

EVANDRO CHAVES DE OLIVEIRA

DESEMPENHO DO MODELO CROPGRO-DRY BEAN EM ESTIMAR A DATA
DE SEMEADURA E A PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2007

EVANDRO CHAVES DE OLIVEIRA

DESEMPENHO DO MODELO CROPGRO-DRY BEAN EM ESTIMAR A DATA
DE SEMEADURA E A PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 16 de março de 2007.

Trazilbo José de Paula Júnior
(Co-Orientador)

Williams Pinto Marques Ferreira
(Co-Orientador)

Prof. Sérgio Zolnier

Prof. Flávio Barbosa Justino

Prof. José Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

Aos meus pais, Roberto Ilha de Oliveira e
Margarete Chaves de Oliveira,
fonte de carinho e apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais está vitória, pela força espiritual sempre presente e por ter posto no meu caminho as pessoas abaixo citadas.

Aos meus pais, Roberto Ilha de Oliveira e Margarete Chaves de Oliveira, pela educação, cultura, apoio financeiro, confiança e juntamente com meu padrinho Volnei Ilha de Oliveira e meus irmãos, Elizandra, Eliane e Leandro, pelos constantes incentivos.

À minha namorada Sabrina Rohdt da Rosa, pelo amor, apoio, compreensão e incentivo.

Aos demais familiares, por sempre me apoiarem em todas as minhas decisões, dando-me forças para jamais desistir de continuar.

Ao Professor José Maria Nogueira da Costa, pela orientação, pelos ensinamentos e pela amizade.

À Universidade Federal de Viçosa e à área da Meteorologia Agrícola pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Programa de Pós-Graduação.

Aos professores Dr. Trazilbo José de Paula Júnior, Williams Pinto Marques Ferreira, Sérgio Zolnier e Flávio Barbosa Justino, pelos incentivos e sugestões ao nosso trabalho.

À diretoria do CNPq pelo auxílio financeiro.

Aos demais professores, por terem-me enriquecido na minha formação acadêmica.

Aos colegas e aos amigos, especialmente os companheiros do curso de pós-graduação em meteorologia Agrícola, pelo companheirismo e apoio em todas as etapas vividas durante a realização deste estudo.

Aos meus amigos de república Sabrina, Lúcia, Leonardo Neves, Rosandro, Rochane e Leonardo Aguiar, pelos momentos de alegria, pela convivência, pela paciência e, sobretudo, pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pelo apoio e amizade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

EVANDRO CHAVES DE OLIVEIRA, filho de Roberto Ilha de Oliveira e Margarete Chaves de Oliveira, nasceu em 30 de março de 1980, em Cachoeira do Sul, Estado do Rio Grande do Sul.

Em fevereiro de 2005, graduou-se em Meteorologia, pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), em Pelotas, Rio Grande do Sul.

Em fevereiro de 2005, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, na área de micrometeorologia de ecossistemas.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. A cultura do feijoeiro	4
3.1.1. Aspectos gerais do cultivo	4
3.1.2. Elementos climáticos	5
3.1.2.1. Precipitação pluvial	6
3.1.2.2. Radiação solar	7
3.1.2.3. Temperatura do ar	8
3.2. Modelagem na agricultura	9
3.3. O sistema DSSAT	12
3.4. O modelo CROPGRO	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1. Características da área de estudo	17
4.2. A cultura	21

	Página
4.3. Os Experimentos.....	23
4.4. O modelo CROPGRO-Dry bean.....	24
4.5. Teste do modelo CROPGRO-Dry bean.....	26
4.6. Aplicação do modelo CROPGRO-Dry bean.....	28
4.6.1. Avaliação de diferentes datas de semeadura do feijoeiro.....	28
4.6.2. Previsão de produtividade do feijoeiro.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1. Teste do modelo CROPGRO-Dry bean.....	30
5.2. Avaliação do modelo CROPGRO-Dry bean na estimativa da duração de fases fenológicas do feijoeiro.....	31
5.3. Avaliação do modelo CROPGRO-Dry bean na estimativa da produtividade do feijoeiro.....	33
5.4. Aplicação do modelo para determinação das melhores data de semeadura do feijoeiro com base nas estimativas de produtividade potencial.....	34
5.5. Simulação da produtividade real do feijoeiro.....	37
5.6. Simulação de duração entre o período semeadura - florescimento, semeadura – maturação fisiológica e ciclo total da cultura para três cultivares de feijão em doze datas de semeadura.....	40
5.7. Quebra de produtividade do feijoeiro em relação às datas de semeadura.....	44
5.8. Avaliação do modelo CROPGRO-Dry bean para previsão de produtividade do feijoeiro.....	48
6. RESUMO E CONCLUSÕES	51
7. REFERÊNCIAS	53

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Médias dos valores de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) precipitação (P) e radiação solar global (Rg) para Viçosa, MG, no período de 1975 a 2006	18
2. Principais características químicas, físicas e classificação do solo onde os ensaios foram conduzidos, em Viçosa, MG.	21
3. Principais características agronômicas das cultivares de feijão, com suas origens e ano de recomendação.	22
4. Coeficientes genéticos necessários para a calibração do modelo CROPGRO-Dry bean para três cultivares de feijão.....	31
5. Valores médios de produtividade de grãos observados e simulados com o modelo CROPGRO-Dry bean, na fase de calibração, para três cultivares de feijão, em Viçosa, MG.....	33
6. Produtividades potenciais médias, máximas e mínimas simuladas, respectivos desvios padrões (DP), coeficiente de variação (CV) das 31 safras em 12 datas de plantio, para três cultivares de feijão, em Viçosa, MG.....	35
7. Produtividade reais médias, máximas e mínimas simuladas, respectivos desvios padrões (DP), coeficiente de Variação (CV) das 31 safras em 12 datas de plantio, para três cultivares de feijão, em Viçosa, MG	38

	Página
8. Duração dos subperíodos (dias) da floração, maturação fisiológica e colheita simulados para três cultivares de feijão em 12 datas de semeadura, durante os 31 anos em estudo. Experimento simulado para Viçosa, MG	41
9. Análise da precipitação ocorrida nas 31 safras em 12 datas de semeadura simuladas para três cultivares, em Viçosa, MG.....	43
10. Frequência de quebra relativa de produtividade simulada para três cultivares de feijão nas 12 datas de semeadura, em Viçosa, MG.	46

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Extrato do balanço hídrico mensal, com a deficiência (DEF) e o excedente (EXC) hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955), para CAD igual a 100 mm, em Viçosa, MG, no ano agrícola de 2003.....	18
2. Extrato do balanço hídrico mensal, com a deficiência (DEF) e o excedente (EXC) hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955), para CAD igual a 100 mm, em Viçosa, MG, no ano agrícola de 2004.....	19
3. Radiação solar global estimada a partir dos dados de insolação ocorridos durante os experimentos com o feijão-da-seca e das-águas, em Viçosa, MG.....	19
4. Temperatura máxima e mínima do ar durante os experimentos com o feijão-da-seca 2003 (3a), das-águas em 2003 (3b) e da-seca em 2004 (3c), em Viçosa, MG.....	20
5. Representação esquemática da estrutura do modelo CROPGRO-Dry bean.....	25
6. Relação entre o número de dias observados e simulados desde a semeadura até o florescimento (FLOR) e do plantio a maturação fisiológica (MF) para três cultivares de feijão, em ensaios realizados durante os anos de 2003 e 2004, em Viçosa, MG.....	32
7. Distribuição de frequência da produtividade potenciais simulada para todas as datas de plantio analisadas, para os três cultivares de feijão. Viçosa, MG.....	37

Página

8. Distribuição de frequência da produtividade real simulada para todas as datas de semeadura analisadas, para três cultivares de feijão, em Viçosa, MG.....	40
9. Quebra de produtividade simulada (%) em decorrência da deficiência hídrica, para três cultivares de feijão nas 12 datas de semeadura em estudo, em Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil.....	44
10. Distribuição de frequência relativa das quebras relativas de produtividade simulada para todas as datas de semeadura analisadas, para os três cultivares de feijão, em Viçosa, MG.....	48
11. Produtividade e desvios padrões previstos para a cultura do feijão “das águas” para o ano 2003, para as cultivares Pérola (a), Ouro Negro (b) e Ouro Vermelho (c).....	50

RESUMO

OLIVEIRA, Evandro Chaves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2007. **Desempenho do modelo CROPGRO-Dry bean em estimar a data de semeadura e a produtividade do feijoeiro.** Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Co-orientadores: Trazilbo José de Paula Júnior e Williams Pinto Marques Ferreira.

Os modelos de simulação de cultura são ferramentas que permitem criar cenários, considerando as diversas combinações dos vários elementos que influenciam a produtividade das culturas. Estes são comumente utilizados para a simulação do crescimento de plantas como ferramentas na otimização das práticas de manejo, bem como, para estimar produtividades. Os modelos da família CROPGRO têm sido amplamente utilizados na simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas. O presente trabalho teve como objetivo: 1) Avaliar o desempenho do modelo CROPGRO-Dry bean na estimativa do desenvolvimento e da produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Viçosa, MG; 2) Aplicar o modelo para a determinação das melhores datas de semeadura de feijão, em condições de sequeiro; 3) Testar o modelo na simulação da previsão de produtividade do feijoeiro. O ajuste dos coeficientes genéticos do modelo para os cultivares de feijão Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho, cultivados no município de Viçosa-MG, foi obtido a partir de dois experimentos realizados no ano de 2003, sendo um conduzido com irrigação e outro em condições de sequeiro. Outro experimento foi conduzido no ano de 2004, com

irrigação. Após o ajuste dos coeficientes, realizou-se a simulação da produtividade do feijoeiro com base em dados de 31 safras compreendidas entre o período de 1975 a 2006. As simulações foram baseadas em dados meteorológicos diários de temperaturas máxima e mínima do ar, precipitação pluvial e radiação solar global, características físico-hídricas do solo e dados de manejo da cultura. Por meio das análises realizadas nas simulações, observou-se que o modelo foi muito sensível à variação dos coeficientes genéticos, mostrando variação entre os cultivares nas simulações de desenvolvimento fenológico e produtividade de grãos. O modelo CROPGRO-Dry bean simulou com adequada precisão o desenvolvimento fenológico das cultivares de feijão Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho, para as condições de solo e de clima de Viçosa-MG. O modelo CROPGRO-Dry bean simulou satisfatoriamente a produtividade de grãos, com o quadrado médio do erro menor que 5 % para as cultivares Pérola e Ouro Negro e, 12, 63%, para a cultivar Ouro Vermelho. Em geral, para os dois cenários de cultivo, potencial e real quanto mais tardio o plantio, menor a produtividade do feijão “da seca” simulado para as três cultivares. As melhores datas de semeadura determinadas pelo modelo CROPGRO-Dry bean, para as três cultivares de feijão foram entre 1º de outubro a 20 de outubro. O modelo CROPGRO-Dry bean mostrou ser uma boa ferramenta para a previsão de produtividade do feijão “das águas”, obtendo-se uma adequada estimativa de produtividade com 30 dias de antecedência da colheita para os três cultivares de feijoeiro plantado nessa época em Viçosa.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Evandro Chaves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March of 2007. **Performance of the model CROPGRO-Dry bean for predicting the sowing date and the productivity of the common bean.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Co-Advisers: Trazilbo José de Paula Júnior and Williams Pinto Marques Ferreira.

Crop simulation models are tools that generate sceneries, considering the several combinations of elements that influence on crop productivity. Simulation models have been used for optimization of managements practices as well as to estimate crop yield. The CROPGRO model is widely applied in crop productivity estimates. The objectives of the present study are: 1) to evaluate the performance of the model CROPGRO-Dry bean for estimating the growing stages and the productivity of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), in Viçosa, MG; 2) to apply the model for the determination of the best sowing dates of bean, for rainfed conditions; 3) to test the model in the prediction of the productivity of the common bean. The adjustment of the genetic coefficients of the model was done to Pérola, Ouro Negro and Ouro Vermelho bean cultivars, in Viçosa-MG. The coefficients are determined based on experimental data. Those data were obtained from two experiments in the year of 2003, for two different conditions: irrigation and rainfed. An additional experiment was conducted in the year of 2004, with irrigation. After calibration, the model simulated the bean productivity for 31 years between 1975 and 2006. The simulations applied climatological daily of maximum and minimum temperatures, total precipitation and global solar radiation; physical hydric characteristics of the soil and crop management practice. According to the results, the model is highly sensitive to genetic coefficient variations between the three distinct cultivars during the growth stages and grain productivity. CROPGRO-Dry bean model simulated with accuracy the bean phenology based on the soil and climate

conditions of the Viçosa-MG. It was simulate satisfactorily the grain productivity, since values of RMSE were less than 5 % for Pérola and Ouro Negro and, 12, 63 %, Ouro Vermelho cultivars. In general, for the two sceneries, potential and real, as more delayed the planting date is, lower is the productivity of the bean for the dry season for the three cultivars. The best sowing dates were found to be between October 1 to November 20. CROPGRO-Dry bean model is, therefore, a useful tool for predicting the bean yield, thirty days in advance harvest.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores e consumidores de feijão do mundo nas estatísticas da FAO (2005). Considerando apenas o gênero *Phaseolus*, o Brasil é o maior produtor e Minas Gerais é o primeiro maior Estado produtor, respondendo por aproximadamente 15 % da produção nacional. Nos anos de 2001 a 2003 o estado de Minas Gerais reduziu sua área de plantio em torno de 18 % e mesmo assim aumentou sua produção de feijão em 54 %, graças ao aumento de 88 % na produtividade média, passando de 577 kg.ha⁻¹ para 1.088 kg.ha⁻¹ (BORÉM e CARNEIRO, 2006). Com mudanças na conjuntura da produção, como ocorreu na microrregião de Viçosa, a Zona da Mata deixou de ser a principal produtora, em área, cedendo esta posição para a microrregião de Unai (SIDRA, 2005).

O feijão é uma leguminosa largamente consumida no Brasil tanto pela população rural, quanto pela urbana, sendo um dos componentes básicos da dieta alimentar dos brasileiros. Seu consumo *per capita* situou-se, em 2003, em 16 kg.ano⁻¹, e na década de 70 chegou a alcançar patamares de 18,5 kg.ano⁻¹ (IBGE, 2006). Mesmo com um aumento de 16 % na produção de 1984 a 2004 e uma diminuição no consumo desde a década de 70 até o ano de 2003, o país não produz o suficiente para atender o mercado interno, devido ao aumento populacional (CONAB, 2006). Torna-se, portanto, necessário que se enfatize a realização de pesquisas sobre a agroclimatologia do feijoeiro, visando estabelecê-lo definitivamente como cultura econômica em bases permanentes, tendo em vista sua importância econômica e social.

Na última década, tem crescido o uso de modelos de simulação de culturas, que são ferramentas muito importantes no estudo das funções de produção. Esses modelos são normalmente constituídos de submodelos que buscam representar os diferentes processos envolvidos no sistema solo-planta-atmosfera, de forma qualitativa e quantitativa, com objetivo de prever o crescimento, o desenvolvimento e a produção das culturas, podendo, posteriormente, serem utilizados em trabalhos de planejamento e zoneamento agrícolas, agricultura de precisão e monitoramento e previsão de safras. No Brasil, o desenvolvimento e a aplicação de modelos de simulação vêm se tornando cada vez mais freqüentes na solução de problemas agrônômicos, hidrológicos e agrometeorológicos (FARIA et al., 1997; FARIA e FOLEGATTI, 1999; CARDOSO, 2001; SOLER et al., 2001; CARAMORI e FARIA, 2002; BASTOS et al., 2002; HEINEMANN, et al., 2002, STONE et al., 2002, MEIRELLES et al., 2003, SOLER, 2004; DALLACORT et al., 2005 e DALLACORT et al., 2006).

Segundo (HOOGENBOOM et al., 2003), o Sistema de Suporte à Tomada de Decisão para a Transferência de Agrotecnologia (DSSAT), inclui um conjunto de modelos de crescimento de culturas e tem sido usado amplamente nos últimos anos por pesquisadores de diferentes países, por ser uma ferramenta computacional útil na avaliação das opções de manejo em função das condições ambientais. Dentre os modelos de simulação que compõe o DSSAT, destaca-se o CROPGRO, que é um modelo genérico para leguminosas e permite a simulação do crescimento e desenvolvimento da soja, amendoim e feijão, entre outras. A utilização de simulações do modelo CROPGRO na análise dessas variáveis sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijão pode contribuir para o manejo mais adequado da cultura e para melhor compreensão das interações entre as condições climáticas e a cultura, bem como, melhorar a qualidade e reduzir o tempo nas tomadas de decisões (JONES et al., 2003).

No Estado de Minas Gerais são poucos os trabalhos sobre a influência das variáveis agroclimáticas na produtividade do feijão que enfatizam as exigências climáticas da cultura em relação à sua fisiologia e às condições de solo, de modo a viabilizar a cultura do ponto de vista econômico, tornando possível aos agricultores programarem suas atividades agrícolas, com menor risco de serem surpreendidos pelos efeitos adversos do tempo.

2. OBJETIVOS

Diante das considerações apresentadas, o presente trabalho objetivou:

- Avaliar o desempenho do modelo CROPGRO-Dry bean na estimativa do desenvolvimento e da produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Viçosa, MG;
- Aplicar o modelo para a determinação das melhores datas de semeadura de feijão, em condições de sequeiro;
- Testar o modelo na simulação da previsão de produtividade do feijoeiro.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. A cultura do feijoeiro

3.1.1. Aspectos gerais do cultivo

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado um dos mais importantes componentes da dieta alimentar do brasileiro. Nutricionistas caracterizam o feijão como um alimento “quase perfeito” devido ao alto conteúdo de proteínas, fibras, carboidratos complexos e outros componentes da dieta como ácido fólico (fonte de vitamina B), ferro, zinco, magnésio, e potássio (CIAT, 2002). Da produção mundial, 47% é proveniente das Américas e 10% do leste e do sul da África. Considerando somente o gênero *Phaseolus*, o Brasil é o maior produtor, seguido pelo México. Entretanto, a produção brasileira de feijão tem sido insuficiente para abastecer o mercado interno, sendo necessária a importação de 40.200 t. anualmente para atender a demanda de 3.100.000 t, considerando o consumo *per capita* anual de 17,36 kg.habitante⁻¹ (AGRIANUAL, 2005). O feijão também é um dos produtos agrícolas de maior importância econômica e social para o país, devido, principalmente, à mão de obra empregada durante o ciclo da cultura. Estima-se que somente em Minas Gerais, o cultivo de feijão emprega cerca de 7 milhões de homens por dia-ciclo de produção, envolvendo cerca de 295 mil agricultores nas diferentes épocas de semeadura (BORÉM e CARNEIRO, 1998, 2006).

O Estado de Minas Gerais é o primeiro maior produtor de feijão do País (CONAB, 2007), e destaca-se pela quantidade de tipos comerciais cultivados. Os tipos de grãos de maior importância para o Estado são os do grupo carioca e preto (VIEIRA et al., 2005). Nas regiões norte, sul e noroeste predominam feijões do tipo carioca. Na Zona da Mata, além do feijão-preto, cultivava-se também o feijão-vermelho (RAMALHO e ABREU, 1998), que pela sua grande demanda neste mercado chega a alcançar, em determinadas épocas, o dobro do preço dos demais feijões (VIEIRA, 2005). De acordo com SOARES et al. (2002), há uma tendência de expansão da área cultivada para outras áreas do Estado e até mesmo do país.

Segundo ARAÚJO (1998), ARAÚJO e FERREIRA (2006) e VIEIRA (2004), no Estado de Minas Gerais, as épocas de cultivo do feijão, de acordo com as datas de plantio e colheita, são denominadas, primavera-verão (plantio das “águas”); verão-outono (plantio da “seca”), outono-inverno e inverno-primavera. Para esses autores, a semeadura “das águas” apresenta o risco de ocorrência de chuvas no período da colheita, o que pode comprometer a produção. Na semeadura “da seca”, o risco da falta ou distribuição irregular das chuvas é maior, afetando sensivelmente o rendimento. Já o feijão semeado no outono e inverno, cultivado no período seco, sob irrigação, vem atraindo médios e grandes produtores, geralmente usuários de maior tecnologia. Suas desvantagens são: não é indicado para áreas de inverno rigoroso e, há possibilidade da colheita coincidir com o início das chuvas.

Segundo dados do IBGE (1990 - 2005), a área cultivada, a produção e o rendimento do feijão em Minas Gerais oscilaram bastante no período de 1990 a 2005. Esse fato, pode estar relacionado ao alto risco a que a cultura está exposta, devido, principalmente, à sua sensibilidade às condições climáticas e ao ataque de pragas e doenças. Portanto, é necessário que os riscos do impacto climático envolvendo a cultura do feijão em Minas Gerais sejam analisados e minimizados.

3.2. Elementos climáticos

Dentre os vários fatores envolvidos na produção do feijão, o clima é fator determinante na produtividade. As respostas interativas entre clima e planta precisam ser adequadamente conhecidas e estudadas a fim de se obter o menor risco possível de insucesso. No caso do feijoeiro, os elementos climáticos que influenciam

diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura são a precipitação pluvial, a radiação solar global e a temperatura do ar.

3.1.2.1. Precipitação pluvial

A necessidade de água para a máxima produção do feijão pode variar de acordo com o local (clima e solo), com a época de plantio do cultivar (ciclo cultural, sistema radicular e outros) e com o manejo da cultura e do solo (SILVEIRA e STONE, 2001). Estudos realizados em Minas Gerais por SILVEIRA e STONE (1998), comprovaram que as maiores produtividades do feijoeiro foram obtidas com lâminas de água variando de 340 mm a 471 mm durante o ciclo.

Assim, a água constitui-se fator limitante na produtividade da cultura, pois interfere diretamente na absorção e no transporte de nutrientes, na fotossíntese e no transporte de assimilados, na transpiração, no crescimento e na produção de grãos (GUIMARÃES, 1988). O feijoeiro é afetado pelo déficit hídrico, devido à sua baixa capacidade de recuperação após esse estresse e ao sistema radicular pouco desenvolvido (GUIMARÃES, 1996), assim como pelo excesso de água, que pode trazer prejuízos à cultura, principalmente se as chuvas ocorrerem na época da colheita. PINTO (1985) observou diminuição no rendimento do feijoeiro cultivado em Viçosa, quando houve excesso de água no solo. Vale destacar, que nos anos em que ocorre deficiência hídrica, perdas de rendimento quase sempre são registradas (FAGERIA et al., 1995; CARMO, 1997).

A deficiência hídrica no sub-período semeadura-emergência pode afetar sensivelmente o processo germinativo do feijoeiro, resultando em baixo estande de plantas (GUIMARÃES, 1996; FANCELLI e DOURADO NETO, 1999). Quando a diminuição de água ocorre no período de floração, pode haver redução tanto na estatura da planta, quanto no tamanho e no número de vagens e de sementes por vagem, o que afeta o rendimento da cultura (DIDONET e SILVA, 2004). Se ocorrer diminuição de água no enchimento de grãos, sua formação é prejudicada ou seu peso é reduzido (GUIMARÃES, 1996). Segundo CALVACHE et al. (1997), a floração é o estágio mais sensível ao déficit hídrico. Para GOMES et al. (2000) e STONE e MOREIRA (2001), o déficit hídrico na fase vegetativa também reduz a produtividade do feijoeiro. Assim, a cultura do feijoeiro requer boa disponibilidade

hídrica no solo durante todo o ciclo, principalmente nas etapas mais críticas de germinação, emergência, floração e enchimento de grãos.

3.1.2.2. Radiação solar

O feijoeiro, quando exposto à baixa quantidade de radiação solar apresenta decréscimo no índice de área foliar, o que contribui para uma menor área de interceptação de energia e interfere no metabolismo fisiológico da planta. Por outro lado, em condições de exposição à alta radiação solar, os índices de área foliar são maiores, o que não significa que haverá aumento no rendimento da cultura, pois a produção de grãos está diretamente relacionada à eficiência fotossintética da cultivar (DIDONET e SILVA, 2004).

A radiação solar influencia significativamente as taxas de fotossíntese das plantas. A quantidade necessária para a saturação fotossintética varia com a idade e o tipo da planta. Logo, regiões que apresentam valores de radiação solar entre $13 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $22 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ são consideradas ideais para o desenvolvimento do feijoeiro (DIDONET e SILVA, 2004). Para esses autores, em condições de radiação solar acima de $35 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, a taxa de fotossíntese do feijoeiro é praticamente constante.

Em situação de cultivo, o máximo de eficiência na utilização da radiação é atingido quando toda a radiação disponível é interceptada pela cobertura vegetal. Assim, quanto mais rápido houver cobertura total do solo, maior será o acúmulo de biomassa. Porém, nem sempre isso acontece. No caso do feijoeiro, grande produção de folhas e ramos pode reduzir o rendimento de grãos, causando o auto-sombreamento, uma vez que somente a parte superior do cultivo recebe radiação. O auto-sombreamento ocorre, por exemplo, quando a população de plantas por unidade de área é superior a considerada ótima, sendo crítico, no período de vingamento de vagens e grãos (DIDONET e MADITRIZ, 2002).

A radiação solar também tem efeito na redução do percentual de abortamento de flores e no aumento de retenção de vagens do feijoeiro. Quanto maior for a radiação solar disponível da emergência ao início do florescimento, maior será o número de vagens por unidade de área (DIDONET e SILVA, 2004).

Devido a sua influência nas taxas de fotossíntese, a radiação solar é fator climático importante (FRAGERIA, 1989). VIEIRA (1999) menciona que o feijoeiro,

na prática, não tem sua produção limitada pela radiação solar, pois apresenta baixa irradiância de saturação, ou seja, não ocorre aumento na taxa fotossintética a partir de fluxo radiante relativamente baixo, da ordem de $10 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $14 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

De maneira geral, a utilização da radiação solar pelas plantas depende da sua capacidade de interceptar e utilizar a luz, ou seja, da capacidade fotossintética. Por sua vez, a taxa fotossintética de uma cultura depende da distribuição da radiação solar nas diferentes camadas de folhas e do total absorvido em cada camada.

3.1.2.3. Temperatura do ar

O crescimento das plantas, os processos fisiológicos e a produtividade são afetados tanto pelas temperaturas do ar muito elevadas como pelas baixas. DOORENBOS e KASSAM (1994) citam que as temperaturas médias diárias ótimas para o feijoeiro oscilam entre 15°C a 20°C , sendo a temperatura mínima 10°C e a máxima 27°C . Entretanto, FANCELLI e DOURADO NETO (1999) consideram as regiões com temperatura média entre 15°C e 29°C aptas para o cultivo do feijão. Na América Latina, a temperatura média durante o ciclo da cultura varia entre $17,5^{\circ}\text{C}$ e 25°C e, normalmente, a época de semeadura busca a coincidência da floração com a temperatura em torno de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$, considerada ótima para essa etapa do desenvolvimento, desde que associada com adequada disponibilidade de água no solo (MARIOT, 1989).

A ocorrência de temperaturas acima ou abaixo da faixa ótima, dependendo da frequência e da duração, pode ocasionar sérios prejuízos ao estabelecimento, ao crescimento e ao desenvolvimento da cultura, resultando em baixa produtividade de grãos. Se as temperaturas baixas ocorrerem imediatamente após a semeadura, podem impedir, reduzir ou atrasar a germinação das sementes e a emergência das plântulas e, conseqüentemente, causar baixa produtividade (ANDRADE et al., 2006).

Alta temperatura talvez seja a variável climática que exerça maior influência sobre o aborto de flores, o vingamento e a retenção final de vagens no feijoeiro (PORTES 1996). Vários autores demonstram que os maiores prejuízos na cultura do feijão ocorrem no estágio de desenvolvimento reprodutivo, em que temperaturas variando entre 30°C e 40°C ocasionam redução no rendimento, por provocarem abortamento de flores e botões florais (DICKSON e PETZOLDT, 1989; MONTERROSO e WIEN, 1990; SHONNARD e GEPTS, 1990; KONSENS et al.,

1991; AGTUNONG et al.,1992; SHONNARD e GEPTS, 1994). A planta é particularmente mais sensível na pré-fertilização, ou seja, antes da antese (MONTERROSO e WIEN, 1990). As reduções no rendimento ocorrem porque as altas temperaturas esterilizam o grão de pólen (WEAVER e TIMM, 1988) e elevam a produção de etileno na planta (SAUTER et al., 1990), fatores relacionados com a queda de flores e a granação deficiente.

Temperaturas baixas reduzem a altura da planta e o crescimento de ramos, além de induzir à produção de pequenos números de vagens por planta (PORTES, 1996). Além disso, temperaturas baixas acarretam atraso na germinação e na emergência (VON PINHO et al., 1991), assim como no início do florescimento (DIAS et al., 1992).

DIDONET e SILVA (2004), em estudo realizado com o cultivar Pérola entre a floração e o enchimento de grãos, comprovaram que em altas temperaturas há aumento na massa das folhas e ramos secos, redução expressiva na massa de grãos secos e menor número de grãos por vagem. MARIOT (1989) relata que a abscisão de órgãos reprodutivos chega a atingir mais de 50%, quando as temperaturas diurnas estão acima de 30°C, e noturnas, acima de 20°C. Portanto, a exposição a altas e baixas temperaturas, mesmo que por curtos períodos de tempo, afetam o crescimento, os processos fisiológicos e a produtividade da cultura. Para se conseguir produtividade ótima, a temperatura também deve ser ótima.

3.2. Modelagem na agricultura

A interação entre as plantas e o meio ambiente envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. A fim de se obter maior conhecimento das respostas da planta ao meio ambiente, modelos de simulação são utilizados como ferramenta de grande potencial em áreas cultivadas, possibilitando o estudo e o entendimento dessa interação, avaliando e estimando o desempenho das plantas em diferentes áreas e situações. Visando ao adequado entendimento da definição de modelos de simulação, de WIT (1982) menciona a necessidade de ser feita a separação de três termos: sistema, modelo e simulação. O sistema é parte limitada da realidade, que contém vários elementos inter-relacionados; o modelo é a representação simplificada do sistema; e a simulação é a arte de construir modelos matemáticos e de estudar suas propriedades em relação às do sistema.

O modelo pode ser definido como uma série de equações matemáticas, capazes de descrever um sistema físico, no caso, o sistema solo-planta-atmosfera (JAME e CUTFORTH, 1996). Os modelos são capazes de simular uma cultura por meio da estimativa do crescimento de alguns seus órgãos, tais como folhas, raízes, caules e grãos. Assim, um modelo de simulação de crescimento de cultura não estima somente biomassa total ou a produção na colheita, mas também inclui informações quantitativas acerca da maioria dos processos envolvidos no crescimento e no desenvolvimento da planta.

Os modelos de simulação de cultura também podem ser definidos como um conjunto de equações para estimar o crescimento, o desenvolvimento e a produção de uma cultura a partir de uma série de coeficientes genéticos e variáveis ambientais (MONTEITH, 1996). Os modelos permitem ainda a análise detalhada dos diversos componentes da produção, possibilitando uma visão integrada da participação de cada um deles no sistema. De acordo com GEDANKEN, (1998), apesar da complexidade envolvida na construção de modelos, os esforços são compensados, devido à grande aplicabilidade no auxílio ao agricultor no momento da tomada de decisão, permitindo a organização racional de questões associadas à distribuição, ao armazenamento e a comercialização do produto agrícola, entre outras coisas.

Segundo BOOTE et al. (1996), os principais motivos para o desenvolvimento de modelos devem-se ao fato de que eles são ferramentas importantes para resumir o conhecimento científico, auxiliando na tomada de decisões agrícolas, além de serem fundamentalmente úteis no planejamento inicial.

Devido ao avanço científico no desenvolvimento e na utilização dos modelos, tornou-se necessário classificá-los para que fosse possível uma descrição deles mais simplificada. Vários sistemas de classificação têm sido desenvolvidos, com base principalmente na arquitetura e na filosofia dos modelos. Dentre os vários modelos existentes, destacam-se aqueles que apresentam maior importância em estudos de simulação do desenvolvimento de culturas: os empíricos, os dinâmicos determinísticos, os estocásticos e os mecanísticos.

Os modelos empíricos são constituídos de funções escolhidas arbitrariamente, com o objetivo, único de promover bons ajustes entre os dados observados e os simulados (MONTEITH, 1996). Segundo COSTA (1997), modelos empíricos não consideram o entendimento científico do sistema e apresentam restrições quanto à extrapolação de seus resultados. Contudo, têm grande potencial na estimativa de

produtividade das culturas para a região em que foi desenvolvido. Geralmente, os modelos empíricos estatísticos utilizam uma ou mais variáveis independentes, sendo a variável dependente a produtividade da cultura e as variáveis independentes os elementos do clima, obtidos normalmente pela análise de regressão múltipla.

Modelos determinísticos fornecem resultados sem nenhum grau de probabilidade associado aos mesmos. Modelos estocásticos são aqueles que apresentam um grau de probabilidade associado à sua resposta (COSTA, 1997; GEDANKEN, 1998).

Os modelos mecanísticos, têm sua estrutura principal baseada na descrição dos processos que ocorrem no sistema real considerado, ou seja, existe, neste caso, a tentativa de se considerar os princípios físicos e biológicos que ocorrem no sistema. Esses modelos procuram entender o que ocorre em um nível com base nos processos que ocorrem no nível anterior (COSTA, 1997). São mais complexos que os modelos empíricos e seu desenvolvimento requer um completo entendimento do sistema a ser modelado, evidenciando assim áreas com deficiência de conhecimento.

De acordo com BOOTE et al. (1996), modelos simples são de fácil compreensão, utilização e aplicabilidade, e freqüentemente necessitam de poucos dados de entrada. Com os modelos mais sofisticados, como os mecanísticos, é possível modelar as diferenças entre os genótipos e o ambiente, incluindo os mecanismos de retroalimentação intrínsecos, e manipular as várias condições de manejo da cultura.

Modelos podem ser utilizados para estimar os efeitos de diferentes estratégias, o que pode ajudar na determinação da melhor decisão, apresentando uma série de vantagens para a análise econômica dos dados provenientes de experimentação em campo. Entre essas vantagens destacam-se: um grande número de diferentes estratégias pode ser avaliado rapidamente e com baixo custo; e cada estratégia pode ser avaliada em um amplo intervalo de crescimento utilizado. Pode-se também avaliar complexas estratégias de semeadura BOOGES e RITCHIE, (1988). Apesar da grande aplicabilidade e do custo inferior aos experimentos convencionais, os modelos de simulação não podem ser considerados substitutos dos experimentos, mas sim uma técnica que os complementa.

PEREIRA (1987) comenta que a tentativa de construir modelos de simulação ajuda a identificar áreas em que o conhecimento e os dados são escassos. O uso da modelagem estimula o conhecimento científico e, quando comparado com métodos

tradicionais, os modelos fazem, geralmente, melhor uso de dados que estão se tornando cada vez mais caros.

Os modelos permitem interpolação e previsão, além de resumirem convenientemente grandes quantidades de informações, as quais podem ser usadas para sugerir prioridades de recursos na pesquisa científica. THORNLEY (1976) acrescenta que a elaboração de modelos matemáticos de previsão de rendimento de uma cultura é vantajosa, na exploração de estratégias para o gerenciamento e na diminuição dos riscos na agricultura.

Além de resumir convenientemente uma série de informações, modelos bem elaborados permitem avanços no conhecimento da resposta das plantas ao ambiente, e podem, assim, esclarecer pontos para os quais o conhecimento ainda é limitado. Ademais, acabam por estimular o trabalho em equipe, facilitar o planejamento e indicar prioridades na pesquisa.

3.3 O sistema DSSAT

O DSSAT (Sistema de Suporte à Tomada de Decisão para Transferência de Agrotecnologia) é um sistema computacional que faz parte do projeto IBSNAT (*International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer*) (JAME e CUTFORTH, 1996). Ele foi desenvolvido para permitir aos usuários simulações relacionadas às interações complexas que se estabelecem entre as práticas culturais, o solo, o clima e as características genéticas das plantas. Este sistema de apoio à decisão funciona com base em modelos de simulação que prevêm o desempenho de culturas agrícolas sujeitas a um vasto leque de fatores e decisões.

A primeira versão do sistema (DSSAT V.2.10) foi publicada em 1989, na qual foram utilizados modelos para quatro culturas: milho (CERES-maize), trigo (CERES-wheat), soja (SOYGRO) e amendoim (PNUTGRO). As culturas de arroz (CERES-rice), feijão (BEANGRO), sorgo (CERES-sorghum) e milheto (CERES-millet) foram posteriormente adicionadas ao sistema. Em 1994, uma segunda versão (DSSAT v3.0) foi elaborada. Nesta versão, os modelos de simulação para as leguminosas soja, feijão e amendoim, foram agrupados em um único modelo, o CROPGRO (TSUJI et al., 1994).

O DSSAT tem sido usado amplamente nos últimos 15 anos por pesquisadores de diferentes países do mundo. Esse programa, composto por 16 modelos de culturas,

possui aplicativos para avaliar e usar recursos naturais e estimar o risco associado às diferentes práticas de manejo, além de se prestar a diferentes propósitos biofísicos e econômicos (JONES et al., 2003). O sistema ainda possibilita: a) introduzir, organizar e armazenar dados de culturas, solos e climas; b) recuperar, analisar e apresentar dados; c) calibrar e testar modelos de diferentes culturas; d) testar diferentes práticas de manejo em um dado local (JONES, 1993).

Desde a sua criação, o conjunto de programas do sistema DSSAT passou por melhorias significativas nas estruturas dos modelos existentes, especialmente nas rotinas de crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo incorporados três novos programas na estrutura do sistema (DSSAT v3.5), sendo um para apresentar gráficos de umidade e nitrogênio do solo em função do tempo e os outros dois para conectar os modelos de cultura com o Sistema de Informação Geográfica (SIG) (HOOGENBOOM, 1998).

Em 2003, surgiu a quarta e mais nova versão do sistema (DSSAT v4.0). Segundo JONES et al. (2003), WILKENS et al. (2003) e HOOGENBOOM et al. (2004), essa última versão foi desenvolvida para operar em ambiente Windows, facilitando ao usuário a avaliação e a aplicação da modelagem de uma cultura para propósitos específicos. Além disso, foi acrescentado o modelo CENTURY para simulação do balanço de matéria seca no solo (GISJSMAN et al., 2002), o qual é apropriado em condições de baixo uso de insumos agrícolas na lavoura, onde a decomposição da matéria orgânica do solo representa uma contribuição importante de nitrogênio para as culturas.

A utilização de simulações do sistema DSSAT é uma boa ferramenta para análises de diferentes estratégias de manejo em função das condições de solo, clima e cultivar, com a finalidade de encontrar práticas que sejam mais favoráveis, e que envolvam menor risco às plantas, assim como, melhorar a qualidade e reduzir o tempo nas tomadas de decisões (MAVROMATIS et al., 2002).

3.4 Modelo CROPGRO

O modelo CROPGRO, do programa DSSAT, simula o crescimento diário de leguminosas. Ele foi criado incorporando características do SOYGRO (WILKERSON et al. 1983, 1985), PNUTGRO (BOATE et al., 1987) e BEANGRO (HOOGENBOOM et al., 1990, 1994). A seguir serão destacados vários trabalhos

realizados com o modelo CROPGRO na cultura do feijoeiro, particularmente no Brasil FARIA et al. (1997a) calibraram o modelo BEANGRO, precursor do CROPGRO-Dry bean, usado na cultura do feijoeiro nas condições de Londrina, Paraná, com o objetivo de testar sua performance em simular a fenologia, a produção de matéria seca e os grãos dessa cultura sob diferentes condições ambientais. De posse do modelo calibrado, FARIA et al. (1997b) avaliaram diferentes estratégias de manejo de irrigação, visando ao melhor benefício econômico para o feijoeiro no Paraná.

BASTOS et al. (2002) adaptaram o modelo CROPGRO para a simulação do crescimento de plantas de caupi (CROPGRO-cowpea). Após calibração, esses autores avaliaram a capacidade do modelo em simular a fenologia, a produtividade de grãos e os componentes de produção sob diferentes práticas de manejo para o Piauí. Posteriormente, o modelo foi aplicado em diferentes locais e condições hídricas, de modo a fornecer aos agricultores informações com relação ao manejo de irrigação, objetivando proporcionar maior renda a eles. Os resultados indicaram que o modelo CROPGRO-cowpea simulou satisfatoriamente os eventos fenológicos, bem como os componentes de produção e de produtividade de grãos da cultura do caupi para as condições edafoclimáticas dos municípios de Paranaíba e Teresina no Piauí. BASTOS et al. (2000) adaptaram o modelo CROPGRO para a cultura do caupi e o utilizaram em um estudo de avaliação do manejo de irrigação sobre a produtividade econômica de grãos em comparação com o cultivo sem irrigação.

MEIRELES et al. (2001) determinaram as épocas de semeadura com menores riscos para a cultura do feijoeiro em condições de sequeiro e com irrigação, em Santo Antônio de Goiás (GO), utilizando as produtividades potencial e real, e a quebra relativa de produtividade simulada pelo CROPGRO-Dry Bean. HEINMANN et al. (2000) avaliaram o manejo da irrigação, do feijoeiro sob pivô central, usando simulações com o modelo CROPGRO-Dry Bean. HEINMANN (2001) combinou modelos de crescimento DSSAT com o sistema de informação geográfica (SIG AEGIS/WIN) para determinar, a nível regional, as necessidades hídricas, assim como a quantidade anual de água utilizada para irrigação, o escoamento superficial e o nitrogênio lixiviado, para as culturas mais importantes (milho e feijão) da bacia do Rio Tibaji, no Paraná. HEINMANN et al. (2002) determinaram a necessidade de irrigação para a cultura do feijoeiro no nordeste da bacia do rio Tibagi, no Paraná,

utilizando o CROPGRO-Dry bean associado a um sistema de informação geográfica, objetivando regionalizar as informações.

RUIZ-NOGUEIRA et al. (2001) utilizaram o modelo CROPGRO-soybean para prever o crescimento e a produção da soja em condições limitantes de água para três cultivares em três locais de diferentes condições climáticas do nordeste da Espanha, estabelecendo, assim, melhores datas de semeadura, conforme as precipitações pluviais e os manejos de irrigação.

HARTKAMP et al. (2002) revisaram e adaptaram a fisiologia do mucuna preta (*Mucuna pruriens*) no modelo genérico de legume CROPGRO, (HOOGENBOOM et al., 1992, BOOTE et al. 1998a) para simular o crescimento e o desenvolvimento em função das condições do solo, do clima e diferentes práticas de manejo em três locais do México.

HARTKAMP et al. (2002) avaliaram o desempenho do modelo CROPGRO (versão modificada por HARTKAMP et al., 2002), para prever a fenologia, o crescimento, a senescência e o acúmulo de nitrogênio em locais que representam diferentes cenários de manejo ambientais e agrônômicos, envolvendo análise de sensibilidade de vários regimes de temperaturas e precipitação para identificar as regiões satisfatórias para a produção de mucuna preta como uma cultura de cobertura de adubo verde (GMCC).

MEIRELES et al. (2003) calibraram o modelo CROPGRO-Dry bean para quantificar decréscimos de produtividade da cultura de feijão semeado em 36 épocas de semeadura, em Santo Antônio de Goiás, GO.

DALLACORT et al. (2005) utilizaram o modelo de simulação de crescimento e desenvolvimento da cultura da soja (CROPGRO-soybean), ajustando os coeficientes genéticos do modelo para os cultivares de soja CD 202, CD 204, CD 206 e CD 210, cultivados na região de Palotina, PR. Os autores, fizeram a simulação da produtividade da soja para a semeadura em 1º de novembro, com objetivo de testar os coeficientes ajustados nas 25 safras compreendidas entre o período de 1974 a 1999. Por meio das análises realizadas nas simulações, verificou-se que o modelo apresentou alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos dos cultivares estudados.

Em estudo realizado em Maringá, PR, DALLACORT et al. (2005) utilizaram o modelo de simulação de crescimento e desenvolvimento da cultura do feijão, CROPGRO-Dry bean, para determinar as melhores épocas de semeadura da cultura

IAPAR 57, durante o período de 1980 a 2000, nas datas: 1^o, 10 e 20 de março, 1^o de abril, 20 e 30 de julho, 10 e 30 de agosto e 1^o de setembro. Os resultados revelaram maiores produtividades nas semeaduras de 10 e 20 de agosto e 1^o de setembro, e menores produtividade em 1^o de abril e 20 de julho, sendo estas, em média, 25% inferiores aquelas.

Em outro trabalho, DALLACORT et al. (2006) usaram o modelo de simulação do crescimento e do desenvolvimento da soja (CROPGRO-soybean) calibrado para os cultivares de soja CD 202, CD 204, CD 206 e CD 210, cultivados na região de Palotina, PR, para estimar a produtividade e determinar as melhores épocas de semeadura para os quatro cultivares em cinco datas de semeadura, durante 25 safras (1974 a 1999).

A vantagem em utilizar modelos dessa natureza está na possibilidade de manipulação dos fatores ambientais que influenciam no desenvolvimento e na produtividade do feijão. Após a calibração e a verificação, o modelo CROPGRO possibilita a realização de simulações que consideram a influência das condições climáticas no crescimento, no desenvolvimento e no rendimento do feijoeiro, por meio da interação complexa com o solo e com as práticas de manejo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Características da área de estudo

O estudo foi realizado com três experimentos de campo envolvendo três cultivares de feijão na microrregião de Viçosa, MG, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 20°45'S, longitude de 42°51'W e altitude de 690 m. O clima da região é Temperado Úmido Quente (Cwa), segundo a classificação de Koppen, com verão chuvoso e inverno seco. O solo da área experimental é classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico. Na Tabela 1, são apresentados os valores médios para o período de 1975 a 2006, de precipitação, de temperaturas máxima e mínima do ar e de radiação solar global. Estes dados foram fornecidos pela estação meteorológica pertencente ao 5º Distrito de Meteorologia (5º DISME), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Viçosa, MG. Os dados de irradiação solar global foram estimados a partir da equação empírica de Angstron, modificada por Prescott (VIANELLO e ALVES, 1991), a qual faz uso dos dados diários de duração de brilho solar (insolação), obtidos facilmente, na maioria das estações meteorológicas.

Tabela 1- Médias dos valores de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) precipitação (P) e radiação solar global (Rg) para Viçosa, MG, no período de 1975 a 2006.

Meses	Tmax (°C)	Tmin (°C)	P (mm)	Rg (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)
Janeiro	28,3	18,6	237,9	20,3
Fevereiro	29,2	18,5	187,9	21,8
Março	28,5	18,0	141,6	19,8
Abril	27,2	16,6	57,4	18,5
Maio	25,5	14,1	38,2	16,3
Junho	24,1	11,5	15,7	15,0
Julho	24,0	10,9	16,3	15,7
Agosto	25,0	11,2	17,8	17,8
Setembro	25,7	13,8	58,1	17,8
Outubro	26,8	16,0	100,2	19,0
Novembro	27,2	17,5	215,9	19,5
Dezembro	27,6	18,4	239,2	19,3

O regime pluviométrico da microrregião de Viçosa durante os anos dos experimentos pode ser visto pelos extratos dos balanços hídricos nas Figuras 1 e 2, BHnorm V 5.0 (ROLIM e SENTELHAS, 1998). Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os valores de radiação solar e temperatura máxima e mínima do ar, ocorridas durante as fases experimentais, na microrregião.

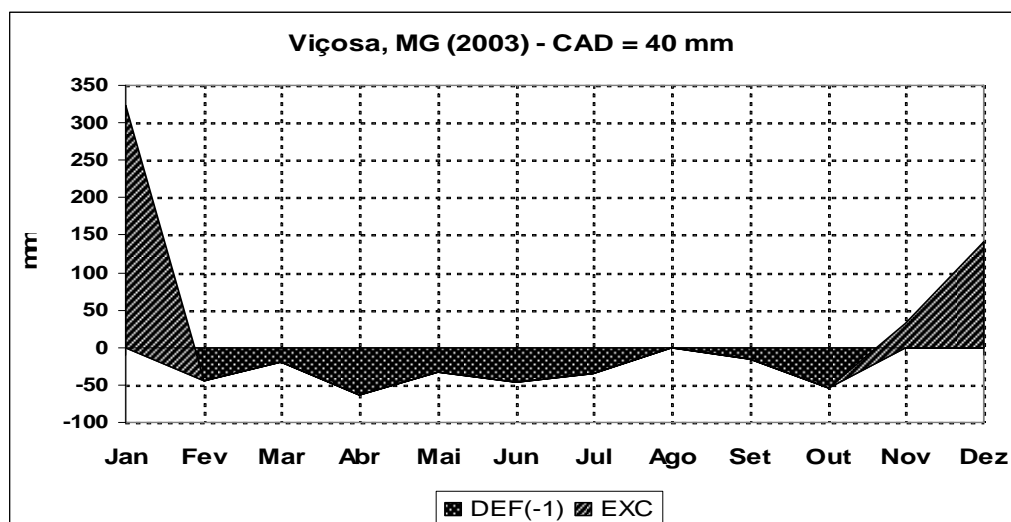


Figura 1 - Extrato do balanço hídrico mensal, com a deficiência (DEF) e o excedente (EXC) hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955), para CAD igual a 40 mm, em Viçosa, MG, no ano agrícola de 2003.

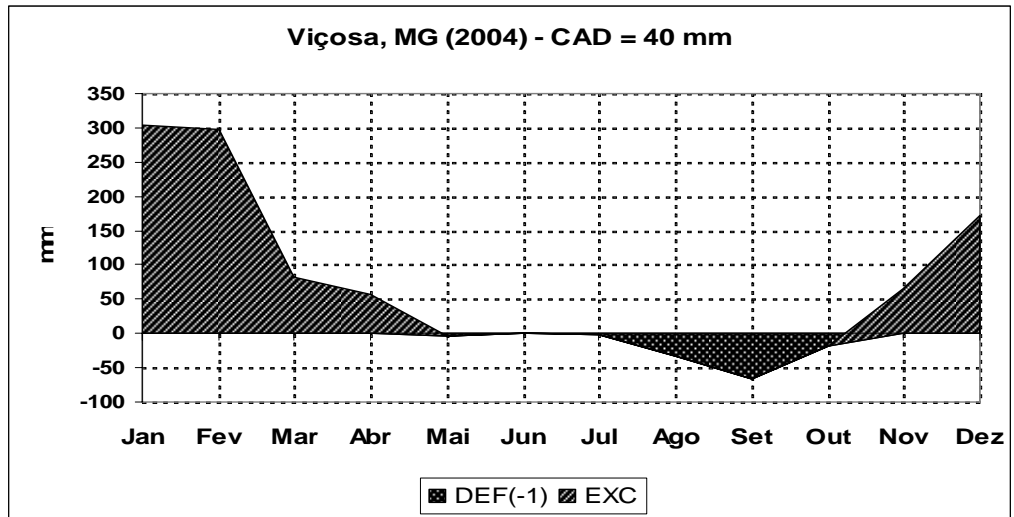


Figura 2 - Extrato do balanço hídrico mensal, com a deficiência (DEF) e o excedente (EXC) hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955), para CAD igual a 40 mm, em Viçosa, MG, no ano agrícola de 2004.

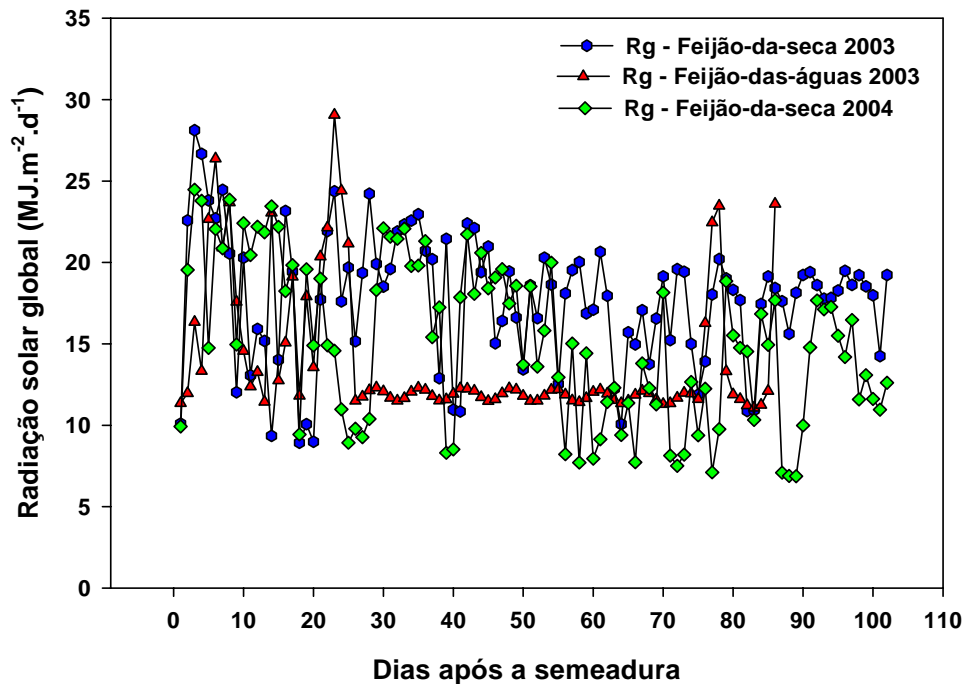


Figura 3 - Radiação solar global estimada a partir dos dados de insolação ocorridos durante os experimentos com o feijão-da-seca e das-águas, em Viçosa, MG.

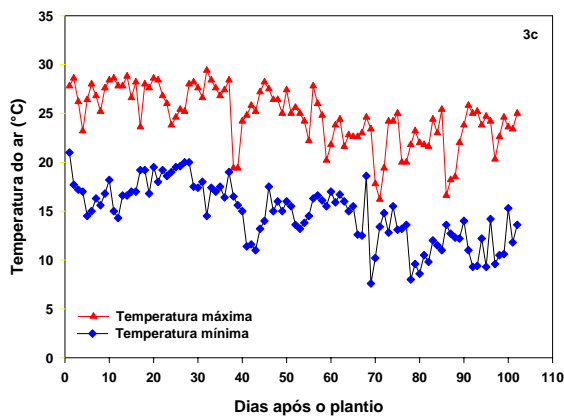
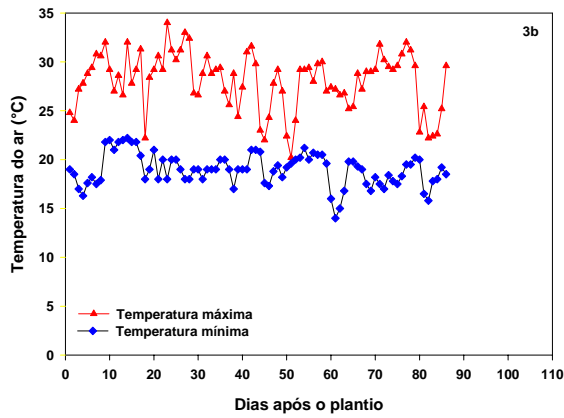
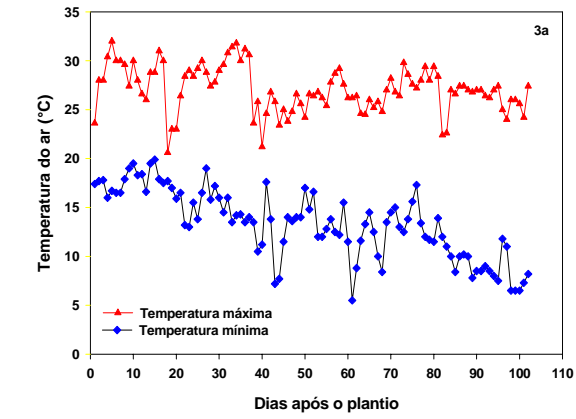


Figura 4 - Temperatura máxima e mínima do ar durante os experimentos com o feijão-da-seca 2003 (3a), das-águas em 2003 (3b) e da-seca em 2004 (3c), em Viçosa, MG.

Os resultados das análises físicas e químicas e a classificação do solo dos experimentos são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais características químicas, físicas e classificação do solo onde os ensaios foram conduzidos, em Viçosa, MG.

Características Químicas		
pH em H ₂ O		5,9
H + Al	Cmol(+)/dm ³	3,3
Al	Cmol(+)/dm ³	0
Ca	Cmol(+)/dm ³	2,3
Mg	Cmol(+)/dm ³	0,9
K	µg/dm ³	42
P	µg/dm ³	9
Mat.Org	dag.kg ⁻¹	2,2
Sat. Al.	%	0
Características Físicas		
Areia Grossa	%	19
Areia Fina	%	14
Silte	%	21
Argila	%	46
Classe textural		Argiloso
Classificação dos Solos		LRd⁽¹⁾

⁽¹⁾ LRd = Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico.

Análises químicas e físicas realizadas no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

4.2. A cultura

Foram utilizadas as cultivares de feijão-comum Pérola (grupo comercial carioca), Ouro Negro (grupo comercial preto) e Ouro Vermelho (grupo comercial vermelho). As principais características agronômicas dessas cultivares encontram-se resumidas na Tabela 3.

Tabela 3 - Principais características agrônômicas das cultivares de feijão, com suas origens e ano de recomendação.

Características principais	Pérola	Ouro Negro	Ouro Vermelho
Hábito de crescimento	Indeterminado II/III	Indeterminado III	Indeterminado II
Porte da planta	Semi-ereto a prostrado	Prostrado	Semi-ereto
Floração média (dias)	46	35 a 44	38 dias
Comprimento médio da vagem (cm)	10,69	10,25	10,35
Número médio de grãos por vagem	5,78	4,46	4,68
Cor da flor	Branca	Violeta	Branca
Cor da vagem na maturação	Verde levemente rosada	Arroxeadada	Rosa-avermelhada
Cor da vagem seca	Amarelo-areia	Amarelo-areia	Marrom-arroxeadada
Cor da semente	Bege com estrias marrons (“carioca”)	Preta	Vermelha (brilhante)
Forma da semente	Elíptica	Elíptica	Elíptica
Peso médio de 100 grãos (g)	27	25-27	25
Ciclo (dias)	90 a 100	80 a 90	80 a 90
Origem (ano de lançamento)	Embrapa Arroz e Feijão (1994)	CIAT ¹ (1991)	UFV/EPAMIG ² (2004)

⁽¹⁾ Centro Internacional de Agricultura Tropical;

⁽²⁾ Universidade Federal de Viçosa/Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais.

4.3. Os experimentos

Os experimentos foram conduzidos no Campo Experimental Prof. Diogo Alves de Melo pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV-DFT) durante os anos de 2003 e 2004 para os cultivares Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho. Os dados dos ensaios foram obtidos a partir de informações geradas no âmbito do convênio firmado entre a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), para a condução dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), os quais objetivam a recomendação de cultivares de feijão para o estado de Minas Gerais.

A adubação de plantio e de cobertura foi realizada conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – 5ª aproximação (Comissão..., 1999). O controle de plantas daninhas e pragas foi realizado de acordo com o recomendado para a cultura e em nenhum experimento foi realizado o controle de doenças. As datas de plantio foram 27 de março de 2003 e 20 de março de 2004, para os experimentos com o feijão-da-seca, conduzidos com irrigação, e 20 de novembro de 2003, para o experimento conduzido na safra das águas, em condições de sequeiro.

A irrigação foi manejada de maneira que a disponibilidade de água no solo fosse suficiente para atender a demanda evaporativa da cultura, sendo aplicada uma lâmina de água de 20 mm por irrigação, com turno de rega de sete dias.

Os dados foram contados em dias julianos, iniciando-se na data de plantio. O plantio do experimento foi realizado colocando-se as sementes a 3 cm de profundidade, após o solo ter sido preparado de forma convencional, com uso de arado e grade niveladora. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições, sendo as parcelas constituídas por quatro linhas de 4 m espaçadas de 0,50 m, de acordo com as normas estabelecidas para a condução dos ensaios de VCU, no qual se realizou a média para a utilização no ajuste dos coeficientes genéticos do modelo.

4.4. O modelo CROPGRO-Dry bean

Foi utilizado o modelo CROPGRO-Dry bean, composto de um modelo determinístico e mecanístico que simula o crescimento e o desenvolvimento do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). A construção dos arquivos necessários para a simulação foi descrita detalhadamente por BOOTE et al. (1998a, 1998b e 2003). O modelo permite as simulações para as condições específicas de cada solo, dos principais processos físicos e fisiológicos da cultura, tais como fotossíntese, respiração, acumulação e partição da matéria seca, fenologia, crescimento foliar de caules e de raízes, extração de água do solo, e evapotranspiração e produção do feijão, em resposta à variação dos dados, climatológicos diários, de precipitação pluvial, radiação solar global, temperaturas máxima e mínima do ar, os quais foram fornecidos ao modelo como dados de entrada. Também foram utilizados parâmetros de água no solo para avaliar o suprimento de água pela planta. A sensibilidade do modelo varia com a cultivar, a data de plantio, o manejo entre plantas e o manejo de irrigação.

Para simular a fenologia da cultura, o modelo CROPGRO-Dry bean considerou os diversos estágios de desenvolvimento definidos quando a soma térmica foi alcançada (JONES et al., 1998). Os limites destes índices térmicos foram estabelecidos nos coeficientes genéticos. A biomassa foi estimada pelo processo da fotossíntese, que depende da interceptação da luz, do fotoperíodo, da temperatura, da água e do nitrogênio (FARIA et al., 1997a). Na Figura 5 é apresentado a estrutura do modelo.

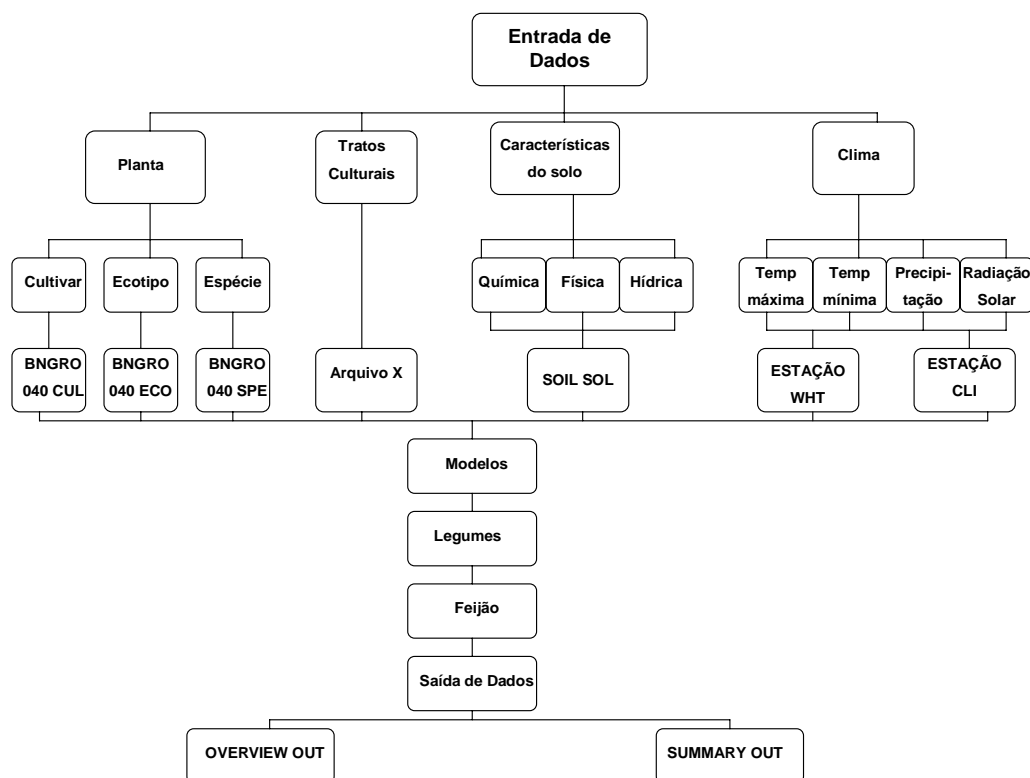


Figura 5 – Representação esquemática da estrutura do modelo CROPGRO-Dry bean.

Para a execução do modelo CROPGRO-Dry bean foi necessário conhecer os parâmetros genéticos da cultivar, do solo, de manejo e dos elementos climáticos. São três arquivos que caracterizam os dados de entrada referentes à planta, conforme a seguinte descrição: (a) arquivo.ECO, caracteriza o ecótipo, contendo atributos genéticos que diferenciam cultivares de crescimento determinado e indeterminado; (b) arquivo. SPE, caracteriza a espécie, contendo coeficientes que definem a composição básica dos tecidos e descrevem os processos de fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio, partição de fotoassimilados, senescência, fenologia e crescimento; (c) arquivo. CUL, contém informações da cultivar, tais como sensibilidade ao fotoperíodo, taxa fotossintética, área foliar específica, massa máxima de um grão, área máxima de um trifólio, número médio de grãos por vagem, períodos entre emergência e primeira flor, primeira flor e primeira vagem, primeira flor e primeiro grão, primeiro grão e maturação fisiológica, primeira flor e o fim da expansão foliar.

Os elementos climáticos (temperatura máxima e mínima do ar, precipitação pluvial e insolação) em base diária, são armazenados nos arquivos de clima (ESTAÇÃO.WTH e ESTAÇÃO.CLI).

Os dados de solo como profundidade, número de camadas do perfil, espessura de cada camada, densidade, umidade de saturação, umidade à capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente, albedo, análise granulométrica, carbono orgânico, textura, pH em água, entre outros, são armazenados no arquivo SOIL.SOL.

Os dados de manejo da cultura (irrigação, fertilizantes, incorporação de resíduos, rotação de culturas, semeadura, área de plantio, cultivar) são definidos no arquivo X.

O modelo contém dois arquivos de saída, um é OVERVIEW.OUT que fornece uma descrição dos experimentos, com os nomes dos tratamentos e cultivares; local e data em que foram conduzidos, as opções de manejo adotadas na simulação e um resumo dos dados de entrada do solo e da cultura; o outro é SUMMARY.OUT relaciona um resumo dos resultados simulados do crescimento e desenvolvimento da planta, dos balanços de carbono, nitrogênio e água no solo.

No balanço de água no solo são contabilizados a infiltração da chuva ou a irrigação, o escoamento superficial, a absorção de água pelas raízes, a drenagem na zona radicular e a evapotranspiração (RITCHIE, 1985,1998). O balanço de carbono envolve os processos de fotossíntese, respiração, partição, remobilização de proteínas e carboidratos dos tecidos vegetais, e abscisão de partes da planta (BOOTE et al., 1998a). O balanço de nitrogênio (N) considera a absorção diária de N pela planta, a fixação de N₂, a utilização por tecidos em crescimento e a perda de N devido à abscisão de órgãos (BOOTE et al., 1998b). No módulo de senescência, foi adicionado o modelo CENTURY para simulação do balanço de matéria seca no solo, de forma que o material de senescência é acrescentado diariamente ao solo (GIJSMAN et al., 2002).

4.5 Teste do modelo CROPGRO-Dry bean

A calibração e teste do modelo CROPGRO-Dry bean para as condições experimentais deste trabalho foram efetuados a partir do ajuste nos coeficientes genéticos que caracterizam aspectos importantes da cultura, conforme recomendação de HOOGENBOM et al. (2003) e JONES et al. (2003). A seqüência de procedimentos para se obter a calibração dos coeficientes genéticos foi a seguinte: 1) foram selecionados os coeficientes genéticos de um determinado genótipo a partir de

genótipos que estavam no mesmo grupo de maturação ou que apresentavam crescimento em área de adaptação similar ao genótipo em questão; 2) o modelo foi rodado para o local, cultivar ou tratamento; 3) foram atribuídos coeficientes genéticos específicos para a cultivar, começando com os parâmetros referentes à fenologia, seguidos pelos parâmetros de crescimento da cultura (HOOGENBOM et al., 1992). Esse procedimento foi feito por um processo de tentativa e erro, ou seja, foram atribuídos valores a cada coeficiente, e verificando-se o modelo gerava resultados próximos aos medidos em condições de campo.

O conjunto de coeficientes genéticos então obtidos foi utilizado para simular o crescimento e o desenvolvimento e estimar a produtividade da cultura nos anos e nas datas de plantio para um determinado local. As datas de semeadura, emergência, florescimento e maturidade, e produtividade foram utilizados para calibrar e testar a eficiência do modelo CROPGRO-Dry bean.

O experimento conduzido durante a safra da seca de 2003 foi utilizado para efetuar a calibração do modelo CROPGRO-Dry bean, enquanto os experimentos conduzidos na safras das águas de 2003 e na safra da seca de 2004, foram utilizados como dados independentes para a avaliação.

As datas previstas de florescimento e de maturação fisiológica e a produtividade observada e simulada foram comparadas pelo coeficiente de determinação (r^2), e pelo Índice de Concordância (d) (WILLMOTT et al., 1985), o qual é determinado pela expressão:

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

onde, N é o numero de observações, P_i é o valor estimado, O_i é o valor observado, $P'_i = P_i - M$ e $O'_i = O_i - M$, sendo M a média da variável observada. Quanto mais próximo da unidade, melhor a concordância entre duas variáveis comparadas e vice-versa.

A porcentagem de desvio (PD) também foi calculada, considerando-se a diferença entre os valores de produtividade de grãos observados e estimados do feijão, em que a porcentagem de desvios negativos indicam sub-estimativa, e a porcentagem de desvios positivas indicam super-estimativa. O quadrado médio do

erro (RMSE) de LOAGUE e GREEN (1991) também foi utilizado, para indicar a diferença relativa, em porcentagem, entre os valores simulados e os observados e é dado por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Pi - Oi)^2}{N}} + \frac{100}{M} \quad (2)$$

onde, Pi e Oi referem-se as variáveis estudadas, dias desde a semeadura a floração, dias desde a semeadura a maturação fisiológica e produtividade de grãos. 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 superior a 30 % (JAMIESON et al., 1991).

4.6. Aplicação do modelo CROPGRO-Dry bean

4.6.1. Avaliação de diferentes datas de semeadura do feijoeiro

A análise sazonal foi conduzida para estudar os efeitos de diferentes datas de plantio na produtividade do feijoeiro na região da Zona da Mata, com base na série histórica diária de temperaturas do ar mínima e máxima, precipitação pluvial e radiação solar global incidente no período de 1975 a 2006. Para a análise do comportamento potencial e real de produtividade de grãos, para cada cultivar e da distribuição de freqüências das produtividades simuladas em 31 safras, foram avaliadas 12 datas de plantio na primavera (1º, 10, 20 de outubro e 1º, 10, 20 de novembro); e no verão (1º, 10, 20 de fevereiro e 1º, 10, 20 de março). A avaliação das simulações foi feita com base nas médias, desvios padrões e coeficientes de variação, nas 12 datas de plantio nos anos agrícolas analisados. A porcentagem de quebra de produtividade foi também determinada pela seguinte equação:

$$Q = \left(1 - \frac{Yr}{Yo}\right) \times 100 \quad (3)$$

onde,

Q = quebra de produtividade (%).

Y_o = produtividade potencial simulada (kg.ha⁻¹), calculada considerando que as condições hídricas e de nutrientes não são limitantes para o crescimento e desenvolvimento da cultura, e

Y_r = produtividade real simulada (kg.ha⁻¹), calculada considerando que a cultura é dependente das condições climáticas e nutricionais.

4.6.2. Previsão de produtividade do feijoeiro

O modelo CROPGRO-Dry bean foi também utilizado para a previsão de produtividade para as três cultivares de feijão. Nas análises de previsão de produtividade foram combinados dados climáticos diários de um período de 31 anos, de Viçosa, com os dados meteorológicos diários registrados durante o ano de 2003. A cada 15 dias foi conduzida a previsão de produtividade, começando em 5 de dezembro de 2003 (20 dias após o plantio) e prolongando-se até 20 de fevereiro de 2004. Os dados meteorológicos diários do ano de 2003 foram utilizados até a data de realização das estimativas, completando-se o restante da estação de crescimento com dados climáticos históricos diários da série de 1975 a 2006. A análise das estimativas para cada data de previsão da produtividade média, desvios padrões e coeficientes de variação foram determinados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Teste do modelo CROPGRO-Dry bean

A Tabela 4 apresenta os coeficientes genéticos das três cultivares ajustados na calibração do modelo CROPGRO-Dry bean para a estimativa do crescimento e do desenvolvimento do feijoeiro, para as condições de solo e de clima de Viçosa, estado de Minas Gerais. Os coeficientes genéticos CSDL, PPSEN, EM-FL, FL-SH, FL-SD, SD-PM e FL-LF definem o desenvolvimento da cultura, enquanto, os LFMAX, SLAVAR e SIZLF o crescimento vegetativo; os coeficientes XFRT, WTPSD, SFDUR, SDPDV e PODUR estão relacionados com a definição do crescimento reprodutivo. De acordo com DIDONET e SILVA (2004) os cultivares brasileiros de feijoeiro geralmente são insensíveis ao fotoperíodo ($PPSEN = 0$), ou seja, seu desenvolvimento e crescimento são controlados somente pela temperatura do ar, com requerimentos térmicos em dias fototérmicos (dft). Observa-se que as três cultivares apresentaram diferenças em alguns de seus coeficientes genéticos ajustados, destacando-se o tempo de duração de alguns períodos como: o período entre a emergência da planta e o aparecimento da primeira flor; o período entre o aparecimento da primeira flor e a primeira vagem; o período entre o aparecimento da primeira flor e o início da formação da semente, e entre o início da formação da semente e a maturidade fisiológica.

Tabela 4 - Coeficientes genéticos necessários para a calibração do modelo CROPGRO-Dry bean para três cultivares de feijão.

Coeficientes	Cultivares		
	Pérola	Ouro Negro	Ouro vermelho
CSDL	12.17	12.17	12.17
PPSEN	0.00	0.00	0.00
EM-FL	35.5	32.0	34.0
FL-SH	6.0	5.0	6.0
FL-SD	11.0	9.0	10.0
SD-PM	17.0	15.5	16.0
FL-LF	18.0	18.0	18.0
LFMAX	1.0	1.0	1.0
SLAVAR	270.0	270.0	270.0
SIZLF	100.0	100.0	100.0
XFRT	1.0	1.0	1.0
WTPSD	0.256	0.255	0.255
SFDUR	9.0	9.0	9.0
SDPDV	5.0	5.0	5.0
PODUR	6.5	6.5	6.5

Sendo: CSDL - Também chamada de CSDVAR, comprimento crítico do dia, acima do qual o processo de desenvolvimento reprodutivo não é afetado (horas); PPSSEN - Inclinação da resposta relativa do desenvolvimento para fotoperíodo com o tempo (1/hora); EM-FL - Período entre a emergência da planta e o aparecimento da primeira flor (R1) (dias fototermais); FL-SH - Período entre o aparecimento da primeira flor e a primeira vagem (R3) (dias fototermais); FL-SD - Período entre o aparecimento da primeira flor e o início da formação da semente (R5) (dias fototermais); SD-PM - Período entre o início da formação da semente e a maturidade fisiológica (R7) (dias fototermais); FL-LF - Período entre o aparecimento da primeira flor (R1) e final da expansão foliar (dias fototermais); LFMAX Taxa máxima de fotossíntese da folha a uma taxa ótima de temperatura 30°C; SLAVARN - Área foliar específica sob condições padrão de crescimento; SIZLF - Tamanho máximo da folha completamente expandida (cm²); XFRT - Máxima fração do crescimento diário que é particionada para a semente mais a vagem; WTPSD - Peso máximo por semente (g); SFDUR - Duração do período de enchimento das sementes nas vagens, sob condições de crescimento padrão (dias fototermais); SDPDV - média de sementes por vagem, sob condições de crescimento padrão (dias fototermais); PODUR - Tempo necessário para a cultivar alcançar condições ideais de vagens (dias fototermais).

O modelo CROPGRO-Dry bean apresentou alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos, evidenciando a variação entre as produtividades simuladas dos cultivares para as mesmas condições de clima e de solo.

5.2. Avaliação do modelo CROPGRO-Dry bean na estimativa da duração de fases fenológicas do feijoeiro

Uma boa concordância entre os valores observados e simulados foi obtida para o número de dias do plantio à floração, bem como do plantio maturação para os três cultivares de feijão conforme está ilustrada na Figura 6. Para a simulação do

número de dias do plantio a floração (FLOR), um elevado coeficiente de determinação foi encontrado entre os valores simulados e observados, com a declividade da reta de regressão estatisticamente diferente de zero e o intercepto igual à zero. Além disso, o índice de concordância (d) foi elevado (0,99), e o quadrado médio do erro (RMSE) foi baixo (2,97%), evidenciando a habilidade do modelo CROPGRO-Dry bean em simular a fenologia dos três diferentes cultivares de feijão estudados em experimento.

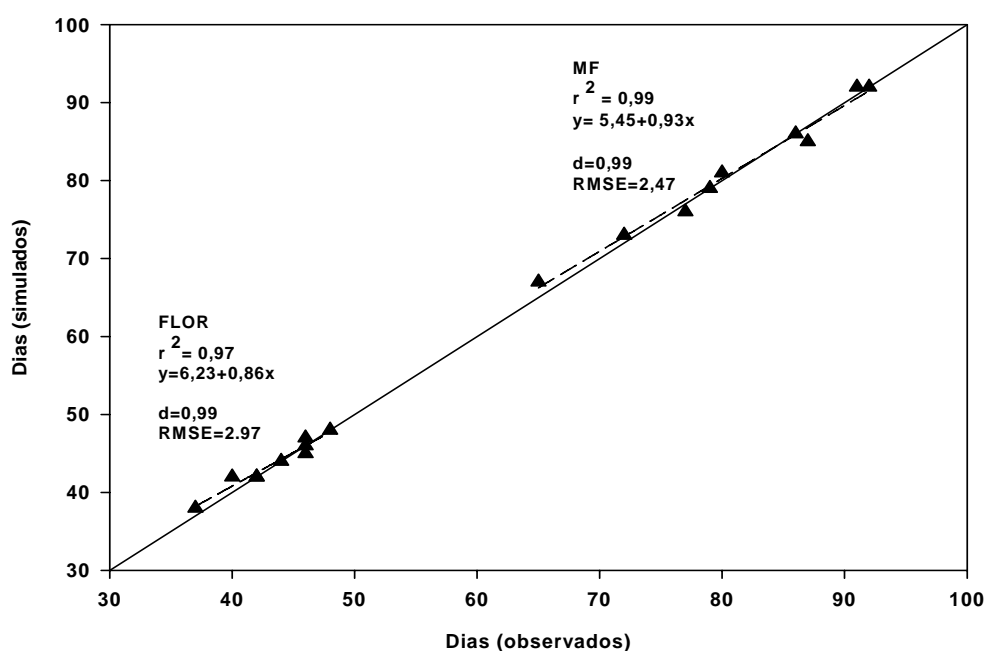


Figura 6 - Relação entre o número de dias observados e simulados desde o semeadura até o florescimento (FLOR) e do plantio a maturação fisiológica (MF) para três cultivares de feijão, em ensaios realizados durante os anos de 2003 e 2004, em Viçosa, MG.

O modelo CROPGRO-Dry bean simulou o período desde a semeadura até a maturação (MF) com precisão, sendo o índice de concordância (d) bastante elevado (0,99) com baixo quadrado médio do erro (RMSE) de 2,47% e elevado coeficiente de determinação ($r^2=0,99$) entre os valores observados e simulados, com uma declividade estatisticamente diferente de zero e intercepto igual à zero, confirmando a adequada estimativa realizada pelo modelo para o período desde o plantio até a maturação fisiológica (Figura 6).

5.3. Avaliação do modelo CROPGRO-Dry bean na estimativa da produtividade do feijoeiro

A produtividade de grãos foi simulada satisfatoriamente pelo modelo CROPGRO-DRY bean para os três cultivares de feijão (Tabela 5). Para as cultivares Pérola e Ouro Negro, os valores observados e simulados foram bastante similares, e a porcentagem de desvio da estimativa variou entre - 5,58 % e 6,24 %, com índices de concordância (d) elevados (0,88 e 0,99), e valores do quadrado médio do erro (RMSE) menores do que 5%. Para a cultivar Ouro Vermelho, a estimativa foi considerada regular, com RMSE igual a 12,63 % e o valor de d (0,91). Supõe-se que as pequenas diferenças encontradas para os dados simulados, podem estar relacionadas à variabilidade espacial dos dados experimentais.

Tabela 5 - Valores médios de produtividade de grãos observados e simulados com o modelo CROPGRO-Dry bean, na fase de calibração, para três cultivares de feijão, em Viçosa, MG.

Cultivares	Experimento	Simulado	Obsevado	PD ¹	RMSE	d
		(Kg.ha ⁻¹)	(Kg.ha ⁻¹)	(%)	(%)	
Pérola	Águas 2003	1.792	1.898	-5,58		
	Seca 2003	2.222	2.125	4,56	4,85	0,88
	Seca 2004	2.166	2.074	4,44		
Ouro Negro	Águas 2003	1.600	1.545	3,56		
	Seca 2003	2.249	2.261	-0,53	3,88	0,99
	Seca 2004	1.908	1.796	6,24		
Ouro Vermelho	Águas 2003	1.767	1.603	10,23		
	Seca 2003	2.558	2.801	-8,68	12,63	0,91
	Seca 2004	2.230	2.653	-15,94		

⁽¹⁾PD (%) = [(Estimado - Observado)/Observado] x 100

Em 2004 (experimento das secas), houve um atraso na semeadura (20/03/2004) em relação ao ano anterior (27/03/2003). Isto fez com que o florescimento dos cultivares de feijão em estudo, cultivados naquele ano, coincidissem com um período mais prolongado de baixas temperaturas do ar, o que provavelmente contribuiu para que a produtividade de grãos experimental dos cultivares fosse reduzida de 2.125 kg.ha⁻¹ para 2.074 kg.ha⁻¹ (2,4 %) para a cultivar Pérola, de 2.261

para 1.796 kg.ha⁻¹ (20,6 %) para a cultivar Ouro Negro e de 2.801 kg.ha⁻¹ para 2.653 (5,3 %) na cultivar Ouro Vermelho. Na simulação, o modelo CROPGRO-Dry bean apresentou a mesma tendência de produtividade para as três cultivares, porém, com uma redução um pouco maior (2,5 %) e (12,8 %), respectivamente, cultivar Pérola e Ouro Vermelho, o oposto da redução verificada para a cultivar Ouro Negro que foi um pouco menor, (15,1 %), quando comparado com os dados experimentais.

5.4. Aplicação do modelo para determinação das melhores data de semeadura do feijoeiro com base nas estimativas de produtividade potencial

A Tabela 6 apresenta os resultados da média de 31 simulações em 12 datas de semeadura, e seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação para as três cultivares de feijão, em Viçosa-MG. A variação da produtividade potencial média para as cultivares Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho foram respectivamente de 2.381 a 2.876 kg.ha⁻¹, 2.045 a 2.488 kg.ha⁻¹, e 2.259 a 2.841 kg.ha⁻¹. A maior produtividade potencial média foi alcançada para a data de plantio em 1 de outubro para as cultivares, cujos respectivos valores da duração dos períodos plantio-florescimento, plantio-maturação fisiológica e plantio-colheita foram: 46, 79 e 88 dias; 44, 73 e 83 dias 45; 75 e 84 dias, respectivamente, para Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho. As condições climáticas durante o mês de outubro foram caracterizadas por temperatura do ar média mensal de 21,4 °C; precipitação pluvial total de 100,2 mm; e radiação solar global média de 19,0 MJ m⁻².d⁻¹, e estão entre as condições climáticas consideradas ideais para o cultivo do feijoeiro, descritas por FANCELLI e DOURADO NETO (1999) e ANDRADE et al. (1998 e 2006).

A menor produtividade média potencial ocorreu na semeadura de 20 de março para as três cultivares de feijão, atingindo a maturação fisiológica aos 89 dias (em 17 de junho), 79 dias (em 7 de junho) e 83 dias (em 11 de junho), respectivamente, para Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho, coincidindo com o inverno na região. Fato que pode ter provocado à queda da produção de grãos, devido às baixas temperaturas a qual a cultura foi submetida. Como as temperaturas durante o ciclo da cultura na semeadura de março foram menores, o ciclo teve a maior duração.

Tabela 6 – Produtividades potenciais médias, máximas e mínimas simuladas, respectivos desvios padrões (DP), coeficiente de variação (CV) das 31 safras em 12 datas de plantio, para três cultivares de feijão, em Viçosa, MG.

Produtividade Potencial						
	Semeadura	Média	Máxima	Mínima	DP	CV
		(Kg.ha⁻¹)	(Kg.ha⁻¹)	(Kg.ha⁻¹)	(Kg.ha⁻¹)	(%)
Pérola	1 de fevereiro	2.539	2.802	2.189	126	5
	10 de fevereiro	2.522	2.763	2.285	118	5
	20 de fevereiro	2.491	2.727	2.300	108	4
	1 de março	2.460	2.825	2.273	131	5
	10 de março	2.436	2.636	2.197	122	5
	20 de março	2.381	2.568	2.171	111	5
	1 de outubro	2.876	3.158	2.565	178	6
	10 de outubro	2.833	3.160	2.444	175	6
	20 de outubro	2.812	3.234	2.470	159	6
	1 de novembro	2.791	2.992	2.558	117	4
	10 de novembro	2.750	3.047	2.441	146	5
	20 de novembro	2.748	3.038	2.477	150	5
Ouro Negro	1 de fevereiro	2.179	2.448	1.972	107	5
	10 de fevereiro	2.133	2.386	1.978	98	5
	20 de fevereiro	2.116	2.257	1.919	78	4
	1 de março	2.082	2.278	1.890	88	4
	10 de março	2.077	2.310	1.850	107	5
	20 de março	2.045	2.247	1.846	92	5
	1 de outubro	2.488	2.792	2.261	132	5
	10 de outubro	2.482	2.879	2.158	161	6
	20 de outubro	2.434	2.663	2.183	127	5
	1 de novembro	2.407	2.578	2.195	114	5
	10 de novembro	2.361	2.640	2.179	130	6
	20 de novembro	2.374	2.546	2.170	99	4
Ouro Vermelho	1 de fevereiro	2.502	2.689	2.237	112	4
	10 de fevereiro	2.456	2.746	2.173	141	6
	20 de fevereiro	2.415	2.744	2.082	155	6
	1 de março	2.350	2.588	2.122	114	5
	10 de março	2.363	2.597	2.177	107	5
	20 de março	2.259	2.495	2.039	109	5
	1 de outubro	2.841	3.154	2.551	137	5
	10 de outubro	2.775	3.056	2.438	168	6
	20 de outubro	2.734	2.965	2.455	141	5
	1 de novembro	2.740	3.093	2.467	161	6
	10 de novembro	2.721	3.046	2.377	152	6
	20 de novembro	2.698	3.029	2.429	142	5

O menor valor verificado de desvio-padrão da produtividade potencial da cultivar Pérola, foi em torno de 108 kg.ha^{-1} para a semeadura em 20 de fevereiro, enquanto o maior, 178 kg.ha^{-1} ocorreu para a semeadura em 1 de outubro. Para a cultivar Ouro Negro, os valores do desvio-padrão da estimativa variaram entre 78 kg.ha^{-1} , em 20 de fevereiro, e 161 kg.ha^{-1} , em 10 de outubro. A variação do desvio-padrão para a cultivar Ouro Vermelho, foi de 107 a 168 kg.ha^{-1} , para as datas de semeadura de 10 de março e 10 de outubro, respectivamente. O coeficiente de variação foi sempre inferior a 10% para as três cultivares de feijão, indicando baixa variação da produtividade potencial, simulada ao longo dos 31 anos para uma mesma época de semeadura, sendo consequência da baixa variabilidade da temperatura do ar e da radiação solar global local ao longo dos anos analisados.

De acordo com a distribuição da frequência relativa de produtividade potencial de grãos simulados para as três cultivares de feijão em Viçosa-MG, a cultivar Pérola apresentou maior frequência (entre 2.550 e 2.800 kg.ha^{-1}), enquanto que os valores de maiores frequências para as cultivares Ouro Negro e Ouro Vermelho ocorreram entre 2.050 a 2.300 kg.ha^{-1} e 2.300 a 2.550 kg.ha^{-1} , respectivamente (Figura 7). Altas produtividades são obtidas em parcelas experimentais, e em condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da cultura (solo fértil, alta radiação, temperatura do ar de $21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e baixa incidência de pragas e doenças). Portanto, os valores aqui simulados podem ser interpretados como bons indicadores das restrições térmicas e de radiação solar da região para a cultura do feijoeiro.

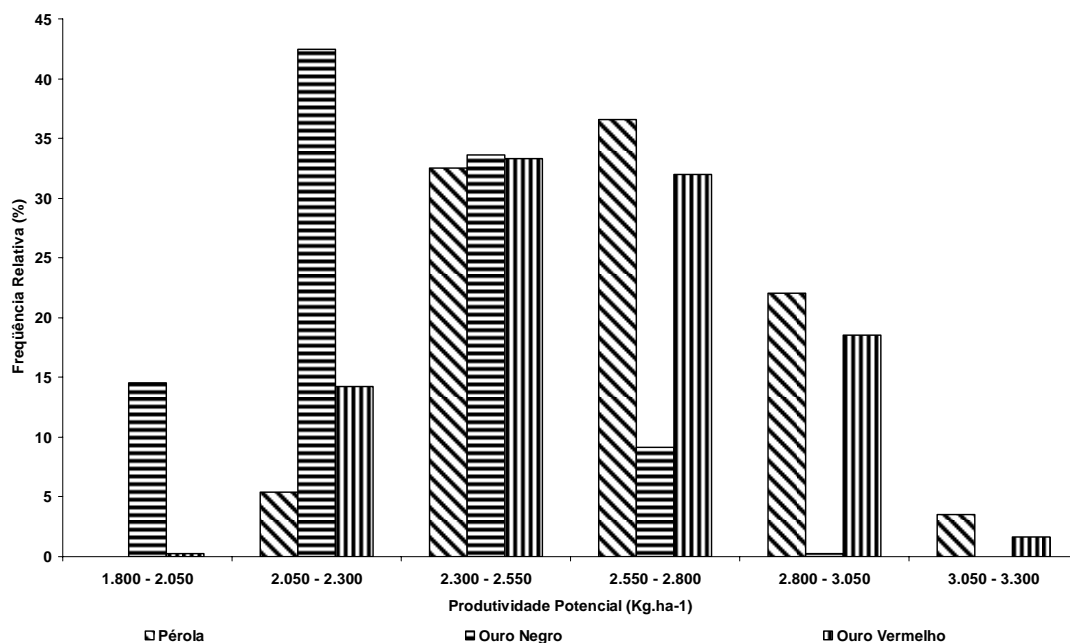


Figura 7 - Distribuição de frequência da produtividade potenciais simulada para todas as datas de plantio analisadas, para os três cultivares de feijão. Viçosa, MG.

5.5. Simulação da produtividade real do feijoeiro

Na Tabela 7 encontram-se as produtividades reais média, com os respectivos desvios padrões e coeficientes de variação simulados para os três cultivares estudados em Viçosa-MG. Para as de semeadura entre 1 de fevereiro e 20 de março, correspondente ao cultivo "da seca" na região em estudo, a produtividade real média decresceu gradativamente de 1.423 para 875 kg.ha⁻¹, de 1.283 para 912 kg.ha⁻¹ e de 1.480 para 1.117 kg.ha⁻¹, respectivamente para as cultivares Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho à medida em que se atrasou a data de semeadura. Fato semelhante foi constatado por RAMALHO et al. (1993) na região de Lavras, MG, em que a produtividade média de 1.959 kg.ha⁻¹ da semeadura de fevereiro foi 21,5% superior à obtida em março. Também foi relatada por MEIRELES (2003) utilizando o modelo CROPGRO-Dry bean, uma diminuição gradual na produtividade real média entre o primeiro decêndio de janeiro ao terceiro de fevereiro, correspondente a semeadura da "seca" em Santo Antônio de Goiás, GO. A produtividade real decresceu com o atraso da semeadura, em função do regime térmico e hídrico da região. Os valores da produtividade real situam-se acima e abaixo dos 1.100 kg.ha⁻¹ obtidos na safra "da seca" 2004/2005, em condições de campo, em Minas Gerais (IBGE, 2006).

Tabela 7 – Produtividade reais médias, máximas e mínimas simuladas, respectivos desvios padrões (DP), coeficiente de Variação (CV) das 31 safras em 12 datas de plantio, para três cultivares de feijão, em Viçosa, MG.

		Produtividade Real				
	Semeadura	Média (Kg.ha⁻¹)	Máxima (Kg.ha⁻¹)	Mínima (Kg.ha⁻¹)	DP (Kg.ha⁻¹)	CV (%)
Pérola	1 de fevereiro	1.423	2.514	658	583	41
	10 de fevereiro	1.332	2.430	454	522	39
	20 de fevereiro	1.022	2.362	548	438	43
	1 de março	985	2.335	465	410	42
	10 de março	964	2.040	456	359	37
	20 de março	875	1.829	593	267	31
	1 de outubro	2.237	3.119	1.160	607	27
	10 de outubro	2.405	3.019	921	445	19
	20 de outubro	2.261	2.919	1.097	505	22
	1 de novembro	1.975	2.799	528	641	32
	10 de novembro	1.973	2.873	783	598	30
	20 de novembro	1.513	2.655	697	607	40
Ouro Negro	1 de fevereiro	1.283	2.041	593	449	35
	10 de fevereiro	1.191	2.043	581	434	36
	20 de fevereiro	1.111	2.040	674	372	34
	1 de março	1.077	1.868	613	344	32
	10 de março	1.005	1.913	636	311	31
	20 de março	912	1.559	689	216	24
	1 de outubro	1.921	2.466	773	474	25
	10 de outubro	1.894	2.595	789	497	26
	20 de outubro	1.692	2.385	680	603	36
	1 de novembro	1.732	2.349	457	510	29
	10 de novembro	1.715	2.395	744	492	29
	20 de novembro	1.500	2.346	639	536	36
Ouro Vermelho	1 de fevereiro	1.480	2.383	552	535	36
	10 de fevereiro	1.367	2.235	528	511	37
	20 de fevereiro	1.198	2.090	617	401	33
	1 de março	1.030	2.020	608	348	34
	10 de março	1.046	1.661	664	263	25
	20 de março	1.117	2.502	708	381	34
	1 de outubro	2.134	2.902	863	638	30
	10 de outubro	2.130	2.966	830	673	32
	20 de outubro	2.154	2.905	1.090	478	22
	1 de novembro	2.026	2.894	659	602	30
	10 de novembro	2.012	2.918	416	614	30
	20 de novembro	1.653	2.878	622	603	36

Para o feijoeiro plantado na "safras das águas" (outubro e novembro), a produtividade real média dos cultivares Pérola, Ouro Negro e Vermelho variou de 1.513 a 2.405 kg.ha⁻¹, 1.500 a 1.921 kg.ha⁻¹ e 1.653 a 2.154 kg.ha⁻¹, respectivamente. Esses valores são superiores à produtividade média de 1.150 kg.ha⁻¹, obtida na safra 2004/2005, em Minas Gerais (IBGE, 2006). As produtividades reais nas safras das águas foram em média 46,6 %, 37,1 % e 40,23 % maiores que a safras da seca para as cultivares Pérola, Ouro Negro e Vermelho, respectivamente.

Os desvios padrões indicam a dispersão da produtividade real em relação à média. Para a cultivar Pérola, o desvio padrão variou de 267 kg.ha⁻¹, para a semeadura realizada em 10 de março, a 641 kg.ha⁻¹, para a data de semeadura de 1^o de novembro. Quanto ao desvio padrão da produtividade do cultivar Ouro Negro, o menor valor encontrado foi de 216 kg.ha⁻¹, para a data de semeadura de 20 de março, enquanto o maior desvio padrão foi de 603 kg.ha⁻¹, para a data de semeadura de 20 de outubro. Os valores do desvio padrão da produtividade da cultivar Ouro Vermelho variou de 263 kg.ha⁻¹, em 10 de março, a 673 kg.ha⁻¹, em 10 de outubro.

Os resultados apresentados na Tabela 9 demonstram a grande variabilidade da produtividade real simulada para as diferentes datas de semeadura, o que comprova a sensibilidade do modelo às condições ambientais, principalmente às condições hídricas do solo. Essa sensibilidade pode ser confirmada pelos coeficientes de variação (CV, em %) classificados entre médios a muito altos, indicando variabilidade nas estimativas ao longo dos 31 anos analisados. Os coeficientes de variação obtidos para a semeadura "da seca" e "das águas" mostraram variações altas (20% ≤ CV ≤ 30%) a muito altas (CV > 30%) nas produtividades reais. Essas variações podem ser atribuídas à distribuição irregular das precipitações pluviais, em que se observa, freqüentemente, períodos de estiagens durante a estação chuvosa, denominados popularmente de "veranicos". Estas ocorrências representam um dos principais fatores na queda de produtividade do feijão, principalmente quando as disponibilidades de água no solo são insuficientes para atender a demanda evaporativa dos campos cultivados (OLADIPO, 1985).

Pela distribuição das freqüências da produtividade real simulada para as três cultivares, nota-se que cerca de 34 %, 37 % e 28 % dos valores freqüentes ocorreram entre 540 a 1.080 kg.ha⁻¹ para os cultivares Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho, respectivamente (Figura 8). Essa distribuição enfatiza a distribuição da precipitação

pluvial na região com predominância de ocorrência na primavera/verão e também responsáveis pelos maiores valores de produtividade real.

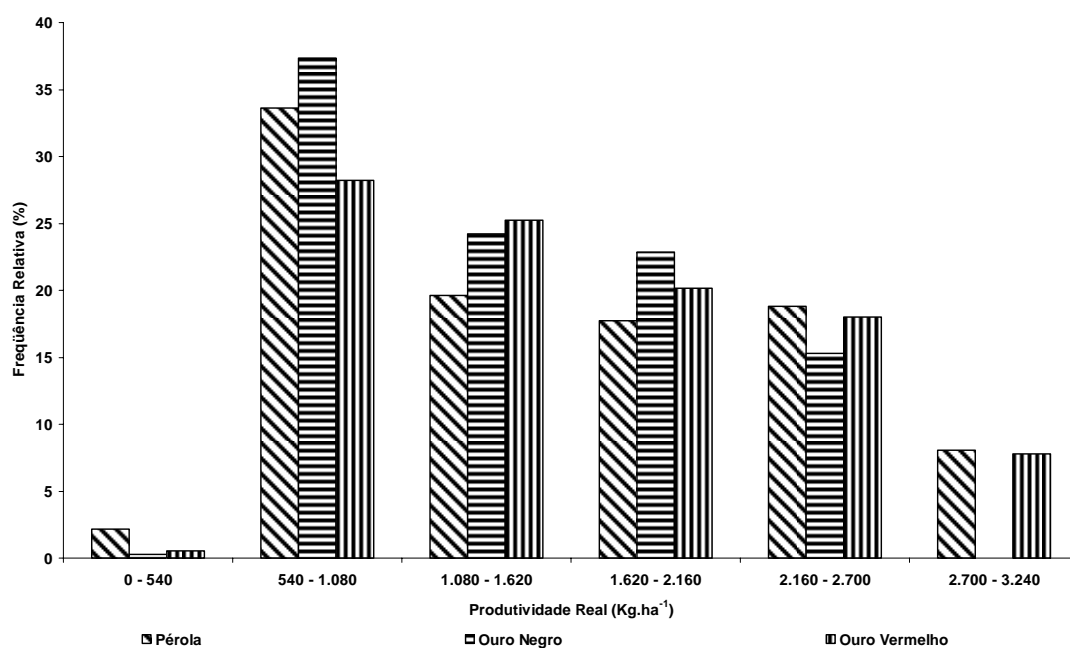


Figura 8 - Distribuição de frequência da produtividade real simulada para todas as datas de semeadura analisadas, para três cultivares de feijão, em Viçosa, MG.

5.6. Simulação de duração entre o período semeadura - florescimento, semeadura – maturação fisiológica e ciclo total da cultura para três cultivares de feijão em 12 datas de semeadura

Na análise dos períodos médios simulados entre a semeadura – florescimento, semeadura – maturação fisiológica e ciclo total da cultura, realizou-se, para cada uma das datas simuladas, a média das 31 simulações realizadas de cada cultivar, determinando se os ciclos médios dos cultivares em cada data de plantio. Na Tabela 8, são apresentadas as durações dessa fase para as 12 datas de plantio simuladas.

Tabela 8 – Duração dos subperíodos (dias) da floração, maturação fisiológica e colheita simulados para três cultivares de feijão em 12 datas de semeadura, durante os 31 anos em estudo. Experimento simulado para Viçosa, MG.

Duração do ciclo da cultura (dias)				
	Semeadura	Floração	Maturação	Colheita
Pérola	1 de fevereiro	43	74	83
	10 de fevereiro	43	74	83
	20 de fevereiro	44	75	84
	1 de março	44	77	86
	10 de março	45	80	89
	20 de março	47	83	92
	1 de outubro	47	79	88
	10 de outubro	46	79	87
	20 de outubro	46	78	87
	1 de novembro	45	76	85
	10 de novembro	45	75	84
	20 de novembro	44	73	82
Ouro Negro	1 de fevereiro	40	68	78
	10 de fevereiro	40	68	78
	20 de fevereiro	41	69	79
	1 de março	41	70	80
	10 de março	42	72	82
	20 de março	43	75	85
	1 de outubro	44	72	82
	10 de outubro	43	71	81
	20 de outubro	43	70	80
	1 de novembro	42	69	79
	10 de novembro	42	69	79
	20 de novembro	41	68	78
Ouro Vermelho	1 de fevereiro	42	70	79
	10 de fevereiro	42	70	79
	20 de fevereiro	42	72	81
	1 de março	43	73	82
	10 de março	43	75	84
	20 de março	45	78	87
	1 de outubro	45	75	84
	10 de outubro	45	74	83
	20 de outubro	44	73	82
	1 de novembro	44	72	81
	10 de novembro	43	72	81
	20 de novembro	43	70	79

A duração média dos períodos simulados para a floração, maturação e colheita dos cultivares em estudo foram menores para as datas de semeadura efetuadas em fevereiro e foram mais longas na medida em que a semeadura foi simulada mais tardia, devido ao fato de a cultura se desenvolver em períodos com menor temperatura do ar e, conseqüentemente, o acúmulo de graus-dia ser mais lento (SOUZA, 1989). Em todas as datas de simulação, as cultivares Pérola e Ouro Negro apresentaram o mesmo comportamento: períodos maiores e menores que a cultivar Ouro Vermelho, respectivamente.

O comportamento da precipitação nas 12 datas de semeadura para os 31 anos simulados para três cultivares de feijão, é apresentado na Tabela 9. A menor precipitação média nos 31 anos ocorreu no ciclo de cultivo com plantio em 20 de março, que também apresentou a menor precipitação ocorrida no ciclo da cultura, nas 12 datas de semeadura para as três cultivares. Os maiores totais de precipitação foram encontrados em 1º de novembro para a cultivar Pérola, seguidos pelos valores das semeaduras em 20 de outubro e 10 de novembro. Para a cultivar Ouro Negro o maior total de precipitação médio ocorreu no ciclo de cultura com semeadura em 1º de novembro, que também com a data de semeadura de 20 de novembro apresentaram a máxima precipitação ocorrida durante os 31 anos de simulação. Em 10 de novembro ocorreu a precipitação máxima e o maior total médio de precipitação no ciclo da cultivar Ouro Vermelho nos 31 anos analisados.

Tabela 9 - Análise da precipitação ocorrida nas 31 safras em 12 datas de semeadura simuladas para três cultivares, em Viçosa, MG.

Precipitação pluvial (mm)					
	Semeadura	Máxima	Mínima	Média	DP
Pérola	1 de fevereiro	614	106	286	119
	10 de fevereiro	673	80	299	120
	20 de fevereiro	383	71	222	81
	1 de março	341	53	201	70
	10 de março	353	71	201	76
	20 de março	296	31	143	71
	1 de outubro	955	243	518	183
	10 de outubro	792	181	575	150
	20 de outubro	1.170	265	592	210
	1 de novembro	1.243	301	666	245
	10 de novembro	1.155	340	655	216
	20 de novembro	1.000	166	567	231
Ouro Negro	1 de fevereiro	592	71	283	132
	10 de fevereiro	542	67	245	116
	20 de fevereiro	427	79	238	87
	1 de março	523	77	238	102
	10 de março	413	69	213	89
	20 de março	401	50	169	81
	1 de outubro	862	207	465	170
	10 de outubro	949	159	492	203
	20 de outubro	930	188	514	207
	1 de novembro	1.221	206	596	262
	10 de novembro	1.073	137	581	237
	20 de novembro	1.221	207	563	278
Ouro Vermelho	1 de fevereiro	602	92	296	134
	10 de fevereiro	602	100	277	122
	20 de fevereiro	512	48	272	111
	1 de março	576	76	243	125
	10 de março	390	65	175	83
	20 de março	285	16	145	65
	1 de outubro	1.025	194	441	192
	10 de outubro	891	200	493	180
	20 de outubro	996	262	546	189
	1 de novembro	992	300	576	191
	10 de novembro	1.092	191	626	242
	20 de novembro	1.006	177	569	218

Observa-se que pelo desvio padrão da precipitação a semeadura em 1^o, 10 e 20 de novembro apresentam os maiores valores, respectivamente, para as cultivares Pérola, Ouro Vermelho e Ouro Negro. Para a cultivar Pérola o menor desvio padrão foi encontrado na data de semeadura de 1^o de março. Em 20 de março observou-se os menores desvios padrão para os cultivares Ouro Negro e Ouro Vermelho.

5.7. Quebra de produtividade do feijoeiro em relação às datas de semeadura

Analisando a Figura 9, que apresenta as variações de quebra de produtividade simulada para diferentes datas de semeadura de três cultivares de feijão, nota-se um aumento no risco de quebra de produtividade para a semeadura “da seca” (fevereiro a março). O alto risco de quebra de produtividade foi constatado para os cultivares de feijão à medida em que se retarda a semeadura, sendo que a cultivar Pérola foi a que apresentou valores ainda maiores variando de 44 %, para a primeira data de semeadura (1^o de fevereiro), a 63 % para a data de semeadura de 20 de março. O alto risco de quebra de produtividade está relacionado à ocorrência de veranicos, períodos de estiagem prolongada, que variam de 7 a 20 dias, muito comuns nessa época do ano, e que causam a deficiência hídrica no solo. Isso justifica a necessidade de utilizar irrigação suplementar durante o ciclo da cultura, na semeadura “da seca”.

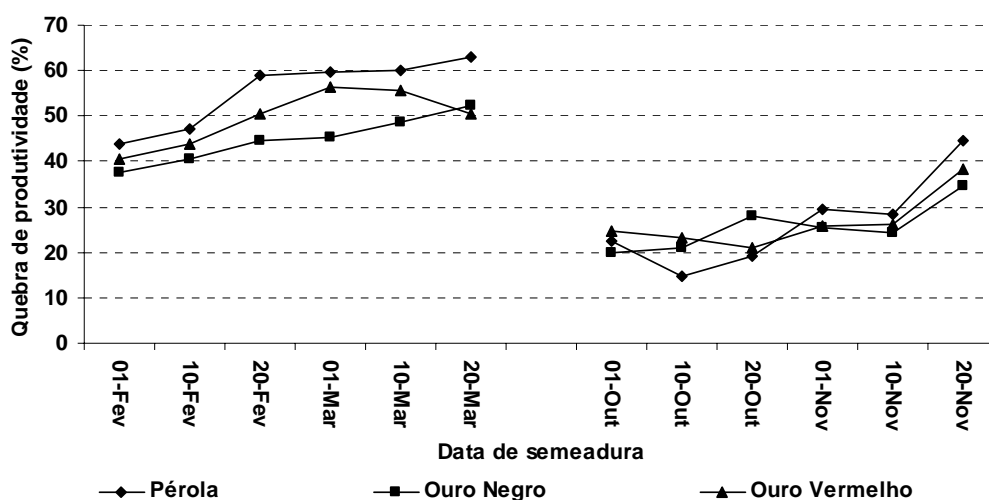


Figura 9 – Quebra de produtividade simulada (%) em decorrência da deficiência hídrica, para três cultivares de feijão nas 12 datas de semeadura em estudo, em Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil.

Na semeadura “das águas” (outubro e novembro), realizado entre 1 de outubro a 10 de novembro, verificou-se que os menores riscos de quebra de produtividade foram, em média, inferiores a 30%. O risco de quebra de produtividade para o mês de outubro para as três cultivares esteve próximo de 20 %, tendo a cultivar Pérola o menor risco de quebra, 15 % para a data de semeadura de 10 de outubro, o que corresponde a um risco climático médio na “safra das águas”. As semeaduras realizadas em 20 de novembro apresentaram risco climático acima de 30% para as três cultivares de feijão. Sendo o feijoeiro uma cultura de alto risco climático, aconselha que seja feita, também, irrigação suplementar na “safra das águas”, em Viçosa-MG, devido à irregularidade na distribuição de precipitação pluvial nesse período.

Sabe-se, contudo, que o ciclo da cultura durante a “safra das águas”, abrangeria outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, conforme as datas de semeadura (1º, 10, 20 de outubro e 1º, 10, 20 de novembro) e, nesse período, concentram-se cerca de 80% do total anual das chuvas (ALVES et al. 2002), fato que pode comprometer a produtividade, seja por patógenos, seja pelo apodrecimento dos grãos no campo.

A frequência de ocorrência de quebra relativa de produtividade para as três cultivares de feijão nas 12 datas de semeadura é apresentada na Tabela 10. Observa-se que apenas as semeaduras compreendidas entre 1º de outubro e 10 de outubro para a cultivar Pérola apresentaram quedas de produtividade inferiores a 20%. Para as semeaduras realizadas em 10 de outubro e entre 10 de novembro foram constatadas quedas de produtividade de 21 % (em 65 % dos casos) e 40 % (em 32 % dos casos), respectivamente. Para a cultivar Ouro Negro, foi simulado um risco de perda de produtividade de 20 % em 65 % dos casos na semeadura em 1º de outubro, e em 36 % dos casos a quebra esteve entre 21% e 40% para a data de semeadura de 10 de novembro. Para a semeadura em 1º e 20 de outubro, em 55 % dos casos foram inferiores a 20 % para a cultivar Ouro vermelho, e na faixa entre 21% e 40% foi evidenciado 39 % de casos de perda de produtividade na data de plantio de 20 de novembro.

Tabela 10 – Frequência de quebra relativa de produtividade simulada para três cultivares de feijão nas 12 datas de semeadura, em Viçosa, MG.

Faixas de quebra relativa de produtividade (%)						
Cultivar	Semeadura	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Pérola	01-Fev	19,35	22,58	22,58	35,48	0,00
	10-Fev	9,68	25,81	35,48	25,81	3,23
	20-Fev	3,23	9,68	22,58	64,52	0,00
	01-Mar	3,23	6,45	32,26	51,61	6,45
	10-Mar	6,45	6,45	19,35	67,74	0,00
	20-Mar	6,45	6,45	19,35	67,74	0,00
	01-Out	54,84	19,35	22,58	3,23	0,00
	10-Out	64,52	32,26	0,00	3,23	0,00
	20-Out	64,52	22,58	12,90	0,00	0,00
	01-Nov	35,48	32,26	19,35	12,90	0,00
	10-Nov	41,94	32,26	16,13	9,68	0,00
	20-Nov	19,35	12,90	35,48	32,26	0,00
Ouro Negro	01-Fev	29,03	22,58	29,03	19,35	0,00
	10-Fev	22,58	22,58	29,03	25,81	0,00
	20-Fev	12,90	19,35	45,16	22,58	0,00
	01-Mar	12,90	16,13	51,61	19,35	0,00
	10-Mar	6,45	9,68	61,29	22,58	0,00
	20-Mar	38,71	16,13	25,81	19,35	0,00
	01-Out	64,52	16,13	12,90	6,45	0,00
	10-Out	54,84	29,03	9,68	6,45	0,00
	20-Out	48,39	9,68	32,26	9,68	0,00
	01-Nov	51,61	16,13	22,58	9,68	0,00
	10-Nov	41,94	35,48	12,90	9,68	0,00
	20-Nov	38,71	16,13	25,81	19,35	0,00
Ouro Vermelho	01-Fev	25,81	22,58	25,81	25,81	0,00
	10-Fev	22,58	12,90	38,71	25,81	0,00
	20-Fev	0,00	25,81	41,94	32,26	0,00
	01-Mar	3,23	6,45	41,94	48,39	0,00
	10-Mar	0,00	12,90	45,16	41,94	0,00
	20-Mar	19,35	38,71	16,13	25,81	0,00
	01-Out	54,84	22,58	12,90	9,68	0,00
	10-Out	51,61	22,58	16,13	9,68	0,00
	20-Out	54,84	25,81	19,35	0,00	0,00
	01-Nov	45,16	25,81	22,58	6,45	0,00
	10-Nov	51,61	25,81	16,13	3,23	3,23
	20-Nov	19,35	38,71	16,13	25,81	0,00

Para a faixa de quebra relativa de produtividade entre 41% e 60%, em média, 36 % dos casos ocorreram em 20 de março para a Pérola, e entre 10 e 20 de março se concentraram 68 % dos casos para quedas de produtividade entre 61% e 81%. Para a data de semeadura de 10 de março, 61 % dos casos estiveram entre 41 % e 60 % de perda de produtividade e entre 61% e 81% de perda de produtividade encontrou-se 26 % de casos na data de semeadura de 10 de fevereiro para a cultivar Ouro Negro. Em 45 % dos casos a quebra de produtividade esteve entre 41 % e 60 % e 48 % entre 61% e 81%, respectivamente para as datas de semeadura de 10 de março e 1 de março para a cultivar Pérola.

As quebras de produtividades superiores a 80% ocorreram sempre para as datas de plantio referentes à “safra da seca” para as cultivares Pérola e Ouro Vermelho, coincidindo com a redução das chuvas e, conseqüentemente, da água disponível no solo. A cultivar Ouro Negro não apresentou casos de quebras de produtividade acima de 80 %.

A Figura 10 apresenta a distribuição de freqüência das quebras relativas de produtividade simulada para as três cultivares em todas as datas de plantio estudadas. Observa-se uma quebra relativa de produtividade abaixo de 20 % para as cultivares Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho em 27 %, 33 % e 28 % dos casos, respectivamente. Em 31 % dos casos ocorreram quebras de produtividade entre 61 % e 80% para a cultivar Pérola, sendo este a cultivar mais sensível a ocorrência de deficiência hídrica. Os resultados obtidos evidenciam boa sensibilidade do CROPGRO - Dry bean aos efeitos da deficiência hídrica sobre a produtividade do feijoeiro.

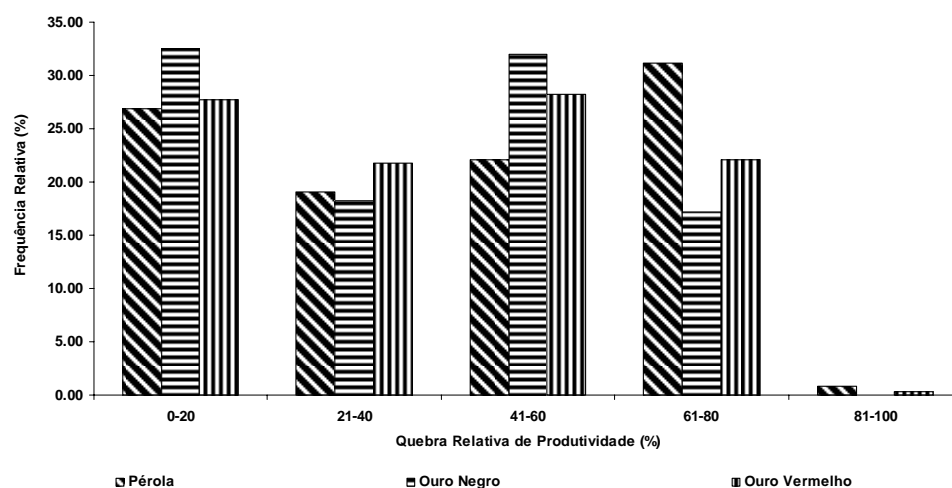


Figura 10 - Distribuição de frequência relativa das quebras relativas de produtividade simulada para todas as datas de semeadura analisadas, para os três cultivares de feijão, em Viçosa, MG.

5.8. Avaliação do modelo CROPGRO-Dry bean para previsão de produtividade do feijoeiro

Com a combinação de dados climáticos e dados meteorológicos de 2003, foi simulada a previsão de produtividade do feijoeiro a partir de 5 de dezembro a 20 de fevereiro. Na Figura 11 encontram-se os resultados dessas estimativas de produtividade para as três cultivares de feijão e os respectivos desvios padrões. No começo da estação de crescimento foram simuladas produtividades que evidenciam as variações ambientais dos 31 anos simulados, o que dificultou a previsão da produtividade. A alta variabilidade da produtividade simulada no começo da estação de crescimento confirma que existe um alto risco associado à cultura de feijão “das águas” sob condições de sequeiro. Quando as simulações foram conduzidas em período com maior proporção de dados meteorológicos do ano de 2003, o desvio padrão diminuiu gradativamente para os três cultivares em estudo. Para os cultivares Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho, a produtividade estimada teve desvio padrão próximo de zero a partir de 20 de janeiro (Figura 11).

Os desvios-padrões das estimativas de produtividade feitas em 20 de dezembro e em 20 de janeiro para os cultivares Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho variaram de 494 a 222 kg.ha⁻¹, 401 a 89 kg.ha⁻¹ e 411 a 131 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Constatou-se que uma previsão de produtividade mais confiável produzida pelo modelo CROPGRO-Dry bean pode ser efetuada com uma antecedência de 30 dias da colheita para os três cultivares. Resultados obtidos por GARCIA, et al. (2003) e SOLER (2004) utilizando metodologia semelhante também constataram que a precisão das estimativas de previsão de produtividade aumenta à medida que se aproxima do fim da estação de crescimento.

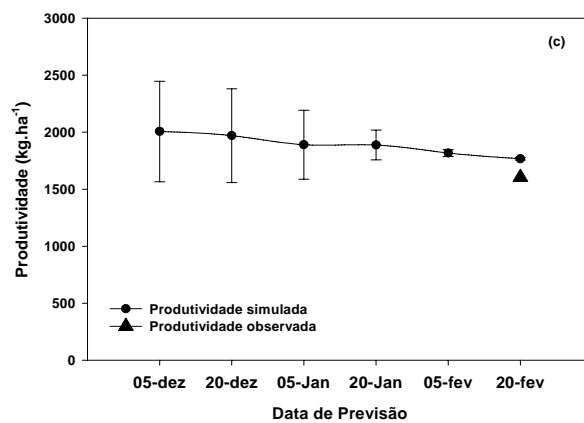
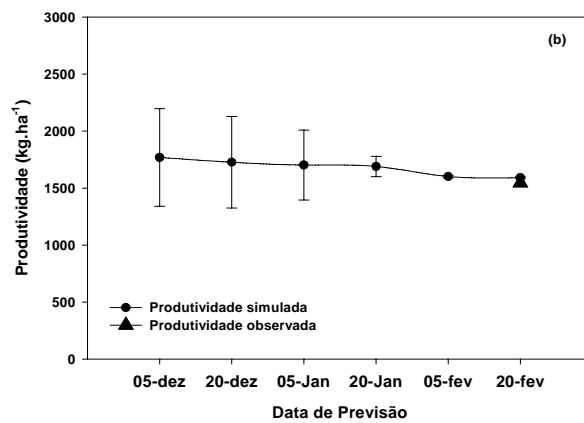
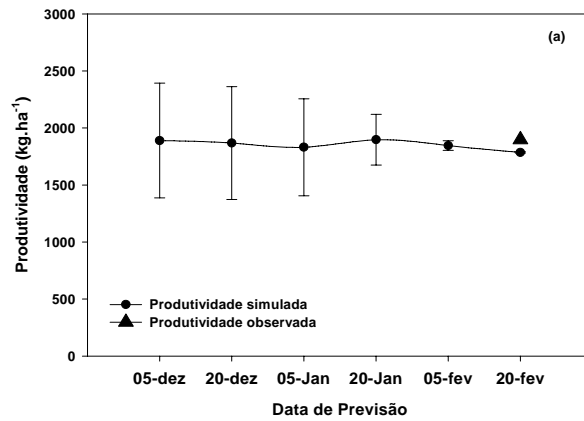


Figura 11 – Produtividade e desvios padrões previstos para a cultura do feijão “das águas” para o ano 2003, para as cultivares Pérola (a), Ouro Negro (b) e Ouro Vermelho (c).

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão, e Minas Gerais, o primeiro maior Estado produtor. O cultivo do feijão não irrigado na região da Zona da Mata do Estado ocorre nas safras "das águas", com semeadura em outubro e novembro, e da "seca", com semeadura em fevereiro e março. Déficit e/ou excesso hídricos, temperaturas sub-ótimas e baixa quantidade de radiação solar global são alguns dos problemas experimentados durante estas estações de crescimento. Uma das possíveis maneiras de se avaliar a resposta das culturas às diferentes condições climáticas é através dos modelos de simulação. O modelo CROPGRO-Dry bean, incluído no Sistema de Suporte para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) v.4.0.2.0, foi ajustado e testado para as cultivares Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho, com dados provenientes de três experimentos de campo, conduzidos em Viçosa, MG. O modelo CROPGRO-Dry bean foi usado para proceder à análise sazonal e para estimar a variabilidade da produtividade do feijoeiro em diferentes datas de semeadura, utilizando dados climatológicos históricos.

A partir dos resultados, conclui-se que:

- O modelo CROPGRO-Dry bean simulou com adequada precisão o desenvolvimento fenológico das cultivares de feijão Pérola, Ouro Negro e Ouro Vermelho, para as condições de solo e clima de Viçosa-MG.

- O modelo CROPGRO-Dry bean simulou satisfatoriamente a produtividade de grãos, com o quadrado médio do erro menor que 5 % para as cultivares Pérola e Ouro Negro e, 12, 63%, para a cultivar Ouro Vermelho.

- O modelo CROPGRO-Dry bean demonstrou alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos, apresentando diferenças entre as cultivares nas simulações de desenvolvimento fenológico e produtividade de grãos.

- Em geral, para os dois cenários de cultivo, potencial e real quanto mais tardio o plantio, menor a produtividade do feijão “da seca” simulada para as três cultivares.

- As melhores datas de semeadura determinadas pelo modelo CROPGRO-Dry bean, para as três cultivares de feijão, foram entre 1º de outubro a 20 de outubro.

- O modelo CROPGRO-Dry bean mostrou ser uma boa ferramenta para a previsão de produtividade do feijão “das águas”, obtendo-se uma adequada estimativa de produtividade com 30 dias de antecedência da colheita para as três cultivares de feijoeiro plantado nessa época em Viçosa.

7. REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2005: **Anuário da Agricultura Brasileira**. FNP, São Paulo, SP, 10ª edição, 2005.

AGTUNONG, T.P., REDDEN, R., MENGGE-NANG, M.A., et al. Genotypic variation in response to high temperature at flowering in common bean (*Phaseolus vulgaris* L). **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 32, p. 1135-40, 1992.

ALVES, L. M.; MARENGO, J.A; CASTRO, C.A.C. Início da estação chuvosa na região sudeste do Brasil: análise climatológica. In: Congresso brasileiro de Meteorologia, 12, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...CD-ROM**,2002.

ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, A. J.; VIEIRA, N. M. B. **Exigências Edafoclimáticas**. VIEIRA, C.; PAULA, T.J.J.; BORÉM, A., (Ed) 2. Manejo do solo e plantio. Viçosa: UFV, p. 87-114, 2006.

ARAÚJO, G.A.A.; FERREIRA, A.C.B. **Feijão**. Clibas Vieira, Trazilbo José de Paula Junior, Aluizio Borém, (Ed) 2. Manejo do solo e plantio. Viçosa: UFV, p. 87-114, 2006.

ARAÚJO, G.A.A.; Preparo do solo e plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA, T.J.J.; BORÉM, A. (Ed) **Feijão**: Aspectos Gerais e Cultura no Estado de Minas – Viçosa:UFV, p. 13-18, 1998.

BASTOS, E.A. et al. **Modelagem do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)** Documentos nº48: Embrapa, ISSN: 0104-866-X, 2000.

BASTOS, E.A. et al. Simulation of growth and development of irrigated cowpea in Piauí state by CROPGRO model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1381-1387, 2002.

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, 1988.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. et al. The CROPGRO model for grain legumes. In: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P.K. (Ed.) **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht: Kluwer Academic, p. 99-128, 1998b.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.) **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, p. 651-691, 1998a.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; WILKERSON, G. G.; JAGTAP, S.S. Peanut Crop Growth Simulation Model. User's Guide. PNUTGRO, Version 1.0. **Florida Agricultural Experiment Station Journal** No. 8420. University of Florida, Florida, USA. 1987.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, v.88, p.707-716, 1996.

BORÉM, A. CARNEIRO J.E.S. A Cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA, T. J. J.; BORÉM, A. (Ed) **Feijão: Aspectos Gerais e Cultura no Estado de Minas – Viçosa:UFV**, p. 13-18, 1998.

BORÉM, A. CARNEIRO J.E.S. A Cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA, T. J. J.; BORÉM, A. (Ed) **Feijão: Feijão – Viçosa:UFV**, p. 13-18, 2006.

CALVACHE, M., REICHARDT, K, BACHI, O.O.S. Deficit irrigation at different growth stages of the common bean. (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Imbabello). **Scientia Agricola**, v.54, p. 1-16. 1997.

CARAMORI, P.H.; FARIA, R.T. de. **Sistema de Monitoramento Agrolimático para o Estado do Paraná**. IAPAR, 2002 . Disponível em: www.pr.gov.br/iapar/sma. Acessado em: 2006.

CARDOSO, C.O. **Análise de riscos climáticos e estratégias de irrigação para milho safrinha no Paraná, através de modelos de simulação**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz/USP, 2001. 114p. Tese (doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem, ESALQ/USP).

CARMO, D.A.S. Algumas considerações sobre agricultura irrigada na região dos cerrados. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 7., Brasília, 1989. Estratégias de utilização; **Anais...** 2.ed. Planaltina : EMBRAPA, CPAC, p.87-97, 1997.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – **CIAT common bean improverment**. Cali 2002. <http://www.ciat.cgiar.org/beans/index.htm> (7 março 2006).

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5º aproximação**, Viçosa: UFV.359 p. 1999.

CONAB. **Feijão total (1º, 2º e 3º safras)**. Disponível em: <http://www.conab.gov.gov.br>. Acesso em 10 fevereiro de 2007.

COSTA, L.C. **Congresso brasileiro de agrometeorologia. Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1997.

DALLACORT, R.; FREITAS P.S.L.; FARIA R.T.; GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A. Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 28, n. 4, p. 583-589, Oct./Dec., 2006.

DALLACORT, R.; FREITAS, P.S.L.; FARIA, R.T.; GONÇALVES, A.C.A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A.; JÚNIOR, C. H. Ajuste e teste dos coeficientes genéticos do modelo de simulação Cropgro-soybean, para a região Noroeste do Estado do Paraná. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 27, n. 2, p. 363-371, April/June, 2005.

DALLACORT, R.; REZENDE, R.; FREITAS, P.S.L.; FARIA, R.T.; AZEVEDO, T.L.F.; JÚNIOR, J.B.T. Utilização do modelo Cropgro-drybean na determinação das melhores épocas de semeadura da cultura do feijão para a região de Maringá, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 27, n. 2, p. 349-355, April/June, 2005.

DE WIT, C.T. Simulation of living systems. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; VAN LAAR, H.H. (Ed.) **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: Pudoc, p.3-8. 1982.

DIAS, D.A.; SANTOS, J.B.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Seleção de progênies de feijoeiro adaptadas ao cultivo no inverno do sul de Minas Gerais, na população Rio Tibagi x Carioca 300 V. **Ciência e Prática**, v. 16, p. 68-73, 1992.

DICKSON, M.H., PETZOLDT, R. Heat tolerance and pod set in green beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 114, n. 5, p. 833-836, 1989.

DIDONET, A.D, MADITRIZ, P.M. Abortamento de flores e vagens no feijoeiro: Efeito da temperatura e radiação solar. In: **Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão**, 7. 2002, Viçosa, MG: UFV, p.55-58. 2002.

DIDONET, A.D.; SILVA, S.C. Elementos climáticos e produtividade do feijoeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.25, n.223., p.13-19, 2004.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 306 p, 1994.

FAGERIA, N.K. **Ecofisiologia da cultura do feijão**. In: FAGERIA, N.K. Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas. Brasília: Embrapa, p.296-321. 1989.

FAGERIA, N.K.; SANTANA, E.P.; MORAIS, O.P. de. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.9, p.1155-1161, 1995.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Estresses de água e temperatura na cultura do feijão**. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) Feijão irrigado: estratégias básicas de manejo. Piracicaba, p. 155-169, 1999.

FAO. **Faostat**. Disponível em <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 19 dez.2005.

FARIA, R. T. de et al. Determination of a long-term irrigation strategy for drybeans in Parana State-Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 54, n. Especial, p. 155-164, 1997.

FARIA, R.T. de; FOLEGATTI, M.V. Dimensionamento de sistemas de irrigação para feijão, usando-se simulação de longo período. In. XI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999. Florianópolis, **Anais...**, Florianópolis-SC: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. (CDROM).

FARIA, R.T. DE; FOLEGATTI, M.V.; FRIZZONE, J.A.; SAAD, A.M. Determination of a long-term optimal irrigation strategy for dry beans in Parana state, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.54, p.155-164, 1997a.

FARIA, R.T. DE; OLIVEIRA, D. DE; FOLEGATTI, M.V. Simulação da fenologia e produção do feijoeiro pelo modelo BEANGRO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROME-TEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.141-142. 1997b.

GARCIA, A.G.Y.; HOOGENBOOM, G.; SOLER, C.M.T.; STOOKBURY, D.E. The impact of climate variability on peanut yield forecast in Georgia. In: ANNUAL MEETINGS 2003. **Abstracts** [CD-ROM]. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WL. 2003.

GEDANKEN, A., **Utilização do modelo CERES-Maize na avaliação de estratégias de irrigação na cultura do milho em duas regiões de Minas Gerais**. Viçosa:UFV, 1998. 74 p.il. Dissertação (mestrado). – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GIJSMAN, A.J.; HOOGENBOOM, G.; PARTON, W.J.; KERRIDGE, P.C. Modifying DASSAT models for low-input agricultural systems using a soil organic matter-residue module from CENTURY. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 462-474, 2002.

GOMES A.A., ARAÚJO A.P., ROSSIELLO, R.O.P. ; PIMENTEL, C; Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de

feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, 2000.

GUIMARÃES, C.M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. Zimmermann, M. j.; Rocha, m.; Yamada, T. (Eds) *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, **Potafós**, p.157-174. 1988.

GUIMARÃES, C.M. Relações hídricas. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Ed.). *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba : **Potafós**, p.139-168, 1996 .

HARTKAMP, A.D.; HOOGENBOOM, G.; Gilbert, R.A.; Tarawali, A.J.; GIJSMAN, A. J.; Bowen, W.; WHITE, J.W. Adaptation of the CROPGRO growth model to velvet bean (*Mucuna pruriens*) II. Cultivar evaluation and model testing. **Field Crops Research**, v.78 p.27-40. 2002.

HARTKAMP, A.D.; HOOGENBOOM, G.; WHITE, J.W. Adaptation of the CROPGRO growth model to velvet bean (*Mucuna pruriens*) I. Model development. **Field Crops Research**, v.78 p.9-25. 2002.

HEINEMANN, A.B; HOOGENBOOM, G. Regional irrigation requirements for dry bean based on the simulation model CROPGRO and a geographic information system. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, East Lansing, v.44, p.41-42, 2001.

HEINMANN, A.B. et al. Center pivot irrigation management optimization using the CROPGRO model. **Trans. ASAE**, St. Joseph, v. 43, n. 6, p. 1507-1516, 2000.

HEINMANN, A.B. et al. Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: an example for the state of Paraná. **Agric. Water Manag.**, Dordrecht, v. 52, n. 3, p. 177-196, 2002.

HEINMANN, A.B.; HOOGENBOOM, G.; FARIA, R.T. de Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: an example for the state of Parana. **Agricultural Water Management**. Holanda, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 177- 196, 2002.

HOOGENBOOM G, WHITE JW, JONES JW, BOOTE KJ. Dry bean Crop Growth Simulation Model BEANGRO V1.01. User's Guide. **Florida Agricultural Experiment Station Journal**. Nº N-00379. 122 pp. 1990.

HOOGENBOOM, G. **DSSAT version 3.5 released**, ICASA NEWS, n.4, p.2, 1998.
HOOGENBOOM, G., JONES, J.W., WILKENS, P.W., PORTER, C.H., BATCHELOR, W.D., HUNT, L.A., BOOTE, K.J., SINGH, U., URYASEV, O., BOWEN, W.T., GIJSMAN, A.J., DU TOIT, A., WHITE, J.W.E, TSUJI, G.Y. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0 [CD-ROM]**. University of Hawaii, Honolulu, HI, USA. 2004.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO: a review. **Transactions of the ASAE**, v.35, p.2043-2055, 1992.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; BATCHELOR, W.D.; BOWEN, W.T.; HUNT, L.A.; PICKERING, N.B.; SINGH, U.; GODWIN, D.C.; BAER, B.; BOOTE, K.J.; RITCHIE, J.T.; WHITE, J.W. CROPGRO – DRY BEAN. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Eds.). **Crop models: DSSAT v 3**. Honolulu: University of Hawaii, v.2, p.95-281. 1994.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; HUNT, L.A.; PORTES C. H; BATCHELOR, W.D; HUNT, L.A.; BOOTE, K.J.; SINGH, U.; UEHARA, G.; BOWEN, W.T.; GUSMAN A. J.; DU TOIT A. S; WHITE, J.W.; TSUJI,G.Y. **Decision support system for agrotecnology transfer: version 4.0** (compact disc)Honolulu: University of Hawaii, 2003.

IBGE. **Produção agrícola municipal**. Disponível em:<http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 15 mar. 2006.

JAME, Y.M.; CUTFORTH, H.W. **Crop growth models for decision support systems**. Can. J. Plant Sci., Ottawa, v. 76, p. 9-19, 1996.

JAMIESON, P.D.; POTER, 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 , J.W.; Decision suport systems for agricultural development. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; Teng, p. Metselaar, k (Ed) **Systems approaches for agricultural development**. Dordrecht: Kluwer Academic, p.459-471. 1993.

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

JONES, J.W.; WHITE, J.W.; BOOTE, K.J.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H. **Phenology Module - CROPGRO v.3.7 documentation and source code listing**. Gainesville: University of Florida, 21p. (Research Report, 98-502), 1998.

KONSENS, I., OFIR, O., KIGEL, J. The effect of temperature on the production and abscission of flowers and pods in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L). **Annals of Botany**, London, v. 35, p. 391-399, 1991.

LAING, D.R.; KRETCHMER, P.J.; JULUAGA, S. et al. **Field bean**. In: SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIROMENTS, Los Baños: Potencial productivity of field crops under different environments. Los Baños: IRR, p.227-248, 1983.

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.

MARIOT, E.J. **Ecofisiologia do feijoeiro**. In: O feijão no Paraná. Londrina, IAPAR. (Circular, 63). p.25-41. 1989.

MAVROMATIS, T.; BOOOTE, K.J.; JONES.; WILKERSON, G.G. AND HOOGENBOOM, G. Repeatability of model genetic coefficients derived from Soybean performance trials across different states. **Crop Science**, v42, p. 76-89. 2002.

MEIRELES, E.J.L. et al. Risco Climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO. **Bragantia, Campinas**, v. 62, n. 1, p. 163-171, 2003.

MEIRELES, E.J.L.; PEREIRA, A.R.; SENTELHAS, P.C.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, F.J.P. Aplicação do modelo CROPGRO-Dry Bean na análise de risco climático na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) no cerrado goiano. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12., Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 3., Fortaleza, 2001. **Anais...** Fortaleza: SBA/FUNCEME, v.2, p.537-538. 2001.

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

MONTERROSO, V.A., WIEN, H. C. Flower and pod abscission due to heat stress in beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 115, n 4, p. 631-634, 1990.

OLADIPO, E.O. A comparative performance analysis of the tree meteorological drought indexes. **Jornaul of Climatology**, v.5, p.654, 1985.

PEREIRA , A.R. Simulação do crescimento e produtividade. In: Simpósio sobre o manejo de água na agricultura, Campinas, 1987. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill,. p. 200-209. 1987.

PINTO, J.M. **Efeito de diferentes regimes hídricos no solo sobre a produção e os componentes do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa, UFV, 1985. 56p. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R.S; RAVA, C.A.; STONE, L.F. et al. (Ed). **Cultura do Feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, POTAFÒS, p. 101-137. 1996.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. CULTIVARES. IN: VIEIRA, C., PAULA JR., T J.; BORÉM, A. **Feijão: Aspectos gerias e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 596 p. 1998.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; RIGHETTO, G.U. Interações de cultivares de feijão por épocas de semeadura em diferentes localidades do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.28, n.10, p. 1183-1189, 1993.

RITCHIE, J.T. A user orientated model of the soil water balance in wheat. IN: FRY, E.; ATKIN, T.K. (Ed.) **Wheat growth and modeling**. New York: NATO-ASI Ser., p. 293-305, 1985.

RITCHIE, J.T. Soil water balance and water stress. IN: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P.K. (Ed.) **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht Kluwer Academic, p. 41-54, 1998.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente exceltm para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

RUIZ-NOGUEIRA, B. et al. Calibration and use of Cropgro-Soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. **Agric. Syst.**, Oxford, v. 68, p. 151-173, 2001.

SAUTER, K.J., DAVIS, D.W., LI, P.H., WALLERSTEIN, I.S. Leaf ethylene evolution level following high-temperature stress in common bean. **Hort Science**, Alexandria, v. 25, n 10, p. 1282-1284, 1990.

SHONNARD, G.C., GEPTS, P. Genetics of heat tolerance during reproductive development in commonbean. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1168-1175, 1994.

SHONNARD, G.C.; GEPTS, P. Leaf ethylene evolution level following high temperature stress in common bean. **Hort Science**, v.25, n.10, p.1282-1284. 1990.

SIDRA, **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: dez. 2005.

SILVA, S.C.; DIDONET, A.D. **Cultivo do feijão irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais**; Versão eletrônica, 2005. <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrigadoNoroesteMG/clima.htm>. Acesso em 20/03/2006.

SILVA, S.C.; DIDONET, A.D. Feijão de Alta produtividade. **Elementos climáticos e produtividade do feijoeiro**. Informe Agropecuário. v.25, n.223. 2004.

SILVEIRA, P. M.; STONE . L. F. **Irrigação**. In: VIEIRA, C.; PAULA, T. J. J.; BORÉM, A. (Ed) **Feijão: Aspectos Gerais e Cultura no Estado de Minas – Viçosa:UFV**, p. 13-18, 1998.

SILVEIRA, P. M.; STONE . L. F. Requerimento de água. In: SILVEIRA, P. M.; STONE . L. F (Eds). **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.230. 2001.

SOARES, P.C.; CHAGAS, J.M.; SALGADO, L.T.; CARDOSO, A.A. Efeito de quatro níveis de tecnologia sobre o rendimento e “stand” final em variedades de feijão melhorada (Ouro Negro) e comum (Vermelhinho). In: Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão, 7, 2002. Viçosa. **Resumos...** Viçosa: UFV, p. 623-625, 2002.

SOLER, C.T. **Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho “safrinha”**. Piracicaba, SP: ESALQ, 2004. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

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

SOUSA, J.L. **Avaliação agroclimática de quatro microrregiões do Estado de Minas Gerais para alguns cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa:UFV, 1989. 70 p.il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STONE . LF; MOREIRA JAA. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, 2001.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A., SILVA, J.G. da. Desempenho do modelo computacional SISDA 2.0 no manejo da irrigação do feijoeiro em condições de plantio direto e preparo convencional do solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 3, p. 304-311, 2002.

THORNLEY, J.H.M. **Mathematical models in plant physiology: a quantitative approach to problems in plant and crop physiology**> London: Academic Press, p. 172. 1976.

TSUJI GY, UEHARA G, BALAS S (1994) **DSSAT v3**. University of Hawaii. EEUU. 244 pp. 1994.

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

VIEIRA, C. **Estudo monográfico do consorcio milho-feijão no Brasil**. Viçosa, Editora UFV. 183p. 1999.

VIEIRA, C. Feijão de Alta produtividade. Métodos culturais. **Informe Agropecuário**. v. 25, n.223. 2004.

VIEIRA, C. **Memórias de meio século de estudo sobre a cultura do feijão**. Viçosa: UFV, 214 p. 2005.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 969 p. 2005.

VON PINHO, R.G.; RAMALHO, M.A.P.; FRAGA, A.C.; SANTOS, J.B. Tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a baixas temperaturas na fase de germinação e emergência, **Ciência e Prática**, v. 15, p. 412-419, 1991.

WEAVER, M.L., TIMM, H. Influence of temperature and plant water status on pollen viability in beans. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 113, n. 1, p. 31-35, 1988.

WILKENS, P.W.; BATCHELOR, W.D. BOOTE, K. J.; GIJSMAN, A.J.; HUNT, L. A.; JONES, J.W.; PORTER, C.H.; SINGH, U.; DU TOIT, A.S.; TSUJI, G.Y.; URYASEVA, O.; HOOGENBOOM, G. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0. **Annual Meetings Abstracts** (CD-ROM). American Society of Agronomy. Madison, WI. 2003.

WILKERSON, G.G., J.W. JONES, K.J. BOOTE, and J.W. MISHOE. SOYGRO V5.0: **Soybean crop growth and yield model**. Technical Documentation. Agricultural Engineering Dept., University of Florida, Gainesville. 253 pp.1985.

WILKERSON, G.G., J.W. JONES, K.J. BOOTE, K.T. Ingram, and J.W. MISHOE. **Modeling soybean growth for crop management**. Trans. ASAE 26:63-73. 1983.

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