

JOSÉ LUIZ CABRAL DA SILVA JÚNIOR

SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DO MILHO E DO
FEIJÃO, BASEADA NOS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
GLOBAIS, NO ESTADO DE MINAS GERAIS

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

JOSÉ LUIZ CABRAL DA SILVA JÚNIOR

SIMULAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS DO MILHO E DO
FEIJÃO, BASEADA NOS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
GLOBAIS, NO ESTADO DE MINAS GERAIS

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

APROVADA: 23 de abril de 2007.

Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Co-Orientador)

Prof. Flávio Barbosa Justino
(Co-Orientador)

Prof. José Maria Nogueira da Costa

Pesq. Trazilbo José de Paula Júnior

Prof. Luiz Cláudio Costa
(Orientador)

*À Juliana Bertho, amor da minha vida.
E à Anna Júlia, minha amada filha.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela presença em todos os momentos de minha vida.

Ao meu pai José Luis, à minha mãe Jaci José, aos meus irmãos Carlos Luiz e Antônio de Pádua e aos meus sobrinhos Carlos Matheus e Luiz Carlos, por serem a minha maior escola, pelo apoio incondicional, pelo porto seguro, pelo estímulo, pelo amor e pelo carinho.

À minha esposa Juliana, pelo apoio nas horas difíceis, pelo estímulo e amor e pelo carinho e atenção que me foram dedicados e pela forma grandiosa com que soube suportar as dificuldades; e à minha filha Anna Júlia, que passou parte de sua infância longe de mim.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão das bolsas de estudo.

Ao Professor Luiz Cláudio Costa, pela orientação e amizade.

Aos meus co-orientadores Gilberto Chohaku Sedyama e Flávio Barbosa Justino, pelas sugestões e pela amizade.

Aos meus professores amigos e mestres Aristides Ribeiro, Marcos Heil, José Maria Nogueira, Sérgio Zolnier e Paulo Hamakawa, pela presteza em me ajudarem.

Aos meus amigos e colegas de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, pelo apoio e incentivo.

Aos funcionários e técnicos do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo constante apoio.

Aos meus amigos “unemetianos”, por sempre terem-me dado força para todas as questões da minha vida.

BIOGRAFIA

JOSÉ LUIZ CABRAL DA SILVA JÚNIOR, filho de José Luis Cabral da Silva e Jaci José Silva, nasceu em Maceió, AL, em 24 de julho de 1971.

Em dezembro de 1998, graduou-se em Meteorologia pela Universidade Federal de Alagoas, em Maceió, Alagoas.

Em outubro de 2001, defendeu a dissertação do curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

Em outubro de 2002, iniciou o Curso de Pós-Graduação, em nível de doutorado, em Meteorologia Agrícola, com área de concentração em Agrometeorologia, da UFV, submetendo-se à defesa da tese em 23 de abril de 2007.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	3
AVALIAÇÃO DO MODELO CROPGRO-DRY BEAN, NA CULTURA DO FEIJÃO PARA ALGUMAS MESORREGIÕES DO ESTADO DE MINAS GERAIS	3
RESUMO	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Área de estudo.....	8
2.2. Dados de clima e solo	9
2.3. Modelo CROPGRO-Dry bean calibração e teste.....	11
2.4. Avaliação estatística do modelo.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4. CONCLUSÃO	22
5. REFERÊNCIAS	23

	Página
CAPÍTULO 2.....	25
AVALIAÇÃO DO MODELO CERES-MAIZE, NA CULTURA DO MILHO PARA ALGUMAS LOCALIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS	25
RESUMO	25
1. INTRODUÇÃO	27
2. MATERIAL E MÉTODOS	29
2.1. Área de estudo.....	29
2.2. Dados de clima e solo	30
2.3. Modelo CERES-MAIZE calibração e teste	32
2.4. Avaliação estatística do modelo.....	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4. CONCLUSÃO	43
5. REFERÊNCIAS	44
CAPÍTULO 3.....	46
AVALIAÇÃO DOS MODELOS CROPGRO-DRY BEAN E CERES-MAIZE, NO ESTADO DE MINAS GERIAS: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE AGROMETEOROLÓGICA.....	46
RESUMO	46
1. INTRODUÇÃO	48
2. MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1. Área de estudo.....	50
2.2. Estimativa da produtividade dos modelos CROPGRO Dry-bean e CERES-MAIZE	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
3.1. Modelo CROPGRO Dry Bean.....	53
4. CONCLUSÕES	60
5. REFERÊNCIAS	61
CAPÍTULO 4.....	63
IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS CULTURAS DO MILHO E DO FEIJÃO EM ALGUMAS REGIÕES DO ESTADO DE MINAS GERAIS	63

	Página
RESUMO	63
1. INTRODUÇÃO	65
2. MATERIAL E MÉTODOS	68
2.1. Estimativa da produtividade dos modelos CROPGRO e CERES- MAIZE para os cenários futuros	70
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4. CONCLUSÕES	87
5. REFERÊNCIAS	88
CONCLUSÕES GERAL	91

RESUMO

SILVA JÚNIOR, José Luiz Cabral da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2007. **Simulação da produtividade das culturas do milho e do feijão, baseada nos cenários de mudanças climáticas globais, no Estado de Minas Gerais.** Orientador: Luiz Cláudio Costa. Co-Orientadores: Gilberto Chohaku Sedyama e Flávio Barbosa Justino.

Neste trabalho, propôs-se simular o crescimento e produtividade das culturas do milho e do feijão, com base nos cenários de mudanças climáticas no Estado de Minas Gerais. Foram utilizados os modelos de crescimento e desenvolvimento de culturas – o CROPGRO Dry bean e o CERES-MAIZE – para a simulação dos complexos processos físico-biológicos. Para tanto, os modelos foram devidamente calibrados e testados em diversas regiões do Estado. Para as projeções futuras, foram analisados os diferentes cenários A2 e B2, estabelecidos pelo SRES-IPCC para os anos de 2020, 2050 e 2080. Os resultados apontaram que, para os cenários mais pessimistas (A2), as alterações climáticas poderão propiciar uma redução de até 15% na produtividade da cultura do milho. Para a produtividade da cultura do feijão em ambos os cenários, há uma projeção de aumento da produtividade nas diversas regiões do Estado de Minas Gerais.

ABSTRACT

SILVA JÚNIOR, José Luiz Cabral da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2007. **Maize and bean crop yield simulation based on global climatic change scenarios in Minas Gerais.** Adviser: Luiz Cláudio Costa. Co-Advisers: Gilberto Chohaku Sedyama and Flávio Barbosa Justino.

This work aimed to propose the simulation of maize and bean crop growth and yield, based on the climatic change scenarios in the state of Minas Gerais. The crop growth and development models – CROPGRO Dry bean and CERES-MAIZE – were applied to simulate complex physical- biological processes. Thus, the models were duly calibrated and tested in several regions of the state. For future projections, the different scenarios A2 and B2, established by SRES-IPCC for 2020, 2050 and 2080 were used. The results pointed out that for the most pessimistic scenarios (A2), the climatic changes may provide a reduction of up to 15% in maize crop yield. For bean crop yield in both scenarios, there is a projection of increased yield in several regions in the state of Minas Gerais.

INTRODUÇÃO GERAL

Os modelos de simulação do crescimento de culturas têm se apresentado, ao longo do tempo, como ferramentas extremamente úteis para o estudo e compreensão da relação clima-cultura (BOOTE et al., 1996). Dessa forma, diversos modelos vêm sendo utilizados nos últimos anos, com o objetivo de analisar as interações entre clima e produtividade agrícola.

No Brasil, o estudo e a aplicação de modelos, principalmente os mecanísticos, têm sido pouco desenvolvidos (MIGLIORANZA, 1992; BARROS, 1998). Entre os problemas que dificultam um maior aprofundamento nesta área está a escassez de dados básicos necessários à elaboração de modelos válidos para as condições climáticas do País, ou seja, há grande dificuldade no estabelecimento dos parâmetros básicos usados no ajuste desses modelos.

Recentemente, o último relatório do IPCC (Summary for Policymakers - International Panel on Climate Change) mostra que as mudanças climáticas decorrentes das atividades humanas já estão ocorrendo em uma escala global e que as previsões para o século XXI são preocupantes. Apesar da certeza dos graves efeitos das mudanças climáticas na agricultura, muitas incertezas ainda existem na sua quantificação do mesmo.

Poucos trabalhos têm quantificado os impactos das alterações das mudanças climáticas na agricultura brasileira e, em especial no Estado de Minas Gerias, onde a agricultura vem tendo um aumento substancial nas culturas do milho e do feijão.

Diante disto, o objetivo geral deste trabalho foi a Simulação da produtividade das culturas do milho e do feijão, baseada nos cenários de mudanças climáticas globais, no Estado de Minas Gerais.

Esboço

- Capítulo 1 apresenta a avaliação do modelo CROPGRO-Dry bean, para algumas mesorregiões do estado.
- Capítulo 2 apresenta a avaliação do modelo CERES-MAIZE, para algumas mesorregiões do Estado de Minas Gerais.
- Capítulo 3 apresenta análise de sensibilidade agrometeorológica dos modelos.
- Capítulo 4 apresenta o impacto das alterações climáticas nas produtividades das culturas do milho e do feijão para as projeções futuras.

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DO MODELO CROPGRO-DRY BEAN, NA CULTURA DO FEIJÃO PARA ALGUMAS MESORREGIÕES DO ESTADO DE MINAS GERAIS

RESUMO

Atualmente, nas diversas regiões de Minas Gerais, a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) vem obtendo um substancial aumento de sua produtividade, colocando o Estado como o maior produto do país. No entanto, déficit hídrico, as temperaturas, o excesso de precipitação e a pouca quantidade de horas de insolação são alguns dos problemas inevitáveis durante a estação de crescimento em campo que prejudicam o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Uma maneira de se quantificar o efeito das adversidades climáticas na produtividade das culturas é através dos modelos de crescimento de culturas. O modelo CROPGRO Dry-bean, incluído no Sistema de Suporte para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT v.4.0), foi parametrizado e testado com condições iniciais provenientes de dados experimentais e vem sendo utilizado em diferentes partes do mundo. O modelo CROPGRO-Dry bean foi calibrado a partir da modificação dos coeficientes genéticos característicos da fenologia e da morfologia da planta de feijão e testado para algumas regiões de Minas Gerais, utilizando a cultivar talismã para estimar a produtividade e o desenvolvimento da cultura do feijão visando obter os melhores

ajustes possíveis entre os dados simulados e os dados experimentais observados. O modelo foi utilizado para conduzir análise sazonal e para estimar a variabilidade da produtividade, a partir de dados climatológicos históricos. No presente estudo, o modelo CROPGRO Dry-bean, mostrou-se efetivo para simular a fenologia e a produtividade, na região de Viçosa, Zona da Mata e Sul/Sudeste, com coeficientes de determinação 0,83, 0,50 e 0,93, respectivamente. A produtividade média estimada foi 2.116 kg/ha região Sul/Sudeste, e na Zona da Mata 1938 kg/ha, com os ciclos médios da cultura de 88 e 90 dias, respectivamente. Pelos resultados apresentados conclui-se que o modelo de simulação CROPGRO-Dry bean pode ser importante ferramenta na análise da produtividade em diferentes ambientes, auxiliando as tomadas de decisão agrícola.

Palavras-chave: DSSAT, feijão, simulação.

1. INTRODUÇÃO

A atividade agrícola no Brasil nas últimas décadas vem apresentando substancial aumento e, como toda atividade econômica, este aumento demanda novos investimentos em tecnologias e conhecimento que possam subsidiar os agricultores e o governo em seus processos de tomada de decisões.

Observa-se ao longo dos anos que o processo de tomada de decisão no setor agrícola brasileiro ainda vem sendo feito, em muitos casos, de forma empírica, não considerando, de forma sistemática e organizada, os diversos fatores envolvidos na complexa relação entre planta e ambiente o que se reflete em graves prejuízos para o setor.

Na busca de mecanismos que ofereçam aos agricultores e demais envolvidos no setor agrícola ferramentas para seu processo de tomada de decisão, têm-se observado nos últimos anos, um crescente aumento na utilização de modelos de crescimento de planta para o estudo das relações entre planta e ambiente. As aplicações dos modelos de simulação na agricultura vão desde a busca do simples entendimento dos fatores que afetam a produtividade de uma cultura em um determinado local até o desenvolvimento de sistemas que permitam a tomada de decisão e a obtenção de informações sobre o sistema agrícola regional e nacional. Tais sistemas têm se mostrado extremamente eficientes em permitir uma análise objetiva dos principais fatores envolvidos nas flutuações espacial e temporal da produtividade agrícola em diferentes países (HAMMER et al., 1996;

STOORVOGEL et al., 1998; MEINKE; STONE, 1997 *apud* COSTA; BARROS, 2001).

Os primeiros exemplos de modelos de crescimento de culturas no mundo foram desenvolvidos durante os anos setenta (De WIT et al., 1970; ARKIN et al., 1976). A partir dos anos oitenta os modelos vêm sendo utilizados de diversas formas, por exemplo, nos processos de tomada de decisão (irrigação programada, controle de pragas e doenças etc.) (WILKERSON et al., 1983; SWANEY et al., 1983 *apud* STOCKLE et al., 2003). Nesta última década, modelos e sistemas como SUCROS (BOUMAN et al., 1996), CERES (RITCHIE et al., 1998); CROPGRO (BOOTE et al., 1998), DSSAT (JONES et al., 1998) e CROPSYST (STOCKLE et al., 2003) e os associados a monitoramento de seca agrícola PUTU (LOURENS; DE JAGER, 1995); GWRAPPS (SATTI et al., 2004) e SIRIUS (RICHTER; SEMENOV, 2004), têm contribuído significativamente para estudos da relação entre clima e culturas em diferentes partes do mundo.

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

No Brasil, diversos modelos agrometeorológicos, vêm sendo desenvolvidos no Sul e no Sudeste, para condições de parcelas e lavouras, têm apresentando bons resultados na previsão de produtividade das culturas da soja e do milho. Tais modelos, baseados nas relações existentes entre clima, principalmente precipitação, e conseqüentemente disponibilidade de água no solo e produtividade agrícola, se mostraram capazes de prever, com uma antecedência de dias, a duração das fases fonológicas das culturas do milho e da soja (BERLATO, 1987; COSTA, 1988; FERREIRA, 1997; LEAL, 2000; FONTANA et al., 2001; COSTA; BARROS, 2001).

O modelo CROPGRO- Dry bean é parte do DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) projetado pela IBSNAT (*International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer*) é composto por modelos determinísticos e mecanísticos que simulam a duração dos estádios fenológicos e vegetativos, acumulando a biomassa e a produção de grãos de uma cultivar específica associada às práticas de manejo e às condições de solo e clima (HOOGENBOOM et al., 1994). O DSSAT possui 16 modelos de simulação

genéricos: a família CERES trigo, milho, sorgo, arroz e cevada (RITCHIE et al., 1998), o SUBSTOR batata, CROPSIM mandioca, o OILCROP girrasol e CANEGRO cana-de-açúcar (HOOGENBOOM, 2003). Estes modelos são orientados para aplicações gerais e utilizam o conceito modular.

Os modelos CROPGRO vêm sendo testados e calibrados em diversas regiões do Brasil, como por exemplo, Dallacort et al. (2005) na simulação da cultura da soja para a região Noroeste do Estado do Paraná., em estudo da cultura do feijão nas condições edafoclimáticas na parte central do Brasil (MEIRELES et al., 2002) e no crescimento e desenvolvimento com feijão caupi irrigado no Estado do Piauí (BASTOS, 2001).

Minas Gerais é o maior produtor de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do Brasil, tendo colhido, na última safra de 2206/2007, um total de 537,8 mil toneladas, representando 16,38 % da produção total do País (CONAB, 2007). O Estado se apresenta como um importante referencial na produção de feijão no Brasil e a sua participação pode ser ampliada com a adoção de mais tecnologias e estudos que possam diminuir os riscos de quebra de rendimento como consequência de fatores climáticos adversos, principalmente o estresse hídrico, o excesso de chuva e temperaturas elevadas em fases críticas do ciclo das plantas. Nesse contexto, a época adequada de semeadura é uma das práticas que tem influência direta na obtenção de altos rendimentos, pelo fato de aumentar as chances de as fases críticas do ciclo da planta não coincidirem com os períodos climáticos adversos.

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o modelo CROPGRO- Dry bean para a cultura do feijão nas diversas regiões do Estado de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área considerada foi o Estado de Minas Gerais, localizado no Sudeste do Brasil, entre as latitudes 14° 13' 57'' e 22° 55' 47'' Sul e 39° 51' 27'' e 51° 02' 56'' longitude Oeste, com uma área total de 588.383 km². O Estado está localizado na Zona Intertropical, com as estações do ano bem definidas, com o período chuvoso entre os meses de outubro a março, e o período seco de abril a setembro. Devido a sua topografia acidentada que varia de 250 a 2.700 metros de altitude e ao fato de estar localizado na trajetória normal dos sistemas frontais aliados a outros sistemas meteorológicos sazonais de mesoescala que atuam na região, como Alta do Atlântico Sul, Alta da Bolívia, Zona de Convergência Atlântico Sul, linhas de instabilidades e sistemas de células convectivas, Minas Gerais apresenta grande variabilidade climática e no regime de precipitação (ANTUNES, 1986 *apud* SANTANA, 2004). Na Figura 1, pode-se identificar as mesorregiões do Estado de Minas Gerais.

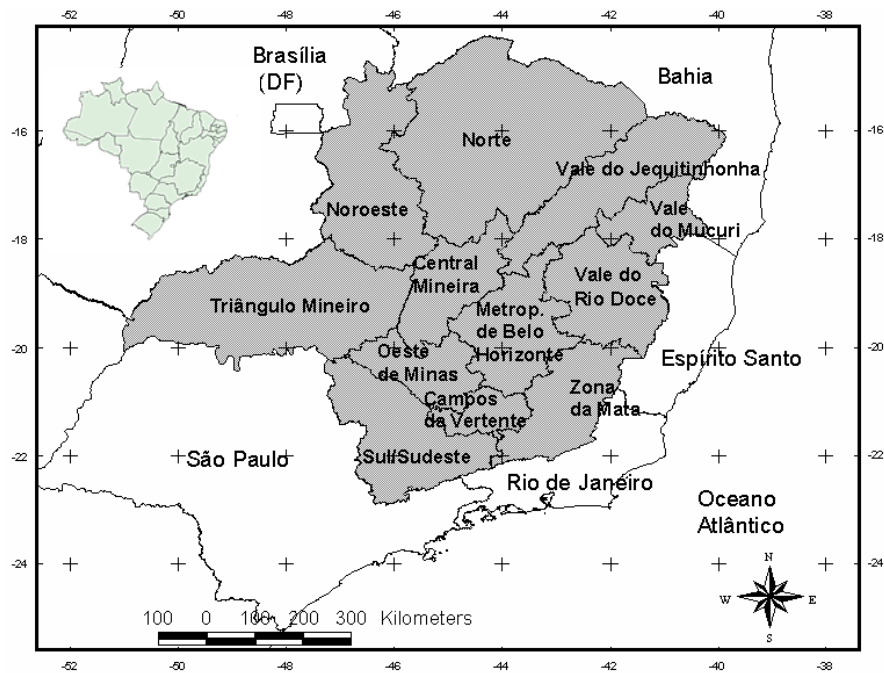


Figura1 – Mesorregiões geográfica do Estado de Minas Gerais.

2.2. Dados de clima e solo

Foi utilizada uma série do período de 1974 a 2003, de 19 estações meteorológicas com dados diários de temperatura máxima e mínima do ar (°C), precipitação (mm) e número de horas de insolação (n) para o cálculo da radiação solar ($\text{MJ} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Os dados foram cedidos pelo 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme Tabela 1, representando as nove mesorregiões do Estado de Minas Gerias. Os dados diários foram tratados quanto a possíveis falhas existentes e homogeneidade.

Tabela 1 – Identificação das estações meteorológicas do INMET em Minas Gerais

Nº Estação	Estação	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
83037	Coronel Pacheco	-43,25	-21,58	435
83442	Araçuaí	-16,83	-41,74	285
83531	Patos de Minas	-46,43	-18,52	940
83536	Curvelo	-44,45	-18,75	672
83538	Diamantina	-43,60	-18,25	1296
83543	Governador Valadares	-41,93	-18,85	148
83570	Pompeu	-45,00	-19,22	690
83574	Frutal	-48,93	-20,03	543
83577	Uberaba	-47,95	-19,73	737
83579	Araxá	-46,93	-19,60	1023
83581	Florestal	-44,42	-19,87	748
83586	Sete Lagoas	-44,25	-19,47	732
83587	Belo Horizonte	-43,93	-19,93	915
83589	Conceição do Mato Dentro	-43,43	-19,02	652
83642	Viçosa	-42,88	-20,75	698
83683	Machado	-45,92	-21,67	873
83689	Barbacena	-43,77	-21,25	1126
83692	Juiz de Fora	-43,35	-21,77	940
83736	São Lourenço	-45,02	-22,10	953
83737	Passa Quatro	-44,97	-22,38	920

Devido à grande variabilidade na classificação dos tipos de solos e pela dimensão do Estado de Minas Gerais, foi utilizada a classificação de solo adotada pela Coordenação Geral de Zoneamento Agropecuário, subordinada ao Departamento de Gestão de Risco Rural, da Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento (MAPA). Esse documento considera como apto à semeadura do feijão o solo Tipo 3, especificado na Instrução Normativa nº 10, de 14 de junho de 2005, publicada no DOU de 16 de junho de 2005, Seção 1, página 12, alterada para Instrução Normativa nº. 12, através de retificação publicada no DOU de 17 de junho de 2005, Seção 1, página.6, que apresentam as seguintes características: a) teor de argila maior que 35% e profundidade igual ou superior a 50 cm; b) solos com menos de 35% de argila e

menos de 15% de areia (textura siltosa), com profundidade igual ou superior a 50 cm. Geralmente, são solos de alto armazenamento de água.

Em geral, os modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento das culturas foram projetados para estimar valores em áreas homogêneas. Entretanto, existe grande variabilidade nas produtividades, o que pode ser explicado por fatores como a densidade de plantio, estresses hídricos, fatores nutricionais e físicos do solo ou até induzidos pelo próprio manejo, mudando espacialmente dentro da área (BATCHELOR et al., 2002).

Nas notas técnicas para o plantio da cultura do feijão, 1ª. Safra e de diversos ciclos (precoce, médio e tardio), não há restrições em nenhuma das localidades do Estado para o solo Tipo 3 (MAPA, 2007)

2.3. Modelo CROPGRO-Dry bean calibração e teste

O modelo CROPGRO-dry bean, incluído no programa DSSAT v4.0, foi calibrado e testado para as condições experimentais, conforme recomendação de Hoogenboom et al. (2003) e Jones et al. (2003). Para a calibração, os coeficientes genéticos foram obtidos em seqüência, começando-se com os parâmetros referentes à fenologia, seguidos pelos parâmetros de crescimento da cultura. Essa ordem é estabelecida pela dependência dos parâmetros de crescimento em relação aos parâmetros fenológicos (JONES et al., 1987; HOOGENBOOM et al., 1992). As datas de emergência, florescimento e maturidade, dados de análise de crescimento e rendimento foram utilizados dados experimentais da cultivar.

A seqüência de procedimentos para se obter a calibração dos coeficientes genéticos foram as seguintes:

- Selecionar os coeficientes genéticos de um determinado genótipo a partir de genótipos que estejam no mesmo grupo de maturação ou que apresentem crescimento em área de adaptação similar ao genótipo em questão,
- Rodar o modelo para o local, cultivar ou tratamento;
- Comparar os valores estimados e observados e verificar seu ajuste; se o ajuste não foi adequado, ajustar primeiramente a data prevista de maturação. O ajuste dos componentes de rendimento pode ser feito com o aumento e com a diminuição do valor de determinados coeficientes por processo de tentativa e erro, até que se obtenham resultados de boa qualidade. O conjunto de

coeficientes genéticos então obtidos é utilizado para simular o crescimento e o desenvolvimento e estimar a produtividade da cultura nas datas de semeadura para um determinado local.

Para calibração dos coeficientes do modelo CROPGRO-Dry bean foram utilizados os dados da cultivar Talismã, grupo comercial carioca que apresenta o ciclo da semeadura à maturação fisiológica variando de 75 a 85 dias, dependendo das condições ambientais, sendo considerada de ciclo mais precoce que outras cultivares desse grupo comercial, com produtividade média em várias localidades de Minas Gerais variando de 1.093 kg/ha, em Patos de Minas, a 5.536 kg/ha, em Sete Lagoas, em diferentes épocas do ano (RAMALHO et al., 2002). Os dados, como classificação do solo, análise química, data da semeadura, espaçamento, densidade de plantio e período fenológico foram obtidos do experimento de campo localizado na estação experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, MG (ANDRADE et al., 2005).

Para o teste do modelo foram obtidos dados experimentais de produtividade da literatura da cultivar carioca no período da série estudada com intuito de avaliar o modelo nas regiões estudadas. O estudo foi realizado para a safra “das águas” no período de semeadura a partir do mês de outubro. Este critério foi utilizado devido que a maioria do cultivo do feijão de sequeiro no Estado ocorrer na safra "das águas", com semeadura recomendada em outubro e novembro.

2.4. Avaliação estatística do modelo

A avaliação do desempenho do modelo CROPGRO-Dry bean em estimar a produtividade foi baseada nas seguintes ferramentas estatísticas: Coeficiente de Determinação (r^2), Erro Quadrado Médio (EQM), Erro Médio Absoluto (EMA), Índice de Concordância (d) de Willmott et al. (1985) e os testes de t e F .

O coeficiente de determinação (r^2) foi aplicado para verificar a relação dos dados experimentais e observados nas regiões estudadas. Através do (r^2) foi possível medir o quanto a variação da produtividade é explicada pelo modelo. Quanto mais próximo de 1,0 estiver o valor do coeficiente de determinação, melhor será o ajuste do modelo de produtividade estimado e o observado. Foi calculado o erro do quadrado médio (EQM) e o erro médio absoluto (EMA), através da produtividade

estimada e a observada, para verificar a desempenho do modelo nas mesorregiões analisadas, de acordo com a equação:

$$EQM = \sqrt{N^{-1} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2} \times 100/M$$

em que, EQM = erro do quadrado médio, indica a diferença relativa, em %, entre os valores simulados e observados; N = número de pares de observações; O = valores observados (produtividade); P = valores estimados (produtividade), M = média dos valores observados. Foi adotado um critério para os dados simulados em relação aos dados observados, considerando o EQM excelente quando for menor do que 10%, boa entre 10 e 20%, aceitável entre 20 e 30% e pobre quando maior do que 30%, conforme proposto por (JAMIESON et al., 1991 *apud* TOJO SOLER, 2004).

$$EMA = N^{-1} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i|$$

Em que: EMA = erro do quadrado médio, N = número de pares de observações; O = valores observados (produtividade) e P = valores estimados (produtividade).

Também foram calculados os Índices de Concordâncias (d) de Willmott et al. (1985), pela produtividade estimada e a produtividade observada, de acordo com a equação:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum \left(|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i| \right)^2}$$

em que: d = índice de concordância; O_i = produtividade observada; P_i = produtividade estimada; \bar{O}_i = valor médio do índice.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação do modelo CROPGRO-Dry bean nas diversas regiões agrícolas do Estado, foi feita considerando-se as simulações do crescimento, desenvolvimento e da produtividade da cultura do feijão, cultivar carioca, na região de Viçosa, a partir dos coeficientes genéticos ajustados. O teste foi realizado nas outras regiões onde os dados experimentais da literatura (ANDRADE et al., 2005; MIGLIORANZA, 1992; EPAMIG, 1985; LIMA et al., 1982; RAMALHO, 1993) possibilitaram a avaliação. Depois dessas etapas foram realizadas simulações para todas as localidades.

Portanto, considerou-se que a calibração e o teste foram válidos para todas as localidades estudadas, uma vez que, pela literatura não foi possível obter informações que possibilitassem a calibração individual para todas as regiões do estado.

Na Tabela 2, são apresentados os coeficientes genéticos da cultivar Carioca, variedade Talismã, ajustados na realização da calibração do modelo CROPGRO-Dry bean para a região de Viçosa, MG.

Na Figura 2, podemos observar que o ajuste dos coeficientes genéticos permitiu que o modelo alcançasse um $r^2=0,83$.

Tabela 2 – Coeficientes genéticos médios ajustados para o modelo CROPGRO-Dry

<i>Coeficientes</i>	Cultivar Talismã
CSDL	12,17
PPSEN	0,040
EM-FL	24,0
FL-SH	5,0
FL-SD	11,5
SD-PM	25,0
FL-LF	24,0
LFMAX	1,0
SLVAR	350,0
SIZLF	133,0
XFRT	1,0
WTPSD	0,230
SFDUR	14,0
SDPDV	5,20
PODUR	6,0

Sendo: CSDL - Também chamada de CSDVAR, duração crítica 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); 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; LFMAX – Taxa máxima de fotossíntese da folha a uma taxa ótima de temperatura 30°C; Slavar –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 o cultivar alcançar condições ideais de vagens (dias fototermais).

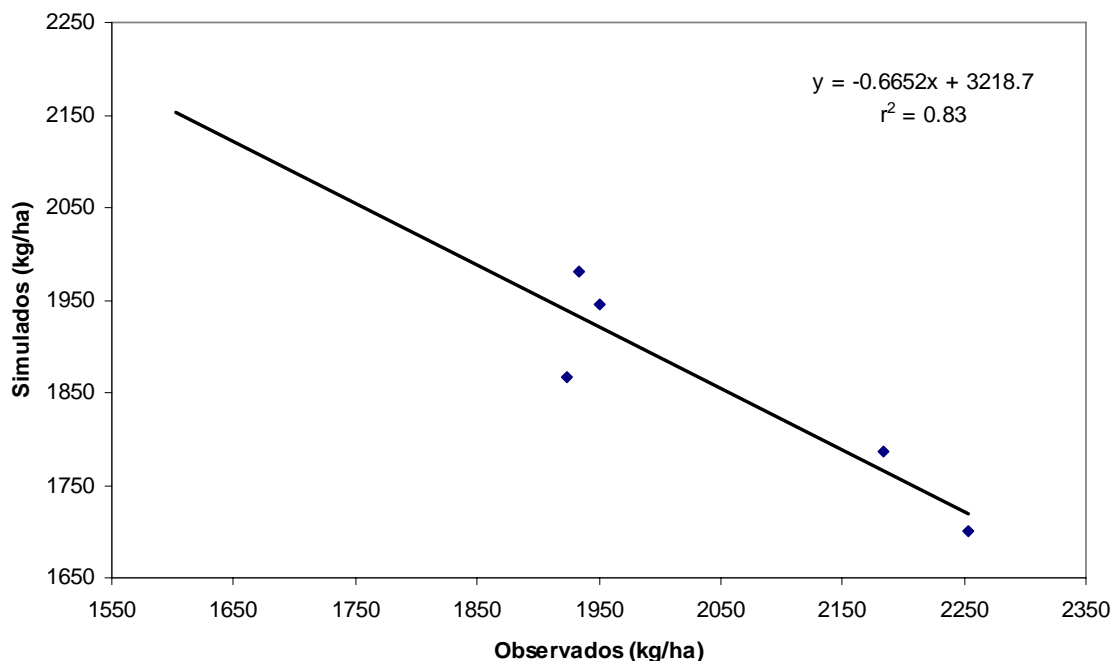


Figura 2 – Produtividade média simulada e produtividade média observada (kg/ha), com plantio no mês de outubro para a região de Viçosa, MG.

Na Tabela 3 são apresentadas as estatísticas do modelo CROPGRO-Dry bean nas regiões de Viçosa, Zona da Mata e Sul/Sudeste. Os dados apresentados mostram um coeficiente de determinação relativamente satisfatório ($r^2=0,83$) na região de Viçosa e no Sul/Sudeste, e regular na Zona da Mata, apesar dos índices de concordância entre os valores estimados e simulados serem baixos na Região de Viçosa e na Zona da Mata. No mesmo quadro, observa-se que o erro do quadrado médio EQM, foi considerado bom (entre 10 e 20%). No teste de F , as médias da produtividade simulada e observada nas regiões mostram que não há diferenças significativas, ou seja, os valores simulados estatisticamente não são considerados diferentes dos valores observados nas regiões onde houve possibilidade de se avaliar o modelo. Entretanto, pelo teste de t observa-se na Zona da Mata uma diferença significativa aos 5% de nível de probabilidade entre as médias observadas e estimadas, o que talvez isso justifique o índice de concordância baixo.

Tabela 3 – Avaliação estatística do modelo CROPGRO-Dry bean para as regiões estudadas

<i>Regiões</i>	<i>EQM</i>	<i>%</i>	<i>EMA</i>	<i>D</i>	<i>R²</i>	<i>Teste t</i>	<i>Teste F</i>
Viçosa	307	16,5	194	0,14	0,83	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Zona da Mata	263	14	30	0,03	0,50	*	<i>n.s.</i>
Sul/Sudeste	434	20	212	0,53	0,94	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

* significativo a 5%; *n.s* = *não significativo*.

Nas Figuras 3 e 4, pode-se observar o comportamento do modelo CROPGRO-Dry bean nas regiões da Zona da Mata e no Sul/Sudeste, esta última com boa precisão devido ser uma das regiões que mais se destaca no cultivo do feijão da safra das “águas”, responsável por mais de 21,1% da produção estadual (EMBRAPA, 2007).

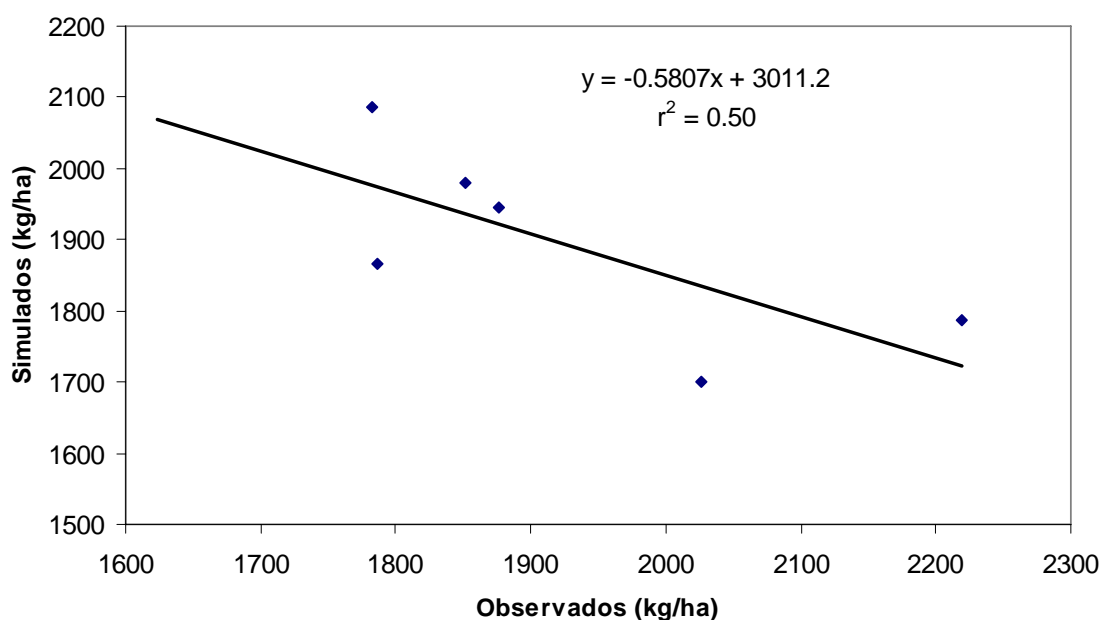


Figura 3 – Produtividade média simulada e produtividade média observada (kg/ha), com plantio no mês de outubro para a mesorregião da Zona da Mata mineira.

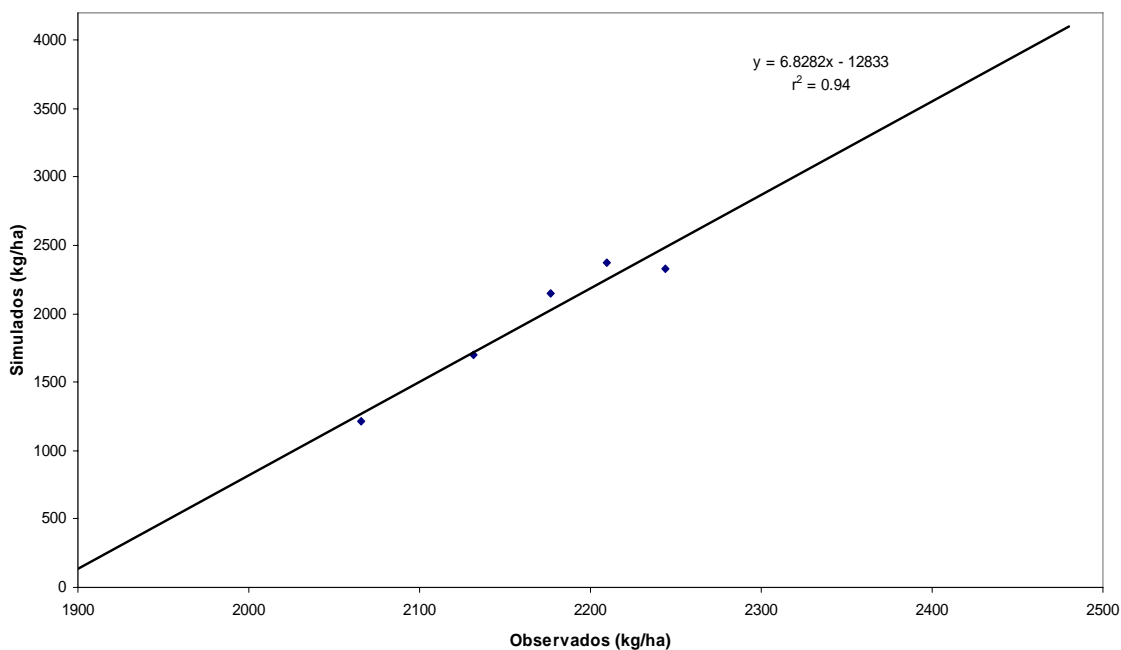


Figura 4 – Produtividade média simulada e produtividade média observada (kg/ha), com plantio no mês de outubro para a mesorregião do Sul/Sudeste de Minas Gerais.

Nas Figuras 5 e 6, pode-se observar a variabilidade da produtividade média simulada para as regiões Sul/Sudeste e Zona da Mata mineira, que é dependente dos fatores associados aos diferentes comportamentos climáticos. Na região da Zona da Mata de Minas (Figura 5), a produtividade média foi estimada em 1.938,4 kg/ha com máximo de 2.254 kg/ha (1976) e mínimo de 1.602 kg/ha (1997). Já na região do Sul/Sudeste (Figura 6) a produtividade média estimada média de 2.116 kg/ha, máximo de 2.480 kg/ha (1999) e mínimo de 1847 kg/ha (1978). A produtividade média para o Estado de Minas Gerais, (Figura 7) foi estimada em 1.911 kg/ha, com a produtividade máxima de 2.180 kg/ha (1989) e a mínima de 1.630 kg/ha (1997), valores que corroboram com experimentos conduzidos nas diversas regiões Minas Gerais (RAMALHO et al., 2002).

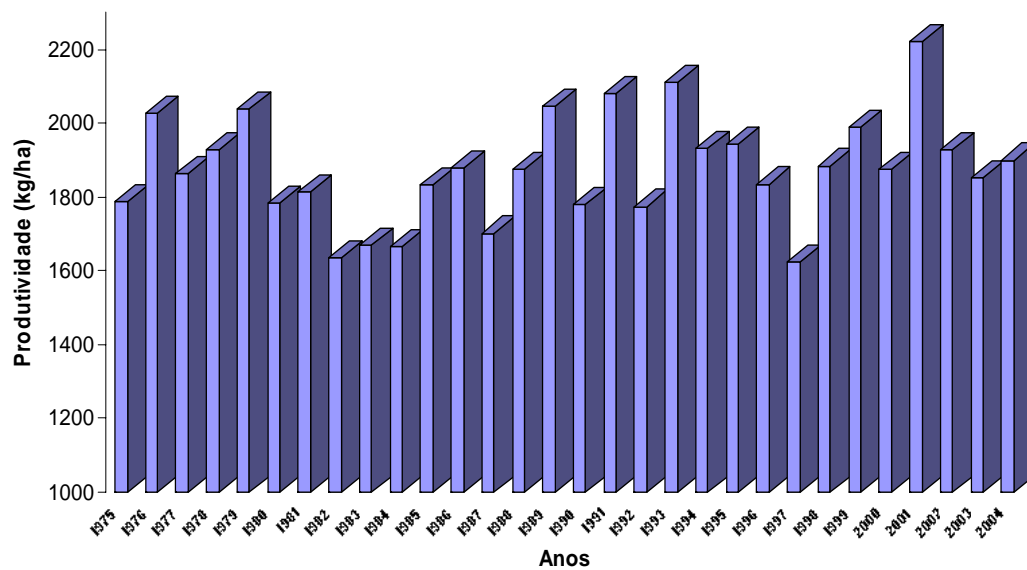


Figura 5 – Produtividade média simulada (kg/ha), com plantio no mês de outubro, para a mesorregião da Zona da Mata mineira.

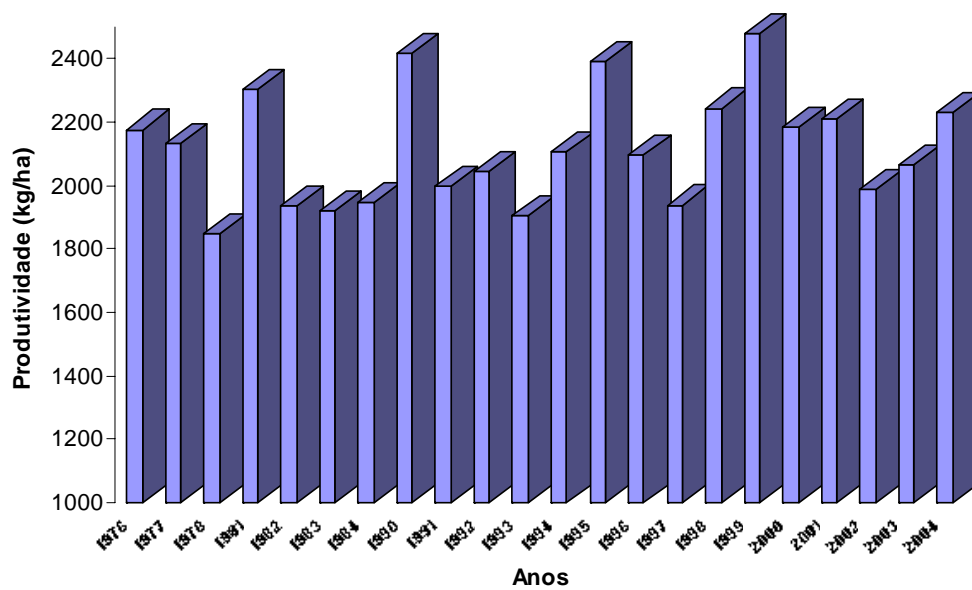


Figura 6 – Produtividade média simulada (kg/ha), com plantio no mês de outubro, para a mesorregião do Sul/Sudeste de Minas Gerais.

Como a simulação da produtividade considera principalmente a variabilidade climática para o crescimento e o desenvolvimento da cultura, essa variação da produtividade é esperada. É conhecido que as estiagens e as chuvas em excesso por períodos seguidos em várias partes do mundo, incluído Minas Gerais, estão associadas aos fenômenos de escala global, como o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que afeta a Circulação Geral da Atmosfera. A fase quente (El Niño) e a fase fria (La Niña – LN) como, por exemplo, o fenômeno La Niña influenciando principalmente no início dos períodos chuvosos com a ocorrência e duração de veranicos em anos de surgimento deste fenômeno atuando em Minas Gerais, segundo Minuzzi et al. (2004) que relata o ocasionamento de chuvas abaixo da média nas regiões do Estado, bem como o aumento do número de veranicos de 11 a 12 e de 13 a 14 veranicos no Sul/Sudoeste e Zona da Mata. Os anos de 1982, 1983 e 1984 ainda foram influenciados pela fase quente (El Niño).

Pode ser observado na Figura 7 que o ciclo médio da cultura para Zona da Mata é de 90 dias, com o mínimo em 1986, com 85 dias e máximo em 1999 de 96 dias para atingir a maturação. Esta estimativa da data de ocorrência de estádios fenológicos tem grande importância para o planejamento econômico das propriedades e a programação das operações agrícolas. Na Figura 8, para a mesorregião Sul/Sudeste, máximo de 95 dias para os anos de 1982 e 1995, com mínimo de 87 dias no ano de 1992 e média da série de 91 dias.

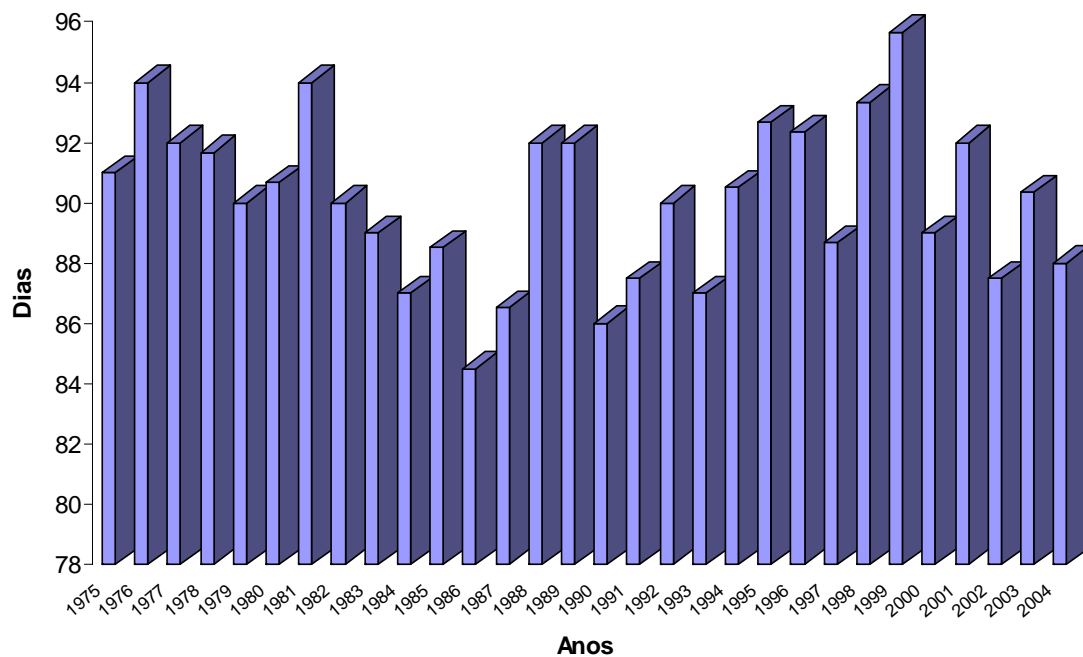


Figura 7 – Variação do ciclo médio total (dias) da cultura na mesorregião Zona da Mata, com plantio no mês de outubro.

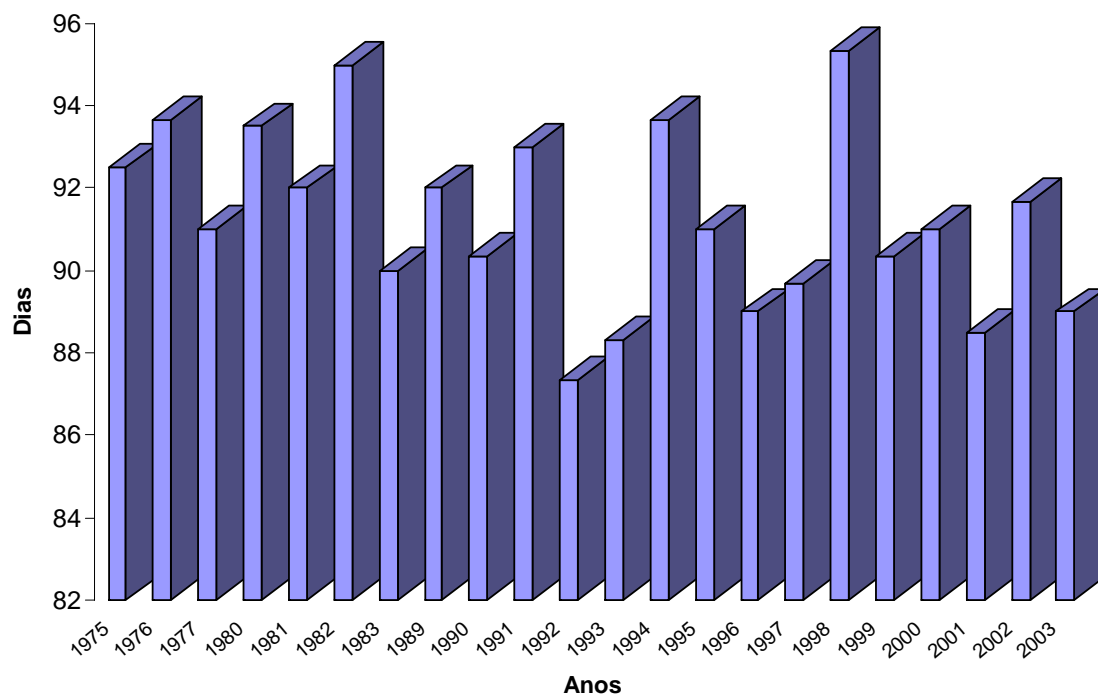


Figura 8 – Variação do ciclo médio total (dias) da cultura na mesorregião Sul/Sudeste, com plantio no mês de outubro.

4. CONCLUSÃO

A produtividade média estimada para mesorregião Sul/Sudeste foi de 2.116 kg/ha e para Zona da Mata de 1.938 kg/ha, com duração do ciclo médio da cultura de 88 e 90 dias, respectivamente.

Com a disponibilidade de dados experimentais nas diversas mesorregiões do Estado de Minas Gerais, podem ser determinados melhores ajustes para se calibrar e testar o modelo CROPGRO-Dry Bean, possibilitando ter uma ferramenta importante para planejamento agrícola e o suporte para as tomadas de decisão.

Pelos resultados apresentados, levando em consideração a ausência e a limitação de dados experimentais para avaliar o modelo CROPGRO-Dry bean nas diversas mesorregiões do Estado, o modelo apresentou um relativo desempenho para estimativa da produtividade de feijão nas localidades estudadas, podendo ser uma ferramenta importante na análise da produtividade em diferentes ambientes, auxiliando as tomadas de decisão agrícola.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. A. de B.; FONTES, Paulo Cezar Rezende; CARNEIRO, José Eustáquio SILVA ; SCAPIM, Carlos Alberto ; ALBUQUERQUE, Fernando Alves de . Produção de matéria seca total, taxa de crescimento absoluto e taxa de crescimento relativo de duas cultivares de feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO,8., 18 a 20/10/2005, 2005, Goiânia-GO. **Anais...** Goiânia, 2005. v. 2. p. 835-838.

BARTHOLO, G.F. **Adaptabilidade e estabilidade de comportamento de doze cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em quinze ambientes de Minas Gerais.** Viçosa, MG : UFV, 1978. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BATCHELOR, W.D.; BASSO, B.; PAZ, J.O. Examples of strategies to analyze spatial and temporal number in maize. **Agronomy Journal. Madison**, v. 92, p. 92-97, 2000.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Sétimo Levantamento de Avaliação da Safra 2006/2007. Brasília, abr. 2007. 20p. Disponível em: <www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/7levsafra.pdf>. Acesso em: 25 maio 2007.

EPAMIG – Empresa de Pesquisa do Estado de Minas Gerais. **Avaliação de cultivares de feijão na Zona da Mata de Minas Gerais.** Belo Horizonte : EPAMIG, 1983. 4 p. (Pesquisando: EPAMIG, 85).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de produção.** Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/fontes>>. Acesso em: 25 maio 2007.

LIMA, A.A. **Resposta da variedade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a espaçamentos e níveis de adubação.** Viçosa, MG : UFV, 1982. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MIGLIORANZA, E. **Modelo matemático-fisiológico para simular o crescimento e a produtividade da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Viçosa, MG : UFV, 1992. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MEIRELES, E.J.L. **Utilização do modelo CROPGRO – Dry bean na análise de risco climático da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na região de cerrados.** Piracicaba, SP : ESALQ/USP, 2000. 105 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MEIRELES, E.J.L.; PEREIRA, A.R.P.; SENTELHAS, P.C.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, F.L.P. 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.

MINUZI, R.R.B.; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, J.M.N.; RIBEIRO, A. Influência do fenômeno La Niña nos veranicos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n. 2, p. 341-348, 2004.

QUINTELA, E.D. **Manejo integrado de pragas do feijoeiro no plantio de inverno.** Santo Antônio de Goiás, GO : Embrapa, 2000. 2 p. (Pesquisa em Foco, 38).

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

RAMALHO, A.P.; ABREU, A.F.B.; CARNEIRO, J.E.S.; GONÇALVES, F.M.A.; SANTOS, J.B.; DEL PELOSO, M.J.; FARIA, L.C.; CARNEIRO, G.E.S.C.; FILHO, I.A.P. **O ‘Talismã’ de sua Lavoura de Feijoeiro.** Santo Antônio de Goiás, GO : EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, agosto, 2002. (Comunicado Técnico, 16).

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; CARNEIRO, J.E.S.; GONÇALVES, F.M.A.; SANTOS, J.B., DEL PELOSO, M.J.; FARIA, L.C.; CARNEIRO, G.E.S.; FILHO, E.A.P. **O Talismã de sua lavoura de feijoeiro.** Goiânia : 2002. (Comunicado Técnico 36).

SANTANA, M.O. **Análise espaço-temporal do regime de chuvas e seus efeitos no rendimento agrícola no estado de Minas Gerais.** Viçosa, MG : UFV, 2004. 155 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, O.F.; BRABOSA FILHO, M.P. **Adubação de cobertura com uréia e alternativa mais econômica para a cultura do feijoeiro irrigado em sistema de plantio direto.** Santo Antônio de Goiás, GO : Embrapa, 2000. 2 p. (Pesquisa em Foco, 39).

WHITE, J.W.; IZQUIERDO, J. Physiology of yield potential and stress tolerance. In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (Eds.). **Common beans: research for crop improvement.** Cali : CIAT, 1991. p. 287-382.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DO MODELO CERES-MAIZE, NA CULTURA DO MILHO PARA ALGUMAS LOCALIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

RESUMO

O Estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor brasileiro de milho, tendo produzido cerca de 5,55 milhões de toneladas na safra de 2006 (CONAB, 2007). Sendo o milho pouco tolerante à deficiência hídrica, principalmente nos períodos de florescimento e formação dos grãos, a cultura tem apresentado grandes variações de produtividade de ano para ano, no Estado. Uma maneira de analisar o efeito do clima na produtividade das culturas é através dos modelos de simulação. No presente estudo, o modelo CERES-MAIZE, incluído no Sistema de Suporte para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT v.4.0), foi parametrizado e testado com dados provenientes de dados experimentais. O modelo CERES-MAIZE foi calibrado a partir da modificação dos coeficientes genéticos característicos da fenologia e morfologia e testado para algumas regiões do Estado de Minas, estimando a produtividade e o desenvolvimento do milho (*Zea mays* L.), visando obter os melhores ajustes possíveis entre os dados simulados e os dados experimentais observados. O modelo foi utilizado para simular e estimar a variabilidade da produtividade, a partir de dados climatológicos históricos. O teste do modelo CERES-MAIZE, mostrou que este foi efetivo para simular a fenologia e a

produtividade, nas mesorregiões da Zona da Mata, Triângulo Mineiro e Metropolitana de Belo Horizonte, com coeficiente de determinação 0,71, 0,42 e 0,50 respectivamente. Utilizando o critério pelos valores da raiz do erro do quadrado médio (RQME) considerado excelente para região metropolitana com 9% e um índice de concordância de 0,70. Os testes *t* e *F* indicam que as médias são equivalentes, não havendo diferença significativa. A produtividade média estimada foi 7.657 kg/ha na região da Zona da Mata, 7.659 kg/ha Metropolitana de BH e 8.047 kg/ha no Triângulo Mineiro, com os ciclos médios da cultura 126, 121 e 118 dias, respectivamente. Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo de simulação CERES-MAIZE é importante ferramenta na análise da produtividade em diferentes ambientes.

Palavras-chave: DSSAT, milho, simulação.

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Minas Gerais foi o segundo maior produtor de milho (*Zea mays* L.) do Brasil na safra de 2006, tendo produzido cerca de 5,55 milhões de toneladas, segundo dados do levantamento (CONAB, 2007). A cultura do milho é pouco tolerante à deficiência hídrica, principalmente nos períodos de florescimento e na formação dos grãos, o que tem contribuído para a grande variação nas produtividades obtidas em Minas Gerais nos últimos anos.

A disponibilidade de água para a lavoura do milho em uma determinada região varia segundo a combinação dos fatores precipitação, época de semeadura, possibilidade de irrigação da lavoura e tipo de solo. A época mais crítica da falta de água para o milho situa-se próximo ao pendoamento e espigamento.

A importância econômica da cultura é caracterizada pela diversidade na forma de utilização, que vai desde a alimentação animal até a industrialização para o consumo humano. Na realidade a utilização do milho em grão para a alimentação animal representa a maior parcela de consumo deste cereal, ou seja, cerca de 70% da produção mundial. Nos Estados Unidos, 50,1% da produção é destinada a esse fim, enquanto no Brasil, varia de 60 a 80%, dependendo da safra colhida (EMBRAPA, 2007).

Embora o milho responda a interação de todos os fatores climáticos, pode-se considerar que a radiação solar, precipitação e a temperatura são os de maior influência, pois atuam eficientemente nas atividades fisiológicas e interferem diretamente na produção dos grãos e da matéria seca. No Brasil, pela sua continentalidade, observa-se que os fatores que afetam a estação de crescimento da cultura do milho variam com a região. Nas regiões temperadas e subtropicais, a

limitação maior se deve à temperatura do ar e à radiação solar, sendo os limites extremos variáveis com microrregiões agroclimáticas (EMBRAPA, 2007).

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

O modelo CERES-MAIZE vem sendo utilizado com os mais diversos propósitos e estratégias, como por exemplo, avaliação na produção em diferentes regiões da República Checa (ST'ASTNA et al., 2002, POPOVA et al., 2005) e no estudo da variabilidade agroclimática e análise de risco, na Bulgária, entre outros autores (DUCHON, 1986; HOGES et al., 1987; JAGTAP et al., 1993; PLANTUREUX et al., 1991; VOS; MALLET, 1987; WU et al., 1989 *apud* GEDANKEN et al., 2003). No Brasil, o modelo CERES-MAIZE vem sendo utilizado em diversas regiões (HURTADO, 2005; TOJO SOLER, 2004; FREITAS, 2005).

O modelo CERES-MAIZE pode ser usado como instrumento para analisar a resposta da cultura às mudanças nos elementos climáticos, como a temperatura do ar, a precipitação e a radiação solar e pode também incluir os efeitos das características do solo sobre a disponibilidade de água para o crescimento das culturas (CURRY et al., 1990). Um modelo de crescimento e desenvolvimento visa principalmente, entre outras coisas, buscar informações relacionadas às diversas interações da planta como o meio ambiente, maximizando o uso de recursos naturais de cada região, ou de uma determinada condição de cultura. Pode definir a melhor forma de manejo da cultura e ainda favorecer o planejamento das atividades agrícolas e da pesquisa científica (ASSIS, 2004). Este trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade da cultura do milho, através do modelo CERES-MAIZE, para algumas localidades do Estado de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área considerada foi o Estado de Minas Gerais, localizado no Sudeste do Brasil, entre as latitudes 14° 13' 57'' e 22° 55' 47'' Sul e 39° 51' 27'' e 51° 02' 56'' longitude Oeste, com uma área total de 588.383 km². O Estado está localizado na Zona Intertropical, com as estações do ano bem definidas, com o período chuvoso entre os meses de outubro a março, e o período seco de abril a setembro. Devido a sua topografia acidentada que varia de 250 a 2.700 metros de altitude e ao fato de estar localizado na trajetória normal dos sistemas frontais aliados a outros sistemas meteorológicos sazonais de mesoescala que atuam na região, como Alta do Atlântico Sul, Alta da Bolívia, Zona de Convergência Atlântico Sul, linhas de instabilidades e sistemas de células convectivas, Minas Gerais apresenta grande variabilidade climática e no regime de precipitação (ANTUNES, 1986 *apud* SANTANA, 2004). Na Figura 1, pode-se identificar as mesorregiões do Estado de Minas Gerais.

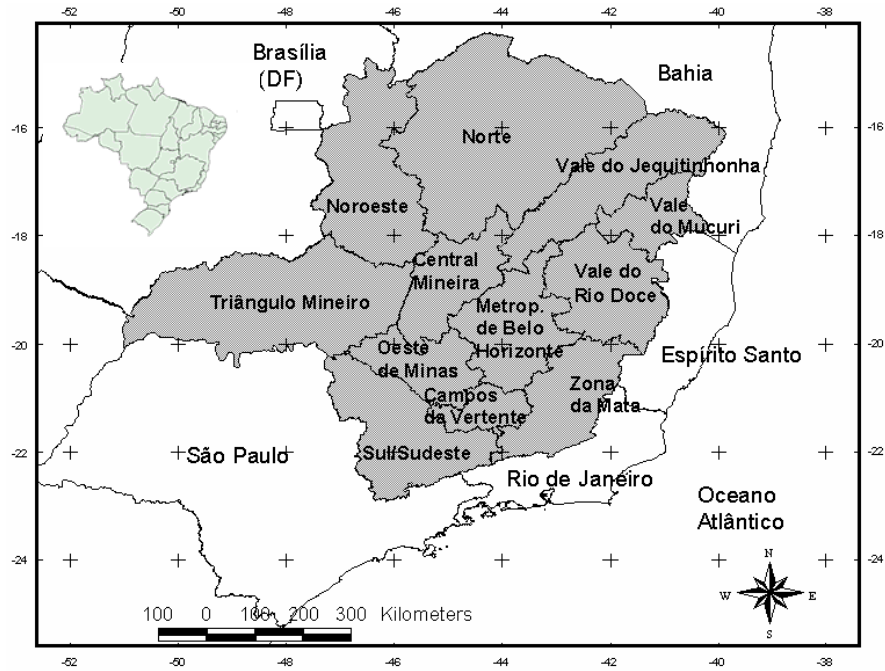


Figura.1 – Mesorregiões geográfica do Estado de Minas Gerais.

2.2. Dados de clima e solo

Foi utilizada uma série do período de 1974 a 2003, de 19 estações meteorológicas com dados diários de temperatura máxima e mínima do ar (°C), precipitação (mm) e número de horas de insolação (n) para o cálculo da radiação solar ($\text{MJ} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Os dados foram cedidos pelo 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme Tabela 1, representando as nove mesorregiões do Estado de Minas Gerais. Os dados diários foram tratados quanto a possíveis falhas existentes e homogeneidade.

Tabela 1 – Identificação das estações meteorológicas do INMET em Minas Gerais

Nº Estação	Estação	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
83037	Coronel Pacheco	-43,25	-21,58	435
83442	Araçuaí	-16,83	-41,74	285
83531	Patos de Minas	-46,43	-18,52	940
83536	Curvelo	-44,45	-18,75	672
83538	Diamantina	-43,60	-18,25	1296
83543	Governador Valadares	-41,93	-18,85	148
83570	Pompeu	-45,00	-19,22	690
83574	Frutal	-48,93	-20,03	543
83577	Uberaba	-47,95	-19,73	737
83579	Araxá	-46,93	-19,60	1023
83581	Florestal	-44,42	-19,87	748
83586	Sete Lagoas	-44,25	-19,47	732
83587	Belo Horizonte	-43,93	-19,93	915
83589	Conceição do Mato Dentro	-43,43	-19,02	652
83642	Viçosa	-42,88	-20,75	698
83683	Machado	-45,92	-21,67	873
83689	Barbacena	-43,77	-21,25	1126
83692	Juiz de Fora	-43,35	-21,77	940
83736	São Lourenço	-45,02	-22,10	953
83737	Passa Quatro	-44,97	-22,38	920

Devido à grande variabilidade na classificação dos tipos de solos e pela dimensão do Estado, foi utilizada a classificação de solo adotada pela Coordenação Geral de Zoneamento Agropecuário, subordinada ao Departamento de Gestão de Risco Rural, da Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Esse documento considera como apto à semeadura do milho o solo Tipo 3, especificados na Instrução Normativa nº 10, de 14 de junho de 2005, publicada no DOU de 16 de junho de 2005, Seção 1, página 12, alterada para Instrução Normativa nº. 12, através de retificação publicada no DOU de 17 de junho de 2005, Seção 1, página.6, que apresentam as seguintes características: a) teor de argila maior que 35% e profundidade igual ou superior a 50 cm; b) solos com menos de 35% de argila e menos de 15% de areia (textura siltosa), com

profundidade igual ou superior a 50 cm. Geralmente, são solos de alto armazenamento de água. De certa forma em geral, os modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento das culturas foram projetados para estimar valores em áreas homogêneas. Entretanto, existe grande variabilidade nas produtividades, a mesma pode ser explicada por fatores como: a densidade da população, estresses hídricos, fatores nutricionais e físicos do solo ou até induzidos pelo próprio manejo, mudando espacialmente dentro da área (BATCHELOR et al., 2002).

2.3. Modelo CERES-MAIZE calibração e teste

O CERES-MAIZE requer cinco parâmetros fisiológicos para a inicialização: graus-dias acumulado para o crescimento desde a emergência das plântulas até o final do estágio juvenil (P1), coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo (P2), graus-dias acumulados para o crescimento desde o florescimento até o ponto de maturidade fisiológica (P5), número potencial de sementes por planta (G2) e taxa potencial de crescimento da semente (G3). Os parâmetros fisiológicos são fundamentais porque têm forte influência na simulação do crescimento e do desenvolvimento da planta. Valores para tais parâmetros foram obtidos em experimentos em nível de campo através da medição do número de folhas, data da emergência, florescimento e número de grãos e peso dos grãos. Cabe ressaltar que o coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo foi assumido como sendo igual a 0,5, por ser um valor típico para híbridos tropicais (HURTADO, 2005).

Para a calibração dos coeficientes do modelo CERES-MAIZE utilizadas também foram utilizados os dados da cultivar Agromen (híbrido duplo), que apresenta ciclo variando de 110/116 dias da semeadura à maturação fisiológica para a região central do Brasil e 126 a 130 dias para as regiões mais ao sul. Foram utilizados também dados de classificação do solo, análise química, data da semeadura, espaçamento, densidade de plantio e período fenológicos de um experimento conduzido em Viçosa-MG (WOLSCHICK, 2004).

Devido à ausência de dados de literatura que permitisse calibrar e testar o modelo para as diversas mesorregiões do Estado considerou-se que a calibração e o teste do modelo pudessem fazer a análise quantitativa da produtividade da cultura do milho em algumas mesorregiões do Estado de Minas Gerais. A partir dos coeficientes genéticos ajustados na calibração foram realizadas simulações do

crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho com o objetivo de testar e avaliar o modelo CERES-MAIZE, nas mesorregiões da Zona da Mata Mineira, Triângulo e Metropolitana de Belo Horizonte, onde se obteve os dados experimentais da literatura (GEDANKEN et al, 2005; WOLSCHISK, 2004; HURTADO et al., 2005; MONTEIRO, 2000; FERREIRA et al., 2000) e Ensaios de cultivares do programa de milho (UFV). Conduzida à etapa de teste, foram realizadas simulações para as outras localidades estudadas nas condições de solo e clima.

2.4. Avaliação estatística do modelo

A avaliação e teste do modelo CERES-MAIZE foi baseada nas seguintes ferramentas estatísticas: Coeficiente de Determinação (r^2), Erro Quadrado Médio (EQM), Erro Médio Absoluto (EMA), Índice de Concordância (d) de Willmott et al. (1985) e os testes de t e F .

O coeficiente de determinação (r^2) foi aplicado para verificar a relação dos dados experimentais e observados nas regiões estudadas. Através do (r^2) foi possível medir o quanto a variação da produtividade é explicada pelo modelo. Sendo que quanto mais próximo estiver o valor do coeficiente de determinação de um, melhor será o ajuste do modelo de produtividade estimado e o observado. Foi calculado o erro do quadrado médio (EQM) e o erro médio absoluto (EMA), através da produtividade estimada e a observada, para verificar a performance do modelo nas mesorregiões analisadas.

$$EQM = \sqrt{N^{-1} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2} \times 100/M$$

Em que, EQM = erro do quadrado médio, indica a diferença relativa, em % entre os valores simulados e observados. N = número de pares de observações, O valores observados (produtividade), P = valores estimados (produtividade), M = média dos valores observados.

Foi adotado um critério para os dados simulados em relação aos dados observados, considerando o EQM excelente quando for menor do que 10%, boa entre 10 e 20%, aceitável entre 20 e 30% e pobre quando maior do que 30% proposto por (JAMIESON et al., 1991 *apud* TOJO SOLER, 2004).

$$EMA = N^{-1} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i|$$

Onde: EMA = erro do quadrado médio, N = número de pares de observações, O = valores observados (produtividade), P = valores estimados (produtividade).

Assim, como também os Índices de Concordâncias (d) de Willmott et al. (1985), pela produtividade estimada e a produtividade observada.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum \left(|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i| \right)^2}$$

Em que: d = índice de concordância, O_i = produtividade observada, P_i = produtividade estimada, \bar{O}_i = valor médio do índice

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são apresentados os coeficientes genéticos da cultivar Agromen, duplo híbrido, ajustados na calibração do modelo.

Tabela 2 – Coeficientes genéticos médios ajustados da cultura do milho

<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P5</i>	<i>G2</i>	<i>G3</i>	<i>PHINT</i>
218,9	0,5	801	990	8,50	44,5

Para avaliar o modelo nas mesorregiões de Minas Gerais utilizou-se as ferramentas estatísticas como critério que possibilitasse uma acurácia na simulação do crescimento e produtividade, observadas na Tabela 3. A metodologia proposta por (JAMIESON et al., 1991 *apud* TOJO SOLER, 2004) nos indica que o modelo CERES-MAIZE na região metropolitana de Belo Horizonte (Sete Lagoas, Belo Horizonte, Florestal e Conceição do Mato Dentro) teve uma simulação considerada excelente pelo EQM, com um índice de concordância de (0,70). Os testes de médias mostraram que não há variação significativa entre os valores simulados e observados.

Tabela 3 – Avaliação estatística do modelo CERES-MAIZE para mesorregiões estudadas

<i>Mesorregiões</i>	<i>EQM</i>	<i>%</i>	<i>EMA</i>	<i>d</i>	<i>r²</i>	<i>Teste t</i>	<i>Teste F</i>
Zona da Mata	2007	28	1563	0,18	0,71	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Metropolitana BH	706	9	568	0,71	0,50	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Triângulo Mineiro	434	20	212	0,29	0,42	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

* *significativo a 5%; n.s.- não significativo.*

As mesorregiões da Zona da Mata (Viçosa, Juiz de Fora e Coronel Pacheco) e Triângulo Mineiro (Araxá, Patos de Minas, Uberaba e Frutal) apresentaram um desempenho aceitável pelo EQM, com um coeficiente de determinação de 0,71 e 0,42.

Nas Figuras de 2 a 4, pode-se observar o desempenho do modelo com os valores observados e estimados nas mesorregiões da Zona da Mata, Metropolitana de BH e Triângulo Mineiro.

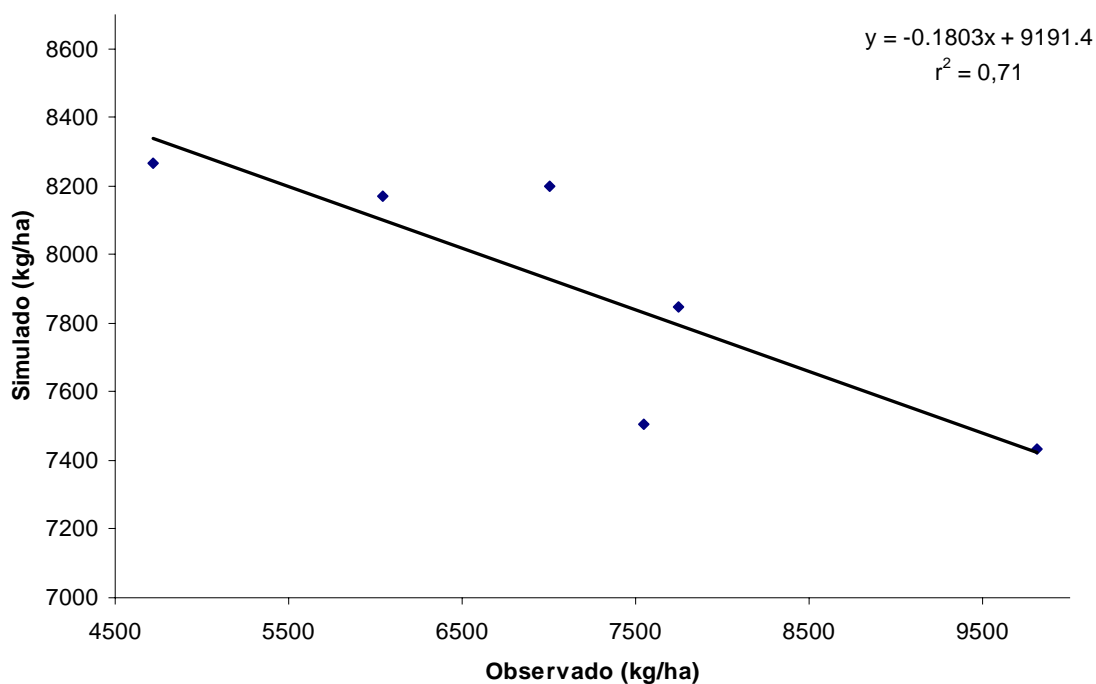


Figura 2 – Produtividade média simulada e produtividade média observada (kg/ha), com plantio no mês de outubro, a partir da calibração, para a mesorregião da Zona da Mata mineira.

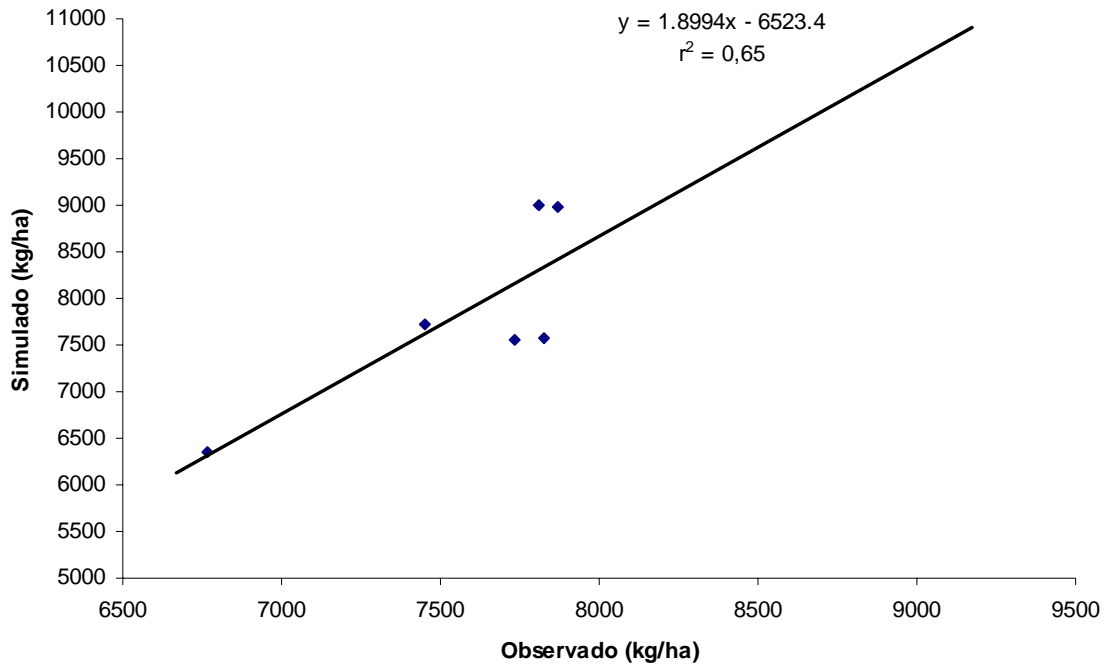


Figura 3 – Produtividade média simulada e produtividade média observada (kg/ha), com plantio no mês de outubro, a partir da calibração, para a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, MG.

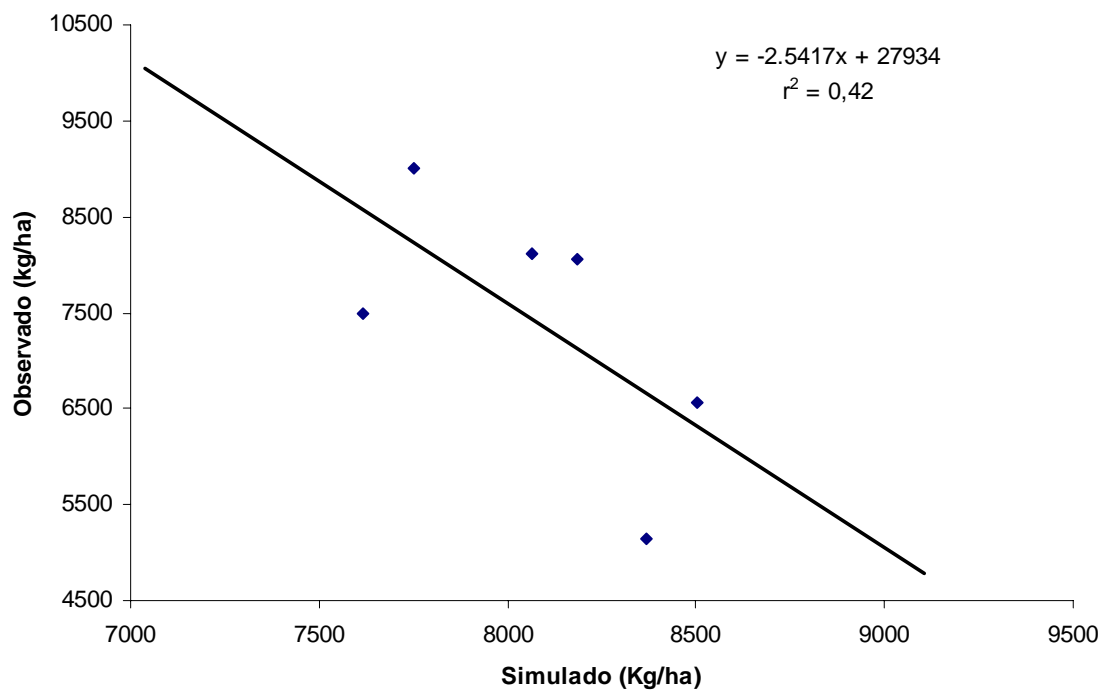


Figura 4 – Produtividade média simulada e produtividade média observada (kg/ha), com plantio no mês de outubro, a partir da calibração, para a mesorregião do Triângulo Mineiro.

Na Figura 5, podemos acompanhar a variação da produtividade média da mesorregião Metropolitana de BH, no período de 1975 a 2004, com produtividade média de 7.659 kg/ha. A maior produtividade foi de 9.175 kg/ha (1975) e a mínima de 6.817 kg/ha (1987).

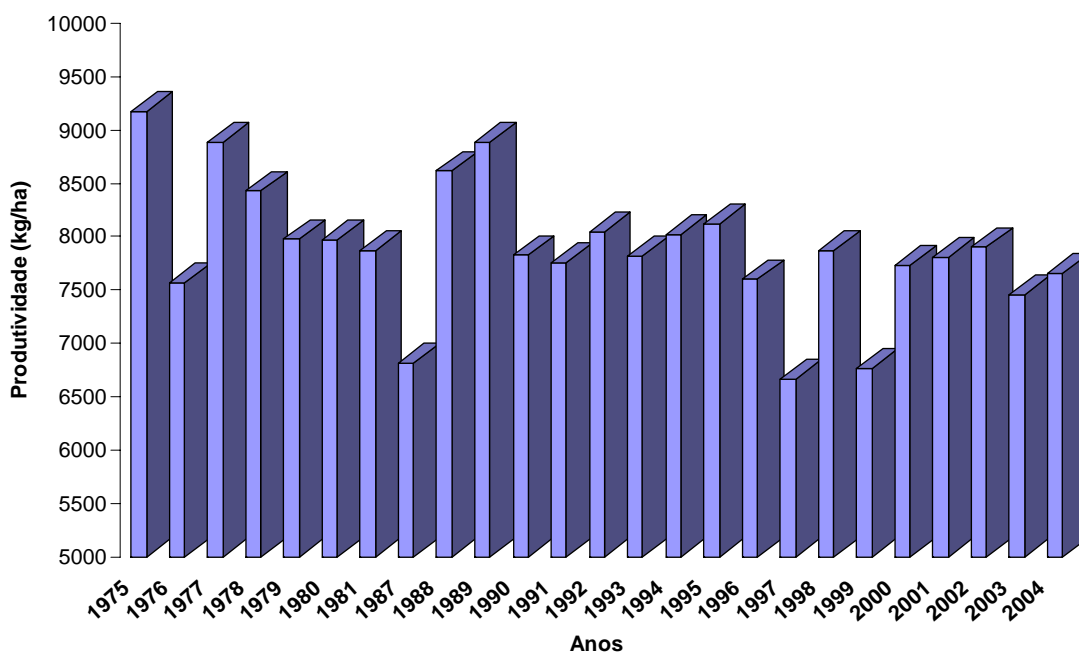


Figura 5 – Produtividade média simulada (kg/ha), com plantio no mês de outubro, para a mesorregião da Metropolitana de Belo Horizonte.

Na Zona da Mata, conforme a Figura 6, foi observada a menor produtividade das mesorregiões investigadas com 6.256 kg/ha (1983), com produtividade máxima de 8.809 kg/ha (1975) e média de 7.657 kg/ha. A mesorregião do Triângulo Mineiro (Figura 7), apresentou os maiores valores de produtividade para o período estudado, com produtividade média de 8.047 kg/ha, máxima 9.107 kg/ha (1991) e mínima de 7.039 kg/ha (1997). Observa-se que a produtividade média estimada é muito variável durante o período estudado, isto mostra que o clima para a agricultura é o principal fator no rendimento dessas lavouras. Existem vários exemplos de quebra de rendimento das safras relacionados à ocorrência de fenômenos meteorológicos como a secas e geadas.

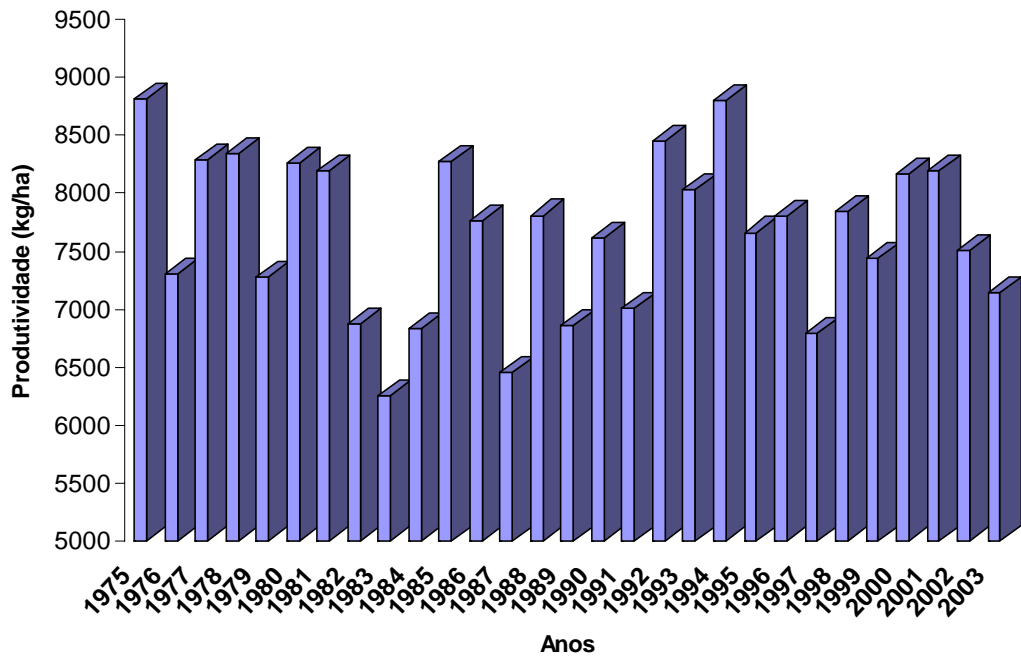


Figura 6 – Produtividade média simulada (kg/ha), com plantio no mês de outubro, para a mesorregião da Zona da Mata mineira.

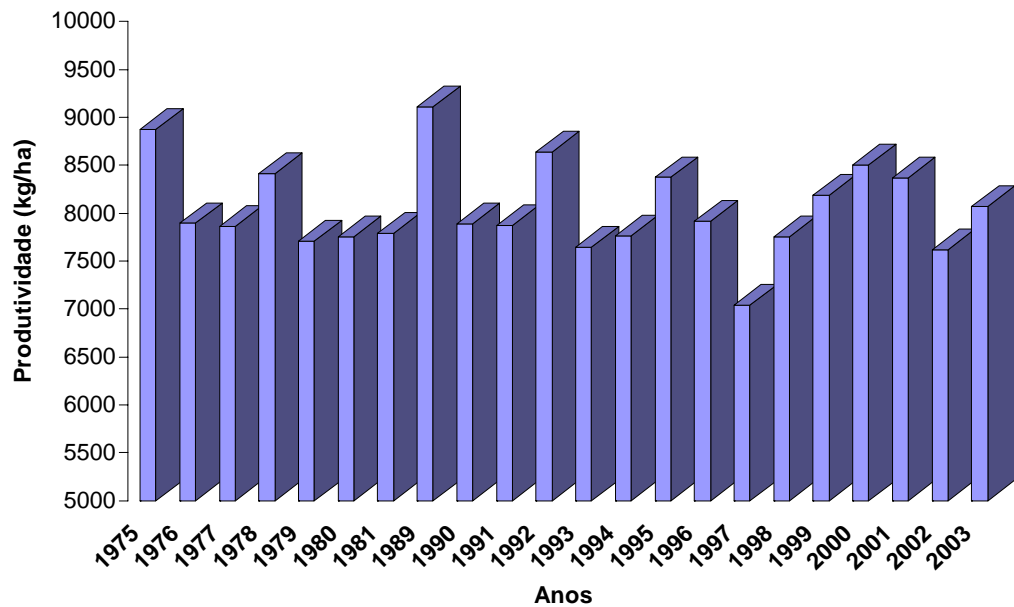


Figura 7 – Produtividade média simulada (kg/ha), com plantio no mês de outubro, para a mesorregião do Triângulo Mineiro.

Podemos observar que a estimativa da produtividade considera principalmente a variabilidade climática para o crescimento e desenvolvimento da cultura, esta variação da produtividade é esperada. As estiagens e as chuvas em excesso por períodos seguidos em várias partes do mundo, incluído o Estado de Minas Gerais, estão associadas aos fenômenos de escala global, como o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que afeta a Circulação Geral da Atmosfera. A fase quente (El Niño) e a fase fria (La Niña – LN) como, por exemplo, o fenômeno La Niña influenciando principalmente no início dos períodos chuvoso com a ocorrência e duração de veranicos em anos de surgimento deste fenômeno atuando no estado de Minas Gerais, estudado por Minuzzi et al, (2004) que relata o ocasionamento de chuvas abaixo da média nas regiões do Estado, bem como o aumento do número de veranicos de 11 a 12 e de 13 a 14 veranicos no Sul/Sudoeste e Zona da Mata. Os anos de 1976, 1982, 1983, 1984, 1997, 1998 e 1999 podem estar sendo influenciados pelas fases do ENSO e contribuindo na variação das produtividades.

Nas Figuras 8, 9 e 10 mostra a variação do ciclo total da cultura do milho, nas localidades estudadas. Na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte com máximo de 128, mínimo de 115 e média de 121 dias. Para a mesorregião da Zona da Mata o mínimo 117, média de 127 e ciclo máximo de 136 dias. Na mesorregião do Triângulo Mineiro, um ciclo médio de 118 dias, com um ciclo máximo de 130 e o mínimo de 108 dias.

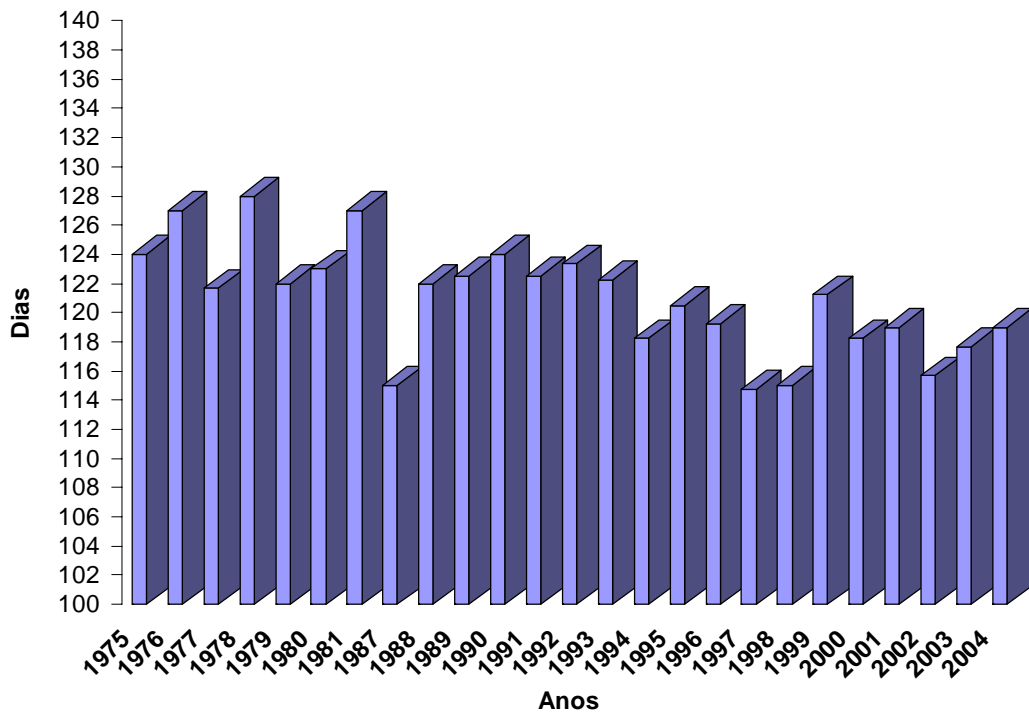


Figura 8 – Variação do ciclo médio da cultura, com plantio no mês de outubro, para a mesorregião Metropolitana de BH-MG.

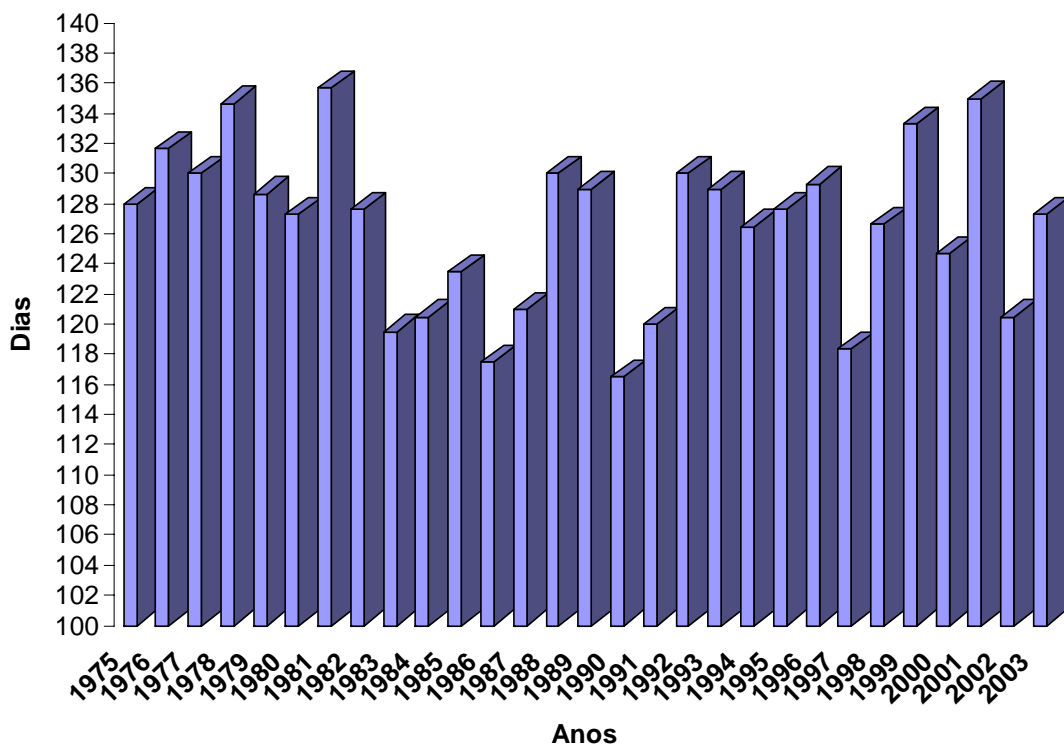


Figura 9 – Variação do ciclo médio da cultura, com plantio no mês de outubro, para a mesorregião da Zona da Mata mineira.

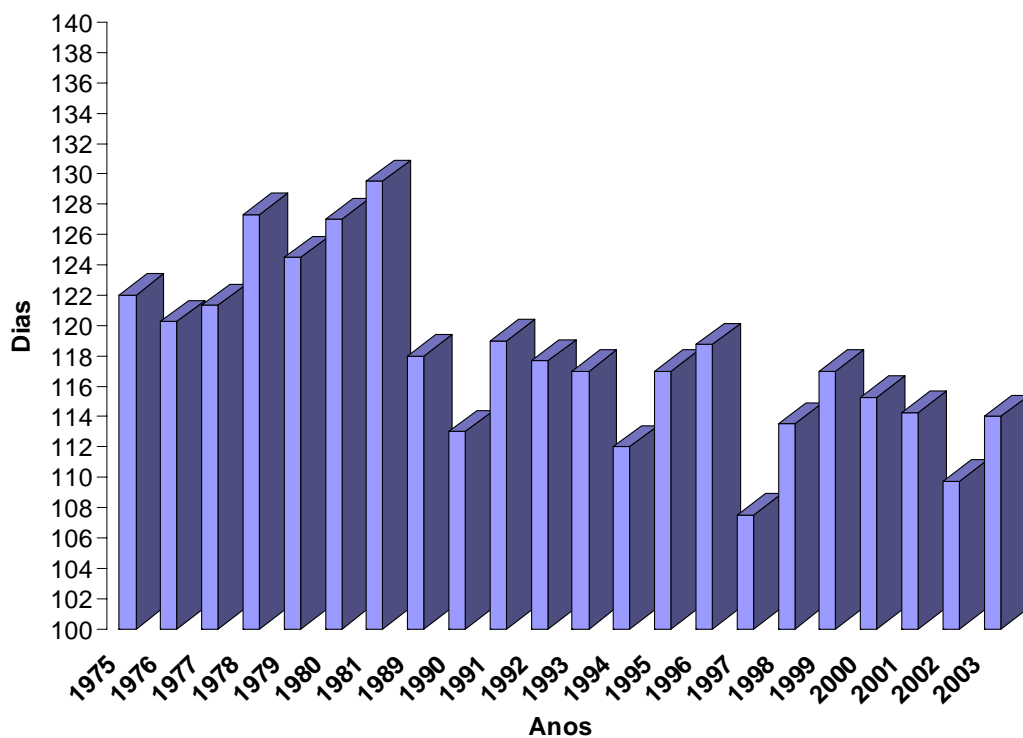


Figura 10 – Variação do ciclo médio da cultura, com plantio no mês de outubro, para a mesorregião do Triângulo Mineiro.

4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que mesmo com a ausência e a limitação de dados experimentais para calibrar, testar e avaliar o modelo CERES-MAIZE nas diversas mesorregiões do Estado, o modelo apresentou um desempenho satisfatório para estimar a produtividade da cultura do milho, nas localidades estudadas.

A produtividade média estimada foi 7.657 kg/ha para a mesorregião da Zona da Mata, com um ciclo médio de 127 dias; mesorregião Metropolitana de BH: 7.659 kg/ha, com ciclo médio de 121 e mesorregião do Triângulo Mineiro: 8.047 kg/ha e ciclo médio de 118 dias.

Pelos resultados apresentados pode-se concluir que o modelo de simulação CERES-MAIZE pode ser uma importante ferramenta na análise da produtividade e auxiliar nas estratégias, planejamentos de tomadas de decisão em diferentes ambientes.

5. REFERÊNCIAS

ASSIS, J. **Modelo estocástico para a estimação de produtividade potencial do milho em Piracicaba-SP**. Piracicaba, SP : ESALQ/USP, 2004. 168 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BATCHELOR, W.D.; BASSO, B.; PAZ, J.O. **Examples of strategies to analyze spatial and temporal number in maize**. *Agronomy Journal*, Madison, v. 92, p. 92-97, 2000.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Sétimo levantamento de avaliação da safra 2006/2007**. Brasília, abr. 2007. 20 p. Disponível em: <www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/7levsafra.pdf>. Acesso em: 25 maio 2007.

CURRY, R.B. et al., Simulations as a tool for analyzing crop response to climate change. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v. 33, p. 981-990, 1990.

ENSAIOS DE CULTIVARES. **Ensaio de cultivares do Programa do Milho da Universidade Federal de Viçosa**. Disponível em: <http://www.ufv.br/dft/milho/ensaios_de_cultivares.htm>. Acessado em: 15 fev. 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicações/milho/clima.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2007.

FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. **Modelo para estimação de produtividade de grãos de milho para o Estado de São Paulo**. Piracicaba, SP : ESALQ/USP, 2004. 168 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERREIRA, V.M.; MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F. O. M. Produtividade de genótipos de milho (*Zea mays* L.) sob manejo diferenciado de Irrigação e adubação. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 24, n.3, p.663-670, jul./set. 2000

FREITAS, P.S.L.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, L.C. penalização da produtividade da cultura do milho imposta pelo modelo CERES-MAIZE. **Acta Scientiarum Agromony**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 97-105, 2005.

GEDANKEN, A.; MANTOVANI, E.C.; MANTOVANI, B.H.M.; COSTA, L.C.C.; SANS, L.M.A.; FREITAS, P.S.L. Utilização o modelo Ceres-Maize na avaliação de estratégias de irrigação na cultura do milho em duas regiões do Estado de Minas. **Acta Scientiarum Agromony**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 439-447, 2003.

HURTADO, A.M.C.; PAGLIS, C.M.; VON PINHO, R.G. Eficiência do modelo Ceres-Maize na predição da produtividade de milho em áreas com presença de variabilidade espacial. **Ciências Agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 6. p. 1153-1160, 2005.

LIMA, M.G. **Calibração e validação do modelo Ceres-Maize em condições Tropicais do Brasil**. Piracicaba, SP : ESALQ/USP, 1995. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” , Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MONTEIRO, M.A.R.; CRUZ, J.C.; OLIVEIRA, A.C.; RAMALHO, M.A.P.; VON PINHO, R.G. Desempenho de cultivares de milho para produção de grãos no Estado de Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 881-888, out./dez. 2000.

POPOVA, Z.; KERCHEVA, M. Integrated strategies for maize irrigation and fertilisation under water scarcity and environmental pressure in Bulgaria. **Journal Irrigation and Drainage**, v. 53, p.105-113, 2004.

ST’ASTNÁ, M.; TRNKA, M.; DUBROVSKY, M.; SALUD, Z. Evaluation of the CERES models in different productions regions of the Czech Republic. **Rostlinhá Výroba**, v. 48, n. 3, p. 125-132, 2002.

TOJO SOLER, C. M. **Uso do modelo CERES-MAIZE para a previsão da safra do milho “safrinha”**. Piracicaba, SP : ESALQ/USP, 2004.132 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” , Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WOLSCHICK, D. **Modelo SIMASS-C: inclusão da modelagem do crescimento e desenvolvimento do milho**. Viçosa, MG : UFV, 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DOS MODELOS CROPGRO-DRY BEAN E CERES-MAIZE, NO ESTADO DE MINAS GERAIS: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE AGROMETEOROLÓGICA

RESUMO

Objetivou-se analisar a resposta dos modelos CROPGRO Dry-bean e CERES-MAIZE, incluídos no Sistema de Suporte para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT v.4.0) por intermédio da análise de sensibilidade, nas variáveis agrometeorológicas: temperatura (± 1 , ± 3 e $\pm 5^{\circ}\text{C}$), radiação ($\pm 10\%$, $\pm 20\%$ e $\pm 50\%$ MJ.dia/m²) e precipitação ($\pm 10\%$, $\pm 20\%$ e $\pm 50\%$ mm) nas variações do clima nas diversas localidades do Estado de Minas Gerais. Atualmente, os modelos vêm se tornando ferramentas eficientes na estimativa da produtividade das safras agrícolas. As simulações visaram à análise da sensibilidade, identificaram várias características associadas aos efeitos principalmente da temperatura e da radiação solar na produtividade final das culturas. Em relação às análises do modelo CROPGRO Dry-bean, a simulação da variável radiação (rad-10%, rad-20%, rad-50%) foram verificadas reduções de 7, 15 e 50% na produtividade. No ciclo da cultura não houve variações significativas. Ao contrário das simulações nas variações negativas, as simulações (rad+10%, rad+20%, rad+50%) observou-se ganhos de até 30% na produtividade. O ciclo médio total da cultura ficou em torno dos 3%. Enquanto pela

variável temperatura a resposta do modelo teve mais impacto na produtividade final da cultura. Quanto mais alta a temperatura houve uma redução da produtividade final (temp+1, temp+3, temp+5°. C) foi verificado que o modelo reduziu em 7, 28 e 43% a produtividade final, com variação do ciclo de até 8% e para as simulações (temp-1, temp-3, temp-5°.C) houve um ganho médio de 6, 20 e 26% na produtividade final, mas em compensação foi verificado um atraso no ciclo total da cultura de 2, 12 e 24% respectivamente. Para o CERES-MAIZE a sensibilidade do modelo em resposta da redução na radiação (rad-10%, rad-20% e rad-50%) o modelo reduziu em 5, 12 e 51% respectivamente. Com relação ao ciclo foi observada uma diminuição em média de 1%. Nas simulações (rad+10%, rad+20% e rad+50%) o modelo respondeu com aumento de 5, 7 e 9% de produtividade. Em relação ao efeito da variável temperatura (temp-1, temp-3, temp-5, temp+1, temp+3, temp+5°.C) foi observado uma redução da produtividade média de 4, 8 e 15%, respectivamente. O ciclo total da cultura ocorreu um aumento em torno de 4, 20 e 40%. Já nas simulações (temp-1, temp-3, temp-5°. C), foi observado o contrário, onde a produtividade teve um ganho 2, 9 e 15% e no ciclo total médio uma redução de 7, 15 e 17%, respectivamente. Diante dos resultados podemos inferir que de maneira geral, os modelos produziram resultados lógicos em função das alterações climáticas. E que, em última análise, os modelos podem ser utilizados como uma ferramenta para tomada de decisão para diferentes cenários e regiões.

Palavra chave: DSSAT, feijão, simulação.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade do aumento das produtividades agrícolas para atender à demanda de alimentos para o crescimento populacional do mundo, aliado ao uso racional dos recursos naturais, é um dos grandes problemas a ser enfrentado durante esta década pela comunidade científica. Em geral, a escassez de água é o principal fator limitante para o crescimento e o desenvolvimento de culturas agrícolas.

Nos últimos anos, a produção nacional de alimentos tem crescido e necessita de informações precisas das principais culturas agrícolas. As mudanças climáticas globais, bem como os efeitos meteorológicos de mesoescala, têm potencializado esta necessidade destas informações.

Atualmente, os modelos de simulação de crescimento de cultura têm se constituído em uma nova e importante forma de se fazer pesquisa, principalmente devido à geração de resultados confiáveis, com grande economia de tempo e de recursos financeiros. Aplicações dos modelos para estimar a produtividade podem ser feitas previamente, antes da semeadura ou mesmo durante o desenvolvimento da cultura. Em ambos os casos, a informação obtida pode ser utilizada pelos agricultores ou por agências governamentais para o planejamento de políticas agrícolas (HOOGENBOOM, 2000).

Entre as vantagens de uso dos modelos de simulação, encontra-se a possibilidade de economizar tempo, esforço e recursos necessários para a tomada de decisões relacionadas ao manejo das culturas. De maneira similar, experimentos de campo detalhados e de longa duração podem ser melhor definidos, quando os

modelos proporcionam alcances iniciais nas respostas esperadas. Entretanto, uma das suas principais desvantagens é a grande quantidade de dados necessária para a sua execução

(HURTADO et al., 2005).

As condições meteorológicas desfavoráveis caracterizam-se como principal fator responsável pelas oscilações e frustrações das safras agrícolas. Diversas análises da produção agrícola já apontaram alta correlação entre as variações das safras das principais culturas com variações nas condições meteorológicas e climáticas. Dentre estas, a variável hídrica é que, com maior frequência e intensidade, afeta a produção das lavouras.

Estudos de sensibilidade permitem verificar se um modelo matemático produz resultados lógicos em função de alterações nos parâmetros de entrada. Resultados desses estudos fornecem informações sobre o comportamento do modelo, e também, sobre falhas na metodologia utilizada no desenvolvimento do modelo e na sua aplicabilidade a diferentes cenários e escalas (GOWDA et al., 1999).

A variabilidade da precipitação no estado de Minas Gerais, associada às fases fenológicas, pode determinar efeitos negativos ou positivos ao rendimento de grãos. A deficiência hídrica, no período vegetativo tem efeito indireto na produção de grãos por causa da redução da área fotossintética. A deficiência hídrica ocorrendo na floração provoca o abortamento e queda das flores, com redução do número de vagens por planta, e na frutificação (enchimento de grãos), influenciando diretamente no peso do grão (BAPTISTA; BERLATO, 2004).

Buscando integrar os diversos aspectos relacionados à estimativa da produtividade das culturas com o desempenho e utilização da modelagem na agricultura, o presente trabalho teve como objetivo geral: avaliar o desempenho dos modelos CROPGRO Dry bean e CERES-MAIZE por meio da análise de sensibilidade na produtividade das culturas do milho e do feijão em algumas localidades do Estado de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área considerada foi o Estado de Minas Gérias, localizada no sudeste do Brasil, que se encontra entre as latitudes 14° 13' 57'' e 22° 55' 47'' Sul e 39° 51' 27'' e 51° 02' 56'' longitude Oeste, com uma área total de 588.383 km². O Estado está localizada na Zona Intertropical, com as estações do ano bem definidas, com o período chuvoso entre os meses de Outubro a Março, e o período seco de Abril a Setembro. Devido a sua topografia acidentada que varia de 250 a 2700 metros e ao fato de estar localizado na trajetória normal das frentes polares aliados a outros sistemas meteorológicos sazonais de mesoescala que atuam na região como: Alta do Atlântico Sul, Alta da Bolívia, Zona de Convergência Atlântico Sul, linhas de instabilidades e sistemas de células convectivas Minas Gerais apresenta uma grande variabilidade climática e no regime de precipitação (ANTUNES, 1986 *apud* SANTANA, 2004).

2.2. Estimativa da produtividade dos modelos CROPGRO Dry-bean e CERES-MAIZE

O modelo CROPGRO faz parte do DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) projetado pela IBSNAT (International Benchmark Sites

Network for Agrotechnology Transfer). É um modelo determinístico com simulações dos processos físicos, químicos e biológicos da planta associados ao ambiente.

O modelo simula a produtividade da cultura relacionando aos parâmetros agronômicos e constrói a estimativa em cima dos processos fisiológicos em função do clima, solo e as condições de manejo. Os processos do modelo são orientados a considerar o desenvolvimento da cultura com o balanço de carbono, balanço de nitrogênio no solo e balanço de água (BOOTE et al., 1998). O desenvolvimento da cultura no modelo é sensivelmente diferenciado pela temperatura, fotoperíodo, déficit hídrico e nutricional, duração dos vários estádios de crescimento e é expresso em dias fisiológico por dia (PDd^{-1}).

O CERES-MAIZE (*Crop Environment Resource Synthesis-Maize*) (JONES; KINIRY, 1986) é um modelo determinístico que faz parte do DSSAT. O CERES-MAIZE deriva as taxas diárias do crescimento da cultura (PGR , $\text{g planta}^{-1}\text{d}^{-1}$) que é produto da luz interceptada pelo dossel (IPAR , $\text{MJ planta}^{-1}\text{d}^{-1}$) e do uso eficiente da radiação (RUE , g MJ^{-1}). Quando a cultura está sob estresse ambiental, o modelo aproxima dos valores limites calculados de fotossínteses e respiração (MERA et al., 2006).

A taxa de crescimento do CERES-MAIZE é controlada pela temperatura (GDD , graus dias). O número de graus dias são acumulados e baseados nas temperaturas máximas e mínimas, e utiliza a função triangular da função trapezoidal para definir a temperatura base, ótima e máxima. A expansão da área foliar é controlada pelos graus dias e pelo estresse hídrico e de nitrogênio (JONES et al., 2003).

A partir da calibração e dos testes dos modelos CROPGRO-Dry bean e CERES-MAIZE para o Estado de Minas Gerais (Capítulos 1 e 2) foi realizada uma análise de sensibilidade sistemática através da multiplicação das variáveis radiação (MJ.dia/m^2) e precipitação (mm) ($\pm 10\%$, $\pm 20\%$ e $\pm 50\%$) e para temperatura a adição (± 1 , ± 3 e ± 5 °C) ao valor inicial, enquanto os demais parâmetros do modelo permaneceram constantes, ou seja, com os valores inicialmente considerados sem qualquer variação. Os resultados foram analisados em relação à produtividade média estimada dos modelos CROPGRO Dry bean e CERES-MAIZE (Controle). Neste trabalho, considerou-se a análise de sensibilidade dos parâmetros meteorológicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Além de fatores genéticos, adaptabilidade, tolerância a pragas, doenças e das condições físico químicas do solo, a atividade agrícola tem um outro fator de extrema importância para as culturas temporárias e anuais que é a influência dos fatores climáticos, interferindo efetivamente na produtividade das culturas. Ficando esta atividade dependente da intensidade e duração das anomalias climáticas. Em Minas Gerais, seja na escala espacial ou temporal, as chuvas e os veranicos estão relacionadas a mecanismos de grande escala, como as Zonas Frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul, Fenômenos de Mesoescala como os Complexos convectivos, bem como os mecanismos de Microescala, tais como as Circulações Orográficas e pequenas Células Convectivas e os fenômenos El Niño e La Niña.

Os resultados aqui apresentados identificaram várias características associadas aos efeitos da temperatura, precipitação e radiação solar na produtividade das culturas. Ainda, pode-se verificar que ao avaliar uma variável isolada, mantendo as outras variáveis e parâmetros de entrada “constantes”, há uma variabilidade na produtividade estimada em toda a série estudada. Isto se deve ao “peso” das variáveis dependentes e independentes e ao complexo entendimento dos processos fisiológicos não lineares envolvidos no crescimento e desenvolvimento das culturas.

3.1. Modelo CROPGRO Dry Bean

Pode-se observar na Figura 1, a variabilidade da produtividade média da cultura do feijão realizada pelas simulações da análise de sensibilidade do modelo CROPGRO na variável chuva (precipitação).

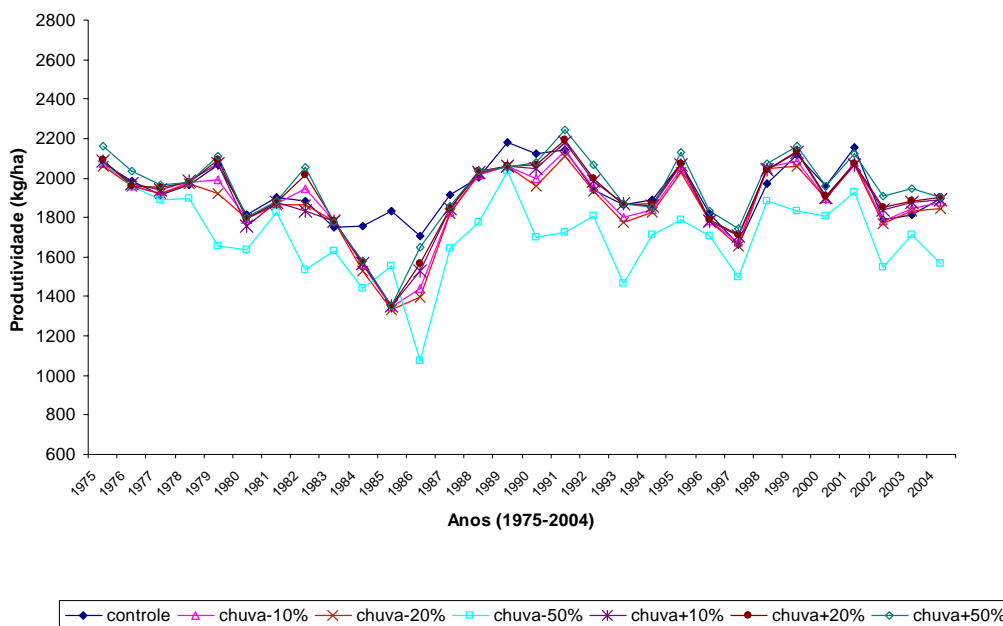


Figura 1 – Estimativa da produtividade do feijão (kg/ha), na análise da variação da variável precipitação (controle, chuva-10%, chuva-20%, chuva-50%, chuva+10%, chuva+20%, chuva+50%).

Verifica-se que a resposta do modelo à variação é comumente seguida de flutuações na produtividade, que são possibilitadas pelas combinações fisiológicas e ajustadas pelas equações de crescimento e desenvolvimento do modelo, indicando ainda que este depende das condições climáticas.

Nota-se que a resposta do modelo a (chuva-50%) foi que apresentou uma maior redução na produtividade média variando de 4 a 20%. Observou-se também que (chuva+50%) ocorreu um ganho médio de até 7%. Há vários estudos que demonstram a sensibilidade da cultura do feijão a elementos climáticos como alta ou baixa umidade do solo (determinada pela precipitação), alta ou baixa temperatura do ar e outros (BAPTISTA; BERLATO, 2004). O feijão é considerado uma planta

sensível ao estresse hídrico, principalmente em virtude da baixa capacidade de recuperação após a deficiência hídrica e sistema radicular pouco desenvolvido (GUIMARÃES, 1996). A fase mais sensível da planta à deficiência de água é a reprodutiva, sendo altamente vulnerável desde o início da floração até o início da formação das vagens (GOMES et al., 2000). A produtividade é mais afetada quando o estresse hídrico ocorre aos 5 a 10 dias antes da antese, podendo haver uma diminuição superior a 50% no rendimento. Já no ciclo total da cultura houve um atraso médio variando de 2 a 4% (GOMES et al., 2000).

Na Figura 2, pode-se observar a resposta e a influência da radiação no modelo, sendo a quantidade de radiação solar absorvida um fator determinante na produtividade final da cultura. Verificaram-se reduções de 7, 15 e 50% (rad-10%, rad-20%, rad-50%) em comparação com o controle. No ciclo da cultura não houve variações significativas.

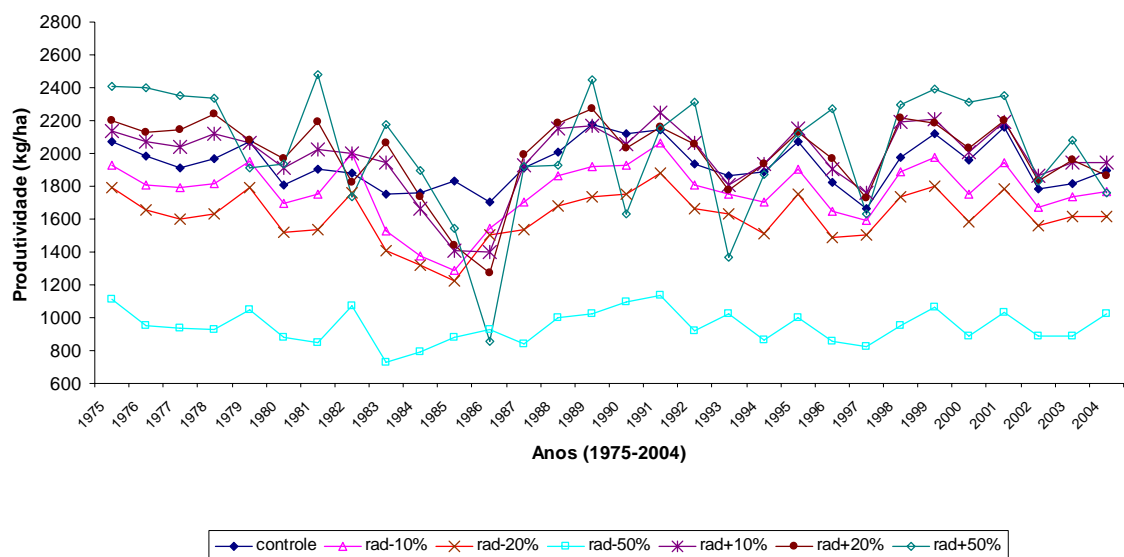


Figura 2 – Estimativa da produtividade do feijão (kg/ha), na análise da variação da variável radiação (controle, rad-10%, rad-20%, rad-50%, rad+10%, rad+20%, rad+50%).

A utilização da luz é o processo mais importante porque é através da fotossíntese que a planta acumula matéria orgânica em seus tecidos. A quantidade de energia convertida e, portanto, a quantidade de massa seca produzida, depende da

percentagem de absorção e da eficiência de utilização da energia absorvida (ARGENTA et al., 2001).

Ao contrário das variações negativas (rad+10%), (rad+20%), (rad+50%) teve ganho de até 30% na produtividade. O ciclo total médio da cultura ficou em torno dos 3%.

A resposta do modelo às variações da temperatura (Figura 3) são mais evidentes, ou seja, com mais impacto na produtividade final da cultura. Observa-se que quanto maior for temperatura há uma influência negativa, com perda da produtividade final, devido à redução da fotossíntese, o encurtamento das fases fenológicas, aumentando a taxa de respiração de manutenção e causando assim um impacto negativo na produtividade.

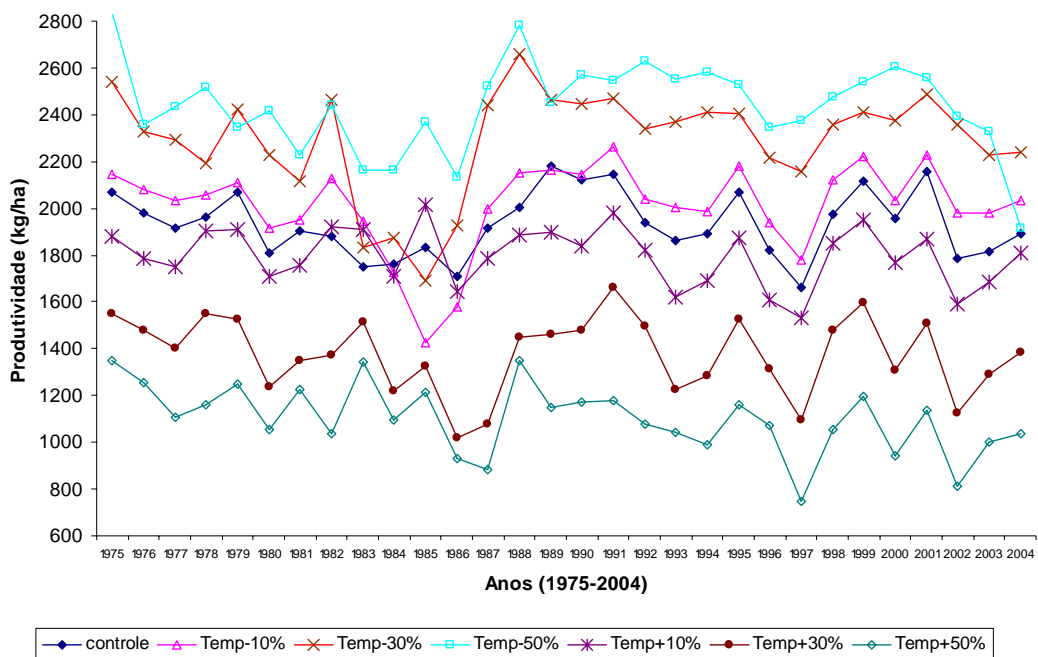


Figura 3 – Estimativa da produtividade do feijão (kg/ha), na análise da variação da variável temperatura (controle, temp-1, temp-3, temp-5, temp+1, temp+3, temp+5 °C).

Foi observado que para as variações negativas (temp-1, temp-3, temp-5°C) houve um ganho médio de 6, 20 e 26% na produtividade final. Em compensação foi verificado um atraso no ciclo total da cultura de 2, 12 e 24% respectivamente. Já nas

variações positivas (temp+1, temp+3, temp+5°. C) foi verificado que o modelo reduziu em 7, 28 e 43% a produtividade final, com variação do ciclo médio da cultura de até 8%. Oscilações na produtividade foram também observados por Mera et al. (2006) em análise de sensibilidade da oscilação da temperatura no CROPGRO Dry bean.

Modelo CERES-MAIZE

Embora a cultura do milho responda a influência de todos os fatores climáticos, pôde-se observar que a temperatura do ar e a radiação solar tiveram maior influência nas atividades fisiológicas, portanto, influenciando diretamente na produtividade final da cultura.

Nas simulações das variações (chuva-10%, chuva-20% e chuva-50%) Figura 4 houve reduções média de 1, 1 e 4%, respectivamente. Quanto ao ciclo total da cultura este atrasou em torno de 2%. A pouca variação da produtividade da cultura do milho foi devido à sensibilidade do milho ao déficit hídrico, que em termos de rendimento de grãos, aumenta à medida que a planta avança em suas fases de crescimento e desenvolvimento, apresentando menor sensibilidade durante o período vegetativo e maior sensibilidade durante a fase da floração e enchimento de grãos (GRANT et al., 1989 *apud* MATZENAUER et al., 2000; KASELE et al., 1994; LAFITTE; EDMEADES, 1995).

Observa-se na Figura 5, a sensibilidade do modelo em resposta da redução na radiação (rad-10%, rad-20% e rad-50%) na simulação da produtividade final da cultura tem-se uma redução de 5, 12 e 51% respectivamente. Com relação ao ciclo médio da cultura, foi observada uma diminuição em média de 1%. Por pertencer ao grupo de plantas C₄, esperava-se que o modelo respondesse com maior variação na produtividade ao aumento da intensidade luminosa, fato não observado nas simulações, (rad+10%, rad+20% e rad+50%) que respondeu com aumento de 5, 7 e 9%. Este aumento esperado se daria devido ao mecanismo foliar interno para a utilização eficiente de CO₂, pelas folhas individualmente. Entretanto, a eficiência do dossel não é maior que 10%. Sabe-se ainda que o milho tem uma taxa fotossintética muito elevada, maior que qualquer outra espécie e nunca satura, mesmo em elevada irradiância (ARGENTA et al., 2001).

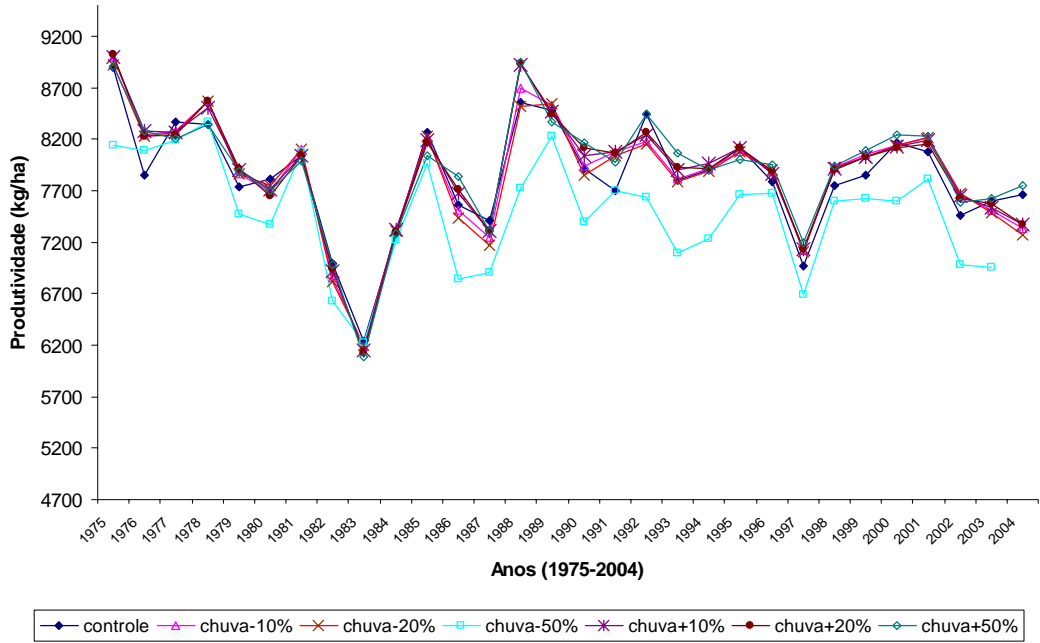


Figura 4 – Estimativa da produtividade do milho (kg/ha), na análise da variação da variável precipitação (controle, chuva-10%, chuva-20%, chuva-50%, chuva+10%, chuva+20%, chuva+50%).

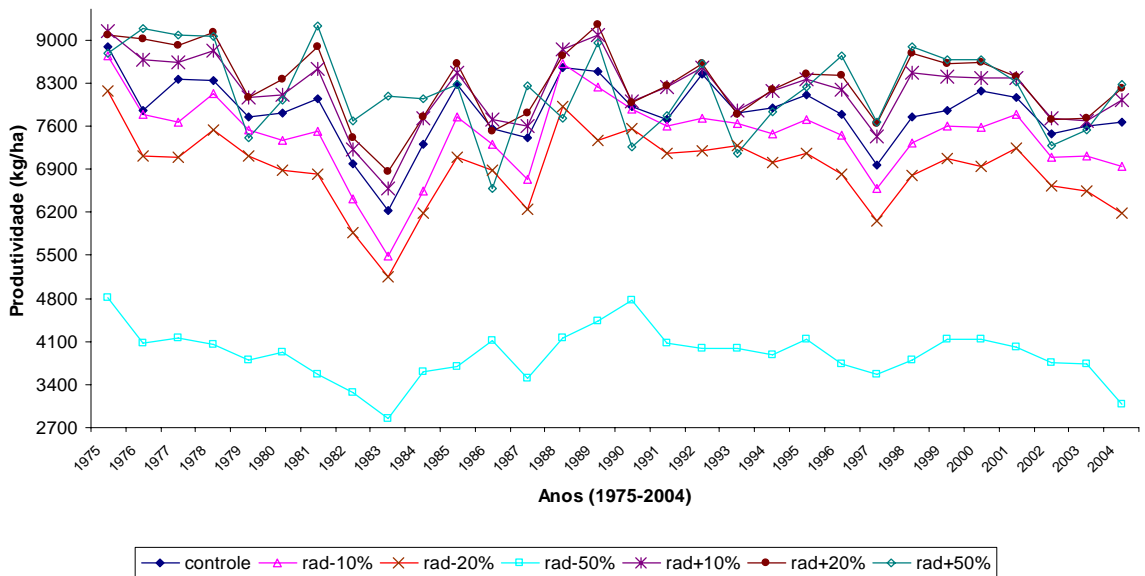


Figura 5 – Estimativa da produtividade do milho (kg/ha), na análise da variação da variável radiação (controle, rad-10%, rad-20%, rad-50%, rad+10%, rad+20%, rad+50%).

O efeito da variação da temperatura (controle, temp-1, temp-3, temp-5, temp+1, temp+3, temp+5°C) no modelo pode ser vista na Figura 6, em que as flutuações da produtividade oscilaram de acordo com a resposta do modelo CERES-MAIZE. Podemos ver que quando as temperaturas foram aumentadas (temp+1, temp+3, temp+5°C), observou-se uma redução da produtividade média de 4, 8 e 15%, respectivamente. Em relação ao ciclo total da cultura ocorreu um aumento do ciclo em torno de 4, 20 e 40%.

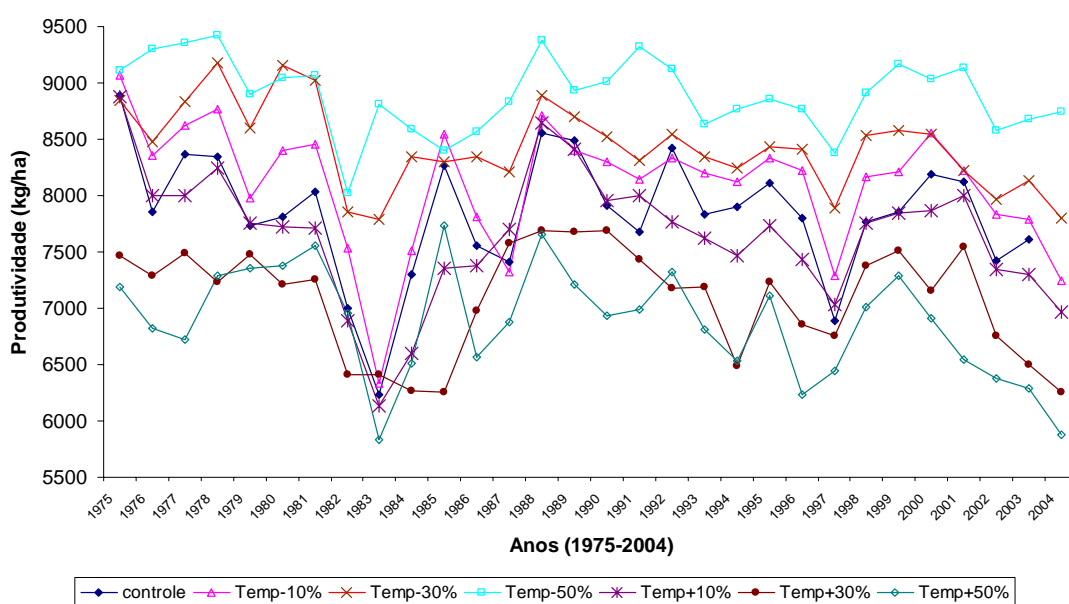


Figura 6 – Estimativa da produtividade do milho (kg/ha), na análise da variação da variável temperatura (controle, temp-1 °C, temp-3 °C, temp-5 °C, temp+1 °C, temp+2 °C, temp+5 °C).

Quando as temperaturas foram diminuídas (temp-1, temp-3, temp-5°C), foi observado o contrário, onde a produtividade teve um ganho 2, 9 e 15% e no ciclo total médio uma redução de 7, 15 e 17%, respectivamente.

A temperatura na cultura do milho também tem um papel de destaque, vários estudos mostram o efeito da temperatura no crescimento e desenvolvimento, nas diferentes fases fenológicas. Fancelli e Dourado Neto (2000) citam que a temperatura influencia nas diversas fases e que em determinados limites nas temperaturas médias superiores a 26 °C, por exemplo, na floração, podem acelerar o desenvolvimento e

inferior 15 °C retardar. E que as temperaturas noturnas superiores a 24 °C proporcionam um aumento da respiração, de tal forma que a taxa de fotoassimilados cai, e com isso, a produção. Redução da temperatura abaixo de 15 °C ocasiona retardamento na maturação do grão.

4. CONCLUSÕES

Os modelos CROPGRO e CERES-MAIZE mostraram maior sensibilidade à variável radiação solar do que às variáveis temperatura e precipitação, com redução na produtividade final das culturas.

De maneira geral, verificam-se, pelos resultados da análise de sensibilidade, que os modelos produziram resultados lógicos em função das alterações climáticas como parâmetros de entrada. E que em última análise os modelos podem ser utilizados como uma ferramenta para tomada de decisão para diferentes cenários.

5. REFERÊNCIAS

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. **Arranjo de plantas de milho**: análise do estado-da-art. *Ciência Rural*, Santa Maria, n. 6, v. 31, p. 1075-1084, 2001.

BAPTISTA, R.L.; BERLATO, M.A. Relações do rendimento de grãos de feijão safra do Estado do Rio Grande do Sul com a precipitação pluvial, a temperatura e o El Niño Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.12, n. 2, p. 307-314, 2004.

BATCHELOR, W.D.; BASSO, B.; PAZ, J.O. Examples of strategies to analyze spatial and temporal number in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 92-97, 2000.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Eds.). **Agricultural Systems Modeling and Simulations**. New York : Marcel Dekker, p. 651-692, 1998.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity: I crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1039-1043, 1994.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II. Produtividade e componentes agrônômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 7, p. 481-488, jul. 1996.

HURTADO, S.M.C.; PAGLIS, C.M.; VON PINHO, R.G. Eficiência do modelo CERES-MAIZE na predição da produtividade de milho em áreas com presença de variabilidade espacial. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v. 29, p. 1153-1160, 2005.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model. **Eur. Jornal Agron.**, v. 18, p. 235-265, 2003.

JONES, J.W.; KINIRY, J.R. **Ceres-Maize**. A simulation model of maize growth and development. College Station : Texas A&M University Press, 1986. 56 p.

KASELE, I.N.; NYIRENSA, F.; SHANAHAN, F.J. Ethephon alters corn growth, water use, and grain yield under stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 283-288, 1994.

MATZENAUER, R. et al. Análise agroclimática das disponibilidades hídricas. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v. 8, n. 2, p. 263-273, 2000.

MERA, R.J.; NIYOGI, DEV; BUOL, G.S.; WILKERSON, SEMAZZI, F.H.M. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C₃) and Maize (C₄) crops: An agrotechnology model based study. *Global and Planetary Change* (2006). Available online at <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 09 jul. 2006.

CAPÍTULO 4

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS CULTURAS DO MILHO E DO FEIJÃO EM ALGUMAS REGIÕES DO ESTADO DE MINAS GERAIS

RESUMO

Nas últimas décadas, tem sido crescente a preocupação mundial quanto às mudanças do clima. A emissão de gases decorrentes da atividade humana contribui para o aumento do efeito estufa na atmosfera e sinaliza, para os próximos anos, impactos significativos no planeta. Alterações climáticas estão associadas a graves impactos na agricultura uma vez que o crescimento e o desenvolvimento das culturas dependem diretamente do clima e das combinações dos processos físicos e biológicos.

Uma maneira de avaliar e quantificar a complexa relação entre as culturas e os elementos climáticos é através dos modelos de simulação de crescimento de culturas. Tais modelos têm se mostrado extremamente eficientes na análise das flutuações espaço-temporal, bem como na análise de cenários futuros da produtividade agrícola de diferentes culturas em resposta às mudanças climáticas, em diferentes partes do mundo (BETTS et al., 2004; HANSEN; INDEJE, 2004; POPOVA; KERCHEVA, 2004; TRNKA et al., 2004). No Brasil e, em particular, em Minas Gerais, as culturas do feijão e do milho têm aumento substancial de produtividade o que coloca o Estado como o maior produtor de feijão e o segundo

maior produtor de milho do país. Desta forma, além da importância econômica para o Estado, existe também o caráter social considerando o que representa essas culturas para população menos favorecida.

No presente trabalho, objetivou-se avaliar os impactos das mudanças climáticas nas culturas do milho e do feijão através dos cenários estabelecidos pelo SRES_IPCC (A2 e B2) a partir da simulação dos processos físico-biológicos dos modelos CROPGRO Dry-bean e CERES-MAIZE. Os resultados a partir das projeções dos cenários de mudanças climáticas SRES-IPCC A2 revelam uma tendência para redução da produtividade da cultura do milho de até 10% nas mesorregiões do Triângulo Mineiro e Metropolitana de Belo Horizonte, para o ano de 2080. Entretanto, a possibilidade de novas cultivares e ajustamentos de práticas de manejo associadas à irrigação e de fertilização nitrogenada podem compensar os efeitos nas modificações climáticas. Já, para a cultura do feijão, estas variações climáticas tiveram um impacto positivo, observando-se uma tendência no aumento de até 55 % nos cenários mais otimistas e até 40% no mais pessimista. Pelos resultados apresentados pode-se concluir que os modelos de simulações de crescimento e desenvolvimento (CROPGRO-Dry bean e CERES-MAIZE) são importantes ferramentas para os estudos dos impactos das mudanças climáticas na produtividade agrícola.

1. INTRODUÇÃO

O último relatório do IPCC (*Summary for Policymakers - International Panel on Climate Change*) evidenciou que as mudanças climáticas decorrentes de atividades humanas já estão ocorrendo em uma escala global e que as previsões para o século XXI são preocupantes. De acordo com estes estudos, verifica-se que, atualmente, as ocorrências de adversidade naturais serão ainda maiores do que na última década. Em decorrência da concentração dos gases de efeito estufa, a temperatura média da atmosfera aumentou em 0,74°C (1906 – 2005) e o nível dos oceanos em 30 cm. Foram observados aumentos significativos na temperatura das águas oceânicas a 3.000 m de profundidade, acarretando aumento na evaporação, sendo hoje a umidade relativa do ar superior às observadas historicamente. Esse aumento da temperatura e da umidade explica as tendências observadas em fenômenos dinâmicos da atmosfera, que resultam na ampliação da frequência e da intensidade de eventos extremos, como furacões, tempestades, ondas de calor, secas etc. (IPCC, 2007).

A emissão de gases decorrentes da atividade humana contribui para o aumento do efeito estufa na atmosfera e sinaliza, para os próximos anos, impactos significativos no planeta. Estas alterações do clima podem trazer graves impactos na agricultura, uma vez que o crescimento e o desenvolvimento das culturas dependem diretamente das condições climáticas e das combinações dos processos físicos e biológicos.

Recentemente, as pesquisas apontam para impactos positivos do enriquecimento do CO₂ atmosférico compensando o provável impacto negativo do aumento da temperatura (que encurtam o período vegetativo da maioria das culturas, e reduz a produtividade de muitas variedades). Estas conclusões são baseadas em estudos de ambientes controlados, que apresentam aumento da produtividade das culturas C3 (feijão, soja) de 24-43% com a duplicação da concentração de CO₂. Entretanto, estudos em condições de campo, sugerem que este enriquecimento benéfico do CO₂ pode ser menor, isto é, entre 8 a 15% (SLINGO et al., 2005). Estas respostas fisiológicas são conhecidas como efeito da fertilização do CO₂ (DHAKHWA et al., 1997) ou o efeito direto do aumento do CO₂. Experimentos realizados em ambientes controlados indicam que o crescimento de trigo de inverno e produção de biomassa poderia aumentar em até 33±6% com o dobro da concentração de CO₂ (CURE; ACKOCK, 1986; WOLF et al., 2002; BENDER et al., 1999 *apud* TRNKA et al., 2004). Estudos realizados na Europa concluíram que a produtividade do trigo de inverno pode aumentar além de 20% até o ano 2050 em algumas partes daquele continente, o que se deve principalmente, ao efeito fertilizante do CO₂ (ALEXANDROV; HOOGENBOOM, 2000; HARISSON et al., 2000; TUBIELLO et al., 2000). Desse modo, impactos negativos também são contabilizados com o aumento da concentração do CO₂ na atmosfera, chamado frequentemente de efeito indireto do CO₂, em que se observa uma redução significativa nas produtividades das culturas (SMITH AND LAZO, 2001; OLESEN AND BINDI, 2002 *apud* TRNKA et al., 2004). No entanto, o aumento da temperatura e da radiação solar estimula o aumento da evapotranspiração, e as produtividades das culturas tendem a diminuir, se estiverem sob condições de estresse hídrico (TRNKA et al., 2004). Em geral, o balanço entre os efeitos diretos e indiretos do aumento do CO₂ atmosférico depende, na realidade, do estado da disponibilidade de água e nutrientes em que a planta se encontra (ERDA et al., 2005).

Uma maneira de quantificar e avaliar a complexa interação entre a resposta das culturas às diferentes alterações climáticas é através da utilização dos modelos de simulação de crescimento. Tais modelos têm se mostrado extremamente eficientes na análise das flutuações espaço-temporal e de cenários futuros na produtividade agrícola de diferentes culturas em respostas as mudanças climáticas, em diferentes

partes do mundo (BETTS et al., 2004; HANSEN; INDEJE, 2004; POPOVA; KERCHEVA, 2004; TRNKA et al., 2004).

Poucos estudos foram realizados na agricultura brasileira sobre a influência das mudanças climáticas. Assad e Luchiari JR. (1989) e Siqueira et al. (1994 e 2000) avaliaram as possíveis alterações da produtividade da soja e milho devido aos cenários das mudanças climáticas, através do aumento de CO₂ e da temperatura para algumas regiões do Brasil. Pinto et al. (1989 e 2001) avaliaram o impacto das mudanças do clima na produção regional, considerando os efeitos das elevações das temperaturas e das chuvas no zoneamento do café para os estados de Minas Gerais, São Paulo e Goiás. Os resultados indicaram uma drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, condenando a produção de café nestas regiões em longo prazo (PINTO et al., 2002). Portanto, as pesquisas sobre mudanças climáticas na agricultura brasileira têm considerado apenas uma tendência linear das culturas em respostas às variações dos elementos do clima.

No Brasil e, em particular em Minas Gerais, as culturas do milho e a do feijão vêm obtendo aumento substancial da produtividade, colocando o Estado como o maior produtor de feijão e o segundo maior produtor de milho do país. Além da importância econômica para o Estado, existe também o caráter social dessas culturas para a população menos favorecida, uma das maiores preocupação mundial devido o crescimento populacional e a necessidade de se ter mais recursos naturais para suprir a demanda (PERRY et al., 2004; FAO, 2005).

Diante disso o objetivo geral deste trabalho foi simular a produtividade das culturas do milho e do feijão, associadas aos impactos das mudanças climáticas para o Estado de Minas Gerais. Os objetivos específicos foram: *a)* Estimar os impactos dos cenários das mudanças climáticas na produtividade das culturas; e *b)* projetar a produtividade nas diversas regiões do Estado para os anos de 2020, 2050 e 2080 a partir dos cenários (A2) e (B2).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área considerada foi o Estado de Minas Gérias, localizada no sudeste do Brasil, que se encontra entre as latitudes $14^{\circ} 13' 57''$ e $22^{\circ} 55' 47''$ Sul e $39^{\circ} 51' 27''$ e $51^{\circ} 02' 56''$ longitude Oeste, com uma área total de 588.383 km^2 . O Estado está localizada na Zona Intertropical, com as estações do ano bem definidas, com o período chuvoso entre os meses de Outubro a Março, e o período seco de Abril a Setembro. Devido a sua topografia acidentada que varia de 250 a 2700 m e ao fato de estar localizado na trajetória normal das frentes polares aliados a outros sistemas meteorológicos sazonais de mesoescala que atuam na região como: Alta do Atlântico Sul, Alta da Bolívia, Zona de Convergência Atlântico Sul, linhas de instabilidades e sistemas de células convectivas Minas Gerais apresenta uma grande variabilidade climática e no regime de precipitação (SANTANA, 2004). O estado de Minas Gerais encontra-se numa zona de transição climática, com influência de vários elementos climáticos, principalmente a distribuição irregular da precipitação pluvial na região, com período chuvoso no verão e seco no inverno (GRIMM; FERRAZ, 1998). Na Figura 1, pode-se observar a área de estudo, com as mesorregiões estudadas bem como a localização das estações meteorológicas utilizadas. Os dados de clima foram representados pelos dados históricos disponíveis para cada localidade no período (1975-2004) disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (ver capítulo 1), onde foram utilizadas as temperaturas diárias máximas e mínimas ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm) e radiação solar ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). Os dados diários da radiação solar foram calculados usando horas de brilho solar, calculados a partir da equação de modelo de Ångström-Prescott.

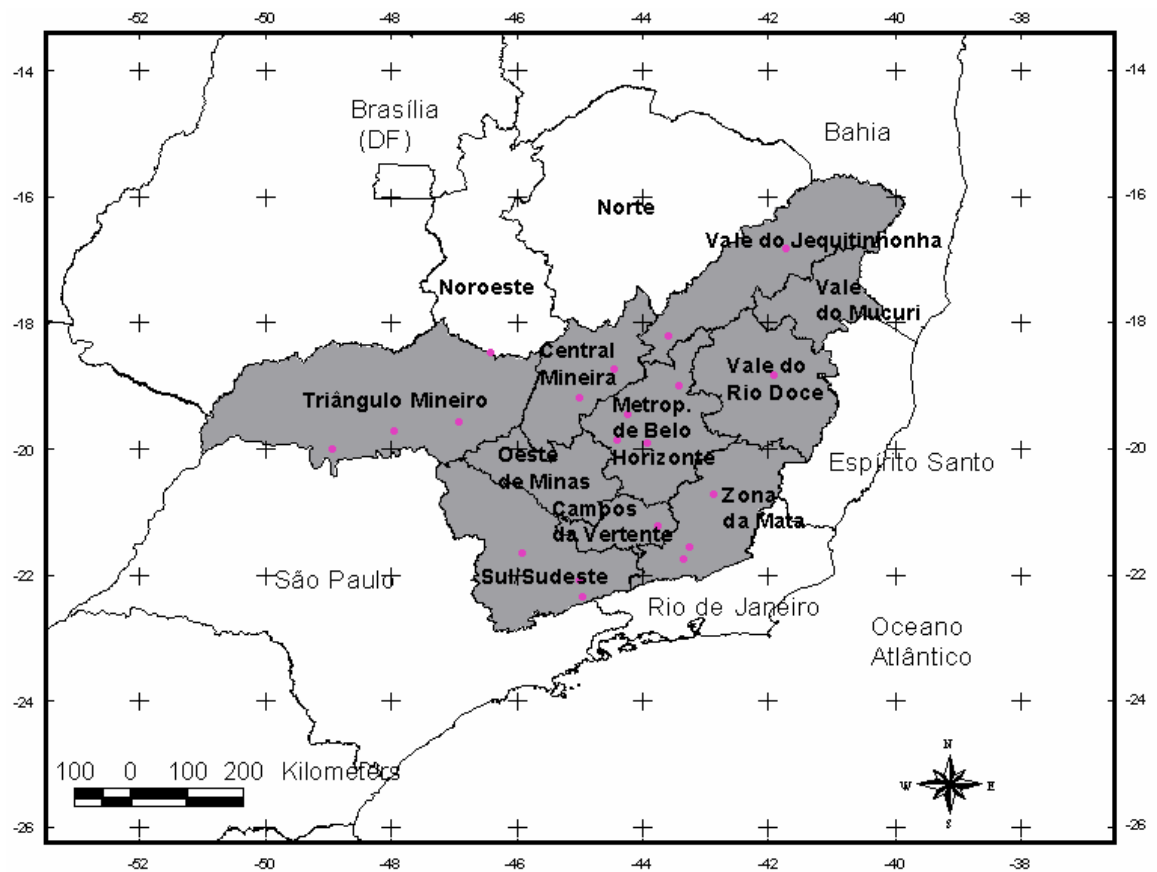


Figura 1 - Localização das estações e das mesorregiões estudadas.

As culturas do milho (C4) e a do feijão (C3) foram utilizadas principalmente por terem processos de fixação do CO₂ diferentes. As C3 segue um ciclo de fosfato de pentose, ou ciclo Calvin e a C4 a redução - processo redox – do CO₂ segue o ciclo do ácido dicarboxílico. Estes dois tipos de plantas têm respostas diferenciadas de crescimento dependente de parâmetros físicos e químicos: luz, concentração de O₂ e CO₂, temperatura e umidade. Esta diferença permite avaliar e quantificar a resposta fotossintética ao efeito do aumento na absorção do CO₂, estabelecida pelos processos fisiológicos e bioquímicos na produtividade. A cultura C3 é menos eficiente do que a C4, devido à perda do CO₂ pela fotorespiração (ROSEMBERG et al., 1990; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Devido à grande variabilidade na classificação dos tipos de solos e pela dimensão do Estado, foi utilizada a classificação de solo tipo 3: a) teor de argila maior que 35% e profundidade igual ou superior a 50 cm; b) solos com menos de 35% de argila e menos de 15% de areia (textura siltosa), com profundidade igual ou

superior a 50 cm. Geralmente, são solos de alta capacidade de armazenamento de água.

A avaliação dos impactos das mudanças climáticas nas culturas do milho e do feijão foi realizada por meio dos cenários pessimista e otimista (A2) e (B2), para os anos 2020, 2050 e 2080 estabelecidos pelo SRES_IPCC (IPCC, 2001) (Tabela 1). O cenário A2 descreve um mundo heterogêneo, com crescimento da população elevado, crescimento econômico e mudanças tecnológicas mais lentas. O cenário B2 descreve um mundo baseado em soluções locais aos problemas globais, com crescimento da população moderado, existindo níveis intermediários para o desenvolvimento econômico e uma mudança tecnológica mais diversa.

Tabela 1 – Cenários estabelecidos pelos SRES_IPCC (2001) para os anos 2020, 2050 e 2080

	2020		2050		2080	
	<i>CO₂</i> (ppm)	<i>Temperatura</i> (°C.)	<i>CO₂</i> (ppm)	<i>Temperatura</i> (°C.)	<i>CO₂</i> (ppm)	<i>Temperatura</i> (°C.)
A2	440	1.4	559	2.6	721	3.9
B2	429	0.9	492	1.5	561	2.0

Foram realizadas simulação dos processos físico-biológicos do crescimento e desenvolvimento das culturas do milho e do feijão, pelos modelos CROPGRO Dry-bean e CERES-MAIZE. Estes modelos estão incluídos no Sistema de Suporte para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT v.4.0).

2.1. Estimativa da produtividade dos modelos CROPGRO e CERES-MAIZE para os cenários futuros

O modelo CROPGRO faz parte do DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) projetado pela IBSNAT (International Benchmark Sites NetWwork for Agrotechnology Transfer). É um modelo determinístico com

simulações dos processos físicos, químicos e biológicos da planta associados ao ambiente.

O modelo simula a produtividade da cultura relacionando aos parâmetros agronômicos e constrói a estimativa em cima dos processos fisiológicos em função do clima, solo e as condições de manejo. Os processos do modelos são orientados a considerar o desenvolvimento da cultura com o balanço de carbono, balanço de nitrogênio no solo e balanço de água (BOOTE et al., 1998). O desenvolvimento da cultura no modelo é sensivelmente diferenciado pela temperatura, fotoperíodo, déficit hídrico e nutricional, duração dos vários estádios de crescimento e é expresso em dias fisiológico (PDd^{-1}).

O CERES-MAIZE (*Crop Environment Resource Synthesis-Maize*) (JONES; KINIRY, 1986) é um modelo determinístico também faz parte do DSSAT. O CERES-MAIZE deriva as taxas diárias do crescimento da cultura (PGR , $\text{g planta}^{-1}\text{d}^{-1}$) que função da luz interceptada pelo dossel (IPAR , $\text{MJ planta}^{-1}\text{d}^{-1}$) e do uso eficiente da radiação (RUE , g MJ^{-1}). Quando a cultura esta sob estresse ambiental, o modelo aproxima dos valores limites calculados de fotossínteses e respiração (LIZASO et al., 2005 *apud* MERA et al., 2006). A taxa de crescimento, no CERES-MAIZE é controlada pela temperatura (GDD , graus dias). O número de graus dias são acumulados e baseados nas temperaturas máximas e mínimas e utiliza a função triangular da função trapezoidal para definir a temperatura base, ótima e máxima. A expansão da área foliar é controlada pelos graus dias e pelo estresse hídrico e de nitrogênio (JONES et al., 2003).

Para a simulação da cultura do feijão, foram utilizados os coeficientes genéticos calibrados no capítulo 1. Foram utilizados dados da cultivar Talismã, grupo comercial Carioca, que apresenta o ciclo da semeadura à maturação fisiológica variando de 75 a 85 dias. Os dados experimentais: como classificação do solo, análise química, data da semeadura, espaçamento, densidade de plantio, período fenológicos foram retirados do experimento de campo localizado na Estação Experimental de Coimbra-MG (ANDRADE et al., 2005). Para a simulação da cultura do milho, foram utilizados os coeficientes genéticos calibrados no capítulo 2. Foram utilizados os dados da cultivar Agromen (Híbrido duplo), que apresenta um ciclo da semeadura à maturação fisiológica variando de 110 a 116 dias. Os dados experimentais: como classificação e análise química do solo, data da semeadura, espaçamento, densidade de plantio e período fenológico foram retirados do

experimento de campo localizado em Viçosa-MG (WOLSCHICK, 2004). As simulações foram consideradas para plantio em 01 de outubro.

As simulações foram realizadas para todas as localidades disponíveis do banco de dados, iniciando com a data de plantio para 01 de outubro. A partir destas simulações, os resultados foram agrupados por mesoregiões, com o objetivo de analisar os impactos das mudanças climáticas através dos desvios das produtividades projetadas pela produtividade média simulada da série histórica (1975-2004). A geoespacialização das projeções dos cenários permitiu representar a variação espaço-temporal desses impactos na região em estudo. Nesse estudo foi utilizado o software ArcView 3.2a, desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI).

Para minimizar as incertezas decorrentes das projeções da precipitação nas mudanças climáticas, foram realizadas simulações visando estimar a variação da produtividade das culturas com flutuação de $\pm 10\%$, tendo como referência os valores atuais da precipitação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As projeções climáticas baseadas no IPCC, para a região Sudeste do Brasil levantam uma enorme preocupação quanto aos impactos destas alterações na agricultura. Isto se deve à maior possibilidade de incidência de eventos extremos com verões ou invernos excepcionalmente chuvosos ou secos. Essas oscilações podem apresentar diferenças regionais importantes e, seguramente, podem levar a uma possível redivisão do mapa da produção agrícola brasileira. Nas Figuras de 2 a 9, é apresentada a estimativa da produtividade média projetadas de acordo com os cenários futuros nas mesoregiões do Estado de Minas Gerais.

Para o cenário mais otimista (B2), observa-se uma tendência no aumento da produtividade média da cultura do feijão em todas as regiões estudadas para os anos 2020, 2050 e 2080. Esta tendência é mais clara nas mesoregiões Sul/Sudeste, Vale do Jequitinhonha e Zona da Mata; com projeções para o ano de 2080 uma produtividade média simulada de 3100, 3031 e 2850 kg/ha e desvios positivos na produtividade de 57, 52 e 45%, respectivamente (Figuras 2, 5 e 8). Nas outras mesoregiões foram encontrados aumentos variando em até 45% da produtividade média. Para a mesoregião Metropolitana de Belo Horizonte, o ano de 2050 projeta uma redução da produtividade. Esta redução pode ter sido causada pelo efeito combinado do aumento da temperatura com o CO₂ atmosférico, ressaltando que estas projeções representam as condições climáticas locais, podendo ser verificada pela variação das produtividades nas projeções futuras. Fato observado também, em menor diferença, na mesoregião Central Mineira (Figuras 4 e 7). Nas mesoregiões

do Triângulo Mineiro e Vale do Doce nota-se a tendência de aumento de produtividade para as projeções futuras.

Caso as projeções dos cenários pessimistas (A2) venham acontecer, observa-se um aumento significativo na produtividade nos anos de 2020 e 2050 em todas as mesoregiões seguida de um declínio no ano de 2080, quando as temperaturas chegam a 4°C (Figuras de 2 a 9). Para o ano de 2050, os maiores valores da produtividade média foi observada nas mesoregiões do Sul/Sudeste com 3035 kg/ha, no Vale do Jequitinhonha 2964 kg/ha e no Campos das Vertentes 2941 kg/ha (Figuras 5, 8 e 9). Foi encontrado que as reduções para o ano de 2080, nas mesoregiões Metropolitana de Belo Horizonte e Campo das Vertentes, foram maiores do que no ano de 2020 (Figuras 4 e 9).

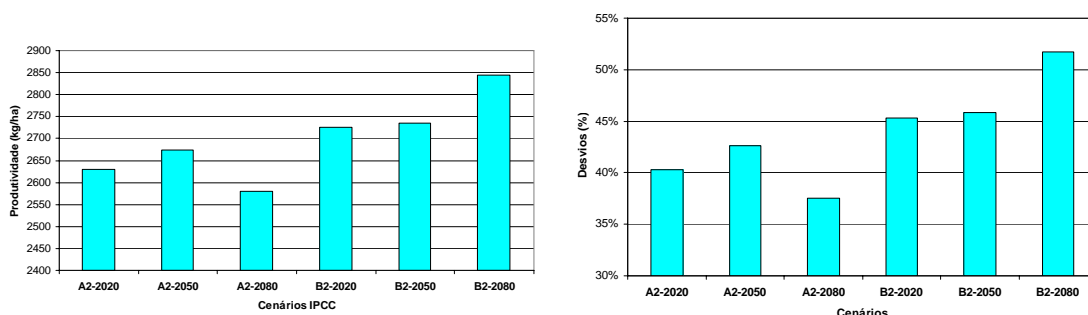


Figura 2 – a) Produtividade média simulada (kg/ha) e b) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região da Zona da Mata mineira.

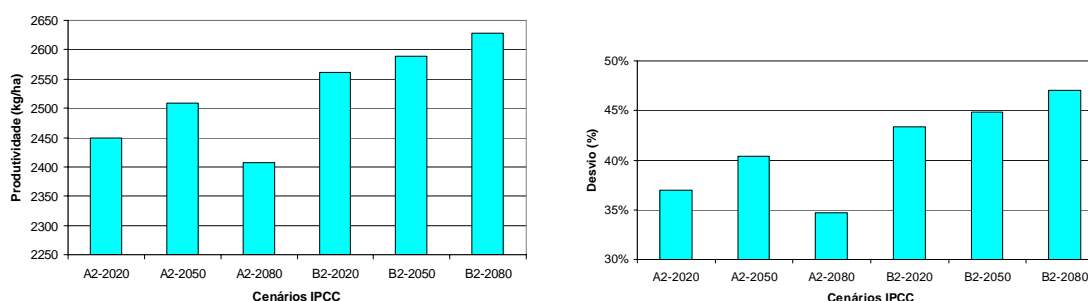


Figura 3 – a) Produtividade média simulada (kg/há) e b) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região do Triângulo Mineiro.

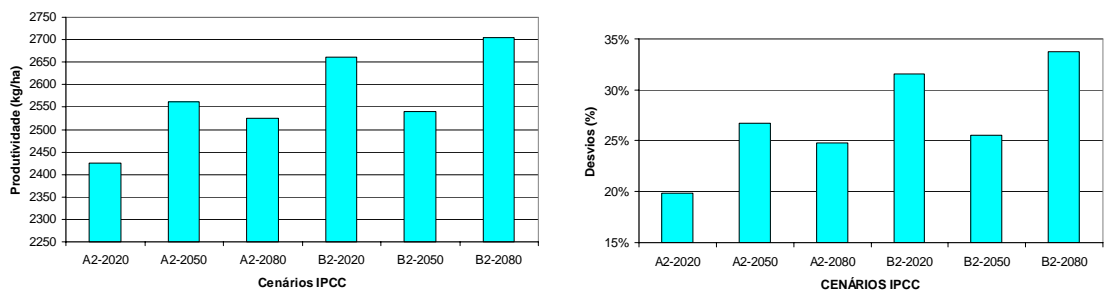


Figura 4 – *a*) Produtividade média simulada (kg/ha) e *b*) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região Metropolitana de Belo Horizonte, MG.

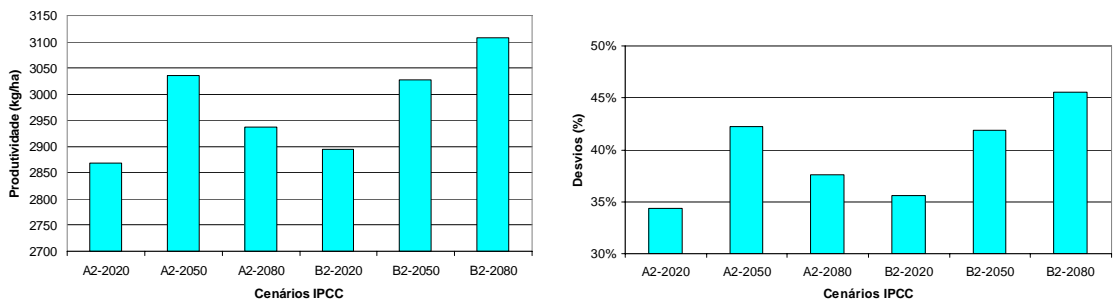


Figura 5 – *a*) Produtividade média simulada (kg/há) e *b*) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região Sul/Sudeste, MG.

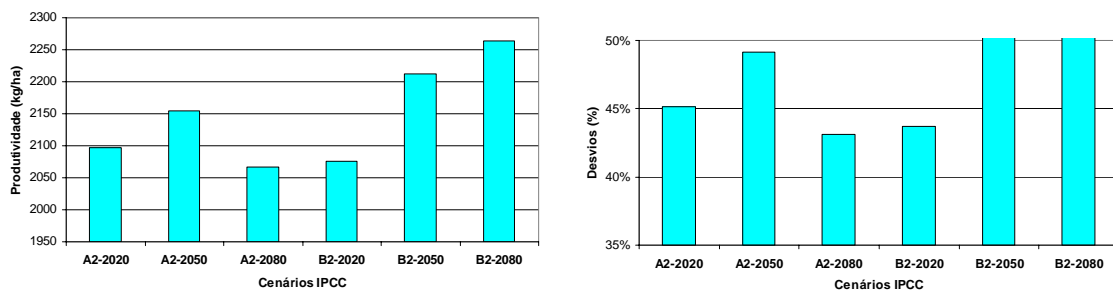


Figura 6 – *a*) Produtividade média simulada (kg/há) e *b*) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região Vale do Doce, MG.

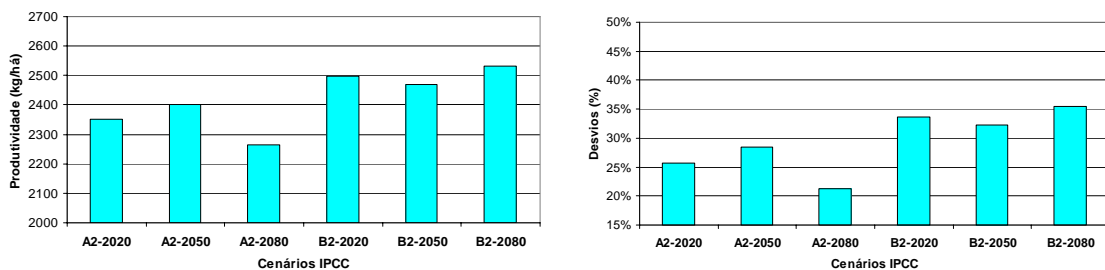


Figura 7 – *a*) Produtividade média simulada (kg/há) e *b*) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região da Central Mineira.

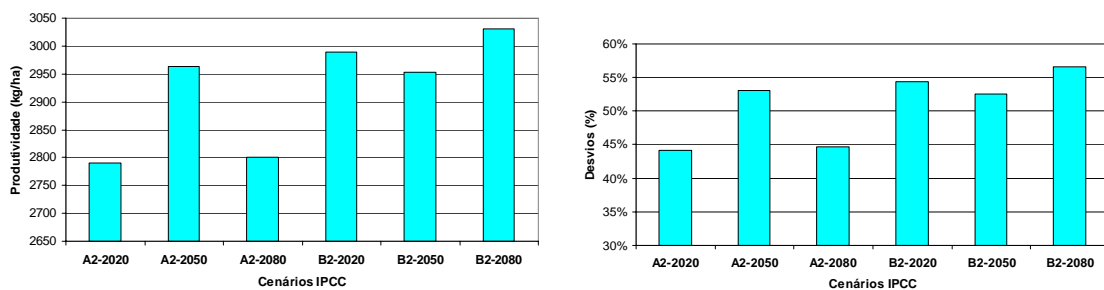


Figura 8 – *a*) Produtividade média simulada (kg/há) e *b*) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região Vale do Jequitinhonha, MG.

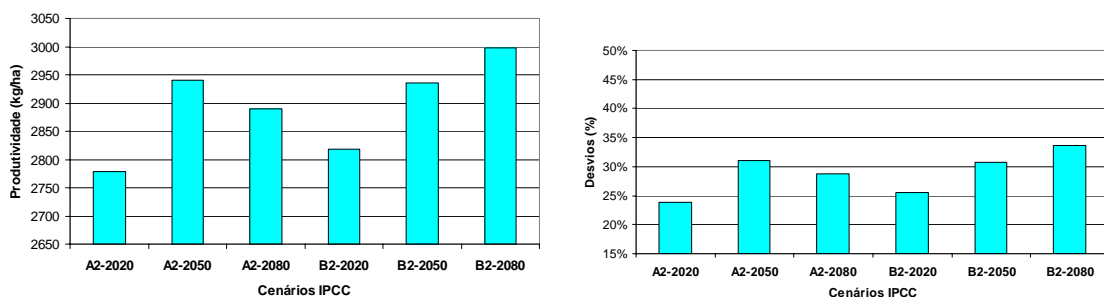


Figura 9 – *a*) Produtividade média simulada (kg/há) e *b*) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região do Campo das Vertentes, MG.

Esses resultados, para a cultura do feijão, revelam um aumento significativo da produtividade e ilustram a relação benéfica dos efeitos do CO₂ para esta cultura. Os níveis atuais da concentração de CO₂ na atmosfera são um fator limitante na fotossíntese das plantas C3, por serem insuficientes para saturar a atividade da enzima Rubisco (BOWES, 1991; TAIZ; ZEIGER, 1991; STRECK, 2005). Várias pesquisas têm relacionado este ganho na produtividade ao efeito fertilização com CO₂, em que há uma redução da resistência estomática, diminuindo a evapotranspiração, aumentando assim a eficiência da água e a redução da perda de CO₂ pela fotorrespiração (LONG et al., 2005; STRECK et al., 2005; TRNKA et al., 2004).

Nas Figuras 10a, 10b e 10c podem ser observadas na espacialização, o comportamento espaço-temporal das projeções para os anos 2020, 2050 e 2080 no cenário pessimista (A2). Nota-se que na parte mais central do estado encontra-se os menores valores do aumento da produtividade do feijão, e na mesorregião do Vale do Jequitinhonha encontra-se a região com potencial de manter este aumento da produtividade até 2050 (Figura 10b) e voltando aos patamares do ano de 2020 em 2080. É bem sabido que, atualmente, estas regiões apresentam grandes problemas com déficit hídrico e secas proeminentes. Entretanto, os resultados apresentados levam em consideração que, para alcançar tais resultados de produtividade, esta região não pode apresentar problemas hídricos e nem nutricionais.

As Figuras 10d-f mostram que na proporção em que a temperatura aumenta com os anos o há um encurtamento do ciclo fenológico para os anos de 2020, 2050 e 2080. Isso é evidente nas mesoregiões Sul/Sudeste e Vale do Doce, com uma redução de 5 até 15%.

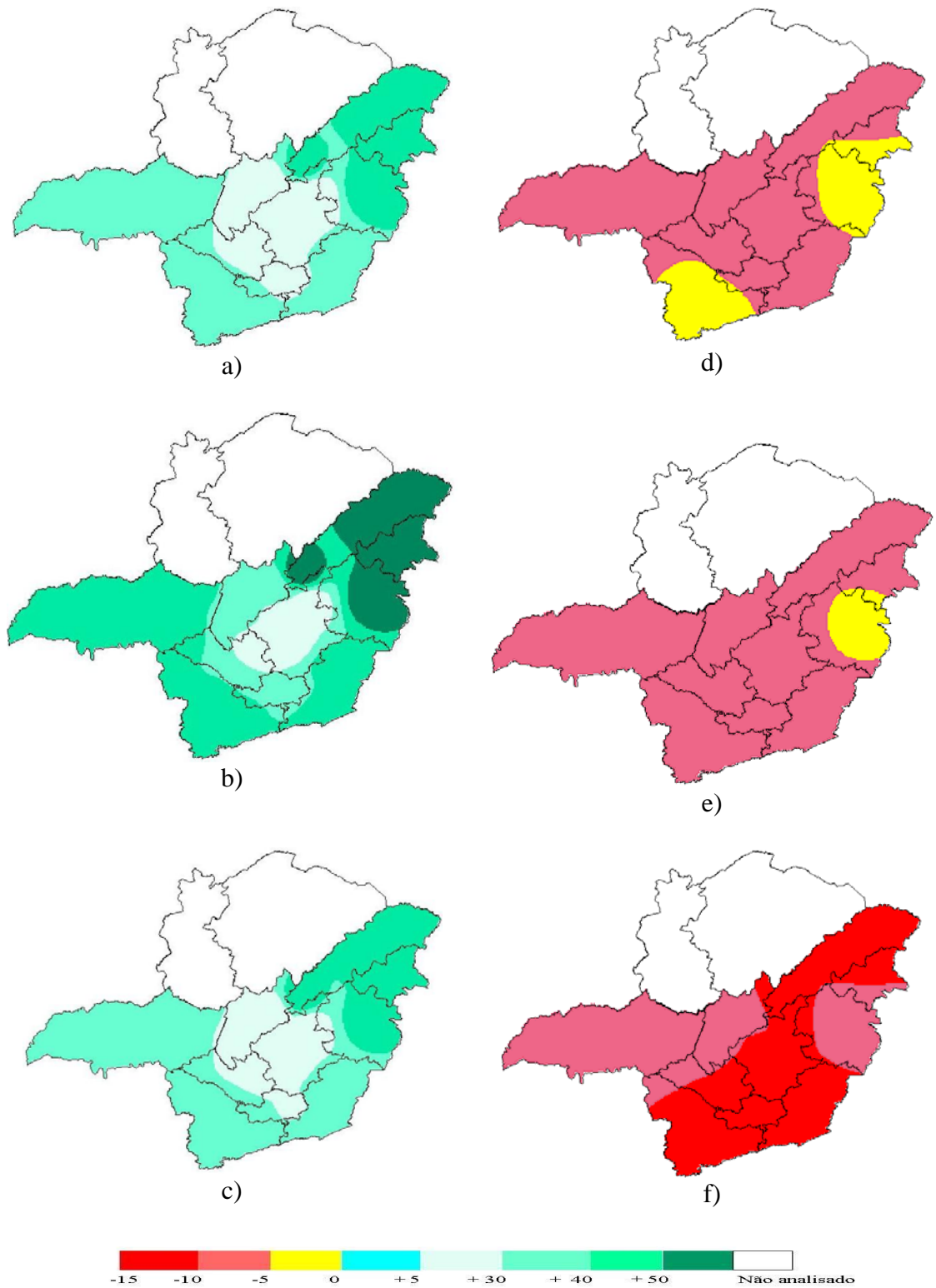


Figura 10 – Estimativa da redução da produtividade no Estado de Minas Gérias, da cultura do feijão, para os cenários A2 para os anos: a) 2020; b) 2050, c) 2080 e a duração do ciclo vegetativo para as projeções d) 2020; e) 2050, f)2080.

A variação espaço-temporal do aumento da produtividade fica bem evidenciada com um aumento significativo no cenário otimista (B2) nas Figuras 11a, 11b e 11c, quando comparadas com o cenário pessimista (A2), em que o efeito positivo da fertilização do CO₂ é minimizado devido ao aumento acentuado da temperatura em algumas regiões quando comparado com o cenário otimista (B2).

Na Figura 11d, pode-se verificar um aumento na duração do ciclo fenológico da cultura, possivelmente não foi influenciada pela variação na temperatura no ano de 2020, quando se verifica um atraso de até 5%, nas mesoregiões que vai do Vale do Jequitinhonha passando pela parte mais central do Estado. Verifica-se, também, duas áreas com reduções de até 10% nas mesoregiões do Triângulo Mineiro e Metropolitana de Belo Horizonte, com as demais regiões variando em até 5%.

Para o ano de 2050 e 2080 (Figura 11ef), verificou-se uma redução de até 15% no período fenológico, ficando apenas a mesoregião do Vale do Doce, com reduções de até 5% e maior redução na mesoregião do Campo das Vertentes de até 10%. É importante salientar que os resultados encontrados para a cultura do feijão devem ser vistos com certa cautela, havendo a necessidade de estudos mais específicos que levem em consideração as interferências de possíveis eventos climáticos extremos, que poderão ocorrer com mais frequência em condições de mudanças climáticas, bem como os fatores condições de uso do solo, disponibilidade de nutrientes, doenças, pragas, competição de ervas daninha fatores que devem reduzir o efeito positivo da fertilização do CO₂.

São apresentados nas Figuras de 12 a 19 os resultados da cultura do milho. No cenário pessimista (A2) foi observado uma tendência de redução nas projeções de produtividade em todas as mesoregiões, pelo aumento da temperatura e a falta de sensibilidade das plantas C4 ao incremento do CO₂ na atmosfera. As maiores projeções foram verificadas nas mesoregiões do Vale do Jequitinhonha, 8132 kg/ha, do Sul Sudeste, 8009 kg/ha e do Triângulo Mineiro de 7947 kg/ha, para o ano de 2020. Essas regiões tiveram as maiores reduções projetadas para os anos de 2080, chegando a 10%. Estes resultados estão de acordo com os resultados encontrados por Siqueira et al. (2000), que indicaram reduções de até 10% na produtividade da cultura do milho para algumas regiões do Brasil.

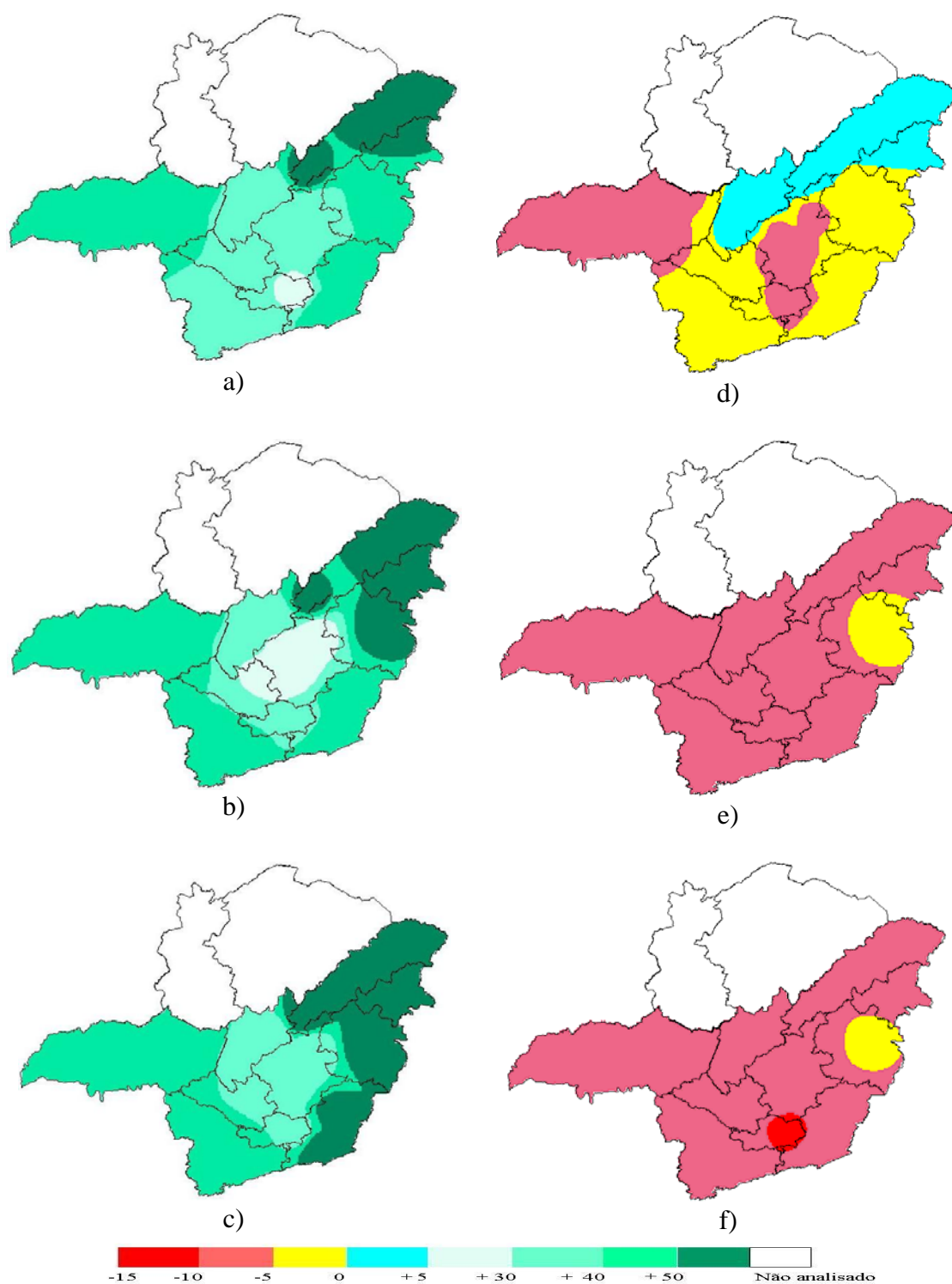


Figura 11 – Estimativa da redução da produtividade no Estado de Minas Gérias, da cultura do feijão, para os cenários B2 para os anos: a) 2020; b) 2050, c)2080 e a duração do ciclo vegetativo para as projeções d) 2020; e) 2050, f)2080.

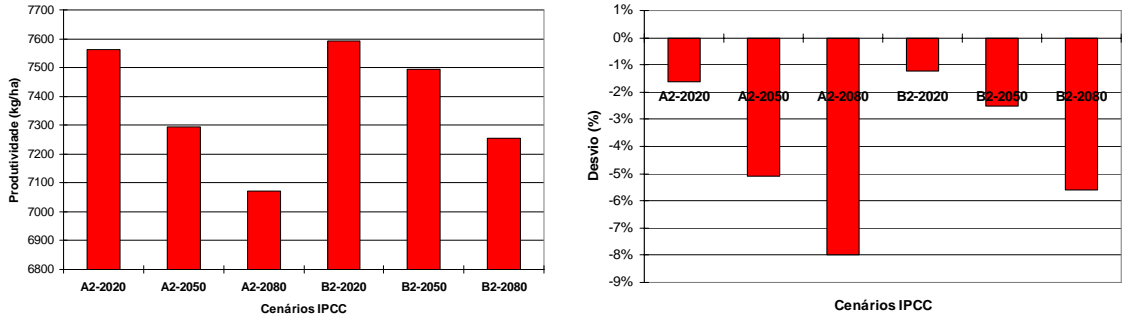


Figura 12 – *a*) Produtividade média simulada (kg/ha) e *b*) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região da Zona da Mata mineira.

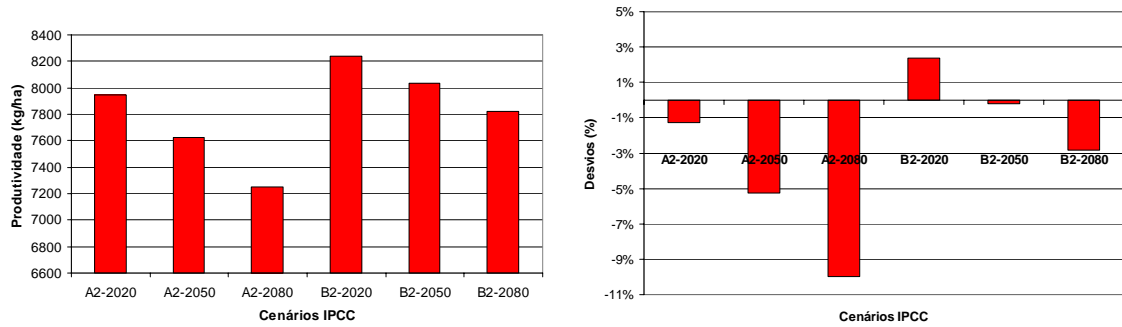


Figura 13 – *a*) Produtividade média simulada (kg/ha) e *b*) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região do Triângulo Mineiro.

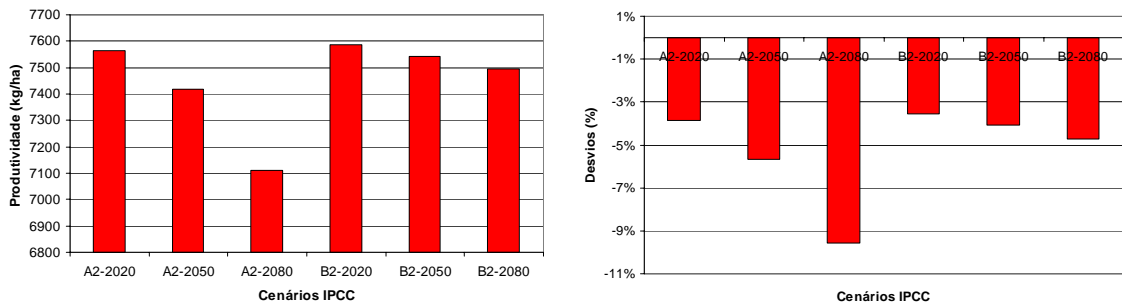


Figura 14 – *a*) Produtividade média simulada (kg/ha) e *b*) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região Metropolitana de Belo Horizonte, MG.

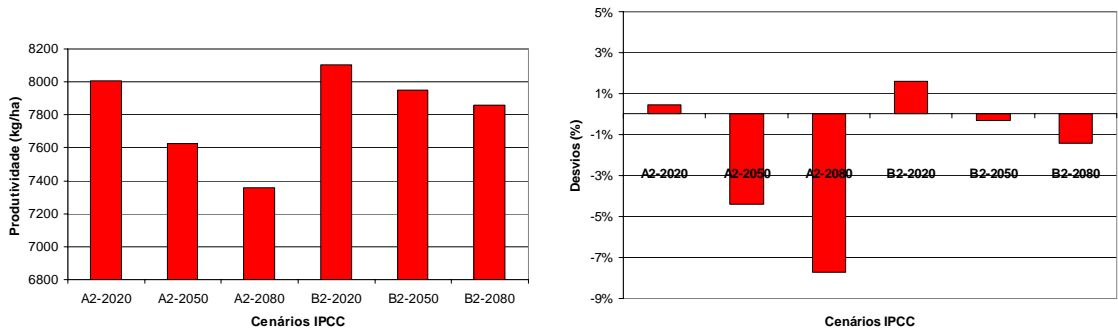


Figura 15 – a) Produtividade média simulada (kg/ha) e b) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região Sul/Sudeste, MG.

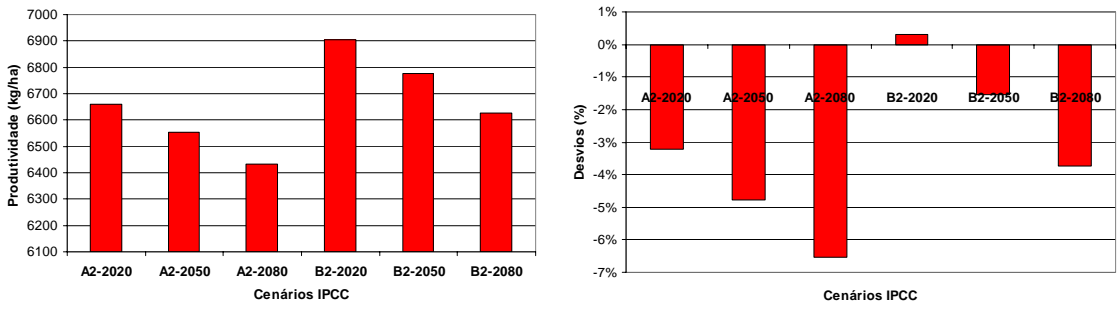


Figura 16 – a) Produtividade média simulada (kg/ha) e b) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região Vale do Doce, MG.

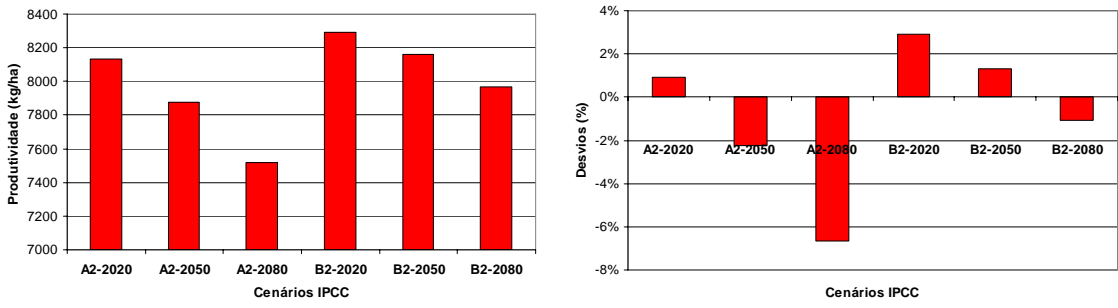


Figura 17 – a) Produtividade média simulada (kg/ha) e b) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região Vale do Jequitinhonha, MG.

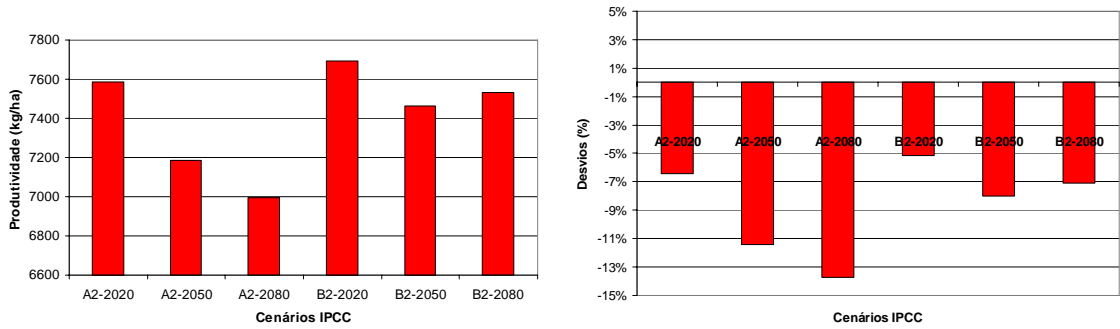


Figura 18 – a) Produtividade média simulada (kg/ha) e b) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região da Central Mineira.

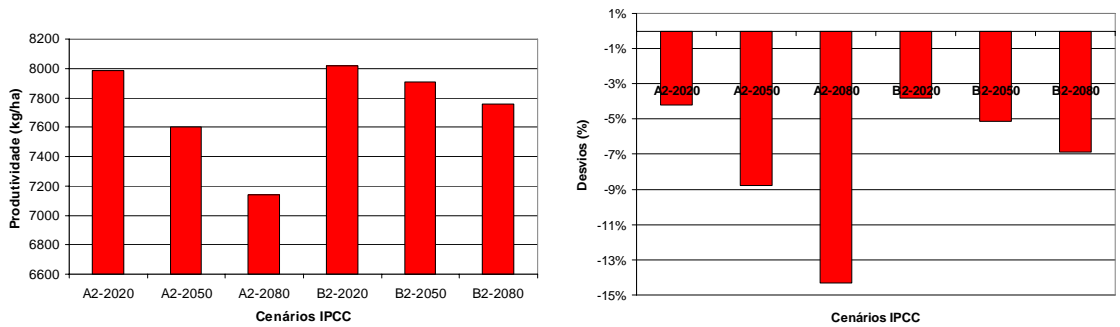


Figura 19 – a) Produtividade média simulada (kg/ha) e b) desvios da produtividade, com plantio no mês de outubro, para os cenários futuros, na região do Campo das Vertentes, MG.

Para os cenários otimistas (B2), de modo geral, observa-se que as projeções reproduzem a tendência de redução na maioria das regiões estudadas, porém, em proporções menores. Observa-se ainda que exceto a mesorregião Central Mineira e Campo das Vertentes, ainda projetam um aumento da produtividade para o ano de 2020, possivelmente relacionado à temperatura que se encontra na sua faixa ótima e aumento do CO₂. Verifica-se ainda um aumento dessa produtividade média para os anos de 2020 e 2050, mais especificamente para a região do Vale do Jequitinhonha (3%), em Minas Gerais.

A avaliação espaço-temporal para o cenário A2 (pessimista) indica em geral, uma tendência de redução na produtividade da cultura do milho. Observa-se ainda na parte central áreas com redução de até 10%, nas outras regiões com redução de até 5%. Na Figura 20a, para o ano de 2020, pode-se observar na região do Vale do Jequitinhonha áreas com um aumento significativo.

Para os anos de 2050, nota-se uma intensificação na queda de produtividade em todas as mesoregiões. Para o ano de 2080 as quedas são ainda maiores e vai da parte mais central até a mesoregião do Triângulo Mineiro, onde alcança reduções superiores a 15% (Figuras 20b e 20c). Para o período fenológico, observa-se reduções de até 15% no ciclo de crescimento do milho devido ao aumento da temperatura em toda região de estudo para as projeções de 2020, 2050 e 2080 (Figura 20d-f).

No cenário otimista (B2) foi observado um aumento significativo na produtividade de até 5% nas regiões do Vale do Jequitinhonha, do Triângulo Mineiro e do Sul/Sudeste para ao ano de 2020 (Figura 21a). Para os anos de 2050 e 2080, nota-se diminuição da produtividade nessas mesoregiões, pelo aumento da temperatura (Figuras 21b e 21c). Para período fenológico segue a tendência vista anteriormente, quanto maior a temperatura maior a redução na duração do ciclo vegetativo. (Figura 21d-f).

Devido às incertezas que envolvem as projeções futuras para precipitação nos modelos numéricos de circulação geral (CAVALCANTI et al., 2002; MARENGO et al., 2003; SALAZAR et al., 2006), optou-se por conduzir dois experimentos numéricos, aplicando-se uma variação de precipitação de $\pm 10\%$. Os resultados encontrados mostram que estas anomalias de precipitação não resultaram em impactos significativos na produtividade (Figura 1A). A produtividade média oscilou em 2%, não havendo mudança no comportamento em ambos os cenários A2 e B2. Isso se deve ao fato que estas variações nas precipitações não extrapolam os limites hídricos das culturas.

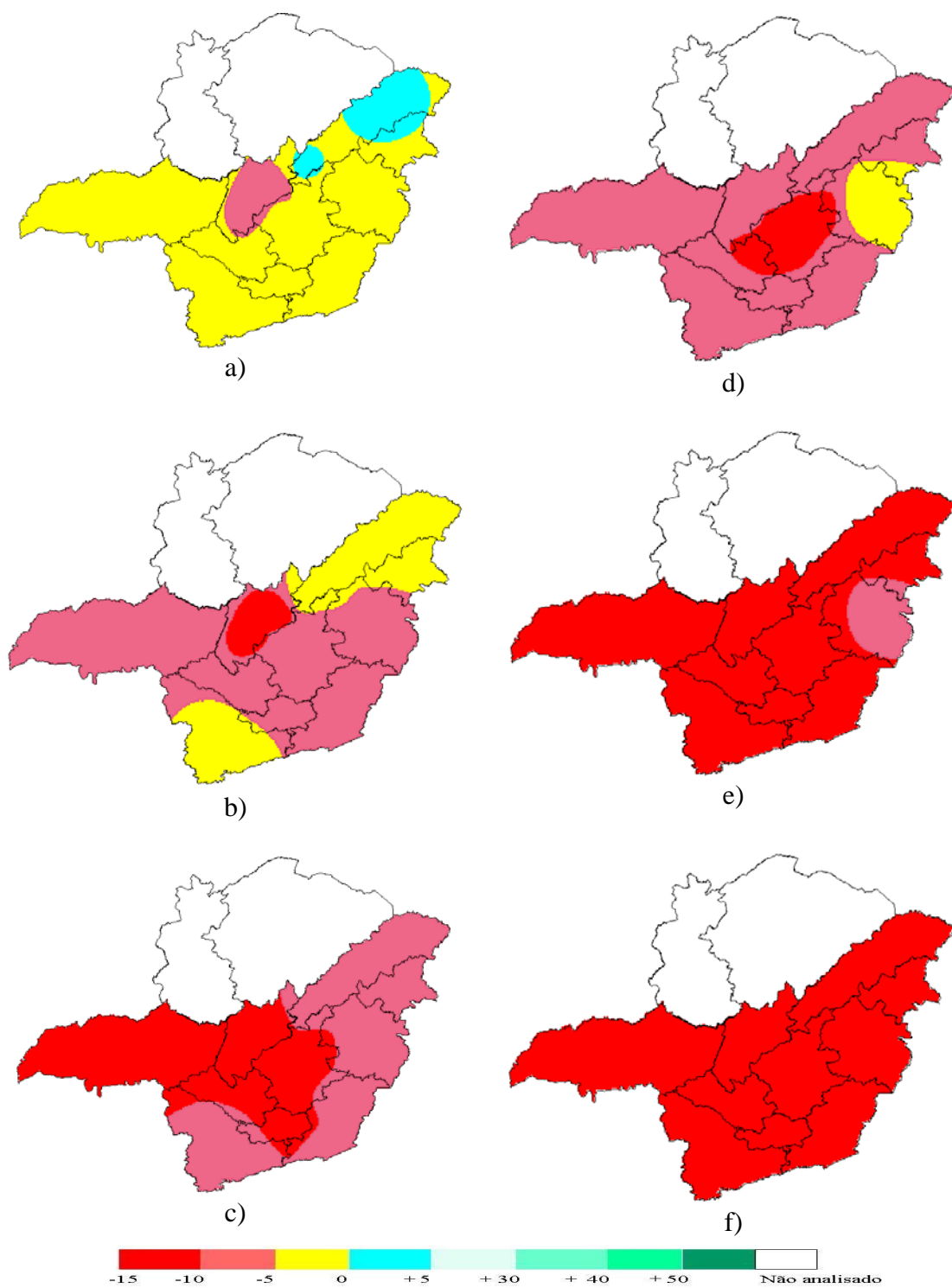


Figura 20 – Estimativa da redução da produtividade no Estado de Minas Gérias, da cultura do milho, para os cenários A2 para os anos: a) 2020; b) 2050, c)2080 e a duração do ciclo vegetativo para as projeções d) 2020; e) 2050, f)2080.

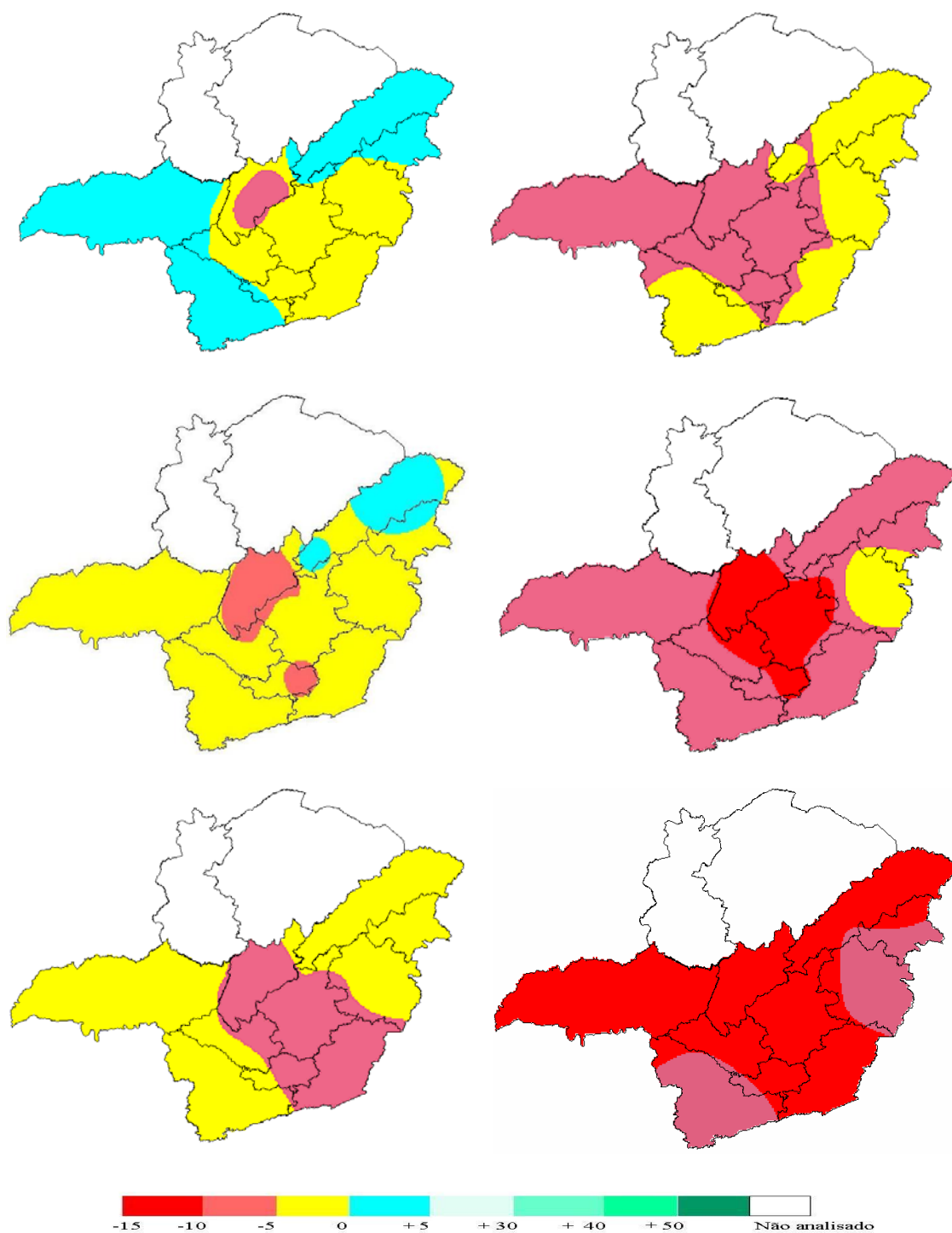


Figura 21 – Estimativa da redução da produtividade no Estado de Minas Gérias, da cultura do milho, para os cenários B2 para os anos: a) 2020; b) 2050, c)2080 e a duração do ciclo vegetativo para as projeções d) 2020; e) 2050, f)2080.

4. CONCLUSÕES

O potencial das mudanças climáticas na produção agrícola pode ser avaliado como positivo ou negativo. Positivos, pelo fato do aumento da produtividade média da cultura do feijão de até 50%. Negativas, pela redução da produtividade da cultura do milho com até 15%.

- Em condições ótimas de manejo e nutrientes os resultados encontrados no presente trabalho indicam um efeito positivo do aumento de CO₂ na produtividade da cultura do feijão em ambos os cenários A2 e B2.
- Para a cultura do milho os cenários A2 e B2 indicam uma redução na produtividade que pode alcançar até 15% dos valores atuais;
- Mais estudos com experimentos de campo e modelagem precisam ser realizados para o pleno entendimento dos mecanismos envolvidos nas respostas das culturas às mudanças climáticas.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. A. de B.; FONTES, Paulo Cezar Rezende; CARNEIRO, José Eustáquio S.; SCAPIM, Carlos Alberto; ALBUQUERQUE, Fernando Alves de. Produção de matéria seca total, taxa de crescimento absoluto e taxa de crescimento relativo de duas cultivares de feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 18 a 20/10/2005, 2005, Goiânia-GO. **Anais...** Goiânia, 2005. v. 2, p. 835-838.

ALEXANDROV, A.; HOOGENBOOM, G. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. **Agric Forest Meteorol.**, v.104, p. 315-327, 2000.

ASSAD, E. D.; SANO, E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na Agricultura.** Brasília : SPI/EMBRAPA, 1998. v.1, p. 434.

BETTS, R.A. et al. The role of ecosystem–atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. **Theor. Appl. Climatol.**, v. 78, n.1–3, p. 157-175, 2004.

CLIMATE CHANGE: the physical science basis. Summary for policymakers. **Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** This summary for policymakers was formally approved at the 10th Session of Working Group I of the IPCC. Paris, february 2007.

CAVALCANTI, I.F.A.; MARENGO, J.A.; P. SATYAMURTY, C.A.; NOBRE, J.P.; BONATTI, A.O.; MANZI, I.; TROSNIKOV, G.; SAMPAIO, H.; CAMARGO, M.B.; SANCHES, C.A.C.; CUNNINGHAM, C.; D´ALMEIDA, L.P.; PEZZI. Global climatological features in simulation using CPTEC/COLA AGCM. **J. Climate**, v.15, p. 2965-2988, 2002.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T. Sudeste do Brasil: uma região de transição no impacto de eventos extremos da Oscilação Sul. Parte I: El Niño. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, 1998. CD-ROM.

ERDA, L.; WEI, X.; HUI, J.; YINLONG, S.; YUE, L.; LIPING, B.; LIYONG, X. Climate change impacts on crop yield and quality with CO₂ fertilization in China. **Phil. Trans. R. Soc. B.**, B, 360, p. 2149-2154, 2005.

FAO. SPECIAL Event on Impact of climate change, pests and diseases on food security and poverty reduction. In: SESSION OF THE COMMITTEE ON WORLD FOOD SECURITY, 1., 2005, Rome. **Proceedings...**[S.l. : s.n.], 2005.

HARRISON, P.A.; PORTER, JR.; DOWNING, T.E. Scaling-up the AFRCWHEAT2 model to assess phenological development for wheat in Europe. **Agric Forest Meteorol.**, v. 101, p. 167-186, 2000.

HANSEN, J.W.; INDEJE, M. Linking dynamic seasonal climate forecasts with crop simulation for maize yield prediction in semi-arid Kenya. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 125, p. 143-157, 2004.

MARENGO, J.A. I.F.A.; CAVALCANTI, P.; SATYAMURTY, C.A.; NOBRE, J.P.; BONATTI, A.O.; MANZI, I.; TROSNIKOV, G.; SAMPAIO, H.; CAMARGO, M.B.; SANCHES, C.A.C.; CUNNINGHAM, C.; D'ALMEIDA, L.P. PEZZI. Ensemble simulation of regional rainfall features in the CPTEC/COLa atmospheric GCM. Skill and Predictability assessment and applications to climate predictions. **Climate Dynamics**, v. 21, p. 459-475, 2003.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JR., J.; BRUNINI, O. O aquecimento global e a agricultura. **Revista Eletrônica do Jornalismo Científico – COMCIENCIA-SBPC**, v. 35, p.1-6, 2002.

PARRY, M.L.; ROSENZWEIG, C.; IGLESIAS, A.; LIVERMORE, M.; FISCHER, G. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. **Global Environ. Change-Hum. Policy Dimensions**, v. 14, p. 53-67, 2004.

SIQUEIRA, O.J.W. de; SALLES, L.A. B. de; FERNANDES, J.M. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M.A. de; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. (Eds.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna, SP : Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 33-63.

SIQUEIRA, O.J.F. de; FARIAS, J.R.B. de; SANS, L.M.A. Efeitos potenciais de mudanças climáticas globais na agricultura e estudos de adaptação para trigo, milho e soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994.

SLINGO, J.M.; CHALLINOR, A.J.; HOSKINS, B.J.; WHEELER, T.R. Introduction: food crops in a changing climate. **Phil. Trans. R. Soc. B**, B, 360, p. 1983-1989, 2005.

SIQUEIRA, O.J.W.; STEINMETZ, S.; FERREIRA, M.F.; COSTA, A.C.; WOZNIAK, A.W. Mudanças climáticas projetadas através dos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p.311-320, 2000.

SIQUEIRA, O.J.W. de; SETEINMETZ, S.; FERREIRA, M.F., COSTA, A.C.; WOZNIAK, M.A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 311-320, 2000.

STRECK, N.A. Climate change and agroecosystems: the factor of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n.3, p.730-740, 2005.

SANTANA, M.O. **Análise espaço-temporal do regime de chuvas e seus efeitos no rendimento agrícola no estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG : UFV, 2004. 155 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

POPOVA, Z.; KERCHEVA, M. Integrated strategies for maize irrigation and fertilisation under water scarcity and environmental pressure in Bulgaria. **Journal Irrigation and Drainage**, v. 53, p. 105-113, 2004.

SALAZAR, L.; NOBRE, C.; OYAMA, M.D. **Uso de cenários de mudanças climáticas regionais em estudos de vulnerabilidade e adaptação no Brasil e na América do Sul (GOF-UK-CPTEC)**. [S.l. : s.n.], out. 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. por ROMANATO SANTARÉM et al.]. 3. ed. Porto Alegre : Artmed, 2004. p. 199-219.

TRNKA, M., DUBROVSKY, M., SERERÁDOVÁ, S. AND ZALUD, Z. Projections of uncertainties in climate change scenarios into expected winter wheat yields. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 77, p. 229-249, 2004.

TUBIELLO, F.N.; DONATELLI, M.; ROSENZWEIG, C.; STOCKLE, C.O. Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. **European Journal Agronomy**, v.13, p. 179-189, 2000.

TUBIELLO, F.N.; EWERT, F. Simulating the effects of elevated CO₂ on crops: approaches and applications for climate change. **European Journal Agronomy**, v. 18, p. 57-74, 2002.

CONCLUSÕES GERAIS

Pelos resultados deste estudo, pode-se afirmar que os modelos CROPGRO-Dry bean e CERES-MAIZE, nas diversas mesorregiões do Estado de Minas Gerais, apresentaram-se com relativo desempenho na estimativa das produtividades das culturas do feijão e do milho nas localidades estudadas, podendo ser ferramenta importante na análise da produtividade em diferentes ambientes e auxiliar as tomadas de decisão agrícola.

Os modelos CROPGRO-Dry bean e CERES-MAIZE mostraram maior sensibilidade à variável radiação solar do que as variáveis temperatura e precipitação, com redução na produtividade final das culturas, produzindo, assim, resultados lógicos em função das alterações do clima como parâmetros de entrada.

Na simulação da produtividade das culturas do feijão e do milho nos diferentes cenários A2 e B2 de impactos das mudanças climáticas, estes foram avaliados como positivos em razão do aumento da produtividade média da cultura do feijão e negativos por causa da redução na produtividade da cultura do milho em algumas localidades estudadas.

Ainda existe, entretanto, a necessidade de mais estudos experimentais, associados à modelagem matemática, para o pleno entendimento dos mecanismos envolvidos nas respostas das diferentes culturas às mudanças climáticas.

De maneira geral, conclui-se que os modelos produziram resultados coerentes com os da literatura, em virtude dos impactos proporcionados pelas mudanças climáticas.