



Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja

Marceli Hikishima¹, Marcelo Giovanetti Canteri¹, Cláudia V. Godoy², Lucimara J. Koga¹ & Alexandre J. da Silva¹

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, 86051-990, Londrina, PR, Brasil; ²Embrapa Soja, 86001-970, Londrina, PR, Brasil

Autor para correspondência: Marcelo G. Canteri, e-mail: canteri@uel.br

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram obter funções de dano para o patossistema ferrugem asiática da soja e verificar o potencial de uso de medidas de refletância para quantificar os danos causados pela doença. Experimentos foram conduzidos no município de Londrina, PR, nas safras 2005/06 e 2006/07. Ensaio foram repetidos em diferentes épocas de semeadura, a fim de obter intensidade variável da doença em diferentes estádios fenológicos. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Para obter gradiente de doença foram utilizadas diferentes épocas para aplicações de fungicida nas cultivares BRS 133 e Coodetec 217. A severidade da doença foi estimada em intervalos semanais e utilizada para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Medições da porcentagem de luz solar refletida pelo dossel foram obtidas com um radiômetro portátil de múltiplo espectro. O índice vegetativo da diferença normalizada (IVDN) foi calculado utilizando os comprimentos de onda na faixa do vermelho (660 nm) e do infravermelho próximo (810 nm). As variáveis AACPD e IVDN apresentaram alta correlação com a produtividade, com R^2 médio de 91,5% e 86,7%, respectivamente. Variações na severidade da doença entre as safras afetaram a relação AACPD x produtividade. Medidas de refletância podem ter sofrido a interferência da época de cultivo e das cultivares diferentes utilizadas nos experimentos.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, sensoriamento remoto, radiômetro, índice vegetativo da diferença normalizada (IVDN).

ABSTRACT

Relationships among disease intensity, canopy reflectance and grain yield in the Asian soybean rust pathosystem

The objective of this study was to develop yield loss equations for the Asian soybean rust pathosystem and to verify the potential use of measures of reflectance to quantify yield loss due to this disease. The experiments were carried out in Londrina, PR, in the 2005/2006 and 2006/2007 growing seasons. Tests were repeated at different sowing dates, in order to obtain variable disease intensity at different phenological stages of the crop. The experimental design was complete randomized blocks with four replicates. The treatments were characterized by different stages at the beginning of fungicide sprays on cultivars BRS 133 and Coodetec 217. Disease severity was estimated at weekly intervals and was used to calculate the area under disease progress curve (AUDPC). The reflectance measurements were done with multispectral radiometer and the normalized difference vegetative index (NDVI) was calculated for wavelengths 660 nm and 810 nm. The variables AUDPC and NDVI presented high correlation with yield. Average R^2 was 91.5% and 86.7%, respectively. Variations in the severity of disease between crops affected the relationship AUDPC x yield. Reflectance measures may have been affected by interference of the growing season and the different cultivars used in experiments.

Keywords: *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, remote sensing, radiometer, NDVI.

INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd. é na atualidade uma das principais doenças na cultura da soja no Brasil. Desde a constatação de epidemias no país, em 2001, a doença mostrou-se altamente agressiva e expandiu-se rapidamente,

provocando reduções de até 80% na produtividade (Yorinori et al., 2004). A aplicação de fungicidas é o principal método de controle da FAS (Soares et al., 2004; Yorinori et al., 2004), porém, condição climática favorável aliada à grande quantidade de inóculo inicial do fungo em algumas regiões do país têm exigido um número elevado de pulverizações para controle da doença, aumentando os custos de produção.

A quantificação de danos é um ponto chave na definição de qualquer estratégia de controle de doenças. Diferentes modelos são descritos na literatura (Bergamin

Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Universidade Estadual de Londrina. Londrina PR. 2008.

Filho et al., 1995; Bergamin Filho & Amorim, 1996), porém a maioria se baseia na relação injúria-dano, apresentando como limitação a falta de transportabilidade, pois a doença pode atuar de modo diferente sobre o hospedeiro, quando ocorre precoce ou tardiamente na plantação (Waggoner & Berger, 1987).

Em estudos conduzidos por Bergamin Filho et al. (1997) e Canteri (1998) com o patossistema mancha angular do feijoeiro foram apresentados modelos baseados na relação da produtividade com a área foliar sadia. Esses modelos mostraram maior eficiência na determinação de danos causados por doenças foliares, quando comparados a modelos que consideravam apenas a área foliar doente. Porém, as medições da área foliar sadia são muito mais trabalhosas que avaliações de severidade, o que inviabiliza sua aplicação prática (Canteri, 1998).

Assim, técnicas de sensoriamento remoto, que se baseiam em obter informações de um objeto sem que haja o contato físico entre o instrumento de medida e o objeto (Campbell & Madden, 1990) 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 (Canteri et al., 1999; Guan & Nutter, 2001; Nicolas, 2004; Nilsson, 1995; Reis et al., 2006). 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). Este trabalho teve como objetivos estabelecer as funções de dano para o patossistema FAS, relacionando severidade da doença, medidas de refletância e produtividade e, verificar o

potencial de uso do sensoriamento remoto para estimar os danos causados por essa doença.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos experimentos nas safras 2005/06 (Experimento I) e 2006/07 (Experimento II), na área experimental da fazenda 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. Em cada safra foram instalados dois ensaios em diferentes épocas de semeaduras, definidos como época 1 (EP1) e época 2 (EP2). As semeaduras foram realizadas em 01/11/05 (EP1) e 30/11/05 (EP2), na safra 2005/06 e, em 24/11/06 (EP1) e 21/12/06 (EP2), na safra 2006/07. Foi utilizada a cultivar de soja BRS 133 no Experimento I e EP1 do Experimento II e Coodetec 217 (CD 217) na EP2 do Experimento II, ambas com uma população final de 280 mil plantas ha⁻¹.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada repetição constituída por parcelas com cinco linhas de seis metros de comprimento espaçadas de 0,45 m. Considerou-se como área útil para a aplicação dos tratamentos e coleta de dados as três linhas centrais e, como bordaduras as duas linhas externas e 0,50 m das extremidades da parcela. O gradiente de intensidade da ferrugem foi gerado por meio da aplicação de fungicida em número e estádios fenológicos variados (Tabelas 1 e 2). O tratamento 1 foi considerado a testemunha, sem aplicação de fungicida. Os demais tratamentos receberam pulverizações sequenciais a partir do estádio reprodutivo

TABELA 1 - Número e época das pulverizações para controle da ferrugem asiática da soja (*P. pachyrhizi*), em duas épocas de semeadura (EP), safra 2005/2006 (Experimento I)

Época de Semeadura	Tratamentos	Número de pulverizações	Estádio da pulverização
EP1 01/11/2005	T1	0	--
	T2	3	R3, R5.2, R5.5
	T3	3	R5.1, R5.4, R5.5
	T4	2	R5.2, R5.5
	T5	2	R5.4, R5.5
	T6	1	R5.5
	T7	1	R6
EP2 30/11/2005	T1	0	--
	T2	4	R1, R3, R5.1, R5.5
	T3	4	R2, R4, R5.2, R5.5
	T4	3	R3, R5.1, R5.5
	T5	3	R4, R5.2, R5.5
	T6	2	R5.1, R5.4
	T7	2	R5.2, R5.5
	T8	1	R5.4
	T9	1	R5.5

^aT1 foi considerado a testemunha, sem aplicação de fungicida. Os demais tratamentos receberam pulverizações sequenciais a partir do estádio reprodutivo, com reaplicações a cada 15 dias até os estádios R5.5 ou R6, estádio fenológico da cultura da soja de acordo com Fehr & Caviness (1977).

TABELA 2 - Número e época das pulverizações para controle da ferrugem asiática da soja (*P. pachyrhizi*), em duas épocas de semeadura (EP), safra 2006/2007 (Experimento II)

Época de Semeadura	Tratamentos	Número de pulverizações	Estádio da pulverização
EP1 24/11/2006	T1	0	--
	T2	4	R1, R3, R5.1, R5.5
	T3	4	R2, R4, R5.3, R6
	T4	3	R3, R5.1, R5.5
	T5	3	R4, R5.2, R6
	T6	2	R5.1, R5.5
	T7	2	R5.2, R6
	T8	1	R5.5
EP2 21/12/2006	T1	0	--
	T2	4	R1, R3, R5.1, R5.5
	T3	4	R2, R4, R5.3, R6
	T4	3	R3, R5.1, R5.5
	T5	3	R4, R5.2, R6
	T6	2	R5.1, R5.5
	T7	2	R5.2, R6
	T8	1	R5.5

^a T1 foi considerado a testemunha, sem aplicação de fungicida. Os demais tratamentos receberam pulverizações sequenciais a partir do estágio reprodutivo, com reaplicações a cada 15 dias até o estágio R5.5 ou R6, estágio fenológico da cultura da soja de acordo com Fehr & Caviness (1977).

até o estágio R5.5 ou R6 da escala de Fehr & Caviness (1977), com reaplicações a cada 15 dias.

No Experimento I, o fungicida utilizado para o controle da FAS foi a mistura pronta de azoxistrobina + ciproconazole (60 + 24 g i.a. ha⁻¹), que equivale a dose de 300 mL ha⁻¹ do produto comercial, acrescido de óleo mineral na dose de 500 mL ha⁻¹. No experimento II, foi utilizado o fungicida pyraclostrobina + epoxiconazole (66,5 + 25 g i.a. ha⁻¹) que equivale a dose de 500 mL ha⁻¹ do produto comercial.

A quantificação da severidade, definida como a porcentagem da área foliar coberta com sintomas da doença, foi realizada com o auxílio de escala diagramática (Godoy et al., 2006). As avaliações foram realizadas semanalmente a partir do surgimento das primeiras pústulas até a desfolha total, em 12 trifólios (4 do terço inferior, 4 do médio e 4 do superior) por parcela, sendo a média da severidade uma estimativa da média da doença na parcela. Os valores de severidade média de cada parcela foram utilizados para o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (Campbell & Madden, 1990).

As leituras da porcentagem de luz refletida pelo dossel foram feitas semanalmente, após a detecção dos primeiros sintomas da FAS utilizando-se um radiômetro de múltiplo espectro portátil CropScan, modelo MSR87, que quantifica a porcentagem de luz solar refletida pelo dossel em oito comprimentos de onda (460, 510, 560, 610, 660, 710, 760 e 810 nm). Durante as leituras, o sensor permaneceu a uma altura de 2m sobre o solo. Foram realizadas três leituras por parcela e, a área medida foi de um círculo com diâmetro igual à metade da altura do sensor, centralizado no intervalo entre as duas linhas mais internas da parcela. As leituras

foram realizadas no período da manhã, entre 09:00 h e 11:00 h. O índice vegetativo da diferença normalizada (IVDN) foi calculado combinando-se os comprimentos de onda na faixa de 810 nm (Infravermelho Próximo - IV) e 660 nm (Vermelho-V), onde $IVDN = (IV - V) / (IV + V)$ (Nilsson, 1995).

As colheitas foram realizadas aos 142 (EP1) e 120 (EP2) dias após a emergência no Experimento I e, aos 116 (EP1) e 114 (EP2) dias após a emergência no Experimento II. Foi avaliada a produtividade de 50 plantas das linhas centrais de cada parcela e estimada a 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 FAS foi expresso em porcentagem, pela diferença entre o tratamento que apresentou a maior produtividade e a testemunha, sem controle com fungicida.

Os dados 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). Análise de regressão linear foi utilizada para quantificar as relações entre AACPD, e produtividade e IVDN e produtividade, utilizando-se o programa PlotIT for Windows (Scientific Programming Enterprises, Haslett, MI). Coeficientes de regressão (*b*) e intercepto (*a*) estimados pelas equações foram comparados usando o teste de F. Quando os valores de F de *b* e *a* foram significativos ($P < 0,05$), concluiu-se que os parâmetros estimados entre as equações eram significativamente diferentes. Para as regressões entre IVDN e produtividade, foram utilizados os valores médios do IVDN obtidos nas avaliações realizadas nos estádios fenológicos R5.5 (EP1)

e R5.4 (EP2) no Experimento I, e R6 (EP1) e R5.2 (EP2) no Experimento II, quando o IVDN começou a apresentar diferenças significativas entre os tratamentos com e sem controle da doença.

O potencial de dano foi estimado com base na equação $y=a+bx$, obtida na análise de regressão, onde “y” é a produtividade estimada pela equação, e “x” é a severidade da doença, representada pela variável AACPD, ou a refletância, representada pela variável IVDN. O coeficiente de regressão “b” da equação indica o quanto varia a média de y para o aumento de 1 unidade de x. Neste estudo ele foi denominado de coeficiente de dano. Com o CD estimou-se o potencial de dano e calculou-se o também o limiar de dano econômico (LDE), o qual indicou o melhor momento para aplicação econômica de fungicidas, nas condições em que os ensaios foram conduzidos, visando o controle químico da doença em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja. O LDE foi calculado considerando-se que o custo médio de controle da doença foi de 144 kg ha⁻¹. Este valor foi calculado com base num custo médio do controle de R\$ 60,00 ha⁻¹ (Seab, 2007) e o preço médio de uma saca (60 kg) de soja de R\$ 25,00. Assim, a equação para o cálculo do LDE foi: $LDE=144 \text{ kg ha}^{-1}/CD$.

RESULTADOS

Efeito da FAS sobre as medidas de refletância (IVDN)

A análise de variância, feita para comparação dos tratamentos em cada avaliação, foi usada para verificar o efeito da FAS sobre as medidas de refletância. O IVDN começou a apresentar diferenças significativas entre os tratamentos com e sem controle da doença quando as culturas encontravam-se nos estádios R5.5 (EP1) e R5.4 (EP2) no Experimento I e R6 (EP1) e R5.2 (EP2) no Experimento II, e mantiveram-se significativas até o estádio R6 no Experimento I, e até R7.1 e R5.4 nas épocas 1 e 2 do Experimento II. Nesses estádios, as parcelas sem controle da doença do Experimento I apresentavam em média 28% (EP1) e 41% (EP2) de severidade, enquanto no Experimento II, a severidade média das parcelas sem controle era de 79% (EP1) e 80% (EP2) (Figura 1). Estas parcelas também apresentaram os menores valores de IVDN, indicando que a FAS reduziu a refletância pela área foliar sadia. A relação entre a severidade da doença, representada pela variável AACPD, e a refletância, representada pelo IVDN nos estádios de enchimento de grãos, foi significativa ($P \leq 0,01$) em todos os ensaios, com R^2 variando de 90,6 a 98,5%. Estes resultados estão de acordo com aqueles citados na literatura por Reis et al. (2006) e Nicolas (2004) com a cultura do trigo, e Canteri (1998) com a cultura do feijoeiro.

Efeito da FAS sobre a produtividade

A FAS causou redução na produtividade nas duas safras. A produtividade reduziu em 26,2% e 45,2% nas épocas 1 e 2 do Experimento I, respectivamente, e 28,5% e 69,8% nas épocas 1 e 2 do Experimento II, respectivamente,

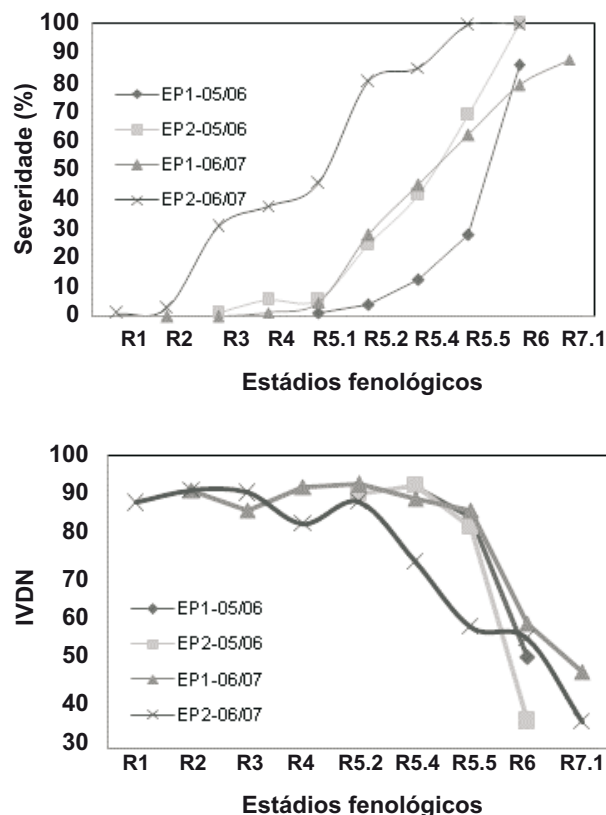


FIGURA 1 - Severidade (porcentagem) da ferrugem Asiática da soja (A) e Índice Vegetativo da Diferença Normalizada - IVDN (B) versus tempo (estádio fenológico), observados em parcelas sem tratamento fungicida em experimentos conduzidos com duas épocas de semeadura (EP) durante as safras 2005/06 e 2006/07.

quando comparadas parcelas com e sem controle da doença. Observou-se que os maiores danos foram apresentados pelas semeaduras tardias, o que está de acordo com os resultados apresentados pela literatura (Hartman et al., 1991; Kawuki et al., 2003; Costamilan et al., 2005; Carneiro, 2007). Embora tenha sido observado maior dano na época 2, Experimento II, onde a cultivar CD217 foi utilizada, este fato não pode ser atribuído à menor tolerância da cultivar à FAS, em função da doença ter incidido ainda no estádio vegetativo da cultura nesse ensaio. Assim, a cultura ficou exposta ao patógeno por mais tempo no campo quando comparada a cultivar BRS133, utilizada nos outros ensaios.

Funções de dano e limiar de dano econômico (LDE) para controle da FAS

Experimento I – Safra 2005/2006

As relações entre a produtividade, a AACPD e o IVDN observadas na análise de regressão linear foram significativas ($P \leq 0,01$) nas duas épocas de semeadura. Na EP1, a equação da função de dano (Figura 2A) mostrou que para cada 1 unidade do IVDN, observada no estádio R5.5, houve incremento de 197,6 kg ha⁻¹ na produtividade

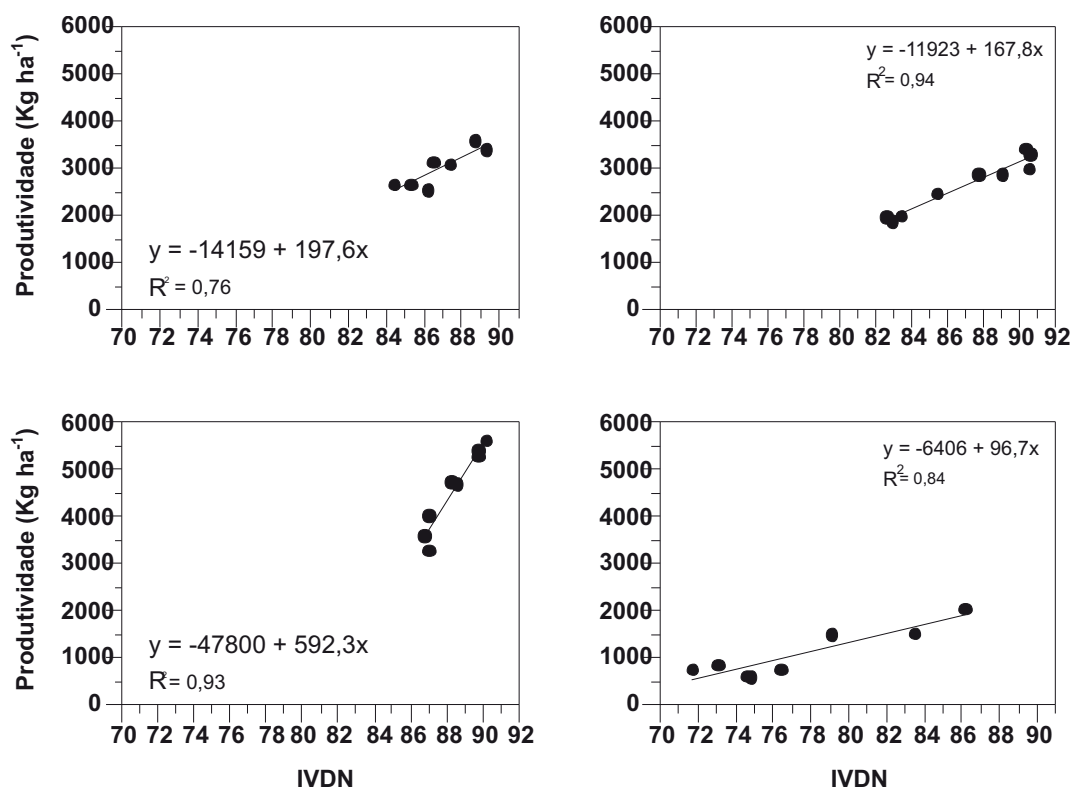


FIGURA 2 - Relações entre o índice vegetativo da diferença normalizada (IVDN), observado no estádio de enchimento de grãos, e a produtividade no experimento I, época 1 (A) e época 2 (B), realizados na safra 2005/06 e no experimento II, época 1 (C) e época 2 (D), realizados na safra 2006/07. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento.

e, para cada 1 unidade de AACPD houve redução de 129,7 kg ha⁻¹ (Figura 3A). Considerando os coeficientes de dano obtidos em cada equação, o LDE para controle da FAS foi de 0,7 unidade do IVDN e de 1,1 unidade de AACPD. No ensaio da EP2, a análise de regressão mostrou que para cada 1 unidade do IVDN, observada no estádio R5.4, houve incremento de 167,8 kg ha⁻¹ (Figura 2B) e, para cada 1 unidade de AACPD, houve decréscimo de 69,2 kg ha⁻¹ (Figura 2B). Assim, o LDE para este ensaio foi 0,9 unidade do IVDN e de 2,1 unidades de AACPD.

Para estimar o dano causado por *P. pachyrhizi* em função do IVDN usou-se como a “parcela controle” (Lopes et al., 1994; Bergamin Filho et al., 1997; Canteri, 1998) o tratamento onde a doença foi controlada de forma mais eficiente e como a “situação de produção” o tratamento testemunha (sem controle da doença). Na avaliação realizada no estádio R5.5 (EP1) observou-se diferença de 4 unidades de IVDN entre a parcela controle e a testemunha. Segundo a equação da Figura 2A, a redução de 4 unidades do IVDN provoca decréscimo de 790,4 kg ha⁻¹. Este valor está próximo aos 930,3 kg ha⁻¹ de dano observado neste ensaio, onde a produtividade variou de 2645,0 kg ha⁻¹ (Testemunha) a 3575,3 kg ha⁻¹ (Tratamento 3). Portanto avaliações de IVDN neste estádio relacionam-se com o dano.

Na avaliação realizada no estádio R5.4 (EP2) observou-se diferença de 7,7 unidades do IVDN entre a parcela controle e a testemunha. Segundo a equação da Figura 2B, a redução de 7,7 unidades de IVDN provoca dano de 1292,1 kg ha⁻¹. Este valor está próximo aos 1547,0 kg ha⁻¹ de dano observado neste ensaio, onde a produtividade variou de 1876,75 kg ha⁻¹ (Testemunha) a 3423,75 kg ha⁻¹ (Tratamento 4).

Experimento II – Safra 2006/2007

A produtividade apresentou relação linear ($P \leq 0,01$) com o IVDN e relação linear inversa com a AACPD nos dois ensaios. Na EP1, a equação que relaciona o IVDN com a produtividade (Figura 2C) mostrou que para cada 1 unidade do IVDN, no estádio R6, houve incremento de 592,3 kg ha⁻¹ na produtividade, e para cada 1 unidade de AACPD houve redução de 104,6 kg ha⁻¹ (Figura 3C). O LDE para este ensaio foi de 0,2 unidade de IVDN, e de 1,4 unidade de AACPD. Ou seja, a diferença entre o IVDN da parcela controle e da testemunha, no estádio R6, teria que ser superior a 0,2 unidade para que o controle químico da FAS fosse iniciado, nas condições em que foi realizado o ensaio. O dano estimado, segundo a equação da Figura 2C, foi de 1736,8 kg ha⁻¹ considerando-se a redução de 3,2

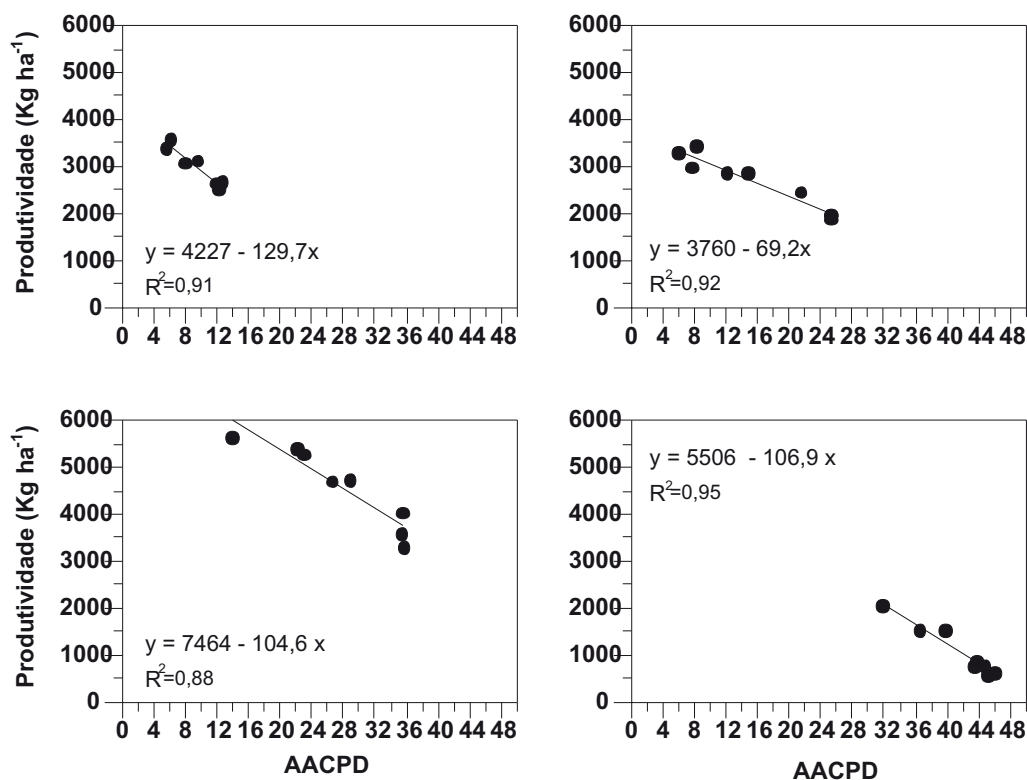


FIGURA 3 - Relações entre área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e produtividade no experimento I, época 1 (A) e época 2 (B), conduzido na safra 2005/06, e no experimento II, época 1 (C) e época 2 (D), realizado na safra 2006/07. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento.

unidades do IVDN da testemunha em relação à “parcela controle”. Este valor está próximo ao dano observado neste ensaio, que foi de 1605,8 kg ha⁻¹. Nesta época a produtividade variou de 4023,5 kg ha⁻¹ (Testemunha) a 5629,3 kg ha⁻¹ (Tratamento 3).

Na EP2, as equações da função de dano mostraram que para cada 1 unidade do IVDN, no estágio R5.2, houve incremento de 96,7 kg ha⁻¹ (Figura 2D) e para cada 1 unidade da AACPD houve redução de 106,9 kg ha⁻¹ (Figura 3D). O LDE em função do IVDN foi de 1,5 unidade, no estágio R5.2, e de 1,3 unidade de AACPD. O dano estimado segundo a equação da Figura 2D foi de 1121,7 kg ha⁻¹, considerando-se a redução de 11,6 unidades do IVDN da testemunha em relação à “parcela controle”. Este valor está próximo ao dano observado neste ensaio, 1435,6 kg ha⁻¹, onde a produtividade variou de 621,1 kg ha⁻¹ (Testemunha) a 2056,68 kg ha⁻¹ (Tratamento 2).

Comparação das equações de dano entre as épocas de cultivo e entre os experimentos

A análise comparativa dos parâmetros obtidos nas equações de dano em função da AACPD e IVDN dos dois experimentos (Experimento I x Experimento II – Tabela 3) mostrou que os coeficientes de regressão (*b*) e os interceptos (*a*) são diferentes ($p \leq 0,05$). Desta forma, os dados não puderam ser analisados em conjunto, a fim de se obter uma única equação de AACPD x produtividade e IVDN x produtividade.

Quando comparadas as equações de AACPD x produtividade entre as épocas dentro de cada experimento verificou-se que os coeficientes de regressão foram significativamente diferentes ($P \leq 0,05$) na safra 2005/06. Como o início da epidemia ocorreu tardiamente na EP1, apenas no estágio R5.1 (Figura 1), quando parte da produção já estava garantida, o efeito da FAS sobre a produtividade foi diferente da EP2, onde a epidemia ocorreu ainda no início da formação de vagens (R3). Essa mesma tendência não foi verificada na safra 2006/07, onde os coeficientes de regressão obtidos nas equações da EP1 e EP2 foram muito semelhantes ($P = 0,92$), apesar da epidemia ter iniciado antes na EP2. A explicação para este resultado pode estar relacionada com a maior severidade da FAS na safra 2006/07 quando comparada a safra 2005/06 (Figura 1).

Em relação às equações de IVDN x produtividade, verificou-se que os coeficientes de regressão obtidos nas épocas 1 e 2 na safra 2005/06 foram semelhantes ($p = 0,53$), ou seja, a taxa com que as medidas de refletância afetaram a produtividade foi semelhante na EP1 e na EP2. Porém, na safra 2006/07 os coeficientes de regressão das equações de dano das épocas 1 e 2 foram diferentes ($P \leq 0,05$). Esses resultados indicam que as medidas de refletância podem ter sofrido a interferência das cultivares diferentes utilizadas na safra 2006/07.

TABELA 3 - Comparação dos parâmetros estimados pelas equações de dano em função da AACPD (Área abaixo da curva de progresso da doença) e do IVDN (Índice vegetativo da diferença normalizada) entre as diferentes épocas de semeadura (EP) dentro e entre os experimentos realizados nas safras 2005/06 e 2006/07

	AACPD	IVDN
EP1 x EP2 (safra 2005/06)		
Intercepto (a)	P= 0,218	P=0,002
Coefficiente de regressão (b)	P=0,023	P=0,532
EP1 x EP2 (safra 2006/07)		
Intercepto (a)	P<0,0001	P<0,0001
Coefficiente de regressão (b)	P=0,916	P=0,002
Experimento I x Experimento II		
Intercepto (a)	P=0,003	P<0,0001
Coefficiente de regressão (b)	P<0,0001	P<0,0001

*Comparações dos parâmetros *a* e *b* foram realizadas pelo teste F.

DISCUSSÃO

As correlações entre variáveis de severidade e produtividade, embora em outros patossistemas nem sempre sejam observadas, como é o caso das doenças foliares do feijoeiro (Bergamin Filho et al., 1995; Canteri, 1998), foram encontradas no patossistema estudado. Neste estudo, observou-se que a produtividade apresentou relação linear negativa com a AACPD, com coeficientes de determinação variando de 85,9 % a 95,2 %. A AACPD é uma variável recomendada por alguns autores por representar a epidemia como um todo, pois leva em consideração o estresse que a cultura sofreu durante vários estádios de desenvolvimento (Bergamin Filho & Amorim, 1996). No entanto, como é uma variável integral, não pode ser usada para estimar o dano no transcorrer da safra, uma vez que só é obtida no final do ciclo, após a realização de todas as avaliações. Além disso, as diferentes equações de dano em função da AACPD observadas entre os experimentos mostram a principal limitação no seu uso nesse patossistema, que é a falta de transportabilidade. Como a FAS pode incidir na cultura em qualquer momento, as equações serão diferentes caso a doença ocorra precoce ou tardiamente, ou com menor ou maior severidade, numa plantação. Yang et al. (1991) encontraram alta correlação da AACPD com a produtividade no patossistema soja - *P. pachyrhizi*, com R^2 variando de 89 % a 95 %, em experimento realizado no ano de 1986. Entretanto, no experimento realizado no ano seguinte, com baixa severidade da doença, os autores não encontraram boa correlação, com R^2 variando de 13 % a 71 %.

Neste estudo a severidade da FAS foi maior na safra 2006/07 em relação a safra 2005/06, o que influenciou na relação da AACPD com a produtividade entre os dois experimentos. Na safra em que a severidade da doença foi baixa, os diferentes estádios fenológicos em que a epidemia teve início interferiram no modo com que a severidade

afetou a produtividade nas duas épocas. Porém, quando a severidade foi alta, a relação da AACPD com a produtividade foi semelhante entre as duas épocas de semeadura.

Verificou-se que o IVDN, determinado nos estádios de enchimento de grãos, também apresentou boa relação com a produtividade, com R^2 médio de 86,7%. Resultados semelhantes foram encontrados por Canteri et al. (1999), no patossistema *Cercosporidium personatum* - amendoim ($R^2=84,5$ %), Nicolas (2004), no patossistema *Septoria tritici* - trigo ($R^2=92,7$ %) e Reis et al. (2006), no patossistema *Puccinia tritici* - trigo ($R^2=88,0$ %). No entanto, embora o IVDN tenha apresentado uma boa relação com a produtividade nos dois anos de estudo e em diferentes épocas de semeadura, as diferentes equações de dano encontradas entre os experimentos indicam que as medidas de refletância podem ter sofrido a interferência de fatores como a época de cultivo e ou da cultivar diferente. Estes fatores, entre outros, são citados na literatura como fatores que podem influenciar as propriedades de refletância do dossel de uma cultura (Guan & Nutter, 2001; Nilsson, 1995; West et al., 2003).

Embora não tenha sido possível verificar o potencial de uso das medidas de refletância para estimar danos causados pela FAS nas condições em que este estudo foi realizado, informações sobre o IVDN podem ser utilizadas na estimativa de danos da doença e na determinação do limiar de dano econômico. Podem ser também aplicadas futuramente no manejo integrado da doença, assim como, o comportamento das medidas de refletância em diferentes situações de cultivo, são informações relevantes para serem usadas na elaboração de modelos de estimativa de dano baseados em medidas de refletância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bergamin Filho A, Lopes DB, Amorim L, Godoy CV, Berger RD (1995) Avaliação de danos causados por doenças de plantas. Revisão Anual de Patologia de Plantas. pp. 133-170.
- Bergamin Filho A, Amorim L (1996) Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. São Paulo SP. Editora Ceres.
- Bergamin Filho A, Carneiro SMTPG, Godoy CV, Amorim L, Berger RD, Hau B (1997) Angular leaf spot of *Phaseolus beans*: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. *Phytopathology* 87:506-515.
- Campbell CL, Madden LV (1990) Introduction to plant disease epidemiology. New York NY. John Wiley & Sons.
- Canteri MG (1998) Uso de medidas da área foliar sadia e refletância no manejo da mancha angular do feijoeiro. Tese de Doutorado. Piracicaba SP. ESALQ, Universidade de São Paulo.
- Canteri MG, Agnelo JV, Amorim L, Bergamin Filho A (1999) Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade em amendoim. *Summa Phytopathologica* 25:228-233.

- Canteri MG, Althaus RA, Virgens Filho JS, Giglioti EA, Godoy CV (2001) SASM – Agri. Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. *Revista Brasileira de Agrocomputação* 1:18-24.
- Carneiro LC (2007) Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise de tolerância de genótipos de soja à ferrugem Asiática. Tese de Doutorado. Piracicaba SP. ESALQ, Universidade de São Paulo.
- Costamilan LM, Godoy CV, Roese AD, Santos AM, Andreatta RB (2005) Evolução de ferrugem em quatro épocas de semeadura de soja. *Fitopatologia Brasileira* 30 (Supl.):118.
- Fehr WR, Caviness CE (1977) Stages of soybean development. Ames IA. Iowa State University.
- Godoy CV, Koga LJ, Canteri MG (2006) Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira* 31:63-68.
- Guan J, Nutter Junior FW (2001) Factors that affect the quality and quantity of sunlight reflected from alfalfa canopies. *Plant Disease* 85:865-874.
- Hartman GL, Wang TC, Tschanz AT (1991) Soybean rust development and quantitative relationship between rust severity and soybean yield. *Plant Disease* 75:596-600.
- Kawuki RS, Adipala E, Tukamuhabwa P (2003) Yield loss associated with soya bean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in Uganda. *Journal of Phytopathology* 151:7-12.
- Lopes DB, Berger RD, Bergamin Filho A (1994) Absorção da área foliar sadia (HAA): uma nova abordagem para a quantificação de dano e para o manejo integrado de doença. *Summa Phytopathologica* 20:143-151.
- Nicolas H (2004) Using remote sensing to determine the date of a fungicide application on winter wheat. *Crop Protection* 23:853-863.
- Nilsson HE (1995) Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Annual Review of Phytopathology* 15:489-527.
- Reis EM, Leites A, Forcelini CA (2006) Relações entre intensidade da ferrugem da folha, refletância e rendimento de grãos no patossistema ferrugem da folha do trigo Embrapa 16. *Fitopatologia Brasileira* 31:447-454.
- SEAB (2007) Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Estimativa do custo de produção de soja. Disponível em: <http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/cp_soja.xls>. Acesso em 01 de fev. 2008.
- Silva EA, Silva JFV, Monico JFG, Hiromoto DM (2000) Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematóide do cisto da soja. In: Borém A (Ed.) *Agricultura de precisão*. Viçosa MG. Universidade Federal de Viçosa. pp. 409-453.
- Soares RM, Rubin SSL, Wielewick AP, Ozelame JG (2004) Fungicidas no controle da ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade em soja. *Ciência Rural* 34:1245-1247.
- Yang XB, Tschanz AT, Dowler WM, Wang TC (1991) Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybeans infected with *Phakopsora pachyrhizi*. *Phytopathology* 81:1420-1426.
- Yorinori JT, Nunes Junior J, Lazzarotto JJ (2004) Ferrugem “Asiática” da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle. Londrina PR. *Embrapa Soja, Documentos* 247.
- Waggoner PE, Berger RD (1987) Defoliation, disease and growth. *Phytopathology* 77:393-398.
- West JS, Bravo C, Oberti R, Lemaire D, Moshou D, McCartney HA (2003) The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. *Annual Review of Phytopathology* 41:593-614.

TPP 8097 - Recebido 18 Agosto 2008

Versão modificada recebida 14 Dezembro 2009 - Aceito 8 Março 2010

Editor de Seção: Renato B. Bassanezi