doença (Del Ponte et al., 2006).

Segundo Bergamin Filho (2006), a alta correlação entre chuva e severidade final da doença pode ser explicada pela característica incomum de *P. pachyrhizi*, não-compartilhada com a maioria das outras ferrugens: urediniósporos do fungo tendem a permanecer aglomerados na urédia, não sendo facilmente liberados pela ação do vento. No entanto, as gotas de chuva exercem o papel de liberar os esporos, seja pelo efeito do *splash*, seja pelo impacto que causam nas folhas. Assim, a via anti-horária sempre supre a epidemia com urédias novas, independentemente da temperatura, e a chuva, quando cai, encarrega-se de disseminar os esporos nelas produzidos. Entretanto, segundo Madden (1997), a distância de transporte de conídios por respingo é muito curta, geralmente menor que 15 cm, e, portanto, a deposição dos esporos num sítio de infecção é o resultado de uma sequência contínua de respingos sobre a superfície do solo ou cobertura do solo e pelo dossel. No presente estudo, verificou-se que a precipitação, no período que precedeu a maior quantidade de urediniósporos coletados, chegou bem distribuídas a 50 mm (Figura 15).

A disseminação de propágulos, via aérea direta a longas distâncias, é comum como um dos principais meios de disseminação de doenças. Neste aspecto, as ferrugens foram bem estudadas, e para a ferrugem da folha do trigo (*Puccinia recondita* f. sp. *tritici*) foi verificado que a população que atacou plantações de trigo nas províncias de Quebec e Ontário, no Canadá, foram originadas de inóculo que migrou de Kansas e Oklahoma, nos Estados Unidos (KOLMER, 1992). A ferrugem do café (*Hemileia vastatrix*) atingiu a Bahia a partir de vôos transoceânicos de Angola na África (NAGARAJAN, 1990). Para *P. pachyrhizi*, segundo Hirano e Canteri (2007), a quantidade de urediniósporos liberados e a viabilidade diminuíram ao longo do dia nas folhas do ponteiro, mas nas folhas intermediárias a quantidade se manteve estável, porém a viabilidade também diminuiu no decorrer do dia. Além disso, outros fatores podem estar envolvidos, como: radiação solar, temperatura, peso do propágulo e vento. Além do efeito da radiação solar e da temperatura, a predominância dos ventos também contribui para dispersar o inóculo de fungos. Segundo De

Fina e Ravello (1972), a velocidade do vento sofre variação diária, apresentando grande analogia com a variação diária da temperatura. A velocidade do vento é muito menor durante a noite, aumentando desde a saída do sol até pouco depois do meio dia, momento em que alcança o valor máximo. De acordo com Fitt et al. (1989), muitos propágulos de patógenos podem ser detectados no ar na ausência de chuvas. A liberação dos esporos dispersados no ar seco mostra uma periodicidade diurna; frequentemente os esporos são coletados próximo ao meio dia quando a velocidade do vento é maior, a temperatura é mais elevada e a umidade relativa é menor. Aylor (1990) relata que muitos fungos, como por exemplo, *Puccinia* spp., *Ustilago* spp., *Erysiphe* spp. e *Drechslera* spp., são passivamente liberados pelo vento com esporos encontrados em alta concentração na atmosfera durante o dia, frequentemente alcançando máxima concentração próximo ao meio dia, quando a velocidade do vento e o nível de turbulência próximo ao solo normalmente é maior.

Os resultados do presente estudo demonstraram que em Campo Mourão - PR, a primeira constatação de urediniósporos ocorreu em 8/12/2006, na primeira safra e em 11/12/2007 na segunda. Isso evidencia que os urediniósporos estão presentes na região antes da constatação dos primeiros focos da doença, que ocorreram em 28/12/2006 na primeira safra e 19/12/2007 na segunda. Nos EUA, a presença de urediniósporos de ferrugem não significa necessariamente que possa ocorrer ferrugem na soja. Segundo Sconyers et al. (2006), a ferrugem asiática da soja foi relatada de cinco a 55 dias após ter sido detectado urediniósporos de *P. pachyrhizi* no ar em parcelas denominadas "sentinela" utilizando coletores de esporos. Em dois locais, foram detectados urediniósporos no ar, mas a doença não ocorreu.

Comparando as duas safras em CM, observou-se que, na primeira safra (2006/07), foi coletada maior quantidade de urediniósporos, isso se deve, provavelmente ao fato de que nesta safra ocorreu a maior epidemia de ferrugem na região. O incremento na quantidade de urediniósporos se deu a partir de R<sub>3</sub> (início da formação de vagens) na primeira safra e a partir de R<sub>4</sub> (plena formação de vagens) na segunda. Verificou-se que o aumento na quantidade de urediniósporos coletados coincidiu com o aumento da intensidade da doença no campo. Do mesmo modo e segundo Bento et al. (2006), houve incremento proporcional da quantidade de urediniósporos com

a severidade da doença no estágio R5. No início, R5.1 a severidade foi 18,8%, chegando a 36,7% em R6 quando a cultura começou a entrar em senescência natural, verificando-se assim a redução do número de urediniósporos no ar.

No presente trabalho, a utilização do coletor de esporos tipo catavento tem vantagens e desvantagens. Segundo Ingold (1971), o método de determinação de esporos no ar pelo impacto dos propágulos na lâmina tem mérito quanto à sua praticidade, porém, possui pouco valor quantitativo, principalmente porque as condições de turbulência da atmosfera devem favorecer o impacto de esporos grandes. Porém, o coletor utilizado permitiu quantificar eficientemente os urediniósporos de ferrugem asiática da soja, apesar de requerer treinamento prévio, pois além da captura dos urediniósporos de *P. pachyrhizi*, foram detectados esporos de outras espécies de fungos e grãos de pólen. Outra limitação prática se deve à contagem; em algumas lâminas, verificou-se um aglomerado de urediniósporos de *P. pachyrhizi*, o que dificulta a contagem. Tal fato, provavelmente esteja relacionado à hipótese do “clumping” descrita por Leite (2006). Tal hipótese, parte do fato de que os urediniósporos de *P. pachyrhizi* seriam produzidos em grupos nas pústulas. Os grupos seriam mais facilmente liberados das pústulas e dispersos pela chuva, e que o agrupamento facilitaria a sobrevivência durante a dispersão aérea.

Segundo Isard et al. (2006), urediniósporos submetidos à radiação solar e ultravioleta iguais ou superiores a 27,3 e 1,2 MJ/m<sup>2</sup>, respectivamente, não germinaram. A inoculação de urediniósporos submetidos à radiação solar moderada (10 MJ/m<sup>2</sup>) e alta (23 MJ/m<sup>2</sup>), em plantas de soja, resultou em níveis de doença significativamente menores. Esses autores também observaram que esporos oriundos de lesões de folhas em posição superior na planta germinaram menos que aqueles obtidos de folhas baixas, possivelmente decorrente da maior luminosidade no terço superior da planta. Possivelmente, a disseminação da ferrugem pelo vento a longas distâncias por correntes aéreas expõe os urediniósporos a grandes quantidades de luz ultravioleta que podem afetar a germinação.

Yang et al. (1990) observaram maior severidade da ferrugem asiática na primavera e no outono do que no verão, e que uma possível explicação seria pelo maior crescimento das plantas no fotoperíodo de verão, o que pode

ter atrasado o desenvolvimento da doença ou, por outro lado, pela sensibilidade dos urediniosporos de *P. pachyrhizi* à mudança do fotoperíodo.

Como mais uma ferramenta do manejo da ferrugem asiática, em 2006, foi instituído inicialmente nos Estados do Mato Grosso, Goiás e Tocantins, o 'vazio sanitário', que é o período de ausência de plantas de soja vivas no campo. O objetivo é o de reduzir a quantidade de urediniosporos no ambiente na entressafra e, dessa forma, inibir o ataque precoce da soja, pela presença de inóculo inicial menor. Considerando que o período máximo de viabilidade de urediniosporos de *P. pachyrhizi* é de 55 dias, o período do vazio varia de 60 a 90 dias. No Paraná, o vazio sanitário foi instituído pela Resolução N°120/2007 da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento/PR, que estabelece o período de 15 de junho a 15 de setembro de cada ano, em que é proibido o cultivo de soja. Apesar da coleta de urediniosporos do presente estudo, ter sido feita entre as safras 2006/07 e 2007/08, portanto, antes da implantação do vazio, verificou-se que na região de CM, onde foi mantido o coletor, no período compreendido entre os meses de maio a novembro/2007 não foi coletado urediniosporos de *P. pachyrhizi*.

## 5. CONCLUSÕES

- A combinação de maiores precipitações com temperaturas médias mais amenas, na primeira safra (2006/07), contribuiu para a maior epidemia em relação à segunda safra (2007/08).

- As maiores taxas de progresso da doença, tanto para incidência quanto para severidade, foram observadas na primeira safra refletindo o maior progresso independente da proteção com fungicida.

- A quantidade de urediniósporos coletados no ar foi relacionada à presença de soja no campo.

- Houve correlação positiva entre a quantidade de urediniósporos coletados, precipitação acumulada, intensidade da doença e dias favoráveis.

- A combinação precipitação – presença de urediniósporos – favorabilidade (definida como temperatura entre 18 e 26°C combinada com umidade relativa de 90 a 100%) determinam a epidemia de ferrugem asiática na cultura da soja.

## REFERÊNCIAS

ALVES, M. C. et al. Intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] nas cultivares Conquista, Savana e Suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. **Summa Phytopathol.**, Jaguariuna, v. 33, n. 3, p. 239-244, 2007.

ALVES, S. A. M.; FURTADO, G. Q.; BERGAMIM FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L. **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa: UFV, 2006. cap. 3, p. 15-32.

AYLOR, D. E. The role of intermittent wind in the dispersal of fungal pathogens. **Annu. Rev. Phytopathol.**, Palo Alto, v. 28, p. 73-92. 1990.

BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: ZAMBOLIM, L. **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa: UFV, 2006. cap. 2, p. 15-32.

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

BERGER, R. D. Early blight of celery: analysis of disease spread in Flórida. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 63, p. 1161-1165, 1973.

BLANCO, C. et al. Relationship among concentrations of *Sphaerotheca macularis* Conidia in the air, environmental conditions, and the incidence of powdery mildew in strawberry. **Plant Dis.**, Saint Paul, v. 88, n. 8, p. 878-881, 2004.

BLUM, L. E. B.; DIANESE, J. C. Padrões de liberação de uredinósporos e desenvolvimento da ferrugem do jambeiro. **Pesqui. Agropecu. Bras.**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 6, p. 845-850, 2001.

BROMFIELD, K. R. **Soybean rust**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1984.

PLOPER, D. L. et al. Proposals for management of soybean rust in northeast Argentina. **Av. Agroind.**, Tucuman, v. 25, p. 11-15, 2004.

CALDWELL, P.; LAING, M.; JULIAN, W. Soybean rust: an important new disease on soybeans. Disponível em: <[http://www.saspp.org/archived\\_articles/Pat\\_CaldwellJan2002.php](http://www.saspp.org/archived_articles/Pat_CaldwellJan2002.php)>. Acesso em: 21 jul. 2007

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

CARVALHO JUNIOR, A. A.; FIGUEREDO, M. B. A verdadeira identidade da ferrugem da soja no Brasil. **Summa Phytopathol.**, Botucatu, v. 26, n. 2, p. 197-200, 2000.

DE FINA, A. L.; RAVELLO, A. C. **Climatología y fenología agrícolas**. Eudeba: Editorial Universitária de Buenos Aires, 1972.

DEL PONTE, E. M. O clima e as epidemias de ferrugem da soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FERRUGEM ASIÁTICA, 2007, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2007. Palestra.

DEL PONTE, E. M. et al. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 96, n. 7, p. 797-803, 2006.

DESLANDES, J. A. Ferrugem da soja e de outras leguminosas causadas por *Phakopsora pachyrhizi* no Estado de Minas Gerais. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 4, n. 2, p. 337-339, 1979.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1999/2000**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. (Documentos, 131).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/alerta>>. Acesso em: 23 jul. 2007.

FITT, B. D. L.; McCARTNEY, H. A.; WALKATE, P. J. The role of rain in dispersal pathogen inoculum. **Annu. Rev. Phytopathol.**, Palo Alto, v. 27, p. 241-270, 1989.

GASTALDI, L. F. **Eficiência de fungicidas e efeito do ambiente na severidade da ferrugem asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi* em soja**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.

GONÇALVES, R. A. et al. Suscetibilidade de diferentes variedades de soja a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), no município de Taubaté, SP. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 32, supl., p. S149, 2007.

HARTMAN, G. L.; WANG, T. C.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust research: progress and future prospects. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 1994, Chang Mai. **Proceedings...** Bangkok: Kasetsart University Press, 1997. p. 180-186.

HIRANO, M.; CANTERI, M. G. Produção e germinação de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* em diferentes períodos do dia. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 32, supl., p.S237, 2007.

HOVMOLLER, M. S. Disease severity and pathotype dynamics of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in Denmark. **Plant Pathol.**, Oxford, v. 50, p. 181-189, 2001.

ISARD, S. A. et al. The effect of solar irradiance on the mortality of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. **Plant Dis.**, Saint Paul, v. 90, n. 7, p. 941-945, 2006.

ITO, M. F. et al. Ocorrência de ferrugem em soja, nos compostos IAC, macho-estéreis, em Campinas-SP. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 165. (Documentos, 185).

KOCH, E.; HOPPE, H. H. Effect of light on uredospore germination and germ tube growth of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.). **J. Phytopathol.**, Berlin, v. 119, p. 64-74, 1987.

KOLMER, J. A. Diversity of virulence phenotypes and effect of host sampling between and within populations of *Puccinia recondiae* f.sp. *tritici* in Canada. **Plant Dis.**, Saint Paul, v. 76, n. 6, p. 618-621, 1992.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KRANZ, J. The methodology of comparative epidemiology. In: KRANZ, J.; ROTEM, J. (Ed.). **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1988. p. 279-290.

LEITE, B. Aspects of spore germination research. In: SOYBEAN rust identification short course. Quincy: North Florida Research and Education Center, University of Florida, 2006. (IFAS 155 Research Road).



MARCHETTI, M. A.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 66, n. 6, p. 464-463, 1976.

NAGARAJAN, S. Long-distance dispersion of rust pathogens. **Annu. Rev. Phytopathol.**, Palo Alto, v. 28, p. 139-153, 1990.

MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R.; KINGSOLVER, C. H. Infection, colonization, and uredospore production on Wayne soybean by four cultures of *Phakopsora pachyrhizi*, the cause of soybean rust. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 69, p. 1262-1265, 1979.

NUNES JUNIOR, J.; YORINORI, J. T. **Ferrugem da soja**: evolução, sintomas, danos e controle. [S.I.]: Embrapa/Agência Rural/CTPA, 2003. (Documentos. 4).

OLIVEIRA, A. C. B.; GODOY, C. V.; MARTINS, M. C. Avaliação da tolerância de cultivares de soja à ferrugem asiática no Oeste da Bahia. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 30, n. 6, p. 658-662, 2005.

ONO, Y.; BURITICA, P.; HENNEN, J. F. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella*, and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. **Mycol. Res.**, Cambridge, v. 96, n. 10, p. 825-850, 1992.

PANISSON, E.; REIS, E. M.; BOLLER, W. Quantificação de propágulos de *Gibberella zeae* no ar e infecção de anteras em trigo. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 27, n. 5, p. 489-494, 2002.

PIVONIA, S.; YANG, X. B. Assessment of the Potential Year-Round Establishment of Soybean Rust Throughout the World. **Plant Dis.**, Saint Paul, v. 88, n. 5, p. 523-529, 2004.

REIS, E. M.; SANTOS, H. P. População de *Helminthosporium sativum* no ar quantificado através de uma armadilha tipo catavento. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 10, p. 515-519. 1985.

REIS, E.M. ZANATTA, M., MOREIRA, E.N., BOGOMI, R., REMOR, L.; BARUFFI, D.A. Curva de progresso da ferrugem da soja em Passo Fundo – RS. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 31, supl., p. S139, 2006.

SCONYERS, L. E. et al. Asian soybean rust development in 2005: a perspective from the outtheastern United States. [S.I.]: APSnet Feature Story, 2006.

SILVA, V. A. S.; JULIATTI, F. C.; SILVA, L. A. Interação entre resistência genética parcial e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Pesqui. Agropecu. Bras.**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 9, p. 1261-1268, 2007

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. Soybean rust. In: HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. (Ed.). **Compendium of soybean diseases**. 4. ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1999. p. 3-4.

SINCLAIR, J. B.; BACKMAN, P. A. **Compendium of soybean disease**. 3. ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1989.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. In: SOYBEAN RUST WORKSHOP, 1995, Urbana. **Proceedings...** Urbana : College of Agricultural, 1999.

SINCLAIR, J. B. **Compendium of soybean disease**. 2. ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1982.

STENNETT, P. J.; BEGGS, P. J. *Alternaria* spores in the atmosphere of Sydney, Australia and relationships with meteorological factors. **Int. J. Biometeorol.**, Lisse, v. 49, n. 2, p. 98-105, 2004.

TESSMANN, D. J. et al. Epidemiology of a neotropical rust (*Puccinia psidii*): periodical analysis of the temporal progress in a perennial host (*Syzygium jambos*). **Plant Pathol.**, Oxford, v. 50, p. 725-731, 2001.

TSUKAHARA, R. Y.; HIKISHIMA, M.; CANTERI, M. G. Relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. **Semin., Cienc. agrar.**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 47-52, jan./mar. 2008.

URASHIMA, A. S.; LEITE, S. F.; GALBIERI, R. Eficiência da disseminação aérea em *Pyricularia grisea*. **Summa Phytopathol.**, Jaguariuna, v. 33, n. 3, p. 275-279, 2007.

XAVIER, S. A. et al. Relação entre época de semeadura e progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da soja. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 32, supl., p. S264, 2007.

YANG, X. B., TSCHANZ, A. T., DOWLER, W. M., WANG, T. C. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybeans infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 81, n. 11, p. 1420-1426, 1991.

YANG, X.B. et al. Analysis and quantification of soybean rust epidemics from seventy-three sequential experiments. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 80, n. 12, p. 1421-1427, 1990.

YANG, X. B. et al. Analysis and quantification of soybean rust epidemics from seventy-three sequential experiments. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 80, n. 12, p. 1421-1427, 1990.

YORINORI, J. T. et al. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*):** identificação e controle. Londrina: Embrapa Soja, 2003. (Documentos, 204).

YORINORI, J. T. Ferrugem da soja: panorama geral. In: WORD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7., 2004, Foz do Iguaçu; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4., 2004, Foz do Iguaçu; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Londrina: Embrapa Soybean, 2004. p.1299-1307.

YORINORI, J. T. et al. Reações de cultivares de soja a ferrugem “asiática” (*Phakopsora pachyrhizi*). In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.149.

YORINORI, J. T.; MOREL PAIVA, W. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)**. Londrina: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 2002.

YORINORI, J. T. et al. Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, nas safras 2000/01 e 2001/02. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, FOZ DO IGUAÇU, 2., 2002. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 94.

## CAPÍTULO II

### AVALIAÇÃO DE DANOS NA PRODUÇÃO DA SOJA CAUSADOS POR EPIDEMIAS DE FERRUGEM ASIÁTICA NO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ

**RESUMO.** A ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), relatada em nível epidêmico recentemente, é a principal doença para a cultura da soja no Brasil. Estudos que resultem informações que possam ser empregadas para o manejo da doença constituem prioridades de metas a serem alcançadas em curto prazo. Portanto, objetivo desse trabalho foi avaliar, em condições de campo, a intensidade de ferrugem asiática em plantas de soja e seu efeito nos componentes de produção. Para tanto, foram instalados três experimentos em condições de campo, em Luiziana e Campo Mourão – PR nas safras 2006/07 e 2007/08. Utilizando-se o método do gradiente de doenças, proporcionado pela aplicação de doses crescentes de tebuconazole, foram obtidas quatro epidemias em cada experimento com diferentes níveis de intensidades de doença. O progresso das epidemias foi ajustado ao modelo logístico por apresentarem maiores coeficientes de determinação e melhor aleatoriedade dos resíduos plotados no tempo, sendo, portanto os mais adequados para descrever o progresso da doença nas duas safras. O nível de incidência não se mostrou adequado para avaliar os efeitos da ferrugem na produção de soja. A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da severidade e da incidência apresentou relação linear com a produção, entretanto, os baixos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) não explicaram a redução na produção. A evidência do gradiente de doença gerado pelos diferentes níveis de intensidade da ferrugem, não foi suficiente para estabelecer uma relação direta com os danos na produção de soja.

**Palavras-chave:** *Pakopsora pachyrhizi*, epidemiologia, soja.

## EVALUATION OF DAMAGES IN THE PRODUCTION OF THE SOYBEAN CAUSED BY EPIDEMICS OF SOYBEAN RUST IN THE WEST OF THE STATE OF THE PARANÁ

**ABSTRACT.** Asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi*, reported at epidemic recently, is the main disease for the crop in Brazil. Study results in that may be employed for the management of the disease are priorities of targets to be achieved in the short term. Therefore, the objective of this work was to evaluate, at field conditions, the intensity of Asian rust at plants of soybean and effect at the components of production. Three experiments were installed in field conditions, in Luiziana and Campo Mourão country of Paraná State, Brazil. in the cropping season 2006/07 and 2007/08. Using the method of the gradient of diseases, provided by the application of growing doses of tebuconazole fungicide, four epidemics were obtained in each experiment with different intensity of diseases. They were adjusted the progress of the epidemics to a logistic model bigger coefficients of determination and better randomness of the residues plotted in the time, being, thus adapted to describe the progress of the disease in two crops. The level of incidence didn't appear appropriate to value the effects of the rust at the production of soybean. The area under the disease progress curve (AUDPC) of the severity and of the incidence they presented linear relation with the production. Nevertheless, the low values of the coefficient of determination ( $R^2$ ) don't explain the reduction in the production. The evidence of the gradient of disease produced by the different levels of intensity of the soybean rust, was not sufficient to establish a direct relationship with the damage in the production of soybean.

**Key words:** *Pakopsora pachyrhizi*, epidemiology, soybean rust.

## 1. INTRODUÇÃO

No ano 2000/01, a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd.) foi constatada no Brasil, Estado do Paraná, e disseminou-se rapidamente para outros Estados do Brasil. Na safra 2002, a doença foi relatada nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, e na safra 2003/04 ocorreu de forma generalizada, em quase todo o País, causando prejuízos consideráveis em várias regiões produtoras (YORINORI et al., 2003; GODOY; CANTERI, 2004).

Com exceção de Roraima, todos os Estados (MT, PR, RS, MA, GO, MS, SP, SC, DF, TO, RO, PA e BA) que possuem cultivo de soja já foram atingidos pela doença, envolvendo uma área de 22 milhões de hectares. Na safra 2006/2007, houve perda de 4,5% dos grãos em função da doença, cerca de 2,67 milhões de toneladas de soja, o que representa 615,7 milhões de dólares. Somam-se a esse número, os custos das aplicações de fungicidas necessárias para controlar a doença. Na média nacional, na safra 2006/07, foram 2,3 aplicações por hectare; o que corresponde a 1,58 bilhões de dólares gastos. No total, o chamado custo-ferrugem chega a 2,19 bilhões de dólares nesta safra (EMBRAPA, 2007).

Os danos associados às doenças foliares são decorrentes do mau funcionamento e da destruição dos tecidos fotossintéticos, pelo aumento do número e da área de lesões, que podem determinar a necrose de toda a folha. Na soja, plantas severamente infectadas pela ferrugem asiática apresentam desfolha precoce, comprometendo a formação e o enchimento de vagens e o peso final do grão. Quanto mais cedo ocorrer a desfolha, menor será o tamanho do grão e, conseqüentemente, maior a perda de rendimento e de qualidade (YANG et al., 1991). Trabalhos realizados na África, a partir do início da década de 1990, época em que a ferrugem da soja foi detectada pela primeira vez naquele continente, quantificaram as perdas relacionadas aos componentes de produção, em consequência da incidência e da severidade da doença. Nesse sentido, Yang et al. (1991) verificaram que a ferrugem asiática

reduziu a produtividade pela redução no número de vagens produzidas em 40%, sem afetar o número de sementes por vagem. A taxa de crescimento das sementes (gramas por dia) de R4 a R7 também foi reduzida em 40 a 80% nas plantas doentes. Além disso, o período de crescimento das plantas entre R4 a R7 foi reduzido em pelo menos 16 dias, em comparação às plantas protegidas, e se correlacionou significativamente com a doença. Assim, além da redução no número de vagens, a perda de produtividade seguiu um modelo linear simples, representado pela soma da redução da taxa e do período de crescimento das sementes.

Yang et al. (1992) acrescentaram que os componentes de produtividade foram os que responderam com maior consistência aos efeitos da doença e destacaram a redução da massa de 100 sementes como a causa mais importante da perda de produtividade. Kawuki et al. (2003), em estudo realizado com cinco variedades de soja, em quatro locais, representando quatro diferentes regiões de Uganda, em quatro anos experimentais, confirmaram a perda de produtividade, associada à maturidade precoce nas variedades suscetíveis e redução na massa de 100 sementes; porém, verificaram também aumento no número de vagens vazias por planta.

No Brasil, em experimento realizado em Ciríaco no Rio Grande do Sul, constatou-se que a cultivar BRS 153 foi menos afetada pela doença, provavelmente por apresentar ciclo mais precoce que o de BRS 154; a redução na produção de grãos da cultivar BRS 153 foi de 23% e na massa de 1.000 sementes foi de 12%, em lavoura não-tratada com fungicida, em comparação à lavoura tratada no início de formação de grãos, com fungicida combinando os ingredientes ativos pyraclostrobin ( $133 \text{ g L}^{-1}$ ) e epoxiconazole ( $50 \text{ g L}^{-1}$ ), na dosagem de  $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ . Para a cultivar BRS 154, a perda relativa na produção foi de 46% e a massa de 1.000 sementes foi reduzida em 22% (COSTAMILAN et al., 2002).

Segundo Bergamin Filho e Amorim (1996), a quantificação de danos pode ser feita com base em método de parcela experimental e planta individual. A quantificação dos danos também pode ser estimada a partir de modelos que relacionam a intensidade da doença com o dano ou produção. De acordo com Teng e Johnson (1988 apud BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996), os tipos de modelo são: modelo de ponto crítico, de múltiplos pontos, integrais,

de superfície de resposta e sinecológico. No caso de doenças epidêmicas, o modelo de ponto crítico tem possibilitado identificar um determinado estágio de desenvolvimento do hospedeiro, no qual a intensidade de doença está correlacionada com o rendimento de grãos ou dano.

A estimativa de danos causados por doenças, na cultura da soja, tem sido obtida pela simples diferença entre a produção de parcelas sadias e produção de parcelas ou plantas doentes. Métodos tradicionais de determinações de danos, em que a intensidade da doença é correlacionada a componentes de produção (JAMES; TENG, 1979), usuais em outras culturas (JAMES et al., 1968), têm sido pouco utilizados na cultura da soja. Dessa forma, os mais diversos índices de redução de produtividade são relatados para diferentes doenças. Danos causados pela mancha alvo [*Corynespora cassiicola* (Berk. & Curt) Wei], por exemplo, podem variar de 18 a 32% em função da suscetibilidade da cultivar e das condições climáticas (SINCLAIR, 1999). Para a ferrugem (*P. pachyrhizi*), observam-se reduções de rendimento de 10 a 90% e para o oídio [*Erysiphe diffusa* (Cooke & Peck) U. Braun & S. Takamatsu], de 10 a 35% (HARTMAN et al., 1999). Nenhum desses níveis de danos é, no entanto, previsível, pois a redução de produção não tem sido consistentemente correlacionada à intensidade de doença.

Modelos tradicionais de avaliação de danos (JAMES; TENG, 1979) são obtidos de forma empírica, fazendo variar a quantidade de doença em diferentes parcelas e correlacionando os níveis de severidade com produção. O dano pode, assim, ser obtido por regressão linear simples, e a intensidade de doença é a variável independente e a redução de produtividade a variável dependente. A equação que correlaciona doença e dano é denominada função de dano (ZADOKS, 1985). Essa equação é necessária em programas de manejo integrado de doenças de plantas, porque estima a redução na produção, para cada nível de severidade, ou seja, fornece subsídios biológicos necessários para o cálculo do limiar de dano econômico.

Muitas vezes a obtenção da função de dano não é possível, uma vez que a produção vegetal é função da duração da área foliar sadia e não da área destruída pelo patógeno (WAGGONER; BERGER, 1987; BERGAMIN FILHO et al., 1995). Em culturas onde o número de folhas é fixo, como nos cereais, área foliar sadia e área foliar doente são altamente correlacionadas e o aumento da



quantidade de área doente necessariamente implica em redução na área sadia. Por essa razão, a função de dano tem sido usada com êxito em cereais (REIS et al., 2000). Funções de danos para doenças foliares em leguminosas são escassas, parcialmente em função dos complexos mecanismos de formação da produção nessas culturas (GAUNT, 1987).

O estabelecimento de um gradiente de intensidade de doença e do rendimento de grãos permite, por análise de regressão, a obtenção da função de dano. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar, em condições de campo, a intensidade de ferrugem asiática em plantas de soja e seu efeito nos componentes de produção.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi instalado em área de produção comercial no município de Luiziana - LZ (24°11' de latitude Sul, 52°14' de longitude Oeste e 680 m de altitude) e em outra área, na Fazenda Experimental da Cooperativa Agrícola Mourãoense - Coamo, município de Campo Mourão - CM (24°05' de latitude Sul, 52°21' de longitude Oeste e 623 m de altitude), localizados na região Oeste do Estado do Paraná, na safra 2006/07. Na safra 2007/08, o mesmo ensaio foi repetido somente em CM, totalizando três experimentos em duas safras.

Segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1928), trata-se de uma região de clima subtropical (Cfa), caracterizado por apresentar temperatura moderada com chuvas bem distribuídas e verão quente. Nos meses de inverno, há ocorrência de geadas sendo a média de temperatura neste período inferior a 16°C. No mês mais quente, as temperaturas máximas são maiores que 30°C.

A escolha do local foi baseada principalmente no fato da ferrugem asiática ter ocorrido de forma epidêmica em plantios comerciais de soja em safras anteriores. Estas condições estratégicas foram essenciais por dispensar a necessidade de inoculação artificial das plantas e, também, por retratar a realidade epidemiológica da doença no campo, permitindo um estudo em condições de lavouras comerciais.

Na safra 2006/07, o plantio em LZ foi realizado em 05 de novembro de 2005 utilizando-se a variedade Embrapa 48. Trata-se de variedade de maturação semiprecoce e recomendada para a região. Em CM, o plantio foi realizado em 25 de novembro, utilizando-se a variedade BRS 154, também recomendada para a região. Na safra 2007/08, o plantio foi realizado no dia 21 de novembro de 2007 utilizando-se a variedade Embrapa 48. As duas variedades utilizadas no presente estudo são consideradas de alta suscetibilidade à ferrugem asiática da soja.

## **2.1 Delineamento experimental**

Para estabelecer os diferentes níveis da doença, foram aplicadas doses crescentes do fungicida Tebuconazole com intervalo de 15 dias, desde o aparecimento dos primeiros sintomas, nas seguintes doses por hectare: D1 (0) D2 (0,250); D4 (0,500); e D6 (0,750 L). Essas doses foram para proporcionar quatro níveis de doença. O nível um corresponde a plantas não-protegidas com fungicida e os demais correspondem a plantas protegidas com as doses crescentes, respectivamente. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta de cinco linhas de 5 m, com uma linha de bordadura comum entre os tratamentos. O espaçamento foi de 0,12 m entre plantas e 0,40 m entre linhas. As parcelas foram conduzidas empregando recomendações técnicas para o cultivo comercial da soja.

## **2.2 Dados meteorológicos**

As informações meteorológicas referentes ao período de desenvolvimento deste estudo foram obtidas junto à estação da Coamo localizada no município de Campo Mourão, a uma distância linear de aproximadamente 20 km do local do experimento de LZ e 50 m do experimento de CM. Dados diários de precipitação, umidade relativa do ar, e temperatura foram apresentados graficamente.

## **2.3 Avaliação e análise dos dados**

### **2.3.1 Incidência**

Amostras de folhas foram coletadas semanalmente para detectar a presença de pústulas e quando se constataram os primeiros sintomas aplicaram-se os tratamentos fungicidas. As avaliações da incidência da ferrugem asiática foram iniciadas após a primeira aplicação do fungicida, em duas plantas, previamente marcadas em cada parcela. Em cada planta, quantificou-se a incidência em todas as folhas. No experimento de LZ, a

doença foi avaliada aos 67, 73, 79, 87, 94 e 101 dias após o plantio (DAP) e em CM aos 60, 65, 72, 79, 88 e 94 DAP, durante a safra 2006/07. Na safra 2007/08, no experimento em CM, as avaliações foram aos 62, 69, 75, 82, 89, 96, 103 e 110 DAP.

Para a amostragem de folhas, foram retiradas duas plantas na linha central da fileira de cada parcela após a primeira pulverização. Para cada planta avaliada, foi contabilizado o total de folhas presentes e folhas com sintomas. A incidência da ferrugem asiática foi obtida pelo cálculo da proporção de folhas sintomáticas em relação ao total de folhas presentes na planta avaliada, independentemente da severidade apresentada. Os dados de incidência da ferrugem asiática, referentes às avaliações, foram utilizados no estabelecimento de curvas temporais de progresso da doença. Para isso, as variáveis estudadas foram individualmente plotadas graficamente (y) em função do tempo (x) possibilitando a comparação do comportamento destas variáveis entre os diferentes tratamentos em períodos correspondentes.

Utilizando-se das avaliações da curva de progresso, torna-se possível estimar a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) por meio de integração trapezoidal Equação 1 para cada tratamento estudado

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \left[ \frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \right] \cdot (t_{i+1} - t_i) \quad (1)$$

em que:

$n$  é o número de avaliações;

$Y$  é o valor da variável avaliada em porcentagem;

$t$ , o tempo quando da intensidade da variável em questão;

$(y_i + y_{i+1})$ , a altura média do retângulo entre os pontos  $y_i$  e  $y_{i+1}$ ; e

$(t_{i+1} - t_i)$ , a diferença da base do retângulo entre os pontos  $t_{i+1}$  e  $t_i$  que corresponde ao intervalo de tempo em dias entre duas avaliações consecutivas (CAMPBELL; MADDEN, 1990; VALE, JESUS JUNIOR, ZAMBOLIM, 2004).

Pela variação no intervalo entre as avaliações, a variável integral AACPD foi dividida pelo respectivo período de observação  $(t_{i+1} - t_i)$ , sendo marcada com asterisco(\*). Assim, a AACPD\* utilizada neste trabalho para

comparar os diferentes tratamentos, corresponde a área abaixo da curva de progresso da incidência da ferrugem asiática estandardizada e pode ser interpretada como a incidência média da variável analisada durante a condução do experimento (VALE; JESUS JUNIOR; ZAMBOLIM, 2004).

A evolução temporal de incidência da ferrugem asiática também foi analisada por meio do ajuste dos modelos monomolecular, logístico e Gompertz aos dados observados. Estes modelos podem ser linearizados para comparar as curvas de progresso de doença. Para o modelo monomolecular, descrito por  $Y = 1 - (1 - y_0) \cdot \exp(-r \cdot t)$ , em que,  $Y$  = intensidade de doença;  $y_0$  = inóculo inicial;  $r$  = taxa de progresso da doença; e  $t$  = tempo de duração da epidemia; a linearização é dada por:  $M = \ln(1/(1 - y_i))$ , em que,  $y_i$  = intensidade de doença na avaliação  $i$ . Para os modelos logísticos, descrito por  $Y = 1/(1 + ((1/y_0) - 1) \cdot \exp(-r \cdot t))$  e de Gompertz, descrito por  $Y = \exp(-(\ln(y_0)) \cdot \exp(-r \cdot t))$ , a linearização é dada, respectivamente por:  $L = \ln(y_i/(1 - y_i))$  e  $G = -\ln(-\ln(y_i))$ . Quando se aplica as linearizações aos dados de intensidade de doença, os valores de  $M$ ,  $L$  e  $G$  são analisados pelo tempo por regressão linear simples. Por regressão, pode-se estimar os parâmetros  $B_0$  e  $B_1$  da equação  $Y = B_0 + B_1 X_{1i} + E_i$  em que  $Y$  é o valor predito da variável dependente,  $X$  é o valor da variável independente na observação  $i$ ,  $B_0$  e  $B_1$  são, respectivamente, coeficiente angular e coeficiente linear da reta, e  $E_i$  é o erro associado à regressão (CAMPBELL; MADDEN, 1990; VALE; JESUS JUNIOR; ZAMBOLIM, 2004).

O modelo de melhor ajuste ao progresso da doença pode ser selecionado pelo coeficiente de determinação dos dados não-linearizados ( $R^2$ ), obtido entre os valores da curva real de progresso da doença e a curva predita pelo modelo, ambos sem transformação, e pela aleatoriedade dos resíduos plotados no tempo (CAMPBELL; MADDEN, 1990; BERGAMIN FILHO, 1995).

### 2.3.2 Severidade

Nas mesmas plantas onde se avaliou a incidência, também se quantificou a severidade da ferrugem asiática da soja. Notas de severidade foram atribuídas a todas as folhas das plantas amostradas, utilizando uma

escala diagramática variando de 0,6 a 78,5% (GODOY et al., 2006). Esse método serve de referência na avaliação do efeito dos níveis de doença existentes no momento de cada avaliação. Após as avaliações, os dados de severidade da ferrugem asiática nas folhas foram dispostos em curvas temporais de progresso. Para isso, os níveis de severidade observados (y) foram plotados graficamente em função do tempo (x), possibilitando a comparação do comportamento desta variável ao longo dos dias entre os diferentes tratamentos.

A partir da curva de progresso de severidade foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença estandardizada (AACPD\*) por meio de integração trapezoidal assim como descrito no item 2.3.1. Desta forma, a AACPD\* de severidade da ferrugem asiática obtida para as folhas doentes foi utilizada para comparar o efeito das doses do fungicida sobre a quantidade de tecido foliar afetado pela doença.

Os dados de severidade da ferrugem asiática foram submetidos ao ajustamento dos três modelos matemáticos por meio de análise de regressão linear conforme descrito no item 2.3.1., utilizando o software SAS - *Statistical Analysis System* (SAS Institute, Cary, NC, EUA).

### 2.3.3 Crescimento

A avaliação do crescimento de planta nas diferentes epidemias foi feita pelo acúmulo de matéria seca total. Os componentes ou índices de crescimento avaliados foram a taxa de crescimento relativo (TCR) e a taxa de crescimento absoluto (TCA), utilizando as seguintes fórmulas:

$$\text{TCR} = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{TCA} = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1), \text{ onde:}$$

W é o peso da matéria seca ( $\text{g m}^{-2}$ ), t é o tempo considerado em dias.

### 2.3.4 Desfolha

Para estudar a influência da ferrugem asiática na desfolha na safra 2007/08, cada parcela do ensaio foi fotografada no estágio R<sub>7</sub> (pleno enchimento de grãos) individualmente. Os valores da quantificação da desfolha

foram feitos utilizando-se o software APS Assess (APS Assess, 2002). Por diferença foi calculada a área verde remanescente de cada parcela.

### 2.3.5 Produção

Para a obtenção da massa de 1.000 sementes foram colhidas 20 plantas de cada parcela, cujas massas foram determinadas em balança com sensibilidade de centésimo de gramas. Para a determinação da produtividade, as sementes provenientes de cada parcela foram pesadas em balança com capacidade de 5,0 kg e os valores transformados de kg parcela<sup>-1</sup> para kg ha<sup>-1</sup>. Como componente adicional de produção, foi quantificado o número de vagens pela contagem direta de todas as vagens por planta individualmente.

## 2.4 Função de dano

A comparação do comportamento das variáveis avaliadas neste estudo foi realizada principalmente com o objetivo de analisar a função de dano da ferrugem asiática, ou seja, a relação existente entre os níveis da doença e a produção de grãos. Para isso, regressões lineares foram calculadas em programa computacional SAS (SAS Institute, Cary, NC, EUA) confrontando as variáveis de produção com as variáveis relacionadas aos níveis de doenças observadas e a produção correspondente de cada safra. As regressões foram analisadas pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e pela significância a 1% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Crescimento

De modo geral, nos três experimentos das duas safras avaliadas, obtiveram-se quatro epidemias de ferrugem asiática com diferentes intensidades da doença.

Na Figura 1, encontra-se o acúmulo da matéria seca total nas plantas durante o período de avaliações da intensidade da doença no campo dos três experimentos. O nível 1 corresponde a plantas com maior intensidade da doença (não-protegidas com fungicida), os níveis 2, 3 e 4 correspondem aos níveis de intensidade de doença em plantas tratadas com fungicida tebuconazole. De modo geral, a produção de matéria seca total aumentou em relação ao tempo.

O efeito das epidemias no crescimento da planta foi analisado apenas na fase reprodutiva (Figura 1). Conforme o desenvolvimento da planta de soja do estágio R1 ao R5.5 ocorre redução da sua habilidade para compensar as perdas decorrentes de uma condição de estresse causado por doença, aumentando, assim, o potencial de redução da produção causada por estresse biótico ou abiótico (IPNI, 1994).

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da TCR, TCA e severidade máxima dos três experimentos e duas safras. De modo geral, as duas taxas de crescimento não foram afetadas pelas diferentes epidemias. Entretanto, verifica-se que houve o maior nível de severidade (50,3% na parcela não-protegida com fungicida), a TCA foi 0,59. Por outro lado, no experimento em LZ, na primeira safra, a severidade máxima foi 16,6% e a TCA 0,896. Na segunda safra no experimento de CM, a severidade máxima foi 29,3% e a TCA 1,013. Portanto, no experimento que ocorreu a maior severidade da doença constatou-se a menor TCA, que, provavelmente, pode ter afetado o crescimento da soja no campo.



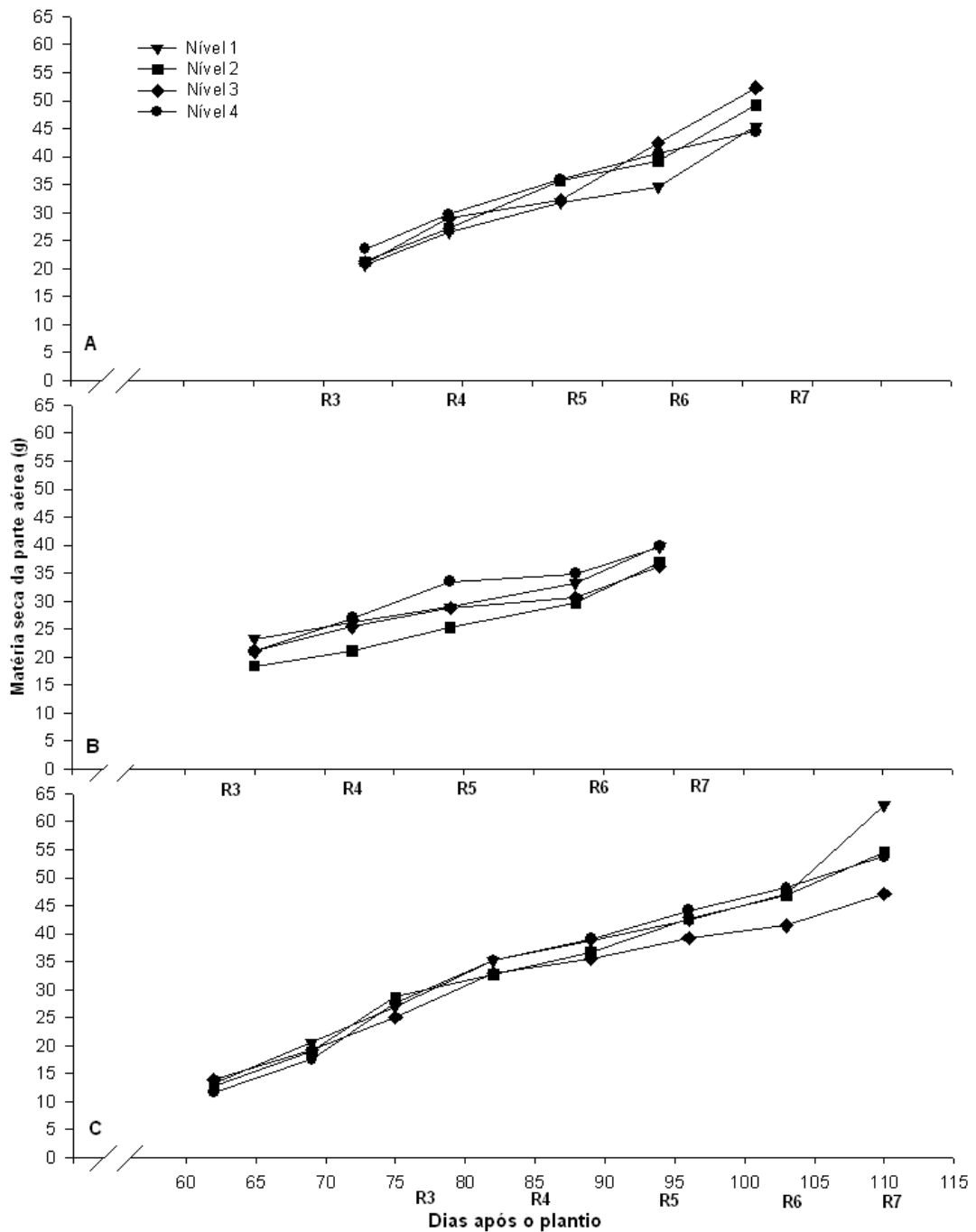


Figura 1 – Produção de matéria seca da parte aérea (g) de soja afetada por diferentes epidemias de ferrugem asiática safra 2006/07 - Luiziana e Campo Mourão - PR (A e B) e 2007/08 – Campo Mourão (C). Em ordem decrescente, nível 1, corresponde a plantas com maior intensidade e nível 4, plantas com menor intensidade da doença.

Tabela 1 – Índices de crescimento de plantas de soja, durante as avaliações de severidade da ferrugem asiática, em diferentes níveis de Intensidade.

Níveis de Intensidade <sup>a</sup>	Safr 2006/07 <sup>b</sup>			Safr 2006/07 <sup>c</sup>			Safr 2007/08 <sup>c</sup>		
	Y max. <sup>d</sup> (%)	TCR <sup>e</sup> (gg d <sup>-1</sup> )	TCA <sup>f</sup> (g d <sup>-1</sup> )	Y max. <sup>d</sup> (%)	TCR <sup>e</sup> (gg d <sup>-1</sup> )	TCA <sup>f</sup> (g d <sup>-1</sup> )	Y max. <sup>d</sup> (%)	TCR <sup>e</sup> (gg d <sup>-1</sup> )	TCA <sup>f</sup> (g d <sup>-1</sup> )
Nível 1	15,6	0,029	0,896	50,3	0,046	0,597	29,3	0,032	1,013
Nível 2	6,0	0,030	0,994	49,1	0,019	0,667	1,9	0,029	0,855
Nível 3	3,6	0,034	1,153	32,6	0,026	0,559	5,0	0,025	0,676
Nível 4	2,7	0,023	0,758	34,5	0,041	0,688	3,5	0,032	0,859

<sup>a</sup> Nível 1 (plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

<sup>b</sup> Luiziana - PR, Avaliações de severidade entre 73-101 DAP.

<sup>c</sup> Campo Mourão - PR. Avaliações de severidade entre 65-94 DAP(2006/07) e 62-110 DAP(2007/08).

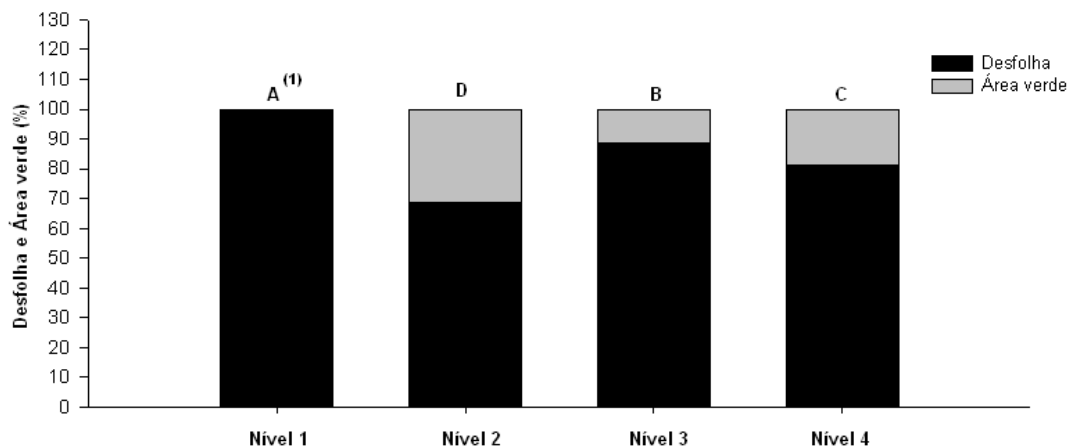
<sup>d</sup> Severidade máxima.

<sup>e</sup> TCR = taxa de crescimento relativo.

<sup>f</sup> TCA = taxa de crescimento absoluto.

### 3.2 Desfolha

Os resultados da Figura 2 ilustram a porcentagem de desfolha causada por ferrugem asiática e área verde avaliada no estádio R7 do experimento em CM, safra 2007/08. Esses resultados indicam que as plantas não-protegidas com fungicida atingiram 100% de desfolha e 0,5% de área verde. De modo geral, no final do período reprodutivo da soja, a porcentagem de desfolha foi maior que a área verde nas plantas protegidas. Além disso, houve diferença significativa tanto para desfolha quanto para área verde, para os diferentes níveis de doença proporcionados pela proteção das plantas com doses crescentes do fungicida tebuconazole.



<sup>(1)</sup>Colunas da mesma cor seguidas da mesma letra não diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Skott-knott. Coeficiente de Variação, 9,41% (desfolha) e 47,36% (área verde).

Figura 2 – Porcentagem de desfolha e área verde da soja no estágio R7. Plantas não-tratadas (nível 1) e plantas tratadas com tebuconazole (níveis 2, 3 e 4 correspondem às doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L respectivamente). Safra 2007/08 em Campo Mourão - PR.

### 3.3 Progresso das epidemias

Entre os modelos testados de progresso temporal de doença (monomolecular, logístico e Gompertz), o logístico foi o que se apresentou mais adequado para descrever o progresso de incidência da ferrugem asiática nas duas safras estudadas. Este modelo apresentou maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e melhor aleatoriedade dos resíduos. Na safra 2006/07 em LZ, os valores de  $R^2$  variaram entre 0,79 a 0,87. Em CM, os valores de  $R^2$  variaram entre 0,73 a 0,90 e finalmente na safra 2007/2008 variaram entre 0,82 a 0,93 (Tabela 2).

Do mesmo modo, o modelo logístico foi o que melhor ajustou aos dados de severidade da ferrugem nas duas safras. Na safra 2006/07 em LZ, os valores de  $R^2$  variaram entre 0,74 a 0,91. Em CM, entre 0,79 a 0,88 e na safra 2007/2008, os valores de  $R^2$  variaram entre 0,53 a 0,85 (Tabela 3).

Tabela 2 – Parâmetros do modelo Logístico ajustados por meio de regressão linear aos dados de incidência da ferrugem asiática da soja em folhas, com quatro níveis proporcionados pelo tratamento com tebuconazole, nas safras 2006/07 e 2007/08 em Luiziana e Campo Mourão - PR.

Intensidade**	R <sup>2</sup> <sup>a</sup>	qm <sup>f</sup>	R <sup>*2</sup> <sup>b</sup>	b <sub>1</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b1</sub> <sup>d</sup>	b <sub>2</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b2</sub> <sup>c</sup>
Luiziana (safra 2006/07)							
Nível 4	0,79	2,4660	0,85	-7,7178	0,5965	0,2923	0,0349
Nível 3	0,92	0,8303	0,87	-6,6468	0,3461	0,3082	0,0202
Nível 2	0,77	2,4153	0,79	-5,8957	0,5904	0,2762	0,0345
Nível 1	0,83	2,6430	0,85	-5,5523	0,6176	0,3497	0,0361
Campo Mourão (safra 2006/07)							
Nível 4	0,88	3,8951	0,84	-6,4152	0,7567	0,5029	0,0421
Nível 3	0,86	4,4363	0,85	-6,3227	0,8076	0,4864	0,0449
Nível 2	0,89	3,8517	0,73	-5,0890	0,7525	0,5237	0,0418
Nível 1	0,90	3,1951	0,90	-4,1368	0,6854	0,4958	0,0381
Campo Mourão (safra 2007/08)							
Nível 4	0,77	4,4477	0,90	-9,0290	0,6088	0,2388	0,0207
Nível 3	0,79	3,8997	0,91	-9,1204	0,5700	0,2360	0,0194
Nível 2	0,84	2,5250	0,93	-8,8463	0,4587	0,2236	0,0156
Nível 1	0,83	7,2074	0,82	-10,2622	0,7749	0,3707	0,0264

<sup>a</sup> Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), assim como os valores de  $b_1$  e  $b_2$ , foram estimados pela regressão linear dos valores de severidade em função do tempo em dias.

<sup>b</sup> Coeficiente de determinação obtido entre os valores previstos e observados.

<sup>c</sup>  $b_1$  e  $b_2$  referem-se, respectivamente, à quantidade de inóculo inicial ( $y_0$ ) e à taxa de progresso da doença ( $r$ ), estimados pelos modelos.

<sup>d</sup> Desvio-padrão obtido para cada variável, segundo o ajuste dos modelos.

\*\* Nível 1 (plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Tabela 3 – Parâmetros do modelo Logístico ajustados por meio de regressão linear aos dados de severidade da ferrugem asiática da soja em folhas, com quatro níveis proporcionados pelo tratamento com tebuconazole, nas safras 2006/07 e 2007/08 em Luiziana e Campo Mourão - PR.

Intensidade**	R <sup>2</sup> <sup>a</sup>	qm <sup>f</sup>	R <sup>*2</sup> <sup>b</sup>	b <sub>1</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b1</sub> <sup>d</sup>	b <sub>2</sub> <sup>c</sup>	dp <sub>b2</sub> <sup>c</sup>
Luiziana (safra 2006/07)							
Nível 4	0,79	0,3469	0,77	-7,3275	0,2237	0,1091	0,0131
Nível 3	0,81	0,3972	0,74	-7,4732	0,2394	0,1245	0,0140
Nível 2	0,78	0,6135	0,88	-7,5279	0,2975	0,1402	0,0174
Nível 1	0,82	0,7554	0,91	-7,5527	0,3301	0,1770	0,0193

Tabela 3, Cont.

Campo Mourão (safra 2006/07)							
Nível 4	0,93	0,4454	0,79	-7,2630	0,2559	0,2341	0,0142
Nível 3	0,95	0,2760	0,86	-7,3456	0,2014	0,2263	0,0112
Nível 2	0,92	0,6203	0,83	-7,2398	0,3020	0,2559	0,0168
Nível 1	0,97	0,2078	0,88	-6,7553	0,1748	0,2497	0,0097
Campo Mourão (safra 2007/08)							
Nível 4	0,72	0,5190	0,54	-7,6561	0,2079	0,0693	0,0071
Nível 3	0,70	0,5583	0,53	-7,6930	0,2157	0,0703	0,0073
Nível 2	0,73	0,3385	0,56	-7,5208	0,1679	0,0583	0,0057
Nível 1	0,73	1,3369	0,85	-8,1961	0,3337	0,1158	0,0113

<sup>a</sup> Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), assim como os valores de  $b_1$  e  $b_2$ , foram estimados pela regressão linear dos valores de severidade em função do tempo em dias.

<sup>b</sup> Coeficiente de determinação obtido entre os valores previstos e observados.

<sup>c</sup>  $b_1$  e  $b_2$  referem-se, respectivamente, à quantidade de inóculo inicial ( $y_0$ ) e à taxa de progresso da doença ( $r$ ), estimados pelos modelos.

<sup>d</sup> Desvio-padrão obtido para cada variável, segundo o ajuste dos modelos.

\*\* Nível 1 (plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Em LZ, o  $Y_{máx.}$  da incidência variou de 98,8 (Nível 1), parcela com maior doença, a 71,9% (Nível 4), parcela mais sadia. Para a severidade, variou de 15,6 (Nível 1), parcela maior doença, a 2,7% (Nível 4), parcela mais sadia, na safra 2006/07 (Tabela 4).

Tabela 4 – Níveis de intensidade de epidemias de ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) na safra 2006/07 em Luiziana – PR.

Intensidade**	Incidência <sup>a</sup>				Severidade <sup>b</sup>			
	Y max (%)	AACPD	rL	Duração (dias)	Y max (%)	AACPD	rL	Duração (dias)
Nível 1	98,8	1171,3	0,35	35	15,6	66,3	0,17	35
Nível 2	72,9	804,2	0,27	35	6,0	26,0	0,14	35
Nível 3	78,9	781,1	0,30	35	3,6	16,5	0,12	35
Nível 4	71,9	418,6	0,29	35	2,7	12,3	0,11	35

<sup>a</sup> Máxima incidência aos 101 DAP ( $Y_{max.}$ ); área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); taxa de infecção aparente logística (rL).

<sup>b</sup> Máxima severidade aos 101 DAP ( $Y_{max.}$ ); área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); taxa de infecção aparente logística (rL).

\*\* Nível 1 (plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Em CM, o Ymáx. da incidência foi igual em todas as parcelas (98,8%), porém na severidade a parcela com maior doença variou de 50,3 (Nível 1), a 32,6 % na parcela mais sadia (Nível 3), também na safra 2006/07 (Tabela 5).

Tabela 5 – Níveis de intensidade epidemias de ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) na safra 2006/07 em Campo Mourão – PR.

Intensidade**	Incidência <sup>a</sup>				Severidade <sup>b</sup>			
	Ymax. (%)	AACPD	rL	Duração (dias)	Ymax. (%)	AACPD	rL	Duração (dias)
Nível 1	99,8	4315	0,49	35	50,3	485,6	0,25	35
Nível 2	99,8	2672	0,52	35	49,1	427,8	0,25	35
Nível 3	99,8	1177	0,48	35	32,6	215,6	0,22	35
Nível 4	99,8	1828	0,50	35	34,5	283,4	0,23	35

<sup>a</sup> Máxima incidência aos 94 DAP (Ymax.); área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); taxa de infecção aparente logística (rL).

<sup>b</sup> Máxima severidade aos 94 DAP (Ymax.); área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); taxa de infecção aparente logística (rL).

\*\* Nível 1 (plantas não-tratadas); níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Na safra 2007/08 em CM, o Ymáx. da incidência variou de 99,8 (Nível 1) a 89,1% (Nível 4) e a severidade de 29,3 (Nível 1), parcela mais doente, a 1,9% (Nível 2), parcela mais sadia (Tabela 6).

Tabela 6 – Níveis de intensidade de epidemias de ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) na safra 2007/08 em Campo Mourão – PR.

Intensidade**	Incidência <sup>a</sup>				Severidade <sup>b</sup>			
	Ymax. (%)	AACPD	rL	Duração (dias)	Ymax. (%)	AACPD	rL	Duração (dias)
Nível 1	99,8	1533,8	0,37	29	29,3	151,4	0,11	29
Nível 2	93,6	1102,4	0,22	29	1,9	14,6	0,05	29
Nível 3	96,1	1057,4	0,23	29	5,0	25,7	0,07	29
Nível 4	89,1	1062,5	0,23	29	3,5	25,8	0,06	29

<sup>a</sup> Máxima incidência aos 110 DAP (Ymax.); área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); taxa de infecção aparente logística (rL).

<sup>b</sup> Máxima severidade aos 110 DAP (Ymax.); área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); taxa de infecção aparente logística (rL).

\*\* Nível 1 (plantas não-tratadas); Níveis 2, 3 e 4 (doses por hectare: 0,250; 0,500 e 0,750 L, respectivamente).

Na primeira safra (2006/07), as epidemias em LZ e CM tiveram duração de 35 dias (Tabelas 4 e 5). Por outro lado, na segunda safra (2007/08), as epidemias tiveram duração de 29 dias (Tabela 6).

As epidemias que apresentaram as maiores taxas aparentes de infecção, considerando a incidência da doença, na primeira safra foram correspondentes aos níveis 1 e 3 com  $rL = 0,35$  e  $0,30$ , respectivamente no primeiro experimento (Tabela 4), níveis 2 e 4 com  $rL = 0,52$  e  $0,50$ , respectivamente no segundo (Tabela 5). Sendo as menores taxas nos níveis 2 e 3 com  $rL = 0,27$  e  $0,48$  no primeiro e segundo experimento, respectivamente (Tabelas 4 e 5).

Considerando a severidade, as epidemias com maiores taxas aparente de infecção na primeira safra correspondem aos níveis 1 e 2 com  $rL = 0,17$  e  $0,14$ , respectivamente, no primeiro experimento (Tabela 4) e níveis 1 e 2 com  $rL = 0,25$  no segundo experimento (Tabela 5). As menores taxas foram nos níveis 4 e 3 com  $rL = 0,11$  e  $0,22$  no primeiro e segundo experimento, respectivamente (Tabelas 4 e 5).

Na segunda safra em CM, a epidemia com maior taxa aparente de infecção para a incidência foi no nível 1 com  $rL = 0,37$  e menor no nível 2 com  $rL = 0,22$ , respectivamente. Para severidade, a maior taxa aparente de infecção foi correspondente ao nível 1 com  $rL = 0,11$  e menor no nível 2 com  $rL = 0,05$ , respectivamente (Tabela 6).

Em todos os experimentos avaliados, observou-se que a maior AACPD ocorreu nas epidemias com nível 1 de intensidade, com valores de: 1171,3; 4315 e 1533,8, respectivamente. Isso era esperado, porque as plantas não foram protegidas com fungicida (Tabelas 4, 5 e 6).

### **3.4 Função de dano**

#### **3.4.1 Relação entre incidência, severidade, AACPD e componentes de rendimento**

Em todos os experimentos avaliados, a severidade expressa como AACPD e a severidade máxima da doença (%) apresentaram relação linear com a massa de 1.000 sementes (g) para as epidemias. Entretanto, em LZ safra 2006/07, a

variável AACPD e severidade máxima não explicam a redução na massa de 1.000 sementes (Figura 3 A e D). Por outro lado, nesta mesma safra e na safra 2007/08, em CM, as mesmas variáveis explicam em parte a redução na massa de 1.000 sementes, com  $R^2$  entre 0,46 e 0,62 (Figura 3 B,E e C,F, respectivamente).

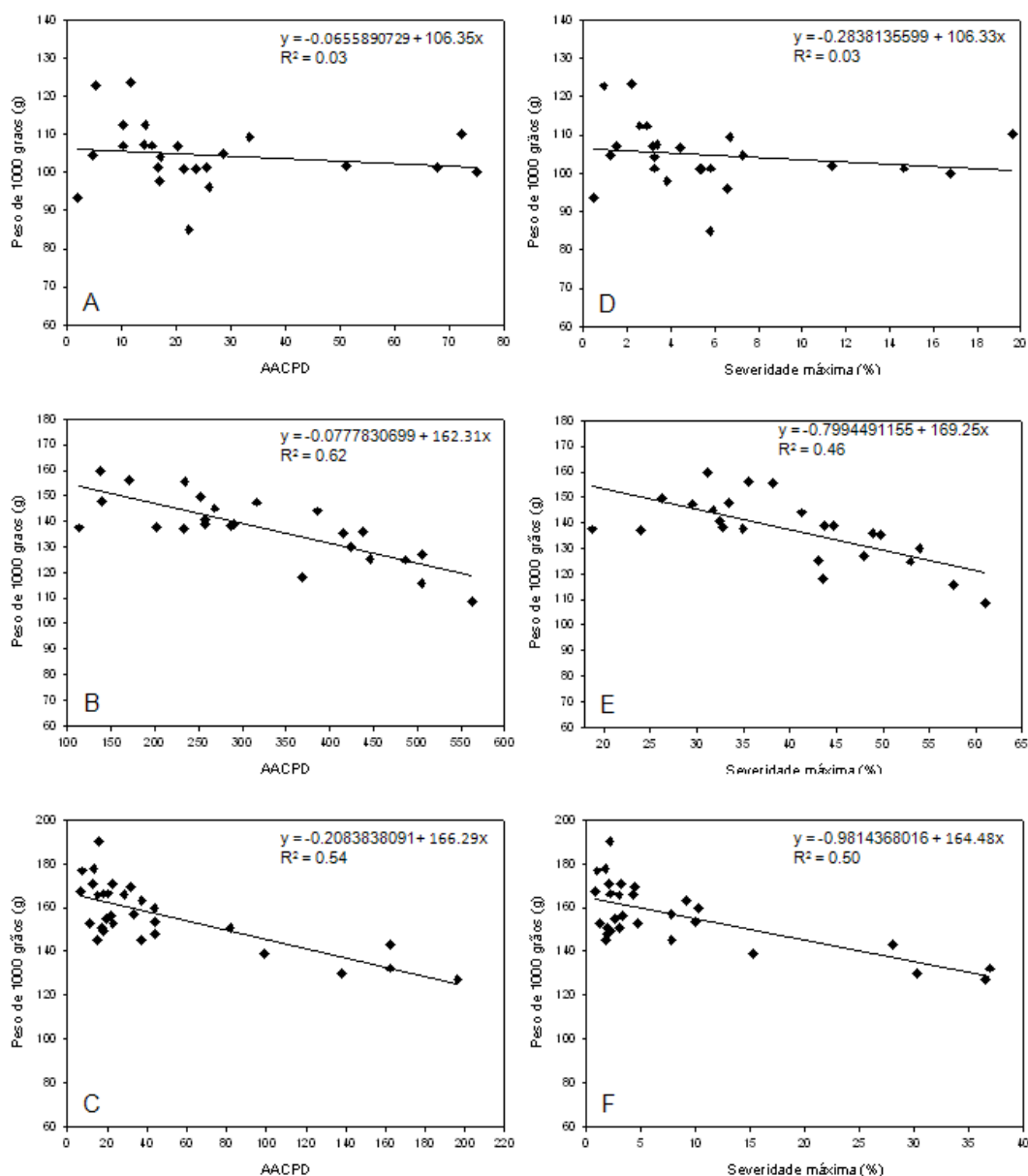


Figura 3 – Relação linear entre peso de 1.000 sementes, AACPD e severidade máxima para a cultura da soja (*Glycine max*) safra 2006/07 – Luiziana (A e D), safra 2006/07 – Campo Mourão (B e E), variedade Embrapa 48 e BRS 154, respectivamente. Safra 2007/08 – Campo Mourão (C e F), variedade Embrapa 48.



Considerando as variáveis incidência da doença expressa como AACPD e incidência máxima, em relação à produção (Kg ha<sup>-1</sup>), nas duas safras, também não explicam a redução na produção, pois os valores do coeficiente de determinação variaram de 0,0 a 0,23 (Figura 4).

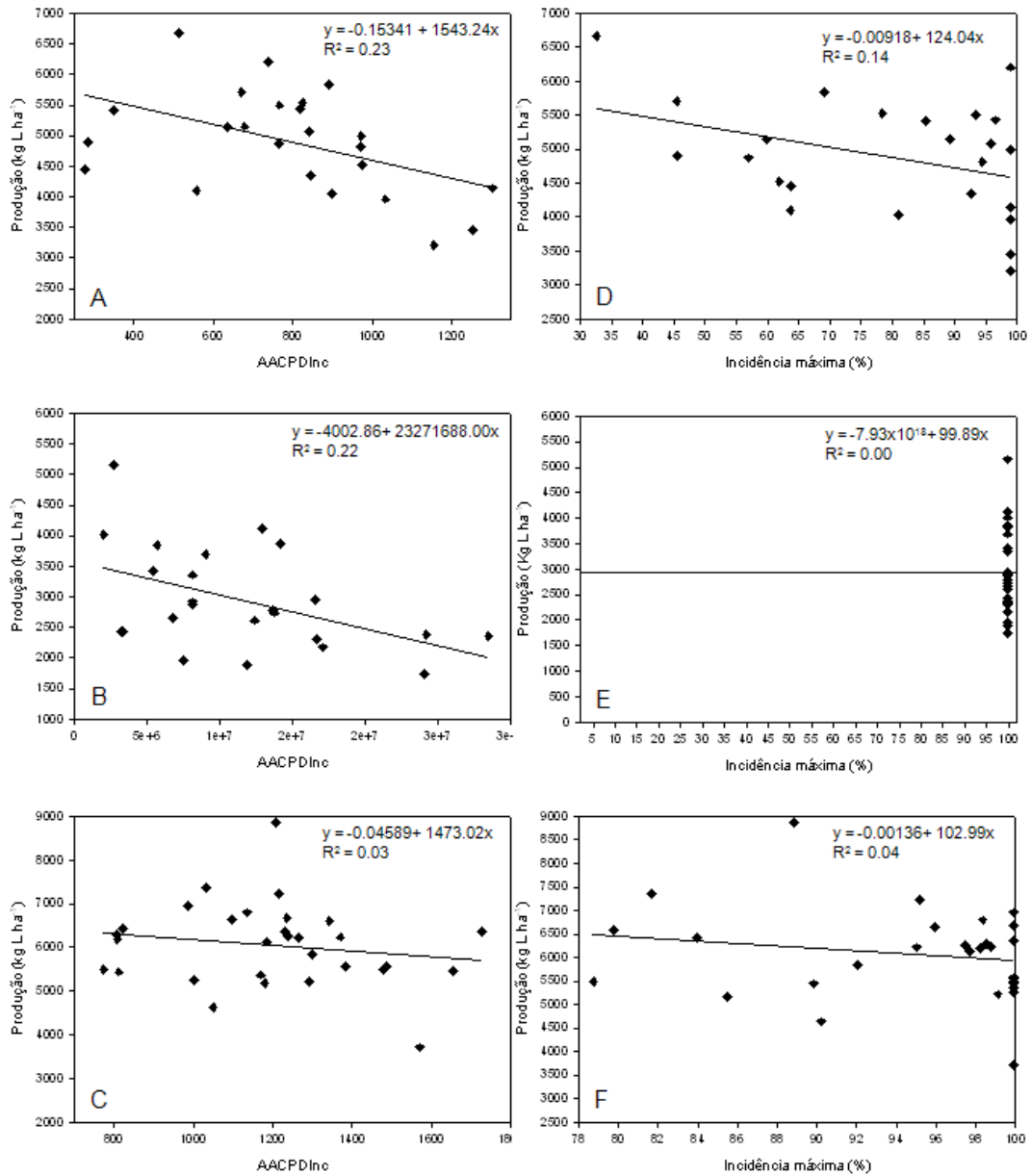


Figura 4 – Relação linear entre produção, incidência máxima e AACPD para a cultura da soja (*Glycine max*) safra 2006/07 – Luiziana (A e D), safra 2006/07 – Campo Mourão (B e E), variedade Embrapa 48 e BRS 154, respectivamente. Safra 2007/08 – Campo Mourão (C e F), variedade Embrapa 48.

Do mesmo modo, as variáveis severidade da doença expressa como AACPD e severidade máxima, em relação à produção também não explicam a redução na produção, com valores de  $R^2$  variando de 0,10 a 0,43 (Figura 5). Portanto, esses resultados demonstram que essas variáveis precisam ser melhor estudadas.

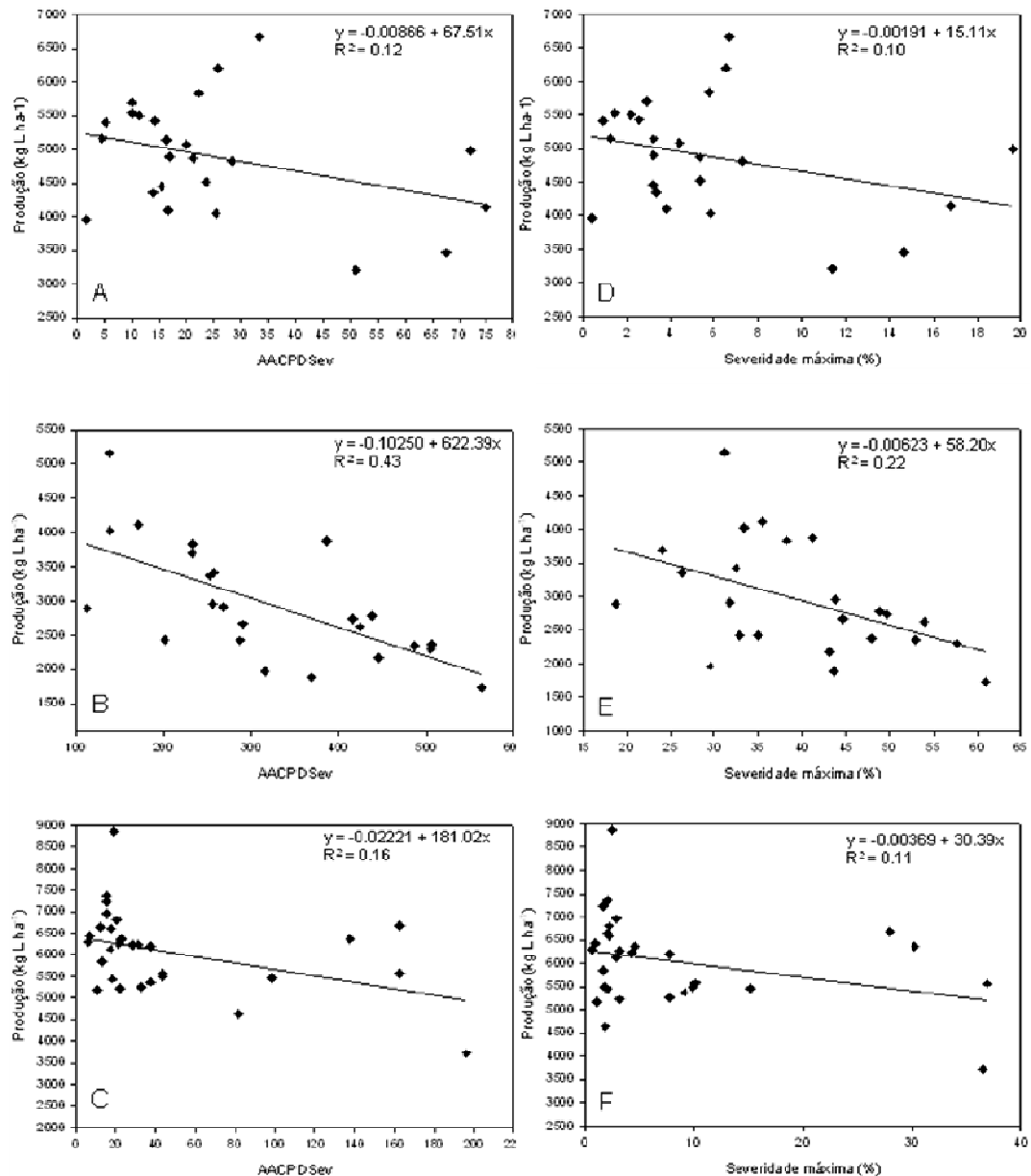


Figura 5 – Relação linear entre produção, severidade máxima e AACPD para a cultura da soja (*Glycine max*) safra 2006/07 – Luiziana (A e D), safra 2006/07 – Campo Mourão (B e E), variedade Embrapa 48 e BRS 154, respectivamente. Safra 2007/08 – Campo Mourão (C e F), variedade Embrapa 48.

Na Tabela 7, estão apresentadas as estimativas da interseção da reta (a), do coeficiente angular (b) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações de regressão linear ( $y = a + bx$ ) calculadas entre as variáveis avaliadas nas duas safras.

Tabela 7 – Estimativas da interseção da reta (a) e do coeficiente angular (b) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das equações de regressão linear ( $y = a + bx$ ) calculadas entre as variáveis avaliadas nos anos agrícolas 2006/07 e 2007/08.

<i>Variável x</i>	<i>Variável y</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>p</i>	<i>Local</i>
Incidência máxima.	Produção	124,0	-0,0091	0,14	p<0,01	LZ1
	Produção	99,8	$7,9 \times 10^{-18}$	0,03	p<0,01	CM2
	Produção	102,9	-0,0013	0,04	p<0,01	CM3
AACPD* Incidência	Produção	1543,2	-0,1534	0,22	p<0,01	LZ1
	Produção	23271618,0	-4002,8	0,22	p<0,01	CM2
	Produção	1473,0	-0,0458	0,02	p<0,01	CM3
AACPD Severidade	Produção	67,5	-0,0086	0,12	p<0,01	LZ1
	Produção	622,3	-0,1025	0,43	p<0,01	CM2
	Produção	181,0	-0,0222	0,16	p<0,01	CM3
Severidade máxima	Produção	15,1	-0,0019	0,10	p<0,01	LZ1
	Produção	58,2	-0,0062	0,22	p<0,01	CM2
	Produção	30,3	-0,0036	0,11	p<0,01	CM3
AACPDSeveridade	PMG (g)	106,3	-0,0655	0,03	p<0,01	LZ1
	PMG(g)	162,3	-0,0777	0,62	p<0,01	CM2
	PMG (g)	166,2	-0,2084	0,54	p<0,01	CM3
Severidade máxima	PMG (g)	106,3	-0,2831	0,02	p<0,01	LZ1
	PMG (g)	169,2	-0,7994	0,46	p<0,01	CM2
	PMG (g)	164,4	-0,9814	0,50	p<0,01	CM3

\*Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença.

PMG: Peso de 1000 grãos.

LZ1 = Luiziana, safra 2006/07.

CM2 = Campo Mourão, safra 2006/07.

CM3 = Campo Mourão, safra 2007/08.

De um modo geral, nas duas safras estudadas, os níveis de incidência, severidade e AACPD de ferrugem asiática apresentaram relação distinta com as variáveis de produção e massa de 1.000 sementes (Tabela 8).

Tabela 8 – Efeito dos níveis de intensidade de ferrugem asiática nos componentes de rendimento da soja em tres ensaios experimentais, com quatro níveis de intensidade de doença.

Intensidade <sup>d</sup>	Safr a 2006/07 <sup>a</sup>			Safr a 2006/07 <sup>b</sup>			Safr a 2007/08 <sup>c</sup>		
	Prod. (Kg L ha <sup>-1</sup> ).	P.1000 grãos (g)	Vagem/planta	Prod. (Kg L ha <sup>-1</sup> )	P.1000 grãos (g)	Vagem/planta	Prod. (Kg L ha <sup>-1</sup> )	P. 1000 grãos (g)	Vagem/planta
Nível 1	3.084A*	103A	66A	1.796A	123A	38A	4.339A	1340A	56A
Nível 2	4.374B	101A	69A	1.865A	128A	35A	5.000A	167C	64A
Nível 3	3.519A	103A	71A	2.226A	138B	35A	4.685A	158B	62A
Nível 4	3.957B	114A	79A	2.662B	144B	38A	5.179A	155B	65A
CV (%)	12,2	6,35	17,0	20,8	6,2	7,7	15,11	6,3	20,5

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott.

<sup>a</sup> Embrapa 48 (Luiziana-PR).

<sup>b</sup> BRS 154 (Campo Mourão - PR).

<sup>c</sup> Embrapa 48 (Campo Mourão - PR).

<sup>d</sup> Níveis decrescentes de severidade, desde nível 1 maior severidade, até nível 4, menor severidade.

Além disso, todas as variáveis avaliadas nesse estudo apresentaram baixa relação com a produção e massa de 1.000 sementes.

Todas as variáveis apresentaram relação negativa (*b*) em nível de 1% de probabilidade e os valores de  $R^2$  variaram de 0,02 a 0,62. Entretanto, destaca-se que no segundo experimento da safra 2006/07, observou-se que as variáveis AACPD e severidade máxima, apresentaram baixa relação com a produção e massa de 1.000 sementes com valores de  $R^2$  de 0,43 e 0,22, respectivamente. Isso pode ter ocorrido pelo fato da epidemia nesta safra ter sido mais severa. Porém, para as mesmas variáveis, a relação com o peso de mil grãos, os valores de  $R^2$  foram 0,62 e 0,46, respectivamente. Portanto, a severidade expressa pela AACPD mostrou baixa relação com a produção e massa de 1.000 sementes neste estudo.

### 3.4.2 Efeito da ferrugem na produção

Os efeitos das epidemias de ferrugem asiática da soja nos componentes de rendimento nos três experimentos e duas safras avaliadas estão apresentados na Tabela 8.

A intensidade da epidemia correspondente a plantas não-protegidas com fungicida (nível 1) apresentaram menores produtividades, massa de 1.000 grãos. Por outro lado, as plantas protegidas com fungicidas (níveis 2, 3 e 4) apresentaram maiores produtividades e massa de 1.000 grãos (Tabela 8). Comparando a produção nos três experimentos, constataram-se menores produtividades nas quatro epidemias, tanto em plantas não-protegidas como em plantas protegidas com fungicida (Tabela 8, safra 2006/07<sup>b</sup>). Porém, a maior produtividade foi obtida para plantas protegidas com o menor nível de doença (nível 4).

Não houve diferença significativa para vagem planta<sup>-1</sup> nos três experimentos. No entanto, nos dois experimentos da primeira safra, a proteção das plantas com fungicida foi eficiente para proporcionar um gradiente de produtividade mostrado pelo efeito significativo entre as quatro epidemias (Tabela 8, 2006/07<sup>ab</sup>). Nos três experimentos avaliados, observou-se que a maior epidemia foi na safra 2006/07 em CM. Neste caso, observaram-se as menores produtividades, que variaram de 1.796,5 Kg ha<sup>-1</sup> na parcela com maior nível de doença (nível 1) a 2.662 Kg ha<sup>-1</sup> na

parcela com menor nível de doença, com diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-knott (nível 4) (Tabela 8, safra 2006/07<sup>b</sup>). Do mesmo modo, observou-se diferença significativa também para a massa de 1.000 grãos. Por outro lado, na safra 2007/08, a epidemia foi menor e apesar da produtividade na parcela não- protegida com fungicida (nível 1) ter sido menor, não houve diferença significativa em relação às parcelas protegidas com fungicida (níveis 2, 3 e 4) (Tabela 8, safra 2007/08<sup>c</sup>). No entanto, verificaram-se diferenças significativas para o peso de 1.000 grãos.

#### 4. DISCUSSÃO

As epidemias de ferrugem asiática na região Oeste do Estado do Paraná, para a maioria das variáveis analisadas, apresentaram diferentes comportamentos nas duas safras e nos três experimentos avaliados.

A chuva é um fator meteorológico bastante importante na ocorrência e desenvolvimento de doenças em plantas, pois além de elevar a umidade do ar e proporcionar o molhamento foliar pode influenciar na ocorrência de epidemias mais severas. Durante a condução do presente estudo, observou-se que as condições ambientais na safra 2006/07 foram muito favoráveis à ocorrência de epidemia de ferrugem, principalmente pela alta pluviosidade registrada, quando comparada com a safra 2007/08. Destaca-se que nas duas safras a pluviosidade pluvial se correlacionou positivamente com a elevada intensidade da doença. Segundo Del Ponte et al. (2006), em epidemias de ferrugem da soja no Brasil, nas safras de 2002/03 e 2004/05, variáveis relacionadas à quantidade de chuva, ao contrário das relacionadas à temperatura, explicaram melhor a da variação da severidade final da doença.

Estudos de variáveis fisiológicas são importantes para explicar o efeito das epidemias no hospedeiro. Embora não tenha sido possível medir o índice de área foliar verde (GLA) e duração da área foliar sadia (HAD) neste trabalho, mas com os dados de matéria seca da parte aérea, foi possível calcular a TCA e a TCR no período reprodutivo da soja. Pelos resultados obtidos, a TCA foi afetada quando a intensidade da doença foi elevada, mesmo em plantas protegidas com fungicida (Tabela 1). A produção de matéria seca de uma planta é função, em grande parte, da fotossíntese que ocorre nas folhas. Doenças reduzem a produção por meio da redução na taxa fotossintética das folhas, uma vez que diminuem a quantidade de tecido fotossinteticamente ativo (WAGGONER; BERGER, 1987). Segundo Koga (2006), a taxa de desenvolvimento da ferrugem asiática está intimamente relacionada com o crescimento e maturidade da planta de soja sendo a relação entre soja e progresso da doença, provavelmente, a interação mais importante.

A desfolha causada pela ferrugem asiática no início da maturação (R7) variou de 70 a 85% em plantas protegidas com fungicida e a área foliar verde de 10 a 30% (Figura 2). Esses resultados mostram que quanto menor a desfolha maior a área foliar verde em plantas protegidas com fungicida no início da maturação. Segundo Reis et al. (2007), os tratamentos com fungicidas apresentaram resultados significativos na redução da desfolha, porém não apresentaram diferença significativa no rendimento da cultura.

As epidemias de ferrugem asiática, analisadas pelo nível de incidência não se mostraram adequadas para avaliar os efeitos finais da doença, visto que o  $Y_{\text{máximo}}$  foi elevado. Por outro lado, quando analisadas pela severidade, o  $Y_{\text{máximo}}$  da severidade se mostrou mais adequado, pois em plantas não-protegidas com fungicida, os níveis de doença foram elevados quando comparados em relação a plantas protegidas (Tabelas 1, 2 e 3). Entretanto, na safra 2006/07 em CM, a epidemia foi mais severa, e observou-se que o  $Y_{\text{máximo}}$  da severidade entre plantas não-protegidas e protegidas com fungicida foi menor (Tabela 6). A incidência da ferrugem asiática é mais comumente utilizada para o levantamento e constatação da doença em lavouras ou regiões, que são importantes para a tomada de decisão do momento da primeira aplicação de fungicida.

O modelo de progresso temporal que se apresentou mais adequado no presente estudo foi o logístico, pois apresentou maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e melhor aleatoriedade dos resíduos. Analisando a severidade da ferrugem na primeira safra, a epidemia foi mais severa, as taxas variaram de 0,23 (nível com menor severidade) a 0,25 (maior severidade) e na segunda safra variaram de 0,06 (menor severidade) 0,11 (maior severidade). Resultados semelhantes foram obtidos por Ferreira et al. (2008) em Minas Gerais onde obtiveram taxas que variam de 0,09 a 0,18 em três experimentos. Esses resultados demonstraram que a epidemia de ferrugem asiática foi menos severa não só no Paraná, mas também em outras regiões.

Estudos de quantificação de danos de doenças foliares, como a ferrugem asiática, a severidade é considerada mais apropriada, pois possibilita identificar um determinado estágio de desenvolvimento do hospedeiro no qual a intensidade de doença está correlacionada com o rendimento de grãos ou dano. De acordo com Teng e Johnson (1988 apud BERGAMIN FILHO;



AMORIN, 1996), os tipos de modelo mais utilizados são: modelo de ponto crítico, de múltiplos pontos, integrais, de superfície de resposta e sinecológico. O modelo de ponto crítico é considerado simples e tem aplicação prática para estimar os danos que uma doença causa no hospedeiro. Melhores resultados têm sido obtidos em culturas em que o número de folhas é fixo, como nos cereais onde a área foliar sadia e área foliar doente são altamente correlacionadas e o aumento da quantidade de área doente necessariamente implica em redução na área sadia. Por essa razão, a função de dano tem sido usada com sucesso em cereais (REIS et al., 2000). Funções de danos para doenças foliares em leguminosas são escassas, parcialmente em função dos complexos mecanismos de formação da produção nessas culturas (GAUNT, 1987).

A AACPD da severidade e da incidência apresentou relação linear com o peso de 1.000 grãos e produção nos três experimentos analisados (Figura 3, 4 e 5). Entretanto, os baixos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) não explicam a redução no peso de 1.000 grãos e na produção. Por outro lado, apesar dos coeficientes de determinação serem baixos, no experimento com maior severidade da doença, para a variável AACPD e peso de 1.000 sementes em CM foram estabelecidas as funções de dano  $y = 622,3 - 0,102x$  ( $R^2 = 0,43$ ) e  $y = 162,3 - 0,077x$  ( $R^2 = 0,62$ ). Em que  $y$  é a produtividade esperada e  $x$  é a severidade da doença nas condições onde foi realizado o experimento (Tabela 8). Segundo Bergamin Filho e Amorim (1996), a equação que relaciona a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) com o rendimento de grãos, é a maneira mais eficaz de se estimar o rendimento, pois leva em conta o estresse causado pela doença que a cultura sofreu durante vários estádios de desenvolvimento. Schmidt et al. (2007) estudaram as perdas causadas pela ferrugem asiática e avaliaram o peso total das vagens secas, o número de grãos por vagem e o peso de 100 grãos por planta. Os autores concluíram que a produção relacionou-se de forma linear significativa entre as variáveis, sendo positiva para o Índice de Área Foliar e negativa com a severidade, peso de grãos e produção. Com o objetivo de quantificar o efeito da severidade da ferrugem asiática na produtividade da soja Andrade e Andrade (2007) observaram correlação negativa entre severidade da doença em R6 e produtividade ( $r = -0,75$ ) e estabelecida a função de dano  $y = 2514,22$

–  $14,8261x$  ( $R^2 = 0,85$ ). Zanatta et al. (2007) utilizaram amostras de discos de folhas de  $4,5 \text{ mm}^2$  de diâmetro analisadas sob microscópio estereoscópico para quantificar o número de lesões por  $\text{cm}^2$ , e com isso correlacionar o rendimento de grãos com a intensidade da ferrugem asiática. Obtiveram por regressão as funções de dano  $y = -78,29x + 3055,63$  ( $R^2 = 0,64$ ) no estágio fenológico R5.3 e  $y = -25,13 + 3186,50$  ( $R^2 = 0,81$ ) no estágio R6 e dano máximo de 56,56%. Os autores sugerem a utilização das equações para o cálculo do limiar de dano econômico.

Na quantificação de doenças e obtenção de parâmetros epidemiológicos utilizados em sistemas de modelagem e previsão, é importante a obtenção de um gradiente de doença. Segundo Ferreira et al. (2008), um gradiente de doença baseado na fenologia utilizando atomizações com doses crescentes de tebuconazole se mostrou apropriado para a ferrugem da soja. Embora, a existência de evidência de gradiente de doença no presente trabalho, não foi suficiente para prever os danos na produção, pois nas relações entre as variáveis AACPD, severidade máxima e produção não foram obtidos ajustes satisfatórios em função dos baixos valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Provavelmente, isso tenha acontecido pelo baixo nível de severidade obtido com as doses do fungicida, ou seja, os níveis de doença obtidos nas plantas em condições de infecção natural não foram suficientemente adequados, apesar de na primeira safra ter ocorrido epidemia severa da doença.

## 5. CONCLUSÕES

- O nível de incidência não se mostrou adequado para avaliar os efeitos da ferrugem na produção de soja.

- A AACPD da severidade e da incidência apresentaram relação linear com a produção, entretanto, os baixos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) não explicam a relação direta na redução na produção.

- A evidência do gradiente gerado, pelos diferentes níveis de intensidade da ferrugem, não foi suficiente para estabelecer uma relação direta com os danos na produção de soja.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. M. R et al. Doenças da soja. In: KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Ceres, 2005. v. 2.

ALVES, M. C. et al. Intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] nas cultivares Conquista, Savana e Suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. **Summa Phytopathol.**, Jaguariuna, v. 33, n. 3, p. 239-244, 2007.

ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. A. A. Produtividade da soja em função da severidade de *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 32, supl., p. S174, 2007.

ASSESS: image analysis software for plant disease quantification. Saint Paul: APS Press, 2002.

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

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

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>>. Acesso em: out. 2007.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1999/2000**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. (Documentos, 131).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/alerta>>. Acesso em: 23 jul. 2007.

FERREIRA, T. A. et al. Metodologia para obtenção de gradiente de doença no patossistema soja-*Phakopsora pachyrhizi*. **Trop. Plant Pathol.**, Brasília, DF, v. 33, supl., p. S178, 2008.

GAUNT, R. E. A mechanistic approach to yield loss assessment based on crop physiology. In: TENG, P. S. (Ed.). **Crop loss assessment and pest management**. Saint Paul: APS Press, 1987. p.150-159.

GODOY, C. V.; CANTERI, M. G. Efeitos protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa de vegetação. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 29, n. 1, p. 126-130, 2004.

GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatol. Bras.**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.

IPNI - International Plant Nutrition Institute. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 66, p. 9-18, 1994.

KOGA, L. J. **Relação entre medidas de reflectância com área foliar sadia, severidade da ferrugem asiática e produtividade da cultura da soja**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. Wall-map 150cmx200cm.

REIS, E. M. et al. Effect of leaf rust on wheat grain yield. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 25, n. 1, p. 67-71. 2000.

REIS, E. F. et al. Controle químico da ferrugem asiática da soja na região sul do Paraná. **Sci. Agrar.**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 319-323, 2007.

SCHMIDT, J. et al. Perdas na produção causadas pela ferrugem asiática (agente causal *Phakopsora pachyrhizi* SIDOW) da soja (*Glycine max* (L.) MERRIL). **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 32, supl., p. S157, 2007.

SINCLAIR, J. B. (Ed.). **Compendium of soybean disease**. 2. ed. Saint. Paul: American Phytopathological Society, 1982.

TENG, P. S.; JOHNSON, K. B. Analysis of epidemiological components in yield loss assessment. In: KRANZ, J.; ROTEM, J. (Ed.). **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1988. p.179-189.

WAGGONER, P. E.; BERGER, R. D. Defoliation, disease, and growth. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 77, p. 393-398, 1987.

YANG, X. B. et al. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybean infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **J. Phytopathol.**, Berlin, v. 81, p. 1420-1426, 1991.

YORINORI, J. T. et al. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*): identificação e controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2003. (Documentos, 204).

YORINORI, J. T. et al. Reações de cultivares de soja a ferrugem “asiática” (*Phakopsora pachyrhizi*). In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.149.

ZANATTA, M. et al. Modelo de ponto crítico para estimar danos causados por *Phakopsora pachyrhizi* em soja. **Fitopatol. Bras.**, Brasília, DF, v. 32, supl., p. S227, 2007.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)