

## Heterogeneidade da relação entre produtividade da soja e severidade da ferrugem asiática: uma análise exploratória

Aline de Holanda N. Maia<sup>1</sup>, Emerson M. Del Ponte<sup>2</sup> e Claudia V. Godoy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

<sup>2</sup> Departamento de Fitossanidade da UFRGS, Porto Alegre, RS

<sup>3</sup> Embrapa Soja, Londrina, PR

**Abstract:** This work aimed to conduct an exploratory, prior to meta-analysis, assessment of the heterogeneity of the linear relationship between soybean yield (Y) and the severity (X) of a foliar fungal disease (soybean rust) from 144 fungicide trials conducted in five years and 45 locations in Brazil. We used graphical analysis to explore the within- and between-trial variability of model parameter estimates (effect sizes) and summary measures for model goodness-of-fit and influence analysis. In the estimation of the weighted mean regression coefficients, following the meta-analysis concept, we propose a method that takes into account the magnitude of influence measures as well as the uncertainties of parameters estimates, usually the inverse of the standard error of for the parameter estimate. High between-trial heterogeneity was observed for parameter estimates, standard errors (within trial variability), determination coefficient and influence measures. Graphical analysis suggested influence of timing of disease onset and control yield class on model slope, which will be quantified further using a meta-analytical approach.

**Keywords:** Linear model, influence analysis, between-trials heterogeneity

### 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência da ferrugem asiática, importante doença da cultura da soja no Brasil, pode levar a reduções significativas na produtividade em função da perda de área foliar sadia e queda precoce das folhas com o aumento da severidade da doença ao longo do tempo (área proporcional de lesões). Ensaios padronizados em rede (EPR) têm sido conduzidos no Brasil por vários anos e em diferentes locais com o objetivo de avaliar a eficiência de fungicidas no controle da doença. Nos EPR, as métricas de severidade da doença (X) e a produtividade da soja (Y) são obtidas de maneira uniforme em um número variável de tratamentos por ensaio. A meta-análise, técnica que combina resultados de vários estudos individuais, pode ser utilizada para resumir as estimativas das métricas de interesse, no caso os parâmetros da regressão (ROSENBERG et al, 2004). No contexto da meta-análise, um peso diferente é atribuído a cada ensaio, geralmente o inverso da variância, ou seja, quanto maior a incerteza da métrica menor a contribuição do ensaio para estimativa final. Este trabalho é uma extensão de MAIA et al (2009), porém utilizando um maior número de ensaios, propondo novos critérios para exclusão e atribuição de peso aos ensaios. São apresentados métodos gráficos para visualização da heterogeneidade entre os ensaios quanto aos seguintes aspectos; i) estimativas dos parâmetros do modelo linear e respectivos erros-padrão, ii) medidas de qualidade de ajuste ao modelo e de influência e iii) influência de variáveis moderadoras sobre a heterogeneidade dos parâmetros.

## 2. METODOLOGIA

Foram utilizados dados de ensaios padronizados em rede (EPR) para avaliação da eficiência de fungicidas no controle da ferrugem da soja em 44 municípios de diversas regiões produtoras ao longo de cinco safras (GODOY 2005a; GODOY 2005b). Em todos os ensaios, foi utilizado o delineamento casualizado em blocos (DCB), com o número de repetições variando de 4 a 6. O número de tratamentos avaliados variou de 8 a 18. Ensaios onde a amplitude de variação da severidade média dos tratamentos foi inferior a 20% foram previamente excluídos, de um conjunto inicial de 176 ensaios.

Foram ajustados modelos de regressão linear para descrever a relação entre a severidade da ferrugem ( $X$ , variando de 0 a 100%) e a produtividade da soja ( $Y$ , kg/ha), considerando o delineamento utilizado (DCB). Para cada ensaio, foram estimados os parâmetros  $\beta_0$  (intercepto), que corresponde à produção potencial da soja na ausência da ferrugem e  $\beta_1$ , taxa de variação da produtividade da soja para cada incremento unitário na severidade. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi utilizado como medida de qualidade de ajuste.

A análise de influência foi mensurada via DFBetas, métricas que quantificam a influência de um determinado par de valores ( $x$ ,  $y$ ) sobre as estimativas ( $b_0$  ou  $b_1$ ) dos parâmetros do modelo (BELSLEY, 1980). Ao invés de eliminar ensaios com base na análise de influência, é sugerido nesse trabalho o uso dos DFBetas na composição de pesos a serem utilizados em posterior meta-análise de todos os ensaios selecionados, em conjunto com os erro-padrão da métrica considerada ( $b_0$  ou  $b_1$ ). A influência das variáveis moderadoras (momento de detecção da doença, antes ou a partir o estágio de desenvolvimento da soja  $R_2$  ( $<R_2$  ou  $\geq R_2$ ) e classe de produtividade do controle ( $< 2000$  ou  $>2000$  kg/ha)) sobre os parâmetros  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , do modelo linear, foi investigada via análise gráfica exploratória.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 176 EPR disponíveis, 46 foram excluídos pelo critério da amplitude mínima de severidade (20%). A heterogeneidade das estimativas dos parâmetros dos modelos lineares ajustados ( $b_0$  e  $b_1$ ), para cada um dos ensaios selecionados ( $n=144$ ) é apresentada na Figura 1. A estimativa da produção potencial na ausência da ferrugem ( $b_0$ ) variou de 1308 a 5042 kg/ha. Para a taxa de variação da produtividade da soja para cada incremento unitário na severidade ( $b_1$ ), a estimativa variou de -50 a 2 (kg/ha)/p.p. A amplitude da variabilidade interna dos ensaios, mensurada pelos erros-padrão das estimativas dos parâmetros, foi de 23 a 254 kg/há para  $b_0$  e de 0,81 a 14 (kg/ha)/p.p. para  $b_1$ . Observa-se que a distribuição de  $b_1$  é bem mais assimétrica que a de  $b_0$ .

Histogramas das medidas de qualidade de ajuste e influência (Figura 2) indicaram baixa qualidade de ajuste ( $R^2$ ) para a maioria dos ensaios (75% dos  $R^2 < 70\%$ ), apesar dos baixos valores  $p$  observados (90% dos  $p < 0.05$ ). A forte assimetria dos histogramas dos DFBetas evidencia a presença de alguns ensaios com pontos altamente influentes, especialmente para  $b_1$ . A presença de pontos influentes ocorre principalmente em ensaios onde todos tratamentos fungicidas mostraram alta eficiência de controle (baixa severidade) e a testemunha (controle) apresentou alta severidade.

Como para a maioria dos ensaios existe forte evidência ( $p < 0,0001$ ) para uma relação linear entre produtividade e severidade, considera-se a essa relação como 'verdadeira' mesmo quando altamente influenciada pela severidade do controle. Numa posterior meta análise dos parâmetros do modelo linear, ensaios com altos DFBetas, ao invés de serem excluídos, essas medidas de influencia serão usadas na ponderação em conjunto com o erro-padrão da estimativa do parâmetro em questão ( $b_0$  ou  $b_1$ ) para todos os ensaios.

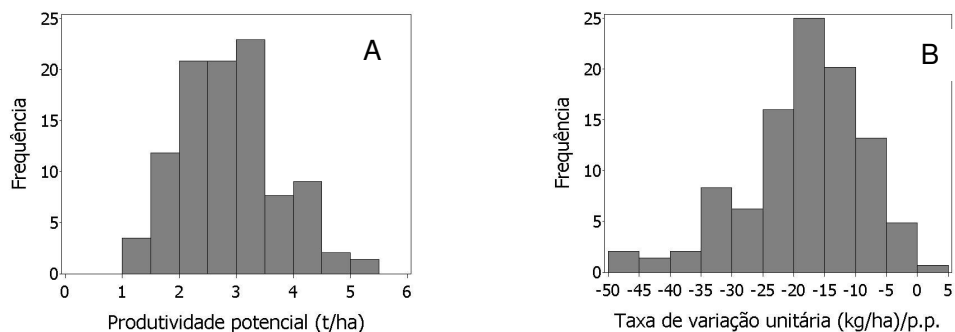


Figura 1. Histogramas para: estimativa da produtividade potencial da soja ( $b_0$ ) na ausência da ferrugem (A) e estimativa ( $b_1$ ) da variação na produtividade (kg/ha) para cada aumento unitário (1 ponto percentual, p.p.) na severidade da ferrugem (B). (N=144 ensaios).

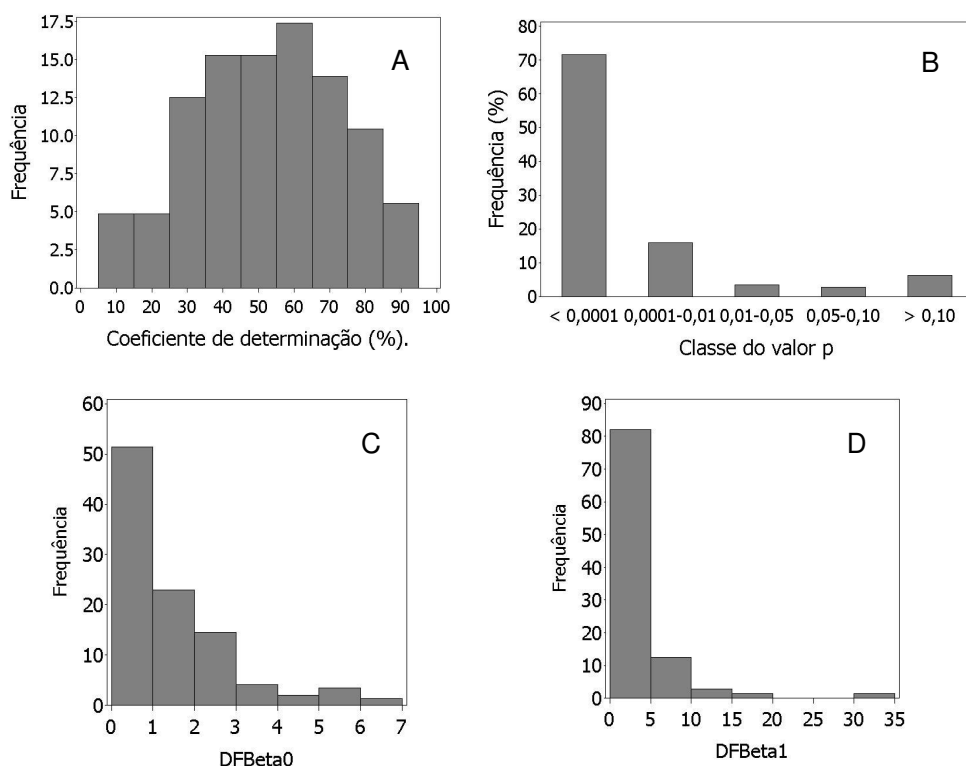


Figura 2. Histogramas para medidas de qualidade de ajuste e influência: (A) coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do modelo linear ajustado, considerando o efeito de blocos, (B) nível de significância nominal (valor p) para a hipótese  $\beta_0=0$ , (C) máximo DFBeta para o intercepto (DFBeta0) e (D) para o coeficiente angular (DFBeta1) do modelo linear. (N=144 ensaios).

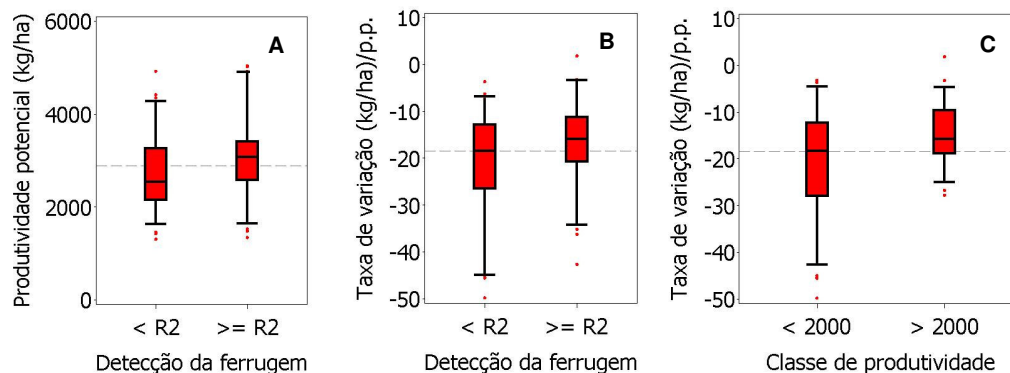


Figura 3. Influência do estágio de detecção da doença (antes ou a partir do estágio R2) sobre: (A) produtividade potencial ( $\beta_0$ ) da soja e (B) taxa de variação da produtividade ( $\beta_1$ ) da soja para variações unitárias da severidade (ponto percentual, p.p.). (C) Influência da produtividade do controle (< 2000 ou > 2000 kg/ha) sobre  $\beta_1$ .

#### 4. CONCLUSÕES

Existe uma alta heterogeneidade entre ensaios, tanto em relação à produtividade potencial da soja, quanto em relação à influência da severidade da ferrugem sobre a produtividade. A incerteza das estimativas, a qualidade de ajuste e as medidas de influência também apresentam alta variabilidade no conjunto de ensaios investigados, sugerindo a necessidade de ponderação dos ensaios em posterior meta análise de forma a atribuir maior peso a ensaios onde há maior evidência da relação linear e menor incerteza da estimativa para a métrica considerada. A análise gráfica indica influência dos moderadores estágio de detecção da doença e classe de produtividade sobre a taxa de variação da produtividade da soja em função da severidade da ferrugem, o que está de acordo com o conhecimento prévio sobre o potencial de danos causados por essa doença.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pela bolsa de produtividade e apoio financeiro no Edital 64/2008 concedidos ao segundo e terceiro autores.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELSLEY, D.A.; KUH, E.; WELSCH, R.E., Regression Diagnostics, NewYork: John Wiley & Sons, 1980.
- GODOY, C.V. Ensaios em rede para controle de doenças na cultura da soja. Safra 2004/05. Série Documentos 266, Embrapa, Londrina, Brazil, 2005, 183 pp.
- GODOY, C.V. Resultados da rede de ensaios para controle químico de doenças na cultura da soja. Safra 2003/04. Série Documentos 251, Embrapa, Londrina, Brazil, 2005, 88 pp.
- MAIA, A. H. N.; DEL PONTE, E. M.; ESKER, P. D.; GODOY, C.V. Análise exploratória e seleção de ensaios para meta-análise de coeficientes de regressão linear. In: Anais do XIII SEAGRO, São Carlos, São Paulo, 2009. 5p.
- ROSENBERG, M.S.; GARRETT, K.A.; SU, Z.; BOWDEN, R.L., Meta-analysis in plant pathology: synthesizing research results. Phytopathology, v. 94, p.1013-1017, 2004.