

Influência da radiação solar sobre os valores de produtividade da cultura do milho, *Zea mays* L., simulados pelo modelo CERES-Maize

Paulo Sérgio Lourenço de Freitas^{1*}, Everardo C. Mantovani², Roberto Rezende¹, Antônio Carlos Andrade Gonçalves¹ e Altair Bertonha¹

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. P. H. Rolfs S/N, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Author for correspondence.

RESUMO. Para a simulação dos valores da produtividade da cultura do milho, *Zea mays* (Poaceae), para análise do presente trabalho, utilizou-se o modelo CERES-Maize que está inserido no pacote DSSAT 3.0. Nas simulações realizadas para o município de Janaúba, Estado de Minas Gerais, foi utilizado o cultivar de milho BR-201-Embrapa. Os valores foram simulados para data de semeadura 15 de maio, e a cultura não foi submetida à estresse de água durante seu ciclo. Os valores foram simulados utilizando dados climáticos do período de 1977 a 1995. Foram analisados os valores de radiação solar nos anos em que ocorreram máxima e mínima produtividade, e também em dois anos em que as produtividades foram semelhantes. Os valores da radiação solar influenciaram na produtividade da cultura simulada pelo modelo CERES-Maize. Compararam-se os anos de maior e menor produtividades, o que permitiu verificar que ambas foram afetadas pela distribuição de radiação ao longo do ciclo da cultura. Entretanto, a diferença de radiação solar ocorrida no período de florescimento até a maturidade fisiológica foi determinante para que ocorressem as diferenças de produtividade. As produtividades nos anos de 1979 e 1994 foram semelhantes. A média da radiação solar global incidente, durante o ciclo da cultura, no ano de 1994 foi superior à do ano de 1979, mas a baixa temperatura neste ano fez com que o ciclo da cultura aumentasse em 10 dias.

Palavras-chave: simulação, modelo CERES-Maize, radiação solar, produtividade.

ABSTRACT. Solar radiation effects on maize yield, *Zea mays* L., values simulated by CERES-Maize model. Data used in this work were simulated by CERES-Maize model, included in DSSAT 3.0 version software. Research with BR-201-Embrapa maize cultivar was undertaken in Janaúba, state of Minas Gerais, Brazil. Simulation was effected for sowing on the 15th May, with climatic data comprising the 1977-1995 period, without water stress. The relationship between solar radiation and simulated crop yield during years with lower and higher crop yield was investigated. It included also two years in which productivity was very similar. Solar radiation value affected the simulated crop yield by CERES-Maize model. The years of high and low yields were compared and both were affected by the distribution of radiation during the crop cycle. However, difference in solar radiation from the flowering period till physiological maturity determined yield differences. 1979 and 1994 yields were similar. Average solar global radiation during the crop cycle in 1994 was higher than that of the 1979 one. Low temperature during the latter increased the crop cycle by 10 days.

Key words: simulation, CERES-Maize model, solar radiation, crop yield.

Os modelos de simulação são ferramentas que permitem gerar cenários, considerando as diversas combinações dos fatores que influenciam na produtividade das culturas. Desta forma, é possível avaliar as estratégias mais adequadas em cada condição específica, possibilitando modificar a estratégia de irrigação para prever as alterações nos componentes de produção e de outras variáveis,

como a evapotranspiração e as necessidades de água da cultura. Além disso, é possível combinar os resultados do modelo com os fatores econômicos, para a análise de riscos associados a cada estratégia (Jones e Ritchie, 1990).

Modelos de crescimento de culturas de diferentes níveis de complexidades estão disponíveis. No entanto, a maioria integra os efeitos das

características físicas e hídricas do solo, a cultura e as condições climáticas, para estimar a produtividade das culturas em resposta a diversos fatores ambientais e à disponibilidade de água no solo. Tais modelos apresentam potencial para serem utilizados no manejo de irrigação.

Os modelos de crescimento de culturas apresentam potencial de uso para responder questões em pesquisa, manejo de culturas e planejamento, auxiliando no entendimento sobre as interações genéticas, fisiológicas e do ambiente, como também nas decisões de práticas culturais antes e durante o período da cultura no campo, como aplicações de fertilizantes e irrigação (Boote et al., 1996).

O modelo CERES-Maize está agrupado em um Sistema de Suporte à Decisão para Transferência de Tecnologia (DSSAT) e tem sido amplamente utilizado em todo o mundo. Ele considera o processo do balanço de água no solo, a interceptação da radiação pelo dossel, a produção de matéria seca e a partição da biomassa (Kiniry et al., 1997). A versão 3.1 deste "software" permite ao usuário obter o desempenho espacial das simulações e das análises dos resultados (Thornton et al., 1997).

O modelo CERES (*Crop Environment Resource Synthesis*) foi desenvolvido pelo *Grassland Soil and Water Research Laboratory* (Jones e Kiniry, 1986). Dentre os modelos CERES, o CERES-Maize foi desenvolvido para a cultura do milho e permite as simulações dos principais processos físicos e fisiológicos: fotossíntese; respiração; acumulação e partição da biomassa; fenologia; crescimento foliar de caules e de raízes; extração de água do solo e evapotranspiração. Os modelos de simulação CERES estão agrupados em um Sistema de Suporte à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT), no qual se encontram os vários modelos, para as diferentes culturas: milho (CERES-Maize), trigo (CERES-Wheat), sorgo (CERES-Sorghum), arroz (CERES-Rice), cevada (CERES-Barley), girassol (CERES-Sunflower), entre outros (Ibsnatt, 1989).

O alcance da aplicabilidade de modelos localizados pode se estender para o planejamento regional e para a análise da produtividade, pela combinação de suas capacidades com os sistemas de informações geográficas (Cabelguenne et al., 1995).

Cabelguenne e Jones (1989) e Lal et al. (1993) utilizaram modelos de simulação para definir as estratégias de irrigação e manejo e para o estudo da viabilidade econômica das culturas.

A programação da irrigação para a cultura do milho exige o conhecimento de métodos para

determinar o tempo de aplicação de água. Gedanken (1998) utilizou o modelo CERES-Maize para simular os dados de produtividade da cultura do milho, com o objetivo de avaliar as estratégias de irrigação, para duas localidades do Estado de Minas Gerais. Os dados foram simulados para as datas de semeadura, de 15/5, 15/10 e 15/12 e duas lâminas de irrigação, de 8 e 20 mm. Os resultados mostraram que a aplicação da lâmina de 20 mm apresentou maior relação custo-benefício, para todas as datas de semeadura.

Pang et al. (1997) avaliaram o modelo CERES-Maize para as condições de clima árido, comparando os valores simulados com os experimentais, para os tratamentos 0, 90, 180 e 360 kg de N ha⁻¹ e três níveis de irrigação 1/3, 3/3 e 5/3 de ET, os quais foram iguais a 200, 600 e 1.000 mm de água, respectivamente. As médias para os valores simulados de produtividade para todos os tratamentos foram 93, 102 e 105%, respectivamente, dos valores experimentais obtidos.

A taxa de retirada de água do solo pela cultura do milho foi avaliada mediante o uso de três algoritmos de modelos de simulações de crescimento de culturas: CropSyst, CERES e EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*). Os resultados das simulações foram comparados com as medidas de fluxo de seiva e o conteúdo de umidade do solo para a cultura do milho, sob condição de irrigação e sequeiro. O desempenho dos algoritmos foi similar para a taxa de retirada de água do solo. Para o tratamento irrigado, a raiz quadrada do erro médio foi de 0,27 a 0,28 mm.d⁻¹ e o erro relativo foi de 7,0 a 7,2%. Nos tratamentos sem irrigação, houve um pequeno acréscimo do erro (Jara e Stockle, 1999).

Os modelos CERES-Maize (Jones e Kiniry, 1986) e ALMANAC (*Agricultural Land Management Alternatives with Numerical Assessment Criteria*) (Kiniry et al., 1997), embora tenham componentes de evapotranspiração, balanço de água no solo e crescimento de culturas similares, diferem na simulação de produção de grãos, pois o modelo ALMANAC simula a produção de grãos com base no índice de colheita. Kiniry et al. (1997) utilizaram os dois modelos para simular os valores de produtividade da cultura do milho para as condições de nove localidades dos Estados Unidos, usando uma série de dados de clima de 1983 a 1992. As produtividades de grãos simuladas foram comparadas com as publicadas pela NASS (*National Service Agricultural Statistical*). O modelo de regressão para os valores medidos como função dos valores simulados não foi significativo para dois locais, quando o modelo CERES-Maize foi utilizado, e

para três locais, para os dados simulados, pelo modelo ALMANAC. A raiz quadrada do erro médio foi de 1.800 kg ha⁻¹. Deve-se ressaltar que, para o modelo linear ajustado entre valores medidos e estimados, a inclinação não diferiu de 1,0 e o intercepto não diferiu de zero para seis localidades, para ambos os modelos. Eles foram testados por Kiniry e Bockholt (1998) para diversas condições de clima e solo do estado do Texas, EUA. A média da produtividade simulada foi de aproximadamente 10% dos valores medidos.

Steele *et al.* (1997) utilizaram o modelo para estimar o uso eficiente da água em cultura de milho-pipoca, instalada na Dakota do Norte, EUA, para vários tratamentos, cuja reposição de água ao solo era baseada em vários manejos.

Comparações de esquemas de manejo de irrigação na cultura do milho foram realizadas por Steele *et al.* (1994), na Dakota do Norte, EUA, para oito tratamentos: irrigados, quando a água disponível no solo alcançou 40% de depleção (T₁); 0,5 ET (T₂); T₃ T₄ T₆, com base no índice de estresse de água na planta 0,2, 0,4 e 0,6 de "CWSI - crop water stress index", respectivamente; T₅ e T₇, irrigados, quando a tensão de água no solo atingiu 50 e 30 kPa, respectivamente; e T₈, irrigado utilizando o modelo CERES-Maize. Em termos de produtividade por unidade de evapotranspiração, o melhor método foi o T₅, que resultou em produtividade máxima de 12.200 kg.ha⁻¹, para uma redução estatisticamente significativa de 139 mm na lâmina de água aplicada, quando comparada com a do T₁. Todos os tratamentos, quando comparados com o tratamento de referência (T₁), apresentaram significativa redução na lâmina de água aplicada, sem diminuição significativa na produtividade, exceto o T₅, no qual ocorreu uma redução de 1.600 kg ha⁻¹.

Llewellyn e Featherstone (1997) utilizaram, no Estado do Kansas, EUA, o modelo CERES-Maize para simular dados da resposta da cultura do milho a doses de nitrogênio e à lâmina de água, para efetuar a análise dos dados com as funções da forma: quadrática, raiz quadrada, Mitscherlig-Baule, linear von Liebig e não-linear von Liebig.

O conhecimento da demanda de água, durante os períodos de severos déficits hídricos, é necessário para o desenvolvimento do manejo da água. Hook (1994) trabalhou com uma série de 53 anos de dados climáticos, de 36 localidades do Estado da Geórgia, EUA, para simular as perdas na produtividade, utilizando o modelo CERES-Maize. Nos anos em que ocorreram as condições mais severas de déficit hídrico, as perdas na produtividade da cultura do milho foram, aproximadamente, de 75%.

Com o objetivo de avaliar a lucratividade e os riscos da cultura do milho em áreas irrigadas, Epperson *et al.* (1992) simularam os dados de produtividade associados com lâminas de água, para a região da Geórgia, EUA, para diversas estratégias de irrigação.

Wafula (1995) testou uma versão adaptada para as condições do Quênia, África. As variáveis simuladas foram razoavelmente próximas das experimentais, para diferentes localidades. Com uma série de 30 anos de dados climáticos, foi simulada a produtividade da cultura, combinando várias estratégias de manejo, com o objetivo de auxiliar os produtores nas tomadas de decisão a respeito do manejo e das implicações econômicas. O modelo também foi utilizado para simular os dados de produtividade na Hungria (Kovacs *et al.*, 1995) e na França (Plantureux *et al.*, 1991).

No Brasil, o modelo foi testado por Lima (1995), para as condições de Piracicaba, Estado de São Paulo. Os valores simulados foram comparados com os obtidos em experimento de campo. Os resultados mostraram que o modelo estimou satisfatoriamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do milho. Gedanken (1998) utilizou o modelo para avaliar estratégias de irrigação, para duas localidades do Estado de Minas Gerais: Sete Lagoas e Janaúba.

Bowen *et al.* (1993) testaram a sub-rotina de nitrogênio do modelo CERES-Maize, com dados experimentais obtidos no Centro de Pesquisa dos Cerrados-Embrapa, quanto à simulação da mineralização de N, à lixiviação de nitrato e à absorção de N pela cultura do milho, para dez diferentes adubos verdes, com a taxa de N variando de 25 a 300 kg ha⁻¹ e a relação de C/N variando de 13 a 37. Para todos os adubos verdes, os dados simulados e medidos mostraram que, em torno de 60% do N orgânico, foi recuperado como N inorgânico no intervalo de 120 a 150 dias após a incorporação. Para a situação de precipitação excessiva, foi realizada uma modificação no modelo para retardar a lixiviação em razão da retenção do nitrato no subsolo. A absorção de N pela cultura do milho foi superestimada para os altos níveis de N.

O objetivo do presente trabalho foi analisar a influência da radiação solar nos valores de produtividades da cultura do milho, *Zea mays* L. (Poaceae) simulados pelo modelo CERES-Maize para semeadura em 15 de maio para as condições da região de Janaúba, Estado de Minas Gerais.

Material e métodos

Condições da simulação

Para gerar os valores de produtividade da cultura do milho utilizados nas análises do presente trabalho, foi utilizado o programa de simulação CERES-Maize, que está inserido dentro do pacote DSSAT 3.0.

Nas simulações, foi utilizado o cultivar de milho BR-201, desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo (CNPMS) da Embrapa, que ocupava, no ano de 1995, entre 5 e 7% da área semeada com a cultura no Brasil. O BR-201 é um híbrido duplo de milho, desenvolvido para os solos ácidos e/ou férteis, adaptados às condições dos cerrados brasileiros. Os valores de coeficientes fenotípicos utilizados pelo modelo foram obtidos pela Embrapa, milho e sorgo (Embrapa, 1994). As simulações de produtividade do cultivar foram realizadas para o município de Janaúba (15°03'latitude sul e longitude de 44°01'; altitude de 709 m).

As características físicas e hídricas do solo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e hídricas do solo do município de Janaúba, Estado de Minas Gerais

Camada de Solo (cm)	Capacidade de Campo (θ_{CC}) (cm ³ cm ⁻³)	Ponto de Murcha (θ_{pmp}) (cm ³ cm ⁻³)	Umidade de Saturação (θ_S) (cm ³ cm ⁻³)	Densidade do Solo (g cm ⁻³)
0-20	0,253	0,114	0,416	1,49
20-40	0,261	0,124	0,408	1,49

Cálculo da matéria seca

O modelo CERES-Maize utiliza a equação 1, para calcular a matéria seca potencial produzida em condições de ótima temperatura e umidade no solo. Além disso, o modelo utiliza a lei de Beer para calcular interceptação da radiação solar.

Em condições em que não há estresse, 5,0 g de biomassa são produzidas para cada MJ de radiação fotossinteticamente ativa interceptada.

$$PCARB = \frac{5,0 * PAR * (1,0 - \exp(-0,65 * LAI))}{Plants} \quad (1)$$

em que

PCARB: carbono produzido; g/planta

PAR: Radiação fotossintética ativa; MJ.m⁻²

LAI: Índice de área foliar; e

Plants: número de plantas por metro quadrado.

O modelo penaliza a produção de matéria seca utilizando os seguintes fatores de estresse: um fator de deficiência hídrica, que a relação entre o potencial

total diário de ascensão de água pelas raízes e transpiração, um fator de nitrogênio e, em relação à temperatura do ar, utiliza o fator calculado pela equação 2. As simulações, neste trabalho, foram realizadas de forma que a cultura não fosse submetida a estresse em razão da deficiência hídrica e de nitrogênio. Nas simulações realizadas para avaliar o efeito da radiação solar na produtividade, levou-se em consideração apenas o fator de penalização devido à temperatura do ar. O modelo considera a temperatura de 26°C, como sendo a ótima.

$$PRFT = 1 - 0,0025 * ((0,25 * TEMPMN + 0,75 * TEMPMX) - 26)^2 \quad (2)$$

em que:

TEMPMN: temperatura mínima, em °C; e

TEMPMX: temperatura máxima, em °C

Períodos analisados

Os anos em que ocorreram a maior e a menor produtividade da cultura do milho, 1984 e 1988, respectivamente, foram analisados quanto aos aspectos que propiciaram essa diferença na produtividade. Também foram analisados os anos nos quais ocorreram valores de produtividades semelhantes, 1990 e 1993.

Resultados e discussão

Na Figura 1, podem ser observados os valores das produtividades simuladas e a radiação solar global média durante o ciclo da cultura. A produtividade e a radiação solar global média apresentaram correlação significativa pelo teste de Pearson para $p \leq 5\%$. No ano de 1994, ocorreu a maior radiação solar global incidente média durante o ciclo da cultura, 21,4 MJ.m⁻².d⁻¹. A produtividade média, para o período de 18 anos, foi de 6.285 kg.ha⁻¹ e desvio padrão foi de 460 kg.ha⁻¹. A radiação solar global média para o período foi de 19,0 MJ.m⁻².d⁻¹ e desvio padrão de 0,76 MJ.m⁻².d⁻¹.

Na Figura 2, é apresentada a radiação solar global, durante o ciclo da cultura, para os anos de 1984 e 1988, quando ocorreram, respectivamente, a menor e a maior produtividade. Na Figura 3, plotou-se a radiação, durante o ciclo da cultura, quando as produtividades foram semelhantes, para o ano de 1979 e 1994, respectivamente.

A radiação solar global, durante o ciclo da cultura do milho, semeada em 15 de maio de 1984, ano em ocorreu a menor produtividade, foi 17,8 MJ.m⁻².d⁻¹, enquanto para ano de 1998, ano de maior produtividade, foi de 19,7 MJ.m⁻².d⁻¹. As produtividades para anos de 1984 e 1988 foram de 7.035 e 4.886 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Na Tabela 2, encontram-se os valores de radiação solar global que ocorreram entre o florescimento e a maturidade fisiológica, período esse que teve uma duração de 52 dias, iniciado em 19 de julho e finalizado em 09 de setembro. A quantidade de matéria seca produzida pela cultura do milho, no ano de 1984 e 1988, foi de 9.227 e 8.656 kg ha⁻¹, respectivamente. A diferença de valores da radiação solar global entre os dois períodos proporcionou as diferenças de produtividades. As produtividades máximas e mínimas ocorreram nestes anos, respectivamente, enquanto, a matéria seca produzida pela cultura do milho, nos dois anos, apresentou valores semelhantes. Isto ocorreu em razão dos valores da radiação solar global serem aproximadamente iguais, da emergência até início do florescimento, que apresentaram os valores 18,1 e 18,3 MJ.m⁻².d⁻¹ e um coeficiente de variação de 2,5 e 2,0%, para os anos de 1984 e 1988, respectivamente (Figura 2). Esta ínfima diferença entre os valores e o baixo coeficiente de variação dos valores de radiação solar global proporcionou valores de matéria seca produzida muito semelhantes.

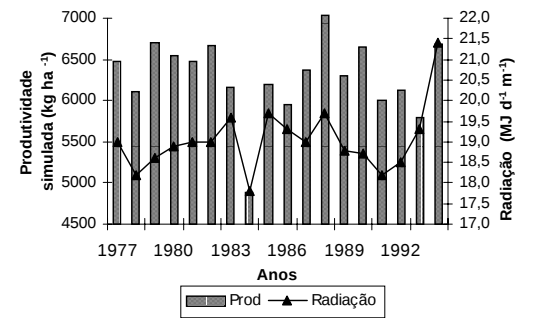


Figura 1. Valores de produtividade simulados e radiação solar global média no período de 1977 a 1995, para região de Janaúba, Estado de Minas Gerais

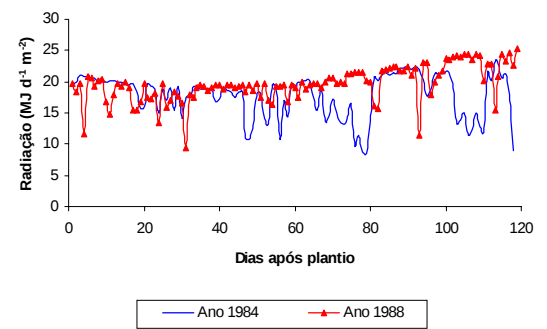


Figura 2. Radiação solar global ocorrida durante o ciclo da cultura para os anos de 1984 e 1988, com semeadura em 15 de maio

Tabela 2. Radiação solar global (MJ m⁻² d⁻¹) do período do florescimento até maturidade fisiológica

Ano	Média	Desvio	CV	Máximo	Mínimo
1984	17,5	4,4	25,2	23,6	8,4
1988	21,4	2,6	12,0	24,6	11,4

Na Figura 3, observa-se que a radiação solar global no ciclo da cultura, a partir de 43 DAP (dias após o plantio), no ano de 1979, apresentou valores superiores aos ocorridos no mesmo período do ano de 1994. A despeito da diferença de radiação solar global no período, como pode ser observado na Figura 3 e na Tabela 3, as produtividades de milho foram respectivamente 6.708 e 6.693 kg ha⁻¹ para os anos de 1979 e 1994.

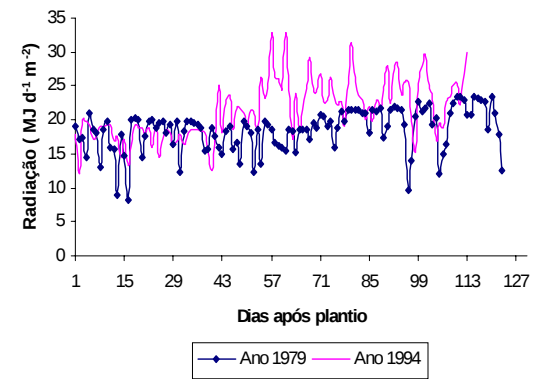


Figura 3. Radiação solar global ocorrida durante o ciclo da cultura para os anos de 1979 e 1994, com semeadura em 15 de maio.

Observa-se, na Tabela 3, que a média da radiação solar global no período do florescimento até maturidade fisiológica para ano de 1994 foi superior ao de 1979. Este período foi de 50 e 51 dias, enquanto a duração do ciclo da cultura foi de 112 e 122 dias, respectivamente. Apesar da menor radiação solar global média durante o ciclo da cultura em 1979, a temperatura média foi inferior a ocorrida durante o ciclo em 1994, o que fez com que o ciclo da cultura tivesse uma maior duração (Figura 4).

A matéria seca total produzida foi de 14.722 e 14.696 kg.ha⁻¹, devido ao efeito da radiação solar incidente, durante o ciclo da cultura que foi 2.285 e 2.420 MJ.m⁻², para os anos de 1994 e 1979, respectivamente.

Tabela 3. Valores de radiação no período do florescimento até à maturidade fisiológica para os anos de 1979 e 1994

Ano	Média	Desvio	CV	Máximo	Mínimo
1979	18,6	3,1	15,3	23,5	9,6
1994	21,4	3,5	14,7	31,4	15,1

Os valores de radiação solar global influenciaram os valores da produtividade da cultura simulada pelo modelo CERES-Maize. Compararam-se os anos de maior e menor produtividades, e essas foram afetadas pela distribuição de radiação ao longo do ciclo da cultura. Entretanto, a diferença de radiação ocorrida no período de florescimento até à maturidade fisiológica foi determinante para que ocorressem as diferenças na produtividade. Nos anos em que ocorreram produtividades semelhantes, a radiação solar incidente média, durante o ciclo da cultura, no ano de 1994 foi superior ao do ano de 1979, mas a baixa temperatura nesse ano, fez com que o ciclo da cultura aumentasse em 10 dias e os valores de produtividade fossem semelhantes.

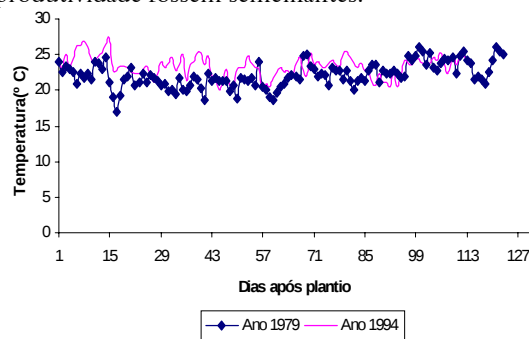


Figura 4. Temperatura média do ar durante o ciclo da cultura para os anos de 1979 e 1994, com semeadura em 15 de maio

Referências

- BOOTE, K. J. *et al.* Potential uses and limitations of crop models. *Agron. J.*, Madison, v.88, p.704-716, 1996.
- BOWEN, W.T. *et al.* Evaluation of the nitrogen submodel of CERES-Maize following legume green manure incorporation. *Agron. J.*, Madison, v.85, p.153-159, 1993.
- CABELGUENNE, M.; JONES, C. A. Simulation of cropping systems in Southern France. In: SUMMER COMPUTER SIMULATION CONFERENCE, Austin, Texas, 1989. *Proceedings...* Austin, Texas: 1989. p.707-711.
- CABELGUENNE, M. *et al.* Strategies for limited irrigation of maize in southwestern France - a modeling approach. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.38, p.507-511, 1995.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Período 1992-1993. Sete Lagoas, 1994.
- EPPELSON, J. E. *et al.* Stochastic-dominance analysis for more profitable and less irrigation of corn. *J. Prod. Agric.*, Madison, v.5, p.243-247, 1992.
- GEDANKEN, A. *Utilização do modelo CERES-Maize para avaliar estratégias de irrigação em duas regiões de Minas Gerais.* 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- HOOKE, J.E. Using crop models to plan water withdraws for irrigation in drought years. *Agric. Syst.*, Kidington, v.45, n.3, p.271-289, 1994.
- IBSNAT. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer - project 1989a. *Documentantion for IBSNAT Crop Models Input & Output Files Version 1.1:* for the decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT V. 2.1). IBSNAT project, Honolulu: University of Hawaii, 1989a.
- JARA J.; STOCKLE, C. O. Simulation of water uptake in maize, using different levels of process detail. *Agron. J.*, Madison, v.91, p.256-265, 1999.
- JONES, C.A.; KINIRY, J. R. *CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development.* College Station: Texas A & M University Press, 1986.
- JONES, J. W., RITCHIE, J. T. Crop growth models. In: HOFFMANN, G.L. *et al.* (Ed.). *Management of farm irrigation system.* S.L., 1990. p.63-89.
- KINIRY J. R. *et al.* Evaluation of two maize models for nine U. S. locations. *Agron. J.*, Madison, v.89, p.421-426, 1997.
- KINIRY, J. R.; BOCKHOLT, A. J. Maize and sorghum simulation in diverse Texas environments. *Agron. J.*, Madison, v.90, p.682-687, 1998.
- KOVACS, G. J. *et al.* Testing simulation models for the assessment of crop production and nitrate leaching in Hungary. *Agric. Syst.*, Kidington, v.49, p.385-397, 1995.
- LAL, H. *et al.* Using crop simulation models and GIS for regional productivity analysis. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.36, p.175-184, 1993.
- LIMA, M. G. *Calibração e validação do modelo CERES-Maize em condições tropicais do Brasil.* 1995. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1995.
- LLEWELYN, R. V.; FEATHERSTONE, A.M. A comparison of crop production functions using simulated data for irrigated corn in western Kansas. *Agric. Syst.*, Kidington, v.54, n.4, p.521-538, 1997.
- PANG, X. P. *et al.* Yield and nitrogen uptake prediction by CERES-Maize model under semiarid conditions. *Soil Sci.*, Baltimore, v.61, p.254-256, 1997.
- PLANTUREUX, S. *et al.* Evaluation and sensitivity analysis of the CERES-Maize model in North-Eastern France. *Agronomie*, Paris, v.11, p.1-8, 1991.
- STEELE, D. D. *et al.* Field comparison of irrigation scheduling methods for corn. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.37, n. 4, p.1197-1203, 1994.
- STEELE, D. D. *et al.* Field comparison of irrigation scheduling methods for corn. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.37, n. 4, p.1197-1203, 1997.

THORNTON, P. K. *et al.* A computer program for geostatistical and spatial analysis of crop model outputs. *Agron. J.*, Madison, v.89, p.620-627, 1997.

WAFULA, B. M. Applications of crop simulation in agricultural extension and research in Kenya. *Agric. Syst.*, Kidington, v.49, n.4, p.399-412, 1995.

Received on July 11, 2001.

Accepted on September 28, 2001.