

# TESTE DE MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE PARA A CULTURA DA SOJA NA REGIÃO DE RIBEIRÃO PRETO-SP, BASEADOS EM BALANÇOS HÍDRICOS CLIMATOLÓGICO E DE CULTURA<sup>(1)</sup>

Adriana Vieira de Camargo MORAES<sup>(2)</sup>, Marcelo Bento Paes de CAMARGO<sup>(3,6)</sup>, José Carlos Villa Nova Alves PEREIRA<sup>(4)</sup>, Hipólito Assunção Antônio MASCARENHAS<sup>(5,6)</sup>

## RESUMO

Foram analisados dados fenológicos e de produtividade dos cultivares de soja IAC-13 (precoce), IAC-12 (semiprecoce) e IAC-11 (médio), oriundos de experimentos conduzidos no Núcleo de Agronomia da Alta Mogiana, do Instituto Agronômico, com sede em Ribeirão Preto, SP, durante os anos agrícolas de 1983/84, 1984/85, 1989/90 e 1990/91. Os modelos agrometeorológicos considerados baseiam-se na penalização da produtividade potencial da cultura em função das relações ER/EP (evapotranspirações real e potencial) e dos excedentes hídricos ocorridos durante os diferentes estádios fenológicos, obtidos de balanços hídricos decendiais sequenciais (climáticos) e com o uso do coeficiente de cultura (kc). Não houve melhora significativa nos modelos com a inclusão do kc nos balanços hídricos. O modelo que considera a inclusão da penalização por excedente hídrico apresentou melhor desempenho, para os três grupos de maturação da soja estudados.

**Palavras-chave:** modelos agrometeorológicos, estimativa de produtividade, balanços hídricos

## INTRODUÇÃO

Os elementos meteorológicos são os principais responsáveis pelas oscilações e frustrações das safras agrícolas em todo o Brasil. Os modelos agrometeorológicos relacionados com o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas fornecem informações que permitem melhor entendimento

---

<sup>1</sup> Parte da dissertação do primeiro autor, apresentada como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia (ESALQ/USP).

<sup>2</sup> Estagiária do Centro de Ecofisiologia e Biofísica, IAC. Doutoranda em Engenharia Agrícola – FEAGRI/UNICAMP. Cidade Universitária “Zeferino Vaz” - Barão Geraldo, Campinas, SP. CEP 13081-970. e-mail: [adriana@cpa.unicamp.br](mailto:adriana@cpa.unicamp.br). Bolsista do CNPq

<sup>3</sup> Centro de Ecofisiologia e Biofísica, IAC

<sup>4</sup> Núcleo de Agronomia da Alta Mogiana, IAC

<sup>5</sup> Centro de Plantas Graníferas, IAC

<sup>6</sup> Bolsista do CNPq

dessas interações para caracterizar os efeitos das variações termopluviométricas sobre a produtividade de grãos. Sendo os processos da evapotranspiração e da produção fotossintética estreitamente relacionados

(Hanks & Rasmussen, 1982), procurou-se, neste trabalho, relacionar a produtividade relativa com a evapotranspiração relativa a partir de balanço hídrico climatológico tradicional e balanço hídrico considerando coeficiente de cultura nos diversos estádios fenológicos da cultura, visando a obtenção de modelos mais consistentes como suporte para os prognósticos de produtividade.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dados fenológicos e de produtividade da cultura da soja foram obtidos de experimentos conduzidos pelo Centro de Plantas Graníferas do Instituto Agrônomo (IAC) no Núcleo de Agronomia da Alta Mogiana, com sede em Ribeirão Preto, SP (lat.: 21° 12'S, long.: 47° 57'W e alt.: 621m). Os cultivares de soja utilizados para os testes, segundo os grupos de maturação (Miranda et al., 1985), foram: IAC-13, do grupo precoce; IAC-12, semiprecoce; e IAC-11, do grupo de maturação médio. Os experimentos foram conduzidos durante os anos agrícolas de 1983/84, 1984/85, 1989/90 e 1990/91. As épocas de semeadura variaram de setembro a janeiro. Foram considerados quatro estádios fenológicos para a cultura da soja: desenvolvimento vegetativo (I); florescimento (II); formação da vagem e enchimento de grãos (III) e maturação (IV).

Para a estimativa da disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura utilizou-se dois tipos de balanços hídricos. Para o primeiro, o método do balanço hídrico climatológico (BHclim) de Thornthwaite & Mather (1955), tradicional na caracterização do fator hídrico, nas formas sequencial e decendial, utilizou-se um programa desenvolvido para microcomputador (Barbieri et al., 1991), para o qual foram fornecidas as informações das coordenadas geográficas e os dados de precipitação pluvial e temperatura média. Considerou-se 100 mm como capacidade de água disponível (CAD) no solo, em função das suas características (latossolo roxo eutrófico), conforme Alfonsi et al. (1990) e Moraes (1998)

Uma segunda forma de estimativa de disponibilidade hídrica foi também calculada, específica para a cultura da soja, por meio de balanços hídricos decendiais que consideram coeficientes de cultura, em função dos diferentes estádios fenológicos (BHkc). Utilizou-se o programa BHÍDRICO (van Lier & Dourado Neto, 1993) e os valores dos coeficientes de cultura (kc) foram obtidos de Doorenbos &

Kassam (1979) e adaptados às condições paulistas por Alfonsi et al. (1990). Para os cálculos da EP e água disponível, foram selecionados os métodos de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite & Mather (1955), respectivamente, de maneira similar aos empregados no cálculo do BHclim.

O ciclo total do cultivar IAC-13 foi de 90 a 125 dias, em função da época de semeadura, ao passo que o cultivar IAC-12, de 100 a 135 dias e o cultivar IAC-11, de 110 a 155 dias. O BHclim, tradicional, utilizado para a estimativa da disponibilidade hídrica e da relação ER/EP durante o ciclo da cultura, considera o valor do coeficiente de cultura (kc) unitário durante todo o ciclo da cultura. A CAD é mantida fixa, com valor de 100 mm. O BHkc considera os valores de kc em função dos diferentes estádios fenológicos. A CAD, neste caso, é variável, sendo modificada conforme a alteração da profundidade do sistema radicular, alcançando valores superiores aos 100 mm calculados para o BHclim, uma vez que a simulação da profundidade das raízes do programa BHIDRICO (van Lier & Dourado Neto, 1993) supera os 90 cm considerados no balanço hídrico climatológico. A utilização do modelo de balanço hídrico decendial, considerando-se valores de kc diferenciados para cada estágio fenológico (BHkc) e CAD variável, visou a melhoria do desempenho dos modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade para a cultura da soja.

O modelo multiplicativo baseado em Doorenbos & Kassam (1979) e proposto por Rao et al. (1988) considera o produtório das relações ER/EP em nível decendial, reduzindo a produção à medida que as necessidades hídricas da cultura da soja deixam de ser satisfeitas durante os estádios fenológicos considerados, da seguinte forma:

$$\frac{Y_r}{Y_p} = \prod_{i=1}^4 \left[ 1 - ky_i \left( 1 - \frac{ER}{EP} \right)_i \right] \quad (\text{modelo 1})$$

onde  $\prod$  significa produtório. Os coeficientes de penalização da produtividade por déficit hídrico (ky) para cada estágio fenológico, de acordo com Doorenbos & Kassam (1979) e Camargo et al. (1986), foram: 0,2 para desenvolvimento vegetativo; 0,8 para florescimento; 1,0 para enchimento de grãos; 0,2 para maturação.

Um fator relacionado à penalização para excedentes hídricos para a cultura da soja, denominado fator excedente (fe), proposto por Brunini et al. (1982), foi incorporado por Camargo et al. (1986) no modelo multiplicativo de Doorenbos & Kassam (1979) da seguinte forma:

$$\frac{Y_r}{Y_p} = \prod_{i=1}^4 \left[ 1 - ky_i \left( 1 - \frac{ER}{EP} \right)_i * [1 - ke_i (1 - fe_i)] \right] \quad (\text{modelo 2})$$

onde os valores de  $k_y$  foram os mesmos do modelo 1 e  $k_e$  o coeficiente de penalização da produtividade por excedente hídrico, proposto por Camargo et al. (1986), com valores de 0,0 para o estágio do desenvolvimento vegetativo (I) e de 0,1 para os estágios do florescimento (II), formação de vagens e enchimento de grãos (III) e maturação (IV). O fator excedente ( $fe$ ) é a relação entre o excedente do balanço hídrico (EXC) e a EP em períodos decendiais, da seguinte forma:

$$fe = \left[ 1 - \frac{(EXC - EP)}{EXC} \right]$$

A única condição é que o EXC seja superior ou igual à EP. Quando a EP for maior que o EXC, o  $fe$  será igual à unidade, independente do resultado (Brunini et al., 1982).

A produtividade potencial dos cultivares de soja IAC-13, IAC-12 e IAC-11 foi estimada através de modelo matemático proposto por Camargo et al. (1988), sendo uma função matemática que ajusta dados de produtividade potencial em função de diferentes épocas de semeadura, específico para a região de Ribeirão Preto.

Para a avaliação do desempenho dos modelos, foram utilizadas análises de regressão, envolvendo coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e o índice “d” (índice de concordância), que fornece importantes informações, como o erro sistemático ( $E_s$ ) e o não sistemático (aleatório) ( $E_a$ ) dos componentes do erro absoluto médio (EAM).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta, para os modelos 1 e 2, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e índice d, bem como outras informações relevantes, como erro absoluto médio (EAM), erros sistemático ( $E_s$ ) e aleatório ( $E_a$ ), tanto para o BHclim como para o BHkc.

Observou-se que, para os dois modelos, a utilização dos resultados do BHkc não apresentou melhora no desempenho, com valores semelhantes aos do BHclim para  $R^2$ , índice d, e erros (EAM,  $E_s$  e  $E_a$ ). Ao contrário do que se esperava, a inclusão dos valores de  $k_c$  e da CAD variável no balanço hídrico não melhorou o desempenho dos modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade. Provavelmente, devido aos valores de  $k_c$  e da CAD variável considerados nos balanços hídricos, especialmente durante os estágios do desenvolvimento vegetativo (I) e do florescimento (II).

Notou-se que os modelos testados apresentaram valores relativamente altos de  $R^2$  e do índice d. Foi observada pequena tendência de superestimativa das produtividades, principalmente para os cultivares de ciclo semiprecoce (IAC-12) e médio (IAC-11). Na análise do desempenho dos modelos entre os cultivares, notou-se que as melhores estimativas foram as referentes ao cultivar IAC-13, do

grupo de maturação precoce. Para este cultivar, os valores dos erros foram sempre menores do que os obtidos para os demais cultivares, especialmente o IAC-11, de ciclo médio. Esses resultados sugerem que os modelos respondem melhor ao teste nos grupos de maturação precoce e semiprecoce.

Tabela 1. Resultados estatísticos da análise do desempenho dos modelos 1 e 2, referentes ao BHclim e ao BHkc, para os cultivares IAC-13, IAC-12 e IAC-11.

	Modelos	R <sup>2</sup>	D	EAM	Es	Ea
				kg/ha		
IAC-13						
BHclim	1	0,71	0,78	472	440	447
	2	0,76	0,85	322	339	305
BHkc	1	0,66	0,78	474	498	449
	2	0,71	0,83	321	388	302
IAC-12						
BHclim	1	0,77	0,81	680	514	692
	2	0,79	0,86	516	430	517
BHkc	1	0,76	0,80	679	555	700
	2	0,78	0,86	514	462	517
IAC-11						
BHclim	1	0,87	0,80	774	435	832
	2	0,87	0,84	659	393	690
BHkc	1	0,86	0,79	808	481	891
	2	0,84	0,85	598	443	634

## CONCLUSÕES

- a) Os modelos agrometeorológicos testados apresentaram desempenhos satisfatórios na estimativa da produtividade para os cultivares de soja considerados, na região de Ribeirão Preto, SP, porém, com pequena tendência de superestimativa das produtividades, especialmente para os cultivares semiprecoce (IAC-12) e médio (IAC-11).
- b) O modelo agrometeorológico 2, que considera penalização da produtividade por excedente hídrico, apresentou desempenho superior quando comparado ao modelo tradicional testado, para os cultivares IAC-13, IAC-12 e IAC-11.

- c) Os modelos testados para os cultivares IAC-13, IAC-12 e IAC-11 apresentaram os menores erros na estimativa da produtividade quando aplicados ao cultivar do grupo de maturação precoce (IAC-13).
- d) A utilização dos resultados obtidos pelo BHkc, para os dois modelos considerados, não apresentou desempenho superior aos resultados advindos do BHclim.

## BIBLIOGRAFIA

- ALFONSI, R. R.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ARRUDA, F. B.; ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. de; BRUNINI, O. Métodos agrometeorológicos para controle da irrigação. Campinas, Instituto Agrônômico, 1990. 62p. (Boletim Técnico n. 133).
- BARBIERI, V.; TUON, R. L.; ANGELOCCI, L. R. Programa para microcomputador do balanço hídrico (Thorntwaite & Mather, 1955) para dados mensais e decendiais, normais e sequenciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 7. Viçosa, 1991. Resumos. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. Viçosa, 1991. p.297-299.
- BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A.; PEREIRA, J.C.V. N. A.; SCHIMIDT, N. C. Teste de um modelo agroclimático que relacione o regime pluviométrico com as variações da produtividade agrícola. In: SEGOVIA, R. M. (Ed). **Determinação do efeito da precipitação pluviométrica na produtividade agrícola**. Brasília. CFP. 1982. p.21-46. (Coleção Análise e Pesquisa, 24).
- CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. Modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade para a cultura da soja no Estado de São Paulo. **Bragantia**. Campinas. v.45. n.2. p.279-292. 1986.
- CAMARGO, M. B. P.; MIRANDA, M. A. C.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; MASCARENHAS, H. A. A. Estimativa da produtividade potencial de cultivares de soja nas condições climáticas de Ribeirão Preto. SP. **Bragantia**. Campinas. v.47. n.2. p.277-288. 1988.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome, FAO, 1979. 197p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- FUKUI, J.; OJIMA, M. Influence of soil moisture content on the growth and yield of soybean. **Proceedings of Crop Science Society**. Japan. v.26. p.40-42. 1957.
- HANKS, R. J.; RASMUSSEN, V. P. Predicting crop production as related to plant water stress. In: BRADY, N. C., ed. Crop production and plant water stress. Advances in Agronomy. Madison, 35:193-215, 1982.

- MIRANDA, M. A. C.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; GALLO, P. B.; FREITAS, J. G.; FERREIRA FILHO, A. W. P. Novos cultivares de soja – IAC. O Agrônomo, Campinas, 37(2):89-105, 1985.
- MORAES, A. V. C. Desenvolvimento e análise de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade para a cultura da soja na região de Ribeirão Preto, SP. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP. 1998. 95p.
- RAO, N. H.; SARMA, P. B. S.; CHANDER, S. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. Agricultural Water Management, Amsterdam, 13:25-32, 1988.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev.** v.38. p.55-94. 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, Drexel Institute of Technology – Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1)
- van LIER, Q. J. & DOURADO NETO, D. Programa de balanço hídrico para microcomputador **BHIDRICO** (software), versão 3.21a. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- Universidade de São Paulo. 1993.
- WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K. M.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research.** v.90. n.5. p.8995-9005. 1985.