

## MODELO DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DA SOJA {*Glicine max* (L.) Merrill} EM FUNÇÃO DA VARIABILIDADE DA TEMPERATURA

Williams Pinto Marques Ferreira<sup>1</sup>, Luis Cláudio Costa<sup>2</sup>, Cecília de Fátima Souza<sup>2</sup>

### RESUMO

Com o objetivo de verificar o efeito da temperatura do ar sobre a produtividade da cultura da soja, em Minas Gerais, foi desenvolvido um modelo de simulação dinâmico, mecanístico e determinístico. A principal característica do modelo foi a associação da simplicidade com o rigor científico necessário. Como variáveis de entrada o modelo utiliza os elementos climáticos precipitação, temperatura e insolação, por serem de fácil obtenção. Os resultados indicaram que o modelo mostrou-se sensível às variabilidades climáticas intra-anual e inter-anual, representadas pelas diferentes condições meteorológicas sucedidas nas diferentes datas de semeadura, evidenciando o seu alto potencial de aplicação como ferramenta no entendimento das relações entre a cultura da soja e os elementos climáticos. O modelo indicou diferença no rendimento final de matéria seca e grãos, e o Índice de Colheita variou de 33,1% até 29,1% em relação às datas de semeadura de 15/10 a 15/12 para o ano de 1996.

**Palavras-chave:** Clima; Modelo Agrometeorológico; Rendimento

### ESTIMATION MODEL FOR SOYBEAN {*Glicine max* (L.) Merrill} YIELD AS A FUNCTION OF THE TEMPERATURE VARIABILITY

### ABSTRACT

Aiming to verify the effects of the climatic variation on the soybeans yield in Minas Gerais State, Brazil, a dynamic-mechanistic-deterministic simulation model was developed. The main characteristic of the developed model was to associate simplicity with the required scientific accuracy. As input variables, the model applies the meteorological elements such as the rainfall precipitation, temperature and sunshine duration because these are easily obtained. The results showed that the model was sensitive to climatic change, represented by the different meteorological conditions happened in different sowing dates, emphasizing its high application potential for managing crop. The model indicated variations on the final grain and dry matter productivity and the Crop Harvest Index varied from 33.1% to 29.1% in relation to the sowing dates between October, 15 and December, 15 for 1996.

**Keywords:** Climate; Agrometeorological Model; Yield.

<sup>1</sup> Pesq. Dr. Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS), williams@cnpm.br

<sup>2</sup> Prof. Adjunto – Ph.D. DEA – UFV, l.costa@ufv.br

<sup>2</sup> Prof. Adjunta, Dra. DEA – UFV, cfsouza@ufv.br

## INTRODUÇÃO

Buscando reduzir a variação da produtividade agrícola e otimizar o uso dos recursos tecnológicos e ambientais na produção de alimentos, os cientistas têm procurado conhecer os fatores que afetam, direta ou indiretamente, as atividades agrícolas. Estudos têm mostrado que variações de longo prazo na produtividade das culturas são causadas por fatores, como a introdução de novas técnicas de manejo, as variedades e insumos. Por outro lado, as variações de curto prazo na produtividade, ou seja, de um ano para o outro, são devidas principalmente às alterações climáticas.

Os estudos da interação clima-cultura têm alcançado grande avanço, nos últimos anos e vêm sendo desenvolvidos por meio da análise dos aspectos físicos, fisiológicos e meteorológicos. Além da experimentação agrometeorológica convencional, que tem como característica uma grande demanda de tempo e equipamentos, ferramentas matemáticas e estatísticas e modelos de simulação (FONTANA et al. 2001; BERKA et al. 2003; PRASAD et al. 2006) vêm sendo cada vez mais empregado na análise dos efeitos das condições ambientais sobre a produtividade agrícola. A aplicação dessas técnicas constitui uma ferramenta eficiente na quantificação desses efeitos (MONTEITH, 1981).

Há muito tempo, esforços vêm sendo direcionados, cada vez mais, para o esclarecimento das relações existentes entre o clima e a cultura da soja. Nesse contexto, a temperatura influencia diretamente todas as fases da cultura, ou seja, os processos de germinação, crescimento, floração e enchimento de grãos, bem como a respiração, fotossíntese e a absorção de água e nutrientes.

O ângulo de incidência de luz, nível de umidade, o albedo, o vento, a cobertura de nuvens, estação do ano e latitude afetam a temperatura da planta.

Segundo WHIGHAM e MINOR (1978), tanto a temperatura do ar quanto do solo exercem influência sobre os processos de respiração, transpiração e outros.

A soja é uma cultura que, durante a fase de germinação, necessita de temperatura do solo

em torno de 30°C, para alcançar uma taxa de germinação satisfatória. Segundo CAMARGO et al. (1971), na maioria das regiões tropicais, a ocorrência dessas temperaturas é possível na época de plantio, porém, raramente ocorrem nos solos de regiões temperadas.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi a elaboração de um modelo capaz de estimar o rendimento da soja em diferentes condições de temperatura do ar, aqui representada pela variação de -1°C até +1°C em relação à média mensal do período de cultivo, para a data de semeadura considerada como mais utilizada na região de Capinópolis, Estado de Minas Gerais, ou seja, 15 de novembro.

Vale ressaltar que o modelo simula o crescimento potencial da cultura, levando em consideração possíveis restrições em função da temperatura e radiação solar para a planta, porém, não considera outras restrições como os nutrientes, por exemplo. Portanto, este fato deve ser considerado na análise dos resultados apresentados pelo modelo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Embora a aplicação do modelo não esteja sujeita à restrições geográficas, neste trabalho optou-se pela seleção de uma localidade específica, visando obter um melhor controle dos dados de entrada.

Assim, os dados para execução do modelo são médias mensais e referem-se ao período de setembro a abril, extraídos das Normais Climatológicas (1961 – 1990) referente à Estação Meteorológica Principal número 83514, pertencente a rede do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET BRASIL, Normais Climatológicas (DEPARTAMENTO..., 1992), para a localidade de Capinópolis, situada na região do Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais (latitude 18° 41' S; longitude 49° 34' W e altitude da estação meteorológica de 620,60 m), que é a maior região produtora de soja neste Estado (Quadro 1).

A precipitação pluvial anual em Capinópolis é de 1.530 mm, com o período chuvoso ocorrendo entre os meses de outubro e março; a temperatura do ar média anual é de 23,0 °C, sendo julho o mês mais frio e outubro o mais quente.

**Quadro 1.** Médias mensais (Normais Climatológicas 1961-1990) de temperatura do ar (°C), precipitação pluvial (mm), total mensal, e insolação total mensal (h), incidente a superfície, para a localidade de Capinópolis, MG

Meses	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Temperatura	23,9	24,7	24,3	23,7	23,8	24,1	24,0	23,3
Precipitação	51,0	157,4	180,0	267,5	291,4	201,9	118,7	115,2
Insolação	197,4	220,9	203,9	167,8	192,5	194,7	203,7	220,3

\*Os dados de produtividade da soja para os anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97 foram obtidos junto ao IBGE (IBGE, 2005).

### Características dos elementos climáticos

Neste modelo, devido à sua acentuada influência no desenvolvimento e produtividade da cultura da soja, foram considerados como dados médios mensais de entrada a temperatura do ar, a precipitação pluvial e a radiação solar, sendo esta última de difícil obtenção, pois, a maioria das estações meteorológicas não realiza esse tipo de medida.

Entretanto, como o modelo tem como objetivo a simplicidade nos dados de entrada, a radiação solar foi obtida a partir de dados de duração do brilho solar diário (insolação), que é facilmente obtido, sendo para isso utilizada a equação empírica de Angström, modificada por Prèscott (VIANELLO e ALVES, 1991).

### Definição do modelo

No modelo, os elementos climáticos precipitação, temperatura e radiação solar, considerados como dados de entrada, foram organizados em um único arquivo, o qual era lido no momento da execução do modelo para fornecer parâmetros às equações matemáticas, que representavam as diferentes pressuposições físicas da planta, como a taxa de respiração de manutenção total da planta (Equação 04) e outras. Neste sentido, cada elemento climático exerce influência sobre a produtividade da cultura, tomando-se a produtividade final uma função da interação dos elementos climáticos com a cultura. Assim, foram considerados os seguintes mecanismos: extinção da radiação no dossel, fotossíntese máxima à temperatura considerada, temperatura-base, respiração de manutenção à temperatura considerada, parâmetro  $Q_{10}$  (indica um fator multiplicativo da taxa de respiração em função de um determinado aumento na temperatura do ar), área foliar específica e coeficiente de transmissividade.

Outras características agrônômicas como cultivar, solo e nutrientes, não foram consideradas,

sendo utilizados parâmetros de diferentes variedades de soja, cultivadas em diferentes países.

No cálculo da matéria seca, considera-se o efeito do déficit hídrico na captura e utilização da radiação. A temperatura é considerada no cálculo dos Graus-Dias acumulados, o qual compõe tanto o cálculo do estágio de desenvolvimento quanto o cálculo do coeficiente da cultura (KC). Considera-se, ainda, o efeito da temperatura na fotossíntese e na respiração.

O estágio de desenvolvimento faz parte do cálculo da partição da matéria seca para os respectivos órgãos da planta e do cálculo do índice de área foliar (IAF), que é um dos componentes do cálculo da fotossíntese bruta.

Somente as equações principais, utilizadas pelo modelo, que procuram representar as pressuposições físicas e fisiológicas referentes à cultura, serão descritas a seguir, segundo a ordem na qual que foram abordadas no item anterior.

Outros dados de entrada do modelo, embora não sejam aqui disponibilizados, foram necessários para derivar algumas equações, tal como insolação. Dados fenológicos, bem como dados de produção de matéria seca foram obtidos junto à equipe de pesquisa da soja da Universidade Federal de Viçosa, além de dados disponíveis em literatura.

A ferramenta utilizada para a construção do modelo foi o *software ModelMaker 1.0* (versão beta) da *FamilyGenetix Ltd.* (MODELMAKER, 2006). As equações principais utilizadas pelo modelo, as quais contêm variáveis também estimadas por meio de equações e procuram representar as pressuposições físicas e fisiológicas referentes à cultura, são descritas a seguir.

### Fotossíntese bruta

De acordo com FRANCE e THORNLEY (1984), a fotossíntese bruta pode ser calculada por meio da equação:

$$FBR = Fm \times \frac{h}{kd} \times \ln \left[ \frac{(ef \times kd \times \frac{Rfa}{h}) + ((1-m) \times Fm) + (2 \times (ef \times kd \times \frac{Rfa}{h}) \times ((1-m) \times Fm) + ((1-m) \times Fm)^2)^{1/2}}{(ef \times kd \times \frac{Rfa}{h}) + ((1-m) \times Fm) + (2 \times (ef \times kd \times \frac{Rfa}{h}) \times ((1-m) \times Fm) \times (\exp(kd \times IAF)) + ((1-m) \times Fm)^2)^{1/2}} \right] \quad (1)$$

em que

FBR = fotossíntese bruta, kg (CO<sub>2</sub>).m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

Fm = fotossíntese máxima realizada, kg (CO<sub>2</sub>).m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

h = duração de um dia;

kd = coeficiente de extinção de luz, adimensional;

ln = logaritmo neperiano;

ef = eficiência fotoquímica, kg(CO<sub>2</sub>).MJ<sup>-1</sup>;

Rfa = radiação fotossinteticamente ativa, MJ.m<sup>-2</sup>;

m = coeficiente de transmissividade de luz, adimensional; e

IAF = índice de área foliar, m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>.

#### Matéria seca

De acordo com PENNING DE VRIES et al. (1989), o cálculo de transformação da fotossíntese bruta em matéria seca pode ser efetuado por meio da equação

$$M\_SECA = FBR \cdot \frac{30}{44} \cdot eg \cdot \frac{ETR}{ETm} \quad (2)$$

em que

M\_SECA = matéria seca produzida pela planta, kg.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

30/44 = parâmetro de conversão de carboidratos em matéria seca, adimensional;

eg = eficiência de crescimento, adimensional;

ETR = evapotranspiração real da cultura, mm.d<sup>-1</sup>; e

ETm = evapotranspiração máxima da cultura (HARGREAVES, 1994), mm.d<sup>-1</sup>.

#### Matéria seca total

De acordo com PENNING DE VRIES (1989), a matéria seca total resultante após

subtrair os gastos para a respiração de manutenção e de crescimento pode ser obtida por meio da equação

$$MS\_TOT = M\_SECA - TRM\_TOT \quad (3)$$

em que

MS\_TOT = matéria seca total disponível para a partição para os órgãos da planta, Kg.m<sup>-2</sup>; e

RM\_TOT = respiração de manutenção da planta, KgCO<sub>2</sub>.Kg<sub>(ms)</sub>.d<sup>-1</sup>.

#### Temperatura no modelo

No presente modelo, o elemento climático temperatura do ar apresenta-se como um dos dados de entrada.

De acordo com PENNING DE VRIES et al. (1989) e CHANG (1992), a temperatura média do ar afeta a taxa de respiração de manutenção e a fotossíntese máxima realizada pela cultura, conforme as equações

$$TRM\_TOT = rm30 \cdot Q10 \cdot \frac{T - T\_REF}{10} \quad (4)$$

em que

TRM\_TOT = taxa de respiração de manutenção total, kgCO<sub>2</sub>.Kg<sub>(ms)</sub>.d<sup>-1</sup>;

rm30 = taxa da referência da respiração de manutenção da planta a temperatura de 30°C, 0,06 kgCO<sub>2</sub>.kg<sub>(ms)</sub>.d<sup>-1</sup>;

Q10 = taxa de reação a um aumento de 10°C de temperatura, adimensional;

T = temperatura média diária, em °C; e

T\_REF = temperatura de referência utilizada para a cultura, 30°C.

$$Fm = fm30 \cdot \frac{T - tb}{30 - tb} \quad (5)$$

em que

Fm = fotossíntese máxima realizada pela planta sem restrição nenhuma, kgCO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

fm30 = taxa de fotossíntese máxima realizada pela planta a 30°C, 0,052 kgCO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>; e

tb = temperatura-base, 10°C.

Levando-se em consideração o uso de acúmulo de temperatura (graus-dias ou unidades térmicas) em estudos sobre a cultura da soja e outras culturas, os modeladores têm utilizado, universalmente, o conceito "unidade térmica".

Este conceito baseia-se em observações, segundo as quais a temperatura é o principal fator, que influencia os estádios de crescimento das plantas. Implícito em tal consideração está o fato que a resposta das plantas à temperatura está restrita aos limites inferior (temperatura-base) e superior (temperaturas além das quais as plantas não se desenvolvem) (MOTA, 1978).

Assim, considera-se que as temperaturas máxima e a mínima, ocorridas ao longo do dia, são parâmetros da equação de cálculo dos Graus-Dias Acumulados, que segundo CHAN (1971) podem ser calculados, empregando-se a equação

$$GD = \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} - tb \quad (6)$$

em que

GD = Graus-Dias acumulados pela planta, °C.d<sup>-1</sup>;

T<sub>máx</sub> = temperatura máxima ocorrida durante o dia, °C; e

T<sub>mín</sub> = temperatura mínima ocorrida durante o dia; °C.

Para avaliar o efeito da temperatura do ar na produção de matéria seca e produtividade de grãos na cultura da soja, ao longo de seu ciclo na região de Capinópolis, MG, o modelo foi aplicado para diferentes variações de temperatura do ar (-1°C até +1°C) em relação à média do período, que compreendeu o mês de novembro até o mês de fevereiro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura exerce influência sobre todas as fases do ciclo da cultura, de acordo com Marcos Filho et al. (1982), citados por Câmara (1999). Assim, o modelo foi testado a fim de avaliar a influência da temperatura do ar ao longo do ciclo da cultura e produtividade e, conseqüentemente, seu efeito sobre a produção final. Para isso, aplicou-se o modelo com a data de plantio de 15 de novembro, que é a mais utilizada para a semeadura da soja na região em estudo, com as temperaturas variando de ±0,5°C e ±1°C em torno da temperatura média (normal climatológica) para o período, que compreendeu os meses de novembro a fevereiro. Observou-se que menores temperaturas implicam em maiores períodos vegetativos. Para decréscimo de 1°C na temperatura, há um atraso de três dias no início do florescimento (Quadro 2), o que está de acordo com o resultado encontrado por Garner e Allard (1930), citados por Gandolfi e Muller (1981).

**Quadro 2.** Número de dias necessários para ocorrer o início do florescimento (dias após o semeadura, DAS) em função de variações de ±0,5°C e ±1°C na temperatura em torno da temperatura média (normal climatológica) para a localidade de Capinópolis, MG

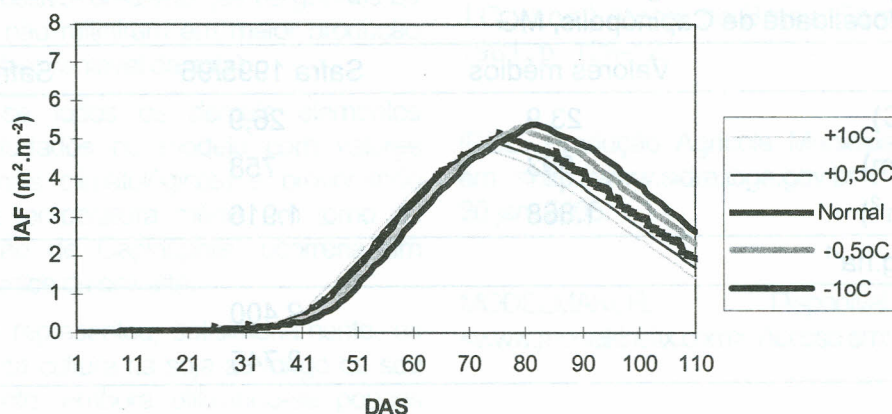
Temperatura	-1°C	-0,5°C	Média	+0,5°C	+1°C
Florescimento (DAS)	51	50	48	47	45

Na Figura 1, observa-se que para maiores temperaturas, as plantas atingiram mais rapidamente seu máximo valor de IAF. No entanto, esses valores foram menores quando comparados aos IAF's das plantas, que experimentaram menores temperaturas.

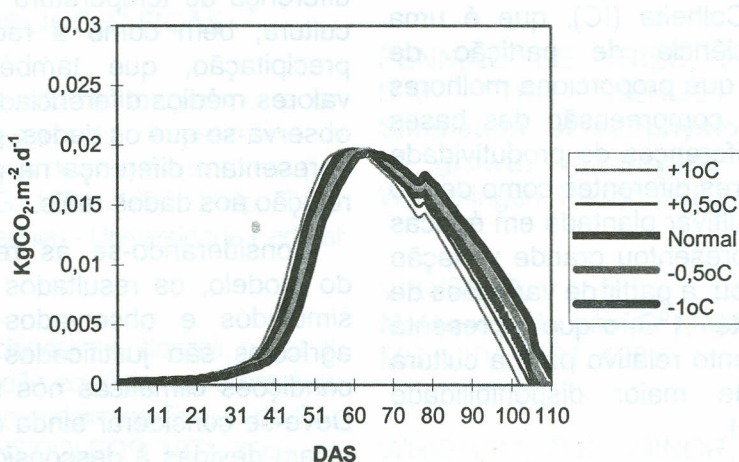
Observou-se um aumento inicial mais acentuado no IAF para os valores de temperatura superiores ao normal, reduzindo-se logo em seguida. Para menores valores de temperatura, o aumento do IAF foi menos

acentuado no início; todavia, atingiram valores mais altos.

Na Figura 2, observa-se que maiores valores de temperatura induziram maiores taxas de fotossíntese líquida, ou seja, em tal situação, a cultura antecipou em torno de 10 dias o seu máximo de fotossíntese. No entanto, observa-se que a diferença entre o menor e o maior valor não foi muito significativo, alcançando diferenças da ordem de 2,03%, enquanto variações na temperatura afetaram em 10,9% a área de captura da planta (IAF).



**Figura 1.** Valores do índice de área foliar (IAF), em  $m^2.m^{-2}$ , em função de dias transcorridos após a semeadura (DAS), para variações  $\pm 0,5^\circ C$  e  $\pm 1^\circ C$  na temperatura em relação à média (normal climatológica) do período compreendido entre os meses de novembro a fevereiro, para a localidade de Capinópolis, MG.



**Figura 2.** Valores de fotossíntese líquida, em  $kg (CO_2).m^{-2}.d^{-1}$ , em função de dias transcorridos após a semeadura (DAS), para variações de  $\pm 0,5^\circ C$  e  $\pm 1^\circ C$  na temperatura em relação à média (normal climatológica) do período compreendido entre os meses de novembro a fevereiro, para a localidade de Capinópolis, MG.

**Quadro 3.** Variação da matéria seca final e da produtividade dos grãos, kg.ha<sup>-1</sup>, e índice de colheita (IC), %, em função da variação de ±0,5°C e ±1°C na temperatura do ar em relação à média (normal climatológica) do período compreendido entre os meses de novembro a fevereiro, para a localidade de Capinópolis, MG

Temperatura	-1°C	-0,5°C	Média	+ 0,5°C	+1°C
Grãos	2.590	2.660	2.700	2.700	2.720
MS_Final	8.880	8.590	8.590	8.420	8.210
IC	29,1	30,2	31,4	32,3	33,1

**Quadro 4.** Dados médios (normais climatológicas), dados climáticos reais observados de precipitação, temperatura e radiação, e os dados simulados e reais da produtividade de grãos entre os anos agrícolas de 1995/96 e 1996/97, para a localidade de Capinópolis, MG

	Valores médios	Safra 1995/96	Safra 1996/97
Temperatura (°C)	23,9	26,9	26,5
Precipitação (mm)	893	758	936
Radiação (MJ.m <sup>-2</sup> )	1.868	1.916	1.748
Produtividade kg.ha <sup>-1</sup>			
Real		2.400	2.400
Simulada		2.745	2.575

Observou-se, também, que os valores da produtividade de grãos foram reduzidos, para temperaturas menores e, praticamente, não variaram para temperaturas maiores (Quadro 3). Por outro lado, a matéria seca final aumentou com a redução da temperatura.

O Índice de Colheita (IC), que é uma medida de eficiência de partição de fotoassimilados e que proporciona melhores informações para compreensão das bases fisiológicas das diferenças de produtividade tanto entre cultivares diferentes como dentro de uma mesma cultivar plantada em épocas diferentes, não apresentou grande variação e sempre aumentou, a partir de variações de valores de -1°C até +1°C, o que representa um maior rendimento relativo para a cultura em situações de maior disponibilidade térmica (Quadro 3).

#### Teste do modelo

No Quadro 4, observam-se os dados médios (normais climatológicas) para a região de Capinópolis e os dados climáticos reais, observados para os anos de 1995/96

e 1996/97. Também são apresentados os valores da produtividade real da soja e da produtividade simulada pelo modelo, para os mesmos anos. Nos dados reais, observa-se a existência de um ano em que a média de temperatura foi maior do que a média do outro. Sendo o modelo sensível a esta diferença de temperatura disponível para a cultura, bem como à radiação solar e à precipitação, que também apresentaram valores médios diferenciados entre os anos, observa-se que os dados, por ele simulados, apresentam diferença na produtividade, em relação aos dados reais.

Considerando-se as restrições próprias do modelo, os resultados entre os valores simulados e observados nos dois anos agrícolas são justificados pelas diferentes condições climáticas nos respectivos anos. Deve-se considerar ainda que as diferenças sejam devidas à desconsideração por parte do modelo, de outros tipos de restrições senão a térmica, bem como aos erros amostrais envolvidos na medida de produtividade real e ao avanço tecnológico de produção da região.

## CONCLUSÕES

À medida que a temperatura aumentou, ocorreu redução no IAF e aumento na fotossíntese líquida. A redução de  $-1^{\circ}\text{C}$  provocou redução na fotossíntese líquida, enquanto, para a redução de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , não ocorreu redução, indicando que a variação de temperatura teve grande influência na partição de fotoassimilados.

O menor índice de colheita (IC) ocorreu para menores valores de temperatura, enquanto o maior IC ocorreu para o maior valor de temperatura. Todavia, tal fato não representou um aspecto positivo, uma vez que os ganhos de matéria seca não refletiram em maior produção de grãos (produto rentável da soja).

Mantendo-se todos os demais elementos climáticos estudados no modelo com valores médios (normais climatológicas) e provocando aumentos na temperatura média em torno de  $1^{\circ}\text{C}$ , na região de Capinópolis, ocorreria um aumento no índice de colheita.

O modelo representou, satisfatoriamente, os mecanismos da cultura da soja ao longo de seu desenvolvimento, embora utilizando-se poucos dados de entrada. Portanto, demonstrou-se importante no entendimento das causas de variações na produtividade, em função das variáveis climáticas. Dessa forma, pode ser aplicado como ferramenta para orientar o agricultor na adoção de métodos mais eficientes de produção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, G.M.S. Efeito do fotoperíodo e da temperatura no crescimento, florescimento e maturação de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Viçosa, MG: UFV, 1991. 266p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.

CAMARGO, A. P., Chiarini, J.V., Donzeli, P.I. et al. Zoneamento da aptidão ecológica para a cultura da soja, girassol e amendoim no Estado de São Paulo. São Paulo: INSTIOLEOS, 1971. 35p.

CHANG, J. Climate and agriculture - an ecological survey. 2. ed. Hilo: University of Hawaii, 1971. 304p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - DNMET. Normais climatológicas (1961-1990). Brasília, 1992. 85p.

FRANCE, J., THORNLEY, J.H.M. Mathematical Models in Agriculture. The Quantitative Approach to problems in Agriculture and Related Sciences. London: Butterworth, 1984. 550 p.

GANDOLFI, V.H., MULLER, L. Fotoperiodismo. In: MIYASAKA, S., MEDINA, J.C. (Eds.) A soja no Brasil. Campinas: ITAL, 1981. p. 129-42.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 jan. 2005.

MODELMAKER. Disponível em: <[www.modelkinetix.com](http://www.modelkinetix.com)>. Acesso em: 12 fev. 2001.

MONTEITH, J.L. Climatic variation and the growth of crops. Quart. J. Royal Meteorol. Soc., v.107, p.749-74, 1981.

MOTA, F.S. Soya bean and weather. Geneva: Switzerland: World Meteorological Organization, 1978 (Technical Note ,160). 65p.

PENNING DE VRIES, F.W.T., JANSEN, D.M., TEN BERGE, H.F.M. et al. **Simulation of ecophysiological process of growth in several annual crops.** Wageningen: Pudoc: 1989. 271p.

VIANELLO, R.L., ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa, MG. UFV, 1991. 499p.

WHIGHAM, D.K., MINOR, H.C. Agronomic characteristics and environmental stress. In: NORMAN, A.G., ed. **The soybeans: physiology, agronomy and utilization.** New York, Academic Press, 1967. p.77-118.