

# RELAÇÕES ENTRE DOENÇA, ÁREA FOLIAR SADIA E PRODUÇÃO NO PATOSSISTEMA FEJJOEIRO – *Colletotrichum lindemuthianum* (SACC. & MAGN.) SCRIB

LEONARDO GIANASI<sup>1</sup>

**RESUMO** – Foram conduzidos três experimentos visando a relacionar severidade de doença (X), desfolha, área sob a curva de progresso de doença (AUDPC), índice de área foliar sadia (HLAI), radiação interceptada pela área foliar sadia por unidade de tempo (HRI), duração da área foliar sadia (HAD) e absorção da área foliar sadia (HAA) com produção de feijoeiro, cultivar Carioca, infectado com *Colletotrichum lindemuthianum*. AUDPC relacionou-se com a produção. A desfolha, unicamente, não se relacionou à produção. Entretanto, melhores relações foram observadas quando a produção foi relacionada com HAD e HAA. A relação entre produção e HAD foi linear para os três experimentos conduzidos ( $51,60 < R^2 < 69,80$

%,  $P < 0,001$ ). Para HAA, essa relação foi mais bem explicada pelo modelo exponencial do que linear em apenas um experimento; entretanto, modelos lineares ajustaram-se bem a todos os ensaios ( $27,40 < R^2 < 66,97$  %,  $P < 0,001$ ). Foram desenvolvidos modelos de ponto crítico, usando HRI para estimar a produção. Os coeficientes angulares dessa relação tenderam a estabilizar-se ( $1,477 \pm 0,07$  g MJ<sup>-1</sup>) independentemente da época de plantio e do estágio de crescimento (do estágio R<sub>5</sub> ao R<sub>8</sub>). Comportamento semelhante foi obtido para a relação de produção com HLAI. HRI é proposta como uma variável explanatória num sistema transportável de manejo de doença.

**TERMOS PARA INDEXAÇÃO:** Antracnose, *Phaseolus vulgaris*, feijoeiro, quantificação de danos, manejo de doenças.

## RELATIONSHIP BETWEEN DISEASE, HEALTH LEAF AREA AND YIELD IN BEAN *Colletotrichum lindemuthianum* (SACC. & MAGN.) PATOSSYSTEM

**ABSTRACT** – Three experiments were conducted aiming at investigating the relationship between disease severity (X), area under disease progress curve (AUDPC), healthy leaf area (HLAI), healthy leaf area absorption on any given day (HRI), healthy leaf area duration (HAD) healthy leaf area absorption (HAA) and yield of bean cultivar Carioca, inoculated with *Colletotrichum lindemuthianum*. Yield was related to AUDPC, and it was not related to defoliation. However the best relationship was found when yield was related to HAD and HAA. The relationship between HAD and yield were linear for all three trials ( $51.60 < R^2 < 69.80$  %,

$P < 0.001$ ). The relationship between yield and HAA was linear in all three trials ( $27.40 < R^2 < 66.97$  %,  $P < 0.001$ ), however exponential relationship was identified in one of them. Single point models using HRI to estimate yield at various times during crop season were developed. The slopes of the yield-HRI relationship proved to be stable ( $1.477 \pm 0.07$  g MJ<sup>-1</sup>), regardless of planting time and bean growth stage (from R<sub>5</sub> to R<sub>8</sub>). A similar result was obtained to yield-HLAI relationship. HRI is proposed as a key explanatory variable for a transportable system of disease management.

**INDEX TERMS:** Anthracnose, *Phaseolus vulgaris*, damage assessment, disease management.

### INTRODUÇÃO

A antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. e Magnus) Scrib.) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) pode causar danos de até 100 %, quando as sementes estão infectadas e as condições de ambiente são

favoráveis (Rava *et al.*, 1998). Um sistema de manejo dessa doença que seja flexível no tempo e no espaço poderá proporcionar um uso mais racional de produtos fitossanitários do que o calendário fixo atualmente utilizado.

1. Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Cx. P. 295, 35701.970 - Sete Lagoas, MG.

O desenvolvimento de sistemas de manejo de doenças requer informações precisas e acuradas sobre os danos causados por patógenos. Tradicionalmente, para quantificar danos, tem-se relacionado produção com severidade de doença ou AUDPC. Entretanto, tem-se verificado a falta de transportabilidade desses modelos que, entre outras causas, é atribuída à fraca e indireta relação entre produção e doença (Bergamin Filho *et al.*, 1997).

Por outro lado, Watson (1947) cita que produção é função do índice de área foliar, LAI, sendo mais bem relacionada com duração da área foliar, LAD. Nesse conceito, Monteith (1977) introduziu idéias sobre a radiação interceptada pela copa das plantas, RI, estabelecendo sólidas relações entre produção e absorção da área foliar, LAA. Waggoner & Berger (1987) adaptaram esses conceitos para o contexto da Fitopatologia, propondo o índice de área foliar sadia, HLAI, radiação interceptada pela área foliar sadia por unidade de tempo, HRI e suas integrais, duração da área foliar sadia, HAD, e absorção da área foliar sadia, HAA. Essa metodologia, utilizada em trabalhos prévios para patossistemas do feijoeiro, tem demonstrado maior eficiência do que aqueles que se baseiam em severidade de doença (Nunes & Bergamin Filho, 1996; Bergamin Filho *et al.*, 1997; Canteri *et al.*, 1998). Tais trabalhos não consideraram que a desfolha promovida pelo patógeno no hospedeiro, e conseqüentemente acredita-se que a doença tenha sido subestimada (Bergamin Filho *et al.*, 1997). Tal fato pode explicar a falta de relação entre doença e produção.

Objetivou-se com este trabalho estabelecer e comparar funções de dano para o patossistema feijão – antracnose, baseadas na área foliar sadia e na severidade, considerando-se ou não a desfolha promovida pelo patógeno em ambas as situações.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Experimentos de campo

Três experimentos foram conduzidos durante o ano de 1997, com a cultivar Carioca na Estação Experimental Nova Fazenda Hokko, Pereiras, SP (23°S, 60°W, altitude de 479 m). O primeiro foi semeado em 17 de abril de 1997, e denominado de campo 5. Os demais semeados 30 e 60 dias após o primeiro, e denominados de campo 6 e 7, respectivamente.

Em todos os ensaios, o delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e três repetições. Cada parcela de 12 m<sup>2</sup> possuía quatro linhas de plantio, com seis metros de extensão. O espaçamento entre linhas foi de 0,5 m, com densidade de 12 plantas por metro linear. A manutenção dos experimentos deu-se por meio de práticas culturais convencionais utilizadas em campos comerciais.

Quando os plantios atingiram o estágio V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> (Michaels, 1994), procedeu-se à inoculação de todas as parcelas. Para tanto, o patógeno foi multiplicado em meio de ágar-vagem (Benhamon *et al.*, 1991), e mantido por 14 dias sob escuro constante a 21 °C. Decorrido esse período, obteve-se uma suspensão de esporos, padronizada em 10<sup>6</sup> esporos/mL, que foi pulverizada sobre as plantas, utilizando-se pulverizador costal de pressão constante, 40 Lb/pol<sup>2</sup>, aplicando-se 130 mL da suspensão nas duas fileiras centrais de cada parcela.

Para estabelecer diferentes severidades de doença, realizaram-se pulverizações com fungicida (trifenil acetato de estanho 0,2 kg/ha) em diferentes épocas. Os tratamentos foram: 1– pulverizações semanais iniciadas uma semana após a inoculação; 2– pulverizações no estágio R<sub>5</sub> (Michaels, 1994) e após 14 dias; 3– pulverização no estágio R<sub>5</sub>; 4– pulverização 14 dias após ter sido atingido o estágio R<sub>5</sub> e 5– testemunha.

### Crescimento do hospedeiro, severidade de doença e produção

Crescimento do hospedeiro, severidade de doença e produção foram avaliados nas duas fileiras centrais de cada parcela, sendo marcadas quatro plantas com fita plástica colorida no estágio V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> (Michaels, 1994). Nessas plantas, marcaram-se todas as folhas, que foram surgindo com o auxílio de uma etiqueta de papel numerada, e embebida em parafina, objetivando-se quantificar a desfolha promovida pelo patógeno.

A área foliar (LA, cm<sup>2</sup>) de todas as folhas de cada planta marcada foi estimada semanalmente, iniciando-se no estágio V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> (Michaels, 1994). Para isso, a maior largura do folíolo central de cada folha (L, cm) foi medida com o auxílio de uma régua. A área foliar foi estimada com base na relação empírica: LA = 3,03 \* L<sup>1,87</sup>, R<sup>2</sup> = 88 % (Bassanezi, 1995).

A avaliação da severidade da antracnose do feijoeiro, em todas as folhas das plantas marcadas, foi realizada simultaneamente com a avaliação de área foliar e

com o auxílio de uma escala diagramática de severidade (Godoy *et al.*, 1997).

A desfolha do hospedeiro foi quantificada entre avaliações consecutivas. Para tanto, quando folíolos ou folhas atingiam 100 % de necrose ou apresentavam-se caídos em função do patógeno, suas respectivas áreas foliares foram consideradas como desfolha. Esses dados, além de computados para obtenção da área foliar total das plantas, foram utilizados para cálculo da porcentagem de desfolha (DF, %):  $DF = (\text{Área desfolhada} / \text{Área foliar total}) \times 100$ .

A produção foi determinada para cada planta marcada, pesando-se as sementes com 12 % de umidade. Os resultados foram expressos em g planta<sup>-1</sup>.

### Variáveis integrais

As variáveis AUDPC, HAD e HAA foram obtidas por meio da integral no tempo das variáveis instantâneas, severidade, HLAI e HRI, respectivamente. As equações utilizadas nesses cálculos podem ser encontradas em Bergamin Filho *et al.* (1997). Destaca-se que foram calculadas duas AUDPC. Em uma delas, a desfolha foi acrescentada à severidade. Na outra, utilizaram-se apenas os valores de severidade.

A radiação solar incidente (*I*) foi medida por uma estação meteorológica computadorizada situada a cerca de 500 m da área experimental.

### Análise dos dados

As regressões lineares foram obtidas por meio do programa STATISTICA (StatSoft, Tulsa, OK). Para as regressões não-lineares, utilizou-se o programa PlotIT for Windows (Scientific Programming Enterprises, Haslsett, MI).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Radiação solar, doença e produção

Os valores médios de radiação solar durante a condução de cada experimento variaram de 13,58 MJ m<sup>-2</sup>

dia<sup>-1</sup>, no campo 5, a 14,49 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, no campo 7 (Tabela 1). As diferentes épocas de aplicação do fungicida para controle de *C. lindemuthianum* resultaram em parcelas com bastante variação na severidade. Plantas totalmente sadias não foram encontradas em nenhum dos experimentos, pois o início dos tratamentos ocorreu uma semana após a inoculação do campo. Entretanto, plantas com severas infeções, mais de 50 % de severidade, foram encontradas em todos os ensaios (Tabela 1 e Figura 1). A média de produção variou de 3,6 g planta<sup>-1</sup> no campo 5 a 24,52 g planta<sup>-1</sup> no campo 7 (Tabela 1).

Nos três ensaios realizados, o decréscimo na produção esteve associado ao aumento da AUDPC, que foi razoavelmente descrito pelo modelo exponencial  $Y = b_1 \exp(b_2 \text{AUDPC})$ , no qual *Y* é a produção (g planta<sup>-1</sup>) (Tabela 2).

Em todos os experimentos, o patógeno promoveu desfolha nas plantas de feijoeiro. A média das percentagens de desfolha ( $\pm$  erro padrão da amostra) foram de  $80,97 \pm 0,67$ ,  $68,72 \pm 0,81$  e  $31,12 \pm 0,65$  para os campos 5, 6 e 7, respectivamente. No Campo 5, a produção esteve associada ao aumento da desfolha, sendo razoavelmente descrita pelo modelo exponencial  $Y = 51,27 \exp(-0,03705 * DF)$  (Figura 2), no qual *Y* é a produção (g planta<sup>-1</sup>) e DF, a desfolha ( $R^2 = 60,33$  %). O mesmo modelo aplicado aos outros experimentos produziu valores de  $R^2$  baixos, não evidenciando relação entre desfolha e produção.

### HAD e HAA

A relação entre produção e HAD para todas as plantas marcadas demonstrou que, em todos os casos, a produção aumentou linearmente com HAD ( $P < 0,001$ ) (Figura 3 e Tabela 3). Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram bastante altos para esse tipo de experimento e variaram de 51,60 a 80,97 %. As retas de regressão diferiram significativamente ( $P < 0,05$ ); entretanto, a análise conjunta dos três experimentos permitiu obter uma reta de melhor ajuste aos dados ( $R^2 = 82,0$  %):  $\text{Produção} = -5,60924 + 0,139636 * \text{HAD}$  (Tabela 3 e Figura 3).

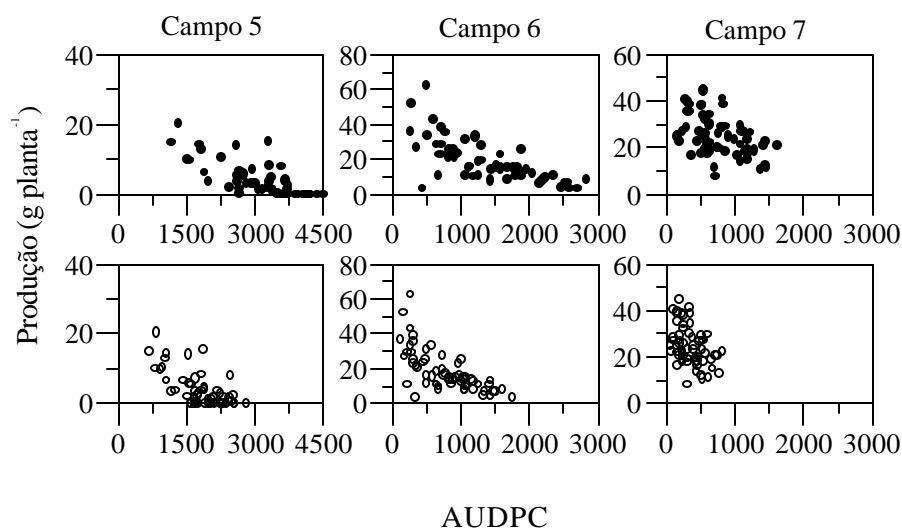
**TABELA 1** – Radiação solar, severidade de antracnose do feijoeiro, área sob a curva de progresso de doença (AUDPC) e produção para três experimentos\*. Pereira, SP, 1997.

Experimento	Radiação solar (MJ m <sup>-2</sup> /dia)	Severidade (%)		AUDPC		Produção (g planta <sup>-1</sup> )	
	Média $\pm$ SE**	Máximo	Média $\pm$ SE	Máximo	Média $\pm$ SE	Máximo	Média $\pm$ SE
Campo 5	13.58 $\pm$ 0.077	100	87.66 $\pm$ 0.53	2804.7	1810.46 $\pm$	20.3	3.60 $\pm$ 0.16

				1	16.13		
Campo 6	13.90 ± 0.079	100	69.24 ± 0.82	1754.5	786.72 ± 14.24	62.0	18.35 ± 0.41
				0			
Campo 7	14.49 ± 0.078	100	33.47 ± 0.67	831.90	361.38 ± 6.39	44.6	24.52 ± 0.28

\*Média (± erro padrão) para 60 plantas em cada experimento.

\*\*SE = erro padrão da amostra.



**FIGURA 1** – Produção (g planta<sup>-1</sup>) versus área sob a curva de progresso de doença, para plantas individuais de feijão infectadas com antracnose em três experimentos (60 plantas por experimento). Círculos cheios representam avaliações nas quais foi considerada desfolha promovida pelo patógeno. Círculos vazios representam avaliações nas quais não se considerou desfolha. Pereiras, SP, 1997.

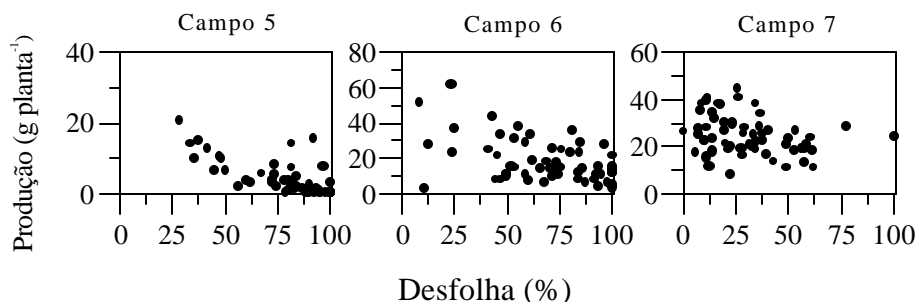
**TABELA 2** – Variáveis  $b_1$  e  $b_2$  para o modelo exponencial ( $Y = b_1 \exp(b_2 \text{ AUDPC})$ ) obtido entre produção (g planta<sup>-1</sup>) e AUDPC, para feijoeiros infectados com antracnose, em três experimentos. Modelos ajustados considerando-se ou não a desfolha promovida pelo patógeno. Pereiras, SP, 1997.

Experimento	Desfolha	$b_1 \pm SE^*$	$b_2 \pm SE$	$R^2$
Campo 5	Sim	49,61 ± 10,71	-0,0008973 ± 0,0001	59,82
Campo 5	Não	55,47 ± 14,98	-0,001714 ± 0,0002	51,53
Campo 6	Sim	47,19 ± 4,99	-0,000738 ± 0,0001	52,89
Campo 6	Não	42,36 ± 4,16	-0,00123 ± 0,0002	51,73
Campo 7	Sim	34,12 ± 3,06	-0,0004 ± 0,0001	20,47
Campo 7	Não	32,21 ± 2,66	-0,0007 ± 0,0002	17,71

\* SE = erro padrão da amostra

Relações lineares entre produção e HAA foram satisfatórias em todos os experimentos ( $R^2$  de 27,41 a 66,96 %;  $P < 0,001$ ). Entretanto, para o campo 6, o modelo exponencial apresentou melhor ajuste: Produção =  $0,3316 \exp(0,005339 * HAA)$ ,  $R^2 = 75,84$  %.

As retas de regressão também diferiram entre si ( $P < 0,05$ ), porém, sua análise conjunta resultou em melhor ajuste dos dados ( $R^2 = 67,43\%$ ): Produção =  $-16,9634 + 0,0501841 * HAA$  (Tabela 3 e Figura 3).

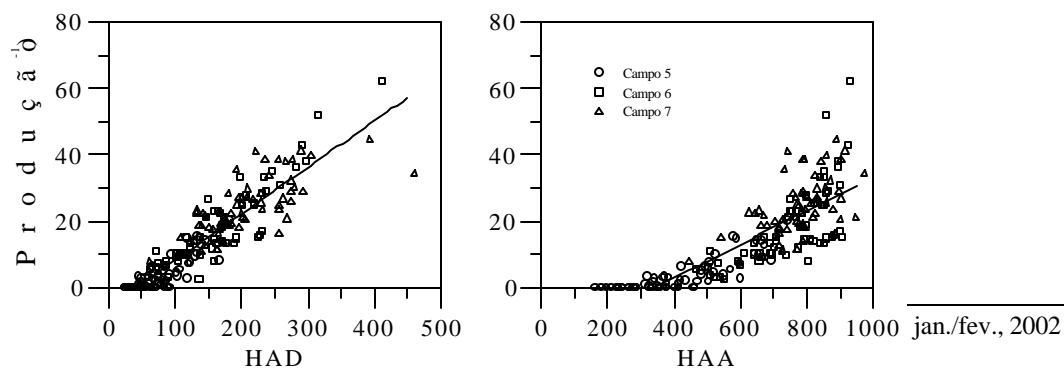


**FIGURA 2** – Produção ( $\text{g planta}^{-1}$ ) versus desfolha, para plantas individuais de feijão infectadas com antracnose em três experimentos (60 plantas por experimento). Pereiras, SP, 1997.

**TABELA 3** – Valores de interseção e coeficientes angulares ( $\pm$  erro padrão) das retas de regressão entre produção ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e duração da área foliar sadia (HAD, dias) e entre produção e absorção da área foliar sadia (HAA,  $\text{MJ m}^{-2}$ ) em três experimentos. Pereiras, SP, 1997.

Experimento	HAD			HAA		$R^2$
	Interseção	Coefficiente angular	$R^2$	Interseção	Coefficiente angular	
Campo 5	$-4,9732 \pm 0,8190$	$0,1105 \pm 0,0095$	69,80	$-7,9777 \pm 1,1289$	$0,0277 \pm 0,0026$	66,97
Campo 6	$-7,0346 \pm 1,7545$	$0,1529 \pm 0,0097$	80,97	$-31,1125 \pm 6,4551$	$0,0667 \pm 0,0086$	51,03
Campo 7	$5,2967 \pm 2,5616$	$0,0916 \pm 0,011$	51,60	$-12,4169 \pm 7,9479$	$0,0472 \pm 0,0101$	27,41
Conjunta*	$-5,6092 \pm 0,8405$	$0,1396 \pm 0,0049$	82,00	$-16,9634 \pm 1,7727$	$0,0502 \pm 0,0026$	67,43

\*Regressão obtida por meio da análise conjunta dos dados três experimentos



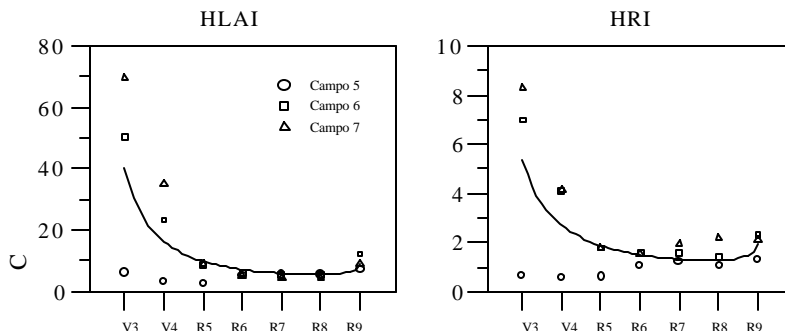
**FIGURA 3** – Produção *versus* duração da área foliar sadia (HAD, dias) e absorção da área foliar sadia (HAA, MJ m<sup>-2</sup>) para plantas de feijão infectados com antracnose, em três experimentos. Retas obtidas por meio da análise conjunta dos dados dos três experimentos. Pereiras, SP, 1997.

### HLAI e HRI

Foram determinadas as relações entre produção e valores individuais de HLAI e HRI nos principais estádios de crescimento do feijoeiro. Os coeficientes angulares das retas de regressão entre produção e HLAI, com passagem forçada através da origem, iniciaram com valores muito variáveis no estágio de crescimento V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> (6,30, 50,25 e 62,62 para os campos 5, 6 e 7 respectivamente) e tenderam a se estabilizar ao redor de 5,748 ± 0,31 (média ± erro padrão) entre os estádios de crescimento R<sub>5</sub> e R<sub>8</sub> (Figura 4). O mesmo resultado foi observado para HRI. Os coeficientes angulares variaram no estágio V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> (0,68, 6,99 e 8,30 para os campos 5, 6 e 7 respectivamente), estabilizando-se ao redor de 1,477 ± 0,07 entre os estádios R<sub>5</sub> e R<sub>8</sub> (Figura 4). Na Figura 4, nota-se que para o campo 5, nos estádios de crescimento V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub> e R<sub>5</sub>, os coeficientes angulares das regressões entre HRI apresentaram-se muito menores do que os obtidos para os campos 6 e 7. Pode-se cogitar que essa discrepância se deva à severa infecção do patógeno que se verificou nesses estágios de crescimento. Nessa ocasião, obtiveram-se plantas totalmente queimadas pelo patógeno, que só tiveram seus respectivos HLAI restaurados após brotações e quando essas foram protegidas pelo fungicida. Desse modo, sendo a situação bastante atípica, esses foram eliminados. Em seguida, ajustou-se uma função beta aos coeficientes angula-

res das retas de regressão entre HRI e HLAI com produção, com passagem forçada através da origem. As funções ajustadas foram respectivamente:  $S = (89,1219) * (GS^{(-1,48879)}) * (7,1-GS)^{(-0,2396)}$ , com R<sup>2</sup> = 92,98 % e  $S = (11,6462) * (GS^{(-1,1981)}) * (7,1-GS)^{(-0,2262)}$ , com R<sup>2</sup> = 94,13 %, em que S é o coeficiente angular da reta de regressão obtida entre produção e HLAI ou HRI, e GS são os estádios de crescimento do feijoeiro (V<sub>3</sub> = 1 V<sub>4</sub> = 2; R<sub>5</sub> = 3; R<sub>6</sub> = 4; R<sub>7</sub> = 5; R<sub>8</sub> = 6 e R<sub>9</sub> = 7).

Neste trabalho, foi encontrada a relação entre produção e AUDPC (Figura 1). Entretanto, a falta de relação entre produção e AUDPC é bastante comum para patossistemas do feijoeiro (Bergamin Filho *et al.*, 1997; Canteri *et al.*, 1998). Por outro lado, apesar de menos frequentes, relações entre AUDPC e produção também têm sido encontradas (Canteri *et al.*, 1998). A falta de relação entre AUDPC e produção é atribuída por Bergamin Filho *et al.* (1997) a: *i*) intensa desfolha promovida pelo patógeno; *ii*) falta de estimativa de desfolha *iii*) hábito de crescimento indeterminado do hospedeiro. Neste trabalho, procurou-se explorar a desfolha do hospedeiro. Observou-se que, mesmo sem se considerar a desfolha promovida no hospedeiro, já se encontravam relações entre produção e AUDPC. Entretanto, a incorporação da desfolha para cálculo da AUDPC melhorou tais relações (Tabela 2). Isso justifica sua inclusão em funções de dano.



**FIGURA 4** – Coeficientes angulares obtidos pela regressão linear, com passagem forçada pela origem, de produção ( $g\text{ planta}^{-1}$ ) com índice de área foliar sadia (HLAI), e radiação interceptada pela área foliar sadia por unidade de tempo (HRI,  $MJ\text{ m}^{-2}$ ), medidos nos estádios de crescimento de feijoeiros infectados com antracnose, em três experimentos. As linhas representam a função beta ajustada aos dados. Para maiores detalhes, veja texto. Estádios de crescimento:  $V_3$  = primeira folha trifoliolada;  $V_4$  = terceira folha trifoliolada;  $R_5$  = pré florescimento;  $R_6$  = Florescimento;  $R_7$  = formação das vagens;  $R_8$  = enchimento das vagens e  $R_9$  = maturidade fisiológica. Pereiras, SP, 1997.

A relação entre produção e AUDPC observada nos três experimentos foi razoavelmente descrita pelo modelo exponencial. Munford & Norton (1987) atribuíram a essa relação o nome de curva do “tipo I”. Johnson (1987) comenta que curvas desse tipo inferem que a eficiência do uso da radiação (RUE) pelos tecidos verdes, aparentemente sadios, é afetada pelo patógeno. Doenças desse grupo causam não apenas declínio no HLAI e HRI, mas também diminuem RUE. Bassanezi *et al.* (1997) verificaram que a eficiência no uso da radiação por plantas de feijão infectadas com *C. lindemuthianum* apresenta drástica redução. Folhas com 5 a 10 % de severidade apresentam 50 % de redução na fotossíntese líquida da folha. Esses resultados estão de acordo com o tipo de curva obtido neste trabalho.

A desfolha, quando considerada isoladamente, demonstrou relação com produção apenas para um dos experimentos, o que indica lógica incerta. Conforme Watson (1947), produção é função do índice de área foliar da cultura, e seria surpreendente encontrar uma sólida relação entre produção e desfolha.

A relação linear entre produção e HAD (Tabela 3 e Figura 3) é contrária à relação não-linear, obtida pelo modelo de Gompertz, originalmente proposta por Waggoner & Berger (1987) para o patossistema amendoim – *Cercosporidium personatum*. No caso do feijoeiro cultivar Carioca, a produção aumentou linearmente e não assintoticamente com o aumento da área foliar. Isso pode ser atribuído às características peculiares dessa cultivar, como a formação de vagens na base de cada folha e o hábito de crescimento indeterminado (Bergamin Filho *et al.*, 1997). Essa linearidade também foi encontrada por Bergamin Filho *et al.* (1997) e Canteri *et al.* (1998).

Seguindo o exemplo relatado por Rotem *et al.* (1983), diferentes sistemas de produção resultam em diferentes relações entre produção e HAD. Esse resultado está de acordo com os encontrados neste ensaio. Segundo os mesmos autores, para a relação produção com HAA, diferentes sistemas de produção não resultam em

diferentes relações com produção. Esse resultado não foi verificado neste trabalho, em que o ajuste de uma única equação para os três experimentos ocorreu, embora existissem diferenças entre as relações. Resultados similares foram encontrados por Bergamin Filho *et al.* (1997). Isso pode indicar falta de transportabilidade aos modelos e reforçam a idéia da parcela controle *sensu* Lopes *et al.* (1994).

A relação entre produção e HAA não é sempre linear como considerada por muitos autores (Monteith, 1977; Waggoner & Berger, 1987). Sabe-se que a forma dessa relação depende de vários fatores, especialmente HLAI, coeficiente de extinção da cultura e seu hábito de crescimento. Tomando-se como exemplo o campo 6, em que o HLAI, aos 82 dias após o plantio, foi de  $3,47 \pm 0,05$ , a relação foi mais exponencial do que linear ( $R^2$  75,8 e 51,04 %, respectivamente). Segundo Bergamin Filho *et al.* (1997), maiores HLAI são responsáveis pela relação exponencial. Neste trabalho, os maiores valores de HLAI,  $5,35 \pm 0,06$  foram encontrados para o campo 7, quando a relação linear superou a exponencial ( $R^2$  27,4 e 27 % respectivamente). Resultados semelhantes foram obtidos por Canteri *et al.* (1998).

Embora se tenha encontrado relação entre produção e AUDPC, os resultados dos três experimentos demonstram superioridade da metodologia baseada em HAD e HAA em relação à severidade de doença (AUDPC), não importando a consideração ou não de desfolha do hospedeiro (Tabela 2 e Tabela 3). Mesmo em patossistemas com forte relação entre severidade de doença e produção, a metodologia baseada em HAD e HAA tem fornecido melhores resultados, além de ser considerada por muitos autores como ideal, ou a única capaz de produzir interpretações reproduzíveis de danos às culturas, induzidos por um complexo de múltiplas doenças ou pragas. (Nutter Junior & Littrell, 1996).

Para tomada de decisão, variáveis integrais, como HAD ou HAA, não são apropriadas (Bergamin Filho *et al.*, 1997). Seria melhor desenvolver vários modelos em

píricos de ponto crítico, usando HLAI ou HRI, para se estimar a produção em várias épocas durante a estação de crescimento, do que integrar essas variáveis para se obter HAD ou HAA. Esses resultados, apresentados na Figura 4, são promissores. Os coeficientes angulares da relação entre produção e HRI tendem a estabilizar-se  $1,477 \pm 0,07 \text{ g MJ}^{-1}$ , independentemente da época de plantio ou estágio de crescimento de  $R_5$  a  $R_8$ . Essa estabilização contrasta com o nível de dano, originalmente baseado na população de pragas ou patógenos (Stern *et al.*, 1959). Desse modo, HRI parece incorporar características ideais para se tornar uma variável explanatória, imprescindível, para implementação de um sistema de manejo de doenças. Esse sistema pode ser usado para produzir recomendações mais precisas no campo. Para isso, Lopes *et al.* (1994) propuseram, para cada situação de produção, a adoção de uma parcela controle livre de doença. Baseando-se na relação produção e HRI e utilizando-se informações sobre a eficiência de medidas de controle e nos custos envolvidos, um novo e conceitual nível de dano pode ser determinado. Esse nível não é mais expresso em insetos por planta ou severidade de doença, mas em unidades de HRI ( $\text{MJ m}^{-2}$ ). Desse modo, medidas de controle somente seriam recomendadas quando a diferença entre HRI da parcela-controle e HRI da cultura for igual ou maior que o nível de dano (Lopes *et al.*, 1994).

Por causa da inexistência de dados do efeito de medidas de controle sobre HRI para a antracnose do feijoeiro, realizou-se um cálculo aproximado do grau de sensibilidade, com o qual HRI deve ser determinado para tomada de decisão. Utilizando-se do mesmo raciocínio de Bergamin Filho *et al.* (1997), a estabilização do coeficiente angular das regressões entre produção e HRI se dá ao redor de  $1,48 \text{ g MJ}^{-1}$ . Isso significa que cada unidade de HRI representa um incremento de produção de  $1,48 \text{ g planta}^{-1}$ , ou  $350 \text{ kg ha}^{-1}$ , considerando-se  $240000 \text{ planta ha}^{-1}$ . Assim, se for considerado o custo de controle de *C. lindemuthianum* como  $\text{US\$}40 \text{ ha}^{-1}$  (equivalente a aproximadamente  $96 \text{ kg}$  de feijão), pode-se estimar o limiar de dano econômico (LDE) em  $96/350 = 0,27$  ou, aproximadamente,  $1/4$  de uma unidade de HRI. Para o patossistema feijão/mancha-angular, o LDE foi estimado em  $1/3$  de HRI (Bergamin Filho *et al.*, 1997). Percebe-se que uma maior sensibilidade para determinação do LDE é necessária para a antracnose. Isso permite inferir que ela é mais danosa ao feijoeiro do que a mancha-angular. Tais resultados parecem coerentes, uma vez que a queima foliar ocasionada pela antracnose é mais severa do que a desfolha promovida pela mancha-angular.

Essa estimativa aproximada do limiar de dano econômico (LDE), igual a  $1/4$  de HRI, significa que a diferença entre a parcela-controle e a situação de produção não poderia atingir  $1/4$  de uma unidade de HRI.

Para satisfazer os requerimentos para tomada de decisão baseada nessa metodologia, novos desafios são lançados. Esses incluem a determinação da proporção de área foliar afetada pela doença, o que pode ser facilitada por escalas diagramáticas, e a área foliar, para estimativa de LAI. Para acompanhamento da área foliar, escalas diagramáticas para tamanhos de folhas ou de plantas inteiras são ferramentas úteis; entretanto, não apresentam a acurácia necessária para permitir uma tomada de decisão (Bergamin Filho *et al.*, 1997). A determinação da maior largura do folíolo central das folhas de cada planta marcada tem a requerida acurácia e apresenta a vantagem de ser barata e não destrutiva. Entretanto, essa metodologia envolve uma tremenda quantidade de trabalho de campo, o que torna sua implementação em larga escala inviável. Recentemente, vários aparelhos eletrônicos, dentre eles, o radiômetro de múltiplo espectro, têm sido testados para estimativa de área foliar e de LAI, com resultados promissores (Canteri *et al.*, 1998).

## CONCLUSÕES

No patossistema Feijoeiro x *Colletotrichum lindemuthianum*:

- a) A incorporação da desfolha à severidade de doença justifica-se para obtenção de melhores funções de dano;
- b) As funções de dano baseadas em HAD e HAA apresentam superioridade em relação às baseadas em severidade de doença;
- c) Modelos de ponto crítico que relacionem HRI com produção podem ser utilizados para o estabelecimento de um sistema de manejo da antracnose do feijoeiro baseado num LDE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASSANEZI, R.B. **Interações entre o mosaico-em-desenho do feijoeiro e duas doenças fúngicas, ferrugem e mancha angular, em plantas de feijoeiro.** 1995. 101 f. Dissertação - (Mestrado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.



- BASSANEZI, R.B.; MARTINS, M.C.; GODOY, C.V.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Efeito da antracnose na eficiência fotossintética do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.22, n.4, p.520-524, 1997.
- BENHAMON, N.; LAFITTE, L.; BARTHE, J.P.; ESQUERRÉ-TUGAYÉ, M.T. Cell surface interactions between bean leaf cells and *Colletotrichum lindemuthianum*. **Plant Physiology**, Lancaster, v.97, n.1, p.234-244, 1991.
- 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**, St. Paul, v.87, n.5, p.506-515, 1997.
- CANTERI, M.G.; DALLA PRIA, M.; SCHIEBELBEIN, L.M.; SILVA, O.C.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Relações entre área foliar sadia, produtividade, refletância e severidade da mancha angular do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.498-501, 1998.
- GODOY, C.V.; CARNEIRO, S.M.T.P.G.; IAMAUTI, M.T.; DALLA PRIA, M.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; BERGER, R.D. Diagramatic scales for foliar diseases of beans: development and validation. **Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz**, Stuttgart, v.104, n.4, p.336-345, 1997.
- JOHNSON, K.B. Defoliation, disease and growth: A reply. **Phytopathology**, St. Paul, v.77, n.11, p.1495-1497, 1987.
- 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 doenças. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v.20, n.3/4, p.143-151, 1994.
- MICHAELS, T.E. The bean plant. In: HALL, R. (Ed.). **Compendium of bean disease**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1994. p.1-5.
- MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v.281, n.3, p.277-294, 1977.
- MUNFORD, J.D.; NORTON, G.A. Economics of integrated pest control. In: TENG, P.S. (Ed.). **Crop loss assessment in pest management**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1987. p.191-200.
- NUNES, W.M.C.; BERGAMIN FILHO, A. Avaliação de danos causados pela antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.21, n.4, p.436-442, 1996.
- NUTTER JUNIOR, F.W.; LITRELL, R.H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in peanut late leaf spot pathosystem. **Crop Protection**, Great Britain, v.15, n.2, p.135-142, 1996.
- RAVA, C.A.; SATORATO, A.; BOTELHO, S.A. Eficiência *in vitro* e *in vivo* de fungicidas no controle de *Colletotrichum lindemuthianum*. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.45-48, 1998.
- ROTEM, J.; BASHI, E.; KRANZ, J. Studies of crop loss in potato blight caused by *Phytophthora infestans*. **Plant Pathology**, Oxford, v.32, n.2, p.117-122, 1983.
- STERN, V.M.; SMITH, R.F.; BOSCH, R. van den; HAGEN, K.S. The integrated control concept. **Hilgardia**, Berkeley, v.28, n.2, p.81-101, 1959.
- WAGGONER, P.E.; BERGER, R.D. Defoliation, disease and growth. **Phytopathology**, St. Paul, v.77, n.3, p.393-398, 1987.
- WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v.11, n.41, p.41-76, 1947.