

**EFICIÊNCIA DO MODELO CERES-Maize NA  
SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE HÍBRIDOS  
DE MILHO**

**ANTONIO MARCOS DE ANDRADE REZENDE  
PEREIRA**

**2008**

**ANTONIO MARCOS DE ANDRADE REZENDE PEREIRA**

**EFICIÊNCIA DO MODELO CERES-Maize NA SIMULAÇÃO DO  
DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Pereira, Antonio Marcos de Andrade Rezende.

Eficiência do modelo CERES-Maize na simulação do desempenho de híbridos de milho / Antonio Marcos de Andrade Rezende Pereira. – Lavras : UFLA, 2008.

43 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Renzo Garcia Von Pinho.

Bibliografia.

1. CERES-Maize. 2. Simulação. 3. Milho. 4. Desempenho. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.15

**ANTONIO MARCOS DE ANDRADE REZENDE PEREIRA**

**EFICIÊNCIA DO MODELO CERES-Maize NA SIMULAÇÃO DO  
DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 07 de março de 2008

Prof. Dr. Antônio Alves Soares	DAG/UFLA
Prof. Dr. Carlos Maurício Paglis	DAG/UFLA
Prof. Dr. João Cândido de Souza	DBI/UFLA

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

A Deus pela vida, por vencer mais esta etapa, aos meus pais, Luiz Antônio e Maria Carmem, pelo amor, carinho e ensinamentos durante toda a minha vida, aos meus irmãos, João Paulo, José Luiz e Pedro Henrique, pela amizade e companheirismo. Aos meus avós Jair (*in memoriam*) e Maria do Carmo, Geraldo (*in memoriam*) e Nair pelos ensinamentos deixados.

**OFEREÇO.**

Aos meus amigos, e principalmente avós pelos ensinamentos deixados.

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por estar comigo em todos os momentos.

Aos meus pais, irmãos e avós, em especial a minha avó Maria do Carmo, por toda paciência, amor, dedicação e incentivo.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Agricultura, pelo apoio durante o período de realização dos trabalhos e pela oportunidade de realização deste curso.

À Capes, pela concessão das bolsas de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Renzo Garcia Von Pinho, pelo apoio, confiança e conhecimentos que contribuíram, em grande parte para a minha formação profissional e, sobretudo, pela amizade em todos esses anos de convivência.

Ao professor Carlos Maurício Paglis, pela amizade, colaboração e co-orientação neste trabalho.

Aos professores João Cândido e Antônio Alves Soares, pelas sugestões por ocasião da defesa da dissertação.

As funcionárias da Pós-Graduação Marli e Neuzi pela ajuda, compreensão e incentivo durante o curso.

Aos amigos do Grupo do Milho, José Luiz, André, Marcelo, Edmir, Tomás, Cassiano, Ivan, Alano, Álvaro, Victor, Rodrigo ( Juvenil ) e Marcinho, pelo apoio, amizade, ajuda e dedicação de sempre.

Aos funcionários do Setor de Grandes Culturas, João Pila, Júlio, Agnaldo, Alessandro e Manguinha, por todo apoio, amizade e ajuda na condução dos trabalhos.

Aos amigos do mestrado, Luiz Hildebrando, Adriano, Rafael Ribas, José Renato, Frederico, Jorge, Priscila e todos os outros que, porventura, não tenha citado, pela amizade e convivência durante este período.

A todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a conclusão do meu curso e que, embora não citados aqui, não deixam de merecer meu profundo agradecimento.

**MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Fisiologia da produção do milho .....	3
2.1.1 Temperatura.....	4
2.1.2 Radiação solar .....	5
2.1.3 Precipitação .....	6
2.2 Aspectos gerais da modelagem na agricultura .....	7
2.3 Modelos para a cultura do milho .....	11
2.3.1 O Modelo CERES-Maize .....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Material genético.....	16
3.2 Caracterização da área experimental.....	16
3.3 Instalação e condução do experimento.....	19
3.4 Características avaliadas.....	20
3.5 Análise estatística.....	21
3.6 Teste do modelo CERES-Maize.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
5 CONCLUSÕES.....	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
ANEXO .....	42

## RESUMO

PEREIRA, Antonio Marcos de Andrade Rezende. **Eficiência do modelo CERES-Maize na simulação do desempenho de híbridos de milho.** 2008. 43p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

Com o objetivo de avaliar a eficiência do modelo CERES-Maize na simulação de características agronômicas de híbridos de milho, foi conduzido um experimento a campo utilizando cinco híbridos ( AG 7000, AG 8060, DKB 199, GNZ 2004 e P 30F90 ) avaliados em três épocas de semeadura ( 24/11/2006, 19/12/2006 e 13/01/2007 ) em área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados com três repetições. Foram obtidos dados de datas de florescimento e maturidade fisiológica, número de grãos por metro quadrado, massa de grão e produtividade de grãos. Estes dados foram comparados com os dados simulados pelo modelo através do quadrado médio do erro ( RSME ), porcentagem de desvio ( PD ) e o índice de concordância ( D ). Os resultados obtidos indicaram que o milho semeado em janeiro, independente do híbrido, apresentou menores valores de número de grãos por metro quadrado, massa de grão e produtividade de grãos do que semeaduras em novembro e dezembro. O CERES-Maize mostrou-se muito eficiente para simular as datas de florescimento e de maturidade fisiológica em razão dos valores de RSME terem sido inferiores a 10% e do D superiores a 0,80, sendo que para essas variáveis o maior valor de PD foi de -11%. Para o número de grãos por metro quadrado, massa de grãos e produtividade de grãos a simulação foi considerada boa com valores de RSME inferiores a 20%. Para essas variáveis foram observados maiores valores de PD, principalmente na última época de semeadura, evidenciando que condições ambientais não favoráveis ao bom desempenho da cultura afetam a eficiência da simulação. O modelo Ceres-Maize mostrou ser uma excelente ferramenta de simulação das características agronômicas de híbridos de milho.

Comitê Orientador: Renzo Garcia Von Pinho – UFLA (Orientador), Carlos Maurício Paglis– UFLA.

## ABSTRACT

PEREIRA, Antonio Marcos de Andrade Rezende. **CERES-Maize model efficiency to simulate corn hybrids performance**. 2008. 40 p. Dissertation (Master in Agronomy/Crop Science) – Lavras Federal University, Lavras, MG.\*

The aim of this work was to verify the efficiency of the CERES-Maize model to simulate some agronomic characteristics in different corn hybrids. One experiment was installed at Federal University Lavras, Lavras, MG; and consisted of a complete randomized block design with three replications, five hybrids (AG 7000, AG 8060, DKB 199, GNZ 2004 and P30F90) and three sowing dates (11/24/2006, 12/19/2006 and 01/13/2007). The data collected were: flowering and physiologic maturity date, number of grains per square meter, grain mass, dry matter and productivity. These data were compared to the simulated ones by using the root mean square error (RSME), deviation percentage (PD) and the agreement index (D). The results showed that the corn sowed in January, independent of the hybrid; presented smaller values of number of grains per square meter, grain mass, dry matter and productivity than those hybrids sowed in November and December. Based on the comparison tools used in this experiment, CERES-Maize model was very efficient to simulate flowering and physiologic maturity date. The values of RSME obtained were less than 10% and D value higher than 0,80. For booth characteristics, the highest PD value was -11%. The simulation of number of grains for square meter, grain mass and productivity was considered good with obtained values of RSME smaller than 20%. For these simulated characteristics, higher PD values were observed in the last sowing time. It was evident; in this case, that environmental conditions, not favorable for the development of the hybrids, did affected the efficiency of the simulation. Ceres-Maize model showed to be an excellent tool for simulation of corn hybrids agronomic characteristics.

\* Guidance Committee: Renzo Garcia Von Pinho - UFLA (Advisor), Carlos Maurício Paglis - UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

A composição química, o valor nutritivo e o potencial produtivo tornam o milho um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Apesar dessa importância, apenas uma pequena parcela de agricultores consegue explorar ao máximo o potencial produtivo da cultura, em virtude da ausência de recursos naturais que condicionam elevados desempenhos. Entre esses, consideram-se os de maior destaque o clima, o manejo de nutrientes, o potencial genético e o manejo de pragas (Hoeft, 2003).

A cultura do milho pode apresentar alta variabilidade temporal da produtividade de grãos, causada principalmente por variações nos elementos climáticos (Bergonci et al., 2001). Um aumento na produtividade de milho no Brasil poderia ser obtido pela otimização das áreas produtivas por meio de um manejo eficiente da variabilidade espacial dos atributos de solo, clima e manejo, podendo os modelos de simulação auxiliarem neste planejamento (Hurtado, 2004).

O uso de modelos de crescimento e desenvolvimento vegetal possibilita uma economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos para a tomada de decisões referentes ao manejo no setor agrícola por proporcionar uma previsão do processo de interesse e/ou um melhor entendimento do sistema em estudo. O conhecimento da quantidade de energia solar disponível às plantas, bem como da capacidade de conversão da mesma em energia química metabólica, permite prever a produtividade de grãos, quanto à eficiência de conversão em biomassa, através de um modelo geral mecanístico, levando em consideração aspectos agrometeorológicos, fisiológicos, genéticos e edáficos (Hurtado, 2004).

Um modelo de crescimento e desenvolvimento de plantas visa, entre outras finalidades, buscar informações básicas das diversas interações entre a planta e o ambiente, maximizando o uso de recursos naturais de cada região, ou

de uma determinada condição de cultivo. Sendo assim, pode-se definir a melhor forma de manejo de uma cultura, e ainda favorecer o planejamento das atividades agrícolas e da pesquisa científica.

O potencial da utilização dos modelos agrometeorológicos tem sido mostrado em diversos países. A literatura científica é rica em exemplos de utilização de modelos para diferentes objetivos: estimativa da produção potencial, estratégica e tática de decisão de marketing, previsão de efeitos de mudanças climáticas de curto e longo prazo e manejo de irrigação (Costa, 1997).

Atualmente, existe uma grande disponibilidade de modelos na literatura desenvolvidos para a simulação de crescimento de diversas culturas, cuja eficiência já fora comprovada em várias situações. Dentre vários, destacam-se os modelos CERES para simulações de crescimento de gramíneas, sendo denominado CERES-Maize o que se destina para simulações com a cultura do milho (Jones & Kiniry, 1986). Uma característica desse modelo é sua capacidade para incluir informação de uma cultivar específica, sendo possível a predição das variações na fenologia da planta e características de componentes do rendimento e as suas interações com o clima.

No Brasil o modelo CERES-Maize vem sendo avaliado por diversos pesquisadores em diferentes situações sendo que a maioria dos resultados evidenciam que modelo estima satisfatoriamente a produtividade de milho, entretanto é importante enfatizar que a utilização do modelo necessita de ajustes para as condições tropicais. Vale ressaltar que nas condições do Sul de Minas Geraes poucas pesquisas foram conduzidas com o modelo CERES-Maize.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do modelo CERES-Maize na simulação de datas de florescimento, maturidade fisiológica, componentes da produção e produtividade de grãos de híbridos de milho em três épocas de cultivo na região de Lavras-MG.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Fisiologia da produção do milho

A fotossíntese, a respiração, a transpiração e a evaporação, são processos fisiológicos da planta de milho que resultam diretamente da energia disponível no ambiente, comumente chamada de calor (Fancelli e Dourado-Neto, 2000). Além disso, a capacidade da planta em produzir fitomassa seca está diretamente relacionada com a quantidade de energia luminosa disponível e com a capacidade de aproveitamento dessa energia. Por esse motivo, torna-se importante a análise do desenvolvimento da cultura em diferentes situações (Costa, 1997).

O milho, por ser uma planta tipo C4, apresenta características fisiológicas favoráveis no que se refere à eficiência de conversão de carbono mineral (representado pelo gás carbônico da atmosfera) em compostos orgânicos como os carboidratos. Isto ocorre porque no processo fotossintético destas plantas, o CO<sub>2</sub> é continuamente concentrado nas células da bainha vascular das folhas e, em seguida, redistribuído para posterior utilização (Salisbury, 1992).

Apesar do elevado potencial produtivo, o milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses bióticos e abióticos, pelo que seu cultivo exige rigoroso planejamento e manejo, a fim de buscar a manifestação da sua máxima capacidade produtiva (Andrade, 1995).

Dessa maneira, a extensão com que a cultura pode expressar o seu potencial genético é determinada por sua interação com a radiação solar, temperatura do ar, pressão de vapor d'água na atmosfera, velocidade do vento e características físico-hídricas do solo (Rosenberg et al., 1983). A quantificação da relação entre a produtividade da cultura e variáveis agroclimáticas, permite que o impacto dessas variáveis na produtividade, durante o ciclo da cultura, seja

avaliado (Mondragón, 1990). Sendo assim, a produtividade de uma cultura de milho depende diretamente da relação intrínseca estabelecida entre a planta e o ambiente físico em que se encontra, com ênfase para a temperatura, luz e disponibilidade hídrica, o que determina a adaptação de diferentes genótipos para diferentes ambientes, em função do manejo adotado (Palhares, 2003).

A utilização de modelos eficientes que permitem obter a previsão de safra e a indicação da cultura de milho para uma determinada região está na dependência do conhecimento das exigências calóricas dessa cultura e das condições dos elementos do clima (radiação solar, temperatura e precipitação pluvial, principalmente), bem como da correta interpretação de levantamento de solos (Figueredo, 2004).

A quantificação dos elementos do clima, portanto, pode ser utilizada no ajuste de modelos de simulação de desenvolvimento e crescimento de culturas, tornando-se um importante instrumento para pesquisa, planejamento e monitoramento de culturas (Pandolfo, 1995).

### **2.1.1 Temperatura**

As condições térmicas atuam nos mais diversos processos vitais das plantas de milho. Enquanto a germinação e emergência são afetadas principalmente pela temperatura do solo, o desenvolvimento fenológico e o crescimento da planta como um todo são afetados pela temperatura do solo e do ar. Desta forma, diversos trabalhos estabelecem temperaturas referenciais ótimas para diferentes fases críticas do desenvolvimento fenológico e na fisiologia do milho, de maneira que: (i) temperaturas do solo inferiores a 10°C e superiores a 42°C comprometem os processos normais de germinação, enquanto que, aquelas situadas entre 25 e 30°C garantem as melhores condições para a germinação das sementes e emergência das plântulas; (ii) por ocasião do período de florescimento e maturação, temperaturas médias diárias superiores a 26°C

podem acelerar essas etapas, enquanto que temperaturas inferiores a 15,5°C podem retardá-las; (iii) a produtividade do milho pode ser reduzida, assim como pode ocorrer alterações na composição protéica dos grãos, quando a temperatura ambiente ultrapassa os 35°C; (iv) temperaturas noturnas acima de 24°C, por um período acima de três horas, propiciam um alto consumo energético durante o processo de respiração pelas plantas, aumentando o consumo de fotoassimilados, reduzindo a produtividade da cultura. Ainda, o potencial germinativo dos grãos de pólen é bastante reduzido sob temperaturas acima de 32°C.

Para Villa Nova et al. (1972), a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura mínima ou temperatura base exigida por uma espécie é definida como graus-dia. O uso da soma de graus-dia, baseada no acúmulo energético acima de determinada temperatura base, é de uso abrangente em modelos que descrevem o desenvolvimento fenológico e o crescimento do milho. Considera-se, em geral, 10°C a temperatura basal para a referida espécie, abaixo da qual não ocorre acúmulo de matéria seca. Dentro de um mesmo grupo de maturação, é possível estimar a ocorrência de estádios fenológicos, para diferentes genótipos, regiões e épocas de cultivo, valendo-se da temperatura do ar como única variável.

### **2.1.2 Radiação solar**

A alta produtividade de grãos observada na cultura de milho é extremamente dependente da radiação solar. Segundo Andrade (1995) pode ser expressa pela seguinte expressão,  $Y = Ri.Ei.Ec.P$ , em que Y se refere produtividade de grãos, Ri à radiação incidente; Ei à eficiência da interceptação da radiação incidente; Ec à eficiência de conversão da radiação interceptada pela biomassa vegetal; e P à partição de fotoassimilados a partes de interesse comercial. Assim, a radiação incidente é a função da localização geográfica da

área de produção (latitude, longitude e altitude), bem como da época de semeadura ao longo do ano.

A eficiência de interceptação depende da idade da planta, da arquitetura foliar, do arranjo espacial de plantas e da população empregada, ao passo que a eficiência de conversão, dentre outros fatores depende principalmente da temperatura. A participação, dos fotoassimilados é, sobretudo, função do genótipo e das relações de fonte-dreno (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

A adaptabilidade variável observada entre diferentes genótipos sob diversos arranjos espaciais de população e espaçamento, certamente está associada à sua arquitetura foliar. O conceito atual de um genótipo moderno prevê a existência de um grande número de folhas acima da espiga, com lâminas eretas e pendentes na região mediana, aumentando a eficiência na utilização da energia radiante. Em geral, as folhas acima da espiga são responsáveis por cerca de 50 a 80% da matéria seca acumulada nos grãos (Fornasieri Filho, 2000).

### **2.1.3 Precipitação**

A frequência de chuvas é sem dúvida um dos elementos climáticos mais importantes que afetam a produtividade de determinada cultura (Alfonsi et al., 1995).

A quantidade de água que se encontra disponível no solo durante as fases fenológicas da cultura é fundamental para o sucesso da produção agrícola. Dessa maneira, Fancelli & Dourado Neto (2000) justificam que a necessidade de suprimento hídrico para o pleno desenvolvimento dos vegetais, decorre das múltiplas funções que ela desempenha na fisiologia das plantas, pois, praticamente todos os processos metabólicos são influenciados pelo conteúdo de água.

Para o milho, as maiores exigências em água se concentram na fase de emergência, florescimento e formação do grão (Fancelli & Dourado-Neto,

2000). De acordo com Bergonci & Bergamaschi (2001), o maior consumo de água pela cultura de milho é verificado por ocasião do florescimento, uma vez que, nessa fase, o índice de área foliar das plantas é máximo, logo após a emissão da folha bandeira. Assim, a sensibilidade dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos e, por outro lado, a elevada transpiração que ocorre no mesmo período, justificam a consideração do período compreendido entre a emissão da inflorescência masculina e o início da formação dos grãos como sendo extremamente crítico quanto ao suprimento de água. A necessidade hídrica neste período é ainda mais elevada, pois é necessário que haja máxima fotossíntese através da coincidência entre a máxima disponibilidade de radiação solar e a ocorrência de temperaturas entre 25<sup>0</sup>C e 30<sup>0</sup>C, para a obtenção de maiores produtividades.

Fancelli & Dourado-Neto (2000) relatam que a ocorrência de deficiência hídrica de uma semana durante o florescimento masculino pode implicar numa queda de produção em torno de 50%, enquanto que após a polinização, sob as mesmas condições, as perdas podem chegar a 25%.

Para suprir as exigências hídricas da cultura do milho deve ocorrer um mínimo de 450 mm de precipitação no verão, sem a necessidade de irrigação (Fancelli & Lima, 1982). Reichardt (1987) comenta que genótipos de ciclo tardio exigem de 500 e 800 mm de água por ciclo. Entretanto, Fancelli & Dourado Neto (2000), destacam que tal limitação encontra-se mais diretamente condicionada à distribuição, do que à quantidade total de chuvas ocorrida no período.

## **2.2 Aspectos gerais da modelagem na agricultura**

A interação entre as plantas e o ambiente envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. Com o objetivo de se obter melhor conhecimento das respostas da cultura ao ambiente, modelos de simulação são

utilizados como ferramenta de grande potencial, permitindo o estudo e o entendimento do conjunto, estimando a performance da cultura em diferentes áreas e situações. Um modelo é definido como a representação matemática de um sistema ou um processo, enquanto que modelagem é o processo de desenvolvimento dessa representação. A simulação inclui os processos necessários para a operacionalização do modelo ou a solução do modelo visando simular o que acontece no sistema (De Wit, 1978).

Segundo Monteith (1996), os modelos de simulação de cultura podem ser definidos como um conjunto de equações para estimar o crescimento, desenvolvimento e produção de uma cultura a partir de uma série de coeficientes genéticos e variáveis ambientais. Para Caixeta Filho (2001), modelos são representações idealizadas para situações do mundo real; assim, apesar da dificuldade para a validação de modelos, sempre haverá a indicação do nível de sucesso do processo da modelagem.

Os modelos permitem analisar detalhadamente os diversos componentes da produção, possibilitando uma visão integrada de sua participação no sistema. Apesar da complexidade envolvida na construção de modelos, os esforços são compensados em função de sua grande aplicabilidade, que auxilia o agricultor na tomada de decisão, permitindo a organização racional de questões envolvendo distribuição, armazenamento, comercialização do produto agrícola, entre outras (Gedanken, 1998).

Pesquisadores de diversas partes do mundo vêm usando vários modelos de culturas, testando a habilidade na simulação de eventos fenológicos, produção de biomassa e produtividade de grãos (Dourado Neto, 2001).

Existem três níveis de uso dos modelos de simulação de culturas como ferramenta potencialmente útil na tomada de decisões: em pesquisas, em tecnologia de manejo de cultivos e em políticas de planejamento agrícola (Boote et al., 1996; Hoogenboom, 2000).

Modelos podem ser utilizados para analisar os efeitos de diferentes estratégias, ajudando na determinação da melhor decisão, e apresentam uma série de vantagens para uma análise econômica, em relação aos dados provenientes de experimentação em campo. Entre essas vantagens destacam-se: um grande número de diferentes estratégias que podem ser avaliadas rapidamente e com baixo custo; cada estratégia pode ser avaliada em um amplo intervalo de condições incertas, como por exemplo, clima e dependendo do modelo de crescimento utilizado, pode-se avaliar complexas estratégias de manejo interagindo com diversas decisões como irrigação, fertilização, datas de semeadura, dentre outras (Booges & Ritchie, 1998).

Vale ressaltar que, embora os modelos de simulação tenham grande aplicabilidade e custo inferior aquele dos experimentos convencionais, eles não podem ser considerados substitutos dos experimentos, e sim uma técnica que os complementa.

Há anos vêm sendo desenvolvidos modelos de estimativa do rendimento da cultura de milho, com base em variáveis meteorológicas e outras derivadas do balanço hídrico, porém com grandes limitações. Por outro lado, Hoogeboom (2000) afirma que a utilização de modelos, com fins de predição, pode ter aplicações, tanto previamente à semeadura, como durante o crescimento e desenvolvimento da cultura, podendo essa informação ser usada ao nível de propriedades rurais ou de instituições governamentais para planejamento de políticas agrícolas.

Nos últimos anos tem-se gerado vários tipos de modelos de simulação para uso em agricultura com diferentes níveis de complexidade. No Instituto de Pesquisas Científicas na Agricultura e Indústria da Bélgica foi desenvolvido o modelo “Water and Agrochemical Vadose Environment” (WAVE) que é resultado de inúmeras pesquisas que objetivaram o desenvolvimento, a calibração e validação de modelos matemáticos que descrevem a quantidade de

matéria e energia no sistema solo-planta-atmosfera, e consistem de diferentes módulos de simulação do crescimento de plantas e movimento da água, solutos, calor e nitrogênio no solo (Vanclooster et al., 1994).

Pela sua importância, destacam-se os modelos do IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer), que foi um projeto internacional com sede na Universidade do Havaí, criado para desenvolver um sistema para suporte à decisão e transferência de tecnologia agropecuária (Hunt et al., 2001). Esse sistema denominado DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) tem sido usado amplamente nos últimos 15 anos por pesquisadores de diferentes países. Este programa é composto por 16 modelos de culturas com aplicativos para avaliar e usar (ferramentas de análises biofísicas e econômicas) os modelos para diferentes propósitos (Baethgen, 1995; Jones, et al., 2003; Soler, 2004).

Além da estimativa do rendimento, o conjunto de programas do sistema DSSAT permite avaliar o uso dos recursos naturais e estimar o risco associado com diferentes práticas de manejo. Através de uma interface prática, o sistema possibilita: a) introduzir, organizar e armazenar dados das culturas, de solos e de clima b) recuperar, analisar e apresentar dados, c) calibrar e testar modelos de diferentes culturas e d) testar diferentes práticas de manejo num dado local (Jones, 1993).

Uma equipe interdisciplinar do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos desenvolveu o modelo Crop-Environment Resource Synthesis (CERES) com o objetivo de quantificar os efeitos independentes e interativos do genótipo, clima e atributos do solo no crescimento e produção de milho. O referido modelo simula os principais processos fisiológicos da planta, incluindo: a fotossíntese, a respiração, a acumulação e a partição de fitomassa, a fenologia, o crescimento de folhas, caules e raízes, a extração de água do solo e, a evapotranspiração (Hoogenboom, 2000).

### **2.3 Modelos para a cultura do milho**

Há anos vêm sendo desenvolvidos modelos de estimativa do rendimento da cultura de milho, com base em variáveis meteorológicas e outras derivadas do balanço hídrico, porém com grandes limitações. Dependendo da especialidade de cada pesquisador, os trabalhos enfatizam determinados aspectos e apresentam diferentes abordagens para quantificar as ações do clima na produtividade da cultura de milho.

Os modelos de simulação, conforme Addiscott (1993) podem ser divididos em: (i) determinísticos, em que um conjunto de eventos leva a um resultado único e definido e (ii) estocásticos, em que a incerteza é considerada na sua estrutura. Essas duas categorias mencionadas podem ainda dividir os modelos de simulação em: (i) mecanísticos, que procuram descrever os mecanismos envolvidos no processo e (ii) funcionais, que descrevem apenas os aspectos gerais do processo.

No modelo de Thompson (1969), a influência do clima sobre a produtividade do milho é separada da tendência tecnológica, e utiliza-se a análise de regressão múltipla para a obtenção dos desvios da produtividade em relação a essa tendência. Segundo o autor, em cinco estados produtores de milho nos Estados Unidos da América, entre os anos de 1930 a 1960, o modelo indicou um incremento médio anual de  $201 \text{ kg ha}^{-1}$  no rendimento de grãos, observando-se que os desvios durante o período foram explicados pelas condições do tempo e do clima.

Mondragón (1990) desenvolveu modelos agroclimáticos para estimar o rendimento de grãos da cultura do milho para oito localidades do estado de Minas Gerais, com base na tendência tecnológica e em variáveis derivadas do balanço hídrico decendial.

Frère & Popov (1980) apresentam um método para a previsão de safras agrícolas, incluindo o milho, com base em dados meteorológicos. O modelo

processa o balanço hídrico do solo durante o desenvolvimento de uma cultura, em períodos de sete ou dez dias, para demonstrar as variações de produtividade associadas às condições hídricas do solo. O método tem como finalidade obter um índice que representa, em percentagem, a amplitude com que as demandas hídricas de uma cultura anual são satisfeitas em cada estágio do seu período de crescimento.

Figueredo (2004) propôs um modelo mecanístico para a estimativa do rendimento de grãos de milho para o estado de São Paulo com base nos valores mensais de temperatura, radiação solar e chuva; foi possível identificar as restrições quanto à deficiência hídrica, temperatura, radiação solar, rendimento potencial e rendimento de grãos de milho especializadas, segundo os municípios paulistas.

Assis et al. (2006), utilizando um modelo estocástico, estimou o rendimento potencial da cultura de milho em Piracicaba, interior de São Paulo, em função de temperatura e radiação solar média diária, concluindo que as distribuições normal truncada, triangular simétrica e triangular assimétrica podem ser utilizadas para a estimativa do rendimento de milho.

Dentre os modelos desenvolvidos para a cultura, destaca-se o CERES-MAIZE, componente de uma série de modelos de simulação dos processos fisiológicos chamada CERES (*Crop Environment Resource Synthesis*), por levar em consideração dados relacionados às condições atmosféricas, ao solo, às constantes genéticas e às práticas de manejo (Vieira, 2006).

### **2.3.1 O Modelo CERES-Maize**

Em comparação a outros modelos utilizados para a cultura do milho, o modelo CERES-Maize é um dos mais detalhados para prever estágios fenológicos e rendimento. São considerados a sensibilidade ao fotoperíodo e os efeitos da alta temperatura no número final de folhas. Além disso, três

componentes do desenvolvimento vegetativo, iniciação de folhas, aparecimento de primórdios foliares e iniciação da floração masculina podem ser testados independentemente (Kiniry, 1991).

A maior inovação deste modelo é o conceito de coeficiente genético, o qual significa que uma característica comum a todas as variedades de milho pode variar quantitativamente, explicando as diferentes adaptações (Salvador, 1993 ). Esses coeficientes são os seguintes (Hoogenboom et al., 1994):

– P1: representa a duração do período vegetativo, soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil, (temperatura base 8°C).

– P2: representa a sensibilidade ao fotoperíodo, dias de atraso na iniciação da floração masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas.

– P5: duração da etapa reprodutiva, soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C).

– G2: número máximo de grãos por planta.

– G3: taxa de enchimento do grão ( $\text{mg dia}^{-1}$ ) sob condições ótimas de crescimento.

O uso de características específicas para cada cultivar geralmente melhora a performance do modelo permitindo analisar a adaptação de uma variedade a diversos ambientes (Jame & Curtforth, 1996).

O modelo tem sido testado em diversos locais, com bons resultados de estimativa de rendimento de grãos. No Brasil, o modelo CERES-Maize foi testado por Liu et al. (1989), utilizando dados meteorológicos, de solo e da cultura de milho, coletados na Embrapa - Milho e Sorgo (EMBRAPA-CNPMS), localizado em Sete Lagoas, MG. O estudo mostrou que o modelo gerou estimativas úteis de rendimento do milho para um local específico, tendo os

autores sugerido a aplicação desse modelo para a estimativa de rendimento em outros locais do Brasil.

Através da calibração, teste e análise de sensibilidade dos principais parâmetros envolvidos, Lima (1995) avaliou o modelo CERES-Maize, com dados observados em experimentos de campo em Piracicaba, estado de São Paulo. As simulações realizadas evidenciaram que o crescimento, desenvolvimento da planta e o rendimento de grãos foram estimados satisfatoriamente.

Com o objetivo de se conhecer as características genéticas desejáveis das cultivares e as épocas de semeadura que proporcionassem a melhor performance da cultura durante o período da entressafra, Soler et al. (2001) simularam o crescimento e desenvolvimento do milho “safrinha” com o modelo CERES-Maize, sob condições de sequeiro e de irrigação em duas regiões do Estado de São Paulo, Ribeirão Preto e Manduri, a fim de se avaliar o efeito de diferentes características agrônômicas e fisiológicas da cultura possíveis de melhoramento genético, foram alterados os coeficientes genéticos considerando-se diferentes condições de manejo e a variabilidade climática das regiões estudadas.

O modelo CERES-Maize foi associado a um outro modelo de simulação do sistema de produção leiteira para simular a produção de milho sob três diferentes sistemas de manejo no México e identificaram-se sistemas de produção que maximizam a receita líquida dos agricultores (Castelán-Ortega et al., 2003).

O modelo CERES-Maize foi utilizado por Soler (2004) para previsão de safra do milho safrinha no estado de São Paulo e concluiu que o modelo mostrou ser uma excelente ferramenta para a previsão do rendimento do milho “safrinha”, utilizando-se dados climatológicos combinados aos dados meteorológicos do ano em questão.

Hurtado et al. (2005) avaliaram a eficiência do modelo CERES-Maize na predição de produtividade de milho em áreas com variabilidade espacial e concluíram que o modelo foi menos eficiente em mostrar a tendência da estimativa em zonas diferenciadas segundo o atributo saturação por bases, quando utilizados os valores médios dos parâmetros genéticos. O estudo evidencia a importância da utilização dos valores dos parâmetros de solo, manejo e genéticos próprios a cada parcela experimental, na obtenção de estimativas mais confiáveis para as simulações da cultura de milho.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material genético

Foram utilizados cinco híbridos comerciais de milho com diferentes características, oriundos de diferentes empresas produtoras de sementes, sendo todos de elevado potencial produtivo e adaptados às condições edafoclimáticas da região Sul de Minas Gerais (Tabela 1).

TABELA 1 Características dos híbridos de milho utilizado no experimento. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Híbrido	Empresa	Base genética	Ciclo	Porte
DKB199	Dekalb	Híbrido simples	Semi precoce	Médio/alto
AG8060	Agrocerec	Híbrido simples	Precoce	Baixo
AG7000	Agrocerec	Híbrido simples	Semi-precoce	Médio
P30F90	Pioneer	Híbrido simples	Semi-precoce	Médio/alto
GNZ2004	Geneze	Híbrido simples	Precoce	Médio

#### 3.2 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. A região apresenta temperatura média de 22,1° C no mês mais quente e de 15,8° C no mês mais frio, com média anual de 19,4° C. A precipitação total anual é de 1530 mm, a evaporação total no ano é de 1.034 mm e a umidade relativa média anual é de 76% (Brasil, 1992). Segundo a classificação de Köppen, apresentado por

Vianello & Alves (1991), o clima da região é do tipo Cwa, temperado úmido (com verão quente e inverno seco), caracterizado por um total de chuvas de 23 mm no mês mais seco e de 296 mm no mês mais chuvoso.

As variações na temperatura e na precipitação média por decêndio, ocorridas durante a condução dos experimentos estão apresentadas na Figura 1.

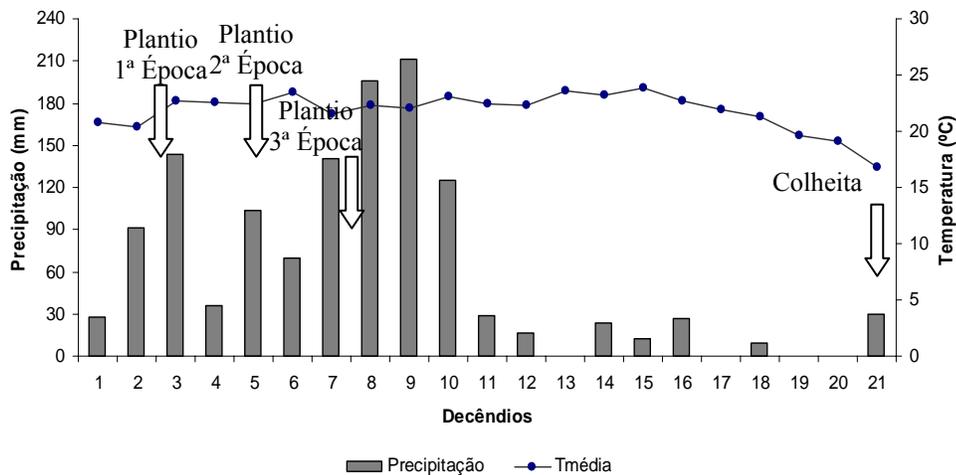


FIGURA 1 Dados médios de temperatura e precipitação pluvial por decêndio, em Lavras, MG, no período de 01/11/2006 a 21/05/2007. Dados obtidos no setor de Bioclimatologia da UFLA, Lavras, MG, 2008.

A área experimental é constituída de latossolo vermelho-escuro (LE), textura argilosa, considerado de alta fertilidade (Tabela 2), o que dispensou a correção prévia.

TABELA 2 Resultados da análise de amostras de solo (0 - 20 cm de profundidade) da área onde foi conduzido o experimento. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Características	Unidade	Valores
pH em água	mg/dm <sup>3</sup>	5,8
P (Fósforo Mehlich)	mg/dm <sup>3</sup>	10,0
K (Potássio Mehlich)	mg/dm <sup>3</sup>	84,0
Ca (Cálcio)	cmol/dm <sup>3</sup>	1,9
Mg (Magnésio)	cmol/dm <sup>3</sup>	1,1
Al <sup>3+</sup> (Alumínio)	cmol/dm <sup>3</sup>	0,0
H+Al (Acidez potencial)	cmol/dm <sup>3</sup>	2,6
SB (Soma de Bases)	cmol/dm <sup>3</sup>	3,2
t (CTC efetiva)	cmol/dm <sup>3</sup>	3,2
T (CTC a pH 7,0)	cmol/dm <sup>3</sup>	5,8
M (saturação/alumínio)	%	0,0
V (saturação de bases)	%	55,2
Ca/T	%	32,8
Mg/T	%	19,0
Matéria orgânica	dag/kg	2,7
P-rem	mg/L	14,0
Boro (Água quente)	mg/dm <sup>3</sup>	0,3
Zinco	mg/dm <sup>3</sup>	3,7
Cobre	mg/dm <sup>3</sup>	2,2
Manganês	mg/dm <sup>3</sup>	11,8
Ferro	mg/dm <sup>3</sup>	68,8
S	mg/dm <sup>3</sup>	27,7
Classe Textural	-----	Argilosa

### 3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido na safra agrícola de 2006/2007, sendo instalado em três épocas de semeadura, 24 de novembro de 2006, 19 de dezembro de 2006 e 13 de janeiro de 2007.

A área experimental vem sendo cultivada com milho a vários anos, e encontrava-se em pousio desde o verão anterior e coberta com espécies daninhas que foram roçadas e dessecadas com o herbicida Rondup<sup>®</sup> na dose 3,0 l ha<sup>-1</sup>, com posterior abertura de sulcos com uma semeadora de grãos para plantio direto, considerando o espaçamento de 0,8 metros.

A semeadura foi realizada manualmente e o estande foi definido após o desbaste, quando as plantas se encontravam com três a quatro folhas totalmente expandidas, objetivando-se uma população de 60 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Foi realizada uma adubação de base na dose 350 Kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado 8 (N) -28 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)-16 (K<sub>2</sub>O).

Para o controle de plantas daninhas foi utilizado Atrazina na dosagem de 4,0 l ha<sup>-1</sup>, 15 dias após a emergência das plantas. A adubação de cobertura foi realizada quando as plantas se encontravam com 5 a 6 folhas totalmente expandidas, utilizando-se como fonte de N o adubo 30-00-20, na dose de 350 Kg ha<sup>-1</sup> incorporado ao solo a 3 cm de profundidade. O controle das pragas de parte aérea foi realizado com o inseticida Decis na dose de 200 ml ha<sup>-1</sup>.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com três repetições, com tratamentos dispostos em esquema fatorial 3 (épocas de semeadura) x 5 (cultivares); cada parcela constou de quatro fileiras com 10,0 m de comprimento, espaçadas de 0,8 m, sendo as duas fileiras centrais consideradas como úteis, para efeito de coleta de dados.

### 3.4 Características avaliadas

O florescimento feminino foi registrado quando os estigmas estavam visíveis na espiga em 50% das plantas de cada parcela e com posterior cálculo dos graus-dia através da soma térmica dos valores diários da diferença entre a temperatura média diária e a temperatura base, durante o período da emergência das plantas e florescimento feminino.

A maturidade fisiológica foi determinada regularmente amostrando-se duas espigas por parcela para se identificar a presença da camada negra na base dos grãos, sendo calculado os graus-dia através da soma térmica dos valores da diferença entre a temperatura média diária e a temperatura base durante o período entre a emergência e a maturidade fisiológica.

A colheita foi realizada manualmente em cinco metros lineares no centro das duas fileiras úteis das parcelas. O número de grãos por m<sup>2</sup> foi obtido contando os grãos em cinco plantas por repetição e a média obtida foi multiplicada pelo estande referente a cada parcela. A massa de grãos (mg) foi obtida da média da massa de cinco grupos de cem grãos por parcela e estimada a massa de um grão.

A produção de grãos das parcelas foi transformada para kg ha<sup>-1</sup>. Os dados referentes à produtividade de grãos foram corrigidos para a umidade padrão de 13%, utilizando a seguinte expressão:

$$P_{13\%} = [ PC (1-U)/0,87 ]$$

Em que:

$P_{13\%}$  = produtividade de grãos (kg. ha<sup>-1</sup>) corrigida para a umidade padrão de 13%;

PC = peso de grãos sem a correção;

U = umidade dos grãos, observada no campo.

### 3.5 Análise estatística

A princípio, foram realizados os testes de aditividade dos dados, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. Não havendo nenhuma restrição às pressuposições da análise da variância, essas foram realizadas de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{(ijk)} = \mu + A_i + B_j + AB_{(ij)} + R_{(ijk)}$$

Em que:

$Y_{(ijk)}$ : valor observado na época “i”, na cultivar “j” e no bloco “k”.

$\mu$ : efeito da média geral.

$A_i$ : efeito da época de semeadura “i”, sendo  $i = 1, 2$  e  $3$ ;

$B_j$ : efeito do híbrido “j”, sendo  $j = 1, 2, 3, 4$ , e  $5$ ;

$AB_{(ij)}$ : efeito da interação da época de semeadura “i” com o híbrido “j”;

$R_{(ijk)}$ : efeito do erro experimental da observação referente a época de semeadura “i”, híbrido “j”, no bloco k.

As médias das características avaliadas foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 1999).

### 3.6 Teste do modelo CERES-Maize

As variáveis de solo, clima e manejo requeridas no modelo CERES-Maize estão apresentadas na Tabela 1A. Os dados de solo foram obtidos a partir do trabalho realizado por Hurtado, (2004) na mesma área e atualizados com a análise de solo. Os dados climáticos foram obtidos na estação climatológica da UFLA localizada cerca de 500 m da área experimental e os dados de manejo foram obtidos durante a condução do experimento.

O modelo CERES-Maize, foi calibrado e testado para as condições experimentais deste trabalho, conforme recomendação de Hoogenboom & White

(2003), Jones et al. (2003) e Soler (2004). No processo de calibração são mantidos invariáveis os parâmetros referentes ao clima, solo e manejo, variando-se os genéticos. São assim atribuídos valores aos parâmetros fisiológicos, executando-se o modelo várias vezes até que os coeficientes genéticos apresentem datas e produtividades simuladas bem próximas das observadas. Procedimento iterativo (Hunt et al., 1993) foi utilizado para selecionar o valor mais apropriado para cada parâmetro fenológico e, posteriormente, de crescimento. As datas de florescimento e maturidade, componentes do rendimento e produtividade foram utilizados para calibrar e testar o desempenho do modelo CERES-Maize.

Para a calibração do modelo são mantidos invariáveis os dados de solo, clima e manejo, alterando-se os parâmetros genéticos. Inicia-se a calibração pelo parâmetro P1, alterando-se seu valor a cada dez unidades até que a data de florescimento simulada seja muito próxima da data observada, procedimento igual é efetuado para P5, G2 e G3, até que as datas de maturidade fisiológica e produtividade de grãos simuladas sejam bastante próximas das observadas.

Para efetuar a calibração foram utilizados os dados das parcelas instaladas no mês de novembro de 2006, enquanto que os dados coletados nas parcelas instaladas nos meses de dezembro de 2006 e janeiro 2007 foram utilizados como dados independentes para a avaliação.

Datas de florescimento e maturidade fisiológica, componentes de rendimento e produtividade de grãos foram comparados utilizando-se o índice d de concordância (Willmott et al., 1985), o qual é definido como:

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P'_i| + |O'_i|)^2} \right]$$

Em que: N é o número de observações, Pi é o valor estimado, Oi é o valor observado, P'i= Pi - M e O'i = Oi - M, sendo M a média da variável observada.

De acordo com o índice estatístico d, quanto mais próximo da unidade, melhor a concordância entre as variáveis simuladas e observadas.

A porcentagem de desvio (PD) foi calculada considerando-se a diferença entre os valores simulados e observados (para o rendimento e seus componentes), dividindo-se esse valor pelos valores observados e multiplicando-se por 100, para convertê-lo em porcentagem. Percentagem de desvios negativos indicam sub-estimativa enquanto que percentagem de desvios positivas indicam super-estimativa. Além disso, o quadrado médio do erro (RMSE) foi calculado de acordo com Loague & Green (1991), utilizando-se a seguinte equação:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} * \frac{100}{M}$$

Em que: Pi e Oi referem-se às variáveis estudadas, dias desde a semeadura ao florescimento feminino, dias desde o florescimento feminino até a maturidade fisiológica, acúmulo de matéria seca, produtividade de grãos e componentes da produção de grãos.

O RMSE indica a diferença relativa, em %, entre os valores simulados e observados. A simulação é considerada excelente quando RMSE é menor do que 10%, boa entre 10 e 20%, aceitável entre 20 e 30% e pobre quando maior do que 30% (Jamieson et al., 1991).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para o experimento está apresentado na Tabela 3. Constatou-se que todas as características avaliadas foram influenciadas apenas pelo fator épocas de semeadura. A precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (CV) variou de 15,7% a 22,6%, indicando boa precisão segundo Scapin et al. ( 1995 ).

TABELA 3 Resumo da análise de variância para as médias de produtividade de grãos (Prod.) em Kg ha<sup>-1</sup>, número de grãos (NG) em grãos m<sup>-2</sup>, massa de grãos (MG) em mg grão<sup>-1</sup> e matéria seca (MS) em Kg.ha<sup>-1</sup>. UFLA, Lavras – MG, 2008.

FV	GL	QM		
		Prod.	NG	MG
Blocos	2	164654,86 <sup>NS</sup>	204329,71 <sup>NS</sup>	2400,06 <sup>NS</sup>
Híbridos (H)	4	512002,41 <sup>NS</sup>	584490,36 <sup>NS</sup>	1181,68 <sup>NS</sup>
Época (E)	2	23742044,60 <sup>**</sup>	1757259,45 <sup>*</sup>	36183,26 <sup>**</sup>
H*E	8	1125855,21 <sup>NS</sup>	194928,75 <sup>NS</sup>	2513,32 <sup>NS</sup>
Erro	28	773232,81	291493,25	1611,75
CV (%)		15,69	19,1	22,61
Média Geral		5605,20	2824,60	177,53

\*\*e \* P<0,01 e 0,05; <sup>NS</sup> Não significativo

Comparando as três épocas de semeadura, observa-se que a produtividade e todos os componentes da produção foram semelhantes na

primeira e segunda época de semeadura, ocorrendo na última época de semeadura acentuada redução na produtividade de grãos e de todos os componentes do rendimento (Tabela 4).

TABELA 4 Médias de Produtividade (Prod.) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), número de grãos (NG) ( $\text{grãos.m}^{-2}$ ), massa de grãos (MG) ( $\text{mg grão}^{-1}$ ) e matéria seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em três épocas de semeadura considerando cinco cultivares de milho. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Épocas de Semeadura	Prod.	NG	MG	MS
24/11/2007	6194,1 a	2989,4 a	210,33 a	18356,78 a
19/12/2007	6460,8 a	3053,3 a	201,21 a	18718,57 a
13/01/2007	4160,7 b	2431,1 b	121,10 b	10640,04 b

Médias seguidas de letras distintas minúsculas na coluna diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ );

Vale ressaltar que as condições ambientais na última época de semeadura não foram favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura havendo, principalmente, limitação hídrica (Figura 1).

Para suprir as exigências hídricas da cultura do milho, segundo Fancelli & Lima (1982), deve ocorrer um mínimo de 200 mm de precipitação no verão, sem a necessidade de irrigação. Observa-se que ocorreu uma quantidade suficiente de chuva para o desenvolvimento da cultura nas três épocas, no entanto estas foram mal distribuídas, principalmente no plantio de janeiro, em que no período entre florescimento e a maturidade fisiológica ocorreram apenas 46 mm de chuvas. Fancelli & Dourado Neto (2000) relatam que a ocorrência de deficiência hídrica de uma semana durante o florescimento masculino pode implicar numa queda de produção em torno de 50%, enquanto que após a polinização, sob as mesmas condições, as perdas podem chegar a 25%.

Ao analisar os dados da radiação solar (Figura 2), nota-se uma queda nos valores correspondentes a semeadura de janeiro, afetando a produção final

de grãos. De acordo com Fancelli (2003), a maior sensibilidade do milho a nebulosidade está entre dez a quinze dias após o florescimento. Andrade et al. (2000), por sua vez, mencionam a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa nos quinze dias prévios e posteriores à data de floração, como variável determinante na análise do número de grãos e número de grãos apicais da espiga de milho.

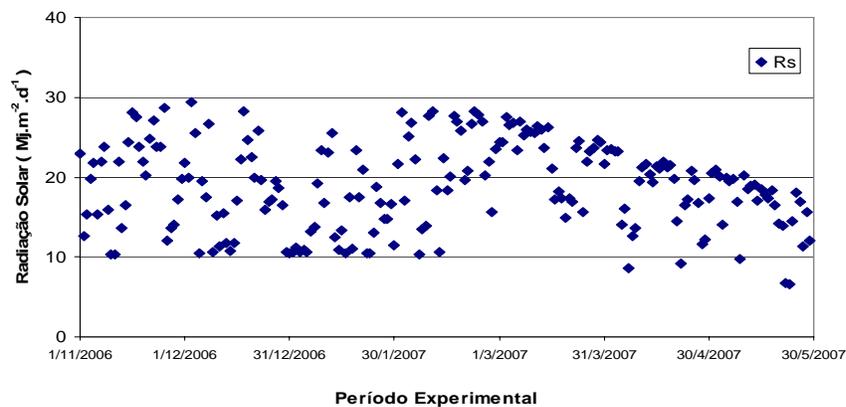


FIGURA 2 Comportamento da radiação solar diária observada para o período experimental compreendido entre novembro 2006 e maio 2007 para município de Lavras. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Didonet et al. (2002) investigando o efeito da radiação solar e da temperatura do ar na definição do número de grãos de milho concluíram que maiores produtividades são obtidas em épocas de semeadura em que ocorrem as maiores relações possíveis entre radiação solar e as temperaturas incidentes até o espigamento. O autor afirma que esta relação diminui a medida que se atrasa a semeadura.

Com os coeficientes genéticos calibrados o modelo CERES-Maize simula o desenvolvimento e a produtividade do milho. Os coeficientes genéticos

P1, P2 e P5 definem a fenologia da cultura enquanto que os G2 e G3 estão relacionados com a definição do rendimento em grão. P1: representa a duração do período vegetativo, soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil, (temperatura base 8°C); P2: representa a sensibilidade ao fotoperíodo, dias de atraso na iniciação da floração masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas; P5: duração da etapa reprodutiva, soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C); G2: número máximo de grãos por planta; G3: taxa de enchimento do grão (mg dia<sup>-1</sup>) sob condições ótimas de crescimento. Os valores dos coeficientes genéticos estão apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 Valores dos parâmetros genéticos correspondentes às diferentes híbridos antes e após a calibração. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Cultivar		Parâmetros Genéticos				
		P1	P2	P5	G2	G3
GNZ 2004	Observado	332	0,5	776	467	3,9
GNZ 2004	Calibrado	292	0,5	866	497	7,9
DKB 199	Observado	368	0,5	765	536	2,2
DKB 199	Calibrado	338	0,5	915	836	6,2
P 30F90	Observado	345	0,5	819	481	2,9
P 30F90	Calibrado	325	0,5	919	581	5,4
AG 7000	Observado	349	0,5	760	475	2,5
AG 7000	Calibrado	319	0,5	880	695	5,2
AG 8060	Observado	338	0,5	745	494	3,0
AG 8060	Calibrado	308	0,5	875	794	5,0

O coeficiente genético P2 foi considerado igual a 0,5 para os cinco híbridos, valor típico para híbridos tropicais (Jones & Kiniry, 1986).

O número de dias observados desde a emergência até o florescimento feminino para os cinco híbridos nas três épocas de semeadura e os valores

simulados para essa fase com o modelo CERES-Maize foram similares em magnitude (Tabela 6).

TABELA 6 Valores médios de número de dias observados e simulados para o período entre a semeadura e o florescimento (DSF) com o modelo CERES-Maize para cinco híbridos de milho semeados em três épocas. Índice de concordância (D), porcentagem de desvio (PD) e quadrado médio do erro (RMSE). UFLA, Lavras, MG, 2008.

Híbrido	Data Semeadura	DSF		PD	RSME	D
		Observado	Simulado			
AG7000	24/11/2006	68	67	-1,5	1,5	0,84
	19/12/2006	65	66	1,6		
	13/01/2007	65	66	1,5		
AG8060	24/11/2006	70	69	-1,4	1,2	0,90
	19/12/2006	67	66	-1,5		
	13/01/2007	68	68	0,2		
P30F90	24/11/2006	70	69	-1,4	2,7	0,92
	19/12/2006	69	66	-4,3		
	13/01/2007	69	68	-1,4		
DKB199	24/11/2006	73	72	-1,4	2,0	0,82
	19/12/2006	70	69	-1,4		
	13/01/2007	70	68	-2,8		
GNZ2004	24/11/2006	67	68	1,5	1,6	0,93
	19/12/2006	63	64	1,6		
	13/01/2007	63	64	1,6		

Pode se observar que os valores observados e simulados de dias desde a emergência até o florescimento feminino são muito semelhantes, com desvios percentuais (PD) variando de -4,3 a 1,6. O índice de concordância D foi elevado variando de 0,82 a 0,93 e o RMSE expresso em porcentagem foi menor que 2,7 mostrando a robustez do modelo CERES-Maize em simular a data de florescimento nos cinco híbridos nas três épocas de semeadura. Resultados

semelhantes foram encontrados por Hurtado (2004) que, avaliando a eficiência do modelo CERES-Maize na simulação de data de florescimento para híbrido A2345, na mesma região, obteve valores muito próximos para dados simulados e observados com PD inferior a 5%.

O período desde a semeadura até a maturidade fisiológica foi simulado pelo modelo CERES-Maize com exatidão nos cinco cultivares com valores de RMSE menores do que 6,8% (Tabela 7).

TABELA 7 Valores médios de número de dias observados e simulados para o período entre a semeadura e maturidade fisiológica (DSMF) simulados com o modelo CERES-Maize para cinco híbridos de milho semeados em três épocas. Índice de Concordância (D), porcentagem de desvio (PD) e o quadrado médio do erro (RMSE). UFLA, Lavras, MG, 2008.

Híbrido	Data Semeadura	DSMF		PD	RSME	D
		Observado	Simulado			
AG7000	24/11/2006	122	122	0,0	2,8	0,99
	19/12/2006	119	122	2,5		
	13/01/2007	125	120	-4,0		
AG8060	24/11/2006	125	125	0,0	4,2	0,91
	19/12/2006	124	122	-1,6		
	13/01/2007	129	120	-7,0		
P30F90	24/11/2006	128	127	-0,8	6,8	0,97
	19/12/2006	127	125	-1,6		
	13/01/2007	133	118	-11,3		
DKB199	24/11/2006	129	129	0,0	6,2	0,80
	19/12/2006	126	127	0,8		
	13/01/2007	134	120	-10,4		
GNZ2004	24/11/2006	122	122	0,0	2,5	0,80
	19/12/2006	120	118	-1,7		
	13/01/2007	125	120	-4,0		

O índice de concordância D variou entre 0,80 e 0,99 e os desvios percentuais (PD) de -11,3 a 2,5. Observou-se uma tendência do modelo subestimar este período para todos os cultivares na última época de semeadura.

A simulação para o número de grãos (grãos m<sup>-2</sup>) foi considerada boa para todos os híbridos com os valores de RSME abaixo de 17% (Tabela 8). No entanto os híbridos AG8060 e DKB199 apresentaram baixo índice de concordância (D) com valores de 0,44 e 0,56, respectivamente, sendo observadas superestimativas para esses híbridos na semeadura de janeiro, indicadas pelos valores positivo de PD (%).

TABELA 8 Valores médios de número grãos (grãos.m<sup>-2</sup>) (NG) observados e simulados com o modelo CERES-Maize para cinco híbridos de milho semeados em três épocas. Índice de concordância (D), porcentagem de desvio (PD) e o quadrado médio do erro (RMSE). UFLA, Lavras, MG, 2008.

Híbrido	Data Semeadura	NG		PD	RSME	D
		Observado	Simulado			
AG7000	24/11/2006	3030	3053	0,8	5,6	0,85
	19/12/2006	3327	3585	7,8		
	13/01/2007	2996	2832,7	-5,5		
AG8060	24/11/2006	2820	2848	1,0	13,2	0,44
	19/12/2006	2577	3060	18,7		
	13/01/2007	2278,3	2612	14,6		
P30F90	24/11/2006	2777	2469	-1,1	7,2	0,90
	19/12/2006	2740	2726	-0,5		
	13/01/2007	2117	2034	-3,9		
DKB199	24/11/2006	3370	2726	-19,1	16,6	0,56
	19/12/2006	3286,1	3190	-2,9		
	13/01/2007	2104	2637	25,3		
GNZ2004	24/11/2006	2108,4	2125	0,8	15,2	0,75
	19/12/2006	3009	2414	-19,8		
	13/01/2007	2023	1820	-10,0		

Os valores de RSME abaixo de 20% permitiram inferir que a simulação para massa de um grão foi muito precisa. Os maiores valores de desvio percentual foram obtidos na terceira época de semeadura com os híbridos AG7000 e GNZ2004 (Tabela 9). Observa-se também uma superestimativa nos valores estimados para todos os híbridos no experimento instalado em janeiro. O índice de concordância variou entre 0,67 e 0,86 confirmando o bom desempenho do modelo CERES-Maize para simular a massa de grãos dos híbridos avaliados.

TABELA 9 Valores médios de massa de um grão (MG) observados e simulados com o modelo CERES-Maize para cinco híbridos de milho semeados em três épocas. Índice de concordância (D), porcentagem de desvio (PD) e o quadrado médio do erro (RMSE). UFLA, Lavras, MG, 2008.

Híbrido	Data Semeadura	MG		PD	RSME	D
		Observado	Simulado			
AG7000	24/11/2006	206	195	-5,3	15,7	0,71
	19/12/2006	180	193	7,2		
	13/01/2007	123	166	35,0		
AG8060	24/11/2006	208	206	-1,0	8,6	0,89
	19/12/2006	220	199	-9,5		
	13/01/2007	145	165	13,8		
P30F90	24/11/2006	208	230	10,6	13,0	0,67
	19/12/2006	189	226	19,6		
	13/01/2007	173	174	0,6		
DKB199	24/11/2006	200	250	25,0	19,0	0,89
	19/12/2006	239	250	4,6		
	13/01/2007	163	190	16,6		
GNZ2004	24/11/2006	240	210	-12,5	19,0	0,87
	19/12/2006	259	290	12,0		
	13/01/2007	205	270	31,7		

A produtividade de grãos foi simulada com grande precisão pelo modelo CERES-Maize (Tabela 10).

TABELA 10 Valores médios de produção de grãos (Prod.) (Kg ha<sup>-1</sup>) observados e simulados com o modelo CERES-Maize para cinco híbridos de milho semeados em três épocas. Índice de concordância (D), porcentagem de desvio (PD) e o quadrado médio do erro (RMSE). UFLA, Lavras, MG, 2008.

Híbrido	Data Semeadura	Prod.		PD	RSME	D
		Observado	Simulado			
AG7000	24/11/2006	5985	5954	-0,5	3,3	0,98
	19/12/2006	6606	6920	4,8		
	13/01/2007	5100	4983	-2,3		
AG8060	24/11/2006	5886	5872	-0,2	12,7	0,91
	19/12/2006	6913	6098	-11,8		
	13/01/2007	3435	4301	25,0		
P30F90	24/11/2006	5765	5663	-1,8	13,0	0,83
	19/12/2006	5705	6181	8,3		
	13/01/2007	4630	3526	-23,8		
DKB199	24/11/2006	6814	6875	0,8	15,7	0,80
	19/12/2006	6913	6078	17,7		
	13/01/2007	3838	5188	35,2		
GNZ2004	24/11/2006	6518	6478	-0,8	14,1	0,84
	19/12/2006	6277	7108	13,2		
	13/01/2007	4987	5800	31,0		

Não houve diferença entre a produtividade de grãos dos híbridos, no entanto, observa-se que o melhor resultado da simulação foi obtido com o híbrido AG7000 com valores observados e simulados muito similares e a porcentagem de desvio da estimativa variou entre -2,3% e 4,8%. Vale ressaltar que esse híbrido apresentou a menor variação da produtividade observada nas três épocas de semeadura e obteve o índice D extremamente elevado (0,98) e

com valores de RMSE menores do que 5%. Para os demais híbridos a estimativa foi considerada boa, com RMSE menores do que 16%. O menor valor de D (0,80) foi obtido para o híbrido DKB199.

Estes resultados corroboram com os obtidos por Soler (2004) que avaliando o modelo Ceres-maize na previsão de safra de milho safrinha na região de Piracicaba-SP, encontrou valores do índice de concordância (D) entre 0,84 e 0,99 e de RSME menores que 10%.

A simulação proporcionou valores muito semelhantes dos valores observados para as datas de florescimento e maturidade fisiológica, enquanto que para os componentes da produção e produtividade de grãos, principalmente na terceira época de semeadura, os valores apresentaram-se altos na maioria dos híbridos. Esses valores superestimados coincidem com os apresentados por Lima (1995), porém com valores de desvio padrão (PD) inferiores a 14%. Hurtado et al. (2005) avaliando a eficiência do CERES-Maize na simulação da produção de grãos do híbrido A2345 encontraram valores de desvio padrão (PD) entre 31 e 36%, e explicaram que esses altos valores ocorrem devido a influência da variabilidade espacial dos atributos do solo na eficiência do modelo.

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que o modelo simulou com precisão a produtividade de grãos nas três épocas, sendo os maiores erros observados no plantio de janeiro de 2007. Isso pode ser explicado devido a calibração do modelo ter sido realizada com os dados obtidos na primeira época de semeadura e também devido as condições ambientais durante a condução do experimento instalado em janeiro terem sido muito diferentes das dos demais. Vale ressaltar que as condições ambientais não favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura afetam a eficiência do modelo. Além disso, dificuldade na obtenção de números suficientes de dados, bem como a ausência de critérios para a escolha correta dos parâmetros de calibração podem ter influenciado a eficiência do modelo.

Vale destacar que o modelo CERES-Maize foi desenvolvido e testado em condições temperadas de cultivo e com material genético adaptado a estas condições, por isso imprecisões nas simulações são esperadas nas condições tropicais brasileiras. No entanto observou-se que o CERES-Maize é uma boa ferramenta de auxílio a pesquisa e a previsão da produção de milho.

O estudo evidencia a importância da realização de novas avaliações do modelo em diferentes situações, em ambientes variados que integrem situações diversificadas como o manejo da irrigação, fertilidade de solos, adubações, bem como a utilização de híbridos e populações de plantas diferentes visando a obtenção de estimativas mais confiáveis, de modo que essas possam permitir a generalização dos resultados para uma região mais ampla.

## **5 CONCLUSÕES**

O modelo CERES-Maize é eficiente na simulação das datas de florescimento e maturidade fisiológica dos híbridos.

O modelo CERES-Maize é uma excelente ferramenta para a simulação dos componentes do rendimento e da produtividade de grãos de híbridos de milho.

Condições de déficit hídrico afetam a eficiência do modelo CERES-Maize na simulação dos componentes do rendimento e produtividade de grãos de milho.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. **Geoderma**, v.69, p.15-40, 1993.
- ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; CAMARGO, M.B.P. **Zoneamento agroclimático e probabilidade de atendimento hídrico para as culturas de soja, milho, arroz de sequeiro e feijão no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1995. 8p. (Boletim Científico).
- ANDRADE, F.H. Analysis of growth and yield of maize , sunflower and soybean grown at Balance, Argentina. **Fields Crops Resesach**, v.41, p.1-12, 1995.
- ANDRADE, F.H.; OTEGUI, M.E.; VEJA, C. Intercepeted radiation at flowering and and Kernel number in maize. **Agronomy Journal**, v.92, p.92-97, 2000.
- ASSIS, J.P.; DOURADO NETO, D.; REICHARDT, K.; MANFRON, P.A.; MARTIN, T.N.; BONNECARRÈRE, R.A.G. Dados climáticos simulados e produtividade potencial do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.731-737, 2006.
- BAETHGEN, W. Uso de modelos de simulación en manejo y fertilidad de suelos. In. **II Curso de actualización técnica manejo y fertilidad de suelos**. La Estanzuela. Uruguay: INIA, 1995.
- BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, J.I.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.7, p.949-956, 2001.
- BOOGES, W.G.; RITCHIE, J.T. Economic and risk analysis of irrigation decisions in humid regions. **Journal Production Agricultural**, v.1, n.2, p.116-122, 1998.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crops models. **Agronomy Journal**, v.88, p.704-716, 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLV, 1992. 395p.

CAIXETA FILHO, J.V. **Pesquisa operacional**: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. São Paulo: Atlas, 2001. 171p.

CASTELÁN-ORTEGA, O.A.; FAWCETT, R.H.; ARRIAGA-JORDAN, C.; HERRERO, M. A decision support system for small holder campesino maize-cattle production systems of the Toluca Valley in Central Mexico. Part I – Integrating biological and socio-economic models into holistic system. **Agricultural Systems**, v.75, p.1-21, 2003.

COSTA, L.C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 10., Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: SBA, 1997. p.3-6.

De WIT, C.T. **Simulation for assimilation, respiration, and transpiration of crops**. Wageningen: A Halsted/J. Wiley, 1978. 140p.

DIDONET, A.D.; RODRIGUES, O.; MARIO, J.L.; IDE, F. Efeitos da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.933-938, 2002.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; SANTOS BACCHI, O.O.; LOPES, P.P. **Soil water retention curve**: version 3.0. Piracicaba: ESALQ, 2001. Software.

FANCELLI, A.L. Milho: ambiente e produtividade. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho**: estratégias e manejo para alta produtividade. Piracicaba, 2003. p.174-197.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FANCELLI, A.L.; LIMA, U.A. **Milho**: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo: FEALQ, 1982. 112p.

FERREIRA, D.F. **SISVAR - Sistema de Análise de Variância**: versão 3.04. Lavras: UFLA/DEX, 1999.

FIGUEREDO, L.G.M.J. **Modelo para estimativa de produtividade da cultura de milho no estado de São Paulo**. 100p. 2004. Tese (Doutorado em

Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

FORNASIERI FILHO, D. **Técnica cultural**. Jaboticabal: UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2000. 27p.

FRÈRE, M.; POPOV, G.F. **Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos**. Roma: FAO, 1980. 68p. (Estudio FAO: Produccion y Proteccion Vegetal, 17).

GEDANKEN, A. **Utilização do modelo Ceres-Maize na avaliação de estratégias de irrigação na cultura do milho em duas regiões de Minas Gerais**. 1998. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

HOEFT, R.G. Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e soja nos EUA. **Informações Agronômicas**, v.104, p.1-4, 2003.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, p.137-157, 2000.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; BATCHELOR, W.D.; BOWEN, W.T.; HUNT, L.A.; PICKERING, N.B.; SINGH, U.; GODWING, D.C.; BAER, B.; BOOTE, K.J.; RITCHIE, J.T.; WHITE, J.W. Crops models. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.). **DSSAT v3, decision support system for agrotechnology transfer**. Honolulu: University of Hawaii, 1994. cap.2, v.2, p.95-244.

HOOGENBOOM, G.; WHITE, J.W. Improving physiological assumptions of simulation models by using gene-based approaches. **Agronomy Journal**, v. 85, p.82-89, 2003.

HUNT, L.A.; PARAJASINGHAM, S.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; IMAMURA, D.T.; OGOSHI R.M. Gencalc: software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. **Agronomy Journal**, v.85, p.1090-1094, 1993.

HUNT, L.A.; WHITE, J.W.; HOOGENBOOM, G. Agronomic data: advances in documentation and protocols for exchange and use. **Agricultural Systems**, v.70, p.477-492, 2001.

HURTADO, S.M.C. **Influência da variabilidade espacial dos atributos dos solos na simulação da produtividade de milho, utilizando o CERES-MAYZE**. 2004. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

HURTADO, S.M.C.; PAGLIS, C.M.; VON PINHO, R.G. Eficiência do modelo CERES-Maize na predição da produtividade de milho em áreas com presença de variabilidade espacial. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.6, p.1153-1160, nov./dez. 2005.

JAME, Y.W.; CURTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, v.76, p.9-19, 1996.

JAMIESON, P.D.; PORTER, J.R.; WILSON, D.R. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zeland. **Field Crops Research**, v.27, p.337-350, 1991.

JONES, C.A.; KINIRY, J.R. **CERES-Maize**: a simulation model of maize growth and development College Station. Texas: A & M University, 1986. 194p.

JONES, J.W. Decision support systems for agricultural development. In: PENNING de VRIES, F.W.T.; TENG, P.S.; METSELAAR, K. (Ed.). **Systems approaches for agricultural development**. Boston: Kluwer Academic, 1993. p.459-471.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. DSSAT Cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v.18, p.235-265, 2003.

KINIRY, J.R. Maize phasic development. In: HANKS, J.; RITCHIE, J.T. (Ed.). **Modeling plant and soil systems**. Madison, Wisconsin: ASA, 1991. cap.4, p.55-70.

LIMA, M.G. de. **Calibração e validação do modelo CERES-Maize em condições tropicais do Brasil**. 1995. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

LIU, W.T.H.; BOTNER, D.M.; SAKAMOTO, C.M. Application of CERES-Maize model to yield prediction of a Brazilian maize hybrid. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.45, p.299-312, 1989.

LOAGUE, K.; GREEN, R.E. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. **Journal of Contaminant Hydrology**, v.7, p.51-73, 1991.

MONDRAGÓN, V.E.C. **Estimativa da produtividade da cultura do milho em Minas Gerais, baseada em variáveis e em tendência tecnológica**. 1990. 68p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MONTEITH, J. The quest balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, v.88, p.695- 697, 1996.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PANDOLFO, C. **Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca em alfafa (*Medicago sativa L.*)**. Porto Alegre, 1995. 128p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Agronomia. Universidade do Rio Grande do Sul, RS.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate: the biological environment**. New York: J. Wiley, 1983. 495p.

SALISBURY, F.B. **Plant physiology**. Belmont: Wadsworth, 1992. 682p.

SALVADOR, R.J. Use of computerized simulation to advance agricultural research in developing countries. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON RESEARCH IN ELECTRICAL SCIENCES, 8., 1993, Torreón. **Proceeding...** Torreón, Coahuila, México: Instituto Tecnológico de la Laguna, 1993.

SCAPIN, C.A.; CARVALHO, C.G.P.; CRUZ, C.D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.30, n.5, p. 683-686, maio 1995.

SOLER, C.M.T.; FOLEGATTI, M.V.; FARIA, R.T. Uso do modelo CERES-Maize para identificação de características genéticas desejáveis e de práticas adequadas de manejo em milho "safrinha". **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.339-346, 2001.

SOLER, C.T. **Uso do modelo CERES-Maize para previsão de safra do milho “safrinha”**. 2004. 132. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

THOMPSON, L.M. Weather and technology in the production of corn in the U.S. corn belt. **Agronomy Journal**, n.61, p.453-456, 1969.

VANCLOOSTER, M.; VIAENE, J.; DIELS, J.; CHRISTIAENS, K. **Wave**: a mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven, 1994. 1v.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449p.

VILLA NOVA, N.A.; PEDRO Jr., M.J.; PEREIRA, A.R.; OMETTO, J.C. **Estimativa de graus -dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima**. São Paulo: USP. Instituto de Geografia, 1972. 8p.

VIEIRA, P.A.J. **Previsão de atributos do clima e do rendimento de grãos de milho na região Centro-Sul do Brasil**. 2006. 329p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

WILLMOTT, C.J.; AKLESON, G.S.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.

## ANEXO

ANEXO A	PÁG.
TABELA 1A. Variáveis requeridas pelo modelo CERES-Maize, próprias aos arquivos: clima, solo, genético e manejo. UFLA, Lavras, MG, 2008.....	43

**TABELA 1A.** Variáveis requeridas pelo modelo CERES-Maize, próprias aos arquivos: clima, solo, genético e manejo. UFLA, Lavras, MG, 2008.

<b>Parâmetros climáticos</b>
Temperaturas máxima e mínima diária (°C)
Precipitação diária (mm.dia <sup>-1</sup> )
Radiação solar diária (Mj.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )
<b>Parâmetros de solo</b>
Albedo do solo (%)
Coefficiente para o limite superior de evaporação do solo (U)
Coefficiente de taxa de drenagem no perfil total (B)
Número da curva do escoamento superficial (CN2)
Espessura da camada de solo (m)
Limite inferior da água extraível pela planta (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )
Limite superior de drenagem (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )
Limite à saturação (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )
Umidade inicial (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )
Fator de ponderação da distribuição radicular (WR)
Densidade do solo (kg.irf <sup>3</sup> )
<b>Parâmetros genéticos</b>
P1, P2, P5,G2 e G3
<b>Parâmetros de manejo</b>
População de plantas (plantas.m <sup>-2</sup> )
Data de semeadura (dia juliano)
Adubações
Profundidade de semeadura (m)
Latitude do local

Fonte: Adaptado: Hurtado, 2004