



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARCELI HIKISHIMA

**QUANTIFICAÇÃO DE DANOS E RELAÇÕES ENTRE
SEVERIDADE DA DOENÇA, MEDIDAS DE REFLETÂNCIA E
PRODUTIVIDADE NO PATOSSISTEMA FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA**

LONDRINA
2008

MARCELI HIKISHIMA

**QUANTIFICAÇÃO DE DANOS E RELAÇÕES ENTRE
SEVERIDADE DA DOENÇA, MEDIDAS DE REFLETÂNCIA E
PRODUTIVIDADE NO PATOSSISTEMA FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agronomia, da
Universidade Estadual de Londrina.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo G. Canteri
Co-Orientador(a): Dra. Cláudia V. Godoy

LONDRINA
2008

MARCELI HIKISHIMA

**QUANTIFICAÇÃO DE DANOS E RELAÇÕES ENTRE
SEVERIDADE DA DOENÇA, MEDIDAS DE REFLETÂNCIA E
PRODUTIVIDADE NO PATOSSISTEMA FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, da Universidade
Estadual de Londrina.

Aprovada em: 29/02/2008

COMISSÃO EXAMINADORA

Dr^a. Cláudia Vieira Godoy

EMBRAPA SOJA

Dr. Rafael Moreira Soares

EMBRAPA SOJA

Prof^a. Dr^a. Débora Cristina Santiago

UEL

Prof^a. Dr^a. Lucia SadayoTakahashi (Suplente)

UEL

Prof. Dr. Martin Homechin (Suplente)

UEL

Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri
Orientador
Universidade Estadual de Londrina

DEDICATÓRIA

A minha Família e ao meu esposo Marcelo.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Marcelo Giovanetti Canteri, não só pela valiosa orientação, mas sobretudo pelos seus conselhos e amizade.

À Dr^a. Cláudia Vieira Godoy, pela valiosa orientação não apenas neste trabalho, mas na vida profissional e, pelo incentivo e amizade.

Ao CNPq e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina pela bolsa de estudos concedida.

Aos Engenheiros Agrônomos Marcelo Augusto Fernandes Raposo, Maristela Hikishima, Eliseu Fernando Telli, Marciano José Hikishima, Rogério Fernandes Raposo, Marcelo da Costa Rodrigues e, aos pesquisadores Dr^a. Fernanda Noemberg Lazzari, Dr^a. Sonia Maria Noemberg Lazzari e Dr. Flávio Antonio Lazzari pela amizade, contribuição e incentivo à realização do mestrado.

Aos alunos Daiane C. Martins, Sheila A. Xavier, Fernando A. Grego, Guilherme A. Vieira e, ao técnico de laboratório José A. Rocha pelo auxílio inestimável na condução dos experimentos e coleta de dados.

Aos docentes Débora Cristina Santiago, Martin Homechin, Seiji Igarashi; à secretária da Pós-Graduação Weda A. Westin e, aos colegas Silvia Akimi Cavaguchi, Lucimara Junko Koga, Alexandre José da Silva, Patrícia Helena Santoro, Marina Capparelli Cadioli, Mario Tokum Hirano Domingos Zandonade, Adriano Yoshino e Danilo Antonio Rinaldi pelas colaborações e amizade.

A todas as pessoas da minha família pela compreensão, incentivo e companheirismo.

HIKISHIMA, Marcell. **Quantificação de danos e relações entre severidade da doença, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja**. 2008. Número total de folhas 71. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, ano 2008.

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram gerar as funções de dano para o patossistema ferrugem Asiática da soja e, verificar o potencial de uso de medidas de refletância para quantificar danos em diferentes épocas de semeadura. Os experimentos foram conduzidos no município de Londrina, PR, nas safras 2003/2004, 2005/2006 e 2006/2007. Ensaio foram repetidos em diferentes épocas de semeadura, a fim de se obter intensidade variável da doença em diferentes estádios fenológicos da cultura. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e, cada parcela experimental foi composta por cinco linhas de seis metros de comprimento. Para obter gradiente de doença nos tratamentos foram utilizadas diferentes épocas para aplicações de fungicida nas cultivares BRS 133 e Coodetec 217. A severidade da doença foi estimada em intervalos semanais, a partir do surgimento dos primeiros sintomas. As leituras de refletância foram realizadas com radiômetro de múltiplo espectro, em oito comprimentos de onda (460 a 810 nm). Foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e as integrais das medidas de refletância em 810 nm (AACR₈₁₀) e do índice vegetativo da diferença normalizada (AACR_{ND}). A produtividade apresentou relação linear inversa com a AACPD e incremento linear com as medidas de refletância. A AACR_{ND} ($R^2=83,8\%$) mostrou-se mais eficiente nas relações com a produtividade em relação a AACR₈₁₀ ($R^2=72,9\%$). A AACR_{ND} mostrou potencial para estimar os danos causados pela ferrugem Asiática em todos os ensaios. Os danos observados variaram de 17,8% a 69,8% nos três anos experimentais. Verificou-se que semeaduras tardias apresentaram maiores reduções na produtividade quando comparadas a semeaduras precoces.

Palavras-chave: *Glycine max*; *Phakopsora pachyrhizi*, sensoriamento remoto; radiômetro.

HIKISHIMA, Marcell. **Yield loss quantification and relationship between disease severity, measures of reflectance and yield in the Asian soybean rust pathosystem.** 2008. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

ABSTRACT

The objective of this study was to create yield loss equations for the pathosystem Asian soybean rust and to verify the use potential of the measures of reflectance to quantify yield loss at different sowing time. The experiments were carried out in Londrina, PR, in 2003/2004, 2005/2006 and 2006/2007 growing seasons. Tests were repeated in different sowing dates, in order to obtain variable disease intensity in different phenological stages of the culture. The experimental design was randomized blocks with four replicates and each experimental plot was composed of five rows of six meters length. The treatments were characterized by different stages in the beginning of fungicide spraying on cultivars BRS 133 and Coodetec 217. The disease severity was estimated at weekly intervals from the onset of the first symptoms. The reflectance measurements were done with multispectral radiometer on eight wavelengths (460 nm to 810 nm). The area under the disease progress curve (AUDPC), the integral of measures of reflectance in 810 nm (AUCR₈₁₀) and the integral of normalized difference (AUCR_{ND}) were calculated. The yield showed inverse linear relationship with AUDPC and linear increase with measures of reflectance. The AACR_{ND} ($R^2=83.8\%$) proved to be most efficient to estimate yield in relationship the AUCR₈₁₀ ($R^2=72.9\%$). The AACR_{ND} showed potential to quantify yield loss caused by Asian rust in all experiments. The yield loss observed ranged from 17.8% to 69.8% and greatest yield losses were observed in the late sowing.

Key-words: *Glycine max*; *Phakopsora pachyrhizi*, remote sensing; radiometer.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA	3
2.2 QUANTIFICAÇÃO DE DOENÇAS	8
2.3 QUANTIFICAÇÃO DE DANOS	8
2.4 SENSORIAMENTO REMOTO.....	10
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
3. ARTIGO: QUANTIFICAÇÃO DE DANOS E RELAÇÕES ENTRE SEVERIDADE DA DOENÇA, MEDIDAS DE REFLETÂNCIA E PRODUTIVIDADE NO PATOSSISTEMA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.....	21
3.1 RESUMO.....	21
3.2. INTRODUÇÃO.....	23
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
3.6. CONCLUSÕES.....	67
3.7. REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] representa um importante elemento na economia do Brasil, representando 6,7% do total das exportações. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja e, entre os principais fatores que limitam a obtenção do potencial máximo de produção estão as doenças.

Atualmente, uma das doenças de maior importância na cultura da soja é a ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. e P. Syd.). Desde sua constatação no país, tem causando danos de 10% a 80% na produtividade.

A ferrugem Asiática é altamente agressiva, podendo causar desfolha precoce e comprometimento da formação, enchimento de vagens e peso final do grão. Quando a doença já está ocorrendo, a aplicação de fungicidas é, até o presente, o principal método de controle.

O emprego de cultivares precoces e a concentração de semeaduras no início da época indicada para cada região são práticas de manejo recomendadas para aumentar a eficiência do controle da doença e reduzir os danos na produtividade. Contudo, a condição climática favorável, aliada a uma grande quantidade de inóculo inicial do fungo em algumas regiões do país, tem exigido um número elevado de pulverizações para controle da ferrugem, elevando os custos de produção. Na safra 2006/2007, os prejuízos decorrentes da doença, somando-se as perdas de produção, custo do fungicida e custo da aplicação foram de US\$ 2,2 bilhões (Embrapa Soja, 2007b).

Assim, a utilização de tecnologias que possibilitem determinar a melhor época para a aplicação de fungicidas e o desenvolvimento de modelos de previsão de danos podem contribuir para a redução das perdas de produtividade e dos custos de produção.

A quantificação de danos é um ponto chave na definição de qualquer estratégia de controle de doenças. Diferentes modelos para quantificar danos causados por patógenos são descritos na literatura, porém todos se baseiam na relação incerta injúria-dano. A relação injúria-dano é incerta porque a desfolha não é considerada, ou porque a área foliar é ignorada, ou ainda, porque fisiologicamente a produção depende da área sadia das folhas e não da área doente, ocupada pelo

patógeno. Outra desvantagem apresentada pela maioria dos modelos baseados na relação injúria-dano é a falta de transportabilidade, pois a doença pode atuar de modo diferente sobre o hospedeiro, quando ocorre precoce ou tardiamente na plantação.

Modelos baseados nas medições da área foliar sadia mostraram maior eficiência na determinação de danos causados por doenças foliares, quando comparados a modelos que consideravam apenas a doença. Contudo, as medições da área foliar sadia são muito mais trabalhosas que avaliações de severidade, o que inviabiliza sua aplicação prática.

Técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo empregadas com sucesso em estudos de manejo de doenças, por viabilizarem o uso de variáveis da área foliar sadia na quantificação de danos. As medidas de refletância espectral constituem o principal exemplo da aplicação destas técnicas na fitopatologia, uma vez que existem diferenças nas respostas espectrais de uma folha sadia e uma folha doente.

Os objetivos deste trabalho foram: a) gerar as funções de dano para o patossistema ferrugem Asiática da soja, relacionado produtividade com medidas de refletância e área abaixo da curva de progresso da doença, b) verificar o potencial de uso de medidas de refletância para quantificar os danos causados pela ferrugem Asiática em diferentes épocas de semeadura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ferrugem Asiática da Soja

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja. Na safra 2006/07, a cultura ocupou uma área de 20,687 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 58,4 milhões de toneladas. Os Estados Unidos, maior produtor mundial do grão, responderam pela produção de 86,77 milhões de toneladas de soja. A produtividade média da soja brasileira na safra 2006/07 foi de 2823 kg ha⁻¹, chegando a alcançar cerca de 3000 kg ha⁻¹ no estado de Mato Grosso, o maior produtor brasileiro de soja (Embrapa Soja, 2007a).

Entre os principais fatores que limitam a obtenção de altos rendimentos em soja estão as doenças que, no geral, são de difícil controle. Uma das doenças de maior importância, devido à sua alta agressividade, é a ferrugem Asiática da soja causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. e P. Syd. Esta é a principal doença da soja em áreas tropicais e subtropicais (Sinclair & Hartman, 1999).

Dentro do gênero do fungo *Phakopsora*, incidem na cultura da soja causando a doença denominada ferrugem a *Phakopsora meibomiae* Arthur (Arthur) e *P. pachyrhizi*, diferenciadas através da morfologia dos teliosporos (Ono et al., 1992) e da análise do DNA (Frederick et al., 2002). *P. meibomiae*, também denominada de ferrugem americana, foi relatada pela primeira vez no Brasil em 1979, em Minas Gerais. Inicialmente foi classificada como *P. pachyrhizi* (Deslandes, 1979), mas Carvalho Junior e Figueiredo (2000) concluíram que tratava-se de *P. meibomiae*, menos agressiva que *P. pachyrhizi*.

O primeiro relato da *P. pachyrhizi*, também denominada de ferrugem Asiática, foi em 1902, no Japão. A partir de então encontrada em diversos países do sudeste da Ásia e Austrália, causando perdas de 10% a 90% na produção (Sinclair e Hartman, 1999). Na década de 90 foi constatada na África (Kawuki et al., 2003) onde também vem causando severos danos. Na América do Sul foi relatada pela primeira vez no Paraguai, por Paiva em 2001. No Brasil foi detectada na região oeste do Paraná por Yorinori, no mesmo ano (Yorinori e Wilfrido, 2002).

Desde sua constatação no Brasil, a ferrugem Asiática tem sido encontrada em todos os estados produtores de soja, com danos de 10% a 80%. Na safra 2006/2007 os prejuízos causados pela ferrugem foram estimados na ordem de US\$ 2,2 bilhões, incluindo as perdas de produtividade, custo do fungicida e custo da aplicação (Embrapa Soja, 2007b).

A situação da ferrugem Asiática no Brasil é agravante devido a práticas como a monocultura, cultivo contínuo, extensas áreas de cultivo com a cultura e devido às condições climáticas favoráveis (Henning e Godoy, 2006).

Resultados de ensaios em condições controladas de laboratório mostram que o desenvolvimento da ferrugem Asiática ocorre numa faixa de temperatura ótima entre 15°C e 25°C, com mínima de 7°C e máxima de 28°C, e períodos de molhamento foliar entre 10 a 12 horas, com um mínimo de 6 horas (Marchetti et al., 1976; Melching et al., 1989; Alves et al., 2006).

No geral, o clima ideal para a soja coincide com o ótimo para o desenvolvimento da ferrugem. Regiões com temperaturas entre 18°C e 26°C, com boa distribuição de chuvas durante o crescimento da soja são mais favoráveis a ocorrência de epidemias de ferrugem. Por outro lado, as com temperaturas maiores que 30°C e menores que 15°C, e com distribuição irregular de chuvas retardam o desenvolvimento da epidemia (Tschanz, 1982, citado por Kawuki et al., 2003). Estudos recentes realizados no Brasil mostram que o maior desenvolvimento da ferrugem Asiática no campo está altamente correlacionado com a precipitação (Del Ponte et al., 2006).

Sob temperatura ambiente de 25°C a 27°C os uredosporos germinam em uma hora e as primeiras lesões, podem ser observadas 4 a 5 dias da inoculação e as primeiras frutificações (urédias) e esporulações aos 6 e 7 dias da inoculação (Yorinori et al., 2004). Inicialmente os sintomas da doença são pequenas pústulas foliares com coloração variando de castanha a marrom-escura. Na face abaxial da folha, podem ser observadas uma ou mais urédias, as quais se rompem e liberam os uredosporos. As lesões tendem para formato angular, podem atingir 2 a 5 mm de diâmetro e se desenvolvem em pecíolos, vagens e caules (Sinclair e Hartman, 1999).

A disseminação dos uredosporos ocorre facilmente para lavouras vizinhas ou para longas distâncias através do vento. Existe a suposição de que os

esporos do fungo tenham vindo dos países do sul da África, atravessando o Atlântico ou, da Austrália, através das correntes de ar do Pacífico (Yorinori et al., 2004).

Hartman et al. (2005) relatam que *P. pachyrhizi* infecta mais de 95 espécies de plantas de mais de 42 gêneros. Segundo Yamaoka et al. (2002), *Glycine max*, *G. sojae*, *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi são os principais hospedeiros do patógeno. Esse patógeno possui a habilidade em penetrar diretamente a epiderme. A penetração direta no processo de infecção pode ajudar a entender a grande quantidade de hospedeiros desse patógeno e a dificuldade no desenvolvimento de cultivares resistentes (Hartman et al., 2005).

2.1.1 Manejo da Doença

Na ausência de cultivares resistentes ou tolerantes a doença, atualmente a principal forma de controle da ferrugem Asiática é através da aplicação de fungicidas (Soares et al., 2004; Embrapa Soja, 2007c).

O cultivo de soja irrigada e a presença de plantas de soja na entressafra permitem a sobrevivência e a multiplicação do fungo durante o ano todo, elevando a quantidade de inóculo inicial o qual atinge as primeiras semeaduras da safra. Assim, a adoção de medidas para reduzir o inóculo inicial de *P. pachyrhizi* e evitar a ocorrência da ferrugem nos estádios iniciais da cultura é importante no manejo da doença.

O número crescente de aplicações de fungicida nas regiões de clima favorável a ocorrência da doença e, conseqüentemente, o alto custo para controle fez com que diversos estados brasileiros adotassem o “vazio sanitário”, que consiste na regulamentação do cultivo da soja por 90 dias no período da entressafra e exigência da eliminação de plantas voluntárias da cultura no campo e nas proximidades de rodovias. O objetivo do vazio sanitário é a redução do inóculo inicial para retardar o início da epidemia (Embrapa Soja, 2006).

Também recomenda-se a utilização de cultivares de ciclo precoce e concentração de épocas de semeaduras no início da época recomendada para cada região. Assim, o início da epidemia ocorre quando a planta estiver nos estádios mais

avançados de desenvolvimento e sob condições climáticas menos favoráveis do que nas semeaduras tardias (Yorinori et al., 2004).

Oliveira et al. (2005), avaliando a tolerância de cultivares de soja à ferrugem Asiática, observaram menor redução do rendimento em cultivares precoces quando comparadas a tardias e, atribuíram isto a um mecanismo de evasão ou escape. Essa prática como método de controle, se baseia em táticas de fuga dirigidas contra o patógeno ou contra o ambiente favorável ao desenvolvimento da doença, podendo ser obtido com semeadura em época diferente (Kimati e Bergamin Filho, 1995).

Essas práticas aliadas ao monitoramento das previsões climáticas e da ocorrência da ferrugem na região; semeadura da soja em espaçamento e densidade de plantas que permitam ao máximo a penetração do fungicida no interior do dossel; escolha correta do fungicida, e determinação do melhor momento para aplicação são fundamentais no manejo da ferrugem Asiática, podendo reduzir o número de aplicações e garantir a produtividade (Embrapa Soja, 2006).

Assim, a utilização de tecnologias que possibilitem determinar a melhor época para a aplicação de fungicidas e melhor época para a semeadura e o desenvolvimento de sistemas de previsão de danos podem contribuir para a redução das perdas de produtividade e dos custos de produção.

2.1.2 Controle Químico

Para um controle químico eficiente o início das aplicações do fungicida deve ser determinado com base na ocorrência da doença na região e/ou na lavoura e condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença. O número e a necessidade de re-aplicações são determinados pelo estágio inicial em que foi identificada a doença na lavoura e pelo residual do produto aplicado.

Diferentes fungicidas encontram-se registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle da ferrugem Asiática da soja, com diferentes níveis de eficiência (Embrapa Soja, 2007c). Godoy e Canteri (2004) avaliaram, sob condições de casa de vegetação, alguns fungicidas para o controle da ferrugem Asiática, e, concluíram que os pertencentes ao grupo dos

triazóis e das estrobirulinas, individualmente ou em misturas, foram eficientes no controle da doença.

2.1.3 Danos causados pela Ferrugem Asiática

Os sintomas da ferrugem Asiática mais comumente observados são as lesões com abundante esporulação na face abaxial das folhas inicialmente no terço inferior, que na seqüência, em condições favoráveis atingem toda a planta. Plantas severamente infectadas apresentaram desfolha precoce e comprometimento da formação, enchimento de vagens e peso final do grão (Yang et al., 1991).

A taxa de desenvolvimento da ferrugem é fortemente relacionada com o crescimento e maturidade da planta de soja, essa relação entre a soja e o progresso da ferrugem é, provavelmente, a interação mais importante neste patossistema. Genótipos tardios são tão suscetíveis quanto aos precoces quando comparados no mesmo estágio de crescimento (Tschanz & Wang, 1985; Hartman et al., 1991).

A magnitude nas perdas da produção depende do estágio de desenvolvimento da planta em que a doença teve início e a sua intensidade. Ataques no florescimento e no período de enchimento das vagens reduzem mais severamente a produtividade (Hartman et al., 1991; Kawuki et al., 2003).

Hartman et al. (1991) observaram que os danos diminuía significativamente com o atraso nas inoculações da ferrugem na soja. As cultivares TK5 e B15 apresentaram maior redução de produtividade (63% e 22%) e no peso de sementes (37 e 14%), respectivamente, quando foram inoculadas no estágio de crescimento R1 em comparação quando foram inoculadas em R5. As comparações foram feitas entre parcelas tratadas e não tratadas com fungicidas para controle da doença.

Kawuki et al. (2003), em estudo realizado em Uganda, observaram que a incidência da ferrugem Asiática no florescimento e no enchimento das vagens reduziu mais severamente a produtividade. Os danos variaram de 10 a 36% entre diferentes cultivares e de 15 a 23% entre diferentes regiões do país. Os danos foram

diferentes em cada estação de cultivo e estiveram associados com a redução do peso de grãos e enchimento de vagens.

Desde sua constatação no Brasil, 2002, a ferrugem Asiática tem sido encontrada em todos os estados produtores de soja, causando danos de 10 a 80% na produção (Embrapa Soja, 2007a).

Em estudos realizados na região Oeste da Bahia foram observados danos de 10% e 39% entre parcelas tratadas e não tratadas com fungicidas. Os autores observaram que a ferrugem não causou danos nas cultivares de ciclo precoce, devido às plantas já estarem na fase final de desenvolvimento R6 (sementes fornadas) e R7 (início da maturação) quando a doença obteve os valores mais elevados de severidade (Oliveira et al., 2005).

2.2 Quantificação de Doenças

A quantificação de doenças, designada pelo termo fitopatometria, é indispensável a diversas especialidades dentro da fitopatologia. Dentre elas pode-se citar a aplicação em estudos de medidas de controle (ex: eficiência e momento ideal de aplicação do fungicida), estudo de curvas de progresso da doença, quantificação de danos e, obtenção do limiar de dano econômico. Sua importância tem sido freqüentemente comparada à da diagnose, pois de nada adianta conhecer o patógeno de uma enfermidade se não for possível quantificar os sintomas por ele causados (Bergamin Filho e Amorim, 1996).

2.3 Quantificação de Danos

Estimativas confiáveis dos prejuízos causados pelos patógenos é um pré-requisito para o desenvolvimento de qualquer programa de controle de doenças bem sucedido, onde a quantificação de danos é um ponto chave na definição de qualquer estratégia de controle (Bergamin Filho e Amorim, 1996).

Qualquer sintoma visível causado por algum organismo nocivo (patógenos ou pragas) é coletivamente chamado injúria. O dano é definido como

qualquer redução na qualidade e/ou quantidade da produção causada por uma injúria. A redução em retorno financeiro por unidade de área devida a ação de organismos nocivos é chamada perda (Bergamin Filho e Amorim, 1996).

O cálculo do dano, invariavelmente, implica a determinação da produção das parcelas sadias. Dano seria considerado, portanto, como a diferença de produção entre parcelas com diferentes níveis de doença e parcelas sadias (Bergamin Filho et al., 1995).

Vários são os modelos sugeridos para estimar danos: modelos de ponto crítico, de pontos múltiplos, integrais, de superfície resposta e sinecológicos. Todos são baseados na lógica incerta da relação injúria-dano (Waggoner e Berger, 1987; Bergamin Filho e Amorim, 1996)

A lógica da relação doença-dano é incerta, uma vez que a doença pode atuar de modo diferente sobre o hospedeiro, quando ocorre precoce ou tardiamente na plantação. Também porque a desfolha não é considerada, ou ainda, porque a produção depende da área sadia verde fotossintetizante das folhas e não da área doente e necrosada ocupada pelo patógeno (Waggoner e Berger, 1987; Bergamin Filho e Amorim, 1995). Os autores lembram que a produção, ou matéria seca, de uma planta é função, em grande parte, da fotossíntese que ocorre nas folhas. Citam ainda a existência de altas correlações entre produção, índice de área foliar (LAI - Leaf Area Index - relação entre metros quadrados de área foliar por metro quadrado de solo) e duração da área foliar (integral em função do tempo do LAI) encontradas por Watson (1947).

Waggoner e Berger (1987), contrariando a abordagem tradicional, a qual se concentra apenas em medir o aumento e desenvolvimento das doenças propuseram o emprego da duração da área foliar sadia (HAD – Healthy Leaf Area Duration, em dias) e da absorção da radiação pela área foliar sadia (HAA – Healthy Leaf Area Absorption, em MJ⁻²) para estimar danos provocados por doenças em plantas. Assim é possível verificar o efeito da doença sobre a folhagem do hospedeiro, tendo estas sido consideradas eficientes na determinação de danos causados por doenças (Bergamin Filho et al., 1997; Canteri, 1998; Martins, 2003; Koga et al., 2007).

Koga et al. (2007) observou o efeito da ferrugem Asiática da soja sobre as variáveis HAD e HAA. Os resultados mostram que a produção apresentou incremento linear ($P < 0,01$) com o incremento da HAD e da HAA.

Entretanto, alguns autores reconhecem a necessidade do estabelecimento de uma forma rápida de se determinar o índice de área foliar (LAI). Para viabilizar o uso de HAD e HAA no cálculo de danos, técnicas de sensoriamento remoto têm demonstrado potencial para execução de estimativas rápidas e precisas do LAI, principalmente sob condições de campo (Canteri, 1998)

2.4 Sensoriamento Remoto

O termo sensoriamento remoto refere-se a um conjunto de técnicas capazes de obter informações de um objeto sem que haja contato físico entre o instrumento de medida e objeto (Bergamin Filho et al., 1995; Canteri et al., 2004). Estas medidas, não-destrutivas ou não-invasivas, e, um objeto específico pode ser analisado muitas vezes sem danificar a amostra (Nilsson, 1995).

O sensoriamento remoto utiliza a radiação eletromagnética, tais como luz e calor, contidas/emitidas pelo objeto em estudo. Essa técnica pode ser aplicada como uma ferramenta de suporte de manejo e controle de doenças em plantas, uma vez que há diferenças nas respostas espectrais de uma planta sadia e uma planta doente (Silva et al., 2000).

No caso da fitopatologia, o maior interesse recai sobre a refletância, que é a razão entre radiação solar refletida em uma direção específica e a radiação incidente a um determinado comprimento de onda (Koffer, 1995; citado por Canteri, 1998) A refletância de uma folhagem é função de características da própria espécie vegetal e das condições em que se encontram as plantas (Bergamin Filho e Amorim, 1996).

2.4.1 Interação da radiação solar com a vegetação

O fluxo radiante vindo do sol, ao atingir a superfície do dossel vegetativo, interage com o mesmo, resultando em: fluxo refletido, fluxo absorvido pelos elementos do dossel vegetativo e fluxo transmitido. A quantidade relativa de

cada uma destas partes depende da superfície em que o fluxo incide e varia com o comprimento de onda do espectro (West et al., 2003). No caso da vegetação, a parte refletida, que pode ser medida por sensores, resulta da interação da radiação solar com as diversas camadas ou extratos da vegetação e do solo sobre o qual ela se desenvolveu (Bauer, 1975; citado por Canteri, 1998).

A região do espectro refletivo (380 nm a 3000 nm), onde a energia detectada é basicamente originada da reflexão da energia solar por objetos na superfície terrestre, é a de maior interesse à fitopatologia. Pode ser dividido em três sub-regiões (Vettorazzi, 1992):

- a) Visível (380~720 nm);
- b) Infravermelho Próximo (IR) (720~1300 nm);
- c) Infravermelho Médio (1300~3000 nm).

A refletância de folhas pode ser estudada de acordo com duas regiões do espectro: região do visível e região do infravermelho (IV) (Figura 2.1).

Folhas sadias tipicamente exibem: a) baixa refletância nos comprimentos de onda na região do visível devido a forte absorção dos pigmentos fotoativos (clorofilas, antocianinas, carotenóides); b) alta refletância no IR devido à grande quantidade difusa de ar na interface das células nos tecidos internos da folha, no geral, quanto mais lacunosa for a estrutura, maior será o espalhamento interno da radiação incidente e, conseqüentemente, maior também será a refletância; c) baixa refletância na região do infravermelho médio devido à absorção pela água, proteínas e outros constituintes carbonos (Hatfield, 1990; West et al., 2003)

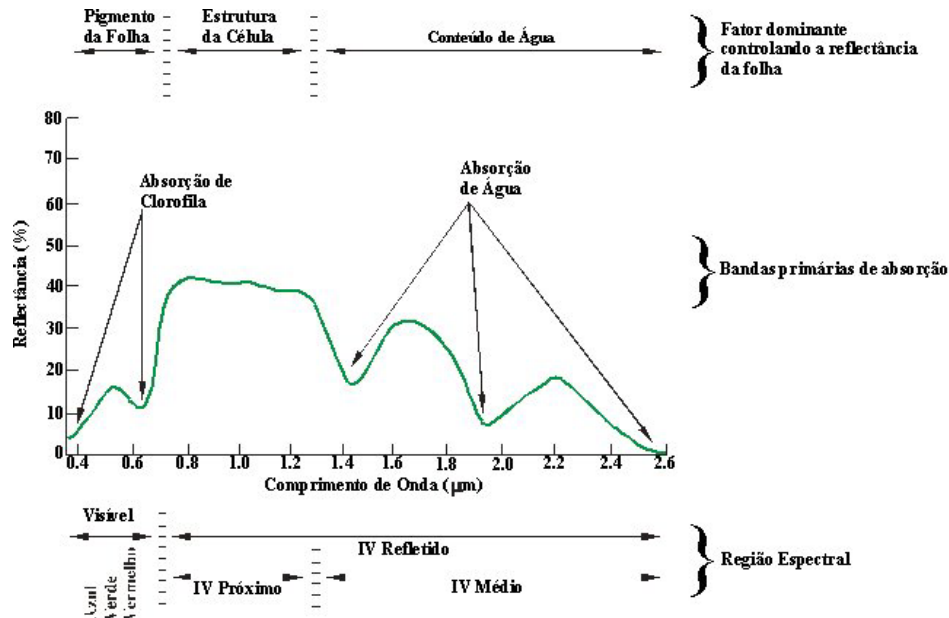


Figura 2.1: Curva de refletância típica de uma folha verde.

Fonte: http://www.fgel.uerj.br/labgis/gis_atualizada/sensoriamento/espectro.html#resp_veg

No geral, medições radiométricas em folhas sadias detectam uma sutil refletância na faixa azul (450-480nm) e vermelho (600-700 nm), um pouco mais no verde (500-550) e substancialmente mais no infravermelho próximo entre 750 e 1100 nm. Plantas afetadas por doenças foliares geralmente exibem lesões nas folhas, correspondendo a regiões necróticas ou cloróticas, que aumentam a refletância na faixa do visível, especialmente nas faixas de absorção da clorofila. Por outro lado, reduzem a refletância na faixa do infravermelho próximo (Nilsson, 1995).

Estudos desenvolvidos com trigo (Scotford e Miller, 2004a; Scotford e Miller, 2004b; Nicolas, 2004; Reis et al., 2006; Bryson et al., 1997), feijão (Canteri, 1998), soja (Santos Junior et al., 2002; Koga et al., 2007), amendoim (Nutter Junior e Littrell, 1996), beterraba (Hoffmann e Blomberg, 2004) mostram que, em geral, tecidos vegetais infectados ou com algum tipo de estresse apresentam menor refletância na região do infravermelho próximo (comprimento de onda maior que 700 nm), quando comparadas com tecidos sadios.

Mudanças de refletância no comprimento de onda em torno de 670 nm provocam a “red edge”, ou seja, nítida transição no espectro de refletância da faixa do visível para refletância na faixa do IR, que geralmente ocorre em torno de 730 nm (West et al., 2003). Essa característica é única para a vegetação verde e permite avaliações da clorofila e índice da área foliar. São particularmente úteis para detecção precoce de estresse na vegetação (Nilsson, 1995).

Diferenciar as áreas da lavoura doente e sadia depende da identificação das diferenças do espectro refletido pelo tecido saudável e doente. A doença pode afetar as propriedades óticas das folhas em vários comprimentos de onda, assim os sistemas de detecção de doenças podem ser baseados em medidas espectrais em diferentes bandas ou em uma combinação das bandas (West et al., 2003).

2.4.2. Fatores que afetam a refletância da vegetação

Existem vários fatores que podem influenciar as propriedades de refletância da folhagem de uma cultura. Aspectos como: cobertura vegetal, orientação e espaçamento das fileiras, morfologia do dossel, estrutura interna dos elementos que compõem o dossel, diâmetro da copa da planta, altura da planta, teor de água na planta e no solo, pH do solo e quantidade de nitrogênio no solo, condições fitossanitárias e fisiológicas das plantas, ângulo zenital e azimutal do sol, radiação incidente, latitude e resolução do equipamento utilizado para medidas radiométricas, podem interferir nas propriedades refletivas da vegetação (Guan e Nutter, 2001; Nilsson, 1995; West et al., 2003; Nicolas, 2004).

A umidade pode interferir nas leituras radiométricas de diferentes formas, como orvalho, molhamento foliar, molhamento do solo e estresse hídrico das plantas (Nilsson, 1995)

Guan e Nutter Jr. (2001) avaliaram o efeito da radiação incidente sobre a qualidade e quantidade de luz solar refletida pelo dossel da cultura da alfafa. Os autores observaram que a radiação incidente apresentou relação linear negativa ($P < 0,001$) com a porcentagem de refletância no infravermelho próximo (760 e 810 nm) e, que tinha efeito bem maior sobre os comprimentos de onda do infravermelho

próximo quando comparada com a região do visível. Os mesmos autores avaliaram o efeito da umidade das folhas sobre a porcentagem de refletância e concluíram que a adição de água sobre as folhas incrementou a porcentagem de refletância pelo dossel da cultura, tanto na região do infravermelho próximo, quanto na região do visível.

O ângulo de visão dos sensores óticos deve considerar o impacto de reflexão do solo, que é transmitido através das folhas da cultura para misturar-se com as reflexões do dossel. Para se conhecer a contribuição do solo, as observações devem ser feitas repetidas vezes e deve-se conhecer a porcentagem de cobertura do solo. A sombra é um elemento que introduz discrepância nos resultados, normalmente acarretando diminuição na radiância refletida. De maneira geral, quanto mais exposto for o solo (menor LAI), maiores serão os valores de refletância medidos na região do visível (West et al., 2003).

A refletância das culturas, durante a fase de desenvolvimento da vegetação no campo, apresenta uma mistura de resposta espectral da parte aérea da planta e do solo onde a cultura foi implantada. À medida que a vegetação atinge o desenvolvimento máximo, o dossel é definido como completo, ou seja, com uma cobertura vegetal de 100% da área. Após esta fase há naturalmente uma redução na cobertura vegetal com o início da senescência. Os sintomas da senescência estão associados com a deficiência de absorção mineral e a disfunção de água na planta, provocando variações nos conteúdos de certos pigmentos, como a clorofila, além de modificações na morfologia da planta e do dossel da cultura (Nicolas, 2004).

Como visto vários fatores podem interferir nas propriedades de refletância do dossel das culturas. Uma alternativa para eliminar grande parte da variação e viabilizar o uso de medidas de refletância em manejo de doença é o uso da parcela *controle sensu* (Lopes et al., 1994), para comparações instantâneas com determinada situação de produção.

2.4.3. Índices de vegetação

A partir dos dados resultantes do sensoriamento remoto os índices de vegetação podem ser estimados, e servem como indicadores do crescimento e

do vigor de vegetação verde, podendo serem utilizados no diagnóstico de parâmetros biofísicos, incluindo índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade, com os quais tem apresentado elevados graus de correlação (Hoffmann & Blomberg, 2004).

A refletância espectral tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação para minimizar a variabilidade causada por fatores externos. O mais amplamente utilizado é o índice vegetativo com diferença normalizada (NDVI) (Nicolas, 2004; Scotford & Miller, 2004a; Hoffmann e Blomberg, 2004; Santos Junior et al., 2002; Canteri, 1998; Koga et al., 2007). Sendo este definido por: $NDVI = (IR-R)/(IR+R)$, onde IR é a refletância do IR e o R a refletância na região do visível (Nicolas, 2004; Nilson, 1995).

2.4.4. Radiometria

Atualmente, um dos métodos mais utilizados para avaliar as características do dossel da lavoura é a refletância espectral, obtida através de radiômetros, espectrômetros, ou câmeras digitais (Scotford & Miller, 2004a). Onde o radiômetro de multiespectro de mão é o tipo mais comum de instrumento usado na patologia de plantas para quantificar injúrias em culturas (Nilsson, 1995; Nutter Jr. e Littrell, 1996; Canteri, 1998; Canteri et al., 1999; Gianasi et al., 2000; Reis et al., 2006; Koga et al., 2007).

2.5. Referências Bibliográficas

- ALVES, S.A.M.; FURTADO, G.Q.; BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L (ed.). **Ferrugem Asiática da soja**. Viçosa, Suprema. 2006. p. 37-59.
- BERGAMIN FILHO, A.; LOPES, D.B.; AMORIM, L.; GODOY, C.V.; BERGER, R.D. Avaliação de danos causados por doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.3 p.133-170. 1995.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1996. 289p.
- BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S.M.T.P.G.; GODOY, C.V.; AMORIM, L.; BERGER, R.D. & HAU, B. Angular leaf spot of *Phaseolus beans*: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. **Phytopathology**, v.87, p.506-515. 1997.
- BRYSON, R.J.; PAVELEY, N.D; CLARK, W.S.; SYLVESTER-BRADLEY R. & SCOTT, R.K. Use of in-field measurements of green leaf area and incident radiation to estimate the effects of yellow rust epidemics on the yield of winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v.7, p.53-62, 1997.
- CANTERI, M.G. Uso de medidas da área foliar sadia e refletância no manejo da mancha angular do feijoeiro. 1998. 81 p. Tese. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, SP.
- CANTERI, M.G.; AGNELO, J.V.; AMORIM, L. & BERGAMIN FILHO, A. Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade em amendoim. **Summa Phytopathologica**, v.25, p.228-233, 1999.
- CANTERI, M.G.; GODOY, C.V.; DEL PONTE, E.M.; FERNANDES, J.M.C. & PAVAN, W. Aplicações da computação na fitopatologia. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.12. p.243-285. 2004.
- CARVALHO JUNIOR, A.A.; FIGUEIREDO, M.B. A verdadeira identidade da ferrugem da soja no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 26, p. 197-200, 2000.
- DEL PONTE, E M ; GODOY, C. V. ; LI, X. ; YANG, X B . Predicting Severity of Asian Soybean Rust Epidemics with Empirical Rainfall Models. **Phytopathology**, 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. **Fitopatologia Brasileira**, v.4, p.337-339, 1979.

EMBRAPA SOJA, 2006. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Histórico do vazio sanitário como medida de manejo da ferrugem Asiática da soja**. Disponível em:

<http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=177&cultura=1>

Acesso em: 01 jun. 2007

EMBRAPA SOJA, 2007a. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **A soja**. Disponível em:

<http://cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=22&cod_pai=16>

Acesso em: 01 nov. 2007

EMBRAPA SOJA, 2007b. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tabela de custo de ferrugem Asiática**. Disponível em

<http://cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=160>

Acesso em: 01 jun. 2007

EMBRAPA SOJA, 2007c. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Produtos registrados no MAPA para controle da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)**. Disponível em:

<http://cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=180&cultura=1>

Acesso em: 01 jun. 2007

FREDERICK, R. D.; SNYDER, C. L.; PETERSON, G. L.; BONDE, M. R. Polymerase chain reaction assays for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*. **Phytopathology**, v. 92, p. 217-227, 2002.

GODOY, C.V. & CANTERI, M.G. Efeito protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.97-101, 2004.

GIANASI, L.; FERNADES, N.; LOURENÇO, S.A.; Utilização do sensoriamento remoto para verificar a eficiência de fungicidas no controle da queima das folhas por alternaria em cenoura. **Summa Phytopathologica**, v.26, p.282-286, 2000.

GUAN, J.; NUTTER JUNIOR, F.W. Factors that affect the quality and quantity of sunlight reflected from alfalfa canopies. **Plant Disease**, v.85, p.865-874, 2001.

HARTMAN, G.L.; WANG, T.C.; TSCHANZ, A.T. Soybean rust development and quantitative relationship between rust severity and soybean yield. **Plant Disease**, v.75, n.6, p.596-600, 1991.

HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, (symposium) v. 89, p.664-666, 2005.

HATFIELD, J.L. Remote detection of crop stress: application to plant pathology. **Phytopathology**, v.80, n.1, p.37-39. 1990.

HENNING, A.A.; GODOY, C.V. Situação da ferrugem da soja e no mundo. . In: ZAMBOLIM, L (ed.). **Ferrugem Asiática da soja**. Viçosa, Suprema. 2006. p.01-14.

HOFFMANN, C.M. & BLOMBERG, M. Estimation of leaf area index of *Beta vulgaris* L. based on optical remote sensing data. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v.190, p.197-204, 2004.

KAWUKI, R.S.; ADIPALA, E.; TUKAMUHABWA, P. Yield loss associated with soya bean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in Uganda. **J. Phytopathology**, v.151, p.7-12, 2003.

KOGA, L.J. Relação entre medidas de refletância e área foliar sadia, severidade da ferrugem Asiática e produtividade da cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v.28, n.4, p.571-580, 2007.

KIMATI, H.; BERGAMIN FILHO, A. Princípios gerais de controle. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Eds). **Manual de Fitopatologia I**. 3. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1995. 919p.

LOPES, D.B.; BERGER, R.D.; BERGAMIN FILHO, A. Absorção da área foliar sadia (HAA): uma nova abordagem para a quantificação de dano e para o manejo integrado de doença. **Summa Phytopathologica**, v.20, p.143-151, 1994.

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**, v.66, n. 6, 1976.

MARTINS, M.C. Produtividade da soja sob influência de ocorrência natural de *Septoria glycines* Hemi E. *Cercospora kikuchii* (Matsu. & Tomoyasu) Gardner com e sem controle químico. Piracicaba, 2003. 116p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo.

MELCHING, J.S., DOWLER, W.M.; KOOGLE, D.L.; ROYER, M.H. Effect of duration, frequency and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v. 73, p.117-122. 1989.

NICOLAS, H. Using remote sensing to determine of the date of a fungicide application on winter wheat. **Crop Protection**, v. 23, p. 853-863, set. 2004.

NILSSON, H.E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. **Annual Reviews Phytopathology**, v.15, p.489-527. 1995

NUTTER JUNIOR, F.W. & LITTRELL, R.H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. **Crop Protection**, v. 15, n. 2, p. 135-142, 1996.

OLIVEIRA, A.C.B., GODOY, C.V. & MARTINS, M.C. Avaliação da tolerância de cultivares de Soja à ferrugem Asiática no oeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, 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. **Mycological Research** 96: 825-850. 1992.
- REIS, E.M.; LEITES, A.; FORCELINI, C.A. Relações entre intensidade da ferrugem da folha, refletância e rendimento de grãos no patossistema ferrugem da folha do trigo embrapa 16. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p. 447-454. 2006
- SANTOS JUNIOR, R.F.; SANTOS, J.M.; RUDORFF, B.F.T. & MARCHIORATO, I.A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n.4, p.355-360, 2002.
- SCOTFORD, I.M. & MILLER, P.C.H. Combination of spectral reflectance and ultrasonic sensing to monitor the growth of winter wheat. **Biosystems Engineering**, v. 87, n. 1, p. 27-38, 2004a.
- SCOTFORD, I.M. & MILLER, P.C.H. Estimating tiller density and leaf area index of winter wheat using spectral reflectance and ultrasonic sensing techniques. **Biosystems Engineering**, v. 89, n. 4, p. 395-408, 2004b
- SILVA, E.A.; SILVA, J.F.V.; MONICO, J.F.G.; HIROMOTO, D.M. Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematóide do cisto da soja. In: BORÉM, A. **Agricultura de precisão**, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.409-453.
- SINCLAIR, J.B. & HARTMAN, G. L. Soybean diseases. In: Hartman, G.L.; Sinclair, J.B. & Rupe, J.C. (Eds.) **Compendium of Soybean Diseases**. 4ed. St. Paul. American Phytopathological Society, 1999. pp.3-4.
- SOARES, R.M.; RUBIN, S.S.L.; WIELEWICK, A.P.; OZELAME, J.G. Fungicidas no controle da ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1245-1247, 2004.
- TSCHANZ, AT.; WANG, T.C. Interrelationship between soybean development, resistance, and *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v.81, n.11, p.1.420-1.426, 1985.
- YAMAOKA, Y.; FUJIWARA, Y.; KAKISHIMA, M.; KATSUYA, K.; YAMADA, K.; HAGIWARA, H. Pathogenic races of *Phakopsora pachyrhizi* Syd on soybean and wild hosts plants collected in Japan. **Journal Gen. Plant Pathol.**, v.68, p.52-56, 2002.
- YANG, X.B.; TSCHANZ, AT.; DOWLER, W.M.; WANG, T.C. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybeans infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v.81, n.11, p.1.420-1.426, 1991.

YORINORI, J.T. **Ferrugem Asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*): ocorrência no Brasil e estratégias de manejo.** In: Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil, 24., 2002, São Pedro. Ata...Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.73-82.

YORINORI, J.T.; NUNES JUNIOR, J. & LAZZAROTTO, J.J. **Ferrugem “Asiática” da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle.** In: Documentos / Embrapa Soja, n. 247, 2004, Londrina. Documentos...Londrina: Embrapa Soja, 2004. 36p.

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

WEST, J.S.; BRAVO, C.; OBERTI, R.; LEMAIRE, D.; MOSHOU, D. & McCARTNEY, H.A. The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. **Annual Reviews Phytopathology**, v.41, p.593-614, 2003.

3. ARTIGO: QUANTIFICAÇÃO DE DANOS E RELAÇÕES ENTRE SEVERIDADE DA DOENÇA, MEDIDAS DE REFLETÂNCIA E PRODUTIVIDADE NO PATOSSISTEMA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.

3.1 Resumo

Os objetivos deste trabalho foram gerar as funções de dano para o patossistema ferrugem Asiática da soja e, verificar o potencial de uso de medidas de refletância para quantificar danos em diferentes épocas de semeadura. Os experimentos foram conduzidos no município de Londrina, PR, nas safras 2003/2004, 2005/2006 e 2006/2007. Ensaios foram repetidos em diferentes épocas de semeadura, a fim de se obter intensidade variável da doença em diferentes estádios fenológicos da cultura. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e, cada parcela experimental foi composta por cinco linhas de seis metros de comprimento. Para obter gradiente de doença nos tratamentos foram utilizadas diferentes épocas para aplicações de fungicida nas cultivares BRS 133 e Coodetec 217. A severidade da doença foi estimada em intervalos semanais, a partir do surgimento dos primeiros sintomas. As leituras de refletância foram realizadas com radiômetro de múltiplo espectro, em oito comprimentos de onda (460 a 810 nm). Foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e as integrais das medidas de refletância em 810 nm ($AACR_{810}$) e do índice vegetativo da diferença normalizada ($AACR_{ND}$). A produtividade apresentou relação linear inversa com a AACPD e incremento linear com as medidas de refletância. A $AACR_{ND}$ ($R^2=83,8\%$) mostrou-se mais eficiente nas relações com a produtividade em relação a $AACR_{810}$ ($R^2=72,9\%$). A $AACR_{ND}$ mostrou potencial para estimar os danos causados pela ferrugem Asiática em todos os ensaios. Os danos observados variaram de 17,8% a 69,8% nos três anos experimentais. Verificou-se que semeaduras tardias apresentaram maiores reduções na produtividade quando comparadas a semeaduras precoces.

Palavras-chave: *Glycine max*; *Phakopsora pachyrhizi*, sensoriamento remoto; radiômetro.

HIKISHIMA, Marcell. **Yield loss quantification and relationship between disease severity, measures of reflectance and yield in the asian soybean rust pathosystem.** 2008. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

ABSTRACT

The objective of this study was to create yield loss equations for the pathosystem Asian soybean rust and to verify the use potential of the measures of reflectance to quantify yield loss at different sowing time. The experiments were carried out in Londrina, PR, in 2003/2004, 2005/2006 and 2006/2007 growing seasons. Tests were repeated in different sowing dates, in order to obtain variable disease intensity in different phenological stages of the culture. The experimental design was randomized blocks with four replicates and each experimental plot was composed of five rows of six meters length. The treatments were characterized by different stages in the beginning of fungicide spraying on cultivars BRS 133 and Coodetec 217. The disease severity was estimated at weekly intervals from the onset of the first symptoms. The reflectance measurements were done with multispectral radiometer on eight wavelengths (460 nm to 810 nm). The area under the disease progress curve (AUDPC), the integral of measures of reflectance in 810 nm (AUCR₈₁₀) and the integral of normalized difference (AUCR_{ND}) were calculated. The yield showed inverse linear relationship with AUDPC and linear increase with measures of reflectance. The AACR_{ND} ($R^2=83.8\%$) proved to be most efficient to estimate yield in relationship the AUCR₈₁₀ ($R^2=72.9\%$). The AACR_{ND} showed potential to quantify yield loss caused by Asian rust in all experiments. The yield loss ranged from 17.8% to 69.8% and greatest yield losses were observed in the late sowing.

Key-words: *Glycine max*; *Phakopsora pachirhizi*; remote sensing; radiometer; NDVI.

3.2. Introdução

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] representa um importante elemento na economia do Brasil, representando 6,77% do total das exportações. O país é segundo maior produtor mundial, com produtividade média na safra de 2006/2007 de 2823,0 kg ha⁻¹ (Embrapa soja, 2007a). Entre os principais fatores que limitam a exploração máxima do potencial de produtividade estão as doenças.

A ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. e P. Syd.) é na atualidade um dos principais problemas para a cultura da soja no Brasil. Desde sua constatação no país, em 2001, tem se mostrado altamente agressiva e com grande potencial de expansão, provocando reduções de até 80% na produtividade (Yorinori et al., 2004). Plantas severamente infectadas apresentaram desfolha precoce e comprometimento da formação, enchimento de vagens e peso final do grão (Yang et al., 1991).

A magnitude das perdas na produtividade depende do estágio de desenvolvimento da planta em que a doença teve início e a sua intensidade. Ataques no florescimento e no período de enchimento das vagens reduzem mais severamente a produtividade (Hartman et al., 1991; Kawuki et al., 2003). A taxa de desenvolvimento da ferrugem é intimamente relacionada com o crescimento e maturidade da planta de soja (Tschanz & Wang, 1985; Hartman et al., 1991).

Quando a doença já está ocorrendo, a aplicação de fungicidas é, até o presente, o principal método de controle (Soares et al., 2004; Yorinori et al., 2004). Vários fungicidas são registrados e recomendados para o controle da ferrugem Asiática da soja, com diferentes níveis de eficiência, sendo as misturas prontas de triazól + estrobilurina um dos produtos mais eficientes no controle da doença (Embrapa Soja, 2007b). O emprego de cultivares precoces e a concentração de sementes no início da época indicada para cada região são práticas de manejo recomendadas para aumentar a eficiência do controle da doença e reduzir os danos na produtividade (Yorinori et al., 2004). Contudo, a condição climática favorável, aliada a uma grande quantidade de inóculo inicial do fungo em algumas regiões do país, tem exigido um número elevado de pulverizações para controle da ferrugem, elevando os custos de produção.

Assim, a utilização de tecnologias que possibilitem determinar a melhor época para a aplicação de fungicidas e o desenvolvimento de modelos de previsão de danos podem contribuir para a redução das perdas de produtividade e dos custos de produção.

A quantificação de danos é um ponto chave na definição de qualquer estratégia de controle de doenças. Diferentes modelos para quantificar danos causados por patógenos são descritos na literatura (Bergamin Filho et al., 1995; Bergamin Filho e Amorim, 1996), porém todos se baseiam na relação injúria-dano. Uma das principais limitações do uso de modelos baseados na relação injúria-dano na quantificação de danos é a falta de transportabilidade, pois a doença pode atuar de modo diferente sobre o hospedeiro, quando ocorre precoce ou tardiamente na plantação (Waggoner e Berger, 1987).

Em estudos com outros patossistemas, modelos baseados na relação da produtividade com a área foliar sadia apresentaram maior eficiência na determinação de danos causados por doenças foliares, quando comparados a modelos que consideravam apenas a doença (Bergamin et al. 1997; Canteri, 1998). Porém, as medições da área foliar sadia são muito mais trabalhosas que avaliações de severidade, o que inviabiliza sua aplicação prática (Canteri, 1998).

Técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo empregadas com sucesso em estudos de manejo de doenças, por viabilizarem o uso de variáveis da área foliar sadia na quantificação de danos. As medidas de refletância espectral constituem o principal exemplo da aplicação destas técnicas na fitopatologia, uma vez que existem diferenças nas respostas espectrais de uma folha sadia e uma folha doente (Silva et al., 2000).

Os objetivos deste trabalho foram: a) gerar as funções de dano para o patossistema ferrugem Asiática da soja, relacionado produtividade com medidas de refletância e área abaixo da curva de progresso da doença, b) verificar o potencial de uso de medidas de refletância para quantificar os danos causados pela ferrugem Asiática em diferentes épocas de semeadura.

3.3 Material e Métodos

Fazem parte deste estudo três experimentos conduzidos nas safras 2003/2004, 2005/2006 e 2006/2007. Os experimentos foram realizados na área experimental da fazenda escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), localizada no município de Londrina, PR, a 23°18' de latitude Sul e 51°10' de longitude Oeste e 560 m de altitude. O tipo de solo na área é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 1999).

3.3.1 Experimento I – safra 2003/2004

Este experimento foi conduzido durante a safra 2003/2004 em área de cultivo tradicional sucedendo a cultura do trigo. A semeadura foi realizada em 19/11/2003 com uma população final de 280.000 plantas ha⁻¹. Foi utilizada a cultivar de soja BRS 133 (Tabela 3.5).

A adubação de base foi realizada conforme recomendações para a cultura (Embrapa Soja, 2003) e o controle de pragas e plantas daninhas foram realizados para manter a área livre da interferência desses fatores. O gradiente de intensidade da ferrugem foi gerado através da aplicação de fungicida em número e estádios fenológicos variados. O acompanhamento dos estádios fenológicos da cultura foi realizado utilizando-se a escala desenvolvida Ritchie et al. (1982), adaptada por Yorinori (1993) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Descrição dos estádios fenológicos da soja.

Estádio	Descrição
I. Fase vegetativa	
VC	Da emergência a cotilédones abertos.
VI	Primeiro nó; folhas unifolioladas abertas.
V2	Segundo nó; primeiro trifólio aberto.
V3	Terceiro nó; segundo trifólio aberto.
Vn	Enésimo (último) nó com trifólio aberto, antes da floração.
II. Fase Reprodutiva (observação da haste principal)	
R1	Início da floração até 50% das plantas com uma flor.
R2	Floração plena. Maioria dos racemos com flores abertas.
R3	Final da floração. Vagens com até 1,5 cm de comprimento.
R4	Maioria das vagens no terço superior com 2 - 4 cm, sem grãos perceptíveis.
R5.1	Grãos perceptíveis ao tato a 10% da granação.
R5.2	Maioria das vagens com granação de 10%-25%.
R5.3	Maioria das vagens entre 25% e 50% de granação.
R5.4	Maioria das vagens entre 50% e 75% de granação.
R5.5	Maioria das vagens entre 75% e 100% de granação.
R6	Vagens com granação de 100% e folhas verdes.
R7.1	Início a 50% de amarelecimento de folhas e vagens.
R7.2	Entre 51% e 75% de folhas e vagens amarelas.
R7.3	Mais de 76% de folhas e vagens amarelas.
R8.1	Início a 50% de desfolha.
R8.2	Mais de 50% de desfolha à pré-colheita.
R9	Ponto de maturação de colheita.

Fonte: Ritchie et al. (1982), adaptado por Yorinori, 1993.

3.3.1.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições, sendo cada repetição constituída por parcelas com cinco linhas de seis metros de comprimento, espaçadas 0,45m. Considerou-se como área útil para a aplicação dos tratamentos (Tabela 3.2) e coleta de dados as três linhas centrais, e como bordaduras as duas linhas externas e 0,50 m das extremidades da parcela.

O fungicida utilizado para o controle da ferrugem foi o pyraclostrobina + epoxiconazole (66,5 + 25 g i.a. ha⁻¹) que equivale a dose 500 mL ha⁻¹ do produto comercial Opera®. O fungicida foi aplicado nos tratamentos 2 a 8,

iniciando em diferentes estádios fenológicos da cultura, sendo o tratamento 1 considerado a testemunha sem aplicação de fungicida.

As aplicações de fungicida foram realizadas utilizando-se pulverizador costal pressurizado com CO₂, barra de pulverização de 2,0 m de largura com quatro pontas tipo leque XR 11002, espaçados 0,50 m entre si. O volume de calda aplicado em cada unidade experimental foi equivalente a 200 L ha⁻¹, com pressão de serviço igual a 30 lb/pol² (1m s⁻¹).

Tabela 3.2. Número e época das pulverizações para controle da ferrugem Asiática da soja, safra 2003/2004.

Tratamentos	
Estádios das Pulverizações	Número de pulverizações
1-Testemunha	-
2-R ₃	1
3-R ₄	1
4-R _{5,1}	1
5-R _{5,3}	1
6-R _{5,5}	1
7-R ₂ e R _{5,1}	2
8-R ₂ , R ₄ e R _{5,1}	3

3.3.1.2 Variáveis avaliadas

1. Dados climáticos

Os dados climáticos (temperatura média diária e precipitação média diária) correspondentes ao período de experimentação foram obtidos junto à estação meteorológica pertencente ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

2. *Severidade da ferrugem e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD):*

A quantificação da severidade, porção da área foliar com sintomas da ferrugem Asiática da soja, foi realizada com o auxílio de escala diagramática (Godoy et al., 2006) (Figura 3.1). Foram amostrados quatro pontos aleatórios em cada uma das parcelas do ensaio, onde foram coletados trifólios do terço inferior, médio e superior das plantas, estimando-se dessa forma a severidade média, em porcentagem, para os três folíolos de cada folha e de cada altura de coleta. A avaliação da severidade foi realizada em 12 trifólios por parcela, sendo a média da severidade uma estimativa da média da doença na parcela.

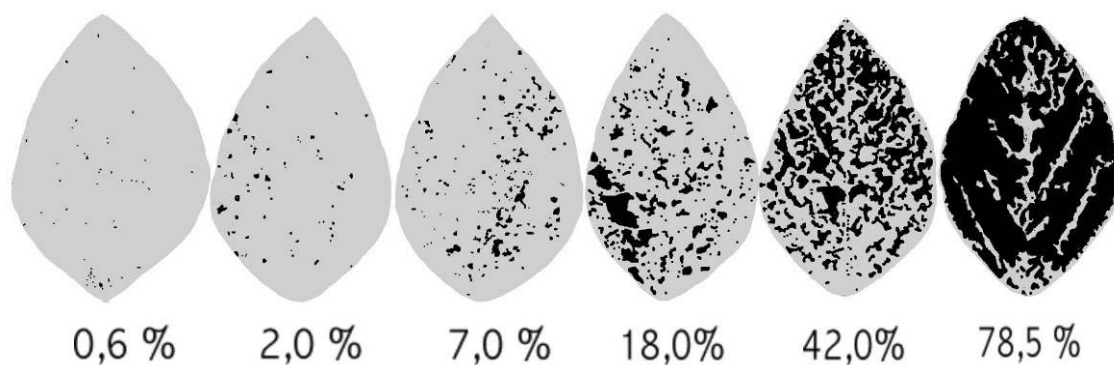


Figura 3.1. Escala diagramática utilizada para estimar a severidade de ferrugem Asiática em folhas de soja (Godoy et al., 2006).

Foram realizadas avaliações semanais a partir do aparecimento dos primeiros sintomas, até o final do ciclo da cultura.

Os valores de severidade média foram utilizados para a construção das curvas de progresso da doença (plotagem gráfica da severidade média no eixo Y, em função do tempo, eixo X). Foi calculado o valor da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para cada parcela por integração trapezoidal

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1}) / 2] (t_{i+1} - t_i)$$

onde X é a severidade média da doença (em porcentagem) por parcela, $X_i = X(t_i)$, n é o número de avaliações e $(t_{i+1} - t_i)$ é o intervalo entre duas avaliações consecutivas.

3. Taxa de progresso da doença (r):

A taxa de progresso da doença foi estimada definindo-se o melhor modelo epidemiológico que se ajustava aos dados do estudo. Foram avaliados os modelos exponencial, monomolecular, logístico e de Gompertz, seguindo a metodologia descrita por Bergamin Filho et al. (1995).

4. Medidas de refletância e área abaixo da curva de refletância (AACR):

As leituras de refletância foram feitas semanalmente, após a detecção dos primeiros sintomas da ferrugem, utilizando o radiômetro de múltiplo espectro portátil CropScan, modelo MSR87, que armazenou a porcentagem de luz difusa refletida pelo dossel em oito comprimentos de onda (460, 510, 560, 610, 660, 710, 760 e 810 nanômetros - nm). O sensor foi montado em uma barra conectado ao armazenador de dados ("data logger"), que automaticamente gravou os dados de todos os canais. Durante a leitura, a barra permaneceu em um ângulo de 45° com o sensor e a uma altura de 2,00 m sobre o solo. Foram feitas três leituras por parcela, e a área medida foi a de um círculo com diâmetro igual à metade da altura do sensor, centralizado no intervalo entre as duas linhas mais internas da parcela. O horário das leituras foi sempre pela manhã, entre 09:00 e 11:00 horas.

Para as análises das medidas de refletância pela área foliar sadia foram utilizadas as leituras no comprimento de onda de 810 nm e o índice vegetativo da diferença normalizada (NDVI), onde $NDVI = (IR-R)/(IR+R)$ (Nilsson, 1995). Utilizou-se para o comprimento de onda no infravermelho (IR - Infrared) o valor de 810 nm e para o vermelho (R - Red) o comprimento de onda de 660 nm (Canteri, 1998).

Para o comprimento de onda em 810 nm e para o índice vegetativo, foram calculados por integração trapezoidal os valores da área abaixo da curva das medidas de refletância (AACR) para cada parcela, pela fórmula:

$$AACR = \sum_{i=1}^{n-1} [(R_i + R_{i+1}) / 2] (t_{i+1} - t_i)$$

onde R é a medida de refletância no comprimento de onda de 810 nm (porcentagem), $R_i = R(t_i)$, n é o número de avaliações e $(t_{i+1} - t_i)$ é o intervalo entre duas avaliações consecutivas.

5. Produtividade e peso de mil grãos:

A colheita foi realizada aos 121 dias após a emergência. Foi avaliada a produtividade de 50 plantas da linha central de cada parcela e estimada sua produtividade em kg ha^{-1} e o peso de mil grãos. A umidade dos grãos foi corrigida para o valor de 13%.

O cálculo do dano causado pela ferrugem Asiática foi expresso em porcentagem, pela diferença entre o tratamento que apresentou a maior produtividade e a testemunha, sem controle com fungicida.

A partir das equações de regressão linear: $y=a+bx$, foi obtido o coeficiente angular (b), que indica o quanto varia a média de y para o aumento de 1 unidade de x (Bussab, 1940). Neste estudo, ele foi denominado de coeficiente de dano (CD). Com este coeficiente de dano, estimou-se o potencial de dano e calculou-se o limiar de dano econômico (LDE), como critério para indicar o melhor momento para aplicação econômica de fungicidas, visando ao controle químico da ferrugem da soja em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja.

O LDE foi calculado considerando-se o custo médio do controle da doença de 144 kg ha^{-1} . Este valor foi calculado com base no custo médio do controle de $\text{R\$}60,00 \text{ ha}^{-1}$ e o preço médio de uma saca (60 kg) de soja de $\text{R\$}25,00$. Assim, a equação para o cálculo do LDE foi: $LDE=144 \text{ kg ha}^{-1}/CD$.

3.3.1.3 Análise dos dados

Os dados de todas as variáveis foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e as diferenças entre as médias, quando significativas, foram comparadas pelos testes de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância, usando-se o programa SASM-Agri (Canteri et al., 2001). A relação entre produtividade, medidas de refletância e severidade da doença foram examinadas por regressão linear, utilizando-se o programa Microsoft Office Excel®. A significância da variável independente foi determinada pelo teste F.

3.3.2 Experimento II – safra 2005/2006

Este experimento foi conduzido na mesma área do experimento I, durante o ano agrícola 2005/06. As unidades experimentais, cultivar de soja, densidade de semeadura, recomendação de adubação, manejo de pragas e plantas daninhas foram semelhantes ao experimento anterior.

Neste experimento foram instalados dois ensaios com semeaduras em 01/11/05 e 30/11/05, definidos como época 1 (EP1) e época 2 (EP2), respectivamente.

3.3.2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 4 repetições. O gradiente de intensidade da ferrugem foi gerado através da aplicação de fungicida em número e estádios fenológicos variados. O tratamento 1 foi considerado a testemunha sem aplicação de fungicida. O início das pulverizações ocorreu no tratamento 2 nos estádios R_3 e R_1 nas épocas 1 e 2, respectivamente. Os demais tratamentos, de cada época, receberam aplicações nos estádios subsequentes (Tabela 3.3). Foram realizadas reaplicações a cada 15 dias até o estádio $R_{5,5}$ ou R_6 .

O fungicida utilizado para o controle da ferrugem nestes ensaios foi a mistura pronta de azoxistrobina + ciproconazol (60g + 24g i.a. ha^{-1}), que equivale a dose de 300 mL ha^{-1} do produto comercial Piori Xtra®, acrescido do óleo mineral Nimbus na dose de 500 mL ha^{-1} .

As pulverizações foram realizadas com o mesmo equipamento, volume de calda e pressão de serviço do experimento anterior.

Tabela 3.3. Número e época das pulverizações para controle da ferrugem Asiática da soja, safra 2005/2006.

Época 1		Época 2	
Estádios das Pulverizações	Número de pulverizações	Estádios das Pulverizações	Número de pulverizações
1-Testemunha	-	1-Testemunha	-
2-R ₃ , R _{5.2} e R _{5.5}	3	2-R ₁ , R ₃ , R _{5.1} e R _{5.5}	4
3-R _{5.1} , R _{5.4} e R _{5.5}	3	3-R ₂ , R ₄ , R _{5.2} e R _{5.5}	4
4-R _{5.2} e R _{5.5}	2	4-R ₃ , R _{5.1} e R _{5.5}	3
5-R _{5.4} e R _{5.5}	2	5-R ₄ e R _{5.2}	3
6-R _{5.5}	1	6-R _{5.1} e R _{5.4}	2
7-R ₆	1	7-R _{5.2} e R _{5.5}	2
---	---	8-R _{5.4}	1
---	---	9-R _{5.5}	1

3.3.2.2 Variáveis avaliadas

Os procedimentos foram os mesmos utilizados no experimento I. O cálculo da AACPD e da taxa de progresso da doença, e a avaliação das medidas refletância também foram semelhantes ao experimento anterior para as duas épocas (item 3.2.1.3).

As colheitas das épocas 1 e 2 foram realizadas aos 142 e 120 dias após a emergência, respectivamente. Foi avaliada a produtividade de 50 plantas da linha central de cada parcela e estimada sua produtividade em kg ha⁻¹ e o peso de mil grãos (g). A umidade dos grãos foi corrigida para 13%. O cálculo do dano foi o mesmo utilizado no experimento I (item 3.2.1.3).

3.3.2.3 Análise dos dados

Foi utilizada a análise dos dados do experimento I (item 3.2.1.4).

3.3.3 Experimento III – safra 2006/2007

Este experimento foi conduzido na mesma área dos experimentos I e II, durante a safra 2006/2007. Foram instalados 3 ensaios definidos como época 1, época 2 e época 3, com semeaduras em 11/10/06, 21/11/06 e 21/12/06, respectivamente. Nas épocas 1 e 2 foi semeada a cultivar BRS 133 e na época 3 a cultivar Coodetec 217 (CD 217) (Tabela 3.4), com população de 280.000 plantas ha⁻¹. A adubação de base foi realizada de acordo com as recomendações feitas para os experimentos anteriores e o manejo de pragas e plantas daninhas foram realizados sempre que necessários para manter a área livre destas interferências.

Tabela 3.4. Principais características das cultivares de soja

Características	BRS 133	CD 217
Grupo de maturação	Semi-precoce	Semi-precoce
Duração do ciclo de maturação (dias)	132	127
Hábito de crescimento	Determinado	Determinado
Cor da flor/pubescência/ hilo	branca/marrom/ marrom	roxa/marrom/preto
Acamamento	Moderadamente suscetível	Moderadamente suscetível
Altura das plantas (cm)	88 cm	84 cm
Massa de 100 sementes (g)	16 g	16 g
Reação à ferrugem	Suscetível	Suscetível
Semeadura a partir de	Outubro	Outubro
Densidade de semadura (plantas/m)	12-16	12-14

Fontes: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/cultivares2006/brs133.pdf> e <http://www2.coodetec.com.br/coodetec/produto.action?culturald=3&produtold=17>

3.3.3.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. As unidades experimentais foram semelhantes aos ensaios anteriores.

O fungicida utilizado para o controle da ferrugem foi o mesmo do Experimento I, pyraclostrobin + epoxiconazole (66,5 + 25 g i.a. ha⁻¹) na dose de 500 mL ha⁻¹ do produto comercial Opera®. Os tratamentos foram definidos por diferentes épocas de início para o controle da doença, sendo o tratamento 1 considerado a testemunha (sem aplicação de fungicida) e os demais tratamentos com pulverizações seqüenciais a partir do estágio R₁ até o estágio R₆ (Tabela 3.5).

As pulverizações foram realizadas utilizando-se o mesmo equipamento, mesmo volume de calda e mesma pressão de serviço dos experimentos anteriores.

Tabela 3.5. Número e época das pulverizações para controle da ferrugem Asiática da soja, safra 2006/2007.

Época 1		Épocas 2 e 3	
Estádios das Pulverizações	Número de pulverizações	Estádios das pulverizações	Número de pulverizações
1-Testemunha	-	1-Testemunha	-
2-R ₁ , R ₃ , R _{5.1} , R _{5.5}	4	2-R ₁ , R ₃ , R _{5.1} , R _{5.5}	4
3-R ₂ , R ₄ , R _{5.3} , R ₆	4	3-R ₂ , R ₄ , R _{5.3} , R ₆	4
4-R ₃ , R _{5.1} , R _{5.5}	3	4-R ₃ , R _{5.1} , R _{5.5}	3
5-R _{5.1} , R _{5.5}	2	5-R ₄ , R _{5.2} , R ₆	3
6-R _{5.2} , R ₆	2	6-R _{5.1} , R _{5.5}	2
7-R _{5.5}	1	7-R _{5.2} , R ₆	2
---	---	8-R _{5.5}	1

3.3.3.2 Variáveis avaliadas

As estimativas da severidade da ferrugem para cada parcela e as avaliações das medidas de refletância foram semelhantes aos experimentos I e II, assim como os cálculos da AACPD, da taxa de progresso da doença e da AACR.

A colheita foi realizada aos 143, 116 e 114 dias após a emergência para as épocas 1, 2, e 3 respectivamente. Foi avaliada a produtividade de 50 plantas da linha central de cada parcela e estimada sua produtividade em kg ha⁻¹ e o peso de mil grãos (g). A umidade dos grãos foi corrigida para 13%. O cálculo do dano foi o mesmo realizado no experimento I (item 3.2.1.3)

3.3.3.3 Análise dos dados

Foi utilizada a análise dos dados do experimento I (item 3.2.1.4).

3.4. Resultados e Discussões

3.4.1 Condições climáticas

A precipitação diária e a temperatura média do ar registrada nos três experimentos são apresentadas na Figura 3.2.

As condições climáticas foram semelhantes nos experimentos dos anos agrícolas 2003/2004 (Experimento I), 2005/2006 (Experimento II) e 2006/2007 (Experimento III). O experimento I apresentou temperaturas médias diárias de 23,7°C, com mínima de 20,2°C e máxima de 27,4°C. A precipitação acumulada no período de 19/11/03 a 20/03/04 foi igual a 600,3 mm. No experimento II foram registradas temperaturas mínimas de 18,4°C e máxima de 28,7°C, sendo a temperatura média igual a 23,8°C. A precipitação acumulada na época 1 foi de 726,7 mm e na época 2 foi de 639 mm. No experimento III, período de 11/10/2006 a 21/04/2007, a temperatura mínima variou de 18,8°C a 19,7°C e a máxima ficou entre 27,4° e 28,3°C. A temperatura média foi de 24,0°C nas épocas 1 e 3 e 24,1°C na época 2. A precipitação acumulada foi de 947, 1026 e 840 mm para as épocas 1, 2 e 3, respectivamente.

A soja se desenvolve na faixa de 20°C a 30°C, sendo as temperaturas próximas a 30°C consideradas ideais para seu desenvolvimento. A disponibilidade de água é importante, principalmente em dois períodos: germinação-emergência das plântulas e floração - enchimento de grãos. Nesta fase a cultura necessita de 7 a 8 mm de água por dia e a necessidade total para obtenção do máximo rendimento varia entre 450 a 800 mm por ciclo (Embrapa soja, 2006). Neste presente estudo foi registrado um período de estresse hídrico no início do ciclo da cultura na época 1, Experimento III, o que prejudicou a germinação e a emergência das plântulas e, a formação da população final de plantas.

De maneira geral, as condições climáticas favoreceram o desenvolvimento da soja e da ferrugem nos outros ensaios. Resultados de literatura mostram que a faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento da ferrugem Asiática é de 20°C a 28°C (Melching et al., 1976; Alves et al., 2006). Neste estudo as

temperaturas médias diárias na faixa de 20°C a 25°C e chuvas bem distribuídas favoreceram o desenvolvimento da ferrugem (Figura 3.1).

Em estudo recentemente realizado no Brasil, sob condições de campo, Del Ponte et al. (2006) mostram que a precipitação tem grande influência no desenvolvimento da ferrugem, a qual apresentou alta correlação com a severidade da doença. O efeito da chuva sobre o desenvolvimento da epidemia pode estar relacionado com a disseminação dos urediniósporos, que por estarem fortemente aderidos uns aos outros, não são facilmente liberados pelo vento (Melching et al., 1979). Desta forma, o impacto da gota de chuva sobre a folha de soja pode contribuir para o processo de liberação e disseminação da doença. Além disso, o vento de maior velocidade que precede um período chuvoso aumenta a liberação dos urediniósporos, e em seguida a chuva pode realizar a deposição e fornecer o molhamento foliar necessário para que ocorra o processo de infecção.

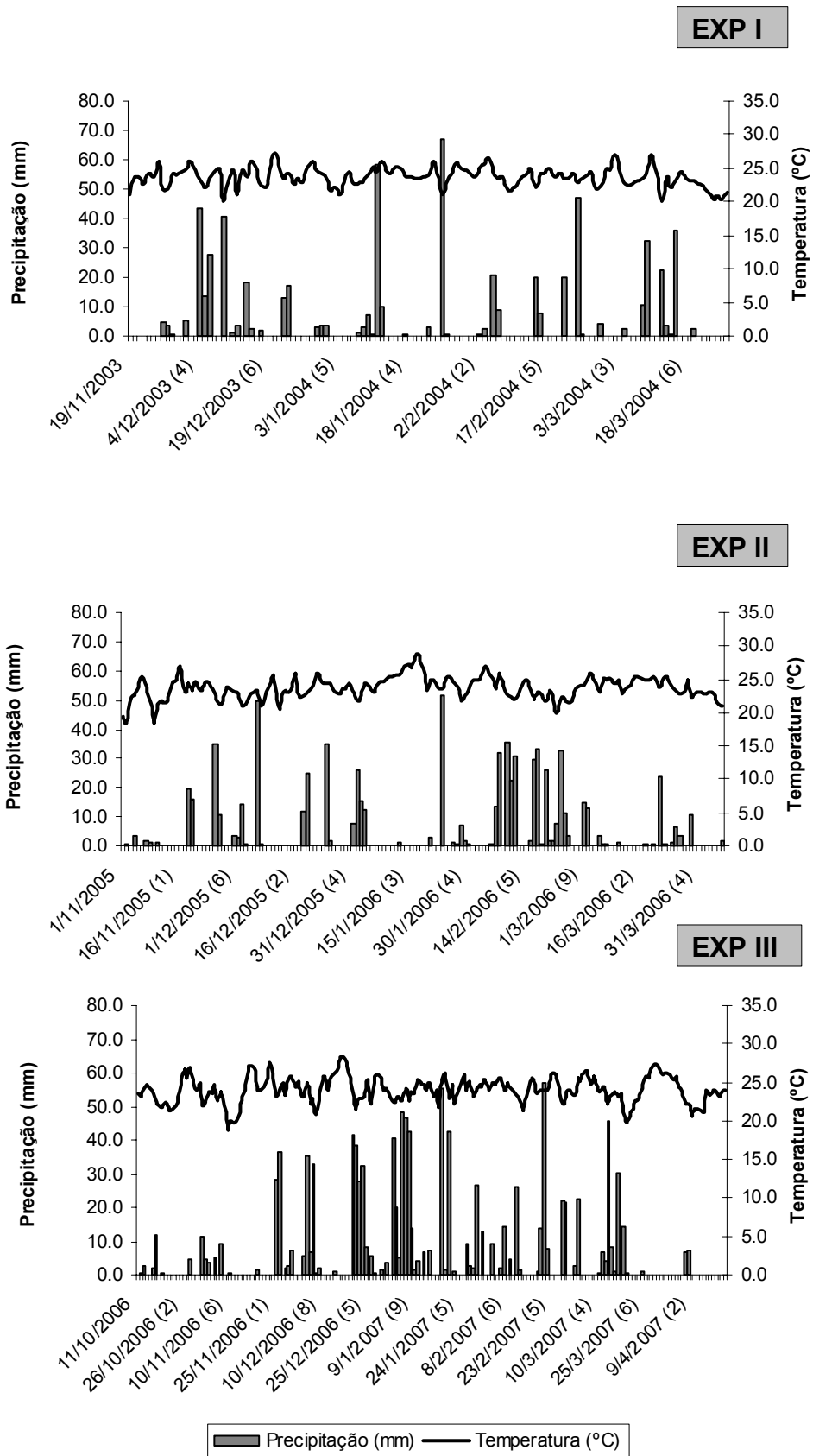


Figura 3.2 - Temperatura média, precipitação média registrados nos anos agrícolas de 2003/2004 (Experimento1), 2005/2006 (Experimento 2) e 2006/2007 (Experimento 3) para a região de Londrina – PR. Número entre parênteses indica o número de dias de chuva no período anterior.

3.4.2 Desenvolvimento da ferrugem Asiática da soja

No experimento I os primeiros sintomas da ferrugem Asiática (*P. pachyrhizi*) foram observados aos 88 dias após a emergência (DAE), no estágio R₃ (Tabela 3.6). Foram observadas urédias com urediniósporos na face inferior dos folíolos do terço inferior das plantas. No experimento II, as EP1 e EP2 apresentaram sintomas quando as culturas encontravam-se no estágio R₁ (início do florescimento). Embora os ensaios estivessem instalados na mesma área, os primeiros sintomas da ferrugem foram observados em datas distintas. Nos ensaios do Experimento III, a constatação da ferrugem também ocorreu em datas distintas, no entanto em estádios diferentes de desenvolvimento da cultura. Os primeiros sintomas foram observados aos 93 (R_{5.1}), 54 (R₂) e 42 DAE (V₇) nas EP1, EP2 e EP3, respectivamente.

Uma possível explicação para a constatação da ferrugem em datas distintas nos ensaios conduzidos na mesma área, supondo que o inóculo chegou ao mesmo tempo em todos eles, pode estar relacionada com o momento do fechamento do dossel da cultura. As EP2 e EP3 ainda não tinham fechado o dossel no momento em que foi constatada a doença nos primeiros plantios. Antes disso, as folhas do terço inferior das plantas estavam sujeitas a uma maior exposição da radiação solar e a menos horas de molhamento foliar, por secarem mais rápido. O efeito da irradiação solar sobre a sobrevivência de urediniósporos de *P. pachyrhizi* foi estudado por Isard et al. (2006). Os autores verificaram que a proporção de urediniósporos germinados decresceu com o incremento da exposição a radiação solar. Além disso, as folhas mais secas podem ter limitado as infecções pelo fungo. Resultados de literatura mostram que a ferrugem necessita de um período mínimo de seis horas de molhamento foliar numa faixa de temperatura de 20°C a 25°C para iniciar o processo de infecção (Marchetti et al., 1976; Melching et al., 1979; Alves et al., 2006). Talvez nos plantios tardios, que ainda não tinham fechado o dossel, não foi acumulado o mínimo de horas de molhamento foliar necessário para a ocorrência da infecção.

Com relação a observação da doença ainda no estágio vegetativo (V₇) na época 3 do Experimento III, a multiplicação do inóculo do fungo nos plantios iniciais aumentou a probabilidade no sucesso das infecções devido a maior

quantidade de uredosporos. Assim, mesmo com condições não tão favoráveis, maior exposição dos uredosporos a radiação solar e menor período de molhamento foliar proporcionada pelo dossel aberto, a infecção ocorreu precocemente no plantio tardio. Essa mesma tendência, início da epidemia mais cedo em plantios tardios em relação aos plantios antecipados, foi observada por Costamilan et al. (2005) em ensaios seqüenciais. A recomendação de manejo dessa doença, de concentrar a semeadura no início da época recomendada tem como objetivo atrasar a incidência na lavoura.

Tabela 3.6. Dados relativos à constatação dos primeiros sintomas de ferrugem Asiática (*P. pachyrhizi*) observados no campo nos experimentos conduzidos nos anos agrícolas 2003/2004, 2005/2006 e 2006/2007.

Experimento/ ano agrícola	Época de Sem. ^a	Data plantio	Data obs.	DAE	Estádio Fenológico	Sev. ^c (%)
I – 03/04	EP1	19/11/03	08/02/04	88	R ₃	0,100
II - 05/06	EP1	01/11/05	06/01/05	59	R ₁	0,035
	EP2	30/11/05	26/01/05	50	R ₁	0,005
III – 06/07	EP1	11/10/06	19/01/07	93	R _{5,1}	0,083
	EP2	24/11/06	24/01/07	54	R ₂	0,008
	EP3	21/12/06	08/02/07	42	V ₇	0,048

a – Época de semeadura (EP). b- Dias após emergência c – Severidade média estimada observada

Não foi possível ajustar os dados do Experimento I a nenhum modelo epidemiológico devido ao atraso das avaliações de severidade no campo. As avaliações começaram com 20% de severidade média e foram realizadas poucas avaliações antes da desfolha provocada pela ferrugem.

O modelo que melhor se ajustou aos dados do Experimento II foi o exponencial, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,99 para a época 1 e o modelo logístico com R^2 de 0,97 para a época 2 (Tabela 3.7). No Experimento III o melhor ajuste foi obtido pelo modelo logístico, com R^2 igual a 0,97; 0,99 e 0,96 para as épocas 1, 2 e 3, respectivamente. Considerando os melhores ajustes obtidos nos três ensaios do Experimento III e os bons ajustes nos dois ensaios do Experimento

II, o modelo logístico foi escolhido para determinar a taxa de progresso da doença (r). Este modelo também foi utilizado por Gastaldi (2005) e Carneiro (2007) em curvas de progresso da severidade da ferrugem da soja.

A taxa de progresso da doença corresponde ao parâmetro B3 do modelo logístico (Bergamin Filho et al., 1995) estimado por meio de regressão não-linear pelo programa PlotIT, com assintota máxima fixada em 100%, para posterior comparação das taxas (Tabela 3.8). As curvas de progresso da ferrugem Asiática da soja para os três experimentos estão apresentadas na Figura 3.2.

Tabela 3.7. Coeficiente de determinação (R^2) dos modelos epidemiológicos ajustados aos dados de severidade da ferrugem.

Experimento/ano agrícola	Modelos epidemiológicos			
	Exponencial	Monomolecular	Logístico	Gompertz
II 2005/2006				
EP1	0,99 **	n.s.	0,93**	0,85*
EP2	0,93**	n.s.	0,97*	0,57*
III 2006/2007				
EP1	0,82*	0,81*	0,97**	0,95**
EP2	0,88**	0,63*	0,99**	0,84**
EP3	0,78**	0,71**	0,96**	0,87**

*significativo a $P < 0,05$; **significativo a $P < 0,01$; n.s. = não significativo.

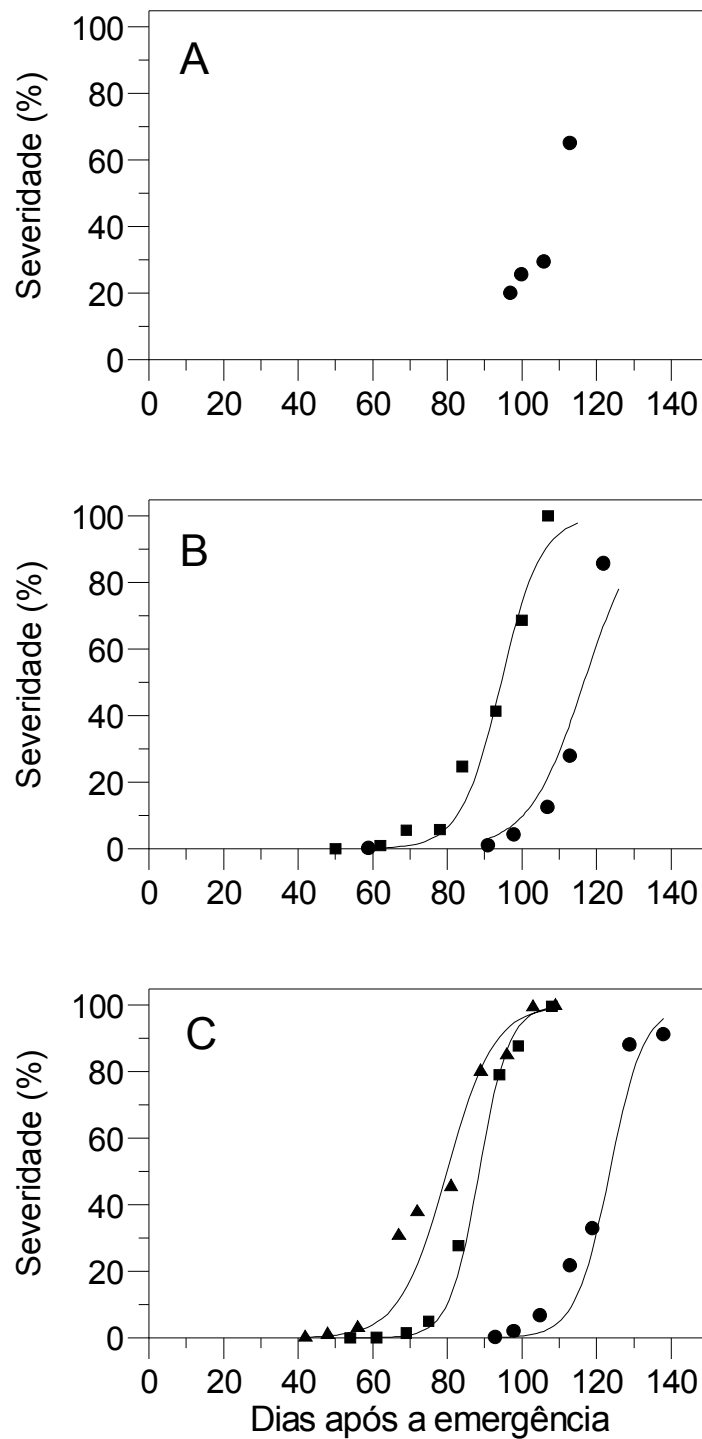


Figura 3.2. Curvas de progresso da ferrugem Asiática da soja: (A) Experimento I, (B) Experimento II e (C) Experimento III. As curvas dos experimentos II e III foram ajustadas ao modelo logístico. Círculos correspondem aos dados das épocas 1, quadrados representam os dados das épocas 2 e triângulos correspondem aos dados da época 3.

Com exceção da EP1 do Experimento II, onde a desfolha ocorreu antes da severidade atingir o valor máximo, a doença alcançou 100% de severidade neste presente estudo (Figura 3.2). As epidemias tiveram caráter explosivo, com altas taxas de progresso da doença (Tabela 3.8). Verificou-se no Experimento III que a menor duração da epidemia foi observada nas primeiras épocas de semeadura, devido à incidência atrasada da doença em relação ao ciclo da cultura.

Tabela 3.8. Taxa de progresso (r) da ferrugem Asiática (*P. pachyrhizi*) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).

Época	Início epidemia*	Duração epidemia (d)	Taxa r	AACPD	AACPD Padronizada**
Experimento II – Ano agrícola 2005/2006					
EP1	R ₁	63	0,14	736,81	11,69
EP2	R ₁	57	0,19	1444,32	25,34
Experimento III – Ano agrícola 2006/2007					
EP1	R _{5,1}	45	0,22	1733,94	38,53
EP2	R ₂	54	0,25	2002,05	37,08
EP3	V ₇	67	0,16	3072,74	45,86

* Estádio fenológico ** Valores da AACPD divididos pela duração da epidemia de cada ensaio.

A comparação do desenvolvimento da ferrugem Asiática no Experimento II (Tabela 3.8) mostrou que, embora, os primeiros sintomas tenham sido observados no mesmo estágio fenológico para as duas épocas, a EP2 apresentou maior taxa de progresso da doença e maior AACPD. Possivelmente este comportamento foi devido a melhor distribuição de chuvas após a constatação dos primeiros sintomas da doença na EP2 (Figura 3.1). Neste período foram registrados 15 dias de chuva na EP2, enquanto na EP1 foram registrados apenas 7 dias. Em estudo recentemente realizado no Brasil, sob condições de campo, Del Ponte et al. (2006) mostram que a precipitação tem grande influência no desenvolvimento da ferrugem, a qual apresentou alta correlação com a severidade da doença.

Já no Experimento III, a distribuição de chuvas foi normal em todas as épocas, com registros de 10, 11 e 9 dias de chuva na EP1, EP2 e EP3, respectivamente, após um mês do aparecimentos dos primeiros sintomas da doença. Neste experimento, a maior AACPD foi observada na EP3. Nesta época, a

doença ocorreu ainda no estágio vegetativo da cultura (V₇), favorecida pela multiplicação do inóculo nas primeiras épocas de semeadura. O fato da epidemia ter ocorrido precocemente no ciclo da cultura pode explicar a menor taxa de progresso da doença observada nesta época.

Os resultados observados na EP1 e EP2 não foram coerentes, ou seja, a EP1 apresentou AACPD padronizada maior do que a EP2, apesar de ter apresentado a doença mais tarde em relação ao ciclo da cultura. A hipótese para a explicação deste resultado foi que o mau desenvolvimento das plantas na EP1, devido a alguns fatores como estresse hídrico no início do ciclo, baixa população de plantas e dificuldade no controle de pragas e plantas daninhas, favoreceu o maior desenvolvimento da doença no final do ciclo, quando foram observados níveis mais elevados de severidade.

Como visto, vários fatores podem influenciar no desenvolvimento da ferrugem Asiática, como quantidade de inóculo inicial, clima favorável ao progresso da doença, estágio fenológico da cultura no momento da infecção. Desta forma é difícil fazer generalizações, mas devido o fungo *P. pachyrhizi* ser um parasita biotrófico existe a tendência das semeaduras tardias terem maior quantidade de inóculo, o que aumenta a chance de infecções bem sucedidas mesmo em situações de clima desfavorável. Assim, a doença poderá ocorrer nos estádios fenológicos iniciais da cultura e aumentar os danos na produtividade.

3.4.3 Relações entre medidas de refletância, AACPD e produtividade.

Os resultados da análise de regressão linear entre as variáveis AACPD, medidas de refletância e produtividade, para cada experimento e época de semeadura, estão apresentados nas Tabelas 3.9 a 3.14. Foram utilizados dados padronizados para representar as variáveis AACPD e AACR, ou seja, valor absoluto de cada variável dividido pelo intervalo de tempo entre a primeira e a última avaliação.

3.4.3.1 Experimento I

A produtividade não apresentou correlação ($P < 0,05$) com as outras variáveis avaliadas neste experimento. Possivelmente o ataque de percevejos na fase de formação e enchimento de grãos interferiu nestes resultados, principalmente no resultado das parcelas com melhor controle da ferrugem, que permaneceram por mais tempo verdes no campo e assim podem ter atraído mais o ataque desta praga.

Neste experimento, a produtividade variou de 1833,68 kg ha⁻¹ (testemunha) a 2230,72 kg ha⁻¹ (Tratamento 7 – Tabela 3.16), o que representou dano de 17,8% causado pela ferrugem Asiática da soja. Esse coeficiente de variação pode ter sofrido a influência da falha no controle de percevejo.

Verificou-se que a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) apresentou relação linear negativa com as duas variáveis de refletância, porém a equação com maior coeficiente de determinação foi apresentada pela relação com a AACR_{ND} ($R^2 = 92,5\%$) (Tabela 3.9). Esse resultado mostrou que 92,5% da redução da integral da refletância pela diferença normalizada foram explicadas pelo incremento da AACPD.

Tabela 3.9. Coeficiente de determinação (R^2) para a análise de regressão entre as variáveis: área sob a curva de progresso da doença (AACPD); área sob a curva de refletância em 810 nm ($AACR_{810}$) e área sob a curva da diferença normalizada ($AACR_{ND}$) e produtividade.

Experimento I			
	$AACR_{810}$	$AACR_{ND}$	Produtividade ($kg\ ha^{-1}$)
AACPD	59,74*	92,51**	n.s.
$AACR_{810}$	---		n.s.
$AACR_{ND}$	---	---	n.s.

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ n.s.- não significativo.

3.4.3.2 Experimento II

a) Época 1 (EP1)

As relações entre produtividade e medidas de refletância foram significativas (Tabela 3.10). A relação direta entre essas variáveis mostrou que para cada 1 unidade de acréscimo na $AACR_{810}$, houve incremento de $135,70\ kg\ ha^{-1}$ e, para cada 1 unidade de acréscimo na $AACR_{ND}$, houve incremento de $154,35\ kg\ ha^{-1}$. Devido o maior R^2 (88,9%), foi utilizado o coeficiente de dano (CD) da equação que relacionou a produtividade com a $AACR_{ND}$ para estimar o dano e o LDE.

Para estimar o dano e o LDE em função das medidas de refletância, considerou-se como “parcela controle” o melhor tratamento da variável $AACR_{ND}$ e, como a “situação de produção” a testemunha (sem proteção) (Lopes et al., 1994; Bergamin Filho et al., 1997; Canteri, 1998). Segundo a equação, quando a $AACR_{ND}$ da testemunha foi reduzida em 6,3 unidades em relação a $AACR_{ND}$ da parcela controle (Tratamento 2 –Tabela 3.18), houve um decréscimo de $969,32\ kg\ ha^{-1}$. O LDE foi de 0,9 unidade de $AACR_{ND}$.

Esta estimativa do limiar de dano econômico, igual a 0,9 unidade de $AACR_{ND}$, significa que o controle da ferrugem Asiática deveria ser realizado antes da diferença entre “parcela controle” e a “situação de produção” atingir 0,9 unidade de $AACR_{ND}$.

Neste ensaio, a variação entre a produtividade da testemunha e do tratamento com fungicida (Tratamento 7 - Tabela 3.16) foi de $930,25\ kg\ ha^{-1}$, o que representou dano de 26,0%.

A produtividade apresentou relação linear inversa ($P < 0,01$) com a AACPD (Tabela 3.10). A equação da função de dano foi: $Produtividade = 4227,81 - 129,76AACPD$ ($R^2 = 90,7\%$), o que significa que, para cada 1 unidade de acréscimo na AACPD, houve redução de $129,76 \text{ kg ha}^{-1}$ na produtividade. O LDE para controle da ferrugem Asiática, em função da AACPD, foi de 1,1 unidades.

Semelhantemente ao Experimento I, verificou-se relação significativa ($P < 0,01$) entre as medidas de refletância e AACPD. A equação que relacionou a integral da refletância da diferença normalizada com a AACPD apresentou maior coeficiente de determinação (98,3%).

Tabela 3.10. Coeficiente de determinação (R^2) para a análise de regressão entre as variáveis: área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); integral da refletância em 810 nm ($AACR_{810}$) e integral da refletância da diferença normalizada ($AACR_{ND}$) e produtividade.

Experimento II – Época 1			
	$AACR_{810}$	$AACR_{ND}$	Produtividade (kg ha^{-1})
AACPD	87,04**	98,32**	90,68**
$AACR_{810}$	---	---	72,36*
$AACR_{ND}$	---	---	88,99**

* $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ n.s. = não significativo

b) Época 2 (EP2)

A produtividade apresentou incremento linear ($P < 0,01$) com o incremento da integral de refletância medida em 810 nm ($AACR_{810}$) e integral de refletância da diferença normalizada ($AACR_{ND}$) (Tabela 3.11). A relação direta entre produtividade e medidas de refletância mostrou que para cada 1 unidade de acréscimo na integral de refletância medida em 810 nm, houve incremento de $192,00 \text{ kg ha}^{-1}$ e, para cada 1 unidade de acréscimo na refletância medida pela diferença normalizada, houve incremento de $203,18 \text{ kg ha}^{-1}$.

Considerando o maior R^2 (90,0%) apresentado pela relação da produtividade com a $AACR_{ND}$, utilizou-se o CD igual a $203,18 \text{ kg ha}^{-1}$ para estimar o dano e o LDE. Assim, quando a integral de refletância da diferença normalizada da testemunha reduziu 6,1 unidades em relação à parcela controle (Tratamento 2 – Tabela 3.19), houve um decréscimo de $1239,40 \text{ kg ha}^{-1}$ na produtividade, segundo a equação da função de dano. O LDE foi de 0,7 unidade de $AACR_{ND}$, o que significa

que, o controle deveria ser realizado antes da diferença entre “parcela controle” e a testemunha atingisse 0,7 unidade de AACR_{ND}.

Neste ensaio, a produtividade variou de 1876,75 kg ha⁻¹ na testemunha (sem proteção) a 3423,75 kg ha⁻¹ (Tratamento 4 – Tabela 3.19), o que representou redução de 1547,00 kg ha⁻¹ ou dano de 45,2% na produtividade.

A produtividade apresentou relação linear inversa ($P < 0,01$) à AACPD, com coeficiente de determinação de 90,6%. De acordo com a equação da função de dano, para a produtividade esperada de 3760,74 kg ha⁻¹ houve redução de 69,23 kg ha⁻¹ para cada 1 unidade da AACPD. O LDE, em função da AACPD, foi de 2,1 unidades.

A relação entre medidas de refletância e AACPD foi similar à observada na EP1. A integral da diferença normalizada (AACR_{ND}) apresentou melhor correlação quando comparado com a refletância em 810 nm (AACR₈₁₀). A equação que relacionou a AACR_{ND} com a AACPD mostrou que 97,5% da redução da integral da refletância medida pela diferença normalizada pode ser explicada pelo incremento da severidade da ferrugem Asiática.

Tabela 3.11. Coeficiente de determinação (R^2) para a análise de regressão entre as variáveis: área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); integral da refletância em 810 nm (AACR₈₁₀) e integral da refletância da diferença normalizada (AACR_{ND}) e produtividade.

Experimento II – Época 2			
	AACR ₈₁₀	AACR _{ND}	Produtividade (kg ha ⁻¹)
AACPD	94,33**	97,47**	92,63**
AACR ₈₁₀	---	---	82,58**
AACR _{ND}	---	---	90,02**

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$

3.4.3.3 Experimento III

a) Época 1 (EP1)

As regressões entre medidas de refletância e produtividade foram significativas ($P < 0,05$) (Tabela 3.12). Os valores dos coeficientes de determinação apresentados pelas equações foram de 68,4% e 67,5% para AACR₈₁₀ e AACR_{ND},

respectivamente, valores estes bem menores do que os encontrados no Experimento II. De acordo com as equações da função de dano, para cada 1 unidade de acréscimo na AACR₈₁₀ e na AACR_{ND}, houve incremento de 595,08 kg ha⁻¹ e de 394,75 kg ha⁻¹, respectivamente.

Os baixos valores dos coeficientes de determinação encontrados têm duas explicações: i) pouca amplitude dos valores das medidas de refletância, explicada pela baixa severidade da doença apresentada até o estágio R₆, após este estágio os efeitos da doença foram mascarados pelos sintomas do final do ciclo da cultura, ii) grande variação nos valores da produtividade devido a falta de uniformidade na população de plantas, causada pelo estresse hídrico no início do ciclo da cultura.

Neste ensaio, não foi observada relação entre AACPD e produtividade. Este fato pode ser explicado pelo o atraso da incidência da doença no ciclo da cultura. A ferrugem atingiu valores elevados de severidade quando as plantas estavam com 100% dos grãos já formados. Oliveira et al. (2005), em avaliações de tolerância a ferrugem em diversos cultivares de soja, observaram que a doença não causou danos nas cultivares de ciclo precoce, devido às plantas já estarem na fase final de desenvolvimento R₆ e R₇, quando foram observados valores mais elevados de severidade.

Devido aos baixos valores de R² das equações de regressão, nenhuma das variáveis foi escolhida para estimar a produtividade e calcular o LDE para a ferrugem Asiática da soja.

Neste ensaio, a produtividade variou de 2736,69 kg ha⁻¹ (testemunha) a 5092,81 kg ha⁻¹ (Tratamento 3 – Tabela 3.21), o que representou uma variação de 46,3%. Esta variação pode ter sofrido influência da falta de uniformidade da população de plantas observada neste ensaio.

Quando relacionada com a AACPD, as medidas de refletância também não apresentaram boas correlações. A integral da refletância da diferença normalizada apresentou relação linear significativa (P<0,05), com R² igual a 67,8%.

Tabela 3.12. Coeficiente de determinação (R^2) para a análise de regressão entre as variáveis: área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); integral da refletância em 810 nm (AACR₈₁₀) e integral da refletância da diferença normalizada (AACR_{ND}) e produtividade.

Experimento III – Época 1				
	AACPD	AACR ₈₁₀	AACR _{ND}	Produtividade (kg ha ⁻¹)
AACPD	---	n.s.	67,78*	n.s.
AACR ₈₁₀	---	---	---	68,35*
AACR _{ND}	---	---	---	67,50*

*P<0,05 **P<0,01 n.s. – não significativo

b) Época 2 (EP2)

A produtividade apresentou relação linear ($P<0,01$) com as medidas de refletância. As equações que relacionam AACR₈₁₀ e AACR_{ND} com a produtividade foram: $Produtividade = -16816,41 + 628,82AACR_{810}$ ($R^2=77,8\%$) e $Produtividade = -32870,12 + 620,30AACR_{ND}$. ($R^2=92,2\%$). De acordo com as regressões, para cada 1 unidade de acréscimo na AACR₈₁₀, houve incremento de 628,82 kg ha⁻¹ na produtividade e, para cada 1 unidade de acréscimo na AACR_{ND}, houve um incremento de 620,30 kg ha⁻¹.

O coeficiente de determinação obtido na equação de regressão com a AACR_{ND} foi alto, 92,2%, mostrando que esta variável tem potencial para estimar a produtividade e, conseqüentemente os danos causados pela ferrugem Asiática. Assim esta variável foi escolhida para estimar os danos e o LDE.

Para a redução de 2,8 unidades na AACR_{ND}, considerando a diferença entre o valor da testemunha em relação a parcela controle (Tratamento 2 – Tabela 3.22), houve decréscimo de 1736,84 kg ha⁻¹, segundo a equação da função de dano. O LDE foi de 0,2 unidade de AACR_{ND}, ou seja, a diferença entre “parcela controle” e a testemunha não poderia atingir 0,2 unidade de AACR_{ND} para a realização do controle da doença.

A produtividade variou de 4023,46 kg ha⁻¹ (testemunha) a 5629,34 kg ha⁻¹ (Tratamento 3 – Tabela 3.22), o que representou dano de 28,5%.

A produtividade apresentou relação linear negativa com a AACPD, com coeficiente de determinação de 87,9%. O coeficiente de dano obtido na equação Produtividade-AACPD foi de 104,58 kg ha⁻¹, ou seja, para uma

produtividade esperada de 7464,75 kg ha⁻¹, houve redução de 104,58 kg ha⁻¹, para cada 1 unidade da AACPD. O LDE, em função da AACPD, foi de 1,4 unidades.

As medidas de refletância apresentaram relação linear negativa com a AACPD. Ao contrário dos ensaios anteriores, a AACR₈₁₀ apresentou maior valor de R², de 92,0% (Tabela 3.13).

Tabela 3.13. Coeficiente de determinação (R²) para a análise de regressão entre as variáveis: área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); integral da refletância em 810 nm (AACR₈₁₀) e integral da refletância da diferença normalizada (AACR_{ND}) e produtividade.

Experimento III – Época 2				
	AACPD	AACR ₈₁₀	AACR _{ND}	Produtividade (kg ha ⁻¹)
AACPD	---	92,00**	87,04**	87,92**
AACR ₈₁₀	---	---	---	77,79**
AACR _{ND}	---	---	---	92,20**

*P<0,05 **P<0,01

c) Época 3 (EP3)

A produtividade apresentou relação linear (P<0,01) com as medidas de refletância. As equações destas relações foram: $Produtividade = -7698,33 + 222,75$ (R²=68,6%) e $Produtividade = -13584,35 + 188,55AACR_{ND}$ (R²=80,2%). Em razão do maior valor de R² apresentado pela AACR_{ND}, esta variável foi escolhida para estimar os danos e o LDE.

Para a redução de 5,5 unidades na AACR_{ND} da testemunha em relação à parcela controle (Tratamento 2 – Tabela 3.23), houve redução de 1037,03 kg ha⁻¹, segundo a equação da função de dano. O LDE, considerando o CD igual a 188,55 kg ha⁻¹, foi de 0,8 unidade de AACR_{ND}. Esta estimativa do limiar de dano econômico significa que a diferença entre “parcela controle” e a testemunha não poderia atingir 0,8 unidade de AACR_{ND} para a realização do controle da ferrugem Asiática.

A relação da produtividade com a AACPD foi significativa (P<0,01). A equação que representou esta relação foi: $Produtividade = 5507,21 - 106,93AACPD$, o que significa que, para o acréscimo de 1 unidade na AACPD, houve redução de 106,93 kg ha⁻¹. O LDE foi de 1,3 unidades de AACPD.

Neste ensaio, a produtividade variou de 621,11 kg ha⁻¹ na testemunha a 2056,68 kg ha⁻¹ (Tratamento 2 – Tabela 3.23), o que representou uma redução de 1435,57 kg ha⁻¹, ou seja, dano de 69,8% na produtividade.

Na comparação das medidas de refletância com a AACPD foram observadas relações lineares inversas ($P < 0,01$), com coeficientes de determinação de 82,1% para a relação AACR₈₁₀-AACPD e 88,7% para a relação AACR_{ND}-AACPD (Tabela 3.14). Estes resultados mostram que 82,1% e 88,7% das variações da AACR₈₁₀ e da AACR_{ND}, respectivamente, foram explicadas pelas variações na AACPD.

Tabela 3.14. Coeficiente de determinação (R^2) para a análise de regressão entre as variáveis: área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD); integral da refletância em 810 nm (AACR₈₁₀) e integral da refletância da diferença normalizada (AACR_{ND}) e produtividade.

Experimento III – Época 3				
	AACPD	AACR ₈₁₀	AACR _{ND}	Produtividade (kg ha ⁻¹)
AACPD	---	82,09**	88,68**	95,15**
AACR ₈₁₀	---	---	---	68,56*
AACR _{ND}	---	---	---	80,15**

* $P < 0,05$ ** $P < 0,01$

Na análise conjunta dos dados verificou-se que a produtividade apresentou relação linear com as medidas de refletância e que a integral da diferença normalizada (AACR_{ND}) mostrou-se mais eficiente nas correlações com a produtividade quando comparada com a integral da refletância em 810 nm (AACR₈₁₀). Os valores médios dos coeficientes de determinação (R^2) foram de 83,8% e 72,9%, para a AACR_{ND} e AACR₈₁₀, respectivamente. Outros autores observaram comportamento semelhante (Canteri, 1998; Nicolas, 2004; Koga et al., 2007). Nilsson (1995), já havia sugerido o uso do índice da diferença normalizada (IR-R/IR+R) para correlações com a produção. Neste presente estudo foi utilizado os comprimentos de onda na faixa de 660nm (Red) e na faixa de 810nm (Infra-Red) para compor a equação da NDVI.

Os coeficientes de determinação para a relação da integral da refletância da diferença normalizada (AACR_{ND}) com a produtividade foram de 88,9%, 90,0%, 67,5%, 92,2% e 80,2% para os experimentos realizados nas safras

2005/2006 e 2006/2007, com diferentes épocas de semeaduras. Os altos coeficientes de determinação encontrados confirmam a possibilidade do uso desta variável para estimar danos provocados pela ferrugem Asiática, nas condições em que foi realizado o estudo. Resultados semelhantes foram encontrados por Canteri et al. (1999), no patossistema *Cercosporidium personatum* - *Sphacelloma arachidis* / amendoim ($R^2=84,5\%$) e Nicolas (2004) no patossistema *Septoria tritici*/trigo ($R^2=92,7\%$). A alta correlação entre a refletância da diferença normalizada (ND) e a produtividade é explicada pela relação da produção com a quantidade de radiação interceptada pela cultura (Bergamim Filho et al., 1995; Nutter e Littrel, 1996, Waggoner e Berger, 1987) e, pela relação ND com a quantidade de tecido foliar fotossinteticamente ativo presente por unidade de área capaz de interceptar a radiação solar (Bergamim Filho et al., 1995; Nilsson, 1995).

Embora a $AACR_{ND}$ mostre uma boa correlação com a produtividade, por ser uma variável integral, tem a limitação de necessitar de várias avaliações ao longo do ciclo da cultura. Além disso, as equações apresentadas pela função de dano $AACR_{ND}$ -produtividade são válidas para as condições em que foram realizados os ensaios. As diferentes equações encontradas em cada época de semeadura mostram que as medidas de refletância sofreram influência da estação de cultivo, devido às variações da radiação incidente (Guan e Nutter, 2001; Schuld, 1996, citado por Canteri, 1998). Assim, os modelos usados para estimar a produtividade em função de medidas de refletância não devem ser usados antes de ser feita sua validação.

Neste estudo, observou-se também que a produtividade apresentou relação linear negativa com a AACPD, com coeficientes de determinação variando de 85,9% a 95,2%. Yang et al. (1991), também encontraram alta correlação da AACPD com a produtividade no patossistema soja - *P. pachyrhizi*, com R^2 variando de 89% a 95%, no experimento realizado no ano de 1986. Entretanto, no experimento realizado no ano de 1987, com baixa severidade da doença, os autores não encontraram boa correlação, com R^2 variando de 13% a 71%, com média de 44,8% para quatro cultivares avaliadas.

A AACPD é uma variável recomendada por alguns autores para representar a epidemia como um todo, pois leva em consideração o estresse que a cultura sofreu durante vários estádios de desenvolvimento (Bergamin Filho e

Amorim,1996). No entanto, como é uma variável integral, não pode ser usada para estimar o dano na cultura uma vez que só é obtida no final do ciclo, após a realização de todas as avaliações. As diferentes equações da função de dano observadas nos ensaios mostram a principal limitação no seu uso nesse patossistema, que é a falta de transportabilidade. Como a ferrugem da soja pode incidir na cultura em qualquer momento, as equações vão ser diferentes caso a doença ocorra precoce ou tardiamente numa plantação, como observado na época 1 (Experimento III – Tabela 3.12). Além disso, concorda-se com Waggoner e Berger (1987) e Bergamin Filho e Amorim (1996), que consideram a relação injúria-dano incerta porque a desfolha não é considerada, ou porque a área foliar é ignorada ou ainda, porque fisiologicamente a produção depende da área sadia das folhas e não da área doente, ocupada pelo patógeno.

A boa correlação encontrada entre medidas de refletância e AACPD indica que, nas condições observadas neste estudo, a severidade média da ferrugem Asiática pode ser estimada através da integral da refletância da diferença normalizada, apesar do inconveniente de ser uma variável integral.

3.4.4 Eficiência dos tratamentos

A severidade média de cada tratamento foi representada pela área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), e as medidas de refletância foram representadas pela área abaixo da curva de refletância medida no comprimento de onda de 810 nm ($AACR_{810}$) e pela área abaixo da curva de refletância determinada pelo índice da diferença normalizada ($AACR_{ND}$).

As informações referentes ao início das pulverizações nos tratamentos do Experimento I estão apresentadas na Tabela 3.15.

3.4.4.1 Experimento I (safra 2003/2004)

O efeito das diferentes épocas para início do controle da ferrugem Asiática pôde ser observado na área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e na integral da diferença normalizada ($AACR_{ND}$) (Tabela 3.16).

A maior porcentagem de controle (PC) foi observada para o tratamento 8 (85,07%), com três pulverizações de fungicida iniciadas em R₂. No entanto, o tratamento 7 com duas pulverizações, também começando em R₂ e o tratamento 3 com uma única pulverização em R₄ não diferiram estatisticamente do tratamento 8. O tratamento 6, com uma pulverização no estágio R_{5,5}, apresentou o maior valor de AACPD, estatisticamente semelhante a testemunha (sem pulverização).

Estes resultados mostram que duas ou mais pulverizações, iniciadas com 0,1% de severidade (Tabela 3.15), tiveram melhor controle da ferrugem Asiática e foram semelhantes a aplicação única realizada em R₄, com 2,1% de severidade. A aplicação única realizada em R₃, com 0,1% de severidade, apresentou severidade estatisticamente superior aos tratamentos com aplicação única em R₄ ou com aplicações seqüenciais após R₃, provavelmente devido ao residual do produto não ter sido suficiente para proteção da cultura até o final do ciclo. Por outro lado, a aplicação do fungicida com elevada severidade (38,7%), realizada no estágio R_{5,5}, não reduziu a severidade da doença comparada com a testemunha sem controle.

A avaliação da severidade de doença mostrou-se bom parâmetro para classificar tratamentos fungicidas de acordo com a sua eficiência para o controle da doença (Tabela 3.16), mas, como discutido anteriormente, nem sempre é uma boa variável para estimar danos (Bergamin Filho e Amorim, 1996).

As variações nos valores de refletância foram consistentes e de acordo com o esperado. O tratamento que recebeu uma única pulverização no estágio R_{5,5} (Tratamento 6) apresentou o menor valor de AACR_{ND}, estatisticamente semelhante a Testemunha. Este resultado teve relação com a menor eficiência de controle da doença observada neste tratamento. Apesar dos tratamentos 3, 7 e 8 não diferirem estatisticamente dos tratamentos 2, 4 e 5, tiveram tendência a apresentar maiores valores de AACR_{ND}, relacionando-os com a melhor eficiência observada no controle da doença.

A produtividade e peso de mil grãos não apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos, possivelmente devido à falta de controle de percevejos na fase de formação e enchimento dos grãos. Os tratamentos que receberam mais pulverizações, por estarem mais verdes, podem ter sido mais

atacados e, assim não apresentaram diferença significativa em relação aos tratamentos que apresentavam mais doença.

Tabela 3.15. Dados relativos à primeira pulverização de fungicida nos tratamentos do experimento conduzido no ano agrícola de 2003/2004.

Experimento I			
Tratamentos	EF	DAE	Sev.
1- Testemunha	-	-	-
2	R ₃	74	0,1
3	R ₄	82	2,1
4	R _{5,1}	87	3,3
5	R _{5,3}	92	13,0
6	R _{5,5}	106	38,7
7	R ₂	65	0,1
8	R ₂	65	0,1

EF – estágio fenológico. DAE - dias após emergência. Sev. – severidade estimada (%)

Tabela 3.16. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva de refletância (AACR), produtividade e peso de mil grãos (Pmg) observados para os tratamentos com diferentes épocas de início e número das aplicações de fungicida para o controle da ferrugem Asiática (*P. pachyrhizi*) no ano agrícola 2003/2004.

Tratamentos	Severidade		Refletância				Produtividade	Pmg**
	AACPD	AACPD Pad.*	AACR ₈₁₀	AACR ₈₁₀ Pad.	AACR _{ND}	AACR _{ND} Pad.	(kg há ⁻¹)	(g)
1-Testemunha	791,75 a	49,48 a	2519,65 a	63,00 a	5278,62 b	132,00 b	1833,68 a	119,28 a
2-R ₃	334,00 b	20,88 b	2562,07 a	64,00 a	5548,55 a	138,75 a	1669,36 a	153,36 a
3-R ₄	223,75 c	13,98 c	2740,12 a	68,25 a	5618,74 a	140,25 a	1887,61 a	131,19 a
4-R _{5,1}	380,00 b	23,75 b	2670,58 a	66,75 a	5511,23 a	137,75 a	2119,55 a	123,15 a
5-R _{5,3}	464,75 b	29,04 b	2584,37 a	64,50 a	5528,92 a	138,00 a	2205,57 a	118,34 a
6-R _{5,5}	877,25 a	54,83 a	2570,43 a	64,25 a	5355,69 b	133,75 b	1814,13 a	122,46 a
7-R ₂ e R _{5,1}	161,00 c	10,05 c	2799,04 a	70,25 a	5622,35 a	140,50 a	2230,72 a	146,35 a
8-R ₂ , R ₄ e R _{5,1}	118,25 c	7,39 c	2668,32 a	66,50 a	5612,19 a	140,25 a	1667,05 a	123,25 a
C.V. (%)	16,30	16,00	8,70	8,70	2,02	1,96	28,65	14,39

Dados seguidos de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott knott ($P < 0,05$). * AACPD Padronizada = AACPD/duração da epidemia *AACR Padronizada = AACR/período entre as avaliações de refletância. ** Peso de mil grãos.

3.4.4.2 Experimento II (safra 2005/2006)

Os dados referentes às primeiras pulverizações no Experimento II são apresentados na Tabela 3.17.

a) Época 1 (EP1)

O efeito dos tratamentos foi observado em todas as variáveis avaliadas (Tabela 3.18). De uma maneira geral, quanto mais tarde se iniciaram as pulverizações com fungicida, menor foi a porcentagem de controle da ferrugem Asiática. Em relação aos resultados da produtividade, verificou-se que os tratamentos 2 a 5 foram estatisticamente superiores à testemunha. O peso de mil grãos apresentou resultados semelhantes, com superioridade para os tratamentos 2, 3 e 4. As medidas de refletância apresentaram variações significativas de acordo com o esperado, com superioridade para os tratamentos 2 e 3, os quais também apresentaram as maiores médias de produtividade.

Em relação ao controle da doença (AACPD) os melhores tratamentos foram o 2 e 3. Quando se iniciaram as pulverizações em R₃ (Tratamento 2) houve eficiência de 52,5% no controle da doença, e quando o controle foi realizado em R_{5.5} não se constou eficiência alguma.

Apesar de não se verificar diferenças estatísticas entre os tratamentos 2 ao 5, o Tratamento 3, com o controle iniciado em R₄ apresentou a maior produtividade, com ganho de 35,2% em relação a testemunha.

De acordo com os resultados apresentados pela produtividade, o controle eficiente da ferrugem Asiática pode ser realizado com duas pulverizações iniciadas no estágio fenológico R_{5.4}.

b) Época 2 (EP2)

Nos dados referentes à doença da EP2 (Tabela 3.19) todos os tratamentos reduziram a AACPD, porém os Tratamentos 7, 8 e 9 não diferiram estatisticamente da testemunha. O tratamento 3, com pulverizações iniciadas em R₂, foi o que apresentou maior PC (76,38%), mas não apresentou diferença estatística em relação aos tratamentos 2 e 4, com as primeiras pulverizações em R₁ e R₃, respectivamente. Estes resultados estão relacionados com a menor severidade observada nos tratamentos que receberam o controle mais cedo (Tabela 3.17).

Os tratamentos que receberam pulverizações mais cedo tiveram tendência de apresentar maiores valores da AACR₈₁₀ e da AACR_{ND}. Assim, o Tratamento 2 foi o que apresentou os maiores valores de refletância, não diferindo estatisticamente dos tratamentos 3, 4 e 5 e, os tratamentos 7, 8 e 9 foram os que apresentaram os menores valores, estatisticamente iguais a testemunha.

Com relação aos dados da produtividade, os tratamentos 3 e 4 apresentaram as maiores produtividades, diferindo significativamente dos demais tratamentos. O tratamento 4, com três pulverizações iniciadas em R₃, obteve o maior incremento (82,4%) em relação a testemunha. O Tratamento 2, que teve o controle em R₁ não obteve a maior produtividade, apesar de se apresentar como eficiente no controle da doença e ter apresentado maior valor de refletância. Este resultado pode estar associado com algum efeito fisiológico da pulverização sobre a floração, que pode ter interferido na produtividade.

Ao contrário da EP1, nesta época não houve diferença estatística para o componente de produção peso de mil grãos. Possivelmente devido ao estresse hídrico ocorrido no final do ciclo da cultura.

A superioridade dos tratamentos com maior número de pulverizações na EP2 é explicada pela maior taxa de progresso da doença observada nesta época, quando comparada a EP1. Nesta época, para o controle eficiente da ferrugem Asiática, considerando os resultados da produtividade, foram necessárias três pulverizações, iniciadas em R₃.

Tabela 3.17. Dados relativos à primeira pulverização de fungicida nos tratamentos do experimento conduzido no ano agrícola de 2005/2006.

Experimento II						
Tratamentos	Época 1			Época 2		
	EF	DAE	Sev.	EF	DAE	Sev.
1- Testemunha	-	-	-	-	-	-
2	R ₃	85	1,1	R ₁	51	1,0
3	R _{5,1}	92	2,0	R ₂	58	5,5
4	R _{5,2}	99	4,5	R ₃	65	5,7
5	R _{5,4}	106	12,4	R ₄	72	24,7
6	R _{5,5}	113	27,7	R _{5,1}	79	41,4
7	R ₆	120	85,6	R _{5,3}	86	68,8
8	----	----	----	R _{5,5}	93	100,0
9	----	----	----	R ₆	100	100,0

EF – estágio fenológico. DAE - dias após emergência. Sev. – severidade estimada (%)

Tabela 3.18. Área abaixo da curva de progresso da doença, taxa aparente de infecção (r), área abaixo da curva de refletância (AACR), produtividade e peso de mil grãos (Pmg) observados na Época 1, conduzido com diferentes estádios para o início do controle da ferrugem Asiática (*P. pachyrhizi*), 2005/2006.

Tratamentos	Severidade		Refletância				Produtividade (kg ha ⁻¹)	Pmg** (g)	
	Estádios das Aplicações	AACPD	AACPD Pad*.	AACR ₈₁₀	AACR ₈₁₀ Pad*.	AACR _{ND}			AACR _{ND} Pad*.
1-Testemunha		736,81 a	11,77 a	1312,52 b	43,75 b	2508,01c	83,06 c	2645,00 b	108,75 c
2-R ₃ , R _{5.2} e R _{5.5}		350,30 d	5,6 d	1488,64 a	49,62 a	2680,09 a	89,34 a	3384,25 a	136,00 a
3-R _{5.1} , R _{5.4} e R _{5.5}		389,94 d	6,2 d	1430,61 a	47,69 a	2645,88 a	89,20 a	3575,25 a	140,75 a
4-R _{5.2} , R _{5.5}		504,29 c	8,0 c	1359,07 b	45,30 b	2598,65 b	86,63 b	3077,50 a	127,50 a
5-R _{5.4} e R _{5.5}		601,84 b	9,6 b	1356,56 b	45,22 b	2580,56 b	86,02 b	3130,00 a	122,25 b
6-R _{5.5}		798,87 a	12,7 a	1263,93 c	42,13 c	2490,35 b	83,01 c	2658,25 b	109,50 c
7-R ₆		770,72 a	12,3 a	1328,07 b	44,27 b	2511,69 c	83,72 c	2538,00 b	111,50 c
C.V. %		10,53	10,53	2,85	2,85	1,15	1,15	12,42	6,11

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott knott (P<0,05).

*AACPD Padronizada = AACPD/duração da epidemia *AACR Padronizada = AACR/período entre as avaliações de refletância.

**Peso de mil grãos.

Tabela 3.19. Área abaixo da curva de progresso da doença, área abaixo da curva de refletância (AACR), produtividade e peso de mil grãos observados no ensaio da Época 2, conduzido com diferentes estádios para o início do controle da ferrugem Asiática (*P. pachyrhizi*), 2005/2006.

Tratamentos	Severidade		Refletância				Produtividade (kg ha ⁻¹)	Pmg** (g)	
	Estádios das Aplicações	AACPD	AACPD Pad.	AACR ₈₁₀	AACR ₈₁₀ Pad.	AACR _{ND}			AACR _{ND} pad.
1-Testemunha		1444,32 a	25,33 a	1887,98 b	43,91 b	3501,92 c	81,44 c	1876,75 d	95,75 a
2-R ₁ , R ₃ , R _{5.1} e R _{5.5}		435,36 c	7,65c	2182,51 a	50,75 a	3763,35 a	87,52 a	2977,50 b	105,00 a
3-R ₂ , R ₄ , R _{5.3} e R ₆		341,04 c	6,00 c	2134,25 a	49,63 a	3741,81 a	87,02 a	3290,25 a	107,25 a
4-R ₃ , R _{5.1} e R _{5.5}		474,49 c	8,30 c	2104,87 a	48,95 a	3727,90 a	86,70 a	3423,75 a	106,25 a
5-R ₄ , R _{5.3} e R ₆		691,02 b	12,13 b	2102,14 a	48,86 a	3710,76 a	86,30 a	2866,00 b	113,75 a
6-R _{5.1} e R _{5.5}		848,90 b	14,88 b	2006,42 b	46,66 b	3634,88 b	84,53 b	2874,00 b	106,50 a
7-R _{5.3} e R ₆		1223,16 a	21,45 a	1967,10 b	45,75 b	3565,78 c	82,93 c	2464,50 c	102,25 a
8-R _{5.4}		1440,39 a	25,28 a	1898,90 b	44,16 b	3474,70 c	80,81 c	1972,75 d	98,50 a
9-R ₅		1435,22 a	25,18 a	1861,73 b	43,29 b	3493,50 c	81,25 c	1978,78 d	99,50 a
C.V. (%)		15,36	15,36	4,91	4,91	1,46	1,46	12,73	9,79

Dados seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott knott (P<0,05).

*AACPD Padronizada = AACPD/duração da epidemia *AACR Padronizada = AACR/período entre as avaliações de refletância

** Peso de mil grãos.

3.4.4.3. Experimento III (safra 2006/2007)

As severidades médias observadas no momento da primeira pulverização de cada tratamento deste experimento estão apresentadas na Tabela 3.20.

a) Época 1 (EP1)

Os tratamentos utilizados foram definidos buscando-se uma ampla variação de níveis de severidade da ferrugem Asiática e, conseqüentemente variações na refletância pela área foliar sadia e na produtividade. Entretanto, não houve diferenças significativas pelo teste de Skott Knott ($P < 0,05$) para as medidas de refletância, representadas pela $AACR_{810}$ e $AACR_{ND}$, produtividade e peso de mil grãos. A ausência de diferenças significativas para estas variáveis pode ser explicada pelo pouco efeito da quantidade de doença sobre a refletância pela área foliar sadia, devido ao atraso da epidemia em relação ao ciclo da cultura.

O efeito dos tratamentos pôde ser verificado na área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (Tabela 3.21). Os tratamentos, 2, 3 e 4, que receberam pulverizações sem sintomas da doença (Tabela 3.20), foram os mais eficientes no controle da ferrugem Asiática, sendo o maior controle (47,84%) obtido pelo Tratamento 3. Por outro lado, o tratamento que recebeu pulverização em $R_{5.5}$ não diferiu estatisticamente da testemunha, mesmo tendo apresentado controle da doença.

b) Época 2 (EP2)

Na EP2 foi possível observar os efeitos dos tratamentos em todas as variáveis (Tabela 3.22). Na AACPD, o Tratamento 3, com pulverizações iniciadas em R_2 , foi estatisticamente superior aos demais tratamentos, com PC igual a 57,6%. O tratamento 2 apesar de ter recebido pulverização antes, em R_1 , não apresentou controle mais eficiente da ferrugem. Os tratamentos 6 e 8 não diferiram estatisticamente da testemunha, mesmo apresentando redução na AACPD.

O Tratamento 3 apresentou a maior produtividade, com incremento de 39,9% em relação a testemunha, porém não diferiu estatisticamente dos tratamentos 2 e 4. Este tratamento também se destacou como o melhor tratamento

na variável peso de mil grãos e obteve os maiores valores nas variáveis AACR₈₁₀ e AACR_{ND}, sendo estatisticamente semelhante ao Tratamento 2. Os dois tratamentos, 2 e 3, não apresentavam sintomas da doença no momento das primeiras pulverizações (Tabela 3.20). Ao contrário, o tratamento 6, com pulverizações em R_{5.1} e R_{5.5} se destacou entre os tratamentos de menor desempenho em todas as variáveis, sendo estatisticamente semelhante ou inferior a Testemunha.

Semelhantemente a EP2 do Experimento II, o controle eficiente da doença foi realizado com três pulverizações, iniciadas no estágio R₃, considerando os resultados da produtividade.

c) Época 3 (EP3)

Na EP3 observou-se diferença significativa para a AACPD (Tabela 3.23). O melhor controle (30,55%) foi observado no Tratamento 2. Os resultados das medidas de refletância (AACR₈₁₀ e AACR_{ND}) também apresentaram o Tratamento 2, com pulverizações iniciadas em R₁, como o mais eficiente, porém estatisticamente semelhante ao Tratamento 3. Na análise da produtividade, foi possível separar os tratamentos em 4 grupos, sendo o Tratamento 2 o mais produtivo e os tratamentos 5, 6, 7 e 8 os que apresentaram as menores produtividades, não diferindo estatisticamente da testemunha.

Ao contrário da produtividade, não foi possível detectar diferença significativa relação ao peso de mil grãos. Neste presente estudo, os efeitos da ferrugem Asiática sobre Pmg foram significativos ($P < 0,05$) apenas na EP1 (Experimento II) e EP2 (Experimento III). A falta de relação significativa para os dados da EP2 e EP3 dos respectivos experimentos pode ser explicada pelo estresse hídrico ocorrido no final do ciclo da cultura.

Neste ensaio, para o controle da ferrugem foram necessárias quatro pulverizações, iniciadas em R₁.

Tabela 3.20. Dados relativos à primeira pulverização de fungicida nos tratamentos do experimento conduzido no ano agrícola de 2006/2007.

Experimento III									
Tratamento	Época 1			Época 2			Época 3		
	EF	DAE	Sev,	EF	DAE	Sev,	EF	DAE	Sev,
1- Testemunha	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	R ₁	61	0,00	R ₁	49	0,00	R ₁	55	4,00
3	R ₂	70	0,00	R ₂	55	0,00	R ₂	64	13,71
4	R ₃	77	0,00	R ₃	61	0,07	R ₃	70	28,54
5	R _{5,1}	91	0,08	R ₄	68	1,64	R ₄	76	40,77
6	R _{5,3}	98	0,26	R _{5,1}	75	4,27	R _{5,1}	81	47,50
7	R _{5,5}	105	3,52	R _{5,3}	82	27,27	R _{5,3}	89	76,10
8	---	---	---	R _{5,5}	92	77,96	R _{5,5}	98	89,15

Tabela 3.21. Área abaixo da curva de progresso da doença, taxa aparente de infecção (r), área abaixo da curva de refletância (AACR), produtividade e peso de mil grãos observados no ensaio da Época 1, conduzido com diferentes estádios para o início do controle da ferrugem Asiática (*P. pachyrhizi*), 2006/2007.

Tratamentos	Severidade			Refletância			Produtividade (kg há ⁻¹)	Pmg** (g)
	AACPD	AACPD Pad.	AACR ₈₁₀	AACR ₈₁₀ pad.	AACR _{ND}	AACR _{ND} pad.		
1-Testemunha	1733,95 a	38,53 a	2084,00 a	29,2 a	5521,00 a	69,88 a	2736,69 a	198,32 a
2-R ₁ , R ₃ , R _{5,1} , R _{5,5}	1039,33 c	23,10 c	2300,00 a	31,9 a	5853,00 a	74,09 a	3833,04 a	215,25 a
3-R ₂ , R ₄ , R _{5,3} , R ₆	904,26 c	20,10 c	2351,00 a	32,8 a	5926,00 a	75,01 a	5092,81 a	209,58 a
4-R ₃ , R _{5,1} , R _{5,5}	1129,40 c	25,10 c	2276,00 a	31,8 a	5838,00 a	73,90 a	3389,87 a	201,17 a
5-R _{5,1} , R _{5,5}	1422,49 b	31,61 b	2259,00 a	31,7 a	5808,00 a	73,52 a	4472,87 a	205,80 a
6-R _{5,3} , R ₆	1318,71 b	29,31 b	2302,00 a	32,2 a	5894,00 a	74,60 a	4719,963 a	208,10 a
7-R _{5,5}	1647,91 a	36,62 a	2261,00 a	31,7 a	5746,00 a	72,73 a	3632,05 a	185,71 a
CV %	10,39	10,39	9,03	9,03	4,86	4,86	29,29	8,86

Dados seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott knott (P<0,05)

* AACPD Padronizada = AACPD/duração da epidemia *AACR Padronizada = AACR/período entre as avaliações de refletância

** Peso de mil grãos

Tabela 3.22. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva de refletância (AACR), produtividade e peso de mil grãos observados durante o ensaio da Época 2, conduzido com diferentes estádios para o início do controle da ferrugem Asiática (*P. pachyrhizi*), 2006/2007.

Tratamentos	Severidade		Refletância				Produtividade	Pmg**
	Estádios das Aplicações	AACPD AACPD Pad.	AACR ₈₁₀	AACR ₈₁₀ Pad.	AACR _{ND}	AACR _{ND} Pad.	(kg ha ⁻¹)	(g)
1-Testemunha	2002,05 a	35,47 a	2463,35 b	33,29 b	4402,77 c	59,50 c	4023,46 c	139,42 c
2-R ₁ , R ₃ , R _{5.1} , R _{5.4,5.5}	1216,02 c	22,13 c	2600,10 a	35,14 a	4568,03 a	61,73 a	5390,10 a	166,78 b
3-R ₂ , R ₄ , R _{5.2,5.3} , R ₆	848,35 d	14,04 d	2685,53 a	36,29 a	4607,67 a	62,27 a	5629,34 a	191,52 a
4-R ₃ , R _{5.1} , R _{5.4,5.5}	1285,46 c	22,95 c	2529,92 b	34,19 b	4488,86 b	60,66 b	5279,94 a	164,02 b
5-R ₄ , R _{5.2,5.3} , R ₆	1499,09 b	26,56 c	2534,46 b	34,25 b	4509,41 b	60,94 b	4699,02 b	162,59 b
6-R _{5.1} , R _{5.4,5.5}	1922,59 a	35,57 a	2435,22 b	32,91 b	4309,58 d	58,24 d	3277,63 c	140,44 c
7-R _{5.2,5.3} , R ₆	1611,89 b	28,84 b	2473,82 b	33,43 b	4473,60 b	60,45 b	4724,53 b	158,35 b
8-R _{5.4,5.5}	1910,66 a	35,36 a	2418,96 b	32,69 b	4377,49 c	59,16 c	3588,19 c	143,06 c
CV %	8,90	9,69	2,60	2,6	1,14	1,14	11,22	5,62

Dados seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott knott (P<0,05). *AACPD Padronizada = AACPD/duração da epidemia *AACR Padronizada = AACR/periodo entre as avaliações de refletância.** Peso de mil grãos.

Tabela 3.23. Área abaixo da curva de progresso da doença, taxa aparente de infecção (r), área abaixo da curva de refletância (AACR), produtividade e peso de mil grãos observados no ensaio da Época 3, conduzido com diferentes estádios para o início do controle da ferrugem Asiática (*P. pachyrhizi*), 2006/2007.

Tratamentos	Severidade		Refletância				Produtividade	Pmg**
	Estádios das Aplicações	AACPD AACPD Pad.	AACR ₈₁₀	AACR ₈₁₀ Pad.	AACR _{ND}	AACR _{ND} pad.	(kg ha ⁻¹)	(g)
1-Testemunha	3072,74 a	45,86 a	2430,96 b	38,59 b	4823,65 b	76,57 b	621,11c	110,83 a
2-R ₁ , R ₃ , R _{5.1} , R _{5.4,5.5}	2133,83 d	31,85d	2710,50 a	43,02 a	5168,23 a	82,04 a	2056,68 a	124,44 a
3-R ₂ , R ₄ , R _{5.2,5.3} , R ₆	2446,00 c	36,51 c	2627,50 a	41,71 a	5106,75 a	81,06 a	1527,69 b	130,37 a
4-R ₃ , R _{5.1} , R _{5.4,5.5}	2667,99 b	39,82 b	2468,44 b	39,18 b	4940,29 b	78,42 b	1509,38 b	117,50 a
5-R ₄ , R _{5.2,5.3} , R ₆	2997,63 a	44,74 a	2367,48 b	37,58 b	4706,16 b	74,70 b	757,14 c	129,86 a
6-R _{5.1} , R _{5.4,5.5}	2908,70 a	43,42 a	2497,23 b	39,64 b	4874,59 b	77,38 b	752,32 c	125,39 a
7-R _{5.2,5.3} , R ₆	2925,98 a	43,67 a	2339,62 b	37,14 b	4774,02 b	75,78 b	849,47 c	138,26 a
8-R _{5.4,5.5}	3024,22 a	45,14 a	2422,53 b	38,45 b	4807,47 b	76,31 b	577,78 c	122,99 a
CV %	6,08	6,08	4,57	4,57	2,53	2,53	25,28	16,86

Dados seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott knott (P<0,05).

*AACPD Padronizada = AACPD/duração da epidemia *AACR Padronizada = AACR/periodo entre as avaliações de refletância.**Peso de mil grãos

3.5. Considerações Finais

Verificou-se que a produtividade apresentou incremento linear com as medidas de refletância e, que a integral da diferença normalizada ($AACR_{ND}$) mostrou-se mais eficiente nas relações com a produtividade quando comparada com a integral da refletância em 810 nm ($AACR_{810}$), com coeficiente de determinação (R^2) médio de 83,8%. O coeficiente angular (b) da equação da função de dano $AACR_{ND}$ -produtividade mostrou o quanto a produtividade incrementou com 1 unidade da $AACR_{ND}$ (Tabela 3.24). Estes resultados mostram que a $AACR_{ND}$ tem potencial para estimar a produtividade e ser utilizada na quantificação de danos no patossistema *Phakopsora pachyrhizi*-soja, embora tenha a limitação de ser uma variável integral, ou seja, de necessitar de várias avaliações ao longo do ciclo da cultura.

As equações apresentadas pela função de dano $AACR_{ND}$ -produtividade são válidas para as condições em que foram realizados os experimentos. As diferentes equações encontradas em cada época de semeadura mostram que as medidas de refletância sofreram influência da estação de cultivo, devido às variações da radiação incidente (Guan e Nutter, 2001; Schuld, 1996, citado por Canteri, 1998). Assim, os modelos usados para estimar a produtividade em função de medidas de refletância não devem ser usados antes de ser feita sua validação.

Tabela 3.24. Equações da função de dano AACPD-produtividade e da $AACR_{ND}$ -produtividade, observadas nos experimentos realizados nos anos agrícolas de 2005/2006 (Experimento II) e 2006/2007 (Experimento III).

Épocas/data plantio	AACPD			$AACR_{ND}$	
	kg ha ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	%
	a	b	R ²	B	R ²
EP1 (01/11/05)	4227,81	- 129,76	90,7**	154,35	88,9**
EP2 (30/11/05)	3760,74	- 69,23	92,6**	203,18	90,0**
EP1 (11/10/06)	---	---	n.s.	394,75	67,5*
EP2 (24/11/06)	7464,75	- 104,58	87,9**	620,30	92,2**
EP3 (21/12/06)	5507,21	- 106,93	95,2**	188,55	80,2**

* Significativo (P<0,05) e ** Significativo (P<0,01); n.s.: não significativo.
a = produtividade potencial; b = coeficiente angular

A produtividade apresentou relação linear negativa com a AACPD, com coeficientes de determinação variando de 85,9% a 95,2%. Os coeficientes de danos, representados pelo coeficiente angular (b) das equações da função de dano AACPD-produtividade, mostram a redução da produtividade potencial (a) para cada 1 unidade da AACPD (Tabela 3.24). Apesar de ser uma variável recomendada por alguns autores, a AACPD não pode ser usada para estimar o dano na cultura, uma vez que só é obtida no final do ciclo, após a realização de todas as avaliações. As diferentes equações da função de dano AACPD-produtividade, mostram a principal limitação no seu uso nesse patossistema, que é a falta de transportabilidade. Como a ferrugem da soja pode incidir na cultura em qualquer momento, as equações vão ser diferentes caso a doença ocorra precoce ou tardiamente numa plantação, como observado na época 1, do experimento III (Tabela 3.12).

A ferrugem Asiática da soja causou redução drástica da produtividade nos três anos experimentais. Nas parcelas não protegidas com fungicida (testemunha), a produtividade foi reduzida em 26,2% e 45,2% em relação às parcelas tratadas nas épocas 1 e 2 do Experimento II e, 28,5% e 69,8% em relação às parcelas tratadas das épocas 2 e 3 do Experimento III (Tabela 3.25). Observou-se que semeaduras tardias apresentaram os maiores danos causados pela ferrugem Asiática.

Tabela 3.25. Diferenças de produtividade (kg ha^{-1}) entre parcelas tratadas e não tratadas com fungicidas (Testemunha) nos experimentos realizados nos anos agrícolas de 2003/2004 (Experimento I), 2005/2006 (Experimento II) e 2006/2007 (Experimento III).

	Testemunha	Tratamento	Diferenças
Data semeadura	kg ha^{-1}		%
Experimento II			
EP1 (01/11/05)	2645,00	3575,25	26,2*
EP2 (30/11/05)	1876,75	3423,75	45,2*
Experimento III			
EP1 (11/10/06)	2736,69	5092,81	n.s.
EP2 (24/11/06)	4023,46	5629,34	28,5*
EP3 (21/12/06)	621,11	2056,68	69,8*

* Significativo ($P < 0,05$); n.s.: não significativo.

No Experimento II, embora a doença tenha ocorrido no mesmo estágio nas duas épocas, R₁, a EP2 apresentou maior desenvolvimento da ferrugem e maior dano, possivelmente devido a melhor distribuição de chuvas após a constatação dos primeiros sintomas da doença. Já no Experimento III, com distribuição normal das chuvas, os maiores danos foram observados na EP3, 69,8%, devido à ocorrência precoce da ferrugem em relação ao ciclo da cultura, ainda no estágio vegetativo. Na EP2, onde a doença ocorreu mais tarde, no estágio R₂, o dano foi reduzido para 28,5%. Os resultados apresentados pela EP1 não foram significativos ($P < 0,05$), possivelmente devido a ocorrência atrasada da doença no ciclo da cultura (R_{5.1}). Quando foram observados níveis elevados de severidade as plantas já estavam com os grãos completamente formados.

Hartman et al. (1991) também observaram que o atraso das infecções das plantas reduziu os danos causados pela ferrugem Asiática da soja. Quando as inoculações foram realizadas em R₁, as reduções na produtividade e no peso de grãos foram de 63% e 37%, enquanto em R₅ as reduções foram de 34% e 20%, respectivamente. Carneiro (2007), sob condições de campo, observou que a produtividade foi reduzida em 11,4%, 48,8% e 77% à medida que a semeadura foi atrasada nas épocas 1, 2 e 3, comparando-se parcelas não tratadas e tratadas com fungicida para o controle da ferrugem Asiática da soja.

Como visto, vários fatores podem influenciar no desenvolvimento da ferrugem Asiática e nos danos na produtividade, como quantidade de inóculo inicial, clima favorável ao progresso da doença, estágio fenológico da cultura no momento da infecção. Desta forma é difícil fazer generalizações, mas devido o fungo *P. pachyrhizi* ser um parasita biotrófico existe a tendência das semeaduras tardias terem maior quantidade de inóculo, o que aumenta a chance de infecções bem sucedidas mesmo em situações de clima desfavorável.

Esses resultados reforçam a importância da realização da semeadura no início da estação de cultivo, por reduzir a quantidade de inóculo inicial, podendo atrasar a incidência da doença no ciclo da cultura e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do controle e reduzir os danos causados pela ferrugem Asiática da soja.

3.6. Conclusões

De acordo como os objetivos propostos, pode-se inferir que:

- Há relação significativa entre medidas de refletância e produtividade;
- A $AACR_{ND}$ tem potencial para estimar a produtividade e ser utilizada na quantificação de danos provocados pela ferrugem Asiática da soja;
- Há relação significativa entre produtividade e AACPD;
- Há relação significativa entre medidas de refletância e AACPD;
- A semeadura tardia tem tendência a apresentar maior desenvolvimento da ferrugem Asiática e maiores danos na produtividade.

3.7. Referências

- ALVES, S.A.M.; FURTADO, G.Q.; BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L (ed.). **Ferrugem Asiática da soja**. Viçosa, Suprema. 2006. p. 37-59.
- BERGAMIN FILHO, A.; LOPES, D.B.; AMORIM, L.; GODOY, C.V.; BERGER, R.D. Avaliação de danos causados por doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.3 p.133-170. 1995.
- BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. & AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia I**. 3. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1995. 919p.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1996. 289p.
- BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S.M.T.P.G.; GODOY, C.V.; AMORIM, L.; BERGER, R.D. & HAU, B. Angular leaf spot of *Phaseolus beans*: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. **Phytopathology**, v.87, p.506-515. 1997.
- BUSSAB, W.O. **Análise de variância e regressão**. 2.ed. São Paulo: Atual, 1940. 147p.
- CANTERI, M.G. Uso de medidas da área foliar sadia e refletância no manejo da mancha angular do feijoeiro. 1998. 81 p. Tese. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, SP.
- CANTERI, M.G.; AGNELO, J.V.; AMORIM, L. & BERGAMIN FILHO, A. Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade em amendoim. **Summa Phytopathologica**, v.25, p.228-233, 1999.
- CANTERI, M. G., ALTHAUS, R. A., VIRGENS FILHO, J. S., GIGLIOTI, E.A., GODOY, C. V. SASM – Agri..Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott - Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v.1, n.2, p.18-24. 2001.
- CARNEIRO, L.C.. Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise de tolerância de genótipos de soja à ferrugem Asiática. 2007.75p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, SP.
- COSTAMILAN, L M ; GODOY, C. V. ; ROESE, A. D. ; SANTOS, A. M. ; ANDREATTA, R. B. . Evolução de ferrugem em quatro épocas de semeadura de soja. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2005, Brasília. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30 (Suplemento), p. S118, 2005.

DEL PONTE, E. M.; GODOY, C. V.; LI, X.; YANG, X B. Predicting Severity of Asian Soybean Rust Epidemics with Empirical Rainfall Models. **Phytopathology**, v. 96, n. 7, p. 797-803, 2006.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília, EMBRAPA, 1999. 412p.

EMBRAPA SOJA, 2003. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tecnologias de produção de soja da região central do Brasil 2003**, Londrina, 2003.

EMBRAPA SOJA, 2007a. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **A soja**.

Disponível em: <http://cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=22&cod_pai=16>
Acesso em: 01 nov. 2007

EMBRAPA SOJA, 2007b. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Produtos registrados no MAPA para controle da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)**. Disponível em:

<http://cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=180&cultura=1>
Acesso em: 01 jun. 2007

GASTALDI, Luis Fernando. Eficiência de fungicidas e efeito do ambiente na severidade da ferrugem Asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi* em soja. Londrina, PR, 2005. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina.

GODOY, C.V.; KOGA, L.J.; CANTERI, M. G.. Diagrammatic scale for assesement of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p.63-68, 2006.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 2.ed. Piracicaba : Nobel, 1987. 467p.

GUAN, J.; NUTTER JUNIOR, F.W. Factors that affect the quality and quantity of sunlight reflected from alfalfa canopies. **Plant Disease**, v.85, p.865-874, 2001.

HARTMAN, G.L.; WANG, T.C.; TSCHANZ, A.T. Soybean rust development and quantitative relationship between rust severity and soybean yield. **Plant Disease**, v.75, n.6, p.596-600, 1991.

ISARD, S.A.; MILES, M.R.; HARTAMAN, G. L.; RUSSO, J.M.; DE WOLF, E.D.; MOREL, W. The effect of solar irradiance on the mortality of *Phakopsora pachyrhizi* urediniosporos. **Plant Disease**, v.90, p. 941-945, 2006

KAWUKI, R.S.; ADIPALA, E.; TUKAMUHABWA, P. Yield loss associated with soya bean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in Uganda. **J. Phytopathology**, v.151, p.7-12, 2003.

KOGA, L.J. Relação entre medidas de refletância e área foliar sadia, severidade da ferrugem Asiática e produtividade da cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v.28, n.4, p.571-580, 2007.

LOPES, D.B.; BERGER, R.D.; BERGAMIN FILHO, A. Absorção da área foliar sadia (HAA): uma nova abordagem para a quantificação de dano e para o manejo integrado de doença. **Summa Phytopathologica**, v.20, p.143-151, 1994.

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**, v.66, n. 6, 1976.

MELCHING, J.S., DOWLER, W.M.; KOOGLE, D.L.; ROYER, M.H. Effect of duration, frequency and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v. 73, p.117-122. 1989.

NICOLAS, H. Using remote sensing to determine of the date of a fungicide application on winter wheat. **Crop Protection**, v. 23, p. 853-863, set. 2004.

NILSSON, H.E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. **Annual Reviews Phytopathology**, v.15, p.489-527. 1995

NUTTER JUNIOR, F.W. & LITTRELL, R.H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. **Crop Protection**, v. 15, n. 2, p. 135-142, 1996.

OLIVEIRA, A.C.B., GODOY, C.V. & MARTIN.S., M.C. Avaliação da tolerância de cultivares de Soja à ferrugem Asiática no oeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, n.6, p.658-662, 2005.

REIS, E.M.; LEITES, A.; FORCELINI, C.A. Relações entre intensidade da ferrugem da folha, refletância e rendimento de grãos no patossistema ferrugem da folha do trigo embrapa 16. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p. 447-454. 2006

SILVA, E.A.; SILVA, J.F.V.; MONICO, J.F.G.; HIROMOTO, D.M. Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematóide do cisto da soja. In: BORÉM, A. **Agricultura de precisão**, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.409-453.

SOARES, R.M.; RUBIN, S.S.L.; WIELEWICK, A.P.; OZELAME, J.G. Fungicidas no controle da ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1245-1247, 2004.

TSCHANZ, AT.; WANG, T.C. Interrelationship between soybean development, resistance, and *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v.81, n.11, p.1.420-1.426, 1985.

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**, v.81, n.11, p.1.420-1.426, 1991.

YORINORI, J.T.; CHARCHAR, M.J.A.; NASSER, L.C.B.; HENNING, A.A. Doenças da soja e seu controle. In: Arantes, N.E.; Souza, P.I.M. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 333-397.

YORINORI, J.T.; NUNES JUNIOR, J. & LAZZAROTTO, J.J. **Ferrugem “Asiática” da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle**. In: Documentos / Embrapa Soja, n. 247, 2004, Londrina. Documentos...Londrina: Embrapa Soja, 2004. 36p.

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