

MODELOS EMPÍRICOS DE PREDIÇÃO DE PERDAS DE RENDIMENTO DA CULTURA DE FEIJÃO EM CONVIVÊNCIA COM *Brachiaria plantaginea*¹

Empirical Models for Predicting Yield Loss of Phaseolus vulgaris Due to Coexistence with Brachiaria plantaginea

PASSINI, T.², CHRISTOFFOLETI, P.J.³ e DOURADO NETO, D.⁴

RESUMO - Três modelos empíricos foram comparados quanto à eficiência em prever as perdas de rendimento (PRR) da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*) devido à convivência desta com o capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*). A população de capim-marmelada foi descrita em termos de densidade (N_{pd}), índice de área foliar relativa (F_{pd}) e cobertura relativa do solo (S_{pd}). Os coeficientes dos modelos foram estimados a partir de dados obtidos com um experimento conduzido em área experimental da USP/ESALQ, de outubro de 1999 a janeiro de 2000, em Piracicaba-SP. O experimento foi delineado em blocos ao acaso, e os tratamentos em parcelas subdivididas, com três repetições. O tratamento de parcelas foi a época de semeadura da planta daninha (oito dias antes, no dia, cinco e dez dias depois da semeadura da cultura), e o de subparcelas, a densidade da planta daninha (0, 25, 50, 100 e 200 plantas m⁻²). As perdas do rendimento de grãos de feijão em relação ao tratamento com densidade zero de *B. plantaginea* foram comparadas às previstas pelo ajuste dos dados aos modelos. Enquanto o modelo que tem N_{pd} como variável não ajustou os dados devido às épocas de semeadura [PRR=0,0114. $N_{pd}/(1+0,0114.N_{pd})$, $r^2=0,03$], aqueles que têm F_{pd} ou S_{pd} como variáveis os ajustaram [PRR=6,27. $F_{pd}/(1+5,27.F_{pd})$, $r^2=0,82$; PRR=7,77. $S_{pd}/(1+6,77.S_{pd})$, $r^2=0,89$]. A cobertura relativa do solo pela planta daninha, avaliada visualmente, é uma variável potencial para substituir o índice relativo de área foliar da planta daninha.

Palavras-chave: planta daninha, capim-marmelada, *Phaseolus vulgaris*, índice de área foliar relativa, cobertura relativa do solo.

ABSTRACT - Three empirical models were compared to evaluate the efficiency in predicting bean crop (*Phaseolus vulgaris*) yield loss (PRR) due to its coexistence with the weed (*Brachiaria plantaginea*). The population of the latter was described through density (N_{pd}), relative leaf area index (F_{pd}) and relative ground cover (S_{pd}). The model coefficients were estimated using data obtained from a field experiment carried out from October 1999 to January 2000 at the University of Sao Paulo (USP), Piracicaba, Sao Paulo, Brazil. The experiment was arranged in a randomized block design using split plots, with weed sowing dates (eight days before, on the same day, five and 10 days after crop sowing) as the main plots and weed densities (0, 25, 50, 100 and 200 plants m⁻²) as subplots. The crop yield losses in the treatment with zero density of *B. plantaginea* were compared to those predicted by fitting the data to the models. Although the model variable N_{pd} could not predict crop yield loss due the relative time of weed sowing [PRR=0,0114. $N_{pd}/(1+0,0114.N_{pd})$, $r^2=0,03$], those models with variables F_{pd} or S_{pd} could [PRR=6,27. $F_{pd}/(1+5,27.F_{pd})$, $r^2=0,82$; PRR=7,77. $S_{pd}/(1+6,77.S_{pd})$, $r^2=0,89$]. The visually estimated weed relative ground cover is a potential variable to substitute the weed relative leaf area index.

Key words: weed-crop interactions, competition, weed density, relative leaf area index, relative ground cover.

¹ Recebido para publicação em 23/10/2001 e na forma revisada em 7/8/2002.

² Pesquisadora, Instituto Agronômico do Paraná, Londrina-PR, Doutoranda em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP, Bolsista do CNPq, 13418-900 Piracicaba-SP; ³ Professor Associado do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP; ⁴ Professor Doutor do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP.



INTRODUÇÃO

Melhorar a eficácia dos herbicidas no controle das plantas daninhas é uma das principais preocupações na agricultura atual, visando não só diminuir a quantidade utilizada de herbicidas para reduzir os custos de produção, mas também minimizar o impacto ambiental e a pressão de seleção para biótipos resistentes de plantas daninhas. É de conhecimento geral que, com a implantação de um sistema de manejo integrado de plantas daninhas, todos esses objetivos podem ser alcançados. Entretanto, pode-se obter maior eficiência do sistema se a ele for adicionado o uso de um programa de computador a fim de auxiliar a tomada de decisão para executar ou selecionar uma medida de controle de plantas daninhas. Esse programa deve apresentar em sua constituição um modelo para prever o resultado da interação competitiva entre a cultura e as plantas daninhas.

Vários modelos empíricos que relacionam as perdas de rendimento da cultura à presença das plantas daninhas são mencionados na literatura. Neles, a população dessas espécies é descrita pela densidade (Cousens, 1985; Spitters et al., 1989; Jasieniuk et al., 2001), pelo índice relativo de área foliar (Kropff & Spitters, 1991), pela cobertura relativa do solo (Lotz et al., 1992), pelo volume (Busler et al., 1995), pela biomassa e biomassa relativa (Florez et al., 1999). Apenas modelos que utilizam a densidade como variável foram incorporados a programas de computador para suporte à tomada de decisão, como HERB (Wilkerson et al., 1991) e WEEDCAM (Vangessel et al., 1995). Um modelo de predição de perdas de rendimento, para que possa ser associado a outros, para compor um programa de auxílio na tomada de decisão precisa ser avaliado em diversas condições edafoclimáticas. Recentemente, o modelo que tem sido estudado com dados de campo é o que utiliza o índice relativo de área foliar da planta daninha (Dieleman et al., 1995; e Knežević et al., 1995).

A habilidade em prever perdas de rendimento devido à presença de plantas daninhas possibilitaria, aos produtores, comparar o custo de controle com o valor da produção, caso as plantas daninhas não fossem controladas (Parker & Murdoch, 1996). Segundo esses

autores, seria necessário que as predições de perda de rendimento fossem avaliadas com precisão a partir de observações simples da comunidade de plantas daninhas, no início do crescimento da cultura, a fim de permitir uma aplicação efetiva de herbicidas, caso necessário, ou, aplicando a visão dos autores, permitir uma aplicação efetiva de uma medida de controle.

Embora diversos modelos empíricos tenham sido descritos na literatura, há necessidade de validá-los. Além disso, é preciso selecionar variáveis que possam ser avaliadas de modo prático, sem reduzir a confiabilidade da predição.

Em razão da importância da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*) na agricultura brasileira e do potencial de ocorrência de capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*) e das perdas consideráveis que essa planta daninha pode provocar no rendimento da cultura, o resultado das interações competitivas entre essas espécies foi escolhido como motivo da realização desta pesquisa. Assim, comparou-se a eficiência de modelos empíricos para prever perdas de rendimento das culturas quando em convivência com uma espécie de planta daninha, descrevendo a população desta em termos de densidade, índice relativo de área foliar e cobertura relativa do solo. Foi avaliado se essas variáveis explicam as perdas de rendimento devido às épocas de emergência da planta daninha em relação à emergência das plantas da cultura e se a cobertura relativa do solo pela planta daninha, avaliada visualmente, apresenta potencial como variável de substituição do índice de área foliar relativa da planta daninha.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), em área experimental do Departamento de Produção Vegetal, em Piracicaba-SP, com latitude 22° 42' 30" sul, longitude 47° 38' 00" oeste, altitude de 560 m e clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo CW_a (mesotérmico, úmido, subtropical com inverno seco); a temperatura média do mês mais quente está acima de 24 °C e a do mês mais frio, abaixo de 17 °C, com

precipitação pluvial média de 1.200 mm ao ano (ESALQ, 2000).

Determinou-se a perda de rendimento de grãos de feijão devido à convivência com o capim-marmelada, em várias densidades, simulando-se épocas relativas entre a emergência da planta daninha e a da cultura por meio de diferentes épocas de semeadura da planta daninha, em relação à data de semeadura da cultura. Os valores de perda de rendimento observados foram comparados a valores de perda preditos com o uso de modelos empíricos.

O experimento foi delineado em blocos ao acaso e os tratamentos, em parcelas subdivididas, com três repetições. O tratamento de parcelas foi a época de semeadura da planta daninha e o de subparcelas, a densidade desta. As épocas de semeadura foram: oito dias antes da semeadura da cultura (DAS), no dia da semeadura da cultura e cinco e dez dias depois da semeadura da cultura (DDS). As densidades da planta daninha foram de 0, 25, 50, 100 e 200 plantas m^{-2} . As subparcelas mediam 1,20 m de largura x 1,50 m de comprimento, com três linhas de feijão no espaçamento de 0,40 m. A área útil foi de 1,00 x 0,40 m.

Utilizou-se semente de feijão da variedade Carioca, peneira 11/14, tratada com carboxin + thiran, com germinação de 80% e pureza de 98%. A semeadura foi feita manualmente, em 3/11/99, sem adubação, e na densidade de 20 sementes por metro linear. Quatorze dias após a semeadura (oito dias após a emergência) o desbaste foi realizado, deixando-se dez plantas por metro linear (25 plantas m^{-2}). A cultura encontrava-se no estádio V2 (CIAT, 1983).

A semente de capim-marmelada, adquirida comercialmente, era de lote que apresentava início de germinação no sexto dia após a semeadura. A semeadura foi feita a lanço, misturando-se as sementes com uma porção de solo retirada de cada subparcela. No período compreendido entre 13 e 20 DAS do feijão, fez-se o desbaste das plantas de capim-marmelada, estabelecendo-se as densidades desejadas em cada tratamento e deixando a distribuição das plantas na área o mais uniforme possível. Durante a condução do experimento, as demais espécies de plantas daninhas que emergiram na área foram eliminadas manualmente.

A ocorrência de chuvas impossibilitou o controle eficiente de doenças, razão pela qual a colheita do feijão (13/1 a 16/1/2000) foi feita no estádio de formação e enchimento dos grãos (R8) (CIAT, 1983).

A área foliar por planta de cada espécie e a porcentagem de solo coberto pelas plantas de feijão e de capim-marmelada foram avaliadas, respectivamente, aos 21 e 23 DAS do feijão (15 e 17 dias após a emergência da cultura). Nessa época, as plantas de feijão estavam no estádio V3 (CIAT, 1983) e as de capim-marmelada, no estádio 12 ao 22 (Zadoks et al., 1974).

A área foliar por planta foi determinada a partir de duas plantas de cada espécie, colhidas na bordadura lateral das subparcelas, utilizando, das plantas de feijão, os folíolos sem os pecíolos e, da planta daninha, a lâmina das folhas sem a bainha. Para medir a área foliar foi utilizado um medidor de área foliar automático LICOR LI-300.

Em cada tratamento, os valores de área foliar por planta (AF) foram usados para calcular os valores de índice de área folia (IAF) de cada espécie:

$$IAF_c = N_c \times AF_c \quad (1)$$

$$IAF_{pd} = N_{pd} \times AF_{pd} \quad (2)$$

em que N é a densidade de plantas expressa em número de plantas por metro quadrado e os subscritos c e pd referem-se à, respectivamente, cultura e planta daninha.

Os índices de área foliar foram utilizados no cálculo da área foliar relativa da planta daninha (F_{pd}). O índice relativo de área foliar da planta daninha (F_{pd}) é uma relação entre o índice de área foliar da planta daninha (IAF_{pd}) e o índice de área foliar total proporcionado pela planta daninha e cultura:

$$F_{pd} = \frac{IAF_{pd}}{IAF_{pd} + IAF_c} \quad (3)$$

A porcentagem de solo coberto pela parte aérea das plantas foi estimada visualmente. Para cada tratamento de subparcela, estimou-se a porcentagem do total da área coberta pelas plantas da cultura (C_c) e pelas plantas da planta daninha (C_{pd}). Esses valores foram utilizados



para calcular a cobertura relativa do solo pela planta daninha (S_{pd}), conforme Lotz et al. (1994):

$$S_{pd} = \frac{C_{pd}}{C_c + C_{pd}} \quad (4)$$

A partir do rendimento de feijão, em grãos (kg ha^{-1}), calculou-se a perda de rendimento relativo observada em cada tratamento ($PRRi$):

$$PRRi = \frac{\bar{R}_0 - \bar{R}_i}{\bar{R}_0} \quad (5)$$

\bar{R}_0 é a média de 12 valores de rendimento do tratamento mantido na ausência da planta daninha (quatro épocas de semeadura e três repetições) e \bar{R}_i é a média de rendimento de cada tratamento:

$$\bar{R}_i = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{NR} \quad (6)$$

em que i a n são os números dos tratamentos e NR , o número de repetições.

A perda estimada de rendimento relativo ($\hat{P}\hat{R}\hat{R}$) foi calculada com o uso de três modelos empíricos. Os valores de densidade da planta daninha (N_{pd}) estabelecidos em cada tratamento foram utilizados no modelo sugerido por Spitters et al. (1989), cujo desenvolvimento matemático é mais bem compreendido pela descrição apresentada por Kropff & Lotz (1993):

$$\hat{P}\hat{R}\hat{R}i = \frac{a \times N_{pdi}}{1 + a \times N_{pdi}} \quad (7)$$

em que a descreve a perda de rendimento causada pela adição de uma planta daninha por m^2 . Uma vez que o índice de área foliar relativo da planta daninha reflete as diferenças de densidade da planta daninha e da época de sua emergência em relação à das plantas da cultura (Kropff & Spitters, 1991), a perda de rendimento também foi predita com o uso do modelo proposto por esses autores:

$$\hat{P}\hat{R}\hat{R}i = \frac{q \times F_{pdi}}{1 + (q - 1) \times F_{pdi}} \quad (8)$$

sendo q o coeficiente de dano relativo que considera o efeito de ambos, densidade e época relativa de emergência da planta daninha (Kropff & Lotz, 1992). O uso da variável F_{pd} envolve amostragens destrutivas e determinação trabalhosa da área foliar das plantas das espécies envolvidas. Lotz et al. (1992) demonstraram ser possível substituir F_{pd} pela porcentagem de cobertura relativa do solo pela planta daninha (S_{pd}):

$$\hat{P}\hat{R}\hat{R}i = \frac{q \times S_{pdi}}{1 + (q - 1) \times S_{pdi}} \quad (9)$$

sendo este o terceiro modelo utilizado para prever as perdas de rendimento.

Os coeficientes a [eq. (7)] e q [eq. (8) e eq. (9)] foram estimados a partir do ajuste dos dados a cada modelo, conforme método proposto por Durval Dourado Neto e descrito por Passini (2001).

O ajuste dos dados, obtido com os três modelos, foi comparado pelo quadrado médio do resíduo (QMR) e pelo coeficiente de determinação (r^2). Quanto menor o QMR e maior o r^2 , melhor o ajuste dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

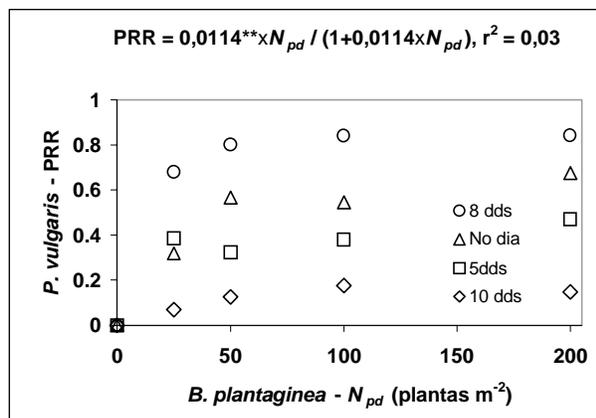
Enquanto o modelo que tem N_{pd} [eq.(7)] como variável não ajustou os dados, aqueles que têm F_{pd} [eq.(8)] ou S_{pd} [eq.(9)] os ajustaram (Tabela 1).

Com o modelo de densidade não foi possível prever as perdas de rendimento devido às épocas relativas de semeadura (emergência) da planta daninha (Figura 1).

Tabela 1 - Quadrados médios dos resíduos (QMR) das regressões e coeficientes de determinação (r^2) de cada modelo

Variável do modelo	QMR	r^2
N_{pd} [eq. (7)]	0,0736 <i>ns</i>	0,03
F_{pd} [eq. (8)]	0,0140 **	0,82
S_{pd} [eq. (9)]	0,0083 **	0,89

ns - não-significativo pelo teste F; ** - significativo pelo teste F ($P > 0,01$); N é a densidade; F , a área foliar relativa; S , a cobertura relativa do solo; e o subscrito pd , planta daninha.



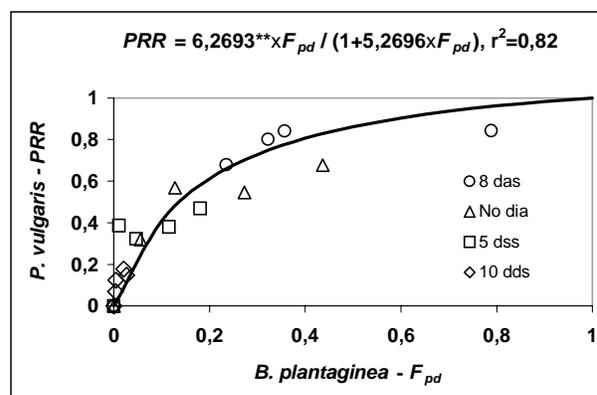
** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Figura 1 - Perda relativa de rendimento da cultura de feijão (*P. vulgaris*) devido à densidade do capim-marmelada (*B. plantaginea*) e à época de sementeira deste em relação à da cultura. Os símbolos (valores observados) representam a média de três repetições.

O índice relativo de área foliar da planta daninha (F_{pd}), avaliado aos 21 DAS da cultura (15 dias após a emergência da cultura), explicou as perdas de rendimento do feijão decorrentes do efeito combinado da densidade e época relativa de sementeira (emergência) do capim-marmelada (Figura 2). Os valores de perda observados, das quatro épocas de sementeira (emergência), ficaram distribuídos ao longo da curva de valores estimados pela regressão. Essa forma de distribuição também foi observada quando se avaliou o F_{pd} de plantas de *Ambrosia artemisiifolia* que emergiram em duas épocas na cultura de feijão (Chikoye & Swanton, 1995) e quando se avaliou o F_{pd} de plantas de *Amaranthus* spp. que emergiram em duas épocas na cultura de soja (Dieleman et al., 1995) e na cultura de milho (Knežević et al., 1995). Kropff & Spitters (1991) derivaram o modelo de índice de área foliar relativa [eq. (8)] a partir do modelo de densidade [eq. (7)] e demonstraram que o modelo da eq. (8) predizia perdas devido à densidade e à época relativa de emergência da planta daninha, o que foi comprovado nos trabalhos de Dieleman et al. (1995) e Knežević et al. (1995).

A cobertura relativa do solo pela planta daninha (S_{pd}) foi sugerida por vários autores como uma variável alternativa ao índice de área foliar relativa (Kropff & Spitters, 1991; Lotz et al.,

1992, 1994; Florez et al., 1999; Ngouajio et al., 1999). O ajuste dos dados obtido com modelo que utiliza S_{pd} como variável [eq. (9), Figura 3] foi semelhante ao obtido com o modelo que utiliza F_{pd} como variável [eq. (8), Figura 2]. Lotz et al. (1992) observaram que o modelo que utiliza S_{pd} como variável ajustou os dados de perdas de rendimento da cultura de beterraba em competição com *Chenopodium album* e explicou o efeito de plântulas dessa espécie que emergiram um, cinco e 12 dias após a emergência da cultura ($r^2=0,89$). Florez et al. (1999) observaram que, quando as plantas daninhas emergiram 15 dias após a emergência da cultura de arroz, o ajuste dos dados obtido com o modelo que utiliza S_{pd} como variável (QMR = 72 e $r^2 = 0,90$) foi semelhante ao obtido com o modelo que utiliza F_{pd} como variável (QMR = 90 e $r^2 = 0,86$). A avaliação visual de S_{pd} realizada por quatro indivíduos, separadamente, foi comparada a uma avaliação realizada com fotografias (Lutman et al., 1996). Os valores de perda de rendimento da cultura (*Vicia faba*) estimados com os valores das avaliações visuais de S_{pd} foram semelhantes entre os quatro avaliadores (r^2 variou entre 0,78 e 0,83) e semelhante aos obtidos com a avaliação por meio de fotos ($r^2 = 0,87$). Nesse trabalho, houve relação linear entre os dois tipos de avaliação e o coeficiente angular da reta foi próximo da

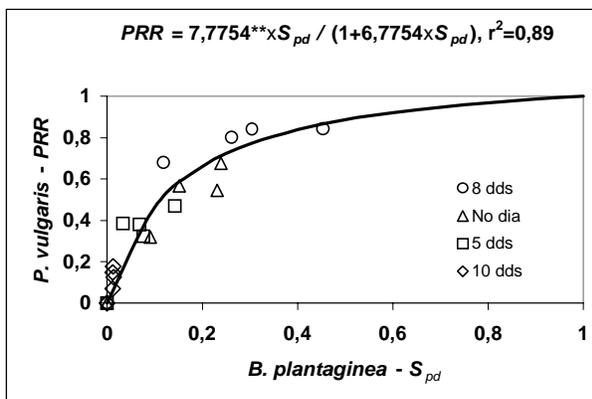


** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Figura 2 - Perda relativa de rendimento da cultura de feijão (*P. vulgaris*) em função do índice de área foliar relativa do capim-marmelada (*B. plantaginea*) e à época de sementeira deste em relação à da cultura. Os símbolos (valores observados) representam a média de três repetições e a curva (valores preditos), o ajuste dos dados.



unidade. Os autores concluíram que os valores de S_{pd} estimados visualmente e os encontrados com o método fotográfico foram praticamente os mesmos. Lotz et al. (1994) observaram relação linear entre F_{pd} e S_{pd} avaliada visualmente com o auxílio de uma grade. Essa relação foi observada até três a quatro semanas após a emergência da cultura de trigo, para três espécies de plantas daninhas que apresentam formas distintas de crescimento: *Chenopodium album*, crescimento ereto; *Stellaria media*, crescimento prostrado; e *Polygonum persicaria*, crescimento do tipo intermediário.



** significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Figura 3 - Perda relativa de rendimento da cultura de feijão (*P. vulgaris*) em função da cobertura relativa do solo pelo capim-marmelada (*B. plantaginea*) e à época de semeadura deste em relação à da cultura. Os símbolos (valores observados) representam a média de três repetições e a curva (valores preditos), o ajuste dos dados.

Considerando os três modelos, Florez et al. (1999) constataram resultados semelhantes para a cultura do arroz em competição com um conjunto de espécies de plantas daninhas. O efeito das épocas de emergência das plantas daninhas não foi explicado com o modelo que tem a densidade como variável e sim com aqueles que têm como variável o índice de área foliar relativa da planta daninha ou a cobertura relativa do solo pela planta daninha. Deve-se mencionar que os autores utilizaram um parâmetro adicional que expressa a perda relativa máxima de rendimento e que S_{pd} não foi calculada pela razão entre as estimativas visuais de cobertura

do solo pela planta daninha e de cobertura total de plantas, mas estimada visualmente de uma só vez.

Analisando os resultados obtidos e comparando-os ao encontrado na literatura, pode-se afirmar que a variável S_{pd} avaliada visualmente, apresenta potencial para substituir F_{pd} . A vantagem da utilização de uma variável cuja avaliação possa ser realizada de forma rápida no campo e sem sofisticação é a possibilidade de predição de perdas de rendimento da cultura por maior número de usuários.

Concluindo, o modelo que tem como variável a densidade da planta daninha não prediz as perdas de rendimento da cultura devido à época de emergência da planta daninha, simulada pelas épocas de semeadura desta, mas os modelos que tem como variável o índice relativo da área foliar da planta daninha ou a cobertura relativa do solo pela planta daninha predizem essas perdas; a cobertura relativa do solo pela planta daninha, avaliada visualmente, é uma variável potencial para substituir o índice relativo de área foliar da planta daninha.

LITERATURA CITADA

- BUSLLER, B. H.; MAXWELL, B.; PUETTMANN, K. J. Using plant volume to quantify interference in corn (*Zea mays*) neighbourhoods. **Weed Sci.**, v. 43, p. 586-594, 1995.
- CHIKOYE, D.; SWANTON, C. J. Evaluation of three empirical models depicting *Ambrosia artemisiifolia* competition in white bean. **Weed Res.**, v. 35, p. 421-428, 1995.
- CIAT. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común**; guia de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, Colombia: CIAT, 1983. 26. (Serie O4SB-09. 03)
- COUSENS, R. A simple model relating yield loss to weed density. **Ann. Appl. Biol.**, v. 107, n. 2, p. 239-252, 1985.
- DIELEMAN, A. et al. Empirical models of pigweed (*Amaranthus* spp.) interference in soybean (*Glycine max*). **Weed Sci.**, v. 43, n. 4, p. 612-618, 1995.
- ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ" - ESALQ. Base de dados do posto agrometeorológico do Departamento de Ciências Exatas - ESALQ/USP. Disponível em jan/2000: <http://ce.esalq.usp.br/dce/postocon.htm>

- FLOREZ, J. A. et al. Predicting rice yield losses caused by multispecies weed competition. **Agron. J.**, v. 91, p. 87-92, 1999.
- JASIENIUK, M. et al. Evaluation of models predicting winter wheat yield as a function of winter wheat and jointed goatgrass densities. **Weed Sci.**, v. 49, p. 48-60, 2001.
- KNEŽEVIĆ, S. Ž.; WEISE, S. F.; SWANTON, C. J. Comparison of empirical models depicting density of *Amaranthus retroflexus* L. and relative leaf area as predictors of yield loss in maize (*Zea mays* L.). **Weed Res.**, v. 35, p. 207-214, 1995.
- KROPFF, M. J.; LOTZ, L. A. P. Systems approaches to quantify crop-weed interactions and their application in weed management. **Agric. Syst.**, v. 40, n. 1/3, p. 265-282, 1992.
- KROPFF, M. J.; LOTZ, L. A. P. Empirical models for crop-weed competition. In: KROPFF, M. J.; Van LAAR, H. H. (Eds.) **Modelling crop-weed interactions**. Wallingford: CAB International, 1993. p. 9-24.
- KROPFF, M. J.; SPITTERS, C. J. T. A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. **Weed Res.**, v. 31, p. 97-105, 1991.
- LOTZ, L. A. P. et al. Prediction of yield loss based on relative leaf cover of weeds. In: INTERNATIONAL WEED CONTROL CONGRESS, 1., Melbourne, 1992. **Proceedings...** Melbourne: WSSA of Victoria, 1992. v. 2, p. 290-292.
- LOTZ, L. A. P. et al. Techniques to estimate relative leaf area and cover of weeds in crops for yield loss prediction. **Weed Res.**, v. 34, n. 3, p. 167-175, 1994.
- LUTMAN, P. J. W.; RISIOTT, R.; OSTERMANN, P. Investigation into alternative methods to predict the competitive effects of weeds on crop yields. **Weed Sci.**, v. 44, p. 290-297, 1996.
- NGOUAJIO, M.; LEMIEUX, C.; LEROUX, G. D. Prediction of *corn* (*Zea mays*) yield loss from early observations of the relative leaf area and the relative leaf cover of weeds. **Weed Sci.**, v. 47, p. 297-304, 1999.
- PARKER, L.; MURDOCH, A. J. Mathematical modelling of multispecies weed competition in spring wheat. In: INTERNATIONAL WEED CONTROL CONGRESS, 2., 1996. Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen: 1996. p. 153-158.
- PASSINI, T. **Competitividade e predição de perdas de rendimento da cultura de feijão quando em convivência com *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2001. 130 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de “Agricultura Luiz de Queiroz”, 2001.
- SPITTERS, C. J. T.; KROPFF, M. J.; GROOT, W. Competition between maize and *Echinochloa crus-galli* analysed by a hyperbolic regression model. **Ann. Appl. Biol.**, v. 115, p. 541-551, 1989.
- VANGESSEL, M. J. et al. Influence of weed density and distribution on corn (*Zea mays*) yield. **Weed Sci.**, v. 43, p. 215-218, 1995.
- WILKERSON, G. G.; MODENA, S. A.; COBLE, H. D. HERB: decision model for postemergence weed control in soybean. **Agron. J.**, v. 83, p. 413-417, 1991.
- ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Res.**, v. 14, p. 415-421, 1974.

