



Simulação da produtividade do milho pelo modelo CERES-Maize em função da lâmina e da uniformidade de aplicação de água¹



Paulo S. L. de Freitas², Everardo C. Mantovani³, Gilberto C. Sedyama⁴ & Luiz C. Costa⁵

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor

² DAG/UEM. Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, PE. Fone: (44) 261-4316. E-mail: pslfreitas@uem.br (Foto)

³ DEA/UFV. CEP 36571-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3899-1913. E-mail: everardo@ufv.br

⁴ DEA/UFV. Fone: (31) 3899-1913. E-mail: sedyama@ufv.br

⁵ DEA/UFV. Fone: (31) 3899-1913. E-mail: l.costa@ufv.br

Protocolo 85 - 8/5/2003 - Aprovado em 7/2/2004

Resumo: Com este trabalho, pretende-se comparar os dados simulados pelo modelo CERES-Maize, incorporado ao pacote DSSAT 3.5, com os dados do experimento instalado em campo, onde foi avaliada a influência da uniformidade de aplicação de água, por um sistema de aspersão convencional, na produção da cultura do milho. Os tratamentos consistiram de cinco lâminas d'água aplicadas com duas uniformidades: uma alta (> 80%) e outra baixa (< 70%). O modelo CERES-Maize simulou consistentemente a produtividade, o IAF e a matéria seca para a maioria dos tratamentos. O modelo subestima a produtividade da cultura nos tratamentos em que ocorreram déficit hídrico acentuado. Para os tratamentos em que há aplicação de uma lâmina d'água superior à adequada, o modelo simula valores pouco superiores aos experimentais.

Palavras-chave: modelagem, produtividade, *Zea mays* L.

Simulation of productivity of maize crop as a function of water depth and application uniformity

Abstract. This study was carried out to compare the data simulated by CERES-Maize model, which is included into the package DSSAT 3.5, to the data obtained from an experiment set up in the field for evaluating the influence of the depth and uniformity of water application by a conventional sprinkler irrigation system on the yield of maize crop. The treatments consisted of five water depths applied with two uniformities, that is, a high (> 80%) and a low one (< 70%). The CERES-Maize model showed a high performance, when simulating the productivity, leaf area index, and dry matter for most of the treatments. The model underestimated the crop productivity in those treatments where a high water deficit occurred. For the treatments receiving a water depth higher than that known to be appropriate, the values simulated by the model were slightly higher than the experimental ones.

Key words: modeling, productivity, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

Os modelos de simulação são ferramentas que permitem gerar cenários, considerando-se as diversas combinações dos fatores que influenciam a produtividade das culturas. Desta forma, é possível avaliar as estratégias mais adequadas em cada condição, podendo-se 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 disto, é possível, também, combinar os resultados do modelo com os fatores econômicos, para a análise de riscos associados a cada estratégia (Jones & Ritchie, 1990).

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, e 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). Sua versão 3.1 ensina ao usuário obter o desempenho espacial das simulações e das análises dos resultados (Thornton et al., 1997).

O CERES-Maize, apesar de sua complexidade, não leva em conta o efeito da uniformidade de aplicação de água nos componentes de produção da cultura do milho. Alguns autores desenvolveram modelos empíricos nos quais o efeito da uniformidade de aplicação de água nos componentes de produção é considerado (Seginer, 1978; Letey et al., 1984; Mantovani et al., 1995; Li, 1998).

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 plantio de 15/5, 15/10 e 15/12 1999 e duas lâminas de irrigação de 8 e 20 mm, cujos resultados mostraram que a aplicação da lâmina de 20 mm apresentou maior relação custo-benefício, para todas as datas de plantio.

Pang et al. (1997a) avaliaram o modelo CERES-Maize para as condições de clima árido, comparando os dados 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.

No Brasil, o modelo foi testado por Lima (1995), para as condições de Piracicaba, SP e os dados simulados foram comparados com os obtidos em experimento de campo. Os resultados indicaram que o modelo estimou satisfatoriamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do milho.

A influência da uniformidade de irrigação de água na produtividade das culturas e na lixiviação de nitrogênio foi avaliada por Pang et al. (1997b), com uso do modelo CERES-Maize. Para introduzir o efeito da uniformidade de aplicação de água na produtividade, os autores utilizaram a metodologia proposta por Letey et al. (1984). As simulações foram realizadas para os níveis de uniformidade de aplicação, isto é, para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) de 100, 90 e 75%, e dois níveis de aplicação de nitrogênio 180 e 240 kg ha⁻¹. Não ocorreu diferença de produtividade entre os tratamentos com a uniformidade de aplicação de água de 90 e 100%, porém a produtividade foi menor para o tratamento de CUC de 75%. A redução na produtividade começou a partir da aplicação de lâminas d'água superiores a 400 mm, e a máxima redução ocorreu para o nível de 800 mm de aplicação de água. A desuniformidade de irrigação aumentou a lixiviação de nitrogênio, sendo a taxa máxima de lixiviação de 10 a 15 kg ha⁻¹.

Com o presente trabalho, objetivou-se comparar os dados experimentais e os simulados, utilizando-se o modelo CERES-Maize, inserido no pacote DSSAT, nas condições do experimento realizado em campo: duas uniformidades de irrigação e cinco lâminas d'água, no período das secas.

MATERIAL E MÉTODOS

As simulações foram realizadas com o modelo CERES-Maize, que está inserido no pacote DSSAT 3.5 (IBSNAT), para as condições de um experimento de campo denominado influência de duas uniformidades e cinco lâminas de irrigação na cultura

do milho. O experimento foi instalado na Estação Experimental de Coimbra, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, MG, localizada nas coordenadas geográficas: latitude de 20° 51' S, longitude de 42° 47' W altitude de 720 m. O solo do local é Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico, cujas características físicas estão apresentadas na Tabela 1.

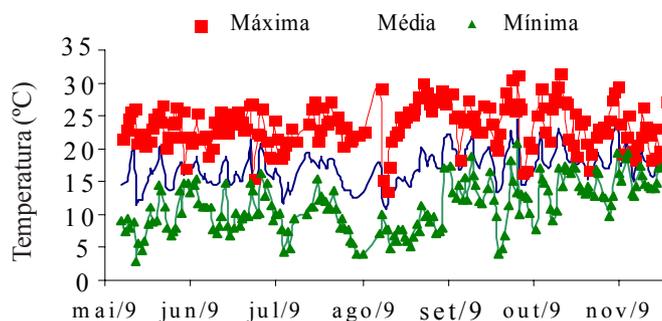
Tabela 1. Características físico-hídricas do solo

Camada (cm)	Capacidade de Campo	Ponto de murcha	Densidade aparente
0-20	42,6	30,0	1,05
20-40	45,0	32,0	1,09

Dados utilizados nas simulações

Os dados meteorológicos foram obtidos de uma estação automática instalada próximo ao experimento, coletando-se os dados de precipitação, temperaturas máxima, média e mínima (Figura 1), radiação solar, umidade relativa e velocidade e direção do vento.

A.



B.

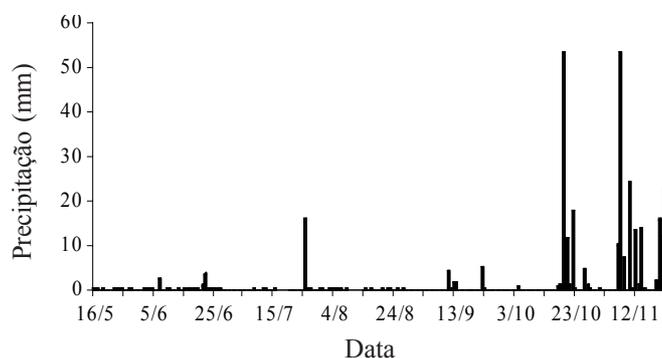


Figura 1. Dados de temperatura (A) e precipitação pluvial (B) ao longo do ciclo da cultura

As simulações foram realizadas levando-se em conta as lâminas d'água precipitadas em cada coletor de água de irrigação, das 25 irrigações, coletores nas parcelas experimentais (Figura 2), e também para os valores médios de lâminas d'água aplicadas nos tratamentos.

A semeadura foi realizada no dia 17 de maio e a colheita em 23 de novembro de 1999, tendo-se utilizado milho cultivar BR-201. Nas Tabelas 1 e 2 tem-se as características físico-hídricas e granulométrica do solo, respectivamente.

Tabela 2. Análise granulométrica do solo

Camada (cm)	Areia grossa	Areia fina (%)	Silte	Argila
0 - 20	8	3	18	71
20 - 40	5	3	6	86
40 - 60	2	2	27	69
60 - 80	2	1	39	58

Delineamento do experimento de campo

O experimento de campo foi instalado de acordo com o esquema apresentado na Figura 2. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso e os tratamentos constaram de cinco lâminas e duas uniformidades de irrigação (CUC): alta (84%) e baixa (67%), aproximadamente. A coleta dos dados para análise foi realizada em áreas em torno dos coletores instalados nas parcelas, com o objetivo de se analisar a influência da água aplicada nos componentes de produção da cultura. No tratamento L1A aplicou-se uma lâmina d'água suficiente para elevar a umidade do solo, determinada antes da irrigação, até que fosse atingida a capacidade de campo que, doravante, será denominada lâmina d'água adequada. As lâminas aplicadas nos demais tratamentos foram relativas ao tratamento L1A, da seguinte forma: no tratamento L2A, L3A, L4A e L5A, foram aplicados 50, 75, 125 e 150% da lâmina, respectivamente, com uniformidade de aplicação alta (CUC>80%). No L1B, L2B e L3B aplicaram-se 50, 75 e 100%, respectivamente, da lâmina aplicada em L1A, com uniformidade de aplicação baixa (CUC<70%). Para a análise estatística do experimento, fez-se a seguinte consideração: para os tratamentos L1A, L1B, L2A, L2B e L3B, foram feitas três repetições com nove coletores de água, totalizando 27 coletores; para os outros tratamentos, L3A, L4A e L5A, utilizaram-se três repetições, com três coletores cada uma totalizando nove coletores. Para a análise estatística e se comparando todos os tratamentos, considerou-se apenas o bloco 3 (Figura 2).

Confecção dos arquivos para realização das simulações com o modelo CERES-Maize

Para a realização das simulações foi necessário obter-se os dados de clima e solo e os coeficientes genéticos da cultura do milho. Para preencher o arquivo de clima, utilizaram-se os dados de temperaturas máxima e mínima, precipitação e radiação solar obtidos de uma estação meteorológica instalada no experimento de campo (Figura 2), no período de 17 de maio a 31 de dezembro de 1999. O arquivo de solo foi criado com os dados de solo do experimento (Tabelas 1 e 2) e o arquivo com os dados genéticos da cultura foi o determinado por Gendaken (1998). Os coeficientes genéticos da cultivar, determinados em campo por Gendaken (1998), são: P1=275,2; P2=0,75; P5 =780 G2=902 e G3=5,00.

Para o manejo da irrigação foram inseridos, no modelo, para cada tratamento, os valores das lâminas d'água coletadas em cada pluviômetro, nas 25 irrigações realizadas, instalados no experimento (Figura 2). As simulações foram realizadas para cada área em torno dos pluviômetros, totalizando 162 simulações, para mesmo solo, clima e cultura, porém para lâminas distintas d'água aplicadas.

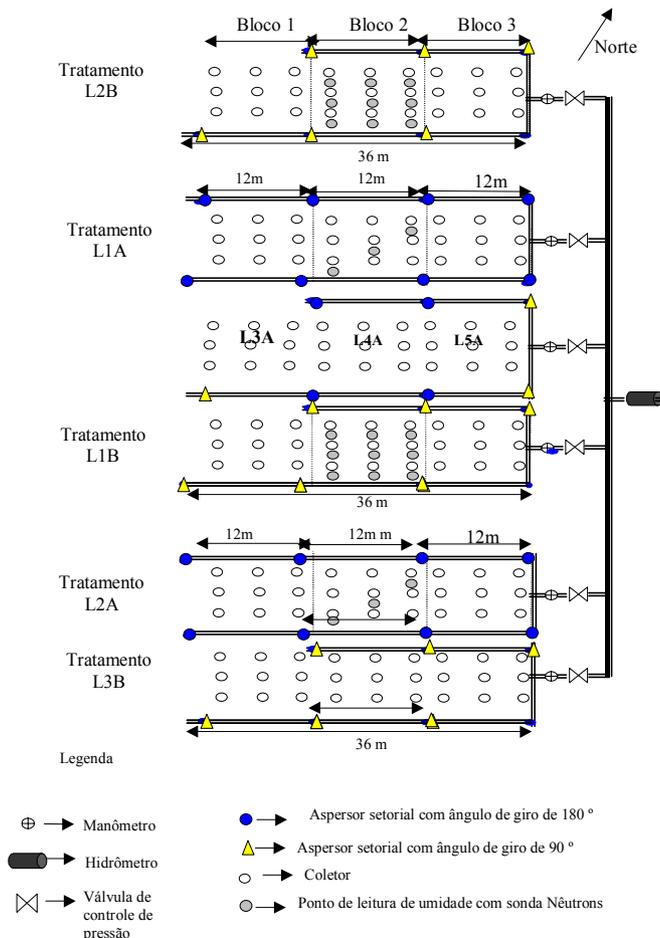


Figura 2 - Esquema do experimento de campo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variáveis de produção da cultura do milho

As comparações entre as produtividades, os índices de áreas foliares e as matérias secas totais simuladas e as experimentais, foram realizadas por meio do teste F, a 5% de probabilidade.

Analisando-se a Figura 3A e B, vê-se que, para a maioria das lâminas d'água, os dados simulados da produtividade são inferiores aos experimentais, sendo 5.114 e 6.038 kg ha⁻¹, respectivamente, porém o índice de área foliar médio simulado foi superior ao experimental, com média de 2,1 e 1,9, respectivamente. A matéria seca total experimental foi de 12.986 kg ha⁻¹ e a simulada de 10.958 kg ha⁻¹. A produtividade simulada apresentou acréscimos com o aumento da lâmina d'água aplicada, enquanto a produtividade experimental mostra oscilações com o aumento da lâmina d'água, sem apresentar tendência de acréscimo ou decréscimo.

Analisando-se determinada área no tratamento observa-se que a produtividade simulada para a lâmina d'água de 282 mm foi de apenas 198 kg ha⁻¹, menor que a produtividade simulada de 2.506 kg ha⁻¹, para lâmina d'água acumulada de 271 mm, pois as lâminas d'água aplicadas ao longo do ciclo da cultura (total de 282 mm), no tratamento L1A (Figura 3A), foram de apenas 2 mm, na irrigação realizada no dia 9 de setembro, o que propiciou ao modelo uma penalização severa na produtividade. Se a lâmina d'água, aplicada no dia 9 de setembro fosse no mínimo de 5 mm,

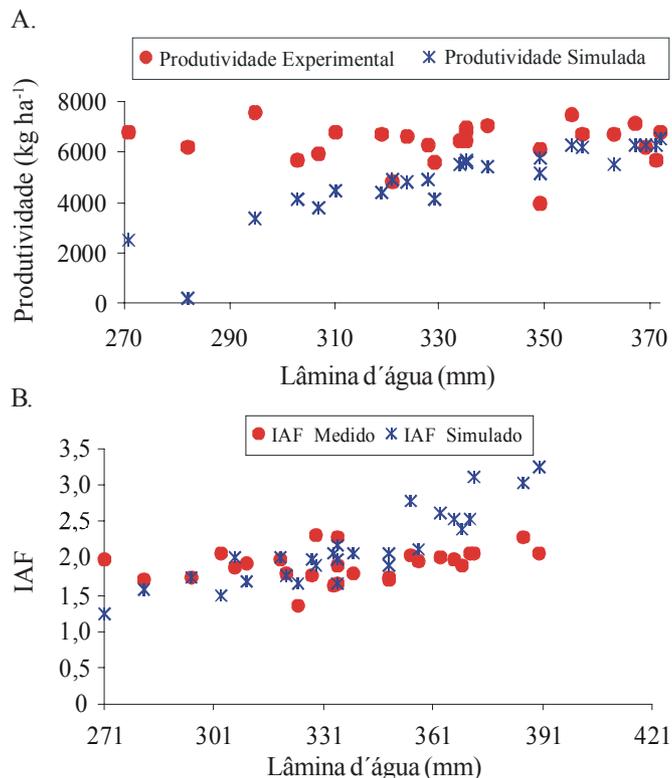


Figura 3. Produtividade experimental, produtividade simulada (A), índice de área foliar medido e índice de área foliar simulado (B) para o tratamento L1A

o modelo não penalizaria a produtividade tão severamente, e esta seria de 2.200 kg ha⁻¹.

Os valores da produtividade tratamento L1B não apresentaram significância a 5% de probabilidade, enquanto o índice de área foliar foi significativo. As produtividades médias, os índices de áreas foliares e as matérias secas totais experimental e simulada, foram 4.675 e 4.453 kg ha⁻¹; 1,5 e 2,0; e 8.846 e 10.039 kg ha⁻¹, respectivamente. A análise de variação para a mesma lâmina d'água L1, mas para o CUC alto (84%) e baixo (67%), mostra que para o CUC alto, Figura 3 (A), a diferença apresentada foi de 1.270 kg ha⁻¹ na produtividade, pelo fato do modelo simular uma produtividade, inferior à experimental, em razão da penalização da produtividade mas para o tratamento com o CUC baixo e para a mesma lâmina d'água aplicada, Figura 4 (A), os valores simulados da produtividade pelo modelo para o tratamento L1B aproximaram-se dos valores experimentais, em razão do modelo penalizar severamente as variáveis de produção, e não por ele considerar a uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação.

Analisando-se a Figura 4A, verifica-se que a curva de produtividade experimental apresenta variações discrepantes com o aumento da lâmina d'água. Para a lâmina d'água aplicada de 335 mm, a produtividade foi de apenas 2.141 kg ha⁻¹. O modelo foi sensível à variação ocorrida nesta condição, pois ele simulou a produtividade crescente para as lâminas d'água aplicadas, enquanto nas condições experimentais não foi observada esta tendência, visto que elas foram obtidas a partir de aplicações alternadas de lâminas d'água inferiores e superiores à lâmina d'água adequada. O balanço hídrico realizado pelo modelo mostrou que a drenagem ocorrida representa uma pequena

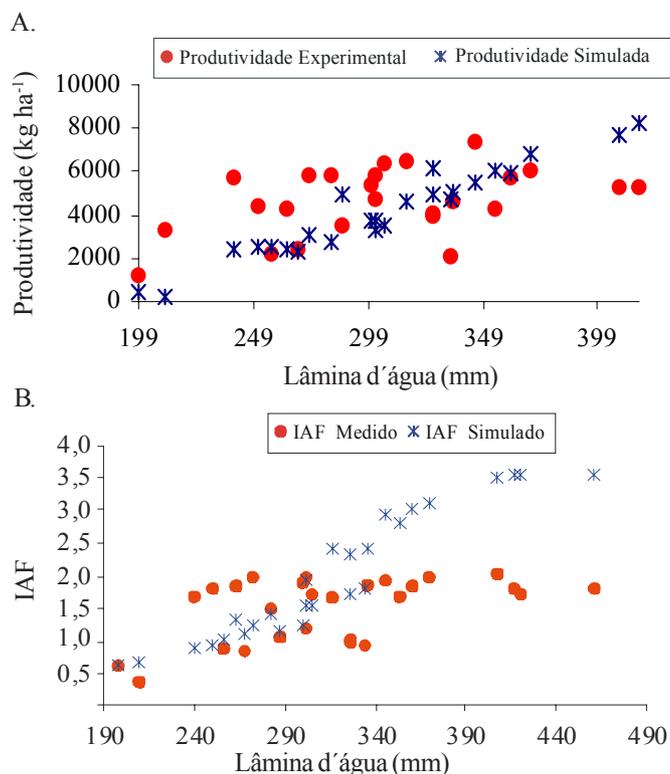


Figura 4. Produtividade experimental, produtividade simulada (A), índice de área foliar medido (B) e índice de área foliar simulado, para o tratamento L1B

fração da lâmina d'água aplicada. Esta drenagem, verificada em todos os coletores é, em média, de aproximadamente 6%, a despeito da precipitação de 265 mm verificada entre 17 de outubro e 20 de novembro de 1999.

As produtividades, os índices de áreas foliares e as matérias secas totais experimental e simulada, para o tratamento L2A, foram 2.474 e 771 kg ha⁻¹, 0,90 e 0,76; e 4.261 e 4.794 kg ha⁻¹, respectivamente.

Na Figura 5A, observa-se que a produtividade simulada foi severamente penalizada pelo modelo, mas o índice de área foliar não apresentou discrepâncias acentuadas entre o valor experimental e o simulado, visto que o modelo penaliza a fotossíntese e a expansão celular, utilizando um fator de penalização que é a relação entre a umidade disponível no perfil do solo e a transpiração da planta. Apesar do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) médio de 84%, algumas das áreas que receberam lâminas d'água acumuladas maiores, apresentaram produtividades simuladas menores, o que pode ter ocorrido pelo fato de, em algumas irrigações realizadas e em determinada área no tratamento, a lâmina d'água aplicada ter sido ínfima e o modelo ter penalizado severamente a produtividade.

A análise estatística dos valores das duas variáveis analisadas para o tratamento L2B, foi significativa. As produtividades, experimental e simulada, de 3.223 e 811 kg ha⁻¹, respectivamente, e os índices de área foliar, foram 0,95 e 0,74, respectivamente.

Analisando-se as Figuras 4A e 5A, vê-se que o modelo subestimou a produtividade e o índice de área foliar para os

tratamentos com 50% da lâmina d'água aplicada, mas as matérias secas totais experimental e simulada foram 4.261 e 4.794 kg ha⁻¹, respectivamente, apresentando uma diferença entre o valor simulado e o experimental de 11%. Essas pequenas diferenças entre os valores simulados e os experimentais da matéria seca total, ocorreram pelo fato da penalização imposta pelo modelo ser função da transpiração, o que faz com que a penalização ocorra em um estágio em que parte, ou total, da biomassa esteja formada. Portanto, as produtividades simulada e experimental apresentam discrepância abrupta, de vez que o fator de penalização do modelo tende a crescer com o aumento da transpiração da cultura, penalizando a fase de enchimento de grãos, proporcionando valores da produtividade simulada pelo modelo muito abaixo do experimental.

O aumento da lâmina d'água propiciou um incremento nas produtividades experimental e simulada, o que não ocorreu no tratamento L2A (Figura 5 A). Por outro lado, para os tratamentos apresentados nas Figuras 5A e 6A, as aplicações de água realizadas com baixa uniformidade (CUC ≅ 67%) propiciaram, em algumas áreas, aplicações de lâminas d'água em magnitudes suficientes para que a cultura do milho apresentasse produtividade consistente com a simulada pelo modelo.

As duas variáveis analisadas para o tratamento L3B, não apresentaram diferenças significativas pela análise estatística. As produtividades experimental e simulada foram 3.170 e 3.158 kg ha⁻¹, respectivamente, e os índices de áreas foliares experimental e simulado foram 1,20 e 1,24, respectivamente (Fig. 7). As matérias secas totais experimental e simulada foram 5.735 e 7.570, respectivamente, tendo apresentado diferenças significativas.

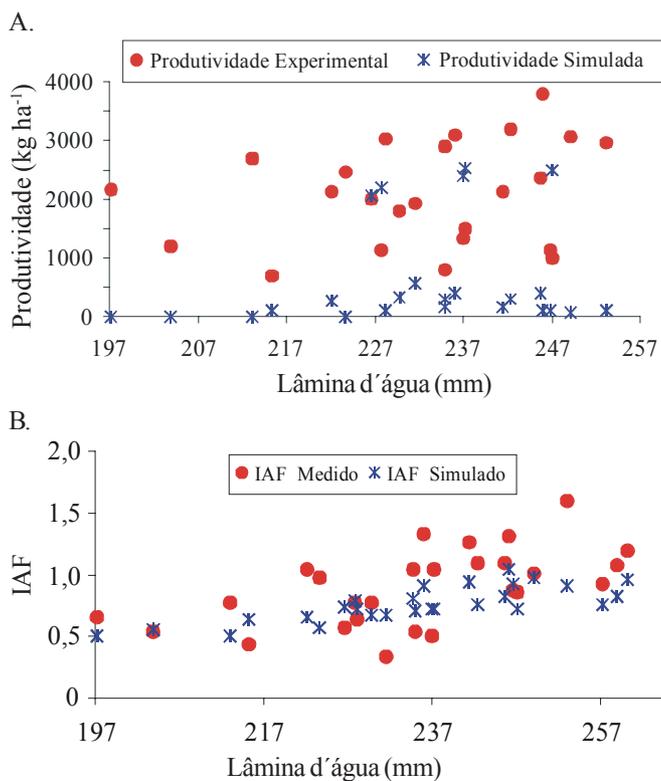


Figura 5. Produtividade experimental, produtividade simulada (A); índice de área foliar medido e índice de área foliar simulado (B), para o tratamento L2A

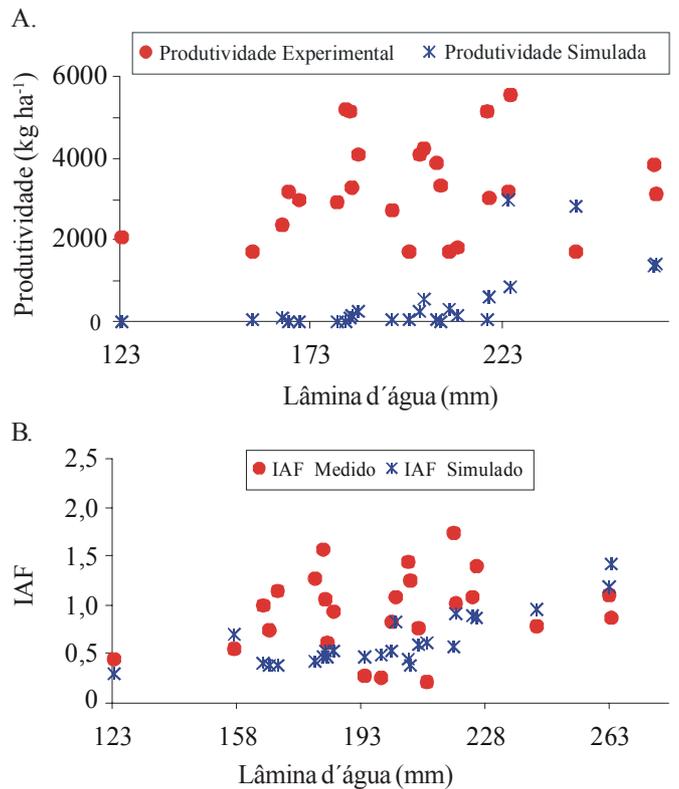


Figura 6. Produtividade experimental, produtividade simulada (A), índice de área foliar medido e índice de área foliar simulado (B), para o tratamento L2B

Na Figura 8A, tratamento L3A, o modelo apresentou consistência na simulação da produtividade. A comparação da produtividade, do IAF e das matérias secas totais, experimental e simulada, não apresentou diferenças significativas.

Para o tratamento com 75% da lâmina d'água adequada de reposição, o modelo simulou a produtividade da cultura consistente com os dados experimentais, tanto para o tratamento com alto coeficiente de uniformidade de aplicação de água quanto para o baixo. Tal fato ocorreu em razão da aplicação desta lâmina d'água ter proporcionado uma produtividade baixa, comparada com a do tratamento L1A. O modelo CERES-Maize simulou a produtividade, tratamentos L3A e L3B, consistente com a experimental, o que não implica no fato do modelo considerar a influência da uniformidade de aplicação de água nos componentes de produção da cultura do milho.

Para o tratamento L4A, as produtividades simulada e experimental não foram significativas, mas os índices de áreas foliares e das matérias secas totais o foram. As médias das produtividades, dos índices de áreas foliares e das matérias secas totais experimental e simulada, foram 6.360 e 6.875 kg ha⁻¹; 2,08 e 3,41; e 12.702 e 13.997 kg ha⁻¹, respectivamente.

A produtividade experimental apresentou tendência de decréscimos, com o acréscimo da lâmina d'água no tratamento (Figura 9), enquanto a produtividade simulada mostrou tendência de acréscimo.

No tratamento L5A as médias das produtividades, dos índices de áreas foliares e das matérias secas totais experimental e simulada, foram 6.413 e 7.508 kg ha⁻¹; 2,41 e 3,59; e 13.690 e 15.020 kg ha⁻¹, respectivamente, apresentando diferenças significativas a 5%, pelo teste F.

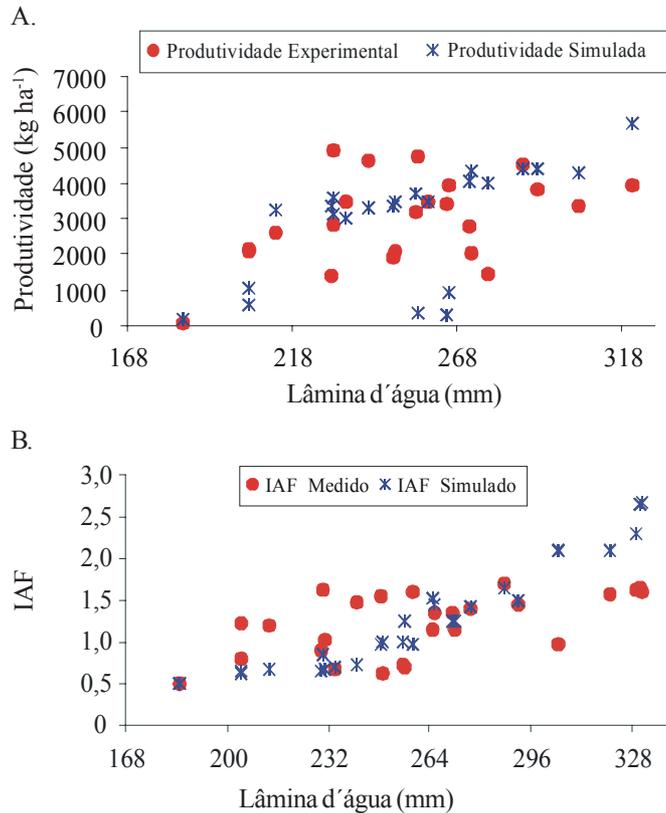


Figura 7. Produtividade experimental, produtividade simulada (A), índice de área foliar medido (B) e índice de área foliar simulado, para o tratamento L3B

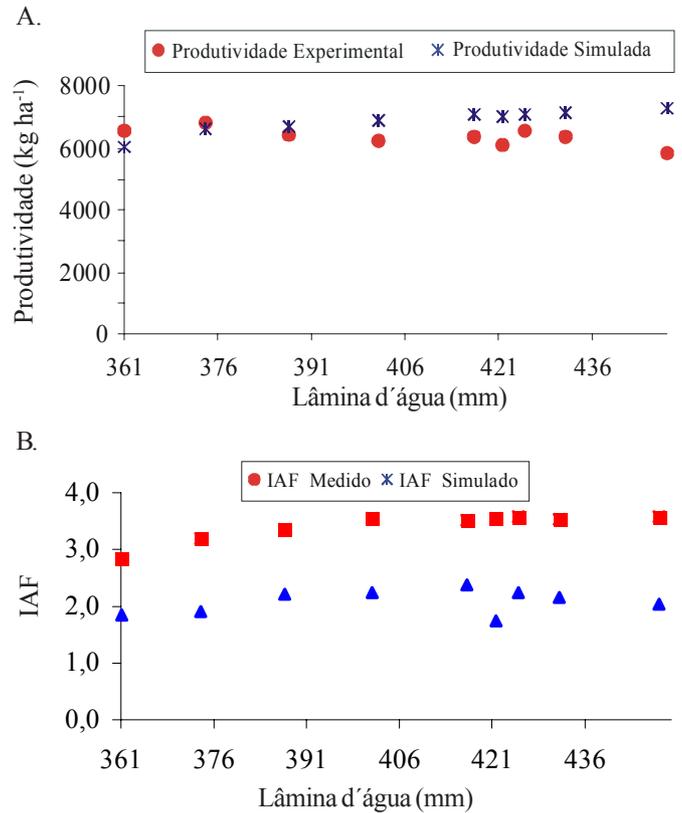


Figura 9. Produtividade experimental, produtividade simulada (A), índice de área foliar medido e índice de área foliar simulado (B), para o tratamento L4A

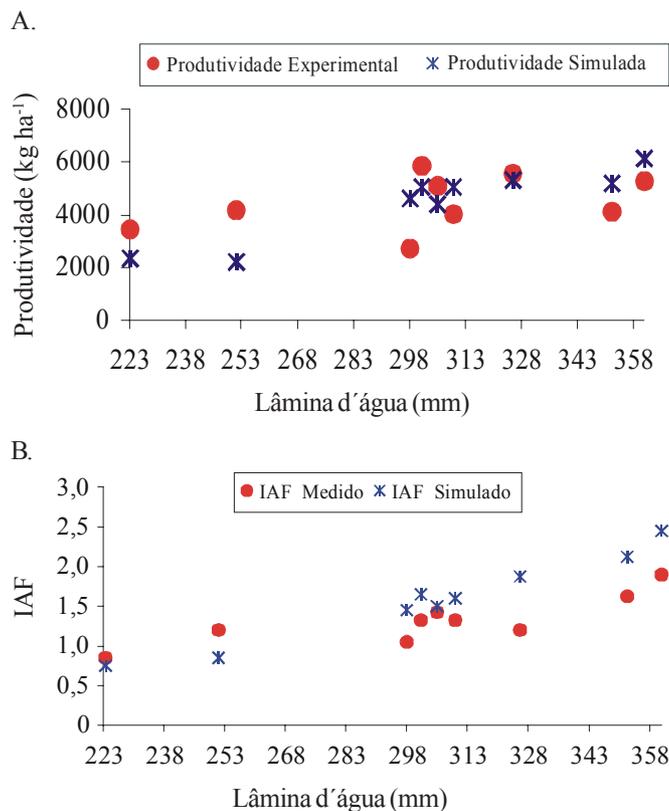


Figura 8. Produtividade experimental, produtividade simulada, índice de área foliar medido e índice de área foliar simulado, para o tratamento L3A

Analisando-se a Figura 10A, nota-se que a produtividade experimental apresentou maiores oscilações que a produtividade simulada, pelo fato do modelo simular a produtividade considerando a água como o único fator limitante. A produtividade simulada atingiu 7.709 kg ha⁻¹ (Tabela 3), enquanto a produtividade máxima experimental, para este tratamento, foi de 6.413 kg ha⁻¹. A produtividade simulada atingiu o máximo para a lâmina d'água aplicada de 483 mm durante o ciclo da cultura; a partir deste valor a produtividade permaneceu constante.

As variações observadas na produtividade experimental da cultura, para as lâminas d'água aplicadas, decorreram das prováveis variações das características físicas e químicas do solo no tratamento, porém os dados de solo utilizados no modelo para realizar as simulações, foram iguais para todas as áreas.

Nas Tabelas 4 e 5, tem-se os dados simulados e os experimentais, respectivamente, considerando-se apenas os

Tabela 3. Média das simulações com valores de lâminas aplicadas em cada coletor, para todos os tratamentos

Variáveis	Tratamento							
	L1A	L1B	L2A	L2B	L3A	L3B	L4A	L5A
Matéria seca (kg ha ⁻¹)	11.135	10.230	4.474	3.823	9.702	7.781	14.167	15.371
Produtividade (kg ha ⁻¹)	5.186	4.659	306	252	4.666	3.393	6.947	7.709
IAF	2,44	2,02	0,62	0,52	1,55	1,03	3,41	3,44

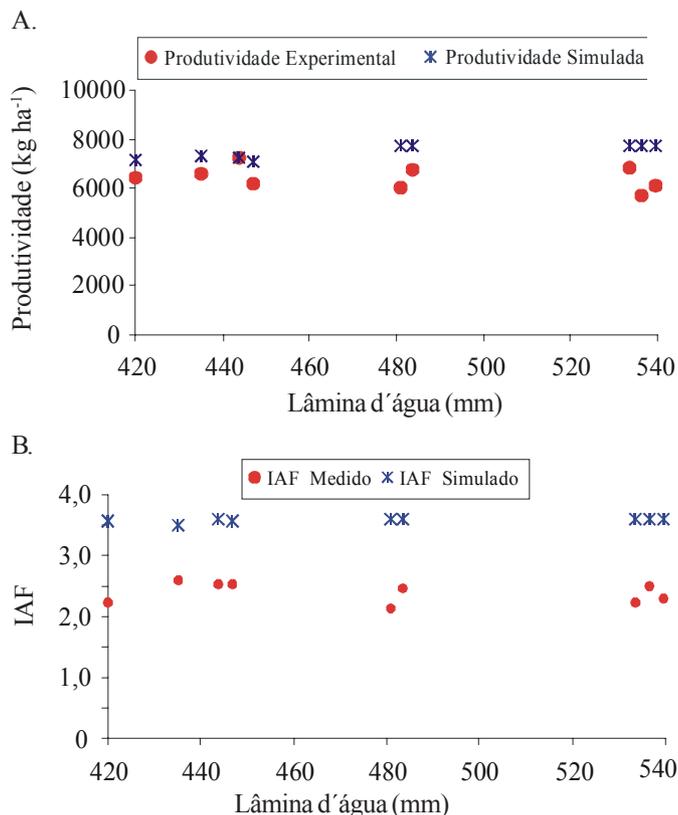


Figura 10. Produtividade experimental (A), produtividade simulada, índice de área foliar medido (B) e índice de área foliar simulado, para o tratamento L5A

Tabela 4. Resultado das simulações para os tratamentos, com as lâminas médias aplicadas em cada tratamento

Variáveis	Tratamento							
	L1A	L1B	L2A	L2B	L3A	L3B	L4A	L5A
Matéria seca (kg ha ⁻¹)	11.548	10.603	4.577	3.421	9.743	7.606	14.354	14.900
Produtividade (kg ha ⁻¹)	5.564	4.870	90	87	4.716	3.390	7.340	7.649
IAF	2,10	2,00	0,90	0,95	1,59	1,24	3,41	3,59

Tabela 5. Dados experimentais do bloco 3

Variáveis	Tratamento							
	L1A	L1B	L2A	L2B	L3A	L3B	L4A	L5A
Matéria seca (kg ha ⁻¹)	12.986	8.846	4.261	4.261	8.003	5.735	12.702	13.690
Produtividade (kg ha ⁻¹)	6.038	4.675	2.474	3.233	4.475	3.170	6.360	6.413
IAF	1,90	1,51	0,90	0,95	1,32	1,20	2,08	2,41

dados do bloco 3 do experimento de campo (Figura 2). Para os tratamentos em que ocorreu déficit hídrico acentuado, como nos tratamentos L2A e L2B, o modelo subestimou a produtividade da cultura do milho mas, quanto à matéria seca total o valor simulado pelo modelo aproximou-se do valor experimental, pois o modelo penaliza a fotossíntese e a expansão

celular, utilizando um fator que é a relação entre a umidade do solo no perfil explorado pelas raízes da cultura e a sua transpiração; no entanto, este fator aproximou-se de 1, que é o valor máximo, após a cultura apresentar determinado crescimento, razão pela qual a produtividade foi insignificante nesses dois tratamentos, e o valor da matéria seca total simulada aproximou-se do valor experimental, pois quando se aproxima da fase de floração da cultura, o fator de penalização faz com que o modelo cesse as simulações e a cultura não entra na fase de enchimento de grãos.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos após as simulações e com base nas condições em que foi realizado o presente trabalho, conclui-se que:

1. Para os tratamentos em que a lâmina d'água foi superior à adequada, o modelo superestimou os valores da produtividade, do índice de área foliar e da matéria seca total.

2. O modelo CERES-Maize apresentou consistência nas simulações para as condições dos tratamentos L1B, L3B, L3A, L4A, L5A.

3. Para os tratamentos em que houve uma aplicação de lâmina d'água superior à lâmina d'água adequada, o modelo apresentou valores pouco superiores aos experimentais da produtividade, do índice de área foliar e da matéria seca total.

4. Para os tratamentos L1B e L3B em que a uniformidade de aplicação de água foi em torno de 67%, a produtividade experimental foi reduzida. Como o modelo penaliza a fotossíntese e a expansão celular, ele apresentou consistência com os dados experimentais da produtividade.

LITERATURA CITADA

- Boote, K.J.; Jones, J.W.; Pickering, N.B. Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal*, Madison, v.88, p.704-716, 1996.
- Gedanken, A. Utilização do modelo CERES-Maize para avaliar estratégias de irrigação em duas regiões de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 1998. 74p. Dissertação Mestrado
- Jones, J.W.; and J.R. Ritchie. Crop growth models. In: G.J. Hoffman, T.A. Howell, and K.H. Solomon (ed.) *Management of farm irrigation systems*. Am. Soc. of Agric. Eng., St. Joseph, MI. 1990. p. 63-89.
- Kiniry, J.R.; Willians, J.R.; Vanderlip, R.L.; Atwood, J.D.; Reicosky, D.C.; Mulliken, J.; Cox, W.J.; Mascani Jr., H..J.; Hollinger, S.E.; Wiebold, W. J. Evaluation of two maize models for nine U. S. locations. *Agronomy Journal*, Madison, v.89, p.421-426, 1997
- Letey, J., Vaux, H.J., Feinerman, E. Optimun crop water as affected by uniformity of water infiltration. *Agronomy Journal*, Madison, v.76, p.435-441, 1984.
- Li, J.S. Modeling crop yield as affected by uniformity of sprinkler system. *Agricultural Water Management*, Amesterdam, v.38, p.135-146, 1998.
- Lima, M.G. Calibração e validação do modelo CERES-Maize em condições tropicais do Brasil. Piracicaba: ESALQ-USP, 1995. 119p. Tese Doutorado

- Mantovani, E.C.; Villalobos, F.J.; Orgaz, F.; Fereres, E. Modeling the effects of sprinkler irrigation uniformity in crop yield. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.27, p.243-257, 1995
- Pang, X. P.; Letey, J.; Wu, L. Yield and nitrogen uptake prediction by CERES-Maize model under semiarid conditions. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.61, p.254-256, 1997a.
- Pang, X.P.; Letey, J.; Wu, L. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.61, p.257-261, 1997b.
- Seginer, I. A note on the economic significance of uniform water application. *Irrigation Science*, Berlin, v.19, p.19-25, 1978.
- Thornton, P.K.; Booltink, H.W.G.; Stoorvogel, J.J. A computer program for geostatistical and spatial analysis of crop model outputs. *Agronomy Journal*, Madison, v.89, p.620-627, 1997.