

## Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul<sup>(1)</sup>

Denise Cybis Fontana<sup>(2)</sup>, Moacir Antonio Berlato<sup>(2)</sup>,  
Marcio Henrique Lauschner<sup>(2)</sup> e Ricardo Wanke de Mello<sup>(2)</sup>

Resumo – Este trabalho teve como objetivo parametrizar e validar o modelo multiplicativo de Jensen modificado para a estimativa do rendimento da cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul, em condições de lavoura. O ajuste foi feito usando dados meteorológicos de seis estações localizadas na região de produção significativa dessa cultura e dados de rendimento médio de todo o Estado, oriundos de estatísticas oficiais do IBGE, no período 1974/75 a 1994/95. O modelo apresentou bom ajuste, com coeficientes de determinação de 0,86 para o modelo completo (novembro a abril) e 0,75 para o modelo reduzido (janeiro a março). A validação do modelo, feita com dados das safras 1995/96, 1996/97, 1997/98 e 1998/99, mostrou um bom desempenho, indicando que a água é o fator isolado que maior influência exerce na definição do rendimento da soja no Rio Grande do Sul e, portanto, pode ser incorporado a programas de previsão de safras.

Termos para indexação: técnicas de previsão, modelos, consumo hídrico, rendimento de culturas.

### Estimation model for soybean yield in the State of Rio Grande do Sul, Brazil

Abstract – The objective of this study was to fit and validate a modified Jensen multiplicative model to estimate soybean grain yield in the State of Rio Grande do Sul, Brazil, under field conditions. The fitness was done using meteorological data from six weather stations located in the region of major production of this crop and data from averaged soybean grain yield over the whole state. The grain yield was obtained from official government statistics of IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), from 1974/75 to 1994/95. The model showed a good fit, with determination coefficients varying from 0.86 for a complete model (November to April) to 0.75 for a reduced one (January to March). The model validation, done with independent data of 1995/96, 1996/97, 1997/98 e 1998/99, had a good performance, showing that water is the isolated factor that has the major influence on soybean grain yield definition in Rio Grande do Sul, and, therefore, could be incorporated into programs for predicting the crop harvest.

Index terms: forecasting, models, water use, crop yield.

### Introdução

A agricultura no Estado do Rio Grande do Sul é caracterizada pela predominância de culturas de primavera-verão, as quais respondem por mais de 90% da produção total de grãos do Estado. Soja e milho

são as culturas de maior expressão; juntas, representam 70% da área cultivada e mais de 60% da produção total de grãos do Rio Grande do Sul. Estas culturas são predominantemente cultivadas em condições de sequeiro, ou seja, sem suplementação hídrica por irrigação, o que determina grande variabilidade interanual da produção dessas culturas. Neste contexto, diversos trabalhos têm demonstrado (Berlato et al., 1992; Matzenauer et al., 1995) a alta correlação entre as condições meteorológicas durante o período de crescimento e de desenvolvimento das culturas e a produção agrícola do Estado.

<sup>(1)</sup>Aceito para publicação em 10 de maio de 2000.

<sup>(2)</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dep. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Caixa Postal 776, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq. E-mail: dfontana@vortex.ufrgs.br, mberlato@ez-poa.com.br

Dentre os componentes limitantes, o déficit hídrico é aquele que afeta a produção agrícola com maior frequência e intensidade. É amplamente conhecido, ainda, que os efeitos do déficit hídrico dependem da sua intensidade, duração, época de ocorrência e da interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final (Cunha & Bergamaschi, 1992). O déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas, diminuindo a fotossíntese pela redução da área foliar e afetando vários outros processos, além de alterar o ambiente físico das culturas (Fontana et al., 1992).

Diversos autores (Jensen, 1968; Berlatto, 1987; Medeiros et al., 1991; Matzenauer et al., 1995; Barni et al., 1996; Ortolani et al., 1996; Delgado-Rojas & Barbieri, 1999) têm proposto o uso de modelos de previsão de rendimento, tendo como variável independente alguma expressão da disponibilidade hídrica. Berlatto (1987) parametrizou e validou, para a cultura da soja em condições de parcelas experimentais, no Rio Grande do Sul, o modelo multiplicativo de Jensen (1968), modificado para a estimativa do rendimento de grãos a partir do consumo relativo de água. Nesse modelo, são atribuídos pesos diferentes aos estádios de desenvolvimento da cultura, de acordo com a sensibilidade relativa da planta ao déficit hídrico. O autor obteve bom ajuste, com coeficientes de determinação variando de 0,83 a 0,87, tendo o período reprodutivo como o de maior sensibilidade e que, portanto, assume maior peso. A utilização desse tipo de modelo para a estimativa do rendimento da soja em âmbito estadual demanda ainda maior estudo, principalmente porque, nessas condições, fatores como diferenças de cultivares, manejo, tipo de solo, fertilidade, ocorrência de pragas, também influenciam na definição do rendimento.

Este trabalho objetivou a parametrização e validação do modelo multiplicativo de Jensen, modificado para a estimativa do rendimento de grãos de soja no Estado do Rio Grande do Sul.

### Material e Métodos

A área de estudo abrangeu a região de produção significativa da cultura da soja no Rio Grande do Sul que compreende os municípios de Cruz Alta, Iraí, Marcelino Ramos, Santa Rosa, São Luiz Gonzaga e Passo Fundo.

A definição dessa região obedeceu ao critério de microrregiões homogêneas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1997) com rendimentos médios superiores a 1,5 t/ha sendo responsável por cerca de 97% da produção total do Estado: 5,2 milhões de toneladas (médias de 1993-1995). O rendimento médio dessa região foi, portanto, utilizado como estimador do rendimento médio da soja no Rio Grande do Sul. Nela foram selecionadas estações meteorológicas pertencentes ao 8º DISME/INMET e à FEPAGRO, localizadas nos municípios de Cruz Alta, Santa Rosa, São Luiz Gonzaga, Iraí, Júlio de Castilhos e Passo Fundo, para a coleta de dados meteorológicos, em nível decenal.

O rendimento médio de grãos de soja no Estado do Rio Grande do Sul foi correlacionado ao consumo relativo de água observado na região supracitada, obtido pela razão entre a evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) e a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). ET<sub>o</sub> foi determinada pela equação de Penman (1956), com o saldo de radiação estimado por função entre radiação solar global e saldo de radiação medido sobre a cultura. A ET<sub>r</sub> foi obtida por meio do balanço hídrico meteorológico, em nível decenal, pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), utilizando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 75 mm. As correlações foram estabelecidas em nível mensal, e os coeficientes obtidos associados ao calendário agrícola médio dessa cultura.

A estimativa do rendimento de grãos de soja foi obtida pelo modelo proposto por Jensen (1968), com a modificação introduzida por Berlatto (1987), na qual se substitui ET<sub>m</sub> (evapotranspiração máxima) por ET<sub>o</sub>, dispensando o uso do coeficiente de cultura, dado pela equação:

$$\frac{Y}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left( \frac{ET_r}{ET_o} \right)^{\lambda_i} \quad (1)$$

onde Y é rendimento médio anual da soja no Estado do Rio Grande do Sul, oriundo de estatísticas oficiais do IBGE; Y<sub>m</sub> é o máximo rendimento observado na série estudada (1974/75 a 1994/95); ET<sub>r</sub>/ET<sub>o</sub> é o consumo relativo de água, médio mensal da região produtora citada anteriormente, e λ<sub>i</sub> são os coeficientes que representam a sensibilidade relativa da planta ao déficit hídrico durante os períodos mensais, estimados pelo ajustamento de retas de regressão múltipla, passando pela origem, das transformadas logarítmicas da equação (1), pelo método dos mínimos quadrados.

O modelo foi ajustado na forma completa, para todos os meses em que a cultura se encontra no campo, e, também, na forma reduzida, ou seja, nos meses em que a sensibilidade da cultura ao fator hídrico é maior. Os anos 1995/96, 1996/97, 1997/98 e 1998/99 foram utilizados para a validação dos modelos ajustados para a estimativa do rendimento de grãos de soja no Estado do Rio Grande do Sul.

## Resultados e Discussão

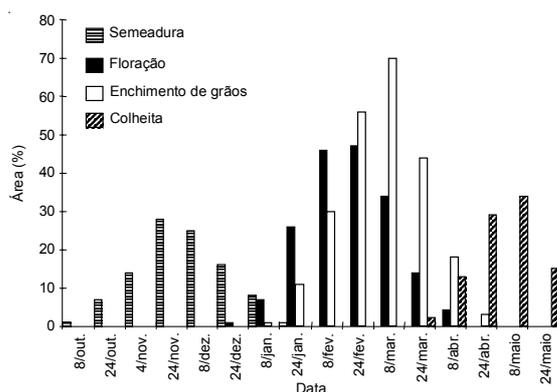
Os coeficientes de correlação entre a razão  $E_{Tr}/E_{To}$  (consumo relativo de água), média da região maior produtora, e o rendimento médio de grãos de soja no Estado foram significativos no período de dezembro a abril, sendo que os maiores coeficientes de correlação ( $r$ ) corresponderam aos meses de janeiro (0,68), fevereiro (0,58) e março (0,70). Nos demais meses, abril, novembro e dezembro os coeficientes de correlação foram de 0,21, 0,14 e 0,25, respectivamente. Berlato et al. (1992) verificaram, em relação à cultura da soja no Rio Grande do Sul em condições experimentais, que os maiores coeficientes de correlação entre essas duas variáveis ocorreram no subperíodo do início do florescimento até 50 dias após o início do florescimento, com valores entre 0,922 e 0,944. Em termos médios da lavoura de soja no Estado, os meses de janeiro, fevereiro e março concentram a floração e o enchimento de grãos de soja, sabidamente os dois períodos mais críticos da cultura em relação à água (Figura 1). Esses são, também, os meses em que são verificadas as menores probabilidades de a precipitação pluvial superar a evapotranspiração de referência, ou seja, maiores probabilidades de ocorrência de déficit hídrico no Rio Grande do Sul (Ávila et al., 1996).

A razão  $E_{Tr}/E_{To}$  inclui, além da disponibilidade de água no solo, também a demanda evaporativa da atmosfera ( $E_{To}$ ) que é a variável independente mais

indicada a ser incorporada em modelos de estimativa de rendimento de grãos de soja no Estado, especialmente nos meses de janeiro, fevereiro e março, período fenológico mais crítico.

O modelo completo, que abrange todo o ciclo da cultura (novembro a abril), explicou 87% da variação dos rendimentos da cultura (Tabela 1). Somente os  $\lambda$  de janeiro, fevereiro e março foram significativos a 1%, ou seja, esses resultados confirmam que esses são os meses em que o déficit hídrico exerce maior peso na determinação do rendimento final da soja. Este período, como mencionado, coincide com a floração e enchimento de grãos da soja (Figura 1), estádios comprovadamente críticos ao fator água (Berlato, 1987; Cunha & Bergamaschi, 1992; Berlato & Fontana, 1999). Nestes meses, com grande sensibilidade, uma redução severa no consumo relativo de água, determina uma drástica redução no rendimento de grãos. O modelo reduzido, que usa somente o período crítico da cultura à água (janeiro, fevereiro e março), apresentou um coeficiente de determinação de 0,76 (Tabela 1).

Ambos modelos apresentaram bom comportamento em grande parte da faixa de variação dos valores observados de rendimento de grãos de soja, conforme pode ser constatado pela razoável uniformidade da distribuição dos pontos em relação à linha 1:1 (Figura 2). Há, entretanto, de forma semelhante à



**Figura 1.** Calendário agrícola médio da cultura da soja, no Estado do Rio Grande do Sul (período 1982-1994). Fonte: EMATER/RS.

**Tabela 1.** Estatísticas dos parâmetros estimados dos modelos completo e reduzido na cultura da soja, no Estado do Rio Grande do Sul. Período 1974/75 a 1994/95<sup>(1)</sup>.

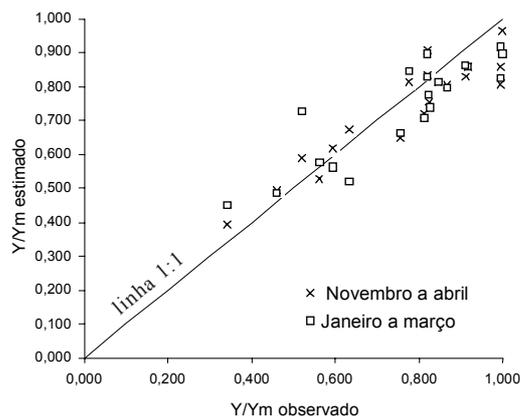
Mês	Expoente ( $\lambda$ )	Probabilidade (p)
Modelo completo		
Novembro	0,369	0,094
Dezembro	-0,221	0,266
Janeiro	0,228	0,008
Fevereiro	0,385	0,008
Março	0,707	0,001
Abril	-0,217	0,365
Modelo reduzido		
Janeiro	0,259	0,003
Fevereiro	0,316	0,038
Março	0,485	0,009

<sup>(1)</sup>Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) em relação ao modelo completo e reduzido foram, respectivamente, 0,87 e 0,76.

observada por Berlato (1987), tendência do modelo a subestimar valores altos de rendimento.

Tanto o modelo completo como o reduzido, apresentaram coeficientes de determinação significativos (0,87 e 0,76, respectivamente), mas bastante inferiores aos verificados por Berlato (1987) na mesma cultura. Essa diferença pode ser atribuída ao fato de que o autor citado trabalhou em condições de parcelas experimentais, enquanto neste trabalho o ajuste foi feito com dados de rendimento médio do Estado provenientes de estatísticas oficiais e dados meteorológicos médios da região maior produtora. Nessas condições, conforme mencionado anteriormente, fatores como diferenças de cultivares, manejo, tipo de solo, fertilidade, ocorrência de pragas, políticas governamentais, também contribuem na definição do rendimento.

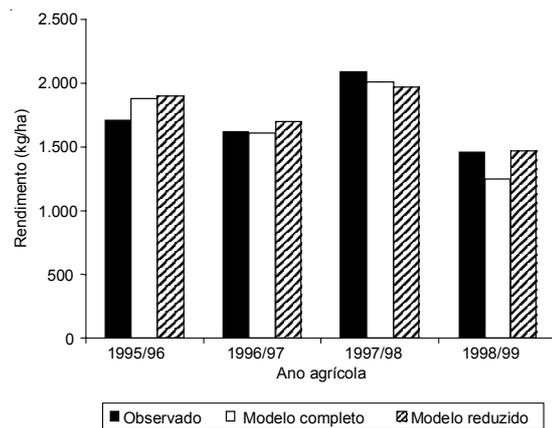
O desempenho dos modelos completo e reduzido foi muito bom e semelhante, com diferenças médias do estimado em relação ao observado de 8% e 6%, respectivamente (Figura 3). A correlação entre rendimento estimado e observado foi significativa em ambos os modelos (0,85 e 0,79), com baixo desvio-padrão das estimativas, e coeficientes de regressão próximos à unidade, o que confere precisão na estimativa (Tabela 2).



**Figura 2.** Rendimento relativo de grãos de soja, observado e calculado na parametrização do modelo completo e reduzido, no Estado do Rio Grande do Sul, período 1974/75 a 1994/95.

Nos anos utilizados para a validação dos modelos foram observados rendimentos da soja acima da média, no Estado do Rio Grande do Sul (1.528 kg/ha), os quais estiveram associados com consumos relativos de água também acima da média. O desempenho desses modelos em condições de reduções drásticas de rendimento ainda deve ser testado.

Os modelos testados apresentaram bom desempenho, especialmente pela sua simplicidade, pois consideram somente o consumo relativo de água como variável independente. O modelo reduzido pelo fato de permitir fazer a estimativa do rendimento com antecedência de, pelo menos, 30 dias da maturação fisiológica, pode ser muito útil em programas de previsão de safras.



**Figura 3.** Rendimentos da soja, observados e previstos pelos modelos completo e reduzido, no Estado do Rio Grande do Sul (teste com dados independentes: 1995/96 a 1998/99).

**Tabela 2.** Valores do coeficiente de regressão (b), do desvio-padrão (s) e do coeficiente de correlação (r), na relação entre rendimento relativo de grãos observado e estimado pelos modelos completo e reduzido, no Estado do Rio Grande do Sul, anos agrícolas 1995/96, 1996/97, 1997/98 e 1998/99.

Modelo	b	s	r
Completo	0,996	0,093	0,85
Reduzido	1,016	0,067	0,79

### Conclusão

O modelo multiplicativo de Jensen modificado pode ser utilizado na estimativa do rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul, o qual, na forma reduzida, tem caráter preditivo, podendo ser incorporado a programas de previsão de safras.

### Agradecimentos

Ao 8º Distrito de Meteorologia/INMET, pelo fornecimento dos dados meteorológicos, e ao IBGE, pelos dados de rendimento de grãos de soja.

### Referências

- ÁVILA, A. M. H.; BERLATO, M. A.; SILVA, J. B. da; FONTANA, D. C. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior do que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p.149-154, 1996.
- BARNI, N. A.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Modelo agrometeorológico de predição do rendimento do girassol. I. Relação entre rendimento e índice hídrico. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 7-17, 1996.
- BERLATO, M. A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul**. São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987. 93 p. Tese de Doutorado.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, H. M. Relação entre o rendimento de grãos de soja e variáveis meteorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 695-702, 1992.
- CUNHA, G. R. da; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre : Editora da UFRGS, 1992. p. 85-97.
- DELGADO-ROJAS, J. S.; BARBIERI, V. Modelo agrometeorológico de estimativa da produtividade da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 67-73, 1999.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 661-669, maio 1992.
- IBGE. Divisão de Pesquisa do Rio Grande do Sul. Setor de Documentação e Disseminação de Informações. **Divisão territorial**: Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 1997. 19 p.
- JENSEN, M. E. **Water consumptions by agricultural plant growth**. New York : Academic, 1968. v. 2, p. 1-22.
- MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 225-241, 1995.
- MEDEIROS, S. L. P.; WESTHPHALEN, S. L.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 1-10, jan. 1991.
- ORTOLANI, A. A.; SENTELHAS, P. C.; CAMARGO, M. B. P.; PEZZOPANE, J. E. M.; GONÇALVES, P. S. Modelos agrometeorológicos para a estimativa da produção anual e sazonal de látex em seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 147-150, 1996.
- PENMAN, H. L. Evapotranspiration: an introductory survey. **Netherlands Journal of Agriculture Science**, Wageningen, v. 4, p. 9-29, 1956.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Washington : Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology).