

MARCELO CID DE AMORIM

**IMPACTO E PROJEÇÃO DE SÉRIES METEOROLÓGICAS
NA SAFRA DE MILHO EM 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
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

A524i
2008

Amorim, Marcelo Cid de, 1969-

Impacto e projeção de séries meteorológicas na safra de
milho em Minas Gerais / Marcelo Cid de Amorim.

– Viçosa, MG, 2008.

xiii, 219f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Luiz Cláudio Costa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 95-104.

1. Mudanças climáticas - Minas Gerais. 2. Milho -
Minas Gerais. 3. Climatologia - Minas Gerais. 4. Plantas -
Crescimento - Modelos Matemáticos - Minas Gerais.
5. Biometeorologia. 6. Climatologia agrícola - Minas Gerais.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 630.2515

MARCELO CID DE AMORIM

**IMPACTO E PROJEÇÃO DE SÉRIES METEOROLÓGICAS
NA SAFRA DE MILHO EM 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*.

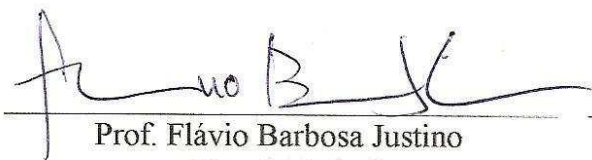
APROVADA: 22 de dezembro de 2008.



Prof. Brauliro Gonçalves Leal



Prof. José Maria Nogueira da Costa



Prof. Flávio Barbosa Justino
(Coorientador)



Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Coorientador)



Prof. Luiz Cláudio Costa
(Orientador)

Aos meus avós maternos, Dona Lurdes e Sr. Zé Hilário, e paternos, Dona Maria
Fernandes e Sr. Jonas Mafaldo, todos *in memoriam*.

Pelo eterno amor e saudade.

“Tudo o que acontece à Terra – acontece aos filhos da Terra. O homem não teceu
a teia da vida – ele é meramente um fio dela. O que quer que
ele faça à teia, ele faz a si mesmo.”
(Parte da carta do chefe Seattle ao Presidente norte-americano Franklin Pierce, em 1855).

AGRADECIMENTOS

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

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

Ao professor Luiz Cláudio Costa, pela orientação, confiança e amizade.

Aos professores José Maria Nogueira da Costa, Gilberto Chohaku Sedyama, Flávio Barbosa Justino e Brauliro Gonçalves Leal, pelas sugestões e pela amizade.

Aos meus colegas de curso, na pós-graduação em Meteorologia Agrícola, em especial Jael Rosignoli, Dr. José Luiz da Silva Jr., Michelly Eleutério, Rafael Rodrigues, Roziane dos Santos, Maria Emília Borges Alves e Evandro Chaves pelas sugestões, apoio e pela amizade.

Aos estudantes de graduação da UFV e bolsistas de iniciação científica: Jackson Martins, Marine Grossi, Rafael Cruz e Valquíria Sarpa, pelo apoio na condução do experimento.

Às funcionárias Zuleide Filgueiras, bibliotecária do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e Alessandra Fernandes Caetano, estatística da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER-MG), pela presteza e orientações no fornecimento dos dados.

Aos funcionários e técnicos do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo auxílio durante a tomada de dados.

À minha família, em especial, os meus pais, Sr. Gilmar Mafaldo de Amorim Fernandes e Dona Maria das Dores da Silva, pelo grande incentivo, amor e confiança.

Ao meu tio, Sr. Fernando Luiz da Silva por ser o meu exemplo que na vida não existem barreiras intransponíveis.

À família Gamba-Silva-Dias, em especial Alexandra da Silva Dias, pelo grande apoio, incentivo e carinho.

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MARCELO CID DE AMORIM, filho de Gilmar Mafaldo de Amorim Fernandes e Maria das Dores da Silva, nasceu em 16 de março de 1969, em Macaíba, Estado do Rio Grande do Norte.

Em 1989, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica, em Mossoró (RN), na Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), atual Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Em julho de 1994, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela ESAM.

Em março de 1995, iniciou o curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola, nesta mesma Universidade.

Em outubro de 1997, obteve o título de “Magister Scientiae”, na área de Meteorologia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa.

De abril de 1998 a outubro de 2002, foi bolsista de desenvolvimento tecnológico em áreas estratégicas (RHA/E/DTI/CNPq), lotado no Centro Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), em Cachoeira Paulista (SP). No mesmo período foi Coordenador do Programa de Monitoramento Clima, Tempo e Recursos Hídricos do Ministério de Ciência de Tecnologia (PMCTRH/MCT).

Entre novembro de 2002 e meados de 2004 atuou como agrometeorologista na Superintendência de Recursos Hídricos (SRH) da Bahia, em Salvador.

Em agosto de 2004, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, em nível de Doutorado.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1 – ADOÇÃO DE SÉRIES METEOROLÓGICAS NA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E PROJEÇÕES DO CLIMA NAS MESORREGIÕES DE MINAS GERAIS	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1. Área de estudo e base de dados	11
2.2. Séries meteorológicas em observações	12
2.2.1. Registros meteorológicos	12
2.2.2. Séries meteorológicas em reanálise	14
2.2.3. Registros meteorológicos em base sintética	16
2.2.4. Registros meteorológicos em cenário dinâmico	17
2.2.5. Estimativas da evapotranspiração de referência (ET)	19

	Página
2.2.6. Avaliação de inconsistências das séries meteorológicas	19
2.2.7. Validação dos dados	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1. Análises de inconsistência entre as séries meteorológicas	23
3.2. Validações das variáveis meteorológicas	27
3.2.1. Precipitação	27
3.2.2. Velocidade do vento	30
3.2.3. Temperaturas (máxima e mínima) e radiação solar incidente	32
3.2.4. Evapotranspiração de referência	36
3.3. Climatologias e séries de desvios: presente e futuro	36
CAPÍTULO 2 – EFEITOS TECNOLÓGICOS, IMPACTOS E PROJEÇÕES DO CLIMA EM CONDIÇÕES ATUAIS E DE AQUECIMENTO GLOBAL NAS SAFRAS DE MILHO EM MINAS GERAIS	52
1. INTRODUÇÃO	53
2. MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1. Área de estudo	57
2.2. Estimativa de safras pelo modelo CERES-MAIZE	58
2.3. Ambiente de simulação no <i>Crop Growth Model</i> (DSSAT)	60
2.3.1. Registros meteorológicos e concentração de CO ₂ atmosférico ...	60
2.3.2. Registros edáficos (perfis de solos)	61
2.3.3. Adoção de tecnologias no ambiente em simulação	62
2.3.4. Cenários em simulações e registros oficiais de safras	63
2.3.5. Aspectos biometeorológicos em aquecimento global	64
2.3.6. Análises de avanço tecnológico em “yield gap”	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65

	Página
3.1. Rendimentos: impactos e projeções nas safras de milho	65
3.2. Impactos e projeções biometeorológicos (cultivar BR201/EMBRAPA)	78
3.3. Eficiência do sistema produtivo: análise de “yield gap”	91
CONSIDERAÇÕES GERAIS E CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	95
APÊNDICES	105
APÊNDICE A	106
APÊNDICE B – Mesorregião do Sul de Minas e Sudoeste de Minas – MR01 .	117
APÊNDICE C – Mesorregião do Jequitinhonha – MR04	131
APÊNDICE D – Mesorregião do Vale Rio Doce – MR06	134
APÊNDICE E – Mesorregião Central Mineira – MR09	148
APÊNDICE F – Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte – MR10	162
APÊNDICE G – Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba – MR11 ..	176
APÊNDICE H – Mesorregião da Zona da Mata Mineira – MR12	190
APÊNDICE I – Safras reais, simuladas e avanço tecnológico	204

RESUMO

AMORIM, Marcelo Cid de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2008.
Impacto e projeção de séries meteorológicas na safra de milho em Minas Gerais. Orientador: Luiz Cláudio Costa. Coorientadores: Flávio Barbosa Justino e Gilberto Chohaku Sedyama.

O Estado de Minas Gerais é o terceiro maior produtor de milho do Brasil. Sendo o milho pouco tolerante a condições de adversidade do clima, principalmente nos períodos de florescimento e na formação dos grãos, esse fator na cultura tem apresentado grandes variações de produtividade de ano para ano, no Estado, em especial, na mesorregião do Jequitinhonha (MR04) e o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11). De tal modo, o objetivo deste trabalho foi de avaliar possíveis impactos, em condições atuais e de aquecimento, global nas safras de milho, em escala mesorregional, para Minas Gerais considerando ambiente (solos) e efeitos tecnológicos como: adubação química e cultivares. Na componente clima as variáveis meteorológicas sistematizadas foram: radiação solar incidente; velocidade vento, precipitação total; temperatura máxima e mínima estruturadas em séries observadas (INMET), em clima atual, nas safras 1971/1972 até 2003/2004. As séries futuras, entre 1991 até 2020, foram simuladas em base sintética (CLIMGEN) e dinâmica (ECHAM5/MPI-OM). Todavia, as premissas da elevação na concentração de CO₂ na atmosfera, no presente, foram medições anuais pela NOAA e, para o futuro, projeções do IPCC – cenário A1B. Para estimar as safras de milho, no presente estudo, utilizou-se o modelo CERES-MAIZE,

incluído no Sistema de Suporte para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT v.4.5) – confrontando os valores simulados com registros oficiais da EMATER (MG)/IBGE/CONAB. O avanço tecnológico regional, no presente, foi estabelecido por meio de análise em “yield gap”. Por fim, para contemplar respostas da planta com ambiente futuro foram produzidas análise em impactos biometeorológicos no milho, ou seja, estimativas da ocorrência do número dias sem chuva (NDSC); precipitação total; transpiração; evapotranspiração da cultura; graus-dias; duração do ciclo; índice de área foliar máximo e o índice de colheita (IC) durante o ciclo da cultura BR201. Com relação o efeito tecnológico a adubação química, mesmo que mínima, eleva de forma significativa os rendimentos. Todavia, em regiões secas ou em períodos veranicos, aplicar adubos não seria recomendado devido o caráter osmótico. Por sua vez, o CO₂ atmosférico confere estabilidade nas simulações. De acordo com os resultados, houve uma tendência de quebra safras, ano a ano, em registros meteorológicos proveniente de series dinâmica, inclusive no rendimento potencial. O impacto nas mesorregiões foi, principalmente, em consequência da elevação da temperatura mínima e redução na redução do volume de precipitação tanto no período crítico quanto no ciclo do milho. As séries meteorológicas sintéticas, no geral, preservaram no futuro as tendências do presente. Deste modo, para cultivar BR201, avaliando impactos biometeorológicos, notou-se, no geral, uma redução no ciclo vegetativo devido à elevação dos graus-dias e redução no volume de chuva tanto na fase crítica quanto no ciclo total; na transpiração, no índice de área foliar máximo e no índice de colheita. A tendência de elevação de CO₂ atmosférico em projeções do IPCC-AR4 e sistematizada no modelo ECHAM5/MPI-OM produzirá, em Minas Gerais, um ambiente climaticamente pouco favorável atividade econômica do milho e para regiões mais pobres ou vulneráveis a tendência seria para um colapso do sistema produtivo.

ABSTRACT

AMORIM, Marcelo Cid de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2008.
Impact and projection of meteorological series in rendimento productivity the harvest of maize in Minas Gerais. Adviser: Luiz Cláudio Costa. Co-advisers: Flávio Barbosa Justino and Gilberto Chohaku Sedyama.

The state of Minas Gerais is the third largest producer of corn in Brazil. Being that the corn is little tolerant to adverse climate conditions, principally during the pollination and grain formation periods, this factor has caused large variations in yield from year to year, especially in the subregions of Jequitinhonha (MR04), Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba (MR11) located in the state of Minas Gerais. The objective of this work was to evaluate possible impacts on the corn growth period, under both current and warming conditions on a subregional scale, considering the environment (soils) and technological effects such as chemical fertilizing and genetically modified crops. The systemized meteorological variables used for the climate component were: incident solar radiation, wind speed, total precipitation, maximum and minimum temperatures structured in observed series (INMET), during the corn growing periods of 1971/1972 to 2003/2004. The predicted series, from 1991 to 2020, were simulated based on synthetic (CLIMGEN) and dynamic (ECHAM5/MPI-OM) data. Concentrations of CO₂ in the atmosphere were measured annually by the NOAA and projections were made by the IPCC – scenario A1B. The present study used the CERES-MAIZE model to estimate corn yields, including the Support System for

Agrotechnology Transfer (DSSAT v.4.5) – opposing the simulated values officially registered by EMATER (MG)/IBGE/CONAB. Current regional technological advances were established using the yield gap analysis. Plant response to the future environmental conditions were determined by the biometeorological impacts on corn which included the estimation of the number of days without rain (NDSC), total precipitation, transpiration, evapotranspiration of the crop, degree-days, cycle duration, maximum foliar area index and the harvest index (IC) during the BR201 crop cycle. With respect to the technological effect of chemical fertilizing, even minimal fertilization had a significant on yields. However, in dry regions or during drought short periods, fertilization is not recommended due to its osmotic characteristic. Atmospheric CO₂ showed to be stable in the simulations. According to the results, there was a tendency of short harvests from year to year in the meteorological records provided by the dynamic series, including the potential yield. The impact on the subregions was, principally a consequence of the elevation in minimal temperature and reduction in precipitation, both during the critical period and the overall corn cycle. In general, the synthetic meteorological series preserved the present tendencies in the future. Therefore, when evaluating the biometeorological impacts on the BR201 species, it was noted that in general a reduction in the vegetative cycle due to the elevation of the degree-day and decrease in rainfall both in the critical phase and overall cycle, the transpiration, maximum foliar area index and harvest index. The tendency for atmospheric CO₂ elevation in projections made by IPCC-AR4 and systemized in the ECHAM5/MPI-OM model will produce an economically unfavorable environment in the state of Minas Gerais, and in poorer of more vulnerable regions, a collapse of the production system.

INTRODUÇÃO GERAL

O mundo, nesses últimos anos, vem passando por um processo acelerado de crescimento econômico que vem alterando paisagens e as suas fronteiras. Tais alterações, nocivas ao planeta, em parte, são motivadas pelo homem por explorar desordenadamente os recursos naturais, ou seja, efeitos que denominamos de antropogênicos. O cenário atual converge para alterações no clima que produzirão danos irreparáveis aos diversos biomas e tornará devastadora a condição de vida do ser humano em diversas regiões do planeta (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2008; PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD, 2008).

Neste sentido, se faz necessário reunir esforços em pesquisas sobre **séries históricas de variáveis climáticas e hidrológicas**, avaliando possíveis alterações nos regimes, tendências e alterações do padrão climático, independente da escala de espaço e tempo. De tal modo, o caminho seria a estruturação de cenários e projeções do clima retratando as características e tendências, ou seja, indicando que tais variabilidades possam ser de ordem natural ou interferência direta ou indireta do ser humano no ambiente. Para o Brasil, e a maioria dos países em desenvolvimento, isso não seria uma tarefa trivial justamente pela falta de série e registros meteorológicos confiáveis e contínuos, tão essenciais na identificação de quando e como vem acontecendo possíveis alterações. Deste modo, estão aqui lançados os paradigmas da ciência da sustentabilidade e vulnerabilidade dos recursos naturais, da qualidade de vida dos seres vivos e do homem e da própria economia mundial.

O Relatório sobre Desenvolvimento Mundial, em 2007, intitulado **Agricultura para o Desenvolvimento**, adverte que as metas internacionais de redução da pobreza extrema e a fome pela metade, até 2015, encontram-se seriamente comprometidas e que, será pouco provável que as mesmas sejam alcançadas. Para se atingir tais objetivos, serão necessárias mais ações dos governos e vultosos investimentos injetados, principalmente, nos setores agrícolas e na população rural dos países em desenvolvimento. De fato, “a pobreza rural, ou do campo, é responsável, extraordinariamente, por 82% de todos os miseráveis no planeta”, afirmou *Robert Zoellick*, Presidente do Banco Mundial. Nesta ótica, as agências internacionais consideram a agricultura como a chave ou ponto de segurança para o comprimento de quaisquer metas que sejam direcionadas a programas de desenvolvimento. A expectativa é que aumento de incentivos no PIB agropecuário em nações em desenvolvimento seria, cerca de quatro vezes, mais eficaz no combate e redução da pobreza que investimentos no PIB de outros setores.

Em 2007, o Banco Mundial – BM (2008), após um realinhamento e adequação de estimativas, sinalizou com um número alarmante no qual indicava que a situação da pobreza mundial era muito mais grave do que se podia imaginar. Ou seja, o número atual de miseráveis no planeta seria da ordem 1,4 bilhão de pessoas – a margem anterior dava conta de 985 milhões. Como exemplo, cita-se a situação considerada mais crítica que é da população localizada na África *Sub-Saariana*. Entre 1981 e 2005, o número de pobres desta região quase dobrou, indo de 200 milhões de pessoas para 380 milhões. De tal modo, alertou o Banco Mundial, persistindo esta situação, esta região terá um terço dos pobres do planeta até 2015.

Neste mesmo direcionamento, é importante lembrar que o Brasil é um país que ainda padece com problemas oriundos de um quadro de pobreza crônica e fome. Villa (2000), por exemplo, retratou a problemática das secas e os seus efeitos, principalmente, no Nordeste Brasileiro (NEB), relatando em seu estudo o saldo de mortos com as sucessivas secas registradas. Esta matemática mórbida mostra que, nos últimos dois séculos, mais de três milhões de brasileiros morreram em decorrência dos efeitos da fome, sede e doenças – sendo as crianças principais vítimas.

Índices que retratam abordagens como pobreza, miséria e fome representam uma estatística árdua e vergonhosa para a maioria dos países, pois, em geral, representam o imobilismo das autoridades públicas e da sociedade. Curiosamente, em 2002, os especialistas divergiam quanto ao número de brasileiros sem renda suficiente

para prover uma alimentação adequada. O Banco Mundial apontava a existência de 15 milhões de miseráveis, enquanto o Instituto de Pesquisas Econômicas e Aplicada (IPEA) dava conta da existência de 22 milhões de indigentes. Em contrapartida, o Instituto Cidadania (IC) apontava para 44 milhões e o Centro de Políticas Sociais da Fundação Getúlio Vargas (FGV) sinalizava para alarmantes 50 milhões de indivíduos. Todavia, em 2008, os dados indicam que o país ainda teria um contingente em torno de 11,3 milhões de indivíduos vivendo em condições abaixo da linha da pobreza. Porém, espera-se que 2/3 desta população, em quadro crítico, estejam distribuídos numa área problema, conhecida como **polígono das secas** – incluindo ainda o Maranhão e o norte do Espírito Santo.

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) anui com o Banco Mundial ao acordar que a pobreza é mais preocupante e as expectativas está alinhada para a condição alimentar da população mundial que será mais delicada (PNUD, 2008). A problemática converge para os cenários globais de mudanças climáticas que assumirão um papel de ator indesejável ao pressionar áreas, regiões e países vulneráveis – regiões que concentram o maior número de indivíduos em extrema pobreza – em função das alterações no regime pluviométrico, temperatura e disponibilidade de água que comprometerão safras e, conseqüentemente, o abastecimento de alimentos para a população. Nesta ordem, as mudanças climáticas forçarão a elevação dos preços dos alimentos e nem mesmo as pessoas com melhores condições de renda estarão livres dos castigos impostos por tais alterações, pois a degradação em virtude dos choques climáticos destruirá com extrema voracidade as capacidades humanas de estabelecimento e desenvolvimento – tendência a cada dia observada em diversos países, inclusive, nos desenvolvidos. Transfere-se, assim, à agricultura e aos recursos hídricos o maior desafio deste século que é de alimentar e matar a sede de uma população mundial que atualmente é da ordem de seis bilhões de pessoas.

Nos dias atuais, podem-se considerar as mudanças globais do clima, e a quantificação de seus efeitos, como um dos maiores desafios científicos da humanidade. O estudo das mudanças climáticas é objeto em várias iniciativas internacionais – incluindo com destaque o Brasil – visando esboçar cenários futuros do clima, quantificando alterações e propondo medidas de mitigação e adaptação para a sociedade. Tecnicamente, os cenários futuros de clima são retratados por meio de processos de interações dinâmicas entre os sistemas *água-solo-planta-atmosfera-*

oceano-gelo que permitem avaliar impactos em diversos biomas, na produção agrícola e entre outros ambientes. Todavia, a questão central tende para o aumento na concentração de gases e partículas causadores de efeito estufa na atmosfera como: o dióxido de carbono, metano, nitratos, clorofluórcarbono (CFC), água, fuligens e outros aerossóis – em grande parte emitida pelas atividades humana. Neste destaque surgiram os relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) que é atual base para pesquisas da maioria dos cientistas pelo mundo. No último relatório (IPCC, 2008), permanece a tendência de aumento da temperatura média do ar e a possibilidade eminente da ocorrência de eventos extremos como secas e enchentes. O estudo prevê, ainda, um aumento da precipitação média anual nas regiões a latitudes mais elevadas, assim como nas regiões equatoriais, em oposição a uma diminuição da precipitação nas regiões subtropicais.

O ambiente agrícola, notoriamente, é um dos primeiros setores a sentir os efeitos das adversidades do clima, por ser dependente do conteúdo de água no solo nos diferentes estádios de crescimento da planta. De fato, a variabilidade do clima tem sido a principal fonte de flutuações na produção mundial de alimentos em regiões áridas e semi-áridas dos países tropicais (EVANS, 1993; SIVAKUMAR et al., 2005). Em 1990, o Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA) identificou as principais causas de perdas na agricultura do País. Os resultados foram surpreendentes ao indicar que 95% das perdas se davam por razões climáticas, sobretudo secas ou excesso de chuvas. Hoje em dia, as perdas tão pouco foram mitigadas. A Confederação Nacional da Agricultura (CNA) indicou que, nas últimas duas safras, o setor agrícola no Brasil registrou perdas diretas de 26,5 milhões de toneladas da produção por causa das condições climáticas (SECRETARIA DE ESTADO AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – SEAPA, 2007).

Como abordado, o horizonte que amenizará os feitos nocivos da fome e da pobreza no planeta convergem para o campo. Desse modo, trilhando exatamente por este caminho é que o Brasil vem reduzindo o número de indigentes e erguendo, sustentavelmente, outros indexadores socioeconômicos, como por exemplo: Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); emprego; acesso ao crédito, poder de compra, redução do trabalho infantil, aumento do número e frequência de crianças e jovens em sala de aula, aumento expectativa de vida, equilíbrio na taxa de natalidade e etc. De fato, a comunidade internacional contempla o Brasil como uma das mais respeitáveis plataformas de geração de alimentos e energia. E, atualmente, o mundo enxerga as

safras brasileiras como balizadoras de preço e atuam, estrategicamente, na regulação dos estoques mundiais.

No geral, o clima brasileiro é privilegiado por ter chuvas regulares, energia solar abundante e quase 13% de toda a água doce disponível no planeta. Estes elementos, aliados a dimensão continental, fazem do país um lugar de vocação natural atividade agrícola. Entretanto, apesar das dificuldades costumeiras, a agricultura e a pecuária, vem contribuindo para o crescimento da economia e equilibrando as contas externas – evento observado pelo expressivo superávit comercial do setor. Os registros CEPEA/ESALq, das últimas 18 safras, indicam que o agronegócio brasileiro vem respondendo por mais de 30% do PIB total e, atualmente, gera divisas globais superiores aos R\$ 645 bilhões. Com este enfoque, o Governo considera o agronegócio como um dos pilares da nossa economia. Camargos (2003) cita que o Brasil poderá aumentar sua área de cultivo, nos próximos 50 anos, em nada menos que 170 milhões de hectares, ou seja, praticamente o mesmo espaço ocupado pelas plantações norte-americanas. As previsões apontam que o agronegócio, por volta de 2030, produzirá cifras da ordem de 40 trilhões de dólares, ou seja, algo em torno de 60% do PIB nacional. Com estas estimativas o Brasil poderá ultrapassar a produção agrícola dos Estados Unidos. Situação que, certamente, consolidará como um dos principais produtores de alimento e energia do mundo.

Entretanto, as premissas das mudanças do clima, sejam em escala regional ou global, sistematicamente defendidas no IPCC (2008), num foco estratégico não compõem quaisquer análises de projeções de safras do Brasil (BRASIL, 2006) – apesar dos riscos eminentes e da elevada importância do setor para nossa economia. Este descrédito em tais cenários deva-se a fatores como: as sucessivas quebras de recordes do setor agropecuário promovido por novas tecnologias; a credibilidade internacional da agricultura brasileira; elevado nível de incertezas que são instrumentos retóricos nos estudos de mudanças climáticas; alarmismos ou terrorismo no trato da divulgação científica no âmbito da sociedade; alguns critérios para os processos biofísicos questionáveis; dificuldades inerentes dos aspectos operacionais, científicos e multidisciplinares e, por fim, a falta de técnicas padronizadas consideradas essenciais em validações de estudos climáticos.

Por sua vez, avaliar impactos na produção agrícola em um país, ou até mesmo em uma região, é uma tarefa incomensurável. Naturalmente, cada cultura responde ao ambiente de forma diferente. Porém, no foco regional, seria necessário promover a

sistematização dos registros de clima e das características edáficas; considerar aspectos ecofisiológicos e fitotécnicos determinantes; conhecer o perfil e a potencialidade dos produtores agrícolas; sistematizar por meio de levantamentos riscos e impactos abióticos e bióticos (pragas e doenças) nas safras; e, como estratégia, avaliar o escoamento da produção, armazenamento e mercados e etc. Deste modo, tem-se um sistema agrícola moderno, precavido, eficiente na geração de renda e sustentável.

Aqui se insere o milho, no contexto agrícola brasileiro e mundial, pode ser considerada, a cultura mais adequada para promover avaliações de possíveis impactos do clima no ambiente agrícola e na sociedade. Isto devido a aspectos como, por exemplo: (a) ser cultivada em todas as áreas com clima tropical e subtropical do planeta, ou seja, as lavouras crescem em diversos tipos de manejos, clima e solo; (b) é fonte de calorias e compõe a dieta de grande parte da população mundial, em especial, a população de baixa renda e se constitui como importante fonte de renda para a agricultura familiar; (c) em termos macroeconômicos a produção o milho é uma *commodity* de valor estratégico, pois, 70% a 80% da produção mundial são destinadas alimentação animal, especialmente, aves e suínos (SEAPA, 2007); (d) Não difere níveis econômicos dos produtores sendo cultivada por produtores em alto e baixo padrão tecnológico (camponeses, posseiros, sem-terra, nômades e até índios).

Dentro de um enfoque local, enfatiza-se que o Estado de Minas Gerais têm registros oficiais de produção de milho em todos os seus 853 municípios. E, atualmente, no fechamento das safras em 2008 o Estado vem se consolidando como o terceiro produtor nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2008). Contudo, o quadro macroeconômico das safras brasileiras e mineira de milho norteia para um futuro promissor, por vários aspectos que valorizam esta *commodity* nos mercados, por exemplo: (a) redução gradativa dos estoques mundiais; (b) crescimento econômico da China e Índia; (c) aumento mundial do consumo de ovos e carne, principalmente, de suínos e aves; (c) a decisão do governo norte-americano de produzir etanol a partir de milho; e, por fim, (d) abertura legal do plantio de cultivares geneticamente modificado (transgênicos).

Neste contexto, todas as considerações que enaltecem a importância da estruturação de séries históricas de clima; as expectativas diante das mudanças climáticas globais e possíveis impactos nas safras; a geopolítica da fome e pobreza da população pelo mundo; e por fim, o milho como umas das culturas mais importantes na geração de divisas e para segurança da população concebem a essência desta pesquisa.

Deste modo, os objetivos deste trabalho serão, essencialmente, retratados por três vertentes:

1. Estruturação e avaliação de cenários futuros por meio de metodologias clássicas de simulação, ou seja: (a) adoções de modelos estocásticos visando estruturar séries meteorológicas sintéticas; e de (b) simulações numéricas que descrevem os principais processos físicos e dinâmicos envolvidos na atmosfera que são denominados de Modelos de Circulação;
2. Promover verificações de inconsistências e validações por meios de técnicas qualitativas nos conceitos de séries meteorológicas aplicado no estudo;
3. Sistematizar para Minas Gerais, em escala regional, o rendimento das safras de milho confrontando saídas de simulações, baseada em modelagem de processos fisiológicos, confrontando com registros oficiais. No contexto, avaliando impactos de alguns aspectos tecnológicos e fitotécnicos associando as premissas dos cenários futuros de mudanças climáticas antropogênicas.

CAPÍTULO 1

ADOÇÃO DE SÉRIES METEOROLÓGICAS NA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E PROJEÇÕES DO CLIMA NAS MESORREGIÕES DE MINAS GERAIS

RESUMO: O mundo, nos últimos anos, vem passando por um processo de crescimento econômico que vem alterando suas fronteiras. Tais alterações, nocivas ao planeta, em parte, são motivadas pela forma em que o homem vem explorando desordenadamente os recursos naturais. O cenário atual converge para alterações no clima que produzirão danos irreparáveis aos diversos biomas e tornarão devastadora a condição de vida em diversas áreas do planeta. Nesta ordem, faz-se necessário reunir esforços em estudos e pesquisas sobre séries históricas de variáveis hidrometeorológicas. Avaliando alterações nos regimes, tendências e novos padrões climáticos independente da escala de espaço e tempo. Assim, o objetivo deste trabalho foi de avaliar diferentes conceitos empregados para estruturar séries meteorológicas tanto para o presente quanto para o futuro. Os registros meteorológicos estudados foram: precipitação, temperaturas máxima e mínima, velocidade do vento, radiação global incidente e evapotranspiração de referência. Para o presente, entre 1961 até 2004, foram utilizados registros meteorológicos do INMET e registros em reanálise do ECMWF/ERA40. Para o futuro, entre 1991 e 2020, as séries foram geradas por meio do programa CLINGEN, com base estatística, e pelo modelo dinâmico ECHAM5/MPI-OM, acoplado e forçado com CO₂ do cenário A1B. Em todas as séries, em cada mesorregião mineira, os registros foram integrados em período mensal (média e acúmulos). Todavia, num período comum, entre 1991 até 2004, foram produzidas análises de inconsistência entre as séries por meio do método da dupla-massa e promovida às validações para dimensionar erros e tendências. Para isto, foram estimados MAE, MBE, RMSE e erro relativo (ER), teste “t”, índice de concordância de Willmott (d) e o coeficiente de determinação (r^2). Em geral, no período de validação, todas as séries meteorológicas foram consistentes quando comparado com registros oficiais do INMET. Por sua vez, as séries meteorológicas em reanálise foi o conceito que melhor representou os registros oficiais e em todas as mesorregiões, seguido do CLINGEN e, por fim, o ECHAM5/MPI-OM. Contudo, nas validações, a velocidade do vento e a precipitação foram às variáveis que apresentaram maiores erros

e imprecisões. Em contrapartida, séries de evapotranspiração de referência foram de melhores ajustes e precisões. Num balanço final, foram produzidas climatologias mesorregional tanto para o presente (1961-1990) quanto para o futuro (1991 a 2020) e validadas a partir da climatologia oficial (INMET, 1961-1990). No presente, as séries observadas, com falhas preenchidas por meio de reanálise, foram consideradas fidedignas, quando comparadas aos os registros oficiais. Deste modo, os resultados sugerem que os registros meteorológicos, em reanálises, apresentam-se como fonte potencial para preenchimentos de falhas. Todavia, as séries sintéticas preservaram os atuais padrões meteorológicos no futuro em todas as mesorregiões avaliadas. Porém, erros e imprecisões nas temperaturas foram freqüentes. As series dinâmicas, em relação à temperatura mínima e a precipitação, foram a que mais alteraram os padrões climáticos nas mesorregiões mineira. Por meio da análise dos desvios, entre 1991 a 2020, não foi possível observar alterações abruptas no clima. Contudo, maiores desvios são observados nas séries dinâmicas, o que sugere mais instabilidades nas variáveis meteorológicas devido o aquecimento atmosférico forçado pela elevação na concentração de dióxido de carbono.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Climatologia; Validação; Minas Gerais.

1. INTRODUÇÃO

A definição do clima ou de eventos meteorológicos vem sendo, dia após dia, um elemento essencial na tomada de decisões para a população, empresas e outros segmentos que promovem o desenvolvimento de uma região ou até mesmo de um país. Deste modo, por exemplo, setores como a construção civil, turismo, saúde pública, abastecimento, geração e distribuição de energia elétrica planejam e executam as decisões operacionais em total sintonia e concordância com a variabilidade do clima. Outro setor com alta dependência climática é a agricultura – atualmente, na conjuntura mundial, assume papel determinante na geração de alimentos, empregos e divisas na maioria das nações.

No campo, os agricultores utilizam, sistematicamente, as oscilações e os riscos impostos pelo clima para o desenvolvimento das lavouras para almejar o sustento e rentabilidade. De fato, no balanço agrícola, o clima atua de forma contundente desde os tratos de implantação das culturas até na definição do melhor momento de comercializar as produções.

Para o planejamento de atividades econômicas, como citado, é essencial adoção de estudos através de series meteorológicas. Ou seja, quando são organizados dados em seqüência, por exemplo, os registros meteorológicos ou hidrológicos permitem produzir caracterizações e tendências por meio da análise temporal dos

valores, sejam observados ou, até mesmo, simulados. Deste modo, conceitualmente, uma série temporal seria uma seqüência de valores numéricos ordenados cronologicamente de acordo com suas ocorrências.

De acordo com Righetto (1998), uma série temporal pode possuir três conceitos imperativos, isto é, um componente de tendência, um de periodicidade e um aleatório. O componente de tendência relaciona qualquer aumento ou diminuição das variáveis ao longo do tempo. O componente de periodicidade descreve as variações sazonais em função das condições climáticas e o componente aleatório descreve a casualidade na ocorrência das variáveis do clima.

Observações meteorológicas, como citado, são ferramentas essenciais em estudos de previsão do tempo, bem como, na avaliação de impactos ao meio-ambiente, áreas urbanas, saúde pública, safras agrícolas e em diversos outros setores. Nesta ordem, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) recomenda uma dedicação especial na etapa de coleta e tratamento das informações do estado da atmosfera, bem como, em pesquisas sobre **séries históricas de variáveis climáticas e hidrológicas** avaliando, de forma minuciosa, possíveis alterações nos regimes, tendências e alterações do padrão climático, independente da escala de espaço e tempo. Devido a sua importância, a citada organização vem padronizando e produzindo recomendações técnicas para obtenção dos registros meteorológicos (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO, 2003 e 2006).

Vários estudos, na esfera global, sinalizam para mudanças do clima. A problemática converge para os cenários globais de mudanças climáticas como fator indesejável ao pressionar áreas e países vulneráveis. A expectativa vem na forma de eventos extremos como secas e a própria inviabilidade dos cultivos agrícolas em diversas áreas do planeta. A atual conjuntura sinaliza que tais alterações nos regimes colocarão em risco toda cadeia produtiva e a qualidade de vida no planeta. Desta forma, aqui serão discutidas duas alternativas, em forma de séries, para avaliar tais projeções ou cenários, ou seja: estruturação de séries meteorológicas sintéticas e dinâmicas. A primeira regida por princípios e relações estocásticas e probabilísticas e a segunda por sistemas caóticos, baseados em princípios físicos e equações diferenciais de continuidade, numa tentativa de envolver as complexas interações entre os sistemas *atmosfera-superfícies-oceanos-vegetação-gelo*.

Desta forma, os objetivos deste trabalho são: (a) estruturar séries meteorológicas regionais para o Estado de Minas Gerais, tanto para o presente quanto

para o futuro, considerando alguns conceitos de organização e estruturação referentes, ou seja: séries observadas em estações meteorológicas; grades de campos de reanálise; e séries em bases sintéticas e dinâmicas; (b) promover consistências e validações entre as séries meteorológicas; (c) avaliar possíveis alterações no padrão do clima; e, por fim, (d) estruturar as climatologias regionais das variáveis meteorológicas para Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo e base de dados

O estado de Minas Gerais está situado na Região Sudeste do Brasil, entre os paralelos 14°13'57" e 22°55'22" (S) e os meridianos de 39°51'23" e 51°02'45" (W). Ou seja, localizado na zona intertropical e sujeito a uma considerável diversidade climáticas. Citando, como exemplo, o fato deste Estado abranger 86 municípios de clima considerado crítico, ou seja, severamente assolados por secas, correspondendo a uma área de 121.491 km² que, de acordo com a lei federal, compõe o extremo sul da uma região conhecida como "Polígono das Secas". Ressalta-se, todavia, que na fisiografia do Estado o que é marcante com relevos acentuados.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estruturaram a divisão do Estado de Minas Gerais em 12 mesorregiões geográficas (Figura 1): Sul e Sudoeste de Minas (MR01); Noroeste de Minas (MR02); Norte de Minas (MR03); Jequitinhonha (MR04); Vale do Mucuri (MR05); Vale do Rio Doce (MR06); Oeste Mineiro (MR07); Campos das Vertentes (MR08); Central Mineira (MR09); Metropolitana de Belo Horizonte (MR10); Triângulo e Alto do Parnaíba (MR11) e Zona da Mata Mineira (MR12) – o IBGE define mesorregião como uma subdivisão adotada no Brasil que congrega diversos municípios de uma área geográfica com similaridades econômicas e sociais. É, frequentemente, utilizada para fins estatísticos e não constitui, portanto, uma entidade política ou administrativa.

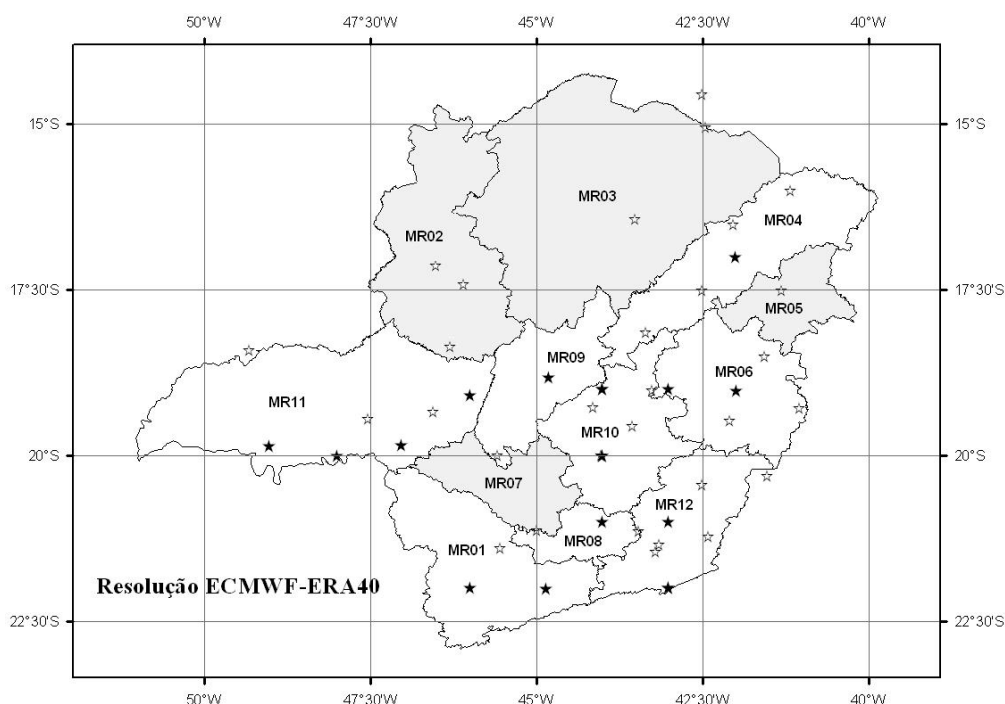


Figura 1 – Estado de Minas Gerais – divisão em mesorregiões/IBGE. (☆) Estações do INMET não utilizadas no estudo – área cinza sem registros meteorológicos contínuo; (★) Estações do INMET adotada no estudo. Grade com resolução do campo de reanálise do ECMWF/ERA40 – 16 Células de resolução para cobrir 100% da área estadual.

Os valores médios das coordenadas geográficas (altitude, latitude e longitude), área (km²), número de municípios, densidade populacional e o desenvolvimento humano de cada mesorregião mineira, são apresentados no Quadro 1A.

2.2. Séries meteorológicas

2.2.1. Registros meteorológicos em observações

Foram utilizados registros meteorológicos diários de precipitação total, em mm; temperaturas máxima e mínima, °C; insolação, em horas de brilho solar; e velocidade do vento a 10 metros, em m/s, coletados em estações sinóticas de Superfície do 5.º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), considerando o período de 1960 a 2004. Na Figura 1 é possível localizar as estações

meteorológicas utilizadas no estudo, cujas referências e códigos estão relacionados no Quadro 1.

Frequentemente, as séries em registros meteorológicos apresentam problemas de estruturação e coleta. De fato, é rotina a ocorrência de problemas e erros em coletas de registros tanto em estações convencionais quanto em sistema de coleta digital em estações meteorológicas automáticas. Como exemplo de erros: ocorrência de medidas espúrias, valores fora da escala de unidade permitida, erros de leitura em paralaxe, registros desordenados e outros. Entretanto, o problema sistêmico de maior impacto no estudo foi à ausência parcial ou total de registros meteorológicos, ou seja, as falhas (individuais ou em série). A existência dessas falhas, na maioria das vezes, inviabiliza simulações de crescimento, desenvolvimento e rendimento de plantas. Em um balanço geral, as variáveis meteorológicas que apresentaram um maior número de ocorrência de falhas foram: radiação incidente, insolação e, principalmente, velocidade do vento – veja % de falhas no Quadro 2A.

Quadro 1 – Referenciamento e códigos das estações meteorológicas do INMET em Minas Gerais

Código	Estação Sinótica	Mesorregião	Longitude	Latitude*	Altitude**
83037	Coronel Pacheco	MR12	-43,25	-21,58	435
83442	Araçuaí	MR04	-16,83	-41,74	285
83531	Patos de Minas	MR11	-46,43	-18,52	940
83536	Curvelo	MR09	-44,45	-18,75	672
83538	Diamantina	MR04	-43,60	-18,25	1296
83543	Governador Valadares	MR06	-41,93	-18,85	148
83570	Pompeu	MR09	-45,00	-19,22	690
83574	Frutal	MR11	-48,93	-20,03	543
83577	Uberaba	MR11	-47,95	-19,73	737
83579	Araxá	MR11	-46,93	-19,60	1023
83581	Florestal	MR10	-44,42	-19,87	748
83586	Sete Lagoas	MR10	-44,25	-19,47	732
83587	Belo Horizonte	MR10	-43,93	-19,93	915
83589	Conceição do Mato Dentro	MR10	-43,43	-19,02	652
83642	Viçosa	MR12	-20,75	-42,88	698
83683	Machado	MR01	-45,92	-21,67	873
83689	Barbacena	MR08	-43,77	-21,25	1126
83692	Juiz de Fora	MR12	-43,35	-21,77	940
83736	São Lourenço	MR01	-45,02	-22,10	953
83737	Passa Quatro	MR01	-44,97	-22,38	920

* Negativa: localidade situada no Hemisfério Sul

** Altitude em metros.

Neste sentido, foram adotadas duas soluções para mitigar o problema de ocorrência de falhas: (a) foram produzidas médias para as variáveis meteorológicas, distintamente, entre os postos situados em cada mesorregião. No Quadro 1, por exemplo, para delinear o clima mesorregional da Zona da Mata Mineira (MR12), foram estruturadas médias diárias da insolação, precipitação total, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima entre as estações meteorológicas dos municípios de Coronel Pacheco, Juiz de Fora e Viçosa. Contudo, apesar deste artifício, não foi possível garantir a eliminação de ocorrência de falhas nas mesorregiões. Portanto, aplicou-se uma segunda alternativa de preenchimento total das falhas, ou seja, (b) a utilização direta dos registros diários de reanálises do ECMWF/ERA40 (definição a seguir). No Apêndice A, o Quadro 2A, que também retrata a proporção total de registros em reanálise inseridos nas séries de dados observados para suprirem falhas. De tal modo, foi possível garantir a estruturação de séries contínuas entre 1.º de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 2004.

2.2.2. Séries meteorológicas em reanálise

Os registros meteorológicos em reanálises são produtos estruturados a partir de integração física e dinâmica entre os dados meteorológicos de superfície e atmosfera. Ou seja, consistem na sistematização, em campos globais, das observações meteorológicas em diferentes pontos do planeta, que possibilita formar uma base de informação ágil para pesquisa e monitoramento do clima (KALNAY et al., 1996). Aplicadas, amplamente, como *feedback* ou inicializadores de modelos de circulação geral (MCG) ou em combinação entre modelos atmosféricos e estatísticos para elaboração de cenários e prognóstico do clima, tempo e em cenários futuros.

Num contexto prático, Upalla et al. (2005) observam que um produto meteorológico em reanálise seria a combinação entre campos meteorológicos observacionais (registros convencionais, satélites, radiosonda, aviões, navios, etc.) e um modelo de circulação atmosférico. Desse modo, os autores apontam como principais vantagens das séries de reanálises os seguintes pontos: (a) séries longas garantidas (sem falhas por um período superior a 10 anos – normalmente 40 anos ou mais); (b) Os registros podem ser integrados em diversas escala de tempo como horas, dias, meses e etc.; (c) apresentar um substancial número de variáveis, em superfície ou em outros níveis de pressão atmosférica, com ampla aplicabilidade em meteorologia, hidrologia,

oceanografia, meio-ambiente e agricultura; e por fim, (d) os registros em reanálise são submetidos e sistematizados num alto controle de qualidade, consistidos e assimilados em modelos de previsão meteorológica. Formando uma base de informações coerente, homogênea e regionalmente muito representativa.

Em termos operacionais, atualmente, dois campos em reanálises recebem amplos destaques perante a comunidade científica, ou seja: campos estruturados pelo ECMWF/ERA (15, 25 ou 40) e o NCEP/NCAR (*National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*) (ROADS; BETTS, 2000; BETTS et al., 2003 e 2005; KISTLER et al., 2001; CHALLINOR et al., 2005; TRENBERTH; SHEA, 2005; ONOGI et al., 2007).

Entretanto, para o estudo, foram empregados campos de reanálises do *Centre for Medium-Range Weather Forecasts* [ECMWF/Reanalysis: ERA-40] – no portal <http://www.ecmwf.int/research/era/>. De acordo com Upalla et al. (2005) e Pinto (2007), o ECMWF disponibiliza uma grade Gaussiana com 60 níveis verticais e tendo uma resolução de 2,5° x 2,5° (resolução espacial), gerando quatro campos de análise por dia (00, 06, 12 e 18 UTC), dois campos de previsão de 6 horas à frente (06 e 18 UTC) e mais dois campos de previsão de 36 horas à frente (00 e 12 UTC) para num período de 45 anos (1957/2002).

Em operações e em simulações ambientais, os campos em reanálises, têm peso ou devem ser considerados como registros observados. Deste modo, foram estruturadas séries diárias e contínuas entre 1.º de setembro de 1957 até 31 de agosto de 2002 (período disponível em distribuição gratuita) para as variáveis: precipitação total, mm; velocidade do vento a 10 metros, m/s; temperaturas (máxima e mínima do horário do dia), °C; irradiância solar na superfície, MJ/m²dia. De acordo com Gevaerd e Freitas (2006), a resolução dos campos de reanálise do ECMWF/ER40 pode gerar, localmente, resultados não realistas em função da ocorrência de vários fenômenos meteorológicos como convecções, efeitos orográficos e diferentes características geográficas como relevo e vegetação.

Na Figura 1, nota-se a resolução da grade do ECMWF/ERA40 sobre Minas Gerais – ocupando 16 células de resolução. Deste modo, em função da baixa resolução, foram estruturados nove conjuntos de séries de registros meteorológicos mesorregionais. Ou seja, séries distintas para as mesorregiões: Noroeste de Minas (MR02); Norte de Minas (M03); Jequitinhonha (MR04); Central Mineira (MR09); Metropolitana de Belo Horizonte (MR10) e Triângulo Mineiro e Alto do Parnaíba

(MR11). E, registros associados para as mesorregiões: Sul e Sudoeste e Oeste (MR01 e MR07); Vale do Mucuri e Vale do Rio Doce (MR05 e MR06); Campos das Vertentes e Zona da Mata (M08 e MR12).

2.2.3. Registros meteorológicos em base sintética

Uma das possibilidades de estruturação de registros hidrometeorológicos, visando preenchimentos de falhas ou até mesmo na estruturação de séries futuras, seria por meio de adoção de geradores estocásticos. Conceitualmente, tais ferramentas, também denominados de geradores de tempo, são estruturas baseadas em modelos que estimam a ocorrência de variáveis do clima e tem por objetivo a geração de um conjunto de valores numéricos denominada de série sintética.

A literatura cita um expressivo número de geradores de séries meteorológicas em base sintéticas. No geral, produzindo registros de temperatura (máxima e mínima), precipitação e vazão, dentre estes podemos citar como exemplo: “LARS-WG” (SEMENOV et al., 1998; SEMENOV; BARROW, 2008); “MARKSIM” (JONES; THORNTON, 2000); “WM2” (HANSEN; MAVROMATIS, 2001); “TAMSIM” (McCASKILL, 1990); “WGEN” (RICHARDSON; WRIGHT, 1984); “SIMMETEO” (GENG et al., 1986 e 1988); “WXGEN” (SHARPLEY; WILLIAMS, 1990), “CLIGEN” (ARNOLD; ELLIOT, 1996), “USCLIMATE” (JOHNSON et al., 1996), “CLIMAK” (DANUSO, 2002); “CLIMGEN” (STOCKLE; NELSON, 1999); “GENCALC” (HUNT et al., 1993) “WeatherMan” – Weather data Manager (PICKERING et al., 1994) inserido em sistema de geração de dados que atua em módulo com o *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT); o “ClimaBR” desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola/UFV (ZANETTI et al., 2005) e outros.

Todavia, os geradores mais utilizados são WGEN e o SIMMETEO (SENTELHAS et al., 2001; SOLTANI; HOOGENBOOM, 2003). No estudo, as séries sintéticas de registros meteorológicos foram produzidas a partir do programa *ClimGen* (STOCKLE; NELSON, 1999), versão 4.4.15, da Universidade Estadual de Washington/EUA (<http://www.bsyse.wsu.edu/climgen/>) – em domínio público. O *ClimGen*, essencialmente, é uma evolução WGEN e apresenta algumas vantagens como por exemplo: (a) ampla utilização; (b) fácil execução; (c) as funções que envolvem os processos de estruturação de séries são totalmente documentadas; (d) preserva a interdependência entre as variáveis e as características sazonais de cada variável; (e)

fórum de discussões técnica na internet; e por fim, (e) permite estruturação de séries para a velocidade do vento – variável excepcional na maioria dos geradores.

De acordo com Stockle et al. (2001), a geração diária de radiação global, temperatura máxima e mínima são resultantes de processos estocásticos multivariado em que os dados médios e os desvios padrão são dependentes da ocorrência de dias secos e úmidos. Para isto, o ClimGen utiliza uma cadeia de Markov de primeira ordem para simular dias secos e úmidos. A precipitação e velocidade vento são simuladas a partir da distribuição de Weibull. Os autores enfatizam que a modelagem proposta no ClimGen permite que este seja utilizado em qualquer parte do mundo desde que seja corretamente parametrizado com as informações locais.

No contexto operacional, o programa foi parametrizado para cada mesorregião. As características geográficas para latitude, longitude e altitude se deram em torno do ponto central de cada mesorregião (Quadro 1A do Apêndice A). A base de dados de utilizada foi de 30 anos, séries diárias de registros de precipitação, velocidade do vento, radiação incidente, temperatura máxima e mínima. As séries de 30 anos das variáveis são suficientes, pois ultrapassam a exigência mínima preconizada na utilização do modelo, ou seja, 2 a 5 anos de registros contínuos para simulação de temperaturas e radiação, bem como, 25 anos para precipitação e velocidade do vento (STOCKLE; NELSON, 1999). O Quadro 2A do Apêndice A apresenta o resumo do experimento numérico para geração de séries sintéticas.

2.2.4. Registros meteorológicos em cenário dinâmico

A ferramenta recomendada para avaliar projeções do clima, tanto em séries passadas quanto futuras, são os Modelos Globais de Circulação Atmosféricas (GCMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs) (IPCC, 2001 e 2008). De acordo com Marengo (2006), esses modelos numéricos provêm de uma visão tridimensional do sistema climático, descrevendo os principais processos físicos e dinâmicos, assim como as interações entre as componentes do sistema climático e os mecanismos de retroalimentação (*feedback's*) entre os processos físicos. Estes modelos simulam o clima em nível global e regional como resposta a mudanças na concentração de gases de efeito estufa e de vários outros aerossóis. Ou seja, uma elevação na concentração de gases de efeito estufa converge para um aquecimento do planeta, em contrapartida, os aerossóis têm efeito exatamente antagônico.

Como citado, às questões propostas para o estudo serão investigadas por meio de projeções do clima futuro por meio de séries estruturadas para as mesorregiões de Minas Gerais. Na avaliação do clima futuro, além da informação dos cenários climáticos, é também necessária a informação de outras mudanças ambientais e socioeconômicas. Desse modo, a ênfase foi para uma saída gerada pelos modelos IPCC-AR4, para cenários SRES (*Special Report Emission Scenarios*) do IPCC, de alta emissão de gases de efeito estufa, “A1B” (IPCC, 2001). Para o cenário intermediário A1B, a concentração atmosférica de CO₂ para 2100 é da ordem de 700 ppmv (partes por milhão em volume), de acordo com Marengo et al. (2007). As projeções de emissões de CO₂ deste e dos demais cenários SRES são apresentadas na Figura 2A do Apêndice A.

As projeções têm base em simulações numéricas para o período atual e para o cenário de aquecimento global, ou seja, até 2100. Contudo, de forma análoga ao período de estruturação da série sintético, a avaliação de impacto será entre 1991 até 2020. Para tais fins será utilizada a 6ª geração do Modelo de Circulação Geral Atmosférica (MCGA) desenvolvido no *Instituto Max-Planck de Meteorologia* (MPIM), Hamburgo, na Alemanha. O modelo ECHAM5/MPI-OM, originando inicialmente a partir do modelo *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (SIMMONS et al., 1989; UPALLA et al., 2005). Os dois componentes do modelo, ECHAM5 para a atmosfera, e MPI-OM para o oceano, estão bem documentados (JUNGCLAUS et al., 2006). Esta versão acoplada vem sendo utilizada para os cenários climáticos do relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2008).

No contexto operacional, menciona-se que a configuração usada nesse estudo tem truncamento triangular no número de onda T63, aproximadamente 1,9° de latitude e de longitude, o que representa uma resolução espacial de aproximadamente 180 x 180 km, na faixa equatorial, com 31 níveis verticais. O modelo oceânico do Instituto de Max Planck (MPI-OM), descrito por Marsland et al. (2003), emprega as equações primitivas para um líquido hidrostático com uma superfície livre. A discretização possui 40 níveis verticais com uma resolução horizontal de 1.5°. No Quadro 3A são apresentados o resumo do experimento numérico para geração de séries dinâmicas pelo modelo ECHAM5/MPI-OM.

2.2.5. Estimativas da evapotranspiração de referência (ET)

Todas as séries meteorológicas, dos conceitos abordados, de velocidade do vento, radiação incidente, temperaturas máxima e mínima, permitem estimativas diárias da evapotranspiração de referência (ET_o) para as mesorregiões. Nesta ordem, estimou-se a evapotranspiração entre o início de 1961 até o final de 2004 para os dados observados, e de 1991 até 2020 para as séries sintética e dinâmica. Assim, estimativas de evapotranspiração, como elemento biofísico, são determinantes na avaliação de impactos no balanço de energia sobre superfícies (vegetadas, líquidas e nuas) e no ciclo hidrológico em sistemas agrícolas e ecológicos. Outro aspecto, de caráter qualitativo, pode ser visto, na interação das variáveis meteorológicas de cada série em único processo biofísico.

Deste modo, seguiram-se as parametrizações propostas por Jensen et al. (1990) e FAO-56 (ALLEN et al., 2006), conforme equação (1), para o modelo de Penman-Monteith, em mm d^{-1} :

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T + 273}\right)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

em que ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_n , saldo de radiação total diário ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G , densidade de fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); T , temperatura média diária do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); U_2 , velocidade do vento média diária a 2 m de altura (ms^{-1}); e_s , pressão vapor de saturação (kPa); e_a , pressão de vapor atual (kPa); $(e_s - e_a)$, déficit de pressão do vapor de saturação (kPa); δ , declividade da curva de pressão de saturação de vapor no ponto de T (média) ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$); e γ , contate psicrométrica ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$). A nova ET_o , comumente aceita pelos pesquisadores, é a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, com uma altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23.

2.2.6. Avaliação de inconsistências das séries meteorológicas

O principal esforço do estudo foi depositado na estruturação e organização de séries longas – períodos contínuos, em escala diária, com 30 anos ou mais de registros

meteorológicos. Como descrito anteriormente (item 2.2.1), por meio de médias diárias, foram integrados os registros de velocidade do vento; precipitação total; radiação incidente e temperaturas (máxima e mínima) dos postos sinópticos situados nas respectivas mesorregiões (Figura 1). Contudo, as falhas persistiram. Deste modo, as falhas foram preenchidas com adoção direta dos registros diários extraído, em período análogo, dos campos de resolução da reanálise do ECMWF/ERA40. Num contexto prático a célula de resolução da reanálise deve, sistematicamente, conter uma parte significativa ou área total da mesorregião.

De fato, os processos de estruturação das séries, em função dos diferentes conceitos empregados, podem determinar ou gerar erros de inconsistências nas séries. Deste modo, conceitualmente, entende-se por inconsistências a falta de estabilidade; alterações de padrões e tendências; perda de aderência entre o pareamento de duas variáveis semelhantes em conceitos e medidas escalares, sujeitas aos mesmos fenômenos espaço-temporal (WISSMANN et al., 2006).

Assim, os conceitos envolvidos na estruturação das séries foram, metodologicamente, distintos e independentes. Ou seja, no estudo: (a) as “séries dinâmicas” são arquitetadas em resoluções de grade global, por meio de parâmetros físicos, baseadas em equações de continuidade, fluxo e balanço de energia, variáveis astronômicas, *feedback's* e de interações entre sistemas caóticos de macro-escala (atmosfera, vegetação, oceanos, gelo e etc.); por sua vez, (b) “reanálises” são representadas por miscelâneas entre registros observados e diversos produtos meteorológicos estando dispostas também em grade global; (c) as “series sintéticas” regidas por leis probabilísticas e outras ordens de tendências; e, por fim, (d) os registros observados que são oriundos de medidas coletadas em postos meteorológicos (convencional ou automático). Porém, são necessários ressalvas aos campos de reanálise do ECMWF/ERA40 que, tanto no espaço quanto no tempo, estão sujeito à influência direta das medidas de superfície; e, para as séries sintéticas que são estruturadas com a exigência de um período mínimo de dados observados.

Ocorrências de inconsistências em séries podem comprometer, ou inviabilizar, sua aplicação. Neste sentido, para avaliar inconsistência foi utilizado o método da dupla-massa (SEARCY; HARDISON, 1960). Este método é uma técnica simples e eficaz na avaliação de inconsistências entre séries análogas, e é, amplamente, empregado por vários setores tais como engenharia, geográfica, geologia, hidrologia, meteorologia etc. O pareamento das séries, em coordenada cartesiana, deve ser

acumulado no tempo na expectativa de identificar possíveis alterações nas tendências dos regimes. Quaisquer alterações afirmam a inconsistência física nos dados o que obriga o técnico rejeitar ou lançar técnicas de correção nas medidas (ALBERT, 2004; TUCCI, 2002; WISSMANN et al., 2006).

De acordo com Wigbout (1973), os erros sistemáticos são comuns e podem ser extrapolados entre estações meteorológicas, podendo assim, comprometer análise pelo método de dupla-massa. Entretanto, para o estudo, a análise se deu entre séries meteorológicas em polígonos (mesorregional) e resoluções em campos de grade.

Em face do número expressivo de dados, as séries diárias foram transformadas em totais mensais (precipitação, radiação e evapotranspiração) e em médias mensais para (temperaturas e velocidade). O período de avaliação de inconsistências se deu num intervalo de tempo comum entre as séries, ou seja, de 1991 até 2004 – o mesmo período adotado também no processo de validação. As séries referências, eixo de variável independente, foram às séries fornecidas pelos registros observados (miscelânea entre os registros do INMET e de reanálise).

2.2.7. Validação dos dados

O procedimento de validação objetiva certificar se a transformação entrada-saída (*input-output*) realizada por modelos tem qualidade para representar a mesma ocorrência procedida no sistema real. No mesmo sentido, Silva (2002) propõe que validação seria uma coletânea de ações utilizadas para analisar se um dado modelo ou técnica representa com fidedignidade o sistema em estudo. Nesta ordem, entende-se a validação como um processo fundamental na estruturação de modelos, pois, além de confirma a aplicabilidade pode credenciar metodologias de desenvolvimento. Numa analogia simples, validações seriam selos ou certificações de qualidade para aplicações de modelos e técnicas.

Nesta ordem, no estudo, foram aplicadas as recomendações propostas por Willmott (1981) na avaliação da performance das séries meteorológicas e na verificação de possíveis fontes de erros:

1. Pela facilidade deve-se calcular: médias ($\bar{x}$) e os desvios padrões (s) dos dados observados (O_x) e simulados (P_y)

2. Estimar os parâmetros “a e b” de ajuste, pelo procedimento dos mínimos quadrados – regressão linear simples (JONES, 1979; MARK; PEUCKER, 1978; SHULER, 2007) – equações (2) e (3);
3. Estimar MBE (viés) e o erro absoluto médio (MAE) pelas equações (4) e (5);
4. Em validação, os erros devem ser discriminados. Willmott (1981) cita que entre medidas e simulações os erros aleatórios diminuem a “precisão” e os erros sistemáticos diminuem a “exatidão”. Os erros produzidos em simulações estão inseridos no *erro quadrático médio* (MSE) ou na raiz quadrada – erro da *raiz do quadrático médio* (RMSE). É conveniente estimar o RMSE quando os valores observados (O_i) e simulados (P_i) apresentarem o mesmo valor escalar. De fato, o RMSE é determinante, pois, informa a dimensão do erro produzido pelo modelo e, além disso, deve ser considerado como um critério refinado na avaliação de *performance*;
5. Por meio do RMSE estima-se o RRMSE, *erro relativo*, em %, em função da média dos valores observados ($\bar{O}_x$) – equação (8);
6. Estimar o grau de concordância, através conceito de exatidão, proposto por Willmott (1981 e 1982), aplicando o Índice de concordância (**d**) – equação (9); e por fim,
7. Estruturar testes de significância estatística por meio do teste *t-student* de acordo com Stone (1993), equação (10).

$$b = \frac{N(\sum O_i \cdot P_i) - (\sum O_i)(\sum P_i)}{N(\sum O_i^2) - (\sum O_i)^2} \quad (2)$$

$$a = \bar{P} - b \cdot \bar{O} \quad (3)$$

$$MBE = N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (4)$$

$$MAE = N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (5)$$

$$MSE = \left(N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right) \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(N^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right)} \quad (7)$$

$$RRMSE = \left(\frac{RMSE}{O_x} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (9)$$

$$\text{Se } MBE \geq 0: t = \sqrt{\frac{(N-1) \cdot MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \text{ ou } MBE < 0: t = -\sqrt{\frac{(N-1) \cdot MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (10)$$

em que P é Predição e O, Observado. Coeficientes “a” e “b” de ajustes [equações (2) e (3)] – equação linear; MBE/Viés (*Mean Bias Error*) – equação (4); MAE (*Mean Absolute Error*) – equação (5); MSE (*Mean Square Error*) – equação (6); RMSE (*Root Mean Square Error*) – equação (7); RRMSE, *erro relativo*, em % – equação (8), o índice de concordância “d” de Willmott (1981) – equação (9); t-student – equação (10).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análises de inconsistência entre as séries meteorológicas

A primeira etapa de execução foi promovida pela avaliação de inconsistências entre os diferentes conceitos de séries meteorológicas. De acordo com Tucci (2002) e Wissmann et al. (2006), análises de inconsistências por meio da técnica de Dupla-Massa são consideradas ferramentas simples e de grande utilidade em sistemas de qualidade de dados e registros. Basicamente, a verificação foi feita pelo o pareamento entre massas acumuladas entre duas variáveis quaisquer desde que pertencentes ao mesmo fenômeno – seja no espaço quanto no tempo – Searcy e Hardison (1960). A comparação é análoga à técnica de regressão linear simples. Contudo, em dupla-massa, o único ponto de interesse é a linearidade entre a distribuição das massas acumuladas. No estudo, uma série é tida como inconsistente quando não existe nenhuma tendência linear, ocorrência de quebra(s) ou alterações abruptas do sentido linear.

Nas simulações foram consideradas que as séries meteorológicas provenientes de registros observados estariam na abscissa (análogo a variável independente). Na ordenada, as séries meteorológicas em reanálise do ECMWF/ERA40, dinâmica (ECHAM5/MPI-OM) e sintética (CLIMGEN). Outro ponto foi o período empregado para análise, ou seja, de 1.º de janeiro de 1991 até agosto de 2002 para os dados do

ECMWF/ERA40, e até dezembro de 2004 para as séries sintéticas e dinâmicas (exceção para mesorregião do Vale do Rio Doce por falhas irreversíveis em 2003 (Apêndice D).

As Figuras 2a, 2b, 2c, 2d, 2e e 2f representam as massas-acumuladas de precipitação mensal, temperatura máxima e mínima, velocidade do vento, radiação incidente mensal e evapotranspiração de referência da mesorregião do Jequitinhonha (MR04), representando uma área com recorrências de estiagens pluviométricas (secas) e impactos crônicos na produção agrícola e pecuária. De acordo com PNUD (2003), em 2000, esta área era que apresentava menor índice de desenvolvimento humano do estado de Minas Gerais, ou seja, IDH = 0,66. De acordo com Souza et al. (2001), descrevendo o ProClima/CPTEC/INPE – Programa de Monitoramento do Clima da área de atuação da Agência de Desenvolvimento do Nordeste (ADENE), nota-se que grande parte dos municípios inseridos nesta mesorregião estão inseridos numa área crítica denominada de “polígono das secas”.

De forma antagônica, as Figuras 3a, 3b, 3c, 3d, 3e e 3f representam a mesmas análises na sequência citada anteriormente. Entretanto, as duplas-massas foram estruturadas para mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11). Atualmente, região considerada pólo de desenvolvimento com destaque para o nível tecnológico empregado para produção agrícola. No entanto, em ambas as áreas, o clima entra como fator determinante para o sucesso econômico e social.

Contudo, em todas as figuras, tanto para MR04 quanto para MR11, foram observados que as séries meteorológicas são consistentes em função da caracterização da linearidade entre as massas acumuladas. Os Apêndices B, D, E, F, H e I contêm gráficos de massas acumuladas para as mesorregiões Sul e Sudoeste de Minas Gerais (MR01), Vale do Rio Doce (MR06), Central Mineira (MR09), Metropolitana de Belo Horizonte de Minas (MR10) e Zona da Mata Mineira (MR12), respectivamente.

Outro aspecto, apesar de não ser o propósito central de uma análise em dupla-massa, é que a linearidade garante a distribuição sazonal das variáveis meteorológicas. Porém, o que é subjetivo são similaridades e relações das magnitudes. Neste sentido, o aconselhado seria um refinamento por meio de validações numa tentativa de discriminar erros, tendências, concordância entre as séries meteorológicas – veja a seguir.

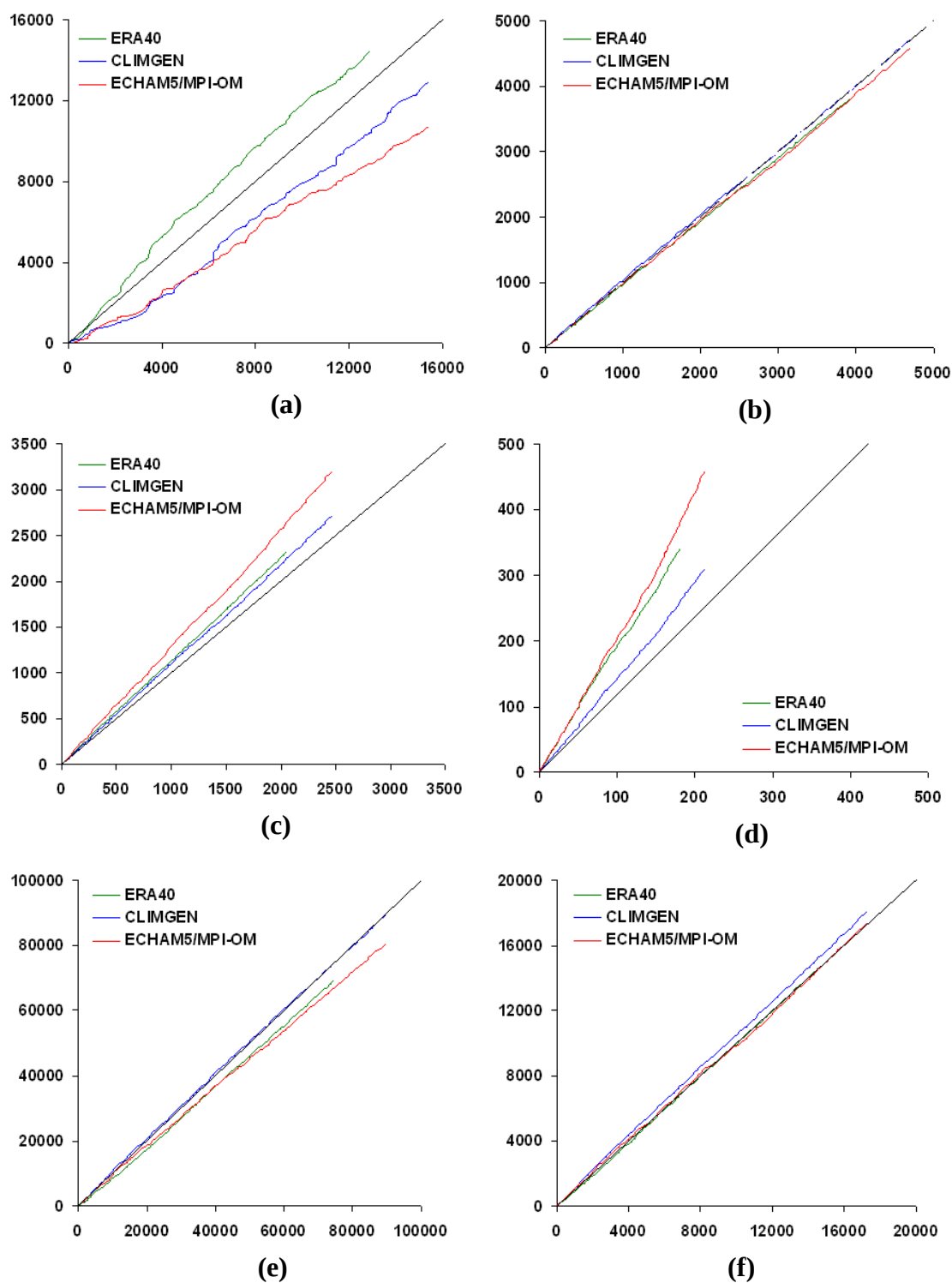


Figura 2 – Análise de inconsistências, por meio de teste da dupla-massa, entre as séries meteorológicas da Mesorregião Jequitinhonha (MR04): (a) precipitação total, em mm/mês; (b) temperatura máxima, em °C; (c) temperatura mínima, em °C; (d) velocidade do vento, m/s; (e) radiação global, MJ/m²mês; e (f) evapotranspiração de referência, mm/mês (nas abscissas, registros observados e em preto a linha 1:1).

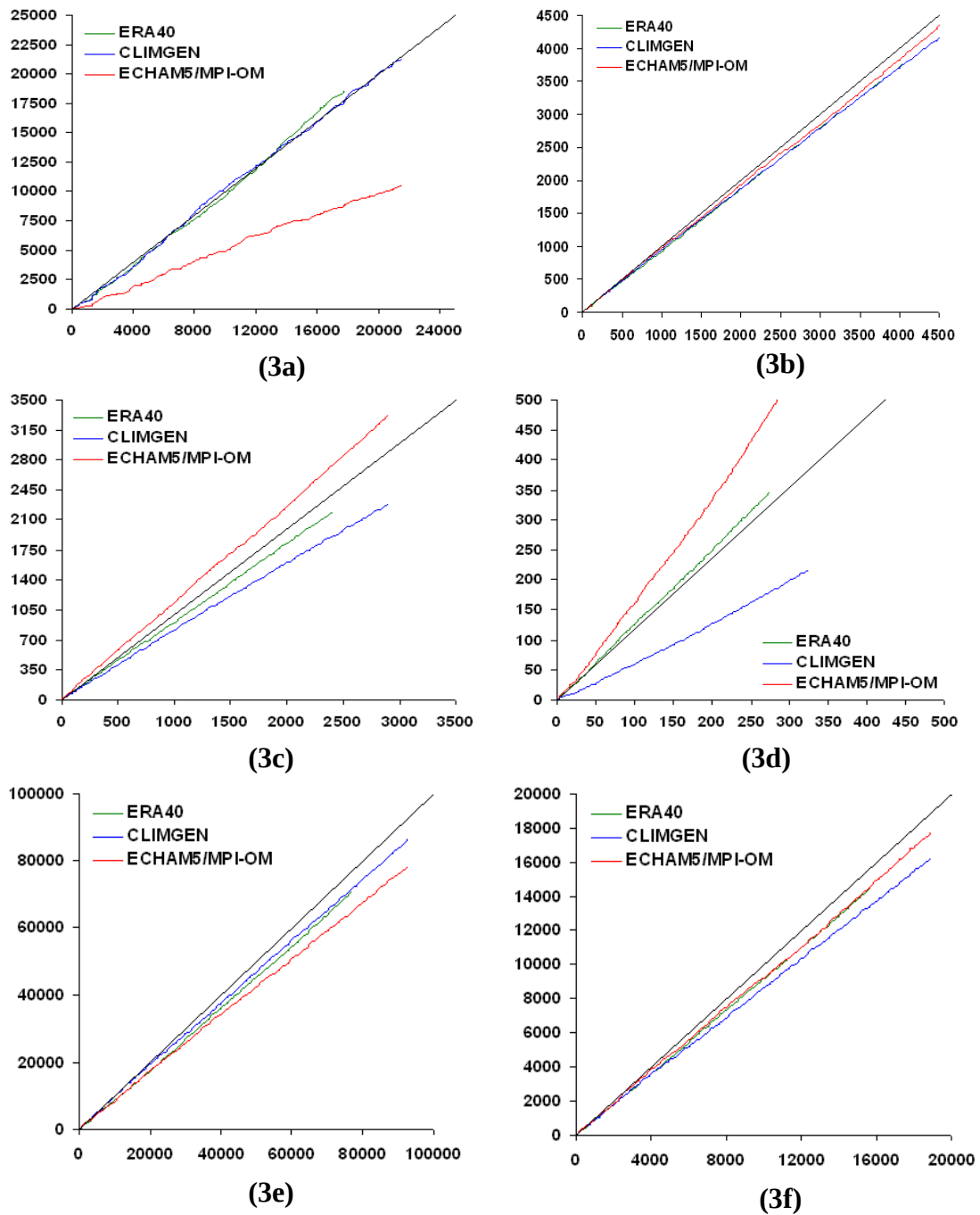


Figura 3 – Análise de inconsistências, por meio de teste da dupla-massa, entre séries meteorológicas da Mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11): (a) precipitação total, em mm/mês; (b) temperatura máxima, em °C; (c) temperatura mínima, em °C; (d) velocidade do vento, m/s; (e) radiação global, MJ/m²/mês; e (f) evapotranspiração de referência, mm/mês (Nas abscissas, registros observados e em preto a linha 1:1).

3.2. Validações das variáveis meteorológicas

3.2.1. Precipitação

Como as variáveis meteorológicas, no geral, foram consistentes. O passo a seguir foi promover as validações das mesmas, no intuito de identificar tendências, similaridades, dimensão dos erros e outras fontes qualitativas para comparações e associações. As variáveis independentes estão representadas pelos conjuntos de registros meteorológicos que compõe nas séries de dados observados (O_x). Os conjuntos de dados estão dispostos em período mensal seja por meio de médias (velocidade do vento, temperatura máxima e mínima) ou acumulada (precipitação, radiação e evapotranspiração). O período de comparações foi o mesmo empregado para análises de inconsistências, ou seja, de 1991 até 2002, para séries em reanálises, e até 2004 para séries dinâmicas e sintéticas – registros atuais e comuns entre os conceitos de séries.

Os Quadros 2, 3, 4, 5, 6 e 7 representam as validações para mesorregiões Sul e Sudoeste de Minas (MR01); Jequitinhonha (MR04); Vale do Rio Doce (MR06); Central Mineira (MR09); Metropolitana de Belo Horizonte (MR10); Triângulo Mineiro e Alto do Paranaíba (MR11) e a Zona da Mata Mineira (MR12). De fato, as variáveis meteorológicas em estudo representam os elementos do clima de maior importância e interesse ao ambiente agrícola; por exemplo, recomendadas para as simulações de modelos de crescimento e desenvolvimento de plantas (EVANS, 1993; SIVAKUMAR et al., 2002; JONES et al., 2003; CHALLINOR et al., 2004 e 2005; ALLEN et al., 2006), ou seja, precipitação, velocidade do vento, temperaturas máxima e mínima, radiação solar incidente e a evapotranspiração de referência (Penman-Monteith – FAO56).

Em ordem, as colunas representam médias ($\bar{x}$) e o desvio-padrão (s) referentes às séries estudadas (sintética, dinâmica e reanálise); os coeficientes angulares lineares (a e b); erro absoluto médio (MAE), viés (MBE); raiz do erro quadrático (RMSE); erro relativo (RRMSE); índice de concordância de Willmott (d); coeficiente de determinação (r^2) e, por fim, o teste “t”. De acordo com Willmott (1981 e 1982), o conjunto formado por estes indexadores seriam suficientes para identificar erros inerentes em quaisquer processos de modelagens. Num contexto prático, havendo comparações entre duas amostras idênticas os erros tenderiam ser nulos, ou seja, não haveria, graficamente, dispersão de pontos e, certamente, estes pontos estariam distribuídos ao longo de uma

reta denominada de 1:1 que divide um gráfico de dispersão exatamente ao meio – relação considerada como perfeita.

Um dos princípios que regem o comportamento de ocorrência das variáveis meteorológicas é a aleatoriedade (RIGHETTO, 1998). Nesta ordem, nota-se que fenômenos aleatórios empobrecem a ocorrência de estimativas precisas e exatas. Deste modo, deve-se discernir sobre validações classificando as variáveis meteorológicas em dois grupos, ou seja: precipitação e velocidade do vento (alta variabilidade – instáveis) e radiação global, evapotranspiração, temperaturas máxima e mínima (baixa variabilidade – estável). Certamente, os níveis de erros envolvidos em variáveis de natureza instável serão maiores.

O Quadro 2 representa as validações mensais dos totais de precipitação, em mm. Nota-se que, entre as mesorregiões, os menores erros (MAE, MBE, RMSE e RRMSE) e as melhores relações, por meio dos coeficientes de determinação (r^2) e o índice de concordância (d), estão distribuídos entre as séries sintéticas (CLIMGEN) e a reanálise (ECMWF/ERA40). Contudo, no geral, os melhores indexadores para precipitação mensal estão conferidos as séries estruturadas em “reanálise”. Sendo que a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR10) foi a que apresentou as melhores relações e menores erros entre as séries de precipitação, por exemplo, apresentou erro relativo de 39%. O teste “t”, de acordo com Stone (1993), com nível de significância de 5%, indicou igualdades entre médias para algumas mesorregiões entre as séries sintéticas e reanálise. Contudo, as médias diferiram, praticamente, em todas as mesorregiões considerando as séries em projeções, ou seja, os cenários em séries dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM).

Quadro 2 – Validações das séries mensais de precipitação total, mm/mês [janeiro de 1991 a agosto de 2002 (ECMWF/ERA40) ou até dezembro de 2004 (CLIMGEN e ECHAM5/MPI-OM)]

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm/mês)											
Região	$\bar{x}$	s	a	b	MAE	MBE	RMSE	ER*	D	r ²	t
Série meteorológica sintética [CLIMGEN]											
MR01	114,8	95,8	34,4	0,63	52,9	12,0	76,9	61	0,85	0,55	<u>2,0</u>
MR04	76,8	76,6	35,2	0,45	51,6	15,0	83,8	91	0,75	0,36	2,4
MR06	78,0	94,4	26,5	0,66	47,6	0,4	74,2	95	0,84	0,52	<u>0,1</u>
MR09	89,4	91,6	31,5	0,58	54,1	10,8	80,8	81	0,83	0,49	<u>1,7</u>
MR10	115,1	118,0	30,1	0,67	57,7	11,1	86,8	69	0,87	0,61	<u>1,7</u>
MR11	126,3	95,6	51,0	0,59	56,2	1,8	80,5	63	0,85	0,56	<u>0,3</u>
MR12	126,8	114,4	32,2	0,78	51,4	-5,7	76,0	63	0,88	0,61	<u>-1,0</u>
Série meteorológica dinâmica [ECHAM5/MPI-OM]											
MR01	71,7	69,0	20,5	0,40	70,4	55,0	100,8	80	0,70	0,43	8,4
MR04	63,8	71,6	21,5	0,46	50,3	28,1	81,9	89	0,76	0,43	4,7
MR06	64,6	66,2	37,1	0,35	57,8	13,7	87,9	112	0,69	0,30	<u>2,0</u>
MR09	62,6	69,0	22,5	0,40	59,7	37,5	92,7	93	0,72	0,42	5,7
MR10	78,3	74,6	30,8	0,38	71,5	47,8	111,3	88	0,71	0,48	6,1
MR11	62,9	69,0	14,8	0,37	75,6	65,5	113,2	88	0,69	0,44	9,2
MR12	76,8	72,3	19,6	0,47	60,0	44,3	88,7	73	0,77	0,55	7,5
Série meteorológica de reanálise [ECMWF/ERA40]											
MR01	148,9	115,8	46,6	0,80	43,0	-21,6	76,7	60	0,88	0,63	-3,5
MR04	103,4	100,8	25,8	0,84	31,2	-11,4	52,8	58	0,93	0,76	-2,6
MR06	126,5	108,0	49,0	0,85	40,3	-35,6	69,3	88	0,90	0,72	-7,1
MR09	103,1	109,1	22,5	0,80	34,4	-3,0	64,7	65	0,91	0,69	<u>-0,6</u>
MR10	139,5	129,6	44,4	0,77	51,6	-16,5	86,9	69	0,88	0,62	<u>-2,3</u>
MR11	132,3	106,7	29,7	0,80	27,9	-5,2	49,6	39	0,95	0,83	<u>-1,2</u>
MR12	126,5	108,0	27,5	0,86	35,4	-11,3	58,4	48	0,92	0,73	<u>-2,3</u>

—
X : média; s: “desvio padrão”; “a e b” coeficientes angulares; MAE: erro absoluto médio, em mm; MBE: viés, em mm; RMSE: raiz do erro do quadrado médio, em mm; ER* → RRMSE: Erro relativo (RMSE/ $\bar{O}_x$), em %; (d): índice de concordância (Willmott, 1981); r²: coeficiente de determinação linear; e, t: teste “t”: Se $t_{cal} \geq t_{tab}$ ou $-t_{cal} \leq -t_{tab}$, em negrito e sublinhado, “t_{cal}”, não existe diferença com 5% de nível de significância [t_{tab} (n = 140 e 168) = 2,3].

As simulações do modelo ECHAM5/MPI-OM, considerando os níveis de concentração de CO₂ do cenário A1B, determinaram uma redução significativa no volume de chuvas em todas as mesorregiões. No período atual – intervalo da validação – esta redução variou entre 30 a 51% – ver razões no Quadro 8. Todavia, tais tendências eram esperadas mais no futuro e não no período de validação onde os níveis de dióxido de carbono são semelhantes. A Figura 2a, em níveis atuais, mostra que as concentrações de CO₂ monitorada pelo observada no Observatório de *Mauna Loa*, no Havaí, nos últimos anos, vêm sendo um pouco superior aos níveis propostos nos cenários do IPCC.

Atualmente as concentrações de CO₂ na atmosfera, em níveis próximos, são superiores às projeções propostas nos cenários do IPCC – a partir de 2020 as concentrações de CO₂ serão divergentes (JUSTINO; AMORIM, 2007). Em estudo de projeções, por meio de simulações dinâmicas, espera-se no futuro um aumento da temperatura média do planeta e impactos no ciclo hidrológico, por exemplo, a redução no volume de chuvas nos trópicos. Assim, transfere-se a elevação da concentração de gases traços na atmosfera, principalmente, o dióxido de carbono o impacto das mudanças climáticas (IPCC, 2001 e 2008; WANG, 2005; GRAHAM et al., 2007; MARENGO, 2006; KJELLSTRÖM; RUOSTEENOJA, 2007; PINTO et al., 2007; JUNGCLAUS et al., 2006).

3.2.2. Velocidade do vento

No Brasil, em registro de superfície, o vento é uma das variáveis meteorológicas menos estudadas. No contexto agrícola, regional ou escala mais refinada, trata-se de uma variável de difícil interpretação por falta de padrões ou de outras referências. O Quadro 2A do Apêndice A expressa em porcentagem a ocorrência de falhas nas séries de dados em nas mesorregiões estudadas. Operacionalmente, as dificuldades em se ter séries de velocidade de vento longa e contínua podem ser atribuídas aos antigos anemógrafos que são equipamentos complexos, de difícil calibração e manutenção. As soluções atuais são depositadas nos sistemas digitais (WMO, 2003 e 2006).

A velocidade do vento compõe um papel importante para troca de energia e no transportes de fluxos. No estudo, esta variável entra com um peso determinante, pois, esta associada com a componente do termo aerodinâmico do modelo de Penman-Monteith (FAO) e outros processos turbulentos dentro do dossel que favorece assimilação, por exemplo, de dióxido de carbono (CAMPBELL; NORMAN, 1998). Nos vegetais, estruturas como estômatos são sensíveis a intensidade da velocidade de vento (TAIZ; ZEIGER, 2006). Nesta ordem, modelos mecanísticos de rendimento, crescimento e desenvolvimento de plantas devem considerar entradas de velocidade vento (JONES et al., 2003).

As validações da componente vento, velocidade na superfície em 10 m, estão representadas no Quadro 3. Os melhores resultados, baseando-se nos menores erros (MAE, MBE, RMSE e RRMSE) e os melhores ajustes, por meio dos coeficientes de determinação (r^2) e o índice de concordância (d), apontam para as séries sintéticas

(CLIMGEN) e de reanálise (ECMWF/ERA40). No geral, todos os conceitos de séries adotadas tenderam a subestimar os dados observados. Todavia, as simulações produzidas pelo ECHAM5/MPI-OM, em todas as mesorregiões, as subestimativas (MBE) foram mais significativas e os erros relativos (RRMSE) mais acentuados. Entretanto, no geral, os melhores indexadores para velocidade do vento são conferidos as séries construídas em reanálise do ECMWF/ERA40.

Quadro 3 – Validações das séries mensais de velocidade do vento, m/s [janeiro de 1991 a agosto de 2002 (ECMWF/ERA40) ou até dezembro de 2004 (CLIMGEN e ECHAM5/MPI-OM)]

VELOCIDADE DO VENTO (m/s)											
REGIÃO	$\bar{x}$	s	a	b	MAE	MBE	RMSE	ER*	d	r ²	t
Série meteorológica sintética [CLIMGEN]											
MR01	1,9	0,2	1,6	0,4	0,9	-0,9	0,9	82	0,22	0,08	-48,4
MR04	1,8	0,2	1,1	0,6	0,6	-0,6	0,6	48	0,33	0,28	-29,8
MR06	1,6	0,2	1,6	0,1	0,5	-0,2	0,6	43	0,35	0,03	-3,5
MR09	1,4	0,2	1,0	0,3	0,2	0,0	0,3	22	0,62	0,15	0,6
MR10	1,6	0,2	1,5	0,1	0,3	0,0	0,5	31	0,41	0,03	0,6
MR11	1,3	0,2	1,0	0,1	0,6	0,6	0,7	39	0,36	0,04	22,4
MR12	2,2	0,3	1,7	0,3	0,4	-0,2	0,5	23	0,59	0,18	-4,9
Série meteorológica dinâmica [ECHAM5/MPI-OM]											
MR01	2,6	0,4	2,3	0,2	1,5	-1,5	1,5	139	0,14	0,01	-48,5
MR04	2,7	0,4	3,0	-0,2	1,5	-1,5	1,5	118	0,13	0,01	-41,9
MR06	2,7	0,5	2,7	0,0	1,3	-1,3	1,5	105	0,33	0,00	-20,5
MR09	3,5	0,5	3,1	0,3	2,0	-2,0	2,1	149	0,24	0,03	-49,2
MR10	3,0	0,5	2,8	0,2	1,4	-1,4	1,5	96	0,32	0,03	-29,4
MR11	3,5	0,5	2,9	0,3	1,5	-1,5	1,6	86	0,28	0,04	-37,6
MR12	3,8	0,8	4,2	-0,2	1,8	-1,8	2,0	96	0,24	0,01	-24,1
Série meteorológica de reanálise [ECMWF/ERA40]											
MR01	1,3	0,1	1,1	0,2	0,2	-0,3	0,3	30	0,46	0,10	-15,3
MR04	2,4	0,3	1,4	0,8	0,9	-1,1	1,2	90	0,24	0,22	-44,6
MR06	1,9	0,3	1,5	0,3	0,4	-0,4	0,7	50	0,71	0,40	-10,1
MR09	2,6	0,4	1,5	0,8	1,0	-1,2	1,2	88	0,34	0,36	-42,3
MR10	2,4	0,3	1,9	0,3	0,7	-0,8	0,9	57	0,54	0,34	-21,4
MR11	2,5	0,4	0,75	0,9	0,4	-0,5	0,6	30	0,67	0,61	-22,6
MR12	1,9	0,3	1,30	0,3	0,3	0,1	0,4	20	0,71	0,33	2,7

X : média; s: “desvio padrão”; “a e b” coeficientes angulares; MAE: erro absoluto médio, em mm; MBE: viés, em mm; RMSE: raiz do erro do quadrado médio, em mm; ER* → RRMSE: Erro relativo (RMSE/ $\bar{O}_x$), em %; (d): índice de concordância (Willmott, 1981); r²: coeficiente de determinação linear; e, t: teste “t”: Se $t_{cal} \geq t_{tab}$ ou $-t_{cal} \leq -t_{tab}$, em negrito e sublinhado, “t_{cal}”, não existe diferença com 5% de nível de significância [t_{tab} (n = 140 e 168) = 2,3].

3.2.3. Temperaturas (máxima e mínima) e radiação solar incidente

Certamente, a temperatura é uma das variáveis meteorológicas, mais discutidas quando se aborda o tema mudanças climáticas e os seus possíveis impactos, tanto em ordem natural quanto motivada por impactos antropogênicos (MARENGO, 2006). Na análise de acúmulo de dupla-massa, Figuras 3b e 3c, nota-se que tanto as temperaturas máximas quanto as mínimas foram às variáveis que se mostraram com mais consistência, principalmente, os registros de temperatura máxima.

Os Quadros 4 e 5 representam as validações das temperaturas máxima e mínima (°C) em médias mensais. Nota-se que os menores erros (MAE, MBE, RMSE e RRMSE) e as melhores relações, por meio dos coeficientes de determinação (r^2) e o índice de concordância (d), estão distribuídos entre as séries sintéticas (CLIMGEN) e a reanálise (ECMWF/ERA40). Contudo, no geral, os melhores indexadores para ambas as temperaturas são conferidos as séries estruturadas a partir de reanálise do ECMWF/ERA40.

No estudo, apesar da significativa aderência entre as séries, as temperaturas, máxima e mínima, não foram prestigiadas pelo teste “t” de comparação entre médias – até mesmo nas séries em reanálise. Produzir análises por meio de comparações de médias pode produzir interpretações evasivas. De fato, igualdades estatísticas ocorreram apenas em algumas mesorregiões por meio de séries sintéticas. Todavia, Freedman et al. (2007) afirmam que a significância estatística é um conceito que pode ser visto com ceticismo. Devendo ser recomendado apenas como teste de medidas de concordância aplicada, por exemplo, no coeficiente de determinação (r^2) ou, simplesmente, para referenciar o valor de um teste estatístico qualquer – como nos testes, por exemplo, “t-Student” e “F”.

Com relação às séries em reanálises, Gevaerd e Freitas (2006), notam que a baixa resolução dos campos de reanálise do ECMWF/ER40, ou seja: 2,5° x 2,5°, podem gerar, localmente, resultados não realistas devido a não caracterização de importantes fenômenos meteorológicos como convecções, efeitos orográficos e diferentes características geográficas como relevo e vegetação. Contudo, devido à forte dependência de observações meteorológicas de superfície e atmosféricas, os registros em reanálise foram as que apresentaram melhores resultados para radiação incidente, temperatura máxima e mínima.

Quadro 4 – Validações das séries mensais de temperatura máxima, em °C [janeiro de 1991 a agosto de 2002 (ECMWF/ERA40) ou de dezembro de 2004 (CLIMGEN e ECHAM5/MPI-OM)]

TEMPERATURA MÁXIMA (°C)											
REGIÃO	$\bar{X}$	s	a	b	MAE	MBE	RMSE	ER*	d	r ²	t
Série meteorológica sintética [CLIMGEN]											
MR01	28,4	1,6	17,1	0,42	1,8	-1,3	2,3	8	0,64	0,28	-9,5
MR04	28,1	2,4	11,8	0,58	1,8	-0,1	2,2	8	0,68	0,22	-0,5
MR06	28,4	1,7	22,6	0,19	2,5	1,8	3,1	11	0,50	0,08	8,7
MR09	29,5	1,4	18,1	0,38	1,4	0,5	1,7	6	0,67	0,22	3,9
MR10	27,9	1,5	13,0	0,53	1,1	0,2	1,4	5	0,78	0,38	1,5
MR11	26,8	1,9	11,4	0,53	2,4	2,2	2,9	10	0,54	0,20	15,2
MR12	26,6	1,9	9,0	0,65	1,2	0,0	1,5	6	0,84	0,52	0,1
Série meteorológica dinâmica [ECHAM5/MPI-OM]											
MR01	25,6	2,6	6,3	0,71	2,2	1,5	2,7	10	0,68	0,32	8,9
MR04	27,3	2,6	12,1	0,54	2,0	0,7	2,6	9	0,63	0,16	3,6
MR06	25,2	2,4	15,6	0,32	5,1	5,0	5,7	20	0,41	0,10	21,2
MR09	27,9	2,4	10,1	0,59	2,5	2,1	3,1	10	0,56	0,18	11,5
MR10	24,6	2,3	8,0	0,59	3,6	3,5	4,1	15	0,47	0,19	20,4
MR11	27,9	2,4	7,3	0,71	2,0	1,1	2,4	8	0,62	0,21	6,2
MR12	30,4	2,5	22,8	0,28	3,9	-3,8	4,8	18	0,39	0,06	-17,2
Série meteorológica de reanálise [ECMWF/ERA40]											
MR01	24,7	1,8	1,3	0,87	1,9	2,3	2,4	9	0,74	0,89	41,4
MR04	27,2	1,9	0,94	0,93	0,7	0,8	1,0	3	0,94	0,91	16,3
MR06	26,8	2,0	5,9	0,69	3,3	3,4	3,6	14	0,62	0,73	32,0
MR09	29,1	1,7	5,2	0,80	1,0	0,9	1,4	5	0,83	0,63	9,8
MR10	26,1	1,7	1,25	0,88	1,7	2,0	2,2	8	0,72	0,83	33,7
MR11	26,9	1,4	1,06	0,89	1,7	2,0	2,1	7	0,71	0,89	47,5
MR12	26,8	2,0	4,0	0,85	0,5	-0,2	0,8	3	0,96	0,87	-3,0

$\bar{X}$: média; s: “desvio padrão”; “a e b” coeficientes angulares; MAE: erro absoluto médio, em mm; MBE: viés, em mm; RMSE: raiz do erro do quadrado médio, em mm; ER* $\rightarrow$ RRMSE: Erro relativo (RMSE/ $\bar{O}_x$), em %; (d): índice de concordância (Willmott, 1981); r²: coeficiente de determinação linear; e, t: teste “t”: Se $t_{cal} \geq t_{tab}$ ou $-t_{cal} \leq -t_{tab}$, em negrito e sublinhado, “t_{cal}”, não existe diferença com 5% de nível de significância [t_{tab} (n = 140 e 168) = 2,3].

Quadro 5 – Validações das séries mensais de temperatura mínima, em °C [janeiro de 1991 a agosto de 2002 (ECMWF/ERA40) ou dezembro de 2004 (CLIMGEN e ECHAM5/MPI-OM)]

TEMPERATURA MÍNIMA (°C)											
REGIÃO	$\bar{X}$	s	a	b	MAE	MBE	RMSE	ER*	d	r ²	t
Série meteorológica sintética [CLIMGEN]											
MR01	16,9	2,4	8,6	0,60	3,0	-3,0	3,5	25	0,74	0,83	-22,4
MR04	16,1	2,3	3,7	0,85	1,6	-1,5	2,1	14	0,79	0,61	-12,6
MR06	16,2	2,0	5,8	0,54	3,1	2,9	3,5	20	0,67	0,56	19,0
MR09	16,7	2,9	1,9	0,88	1,0	0,1	1,3	8	0,95	0,81	0,8
MR10	15,5	2,8	-0,5	0,97	1,1	0,9	1,4	8	0,93	0,86	11,1
MR11	13,6	3,6	-11	1,41	3,7	3,7	4,1	24	0,66	0,81	26,3
MR12	15,6	2,8	0,8	0,94	0,9	0,1	1,1	7	0,96	0,86	1,3
Série meteorológica dinâmica [ECHAM5/MPI-OM]											
MR01	17,6	2,3	10,5	0,51	3,7	-3,7	4,3	31	0,65	0,63	-21,1
MR04	19,0	2,4	7,6	0,78	4,4	-4,4	4,7	32	0,50	0,49	-31,7
MR06	17,7	2,2	5,8	0,54	1,9	1,4	2,4	13	0,78	0,53	8,8
MR09	19,8	2,1	10,4	0,55	3,1	-3,0	3,5	21	0,66	0,61	-21,1
MR10	16,9	2,6	4,2	0,77	1,4	-0,5	1,8	11	0,88	0,62	-3,7
MR11	19,8	2,1	7,8	0,69	2,5	-2,5	2,9	17	0,68	0,58	-20,9
MR12	22,2	2,6	13,5	0,55	6,5	-6,5	6,9	44	0,43	0,33	-34,0
Série meteorológica de reanálise [ECMWF/ERA40]											
MR01	15,3	2,8	5,0	0,74	1,3	-1,4	1,9	13	0,92	0,92	-14,0
MR04	16,6	2,2	3,7	0,88	1,7	-2,0	2,2	15	0,78	0,78	-22,2
MR06	16,9	2,4	3,0	0,73	1,9	2,2	2,6	16	0,81	0,75	18,7
MR09	15,6	3,2	1,2	0,87	1,4	1,0	2,2	13	0,87	0,63	5,9
MR10	16,9	2,4	3,9	0,80	0,8	-0,7	1,3	8	0,94	0,84	-7,1
MR11	15,6	3,0	-4,8	1,19	1,3	1,6	2,1	12	0,85	0,80	13,4
MR12	16,9	2,4	4,2	0,81	1,1	-1,2	1,5	10	0,91	0,90	-16,0

—
X : média; **s**: “desvio padrão”; “**a e b**” coeficientes angulares; **MAE**: erro absoluto médio, em mm; **MBE**: viés, em mm; **RMSE**: raiz do erro do quadrado médio, em mm; **ER*** → **RRMSE**: Erro relativo (RMSE/ $\bar{O}_x$), em %; (**d**): índice de concordância (Willmott, 1981); **r²**: coeficiente de determinação linear; e, **t**: teste “t”: Se $t_{cal} \geq t_{tab}$ ou $-t_{cal} \leq -t_{tab}$, em negrito e sublinhado, “ t_{cal} ”, não existe diferença com 5% de nível de significância [t_{tab} (n = 140 e 168) = 2,3].

O Quadro 8 representa, no período da validação, as razões entre as médias das variáveis nas séries avaliadas e médias dos registros em séries observadas. No geral, as temperaturas máximas subestimam os valores médios observado entre 2 e 13% - algumas exceções como, por exemplo, na Zona da Mata Mineira (MR12) em cenário dinâmico. Entretanto, na temperatura mínima o comportamento ainda foi mais instável, em algumas mesorregiões, por meio de série dinâmica ocorreu aumento na ordem de 41%.

As análises de validação de temperatura são semelhantes e podem ser estendidas para variável radiação global incidente. De acordo com os resultados apresentados no Quadro 6, novamente, as séries em cenários dinâmicos foram as que

produziram mais erros. Em contrapartida, as séries em reanálise conferiram menores erros e melhores ajustes. No Quadro 8, observa-se que a tendência de subestimar a radiação incidente foi generalizada em todas as mesorregiões para as séries dinâmicas e reanálises. Pinto (2007), trabalhando com reanálise do ECMWF/ERA40 identificou o mesmo problema em grande parte da América do Sul, em especial, o Brasil.

Quadro 6 – Validações das séries mensais de radiação global incidente, em MJm²/mês [janeiro de 1991 a agosto de 2002 (ECMWF/ERA40) ou dezembro de 2004 (CLIMGEN e ECHAM5/MPI-OM)]

RADIAÇÃO GLOBAL (MJm ² /mês)											
REGIÃO	$\bar{X}$	s	a	b	MAE	MBE	RMSE	ER	d	r ²	t
Série meteorológica sintética [CLIMGEN]											
MR01	551,2	56,2	343,1	0,41	66,0	-40,2	77,5	15	0,67	0,36	-7,8
MR04	533,6	70,5	242,3	0,54	50,3	1,0	65,5	12	0,80	0,43	0,2
MR06	528,9	68,3	343,3	0,38	75,4	-43,1	94,4	21	0,70	0,33	-6,1
MR09	559,4	69,9	387,1	0,32	65,2	-24,3	90,8	17	0,63	0,17	-3,6
MR10	535,8	60,8	380,5	0,29	61,9	-3,5	84,4	16	0,64	0,19	-0,5
MR11	514,6	78,3	121,3	0,71	63,6	38,4	76,2	14	0,71	0,34	7,5
MR12	492,2	74,3	162,2	0,66	45,8	5,0	59,2	12	0,83	0,49	1,1
Série meteorológica dinâmica [ECHAM5/MPI-OM]											
MR01	434,7	103,2	59,0	0,74	95,8	76,3	115,0	23	0,67	0,35	11,5
MR04	480,9	93,8	249,4	0,43	90,4	53,7	112,2	21	0,62	0,15	7,0
MR06	432,0	105,2	191,1	0,50	94,8	53,8	118,3	26	0,66	0,23	6,1
MR09	467,0	101,8	326,2	0,26	114,4	68,1	136,6	26	0,49	0,05	7,4
MR10	453,1	81,9	322,5	0,25	111,1	79,2	130,9	25	0,51	0,07	9,8
MR11	467,0	101,8	-2,2	0,85	104,7	86,0	121,7	22	0,57	0,29	12,9
MR12	495,7	74,1	310,7	0,37	66,5	1,5	83,9	17	0,64	0,15	0,2
Série meteorológica de reanálise [ECMWF/ERA40]											
MR01	461,8	74,9	107,0	0,70	48,2	47,5	71,6	14	0,81	0,60	10,4
MR04	494,9	86,9	58,5	0,82	42,9	38,5	66,2	12	0,85	0,64	8,4
MR06	468,3	86,2	111,4	0,74	31,7	15,4	52,2	13	0,94	0,76	3,6
MR09	533,9	92,3	0,0	1,00	0,0	0,0	0,0	0	1,00	1,00	—
MR10	468,3	82,2	40,13	0,81	48,5	57,5	72,7	14	0,86	0,77	15,2
MR11	507,0	77,6	0,54	0,92	43,9	42,9	65,4	12	0,80	0,60	10,3
MR12	468,3	86,2	35,8	0,87	37,0	28,6	59,5	12	0,87	0,64	6,5

$\bar{X}$: média; s: “desvio padrão”; “a e b” coeficientes angulares; **MAE**: erro absoluto médio, em mm; **MBE**: viés, em mm; **RMSE**: raiz do erro do quadrado médio, em mm; **ER*** → **RRMSE**: Erro relativo ($RMSE/\bar{O}_x$), em %; (**d**): índice de concordância (Willmott, 1981); **r²**: coeficiente de determinação linear; e, t: teste “t”: Se $t_{cal} \geq t_{tab}$ ou $-t_{cal} \leq -t_{tab}$, em negrito e sublinhado, “t_{cal}”, não existe diferença com 5% de nível de significância [t_{tab} (n = 140 e 168) = 2,3].

3.2.4. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência, estimada pelo modelo Penman-Monteith (FAO-56), mostrou-se uma variável altamente consistente entre os conceitos de séries meteorológicas do estudo, veja Figuras 2f e 3f para as mesorregiões MR04 e MR11. No Quadro 7, no processo de validação entre todas as mesorregiões, nota-se que as séries em reanálise foram as que apresentaram menores erros e melhores ajustes para evapotranspiração.

O modelo, fisicamente, é uma proposta integrada e dinâmica das relações e inter-relações entre o sistema solo-água-planta-atmosfera. De fato, os erros observados, individualmente, em cada variável meteorológica são minimizados ou atenuados nos cálculos da evapotranspiração por meio de modelos combinados. Nesta ordem, os coeficientes e teste de comparação tendem a melhorar.

3.3. Climatologias e séries de desvios: presente e futuro

As séries meteorológicas foram estruturadas a partir de registros contínuos e diários e, posteriormente, sistematizadas em médias mensais e integradas em climatologias de 30 anos. Os registros meteorológicos em climatologias foram: precipitação total (acumulado mensal); radiação solar incidente (acumulado mensal); temperaturas máxima e mínima (média mensal) e evapotranspiração de referência (acumulado mensal).

Quadro 7 – Validações das séries mensais de evapotranspiração de referência total - Penman-Monteith (FAO-56), mm/mês [janeiro de 1991 a agosto de 2002 (ECMWF/ERA40) ou dezembro de 2004 (CLIMGEN e ECHAM5/MPI-OM)]

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (mm)											
REGIÃO	$\bar{X}$	s	a	b	MAE	MBE	RMSE	ER*	d	r ²	t
Série meteorológica sintética [CLIMGEN]											
MR01	110,3	18,9	47,3	0,67	17,5	-15,6	20,3	21	0,80	0,71	-15,5
MR04	107,6	19,0	33,5	0,72	10,6	-4,7	13,4	13	0,88	0,66	-4,8
MR06	105,0	17,7	51,6	0,52	13,0	-1,7	17,0	16	0,84	0,57	<u>-1,2</u>
MR09	109,8	18,5	43,0	0,62	11,1	-1,9	15,6	14	0,83	0,47	<u>-1,6</u>
MR10	104,6	19,0	29,6	0,71	9,6	0,4	12,9	12	0,89	0,64	<u>0,4</u>
MR11	96,8	22,1	-7,4	0,92	18,0	16,0	21,0	19	0,77	0,62	15,2
MR12	100,2	20,9	20,1	0,81	8,7	-0,7	11,4	11	0,93	0,75	<u>-0,8</u>
Série meteorológica dinâmica [ECHAM5/MPI-OM]											
MR01	90,9	22,3	23,0	0,72	11,9	3,9	16,1	17	0,87	0,59	3,2
MR04	103,6	21,4	41,6	0,60	15,0	-0,6	19,1	19	0,77	0,36	<u>-0,4</u>
MR06	89,0	21,5	29,9	0,57	19,2	14,2	24,0	23	0,76	0,46	8,8
MR09	103,0	23,7	29,0	0,71	14,8	2,0	19,6	18	0,78	0,38	<u>1,3</u>
MR10	91,5	17,7	37,4	0,51	17,0	13,5	21,9	21	0,72	0,38	10,1
MR11	105,8	23,9	-1,0	0,95	14,2	6,9	17,3	15	0,83	0,56	5,7
MR12	118,0	20,5	71,9	0,46	23,4	-18,5	28,3	28	0,60	0,26	-11,2
Série meteorológica de reanálise [ECMWF/ERA40]											
MR01	86,1	18,2	19,7	0,70	8,4	8,3	12,9	14	0,91	0,86	9,9
MR04	103,1	20,2	15,9	0,85	6,1	-0,3	9,4	9	0,95	0,81	<u>-0,4</u>
MR06	95,2	19,9	20,1	0,73	9,4	7,6	12,4	12	0,93	0,88	9,3
MR09	113,7	19,7	15,0	0,92	6,1	-6,7	9,1	8	0,95	0,91	-12,7
MR10	95,7	19,0	7,6	0,84	7,6	8,4	11,1	11	0,93	0,88	13,4
MR11	103,8	16,7	11,0	0,83	7,5	8,5	11,2	10	0,90	0,85	13,7
MR12	94,7	20,5	13,4	0,82	6,4	4,2	10,3	10	0,94	0,83	5,2

X : média; s: “desvio padrão”; “a e b” coeficientes angulares; MAE: erro absoluto médio, em mm; MBE: viés, em mm; RMSE: raiz do erro do quadrado médio, em mm; ER* → RRMSE: Erro relativo (RMSE/ $\bar{O}_x$), em %; (d): índice de concordância (Willmott, 1981); r²: coeficiente de determinação linear; e, t: teste “t”: Se $t_{cal} \geq t_{tab}$ ou $-t_{cal} \leq -t_{tab}$, em negrito e sublinhado, “t_{cal}”, não existe diferença com 5% de nível de significância [t_{tab} (n = 140 e 168) = 2,3].

Quadro 8 – Razão¹, em %, baseadas nas médias no período adotado nas validações, entre as séries meteorológicas em base sintética, dinâmica e reanálise com os registros meteorológicos em séries observadas

VARIAVEL	SERIE	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
Precipitação	CLIMGEN	-9,5	-16,3	-0,5	-10,7	-8,8	-1,4	4,7
	ECHAM5	-43,5	-30,5	-17,5	-37,5	-38,0	-51,1	-36,6
	ERA40	17,4	12,6	38,4	3,0	10,5	3,3	4,5
Temperatura máxima	CLIMGEN	4,8	0,4	-6,0	-1,7	-0,7	-7,6	0,0
	ECHAM	-5,5	-2,5	-16,6	-7,0	-12,5	-3,8	14,3
	ERA40	-8,9	-2,9	-11,3	-3,0	-7,1	-7,2	0,8
Temperatura mínima	CLIMGEN	21,6	9,5	-15,6	-0,6	-5,5	-21,4	-0,6
	ECHAM	26,6	29,3	-7,8	17,9	3,0	14,5	41,4
	ERA40	10,1	12,9	-12,0	-7,1	3,0	9,8	7,6
Velocidade do vento	CLIMGEN	72,7	38,5	6,7	0,0	0,0	-31,6	4,8
	ECHAM	136,4	107,7	80,0	150,0	87,5	84,2	81,0
	ERA40	18,2	84,6	26,7	85,7	50,0	31,6	-9,5
Radiação incidente	CLIMGEN	7,9	-0,2	8,9	4,5	0,7	-6,9	-1,0
	ECHAM	-14,9	-10,0	-11,1	-12,7	-14,9	-15,6	-0,3
	ERA40	-9,6	-7,4	-3,6	-0,2	-12,0	-8,3	-5,8
Evapotranspiração de referência	CLIMGEN	16,4	4,6	1,7	1,7	-0,3	-14,1	0,8
	ECHAM	-4,1	0,7	-13,8	-1,9	-12,8	-6,1	18,7
	ERA40	-9,2	0,2	-7,8	5,3	-8,8	-7,9	-4,7

¹ Janeiro de 1991 a agosto de 2002 para séries em reanálise (ECMWF/ERA40) ou até dezembro de 2004 para séries sintéticas (CLIMGEN) e dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM)].

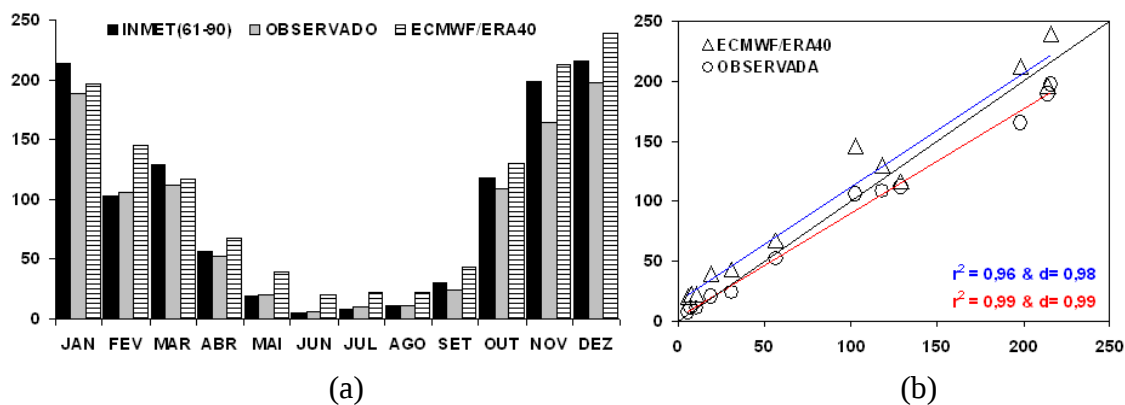
Nesta ordem, construíram-se quatro conceitos de climatologias mesorregionais em Minas Gerais, ou seja: (a) OFICIAL, em clima padrão atual (presente), ou seja, período 1961 a 1990, sistematizadas regionalmente a partir das Normais Climatológicas do Brasil (BRASIL, 1992) – climatologias adotadas como referência no estudo; (b) OBSERVADA, em clima padrão atual (presente), período 1961 a 1990, com registros do INMET e as falhas, sistematicamente, preenchidas com os registros extraídos a partir de grades em reanálises do ECMWF/ERA40 (Quadro 2A do Apêndice A), taxa de preenchimentos (%); (c) CLIMGEN, séries meteorológicas em base sintética, em padrão futuro, período 1991 a 2020, inicializada com os registros diários das séries em registro observado e simulado em preceitos estatísticos; e, por fim, (d) ECHAM5/MPI-OM, em

série oriunda de modelagens em interação dinâmica, em padrão futuro, período 1991 a 2020, inicializada a partir da reanálises do ECMEF/ERA40, acoplado com oceano e forçado pela concentração de CO₂ atmosférico (A1B) de acordo com as projeções do IPCC (2001 e 2008).

Nota-se que não foram produzidas, para as mesorregiões, climatologias de velocidade vento devido à falta de registros desta variável nas Normais Climatológicas do Brasil (BRASIL, 1992). Contudo, o referido documento também não produz climatologias de evapotranspiração de referência de acordo com o novo conceito e padronizações (ALLEN et al., 2006). Neste sentido, no padrão de clima atual e futuro, as comparações e validações foram estruturadas a partir de séries em registros observados.

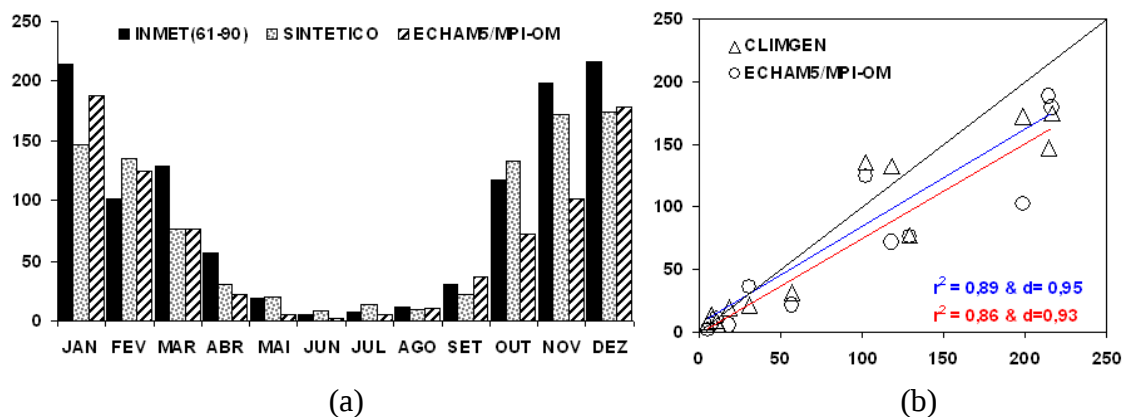
Para ilustrar as climatologias empregou-se a mesorregião do Vale do Jequitinhonha (MR04), uma região no Estado de Minas Gerais de menor crescimento socioeconômico e sujeita, periodicamente, a impactos climáticos como secas e veranicos – descrita anteriormente. Todavia, nos Apêndices B, D, E, F, G e H, encontram-se as climatologias das mesorregiões MR01, MR06, MR09, MR10, MR11 e MR12, respectivamente. Deste modo, as Figuras 4a, 4b, 5a e 5b representam, em mm/mês, as climatologias da precipitação total e validações simplificadas (coeficiente de determinação, índice de Willmott e gráfico de dispersão em regressão) tanto para o presente quanto para o futuro. Na mesma ordem seguem as Figuras 6a, 6b, 7a e 7b, para temperatura máxima (°C); 8a, 8b, 9a e 9b, para temperatura mínima (°C); 10a, 10b, 11a e 11b, para radiação solar incidente, em MJ/m²d; e por fim, as Figuras 12a, 12b, 13a e 13b, para evapotranspiração de referência total, em mm/mês.

Como discutido anteriormente, em análises de inconsistência, as variáveis meteorológicas entre as séries avaliadas mantiveram a tendência sazonal quando comparado com os registros oficiais (BRASIL, 1992). Contudo, as magnitudes, principalmente em séries futuras, diferiram quando comparado com as magnitudes da climatologia oficial. Ou seja, por exemplo, no período chuvoso, entre outubro e abril, foram observados os maiores impactos. De um modo geral, os cenários futuros, em base sintética e dinâmica, apontam para redução das chuvas no Vale do Jequitinhonha.



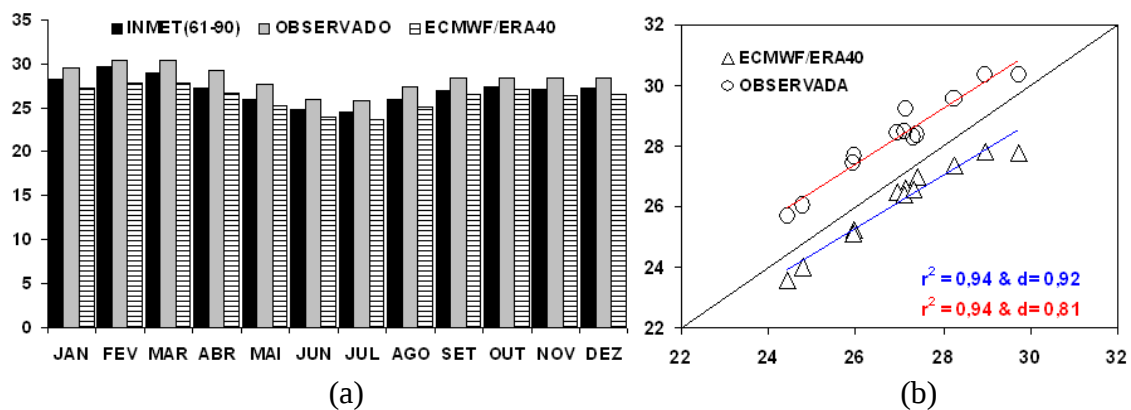
Fonte: Brasil (1992).

Figura 4 – Climatologia da precipitação acumulada mensal da mesorregião Jequitinhonha (MR04), em mm, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 5 – Climatologia da precipitação acumulada mensal da mesorregião Jequitinhonha (MR04), em mm, no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 6 – Climatologia da temperatura máxima da mesorregião Jequitinhonha (MR04), em °C, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

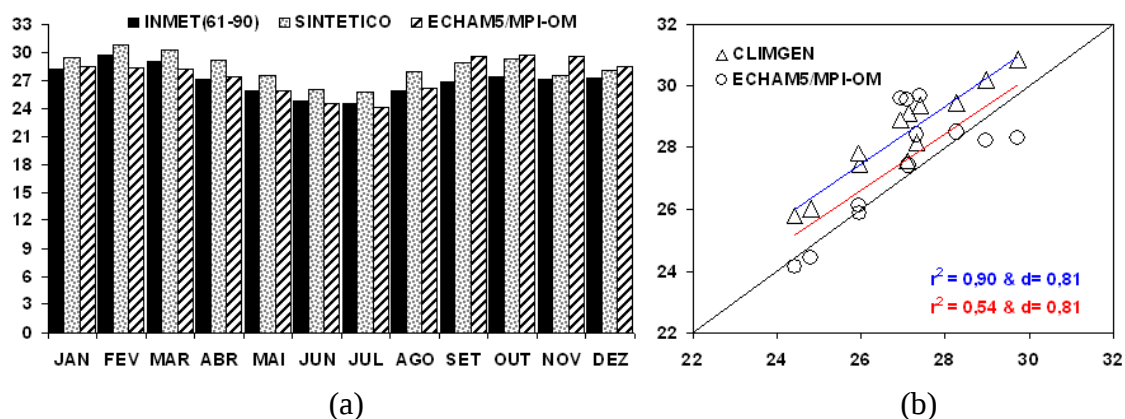
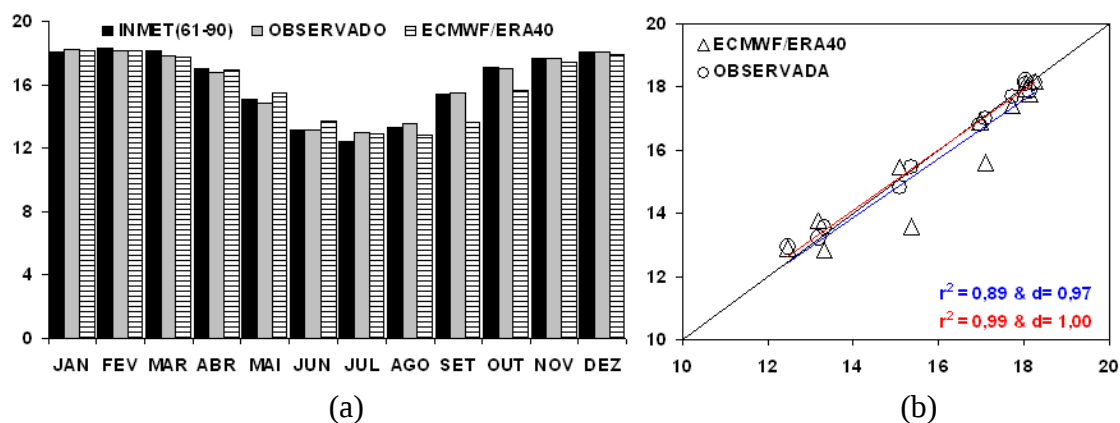


Figura 7 – Climatologia da temperatura máxima, em °C, da mesorregião Jequitinhonha (MR04), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 8 – Climatologia da temperatura mínima, °C, da mesorregião Jequitinhonha (MR04), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

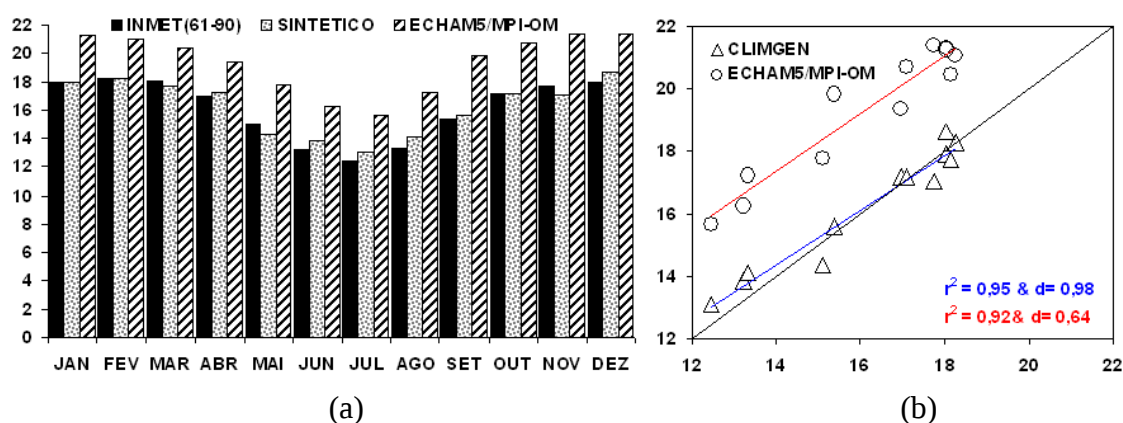
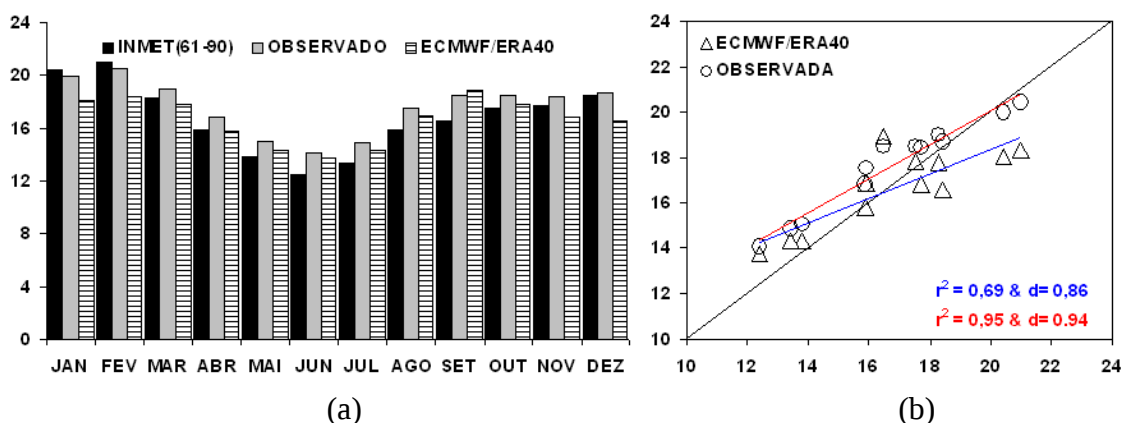


Figura 9 – Climatologia da temperatura mínima, em °C, da mesorregião Jequitinhonha (MR04), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 10 – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da mesorregião Jequitinhonha (MR04), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

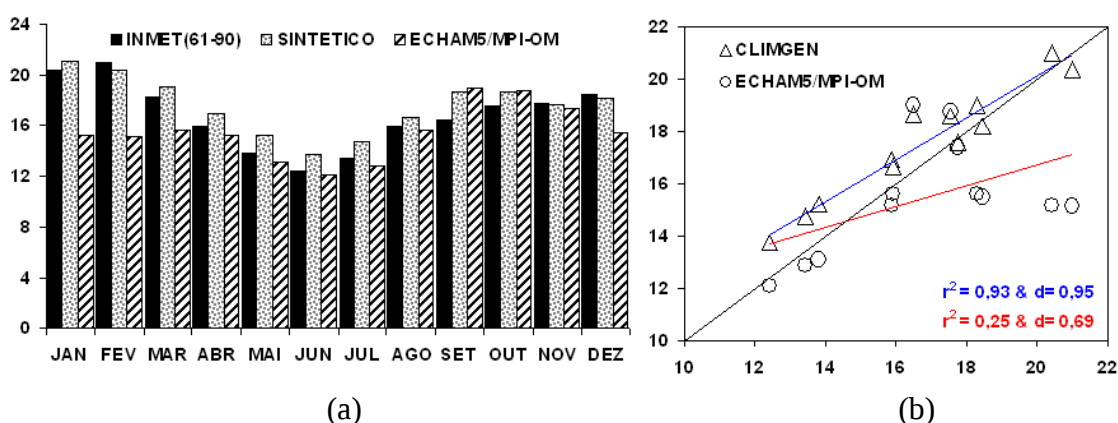
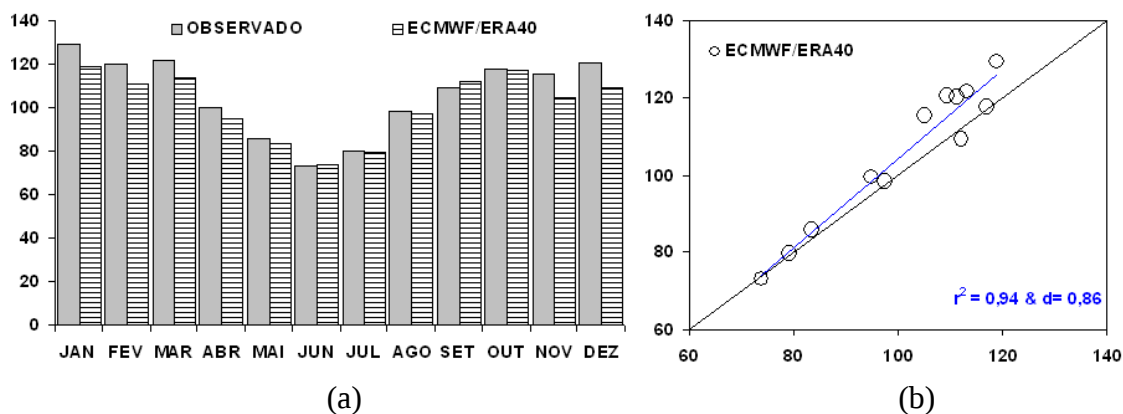


Figura 11 – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da mesorregião Jequitinhonha (MR04), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 12 – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da mesorregião Jequitinhonha (MR04), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados em reanálise do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

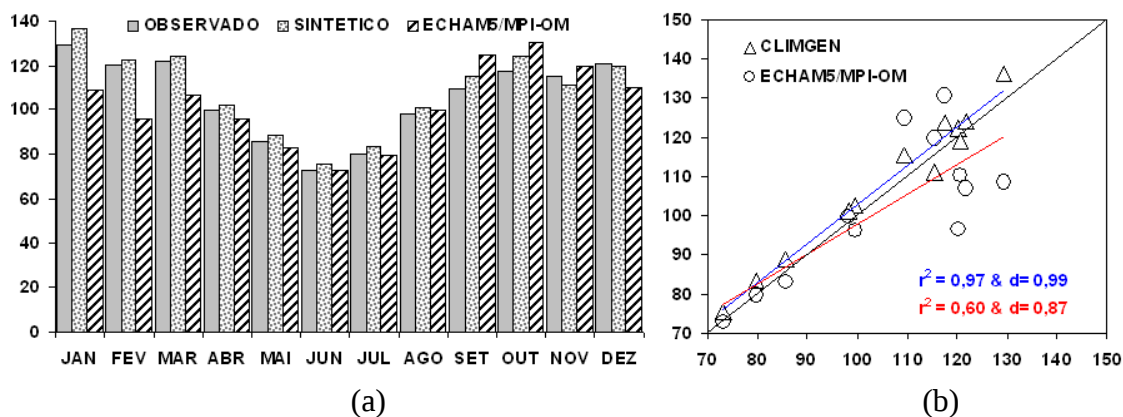


Figura 13 – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da mesorregião Jequitinhonha (MR04), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

No presente, imprecisões e erros foram observados em níveis aceitáveis, tanto para as séries em registros observados quanto em reanálises que, sistematicamente, apresentou maior volume de chuvas nos meses mais secos (maio – setembro). Contudo, pela similaridade na climatologia, recomenda-se de forma técnica a adoção de registros de reanálise como ferramenta de preenchimentos de falhas em séries meteorológicas observadas.

Em séries de reanálises, Gevaerd e Freitas (2006) apontam a baixa resolução das grades como principal fator de erros. De fato, resoluções da ordem de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ mascaram, localmente, importantes fenômenos como convecções, efeitos orográficos, microclimas, áreas de transição e características geográficas como relevo e vegetação. Apesar da diversidade do clima e do relevo em Minas Gerais, as reanálises retrataram com muita qualidade o clima em todas as mesorregiões avaliadas. Uppala et al. (2005) citam que os processos de estruturação das grades de reanálise do ECMWF passam por minucioso controle de qualidade de dados reprovando sistematicamente os registros espúrios e outras fontes de erros. Contudo, Pinto (2007), trabalhando na América do Sul, em especial na região amazônica e sudeste brasileiro, encontrou resultado satisfatório para campos de precipitação e radiação incidente.

Em termos de séries futuras, os erros foram evidentes tanto em séries sintéticas quanto para dinâmica, principalmente, como descrito, no período chuvoso. O CLIMGEN, na sua essência e princípios de modelagem, preservou as tendências observadas no clima presente. Contudo, observou-se para a mesorregião do Jequitinhonha uma redução no volume chuva nos meses mais chuvosos, aumento na temperatura máxima em todos os meses e imprecisões na radiação global incidente. Stockle et al. (2001) citam que a radiação global e as temperaturas máxima e mínima são resultantes de processos estocásticos multivariado dependente da ocorrência de dias secos e úmidos. Deste modo, o CLIMGEN utiliza uma cadeia de Markov de primeira ordem para simular dias secos e úmidos. Neste caso, as simulações prestigiam as tendências dos registros observados e não os efeitos físicos envolvido nas interações do ambiente. Outro aspecto, cerne para as estimativas da radiação global incidente, que esta variável depende das temperaturas máxima e mínima, por meio do modelo proposto por Bristow e Campbell (1984) – modelo empírico.

Em séries dinâmicas, erros e imprecisões foram observados nas climatologias de precipitação, radiação incidente e, principalmente, na temperatura mínima. Para todas as mesorregiões, a tendência observada foi de redução significativa nos totais de

precipitação e elevação expressiva da temperatura mínima. Certamente, o ECHAM5/MPI-OM, forçado com projeções intermediária (entre pessimistas e não) para níveis elevados de dióxido de carbono na atmosfera, retrata um ambiente diferente dos padrões atuais para mesorregião do Jequitinhonha. De acordo com Marengo (2006) e IPCC (2008), a expectativa converge para um aumento, principalmente, de eventos extremos, como secas e alterações expressivas nos biomas. Nas mesorregiões, observou-se uma tendência na redução na evapotranspiração de referência, possivelmente, pela expectativa de alteração da estrutura florística da mesorregião pelo aumento da temperatura mínima e redução de chuva.

Por fim, através da distribuição dos desvios, em anomalias mensais, não foi possível evidenciar alterações abruptas nas variáveis meteorológicas, tanto para o período atual quanto para o futuro. As Figuras 14 e 15 expressam a distribuição de anomalias mensais de precipitação acumulada, para a mesorregião do Jequitinhonha (MR04), tanto para o presente quanto para o futuro. Em mesma ordem seguem as Figuras 16 e 17 em anomalias de temperatura máxima; as Figuras 18 e 19 retratam anomalias de temperatura mínima; as Figuras 20 e 21 para radiação global incidente acumulada; e as Figuras 22 e 23 com anomalias de evapotranspiração acumulada. No presente, destacaram-se as séries em reanálise, que de um modo geral, acompanhou as tendências e variações das séries observadas. No futuro, os desvios são mais proeminentes por meio das séries dinâmicas.

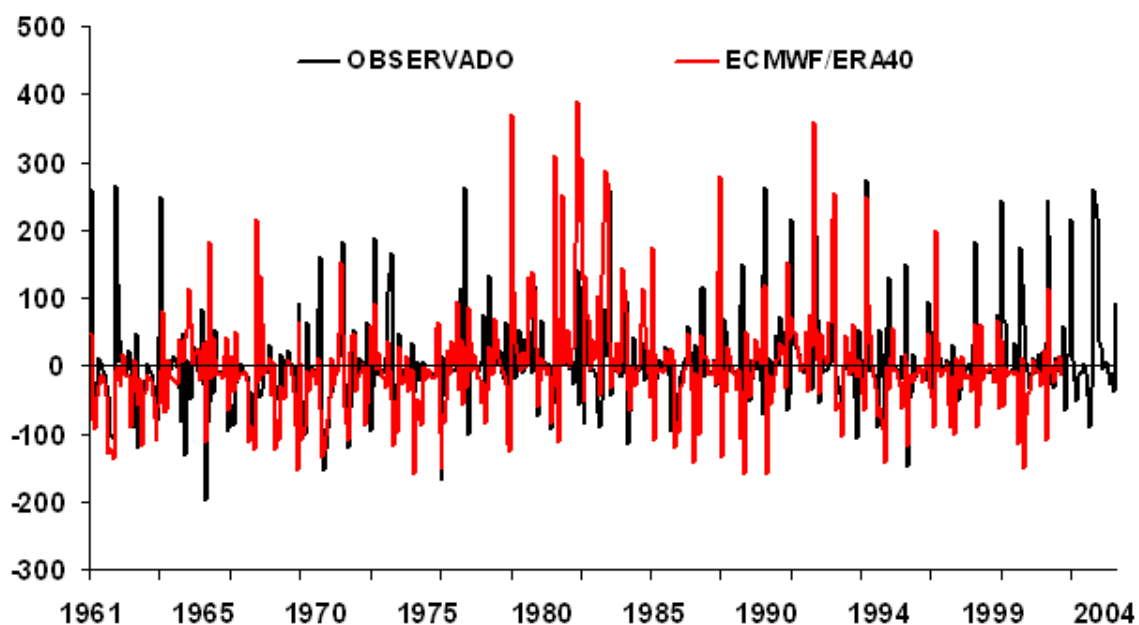


Figura 14 – Anomalias mensais de precipitação dos “registros observados e da reanálise do ECMWF/ERA40” para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em mm/mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e de 1961 a 2004 para os registros observados – PRESENTE.

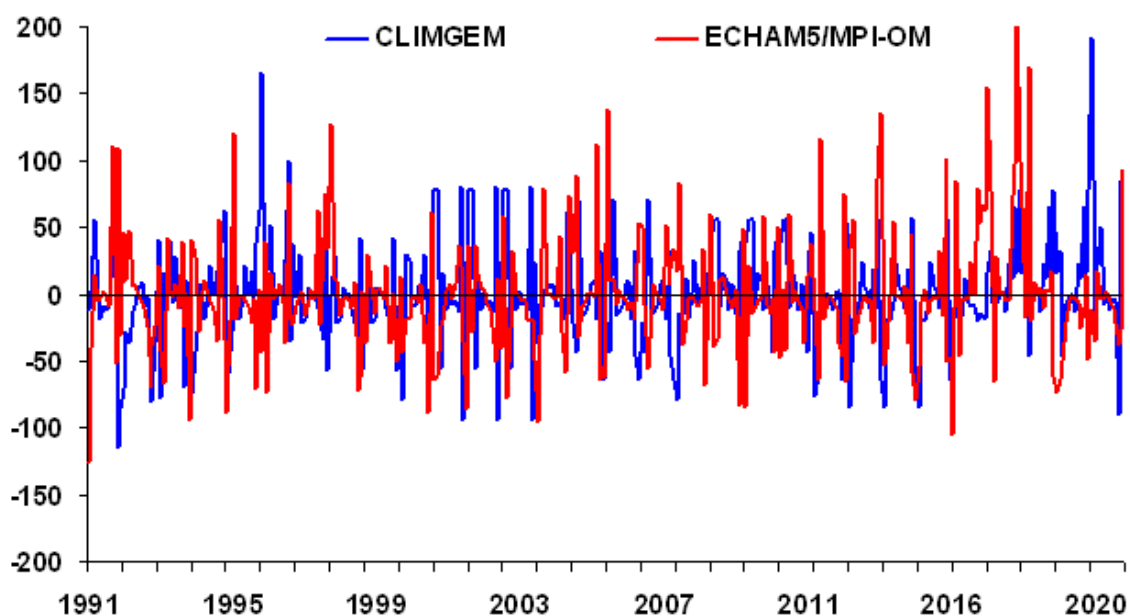


Figura 15 – Anomalias mensais de precipitação total dos “registros simulados pelo CLINGEM (Séries sintéticas) e o ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

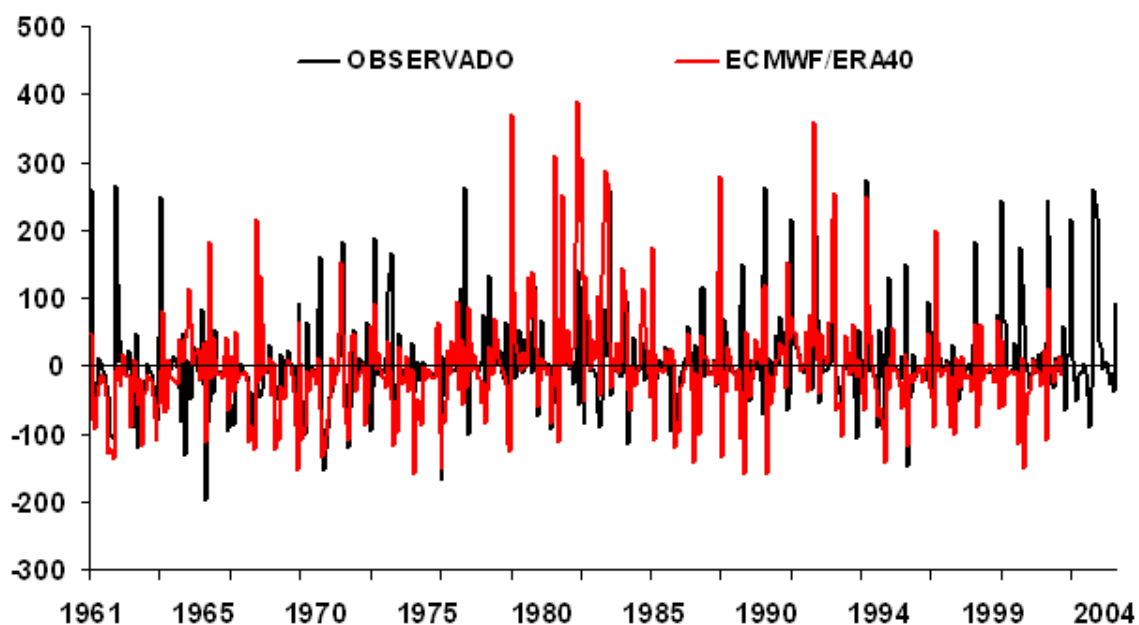


Figura 16 – Anomalias mensais de temperatura máxima dos “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em °C, no período de 1961 a 2002, para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

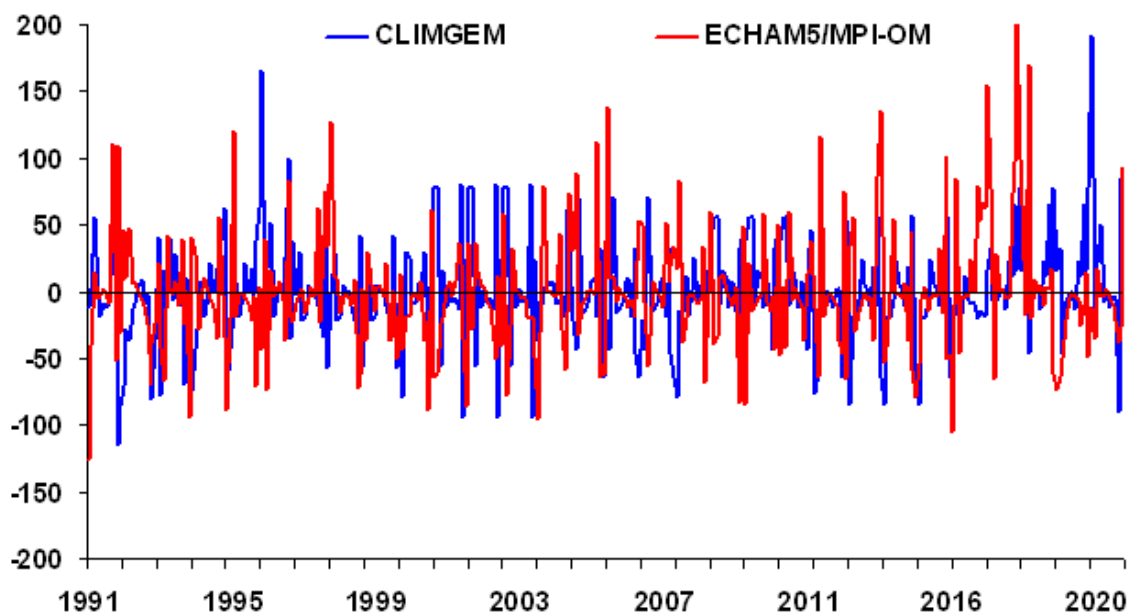


Figura 17 – Anomalias mensais de temperatura máxima a partir de “registros simulados pelo CLINGEM (Séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

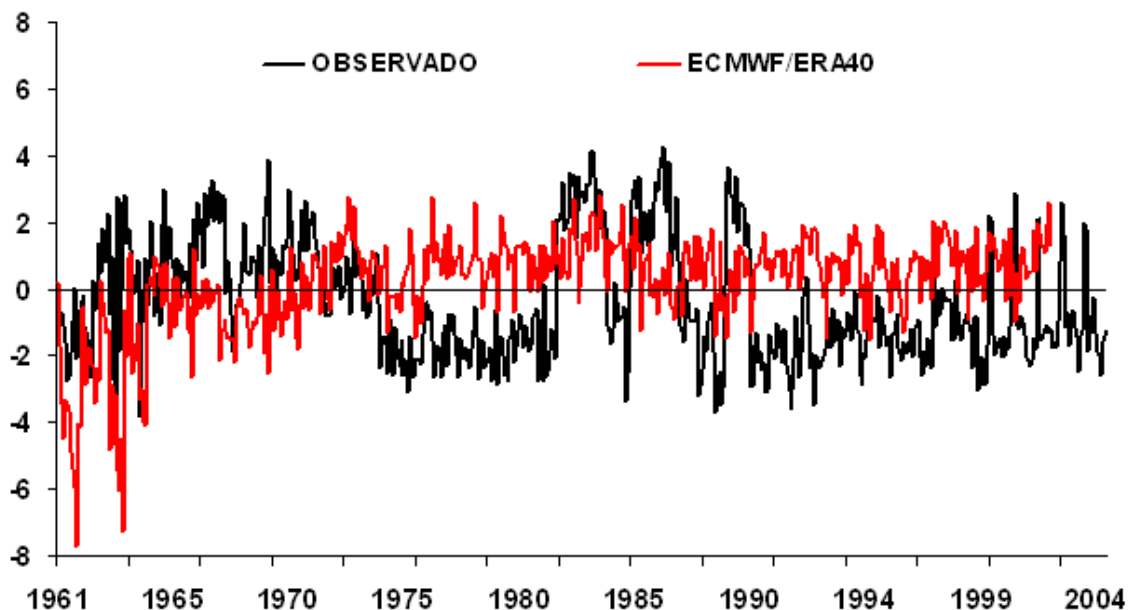


Figura 18 – Anomalias mensais de temperatura mínima de “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em °C. Período 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

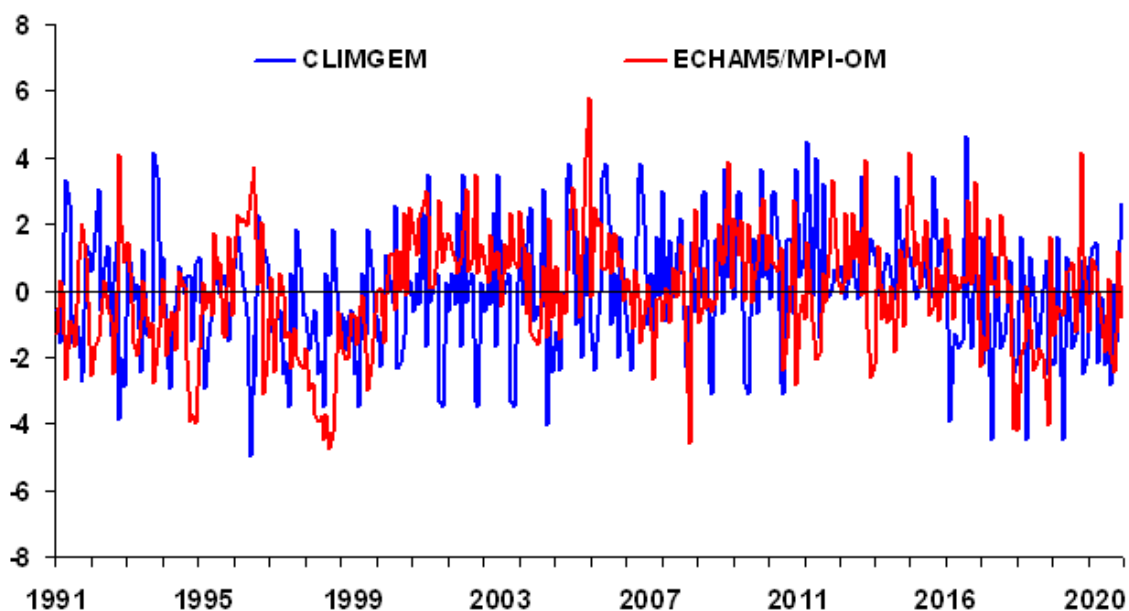


Figura 19 – Anomalias mensais de temperatura mínima dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

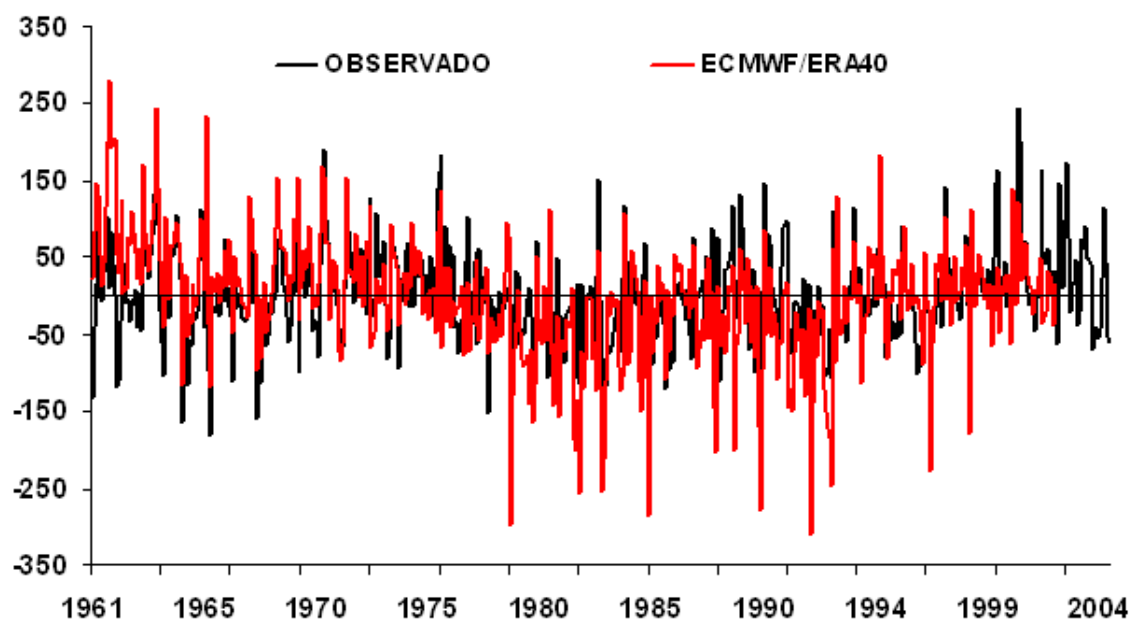


Figura 20 – Anomalias mensais de radiação global incidente dos registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40 para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em MJ/m²mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

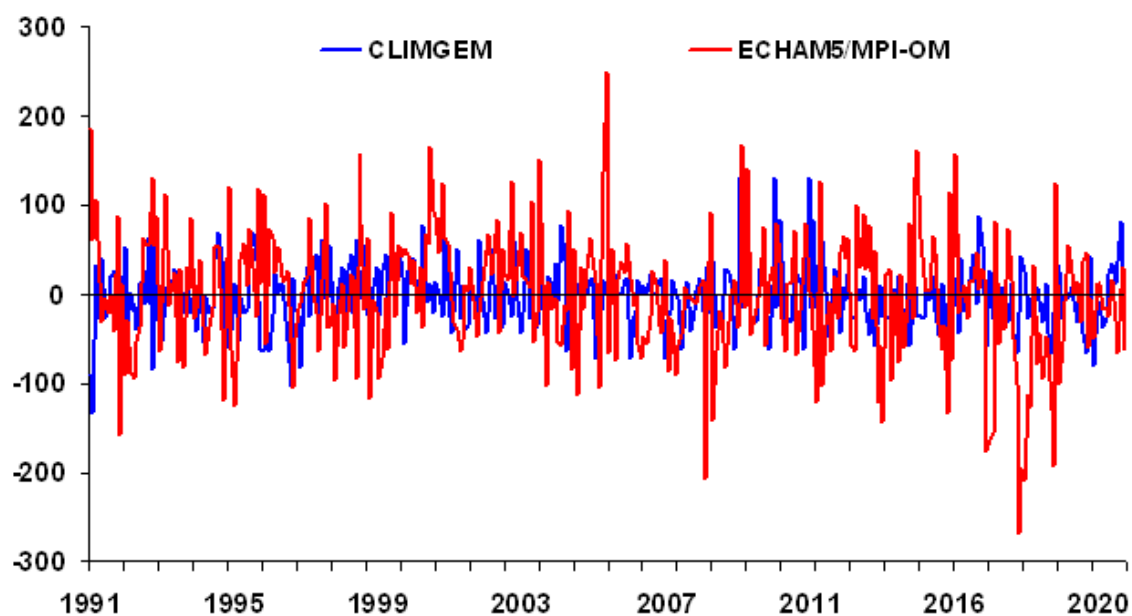


Figura 21 – Anomalias mensais de radiação global total dos registros simulados pelo CLIMGEM (Séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em MJ/m²mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

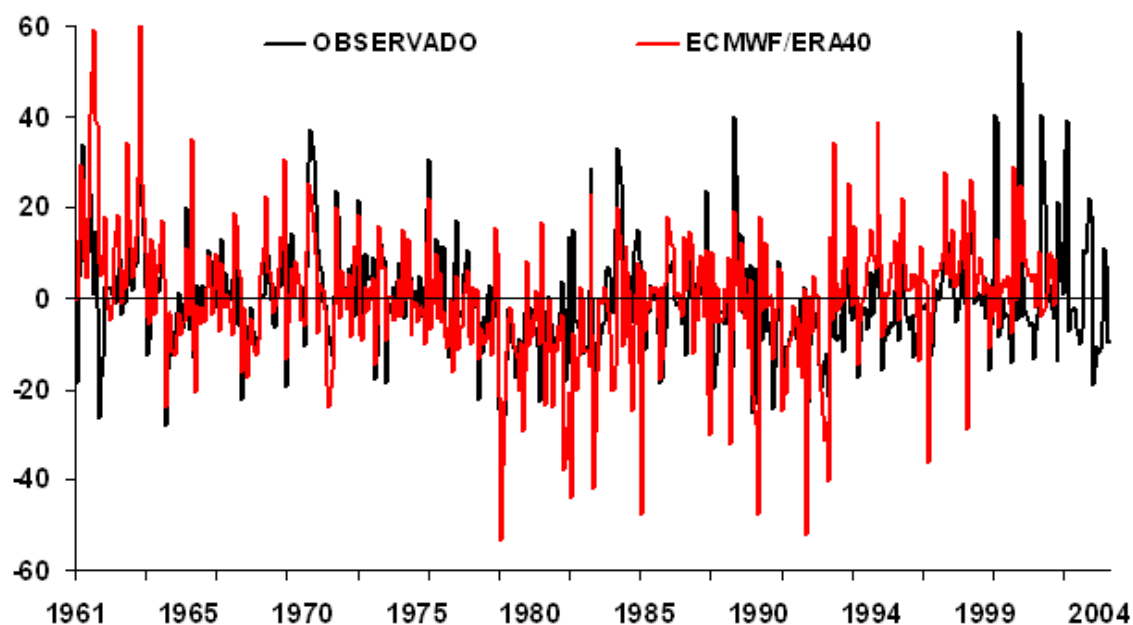


Figura 22 – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência dos registros observado e reanálise do ECMWF/ERA40 para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em mm/mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

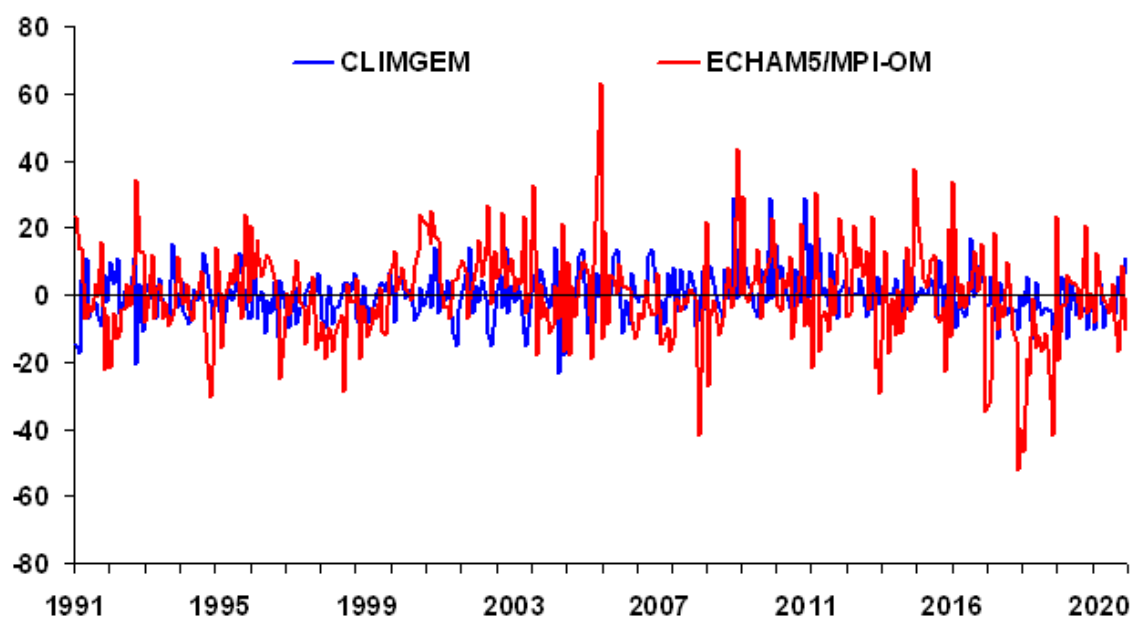


Figura 23 – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência estimada com registros meteorológicos simulados pelo CLIMGEN (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para a mesorregião Jequitinhonha (MR04), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

CAPÍTULO 2

EFEITOS TECNÓLOGICOS, IMPACTOS E PROJEÇÕES DO CLIMA EM CONDIÇÕES ATUAIS E DE AQUECIMENTO GLOBAL NAS SAFRAS DE MILHO EM MINAS GERAIS

RESUMO: O Estado de Minas Gerais é um dos principais produtores de milho do Brasil. Sendo o milho pouco tolerante as condições de adversidade do clima, principalmente, nas fases que variam entre o florescimento e maturação dos grãos. Assim, o clima vem conferido, ano a ano, variações significativas à produção agrícola e, em especial, em áreas com baixo emprego tecnológico. Nesta ordem, o objetivo deste trabalho foi avaliar possíveis impactos do clima, em condições atuais e em projeções de aquecimento global, nas safras de milho para Minas Gerais. Considerando ainda a sistematização do ambiente (solos, relevo e atmosfera), recomendações fitotécnicas e tecnológicos como: espaçamento, adubação química e genética. Os registros meteorológicos empregados foram: radiação solar incidente; velocidade vento, precipitação; evapotranspiração da cultura, temperaturas (máxima e mínima) estruturadas em séries observadas (INMET), para o clima atual, entre as safras 1971/1972 até 2003/2004. Por sua vez, as séries futuras, entre 1991 até 2020, foram simuladas em base sintética (CLIMGEN) e dinâmica (ECHAM5/MPI-OM). A elevação da concentração de CO₂ na atmosfera, no presente, foi tomada a partir de medidas em *Mauna Loa* (Havaí/EUA) e, no futuro, por meio de projeções do IPCC-AR4 (cenário A1B). Os rendimentos de milho foram simulados pelo modelo CERES-MAIZE, incluído no DSSAT, e confrontados com registros oficiais da EMATER-MG/IBGE. Num contexto planta-ambiente, foi produzida análises de impactos biometeorológicos no intuito de contemplar o comportamento da cultura do milho num ambiente em cenários futuros de clima. Para tanto, empregou-se os parâmetros genéticos e fitotécnicos recomendados para cultivar BR201/EMBRAPA. Neste ponto, integrou-se tanto para o ciclo total e a fase crítica a ocorrência do número dias sem chuva e os totais de precipitação; transpiração; evapotranspiração da cultura; graus-dias; duração do ciclo; índice de área foliar máximo e o índice de colheita. Efeitos tecnológicos como a adubação química, mesmo em aplicação mínima, confere um incremento significativo

aos rendimentos. Por sua vez, o CO₂ atmosférico confere estabilidade às simulações ao atenuar os efeitos de condições extremas como secas, porém não conferiram ganhos significativos as safras. A série dinâmica, mesmo com emprego de adubo, produz tendências de quebra das safras milho no futuro, inclusive para os rendimentos potenciais. Tais impactos são atribuídos à elevação da temperatura mínima e a redução das chuvas, principalmente, na fase crítica. Na cultivar BR201, notou-se um recuo no ciclo da cultivar devido à elevação dos graus-dias e a redução nos totais de chuvas e transpiração; índice de área foliar máxima e no índice de colheita. Em Minas Gerais, a tendência de elevação do CO₂ atmosférico, em projeções do IPCC-AR4 (A1B), produz um ambiente climático pouco favorável atividade econômica do milho com quebra de safras e para áreas vulneráveis o risco eminente de colapso do sistema produtivo. Em contrapartida, os registros meteorológicos em séries sintéticas, com os mesmos níveis de projeções de CO₂, preservam no futuro as tendências do presente o que torna viáveis as safras no futuro. Por fim, o avanço tecnológico foi estabelecido, no presente, por meio de análise em “yield gap” que retrata, regionalmente, os níveis de eficiência da cadeia de produção de milho. Neste sentido, os destaques de eficiência são conferidos, em ordem, as mesorregiões Triângulo e Alto Paranaíba, Noroeste e Central Mineira.

Palavras-chave: DSSAT; Milho; Série meteorológica sintética e dinâmica; IPCC.

1. INTRODUÇÃO

Estudos recentes mostram que as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera vêm aumentando desde a Revolução Industrial. Por sua vez, esse acréscimo de gases tem origem em atividades antrópicas, principalmente, queima de combustíveis fósseis, queimadas e desmatamento de florestas. Deste modo, atribui-se estes fatores, a responsabilidade pelo aquecimento global. Além da temperatura, a precipitação também tem sofrido variações decorrentes dessas práticas e as projeções climáticas para este século indicam a possibilidade de graves consequências para a humanidade (MARENGO, 2006; MARENGO et al., 2007; IPCC, 2008). Dentre as atividades econômicas, certamente, a agricultura é a mais dependente dos elementos climáticos.

A expectativa é que tais alterações no clima afete, significativamente, a produção agrícola mundial, uma vez que o crescimento e o desenvolvimento das culturas que dependem diretamente das variações climáticas as quais estão ligadas por uma combinação complexa de interações lineares e não lineares (THORNLEY; JOHNSON, 1990). Vários experimentos têm demonstrado, por exemplo, que a taxa de acúmulo de matéria seca, ao longo do desenvolvimento de culturas agrícolas respondem de maneira linear, por exemplo, ao aumento da temperatura (efeito dos graus-dias). No entanto, a resposta da taxa de fotossíntese tende a aumentar com o aumento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e a temperatura até um determinado nível, quando

alcança um ponto de saturação (SEMENOV; PORTER, 1995). É importante notar que o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas são afetados por eventos climáticos extremos como veranicos, frente frias e quentes, que muitas vezes são mais determinantes as safras das culturas do que as médias dos elementos climáticos. Desse modo, a análise dos efeitos das mudanças climáticas na produtividade agrícola deve levar em consideração as respostas lineares e não lineares da cultura bem como a dinâmica de eventos extremos, através de uma análise da distribuição dos elementos climáticos e da produtividade (SEMENOV; PORTER, 1995).

Neste contexto, entram como atores os modelos matemáticos e biofísicos que permitem gerar cenários, considerando as diversas combinações de elementos e fatores que influenciam no rendimento das culturas agrícolas. De fato, os modelos de crescimento de culturas, por exemplo, apresentam potencial de uso para responder questões em pesquisa, manejo de culturas e planejamento, auxiliando no entendimento sobre as interações genéticas, fisiológicas e do ambiente, como também nas decisões de práticas culturais antes e durante o período da cultura no campo, como aplicações de fertilizantes e irrigação (BOOTE et al., 1996). Numa visão prática, Hoogenboom (2000) aponta que em épocas atuais, os modelos de simulação de crescimento de cultura têm se constituído numa nova e poderosa ferramenta de se fazer pesquisas 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 até mesmo durante as fases do desenvolvimento de uma cultura. Em ambos os casos, a informação obtida pode ser utilizada pelos agricultores ou por agências governamentais para o planejamento de políticas agrícolas.

Muitos estudos vêm refinando conceitos e ajustes que propiciam aos pesquisadores confiança na avaliação de fenômenos ambientais e suas interações com biomas. Entretanto, relacionar fenômenos da natureza, envolvendo trocas e armazenamento de energia, seja na circulação de água no planeta ou na atividade fisiológica de um ser vivo, sempre será um desafio incomensurável. Sendo assim, os modelos mais complexos, e considerados sensíveis, ainda serão meras simplificações quando tratamos de processos dinâmicos da vida no planeta. Desse modo, o ‘estado da arte’ atual converge para um desafio único que é elucidar, no ponto de vista agrícola e ambiental, os impactos nas alterações climáticas, em diferentes escalas de tempo e espaço, e os possíveis efeitos sobre a vegetação e a vida no planeta. Estamos, assim, diante de necessidades urgentes de estudos comparativos, objetivando a caracterização

fisiológica e adaptativa de espécies cultivadas e nativas às mudanças climáticas, para melhor entender os impactos antropogênicos nocivos ao planeta.

Neste ponto, insere-se o milho (*Zea mays* L.) que é considerado uma das principais espécies utilizadas no mundo. Tradicionalmente, no Brasil, o milho sempre foi cultivado como uma cultura típica de sequeiro. Com a expansão das fronteiras agrícolas, principalmente, para áreas de Cerrado, registrou-se um crescimento acelerado das áreas plantadas com soja e milho. Essas áreas, predominantemente com propriedades médias e grandes, foram implementadas com um nível tecnológico mais elevado. Entretanto, as tecnologias atuais são recomendadas para a cultura do milho destinadas a condições de sequeiro, em que a expectativa de produção está em torno de quatro a seis toneladas por hectare.

A produção nacional de milho vem crescendo num ritmo superior a 4% ao ano, e assim, atingiu o patamar de 59 milhões de toneladas (safra 2007/2008). O principal componente desse crescimento foi à elevação da produtividade média, de 1.773 kg/ha, em 1984/1985, para cerca de 4.100 kg/ha, na safra 2006/2007. Todavia, a área cultivada com milho, no Brasil, apresentou uma tímida tendência de crescimento, com flutuações anuais, ocupando cerca de 14,4 milhões de hectares, na safra 2007/2008. Todavia, o Brasil tem dificuldades em potencializar suas safras. A Figura 4A do Apêndice A representa o rendimento médio do milho de 1961 até 2007 – informações contidas na base de dados da FAO (FAOSTAT: <http://faostat.fao.org/>). No exemplo, colocamos a tendência de rendimento para três países: os Estados Unidos (1.º produtor mundial), Brasil (3.º produtor) e Argentina (6.º produtor). E nota-se que a produtividade atual do Brasil, com as tecnologias disponíveis e outras menções positivas, citadas anteriormente, apresentam um bom ritmo de crescimento. Apesar disso, comparando-a com o rendimento norte-americano, nota-se que ainda não atingimos os níveis da cadeia de produção empregado a quase meio século atrás. Por sua vez, os produtores argentinos, para o mesmo período, partiram em 1961 de rendimentos semelhantes aos praticados no Brasil e, atualmente, conseguem manter um patamar próximo dos níveis americanos. Os EUA, Brasil e Argentina têm produtividade média em torno 10.000, 7.000 e 3000 kg/ha, respectivamente (COSTA; AMORIM, 2008).

Em Minas Gerais, registro extraído do portal da Secretaria de Agricultura do Governo Mineiro, na safra em 2006/2007, a produtividade média foi da ordem de 4700 kg/ha com destaques para mesorregiões Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Norte de Minas com 6.000 e 1.800 kg/ha (limite superior e inferior). No Apêndice A, as Figuras

5A, 6A e 7A retratam desde 1972 a tendência dos rendimentos e produção em Minas Gerais. Atualmente, no Estado, a área ocupada com milho é quase a dimensão do Estado de Sergipe. Por sua vez, a expansão de áreas é bom indicativo de investimentos. A Figura 5A indica que a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11) vem, ano a ano, investindo em expansão da cultura. Na contrapartida, vem a Zona da Mata Mineira (MR12), que na safra 1972/1973 teve 20% da área ocupada com milho de Minas Gerais e, em safras atuais, pouco mais de 5% - um recuo em mais de 210.000 ha.

Em termos de rendimentos tendência acumulada (Gráfico de Controle de Soma Acumulativa – COSUM), empregado na Figura 6A. Esta análise evidencia que as mesorregiões: Sul e Sudoeste de Minas (MR01), Noroeste de Minas (MR02), Oeste Mineiro (MR07), Campos das Vertentes (MR08) e Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11) são as regiões que vem, sistematicamente, adequando os rendimentos, em grande parte, devido o emprego, principalmente, de novas tecnologias. Por fim, e em termo integral da produção (Figura 7A) mostra que as mesorregiões o Sul e Sudoeste de Minas (MR01), Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11) e, recentemente, Noroeste de Minas (MR02) vem com políticas e uma expansão cadeia produtiva.

De fato, no Brasil, os rendimentos das lavouras de milho estão aquém do nível esperado. Excetuando-se a situação do Nordeste, onde condições desfavoráveis de clima determinam baixos rendimentos, no resto do país, a utilização de insumos modernos é relativamente baixa. Por exemplo, estima-se que, da área total cultivada, somente cerca de 70% utilizam sementes desenvolvidas por melhoramento genético. Na mesma ordem, 25 a 30% empregam o controle de plantas daninhas; 30% utilizam o tratamento de sementes contra pragas do solo e mantém de alguma forma de controle de pragas na lavoura. O uso de fertilizantes nas lavouras de milho ainda é baixo, em cerca de 220 kg/ha, contra 294 kg/ha aplicados na soja (DUARTE, 2006; COSTA; AMORIM, 2008).

O rendimento de uma cultura agrícola é função, principalmente, de dois conjuntos de fatores: os ambientais e os genéticos. Dentre os fatores ambientais, podem-se destacar, principalmente, o clima (radiação solar, temperatura etc.), água e diversos elementos de natureza biótica e abiótica. Alguns fatores ambientais podem ser controlados através do manejo, por exemplo, o fornecimento de água e nutrientes. Os fatores genéticos, por sua vez, representam de forma racional as características da espécie e da cultivar. De acordo com Couto e Sans (2002), os rendimentos e, ou, produção de uma cultura agrícola está relacionada, em primeiro lugar, com a genética da planta, que pode ser responsável por aproximadamente 60% da expressão da

produtividade. Os 40% restantes podem ser atribuídos ao ambiente (clima, solo, água, etc.). As práticas de manejo cultural podem influenciar direta ou indiretamente os fatores ambientais; um bom exemplo seria a irrigação. Numa cultura livre de pragas, doenças, plantas daninhas e outras injúrias, suprida com água e nutrientes, a taxa de crescimento desta é determinado pela luz incidente, temperatura ambiental e as características morfofisiológica da cultivar. Essa taxa de crescimento é, portanto, descrita como taxa potencial de crescimento e, incondicionalmente, geram rendimentos potenciais.

Nesta ordem, o presente trabalho tem como objetivo avaliar possíveis impactos do clima, em condições atuais e em projeções de aquecimento global, nas safras de milho em Minas Gerais. Para tanto, serão considerados os efeitos ambientais (solos, relevo e atmosfera) associados a aspectos agronômicos e tecnológicos envolvidos no sistema de produção. No intuito de detectar vulnerabilidades e outros efeitos nocivos a cadeia de produção de milho. Neste sentido, por meio de modelos biometeorológicos, serão avaliados possíveis impactos às variações climáticas e sugestões de medidas e adaptações. Por fim, deve-se medir o grau de eficiência regional da cadeia produtiva de milho, se baseado em curvas em “yield gap”.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área considerada foi o Estado de Minas Gerais (Figura 1), 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 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 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 (SANTANA, 2004).

2.2. Estimativas de safras pelo modelo CERES-MAIZE

O CERES-MAIZE (Crop Environment Resource Synthesis-Maize) (JONES; KINIRY, 1986) é um modelo determinístico que também faz parte do pacote DSSAT. O CERES-MAIZE deriva as taxas diárias do crescimento da cultura (PGR, g/dia) que é um produto integrado da luz interceptada pelo dossel (IPAR, MJ/dia) e do uso eficiente da radiação (RUE, g/MJ). Quando a cultura está sob estresse ambiental, o modelo aproxima dos valores limites calculados de fotossínteses e respiração (LIZASO et al., 2005; MERA et al., 2006).

Por sua vez, o DSSAT tem sido usado amplamente nos últimos 15 anos por pesquisadores de diferentes países do mundo. Esse programa, composto por 16 modelos de culturas, possui aplicativos para avaliar e usar recursos naturais e estimar o risco associado às diferentes práticas de manejo, além de se prestar a diferentes propósitos biofísicos e econômicos (JONES et al., 2003). O sistema ainda possibilita: a) introduzir, organizar e armazenar dados de culturas, solos e climas; b) recuperar, analisar e apresentar dados; c) calibrar e testar modelos de diferentes culturas; d) testar diferentes práticas de manejo em um dado local (JONES et al., 2003). Em 2003, surgiu a quarta e mais nova versão do sistema (DSSAT v. 4.0). Segundo Jones et al. (2003), Wilkens et al. (2003) e Hoogenboom et al. (2004), essa última versão foi desenvolvida para operar em ambiente Windows, facilitando ao usuário a avaliação e a aplicação da modelagem de uma cultura para propósitos específicos. Além disso, foi acrescentado o modelo CENTURY para simulação do balanço de matéria seca no solo (JONES et al., 2003), o qual é apropriado em condições de baixo uso de insumos agrícolas na lavoura, onde a decomposição da matéria orgânica do solo representa uma contribuição importante de nitrogênio para as culturas.

Todavia, no estudo adotaremos a versão mais atual do DSSAT, versão 4.5, para simular crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura do milho (HOOGENBOOM et al., 2004). A utilização de simulações do sistema DSSAT é uma boa ferramenta para análises de diferentes estratégias de manejo em função das condições de solo, clima e cultivar, com a finalidade de encontrar práticas que sejam mais favoráveis, e que envolvam menor risco às plantas, assim como, melhorar a qualidade e reduzir o tempo nas tomadas de decisões (MAVROMATIS et al., 2002; PEREIRA, 2008).

Nota-se que para a execução do modelo CERES é imprescindível conhecer um conjunto de registros de entrada, por exemplo: o conjunto de variáveis meteorológicas, em escala diária, necessárias são: temperatura máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), precipitação pluvial (mm), velocidade do vento (m/s) e radiação solar (MJ/m^2). O conjunto de informações fenológicas necessárias para a calibração dos coeficientes genéticos que são: data de plantio, emergência, floração, maturação fisiológica; número de sementes por vagem (espiga), vagens por m^2 (espiga), grãos, peso de grãos e produtividade da cultura. As informações relacionadas com os tratos culturais consistem no manejo de irrigação e de fertilizantes, bem como data de plantio, densidade de plantas e profundidade de plantio. As informações referentes ao solo de estudo, referem-se a suas principais características químicas e físicas (retenção de água e granulométrica), além dos dados de localização, latitude, altitude e longitude.

A taxa de crescimento da cultura, no CERES-MAIZE (DSSAT), é controlada pela temperatura (GDD, graus dias). O número de graus-dias é estruturado a partir de registros de temperaturas máxima e mínima. Contudo, para definir a temperatura base, ótima e máxima é utilizada uma função triangular. A expansão da área foliar é controlada pelos graus dias e pelo estresse hídrico e de nitrogênio (JONES et al., 2003). No estudo, foram promovidas as simulações das safras de milho nas mesorregiões: Sul e Sudoeste de Minas (MR01), Noroeste de Minas (MR02), Norte de Minas (MR03), Jequitinhonha (MR04), Vale do Mucuri (MR05), Vale do Rio Doce (MR06), Oeste Mineiro (MR07), Campos das Vertentes (MR08), Central Mineira (MR09), Metropolitana de Belo Horizonte (MR10), Triângulo e Alto do Parnaíba (MR11) e Zona da Mata Mineira (MR12).

No entanto, as discussões de impactos e projeções das safras e em aspectos biometeorológicos da cultura do milho foram enquadradas para as mesorregiões do Jequitinhonha (MR04) e Triângulo e Alto Parnaíba (MR11). Ou seja, áreas de características socioeconômicas e climáticas divergentes. A primeira mesorregião, com clima próximo do padrão semi-árido e durante as safras ocorrência frequente de estiagens e veranicos, população com “baixo desenvolvimento humano” e lavouras direcionada para subsistência e pouco apelo no emprego de tecnologias. A segunda mesorregião, por sua vez, o rendimento de milho é um dos mais elevados do Brasil e a cultura de milho é conduzida em sistemas de parques tecnológicos. Ou seja, na MR11, as safras têm endereço de comercialização nos grandes centros consumidores, inclusive

internacionais, e a população com maior índice de desenvolvimento humano de Minas Gerais (PNUD, 2003; SEAPA, 2007).

2.3. Ambiente de simulação no *Crop Growth Model* (DSSAT)

2.3.1. Registros meteorológicos e da concentração de CO₂ atmosférico

Seguindo as recomendações e exigências do ambiente de simulação das safras foram empregados registros meteorológicos diários de precipitação total, em mm; temperaturas máxima e mínima, °C; insolação, em horas de brilho solar; e velocidade do vento a 10 metros, em m/s, coletados em estações sinóticas de Superfície do 5.º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), considerando o período de 1960 a 2004. Os registros foram integrados em mesorregiões. No Quadro 1 e na Figura 1 pode-se identificar as mesorregiões, bem como as estações meteorológicas utilizadas no estudo.

O conjunto destas variáveis, e as interações, são adequados para promover simulações de crescimento e desenvolvimento de plantas (HUNT, 1990; HUNT et al., 1993; JONES et al., 2003; CHALLINOR et al., 2005 e 2007). Nota-se que a partir destas variáveis o DSSAT promove simulações da evapotranspiração de referência de acordo com as considerações técnicas consideradas no documento FAO-56 (ALLEN et al., 2006).

Todavia, no estudo, para o período atual, também foram empregados registros extraídos dos campos de reanálises do Centre for Medium-Range Weather Forecasts [ECMWF/Reanalysis: ERA-40] – no portal <http://www.ecmwf.int/research/era/> (UPALLA et al., 2005). De forma operacional, estes dados foram determinantes para o preenchimento de falhas e erros comuns nas séries meteorológicas em registros observados.

Em avaliação de impactos e projeções futuras foram empregados os dois conceitos clássicos para obtenção de séries meteorológicas, ou seja: (a) séries sintéticas com base em preceitos estatísticos. Entretanto, no estudo, as séries sintéticas de registros meteorológicos foram estruturadas a partir do gerador de tempo CLIMGEN (STOCKLE; NELSON, 1999), versão 4.4.15, da Universidade Estadual de Washington/EUA (<http://www.bsyse.wsu.edu/climgen/>) – em domínio público. Encontra-se, no Quadro 3A do Apêndice A, o resumo do experimento numérico. Outro

conceito foi à utilização de (b) séries dinâmicas por meio de modelos de circulação global (MCG). Estas têm como base simulações numéricas para o período atual e para o cenário de aquecimento global, ou seja, até 2100. Para tais fins serão utilizadas saídas da 6.^a geração do Modelo ECHAM5/MPI-OM de Circulação Geral Atmosférica (MCGA) desenvolvido no *Instituto Max-Planck de Meteorologia* (MPIM), Hamburgo, na Alemanha. O modelo foi forçado pelo nível de concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera do cenário A1B seguindo as projeções do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2008). Os dois componentes do modelo, ECHAM5 para a atmosfera, e MPI-OM para o oceano, estão bem documentados (JUNGCLAUS et al., 2006).

Contudo, tanto para séries sintéticas quanto para as dinâmicas, o período de estruturação e avaliação de impacto foi entre 1991 até 2020, ou seja, 29 safras em 30 anos.

No DSSAT o módulo de carbono atmosférico foi abastecido em duas considerações: (a) Concentrações atuais de dióxido de carbono utilizando registros do observatório em Mauna Loa, Havaí, EUA (NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA, 2008); e (b) os níveis de concentração do cenário A1B (IPCC, 2008), descrito. A Figura 2A do Apêndice A mostra que as condições reais para os níveis de CO₂ na atmosfera até 2008 são superiores às projeções propostas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

2.3.2. Registros edáficos (perfis de solos)

Dados de perfis de solo e suas propriedades químicas e físicas estão organizados no Quadro 7A do Apêndice A. Estes registros foram inseridos no módulo de balanço hídrico e caracterização edáfica do DSSAT. O objetivo de introduzir tais dados foi tornar as simulações mesorregionais mais realistas. A Figura 3A do Apêndice A representa a base de dados, com os perfis referenciados, aplicado pelo PROCLIMA (SOUZA et al., 2001). Os dados pedológicos foram georeferenciados de acordo com o solo agrícola predominante em cada mesorregião (PRODEMGE, 2008). Entretanto, os solos, em Minas Gerais, foram organizados a partir de levantamentos do projeto RADAM-BRASIL (BRASIL, 1986); explorações da EMBRAPA e da Fundação João Pinheiro (MG).

2.3.3. Adoção de tecnologias no ambiente em simulação

Neste contexto, foram introduzidos nas simulações dois importantes preceitos tecnológicos, ou seja: (a) adubação e as (b) cultivares, ou seja, espécies geneticamente melhoradas com fins de otimização dos rendimentos.

Todavia, o trabalho não tem como objetivo promover ensaios de adubação química e nem análises de competição entre genótipos. De fato, o que se considerando é o efeito do clima e tecnologias, ou seja, o ponto central converge para produzir indicativos que aperfeiçoem a cadeia produtiva de milho em diversos cenários determinantes nas mesorregiões mineiras.

Neste sentido, foi introduzido o conceito de adubação mínima, ou seja, a menor dosagem de fertilizantes fornecida em que se possam ter rendimentos economicamente viáveis. A adubação mínima sugerida tem como preceito a viabilidade econômica, principalmente, aos produtores com menor disponibilidade de recursos. Nesta ordem, utilizou-se das recomendações para produção de grão proposta por Coelho et al. (2002), conforme Quadro 6A do Apêndice A.

De fato, em comparação a outros modelos utilizados para milho, o modelo CERES-Maize é um dos mais detalhados para predizer o rendimento e estádios fenológicos (Quadro 8A do Apêndice A). Nos processos dinâmicos das simulações são considerados fatores como sensibilidade ao fotoperíodo e os efeitos da alta temperatura no número final de folhas. Além disso, três componentes do desenvolvimento vegetativo, iniciação de folhas, aparecimento de primórdios foliares e iniciação da floração masculina podem ser testados independentemente (KINIRY, 1991).

Como citado anteriormente, o conjunto de informações fenológicas necessárias para a calibração dos coeficientes genéticos que são: data de plantio, emergência, floração, maturação fisiológica; número de sementes por vagem (espiga), vagens por m² (espiga), grãos, peso de grãos e produtividade da cultura. Neste sentido, inserimos no módulo de cultivares ou genótipos os coeficientes genéticos. Estes coeficientes conferem especificidades e características agrônômicas aos cultivares.

Nesta ordem, foram introduzidos coeficientes para sete cultivares com ampla utilização pelos agricultores brasileiros (Quadro 9A do Apêndice A). De fato, a maior inovação empregada no CERES-Maize/DSSAT vem ser o conceito de coeficiente genético, ou seja, este significa que uma característica comum a todas as variedades de milho pode variar quantitativamente, explicando as diferentes adaptações

(SALVADOR, 1993). Esses coeficientes são os seguintes (HOOGENBOOM et al., 1994; JONES et al., 2003): P1 – representa a duração do período vegetativo, soma térmica desde a emergência até o final da etapa juvenil, (temperatura base 8°C); P2 – representa a sensibilidade ao fotoperíodo, dias de atraso na iniciação da floração masculina para cada hora de incremento do fotoperíodo acima de 12,5 horas; P5 – duração da etapa reprodutiva, soma térmica desde a emergência do estigma na espiga até o ponto de maturidade fisiológica do grão (temperatura base 8°C); G2 – número máximo de grãos por planta; G3 – taxa de enchimento do grão (mg dia⁻¹) sob condições ótimas de crescimento. No Quadro 10A do Apêndice A, os coeficientes genéticos de cada cultivar empregado no estudo. Adoção destes coeficientes produz simulações mais realísticas. De acordo com Jame e Curtforth (1996), o uso de características específicas para cada cultivar geralmente melhora a performance do modelo permitindo analisar a adaptação de uma variedade a diversos ambientes.

2.3.4. Cenários em simulações e registros oficiais de safras

No DSSAT, o primeiro nível de simulação pode ser representado pela desativação dos módulos de penalização dos rendimentos referente ao ataque pragas e doença; balanço hídrico; restrição de nutrientes e de interações de microorganismos; do balanço do carbono e outros fatores que possam produzir restrições. Nestas condições, são estruturadas simulações em rendimento potencial, ou seja, sem restrições abióticas e bióticas (GOUDRIAAN; VAN LAAR, 1994). Ou seja, os efeitos determinantes nas safras só podem ser atribuídos à temperatura do ar e a radiação solar incidente.

Em simulações seguintes, no intuito de gerar restrições e penalizações, ativou-se a maioria dos módulos do DSSAT, como citado, exceto o módulo de pragas e doenças por falta de registros confiáveis. Nestes cenários, o efeito do CO₂ atmosférico, das tecnologias (adubação mínima e cultivares) e do clima interagirá, dinamicamente, causando impactos e limitações às safras de milho.

Por fim, as simulações são confrontadas com registros oficiais das safras de milho, entre 1973 a 2008, integrados para as mesorregiões mineiras em estudo. Registros fornecidos pela base de dados da CONAB, IBGE e EMATER-MG. Nota-se que nas simulações a densidade de plantio fixada foi de 60.000 plantas por hectare.

2.3.5. Aspectos biometeorológicos em aquecimento global

No intuito de identificar possíveis alterações morfofisiológicas na cultura do milho, em cenários futuros, são utilizadas séries em conceito sintético e dinâmico com premissas de aquecimento global [metodologias análogas empregada no capítulo 1]. Ou seja, são empregadas saídas dos modelos CLIMGEM e ECHAM5/MPI-OM no módulo de tempo do CERES-Maize/DSSAT. Contudo, nas simulações são consideradas em módulos abertos, ou seja, considerando a maioria das restrições de fatores abióticos e bióticos (exceto o módulo de pragas e doenças por motivos operacionais e falta de dados). Neste caso, são produzidas simulações para cultivar BR201.

Desta forma, foram definidos: (a) o início do período de chuva mesorregional, em dias Juliano; (b) o número de dias sem chuva (NDSC), ou seja, quando a precipitação foi menor que 1,0 mm, tanto na fase considerada crítica quanto para o ciclo total, em dias (Quadro 8A do Apêndice A); (c) precipitação total para fase crítica e ciclo total, em mm/ciclo; (d) duração do ciclo vegetativo, em dias; (e) os graus-dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; (f) Índice de Área Foliar máximo observado no ciclo; (g) transpiração total da cultura, em mm/ciclo; (h) evapotranspiração do milho durante a fase crítica e o ciclo total, em mm/ciclo; e, por fim, (i) o índice colheita (relação entre parte econômica que compõe o interesse econômico da cultura e a parte aérea total).

A adoção da cultivar BR201 foi baseada em preceitos técnicos e importâncias socioeconômicas. De acordo com Duarte (2006), a cultivar BR 201, nos últimos anos, assumiu lugar de destaque, nos sistemas de produção de milho no Brasil, uma vez que suas características são direcionadas para a região Centro-Sul do Brasil, podendo ser plantada tanto na safra de verão quanto na segunda safra, dada sua precocidade. Esse híbrido já atingiu mais de 12% de participação no mercado de sementes, com cerca de 900.000 hectares em área plantada. Mesmo tendo diminuído essa participação, com o lançamento de cultivares mais moderna e produtiva, atualmente, detém aproximadamente 1,4% do mercado de sementes, sendo plantado em cerca de 170.000 hectares. Mesmo assim, esse híbrido é ainda considerado o cultivar de maior participação de mercado entre os híbridos produzidos no Brasil. Agronomicamente a cultivar BR201, em condições ideais, tem o rendimento máximo da ordem de 8.500 kg/ha e um ciclo vegetativo, em torno de 130 dias, considerado como precoce (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2008).

2.3.6. Análises de avanço tecnológico em “yield gap”

De acordo com Evans (1993), avanços tecnológicos são medidas de grande importância estratégica numa determinada área ou região. Rugege (2002) nota que uma forma simples de medir tais avanços seria por meios de tendências em “yield gap”. Na verdade, o conceito de “yield gap” pode ser definido como amplitudes entre rendimentos reais (obtidas por fazendeiro, mesorregiões, países, etc.) e qualquer rendimento de referência. Neste caso, comumente, utiliza-se o rendimento potencial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Rendimentos: impactos e projeções nas safras de milho

O rendimento do milho, fisiologicamente, é função da interação de vários fatores, sendo os mais importantes à interceptação de radiação pelo dossel, eficiência metabólica, eficiência de translocação de assimilados para os grãos e a capacidade de dreno. As relações de fonte e dreno são funções de condições ambientais e as plantas procuram se adaptar as condições impostas pelo ambiente. As respostas diferenciadas dos genótipos à variabilidade ambiental, ou seja, à interação genótipo e ambiente não são independentes. Daí a importância de conhecer as interações do ambiente com a planta e analisar todo o ciclo da cultura, procurando prever as condições ambientais em todas as suas fases fenológicas (RIHA et al., 1996).

O primeiro passo, antes do início das simulações das safras de milho, foi à definição do início de chuvas nas séries meteorológicas, ao longo dos anos, avaliada para cada mesorregião. Os critérios para definir o início de chuva seguem recomendações propostas por Costa (1994), ou seja, identificar a lâmina de chuva e a duração que atenda o interesse de atividades e planejamento agrícola. Todavia, nota-se que tais premissas foram supra-importantes nas simulações, e de certo modo, seguem uma tendência natural empregadas pelos agricultores quando decidem pelo início do plantio, ou seja, identificar o momento de melhor distribuição de chuvas, ou seja, uma situação mais realista para o início do plantio regional. Sendo assim, o ponto chave seria garantir um suprimento de água para sustentar a germinação e parte da fase de desenvolvimento vegetativo. É importante notar que, em escala local ou reduzida, tais datas identificadas não devem ser consideradas como recomendações de épocas plantio.

A estratégia correta, para épocas de plantio, deve convergir para a determinação de um período no qual possa garantir o melhor suprimento de água nas fases determinantes ou críticas, por exemplo, no período entre a floração e o enchimento grãos (Quadro 8A do Apêndice A).

As datas de início de plantio foram definidas para os três conceitos de séries meteorológicas empregada no estudo, ou seja: registros em séries observada, sintética e dinâmica. Nos Apêndices B, C, D, E, F, G, H e I encontram-se nos Quadros 1, 2 e 3, coluna “plantio” preenchida com datas em dias Juliano. Todavia, as análises aqui produzidas são referentes às mesorregiões do Jequitinhonha (MR04) e Triângulo e Alto Paranaíba (MR11) por razões já discutidas anteriormente.

As Figuras 24 e 25 representam simulações de rendimento tanto potencial quanto penalizado para mesorregião Jequitinhonha (MR04), em clima atual, ou seja, séries meteorológicas observadas entre 1972 e 2004. Na mesma ordem de simulações, cenários e mesorregião, as Figuras 26 e 27, foram estruturadas em séries futuras, entre 1991 e 2020, em base sintética – CLINGEN. E, por fim, as Figuras 28 e 29, empregando simulações futuras em base dinâmica – ECHAM5/MPI-OM.

A mesorregião do Jequitinhonha (MR04) retrata um clássico exemplo de sistema pouco eficiente para produção de safras de milho. Considerando o clima, a MR04 é uma região comumente afetada por secas e veranicos prolongados que limitam rendimentos das culturas agrícolas. Outro aspecto determinante pode ser conferido aos agricultores que nessa região conduzem os cultivos num patamar de agricultura familiar ou de subsistência. Neste caso, normalmente investem em menos tecnologias, em função dos riscos de perdas das safras e dificuldades de comercializar a produção. No entanto, pode-se observar, nas Figuras 24 ou 25, que a região tem elevado potencial para rendimentos de milho. Para tanto, seriam necessário investimentos em tecnologias e orientação técnica aos agricultores. De fato, o rendimento potencial médio é da ordem de 8.000 kg/ha com limites entre 4.000 e 15.000 kg/ha (média e amplitudes dos rendimentos potenciais dos sete genótipos avaliados (Quadro 10A do Apêndice A).

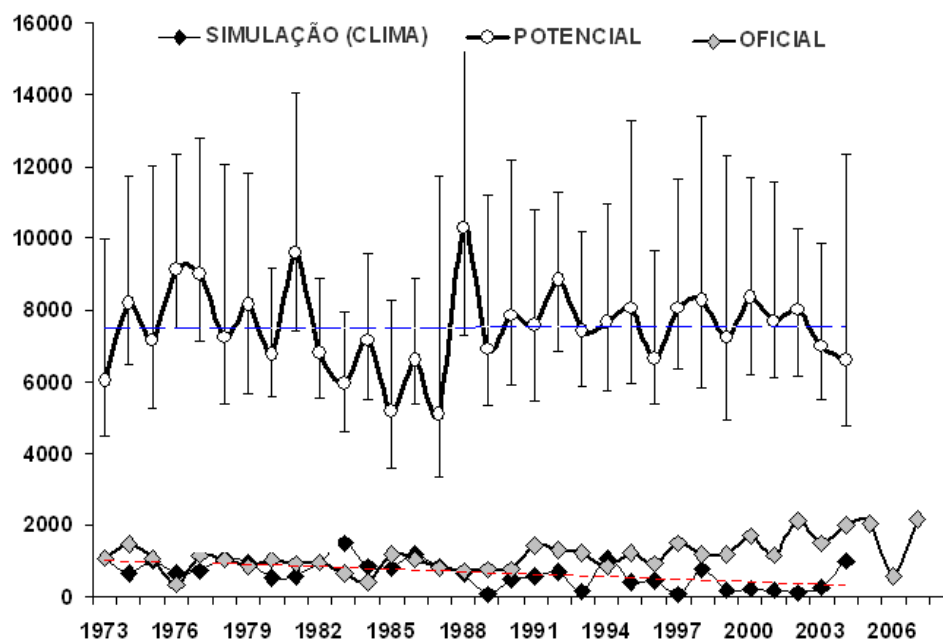


Figura 24 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Jequitinhonha (MR04), em kg/ha. Simulações em clima atual – registros meteorológicos do INMET e falhas preenchidas com dados de reanálise (ECMWF/ERA40).

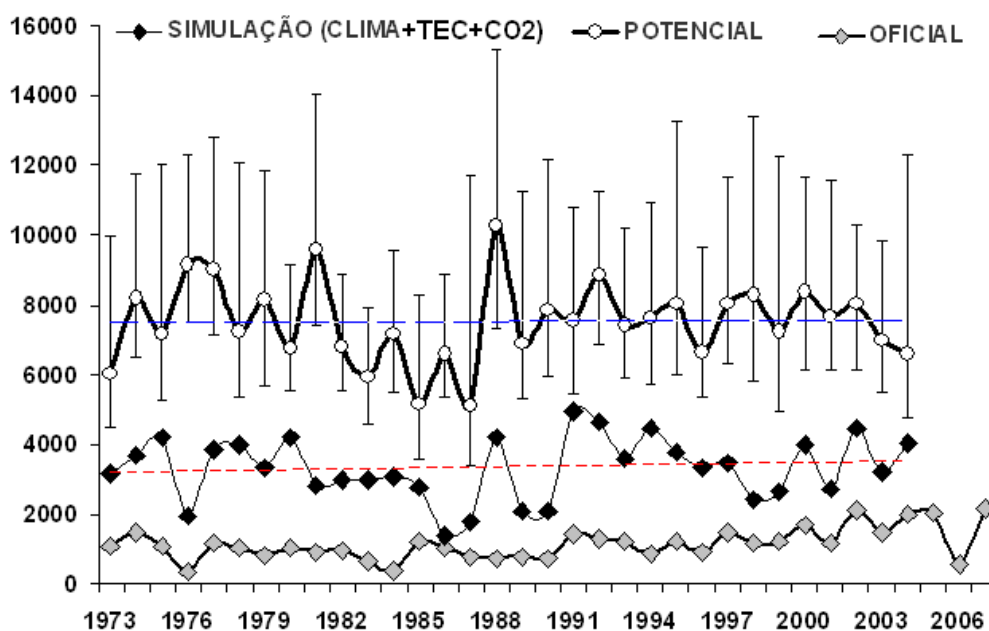


Figura 25 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Jequitinhonha (MR04), em kg/ha. Simulações em clima atual, CO₂ atmosférico (NOAA) e adubação mínima – registros meteorológicos do INMET e falhas preenchidas com registros em reanálise do ECMWF/ERA40.

No presente, os rendimentos oficiais na MR04 (safras entre 1971/72 a 2006/07), e 25, estão num patamar muito semelhante às simulações num quadro sem adoção de tecnologias (Figura 24). Porém, os rendimentos reais vêm com tendência de elevação, principalmente, desde 1990 – como citado pelo Governo (BRASIL, 2006). De acordo com Costa e Amorim (2008), uma das principais vantagens em estudos de modelagem reside na avaliação de expectativas e otimização de qualquer sistema produtivo. Por exemplo, na Figura 25, o emprego de uma recomendação mínima de adubo química e genética elevaria significativamente os rendimentos na região do Jequitinhonha.

No futuro, como citado, foram empregados nas simulações de safras os dois conceitos clássicos de estruturação de séries meteorológicas, ou seja: dinâmica e a sintéticas. Contudo, sem o emprego de tecnologias (Figuras 26 e 28), nota-se que os rendimentos, tanto em série dinâmica quanto na sintética, são semelhantes e convergem para rendimentos baixos e em alguns anos nulo. Todavia, o emprego de tecnologias padronizadas (Figuras 27 e 29) emprega melhoria significativa aos rendimentos, principalmente, em registros meteorológicos em base sintética. Nestas figuras, observam-se divergências nos rendimentos potencial e penalizado. Os registros em base dinâmica, em função do aquecimento global que eleva a temperatura do ar e diminuição do total de chuva, reduzem os rendimentos e anula efeitos positivos das tecnologias como genética e adubação. De fato, considerando projeções em cenário dinâmico, converge-se para inviabilidade ou até mesmo colapso da cadeia de produção de milho na mesorregião do Jequitinhonha.

As Figuras 30, 31, 32, 33, 34 e 35 representam as mesmas simulações, conferida anteriormente, porém para mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11). Contudo, simulações para outras mesorregiões de Minas Gerais estão estruturadas nos Quadros 1I a 13I do Apêndice I. Todavia, o detalhe principal nestas figuras pode ser conferido aos rendimentos observado (oficial), em função de tecnologia empregada nesta região, apresenta atualmente um patamar dentro da faixa potencial, principalmente, considerando as simulações em cenário dinâmico. As divergências também são observadas entre as séries dinâmica e sintética.

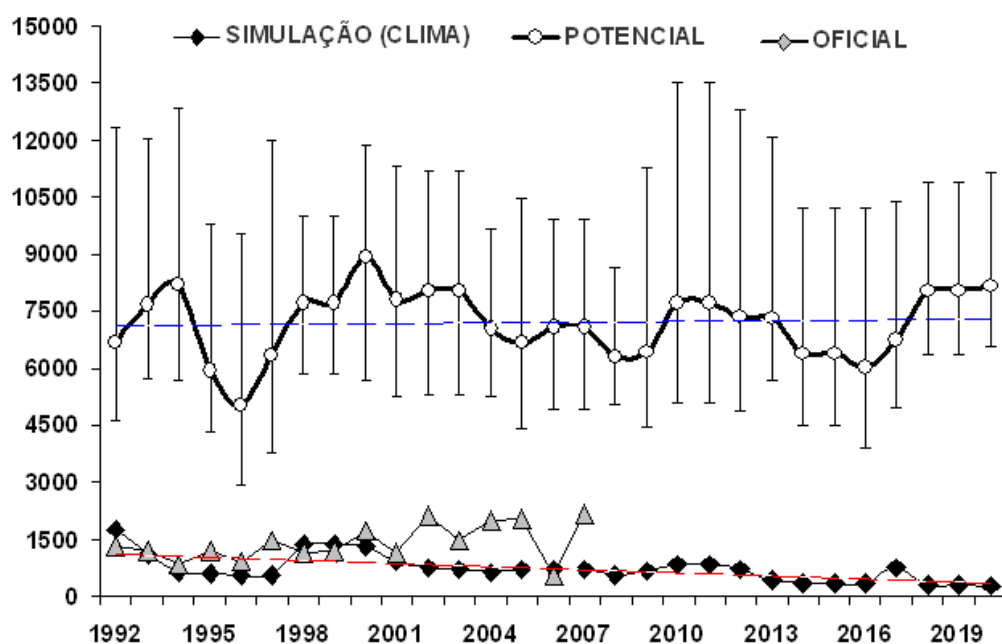


Figura 26 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Jequitinhonha (MR04), em kg/ha. Simulações em clima futuro – registros meteorológicos em séries sintéticas (CLIMGEN).

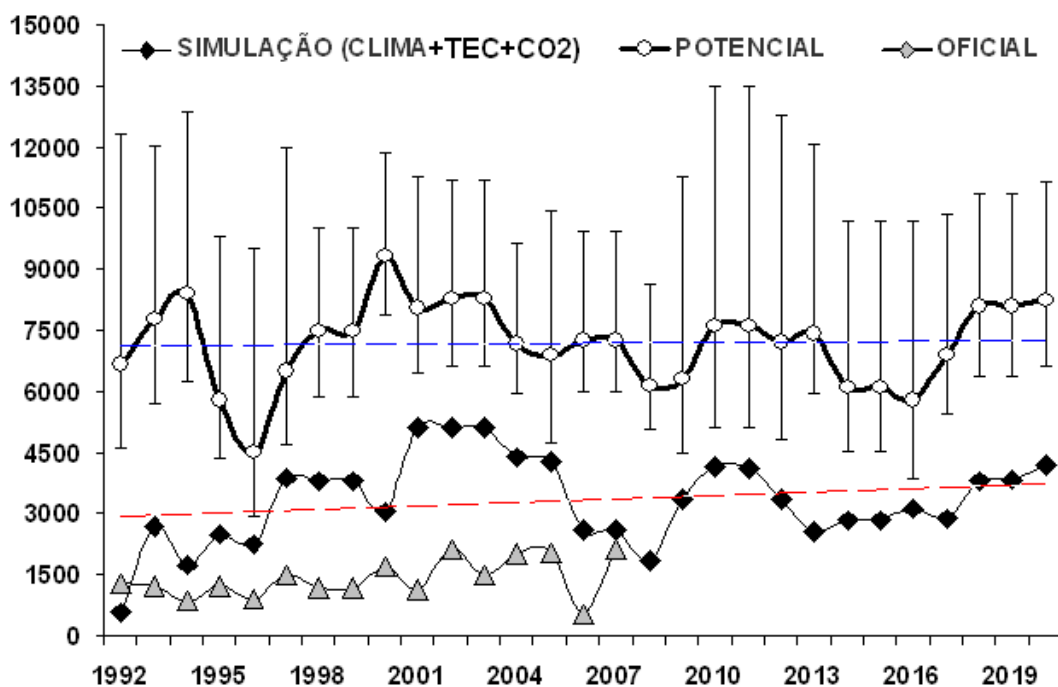


Figura 27 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Jequitinhonha (MR04), em kg/ha. Simulações em clima futuro, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2008) e adubação mínima – registros meteorológicos em séries sintéticas (CLIMGEN).

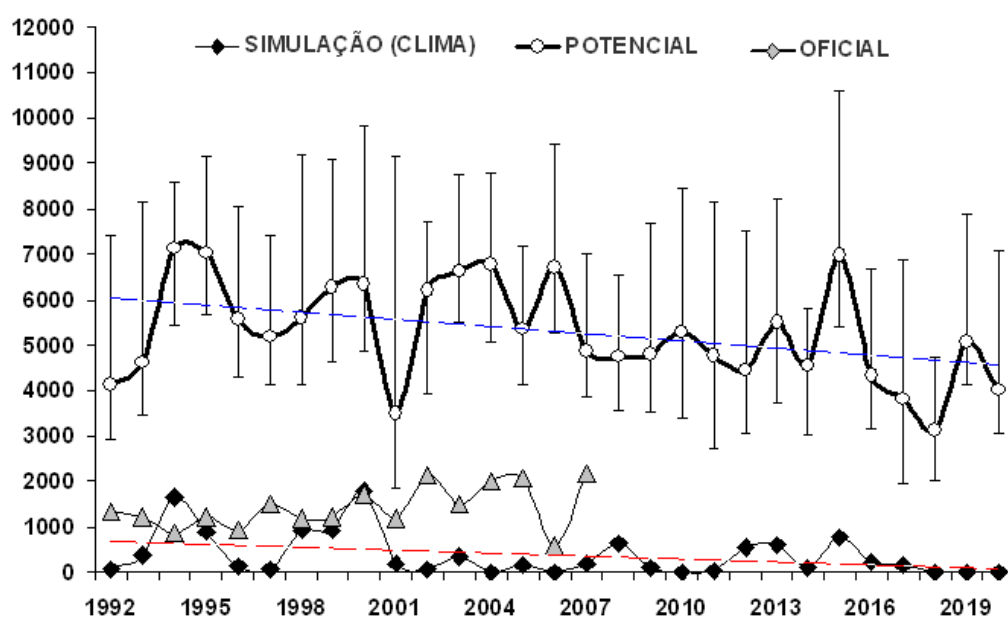


Figura 28 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Jequitinhonha (MR04), em kg/ha. Simulações em clima futuro – registros meteorológicos em séries dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM).

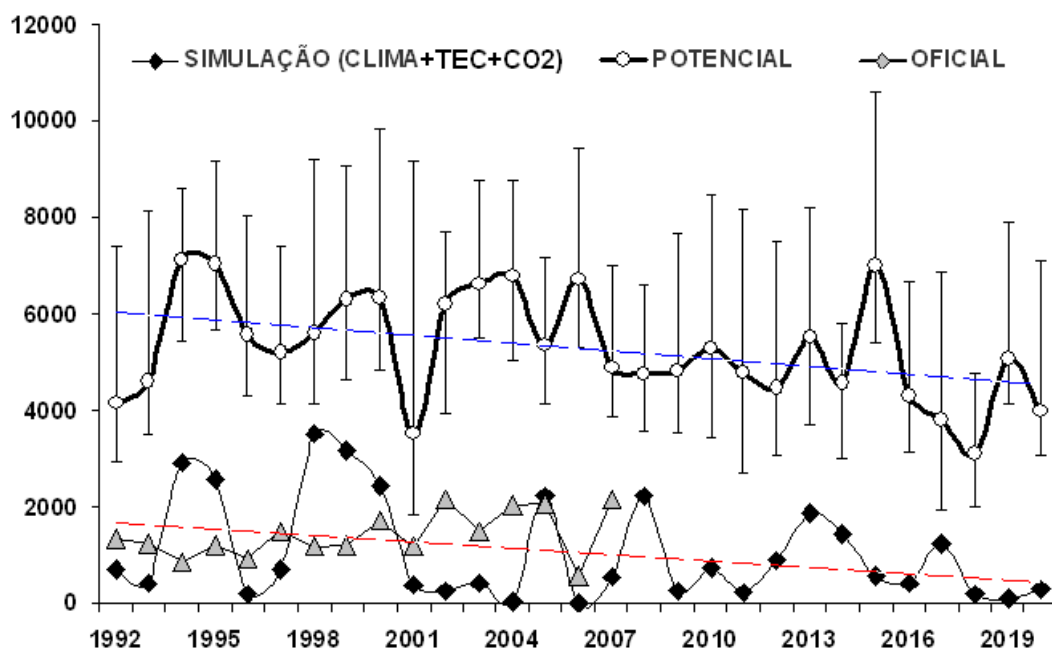


Figura 29 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Jequitinhonha (MR04), em kg/ha. Simulações em clima futuro, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2008) e adubação mínima – registros meteorológicos em séries dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM).

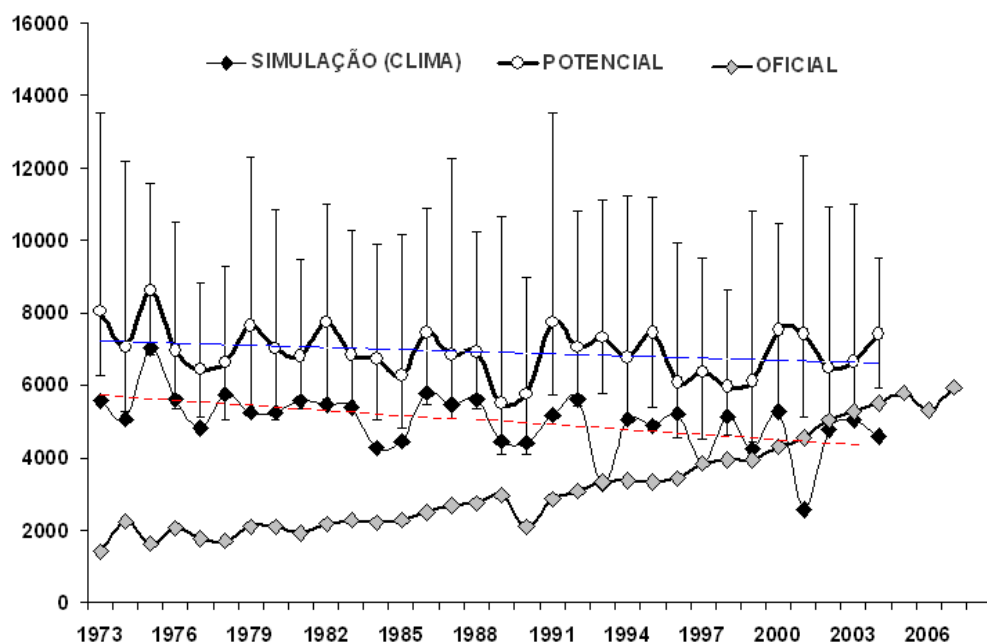


Figura 30 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11), em kg/ha. Simulações em clima atual – registros meteorológicos do INMET e falhas preenchidas com dados de reanálise (ECMWF/ERA40).

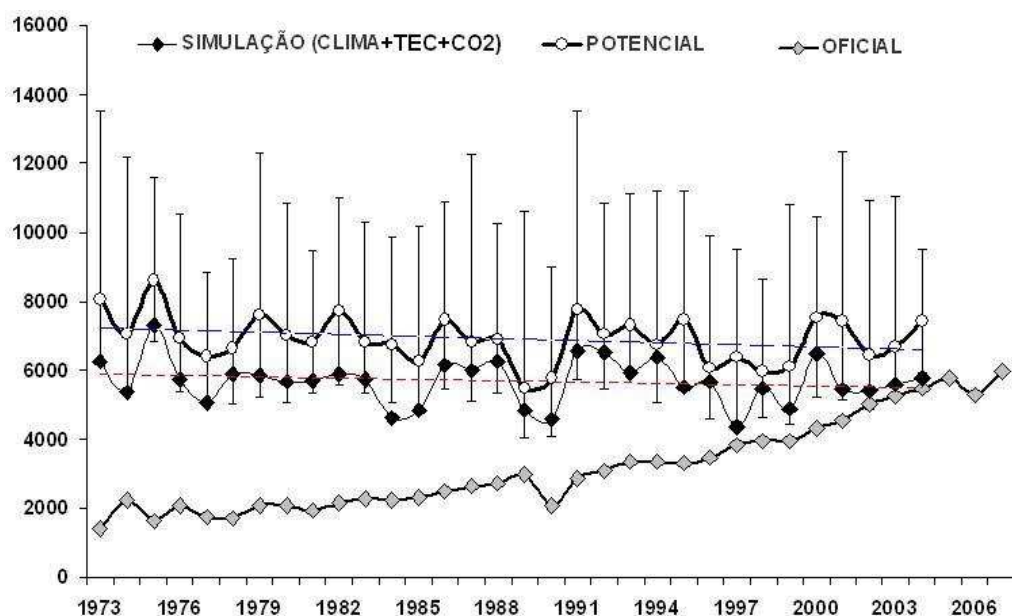


Figura 31 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11), em kg/ha. Simulações em clima atual, CO₂ atmosférico (NOAA) e adubação mínima – registros meteorológicos do INMET e falhas preenchidas com registros em reanálise do ECMWF/ERA40.

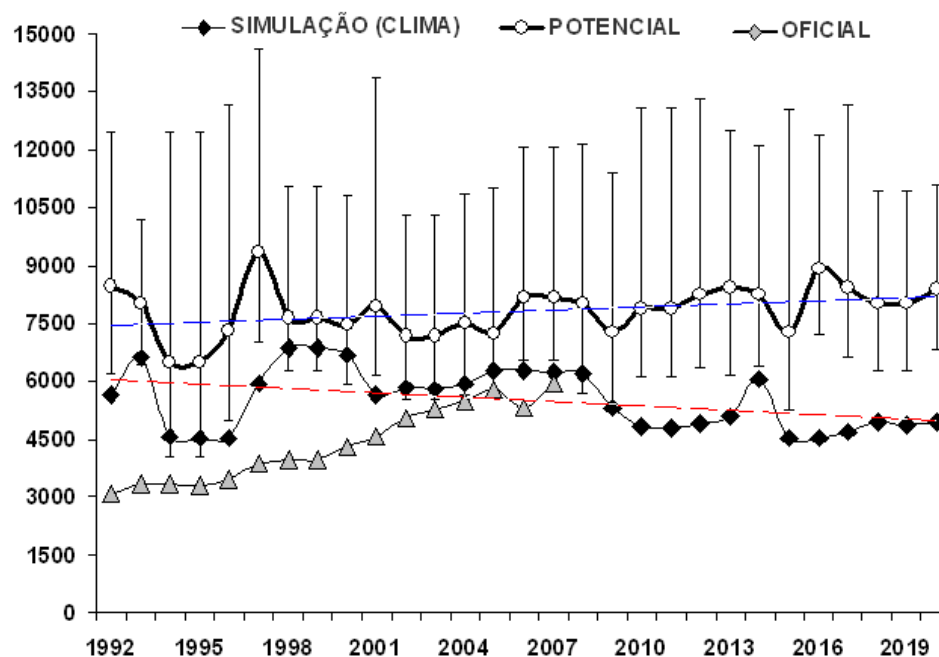


Figura 32 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11), em kg/ha. Simulações em clima futuro – registros meteorológicos em séries sintéticas (CLIMGEN).

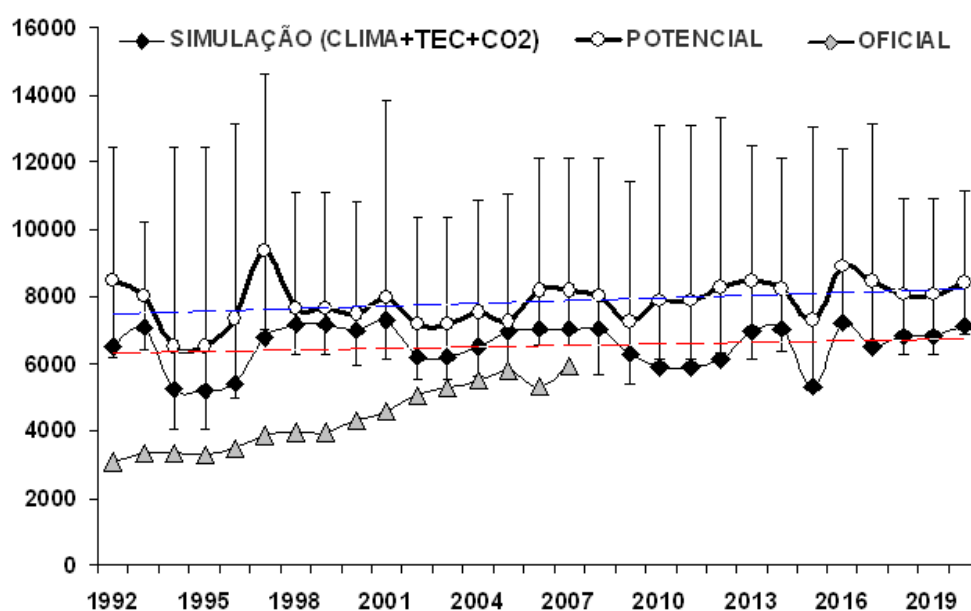


Figura 33 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11), em kg/ha. Simulações em clima futuro, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2007) e adubação mínima – registros meteorológicos em séries sintéticas (CLIMGEN).

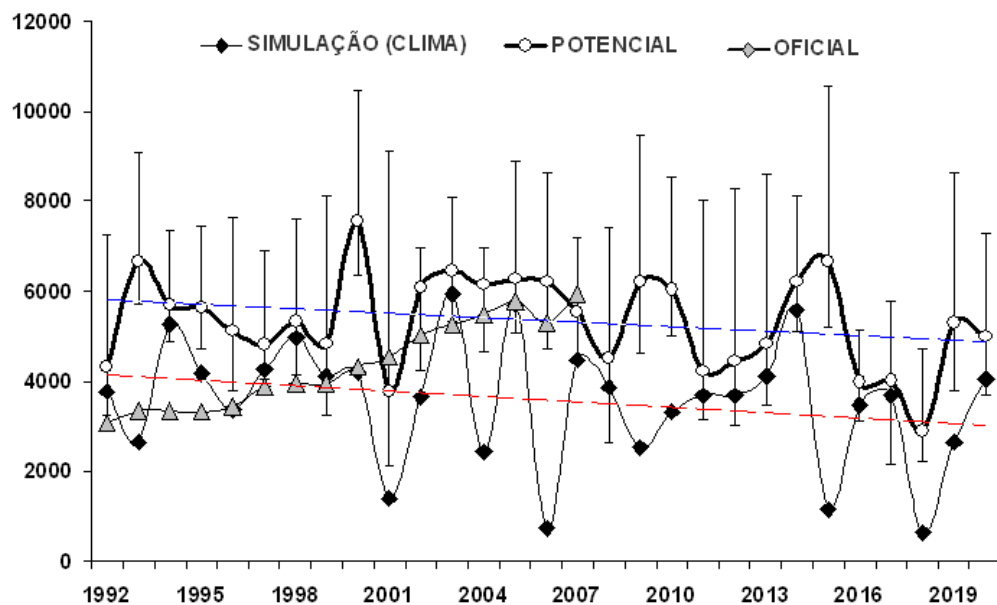


Figura 34 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11), em kg/ha. Simulações em clima futuro – registros meteorológicos em séries dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM).

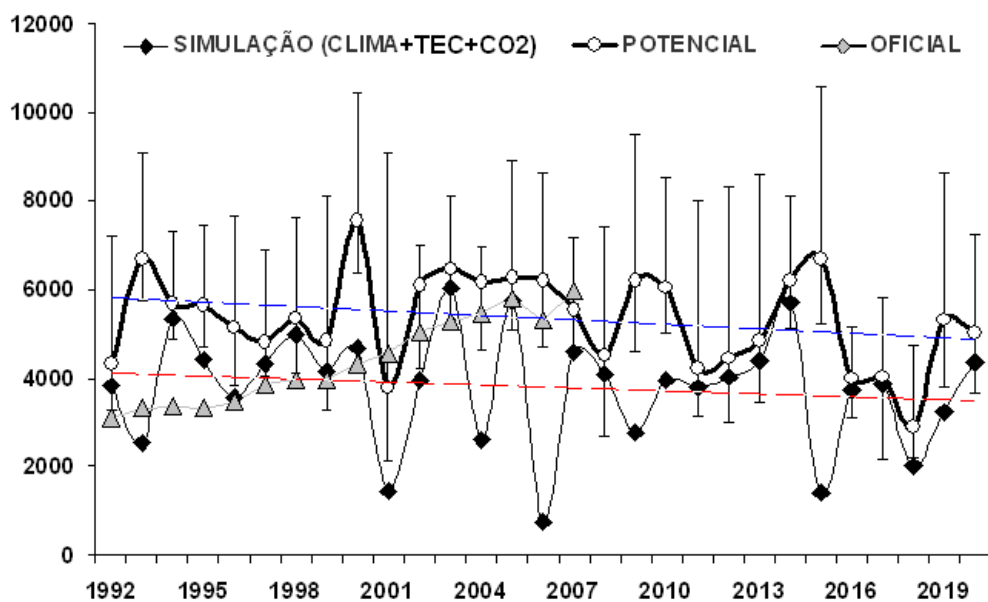


Figura 35 – Rendimentos reais e simulados (penalizado e potencial) para a cultura de milho na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11), em kg/ha. Simulações em clima futuro, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2007) e adubação mínima – registros meteorológicos em séries dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM).

O rendimento potencial, ou seja, aquele em que a cultura agrícola não sofre restrições do ambiente varia com especificações genéticas de cada híbrido. De acordo com Duarte (2006), em sistema de produção, as safras estão relacionadas, em primeiro lugar, com a genética das plantas, que pode ser responsabilizada por aproximadamente 60% da expressão dos rendimentos. Os 40% restantes podem ser atribuídos ao ambiente (clima, solo, água, etc.). As práticas de manejo agrícola, no geral, influenciam direta ou indiretamente os fatores ambientais; um bom exemplo seria a própria adubação química e a irrigação. De fato, este tipo de informação é que seria desejável aos produtores de milho, principalmente, da mesorregião do Jequitinhonha. De fato, entre as mesorregião de Minas Gerais a MR04, certamente, é a área de maior lastro para otimização da cadeia produtiva de milho (Quadros 9, 10 e 11).

O Quadro 9, por exemplo, retrata em razões, em %, o incremento do efeito da adoção de tecnologias, como por exemplo, cultivares melhoradas, espaçamento e adubação química e dióxido de carbono atmosférico. A coluna “Rendimento médio” representa as safras médias simuladas, em registros meteorológicos observados, entre 1990 e 2004 – o governo brasileiro considera o ano de 1990 como o período inicial do avanço tecnológico no parque agrícola nacional (BRASIL, 2006). A coluna Clima “A” representa, no mesmo período, o impacto do acréscimo do dióxido de carbono (CO₂) atmosférico e a não adubação química. Por sua vez, na coluna Clima “B”, o contrário, ou seja, o efeito da adubação química na simulação dos rendimentos e não considerando a presença do CO₂ atmosférico. E, por fim, a coluna “Oficial” que representa os rendimentos observados (médias entre 1990 e 2004 extraídas do Quadro IH). No período, quando comparado com dados oficiais, na mesorregião de Jequitinhonha, por exemplo, adoção de tecnologias geraria um lastro suficiente para elevar os rendimentos em torno de 168% e para o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba em 43%. Porém, removendo da simulação o adubo químico ocorre, de forma geral, queda nos rendimentos. Impacto significativo, superior a 700%, por exemplo, na mesorregião do Jequitinhonha (MR04). Isto se deve, basicamente, aos solos pobres e a ocorrência de secas e veranicos (clima semi-árido). Por sua vez, o efeito do dióxido do carbono atmosférico, por meio de projeções do IPCC, além de não ser expressivo, tende a reduzir os rendimentos – exceto as mesorregiões MR01 e MR12.

Quadro 9 – Avanços dos efeitos tecnológicos, ambiente e concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, em % [clima presente - registros observados]

MESORREGIÃO	CÓDIGO	Rendimento médio ¹ (kg/ha)	Clima A ² (%)	Clima B ³ (%)	Oficial ⁴ (%)
Sul e Sudoeste de Minas	MR01	4303	-10,7	+0,7	-23,8
Jequitinhonha	MR04	3696	-725,4	-4,4	-167,1
Vale do Rio Doce	MR06	3119	-3,5	-12,5	-56,7
Central Mineira	MR09	6333	-72,6	-0,7	-140,5
Metrop. de Belo Horizonte	MR10	4575	-70,1	-4,0	-85,7
Triângulo/Alto Paranaíba	MR11	5713	-23,4	-0,0	-43,2
Zona Mata Mineira	MR12	4350	-13,3	+0,3	-76,6

(1) Rendimentos médios considerando adubação química e CO₂ em níveis atuais, entre 1990 a 2004; (2) Rendimento simulado sem adoção de adubo químico e considerando a [CO₂] atmosférico; (3) Rendimento em simulações com adubação química e sem os níveis de CO₂ atmosférico; (4) Safras médias - 1990 a 2004 [EMATER/MG e IBGE]: obs.: Razão = [(Clima A² - Rendimento¹)/Rendimento¹] x 100.

Os Quadros 10 e 11 são semelhantes às análises no Quadro 9, ou seja, buscou-se de forma resumida avaliar adoção de tecnologias como, por exemplo, adubação química e genética, bem como, o efeito do CO₂ atmosférico. Todavia, nas simulações, foram empregados registros meteorológicos em base sintética e dinâmica, respectivamente. Sendo assim, séries meteorológicas em base sintética geraram rendimentos semelhantes quando comparado com os rendimentos simulados com dados observados. No capítulo 1, foi observado que os registros meteorológicos em base sintética preservam tanto as características como as tendências dos registros observados – em termo de validação estas séries foram em registros contínuos (diário) e nas climatologias. Todavia, no Quadro 10, nota-se uma atenuação nos impactos, quando comparado com os valores do Quadro 9. Por exemplo, na MR04 a queda do rendimento foi de 268%. Especula-se que as funções probabilísticas, inerentes nos processos de estruturação da base sintética, promovam uma melhor distribuição das chuvas ao longo do ciclo da cultura.

O Quadro 11, em cenário dinâmico, apresentou os menores rendimentos. Tendência observada nos 30 anos futuro (1991-2020) – veja adiante, Figuras 25 a 36, referente às mesorregiões MR04 e MR11. Do capítulo 1, tem-se que as séries dinâmicas apresentaram dois aspectos determinantes ao desenvolvimento dos cultivos, ou seja: (1)

redução nos totais de chuva e (2) um aumento significativo da temperatura mínima. Em algumas mesorregiões, como MR01, MR04, MR11 e MR12, os rendimentos oficiais foram superiores. Neste cenário, aplicação de fertilizantes não contribuiria para elevação dos rendimentos. Ou seja, a redução das dos totais de chuvas, cenário dinâmico, favoreceu a ocorrência de secas e veranicos durante o ciclo da cultura. Nesta ordem, os adubos químicos que são sais, mesmo em níveis mínimos, competem por água com as plantas.

Em plantas, o aumento da concentração de CO₂ atmosférico causa aumento da taxa de crescimento, pois o CO₂ é o substrato primário para fotos síntese (TAIZ; ZEIGER, 2006). Plantas com metabolismo C₃ são mais beneficiadas pelo aumento de CO₂ atmosférico do que plantas com metabolismo C₄ (TUBIELLO et al., 2000; SIQUEIRA et al., 2000; STRECK, 2005). No entanto, se o aumento da concentração de CO₂ for acompanhado de aumento da temperatura do ar, o que foi observada na série dinâmica estrutura a partir do modelo ECHAM4/MPI-OM, poderá não haver aumento no crescimento e no rendimento das culturas, principalmente em razão do encurtamento do seu ciclo de desenvolvimento (SIQUEIRA et al., 2000) e aumento da respiração (fotorrespiração e fase escura da respiração) do tecido vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2006; STRECK, 2005).

De acordo com Fancelli e Dourado-Neto (2005), em milho e outras plantas com mecanismo C₄, elevações na temperatura, principalmente a noturna (onde ocorre à mínima do dia), refletem diretamente na redução da taxa fotossintética líquida. Fisiologicamente, isso ocorre devido um incremento da respiração celular que ocasiona um menor saldo de fotoassimilados, conseqüentemente, produz impactos diretos nas safras. Como visto no capítulo 1, a temperatura mínima no cenário dinâmico, foi a variável meteorológica que sofreu maior impacto, inclusive, climatológico, devido à premissa de aquecimento global. Em função do aumento da temperatura, principalmente a mínima, ocorreu uma menor assimilação do CO₂ atmosférico e queda de até 75% no rendimento – veja no Quadro 11, coluna Clima B, mesorregião da Zona da Mata Mineira (MR12).

Quadro 10 – Avanços dos efeitos tecnológicos, ambiente e concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, em % [clima futuro – séries sintéticas: CLIMGEN]

MESORREGIÃO	CÓDIGO	Rendimento médio ¹ (kg/ha)	Clima A ² (%)	Clima B ³ (%)	Oficial ⁴ (%)
Sul e Sudoeste de Minas	MR01	3818	-11	0,0	0,0
Jequitinhonha	MR04	3352	-268	-7,0	-136,0
Vale do Rio Doce	MR06	4329	-4,0	-3,3	-109,9
Central Mineira	MR09	5832	-11,9	-1,8	-108,6
Metrop. de Belo Horizonte	MR10	5742	-20,0	-4,4	-117,1
Triângulo/Alto Paranaíba	MR11	6543	-11,1	-0,1	-49,4
Zona Mata Mineira	MR12	4354	-14,5	+0,8	-67,9

(1) Rendimentos médios considerando adubação química e CO₂ em níveis de projeções (IPCC, 2007), entre 1990 a 2004; (2) Rendimento simulado sem adoção de adubo químico e considerando a [CO₂] atmosférico; (3) Rendimento em simulações com adubação química e sem os níveis de CO₂ atmosférico; (4) Safras médias - 1990 a 2004 [EMATER-MG e IBGE]: obs.: Razão = [(Clima A² - Rendimento¹)/Rendimento¹] x 100.

Quadro 11 – Avanços dos efeitos tecnológicos, ambiente e concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, em % [Clima futuro – séries dinâmicas: ECHAM5/MPI-OM]

MESORREGIÃO	CÓDIGO	Rendimento médio ¹ (kg/ha)	Clima A ² (%)	Clima B ³ (%)	Oficial ⁴ (%)
Sul e Sudoeste de Minas	MR01	3374	-18,5	-17,6	+11,8
Jequitinhonha	MR04	1281	-162,9	-38,5	+9,8
Vale do Rio Doce	MR06	4323	-4,4	-3,1	-109,6
Central Mineira	MR09	4450	-7,1	-7,1	-59,2
Metrop. de Belo Horizonte	MR10	5183	-9,0	-3,7	-96,0
Triângulo/Alto Paranaíba	MR11	3933	-3,0	-3,5	+10,2
Zona Mata Mineira	MR12	1406	-63,3	-75,4	+45,8

(1) Rendimentos médios considerando adubação química e CO₂ em níveis de projeções (IPCC, 2007), entre 1990 a 2004; (2) Rendimento simulado sem adoção de adubo químico e considerando a [CO₂] atmosférico; (3) Rendimento em simulações com adubação química e sem os níveis de CO₂ atmosférico; (4) Safras médias - 1990 a 2004 [EMATER/MG e IBGE]: obs.: Razão = [(Clima A² - Rendimento¹)/Rendimento¹] x 100.

3.2. Impactos e projeções biometeorológicos (cultivar BR201/EMBRAPA)

A cultura do milho exige, em média, 400 a 600 mm de precipitação para que possa manifestar seu potencial produtivo, sem a necessidade da utilização da prática de irrigação. Todavia, o período compreendido entre a fase de floração e enchimento de grãos, caracteriza-se como a mais sensível ao estresse hídrico, resultando em perda significativa e irreversível de produção – nesta ordem denominaremos esta fase como crítica (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2005; EMBRAPA, 2008).

Para as análises biometeorológicas foram tomados aspectos morfofisiológico da cultivar BR201/EMBRAPA, como citado anteriormente, devido a importância desta cultivar no cenário agrícola brasileiro. A primeira análise, em cenário futuro, refere-se o fornecimento natural água, ou seja, por meio de totais de chuvas. Nota-se que os conceitos envolvidos na estruturação de séries meteorológicas, entre séries sintéticas e dinâmicas, como visto são tecnicamente distintos.

Em estudos de séries e climatologias para as mesorregiões mineiras, como visto no capítulo 1, os principais impactos visto nas séries dinâmicas foram à redução nos totais de chuva e aumento da temperatura mínima. Em contrapartida, as séries sintéticas, no geral, preservaram tendências ou promoveram pequenas alterações nos regimes climáticos. De fato, adiante avaliando a biofísica, estas características traçaram alterações significativas tanto em termo de rendimentos quanto na morfologia da cultivar BR201/EMBRAPA.

A Figura 36, por exemplo, representa a integração dos totais de chuvas, em séries dinâmica e sintética, estimadas para a mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11). O período integrado foi entre 1991 e 2020 contabilizando o de 29 safras de milho. Estes totais foram sistematizados tomando como referencia a fase crítica (FC) e o ciclo total (FT) da cultivar BR201. Nesta ordem, nota-se uma redução significativa no total precipitado quando adotamos os registros meteorológicos em séries dinâmicas. Em termos gerais, na fase crítica (FC), tomando como referência a série sintética, o volume foi superior de 86% na fase crítica e 99% no ciclo total, respectivamente. A diferença, em tais séries, confere alterações morfofisiológicas determinantes, veja adiante.

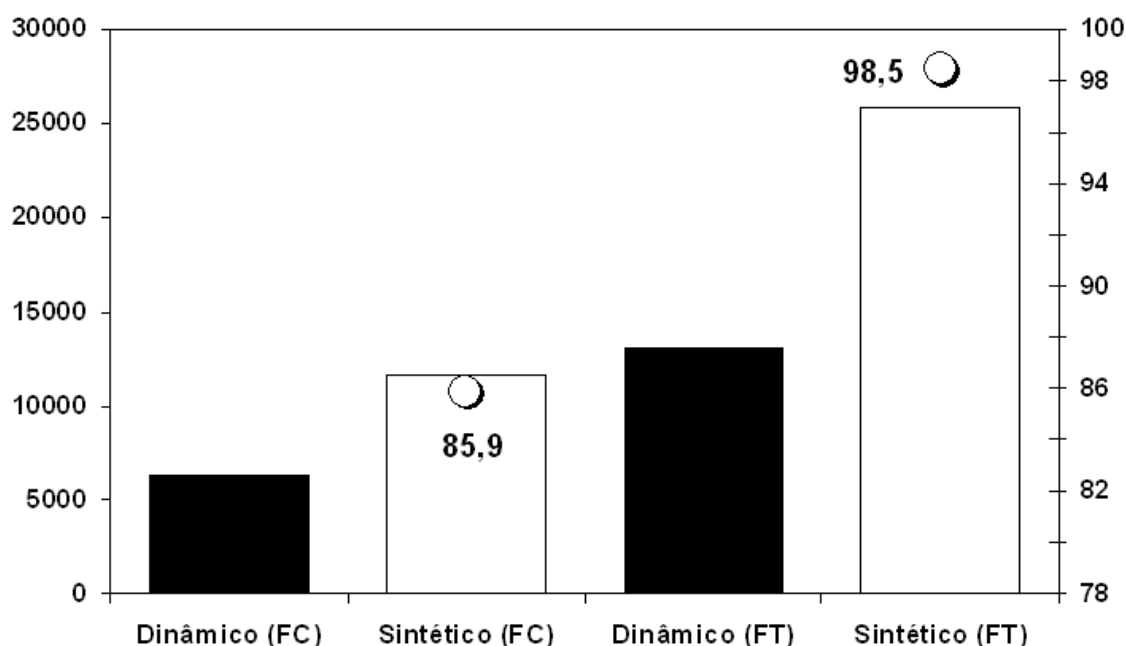


Figura 36 – (Y1) Precipitação total, em mm, durante a fase crítica (FC) e do ciclo total (FT) da cultivar BR201 – safras de 1991 a 2020 (29 safras). (Y2) porcentagem (%).

Nesta ordem, também foram contabilizados dentro do ciclo da cultivar BR201/EMBRAPA, no futuro, ou seja, entre 1991 e 2020, o número de dias sem chuvas (NDSC: Precipitação < 1,0 mm) tanto na fase crítica quanto no ciclo total para as mesorregiões Jequitinhonha (MR04) e Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11, Figuras 37 e 38). Em agricultura, o número de dias sem chuvas (NDSC) mantém uma relação intrínseca com ocorrência de secas agrícolas e veranicos. Na Figura 37, para MR04, verifica-se que a série sintética apresentou mais dias sem chuvas tanto na fase crítica quanto no ciclo total. Em contrapartida, na mesorregião MR11, o número de dias sem chuva (NDSC), no geral, foi maior em séries dinâmicas. Assim sendo, poucas associações e considerações podem ser produzidas em função deste comportamento. Porém, sugere-se que os cenários dinâmicos sejam mais instáveis e imprecisos quando comparada com os padrões climáticos reinantes – estudo em climatologias capítulo 1.

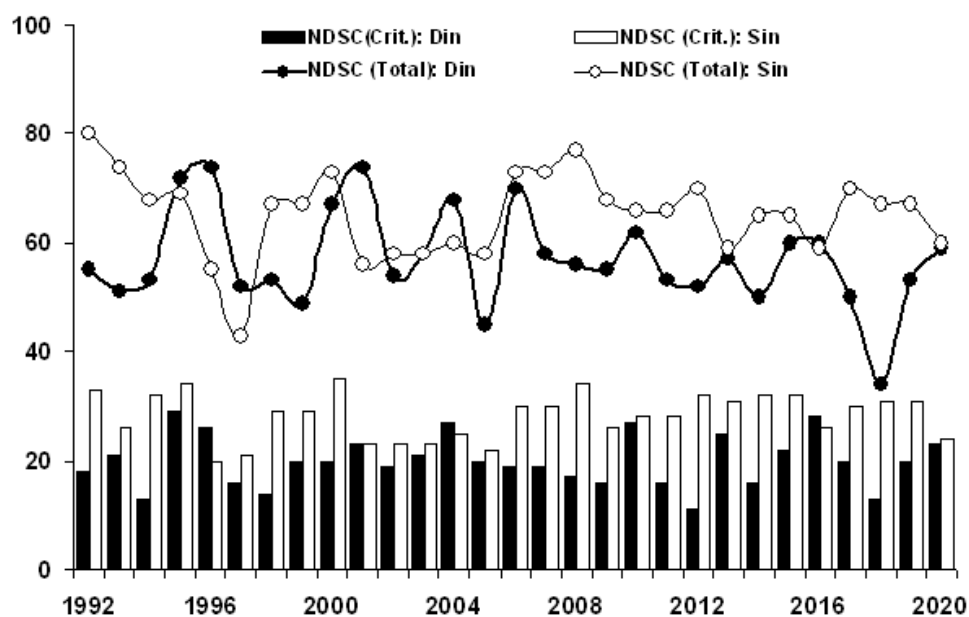


Figura 37 – Número de dias sem chuva (NDSC, chuvas < 1,0 mm,), em dias. Durante as fases críticas e do ciclo total da cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para Mesorregião Jequitinhonha (MR04).

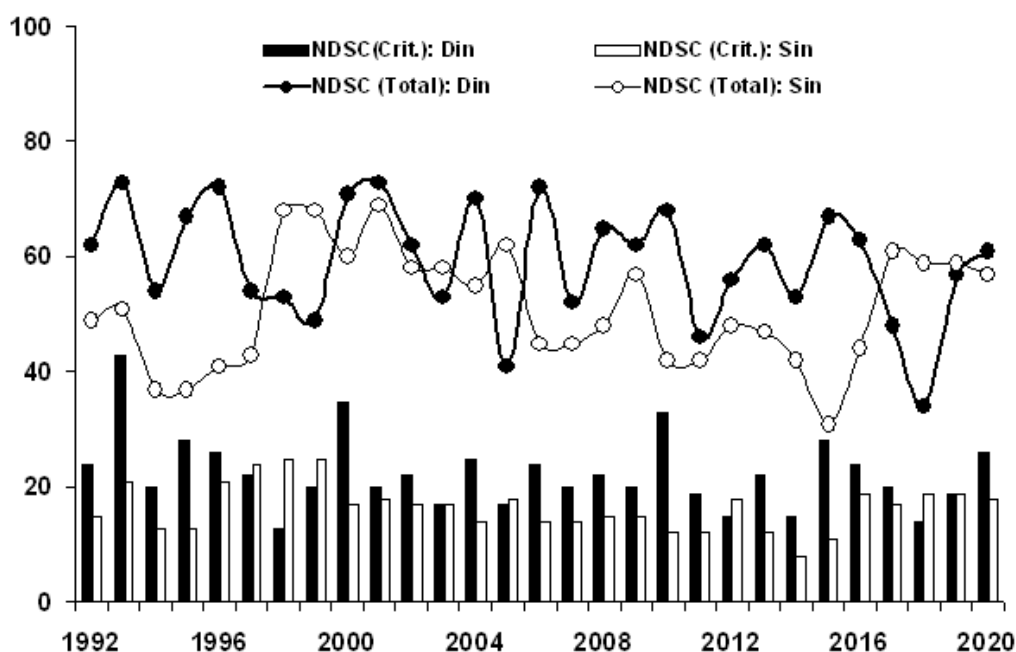


Figura 38 – Número de dias sem chuva (NDSC, chuvas < 1,0 mm,), em dias. Durante as fases críticas e do ciclo total da cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11).

As Figuras 39 e 40 representam os totais de chuva ao longo dos ciclos e anos. Na mesorregião MR04, na **fase crítica** em geral, o volume de chuvas foi mais expressivo por meio de série dinâmica. No entanto, para o **ciclo total**, o volume de chuvas, na maioria dos anos, apresenta-se maior nem séries sintéticas. Secas agrícolas para o milho, ou seja, quando os totais de chuvas estão num patamar inferior ao intervalo de 400 – 600 mm (EMBRAPA, 2008) são comuns em simulações dinâmicas.

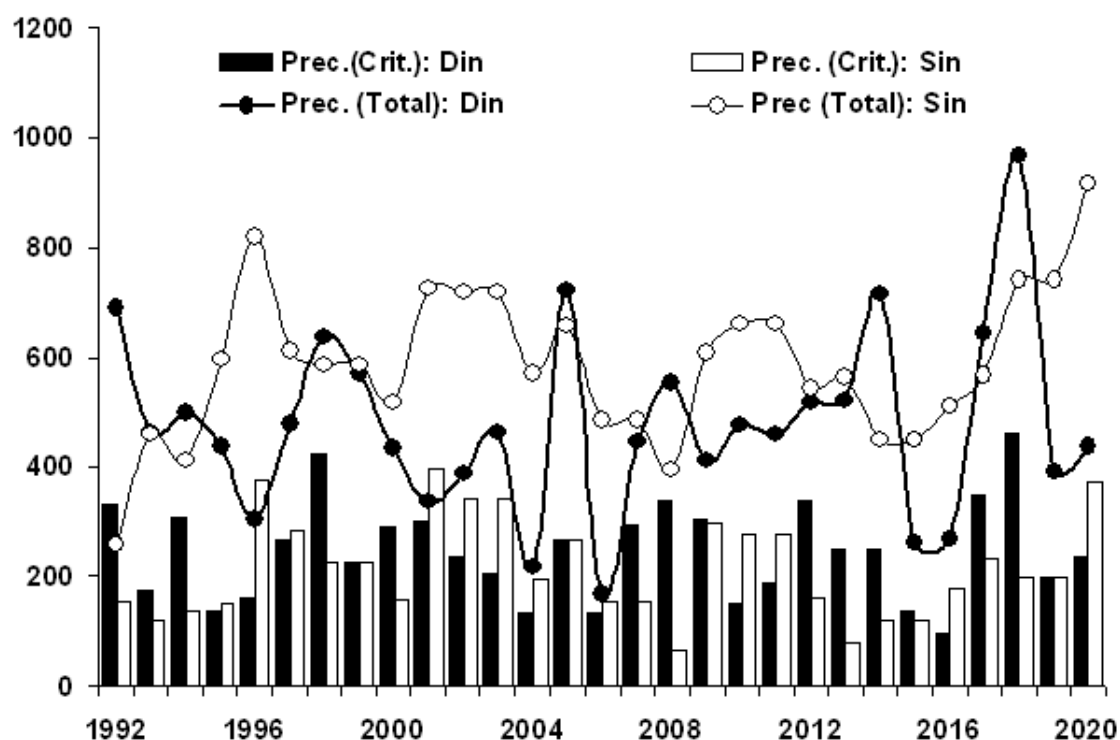


Figura 39 – Precipitação total, em mm. Durante as fases críticas e do ciclo total do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para mesorregião Jequitinhonha (MR04).

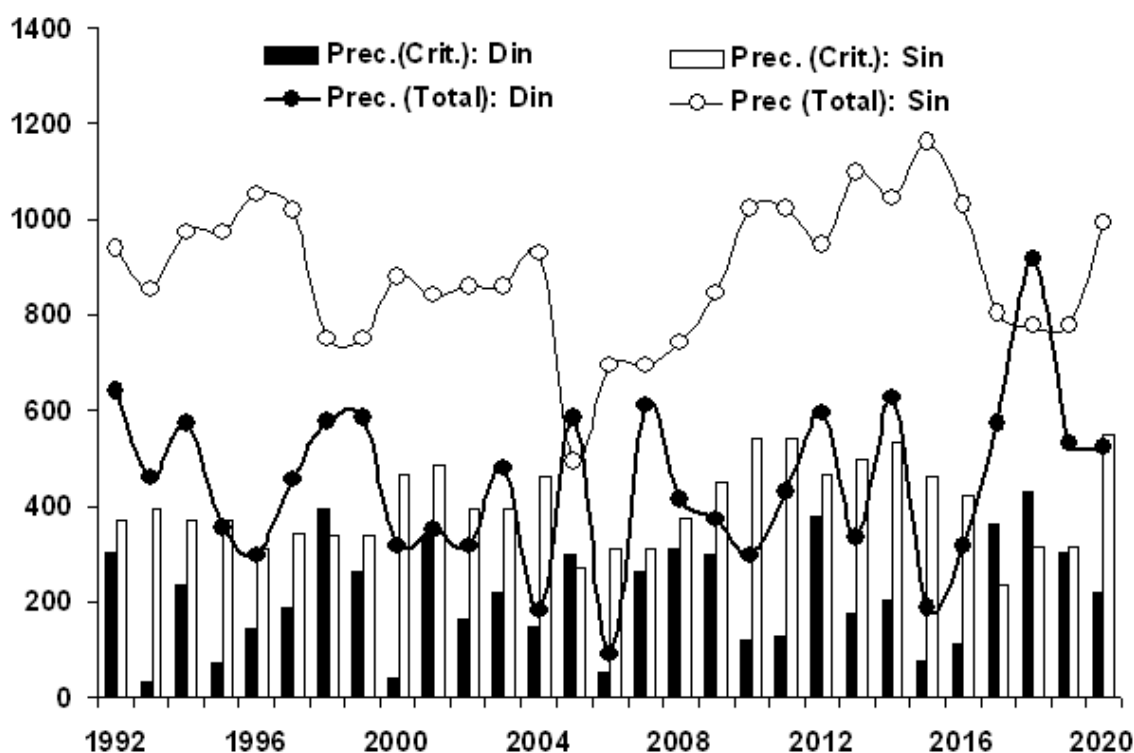


Figura 40 – Precipitação total, em mm. Durante as fases críticas e do ciclo total do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11).

As Figuras 41 e 42 representam a soma térmica ou graus-dias na MR04 e MR11, respectivamente. A elevação da temperatura mínima, por meio da série dinâmica, confere a este cenário os maiores ciclos para cultivar BR201/EMBRAPA. Fisiologicamente, este aspecto não trás nenhum benefício planta em função, principalmente, de gasto de metabólicos essenciais a formação de grão, por exemplo. Segundo Duarte (2006), em geral, o fator térmico é a principal limitação para o desenvolvimento do milho, em algumas regiões, a deficiência hídrica passa a ser o fator mais importante. Por sua vez, a temperatura tem grande influência na duração do ciclo do milho, pois condiciona as taxas dos processos fisiológicos, podendo retardá-los ou acelerá-los.

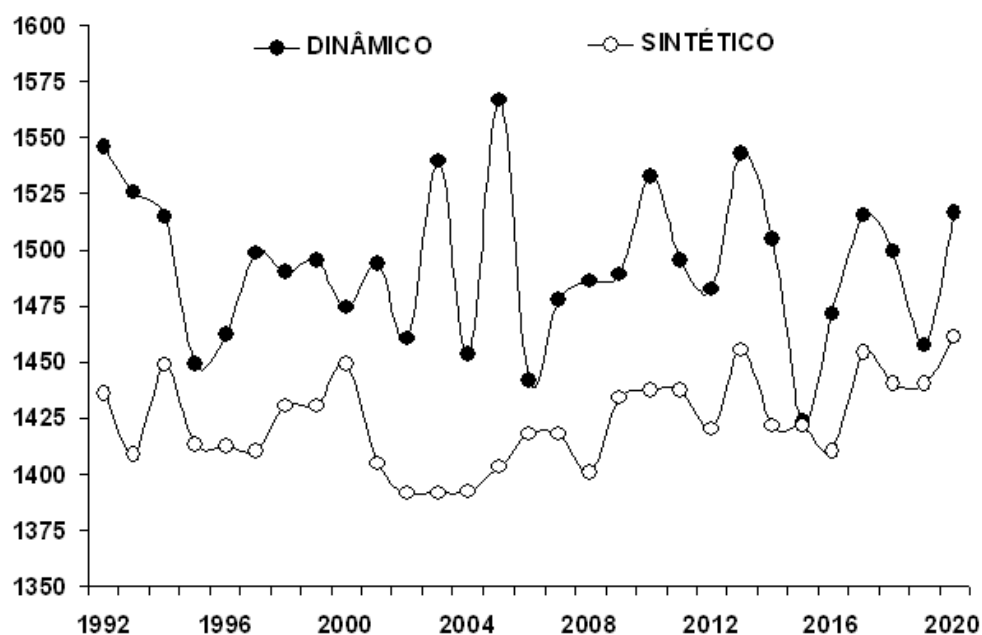


Figura 41 – Graus-Dias Acumulado (GDA), em °C. Durante as fases críticas e do ciclo total do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para Mesorregião Jequitinhonha (MR04).

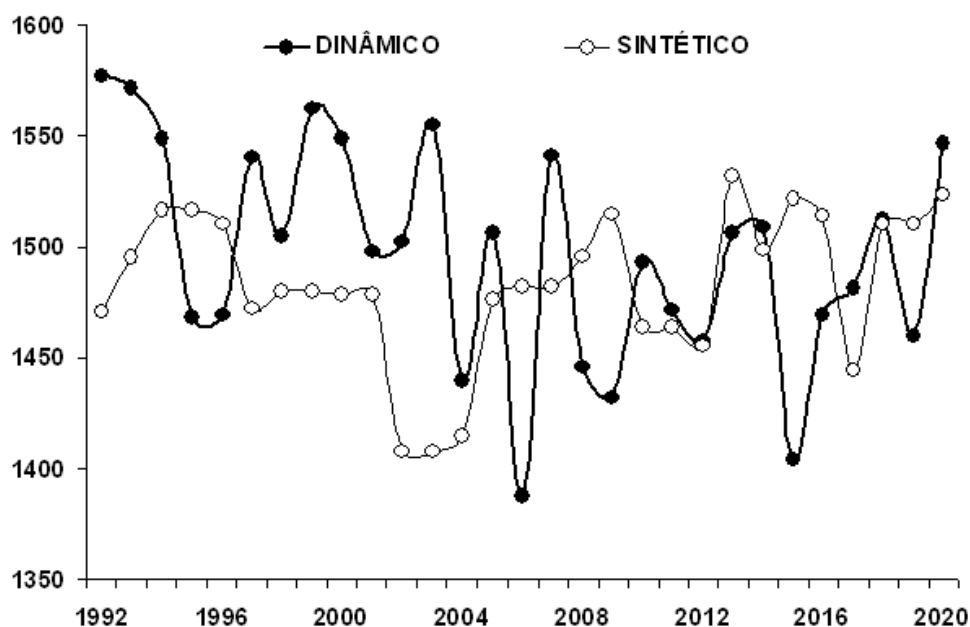


Figura 42 – Graus-Dias Acumulado (GDA), em °C. Durante as fases críticas e do ciclo total do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11).

Conforme citado por Fancelli e Dourado-Neto (2005), Challinor et al. (2007) e Embrapa (2008), quedas nos rendimentos em grãos, como observadas em simulações dinâmicas, são determinadas pela redução do ciclo devido aumento de soma térmica. Em ambas mesorregiões, no geral, os ciclos ficaram abaixo dos 130 dias (Figuras 43 e 44). Contudo os maiores impactos são observados em simulações a partir de séries dinâmicas. A tendência, em pesquisa de melhoramento, é o surgimento de híbridos que possam tornar as safras mais eficientes para suportar condições mais adversas do clima (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2008). Todavia, caso as condições climáticas do cenário dinâmico sejam confirmadas, como prevista nas simulações, o principal efeito direto para na cultivar BR201 seria inviabilidade agrícola e econômica (DUARTE, 2006).

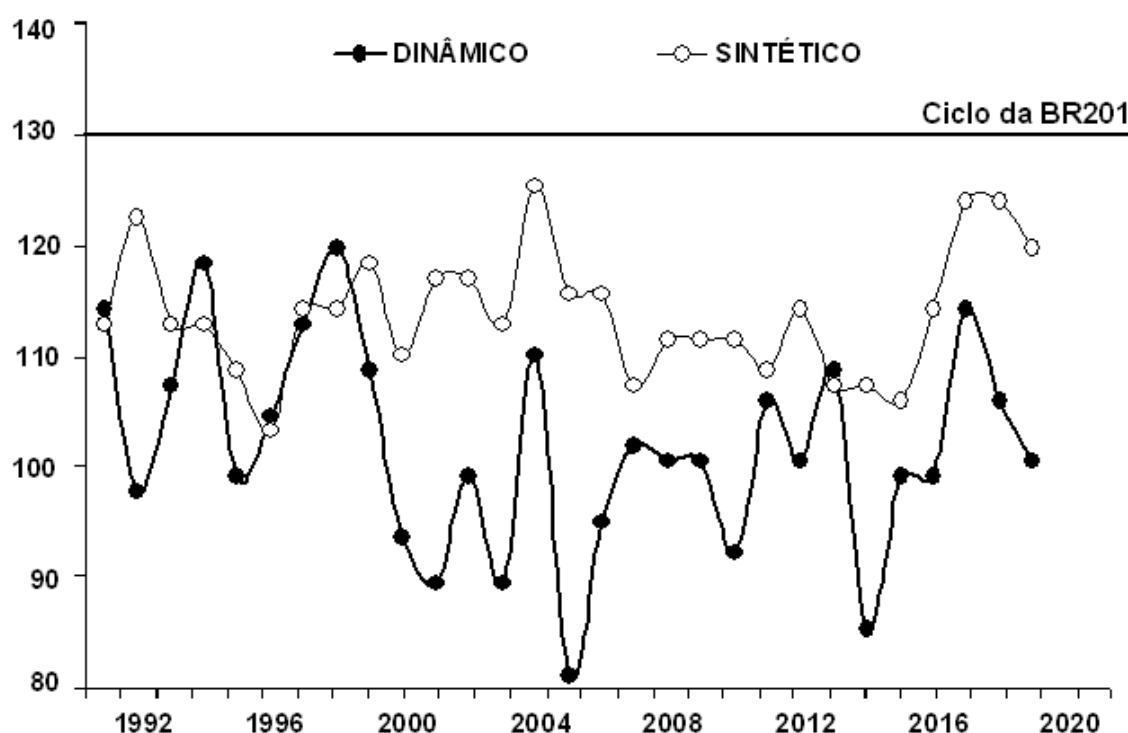


Figura 43 – Ciclo total do cultivar BR201, em dias. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para Mesorregião Jequitinhonha (MR04).

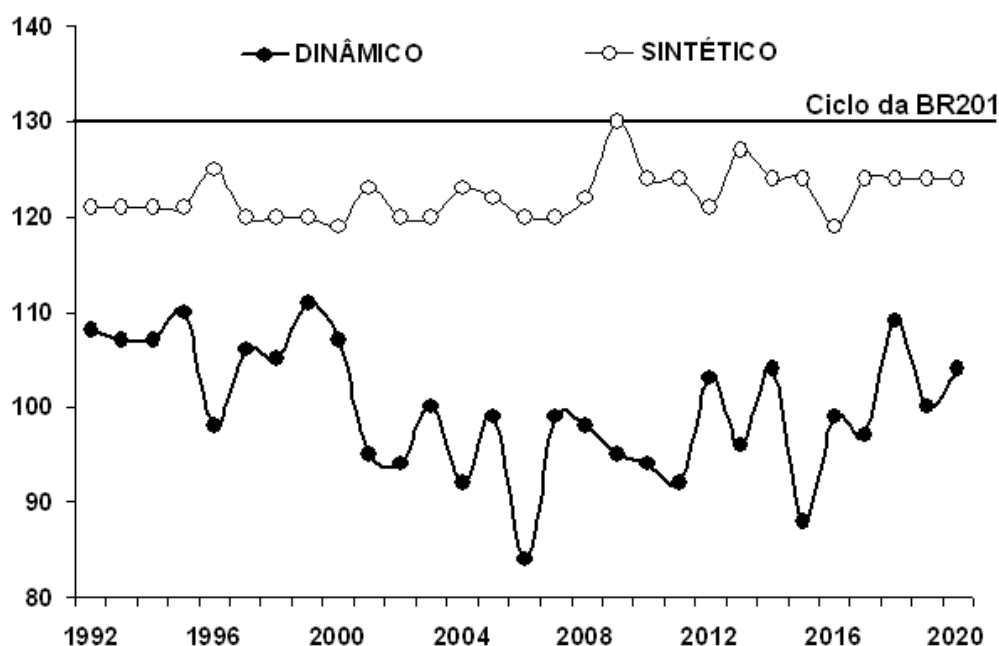


Figura 44 – Ciclo total do cultivar BR201, em dias. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11).

As Figuras 45, 46, 47 e 48 retratam as demandas de evapotranspiração e a transpiração da cultivar BR201. As figuras expressam impactos significativos nestes importantes parâmetros biofísicos. Em condições de estresse as plantas, em especial as culturas anuais, lançam mecanismos de sobrevivência que limitam a perda de água para atmosfera, por exemplo, cita-se o enrolamento foliar, fechamento de estômatos e o crescimento do sistema radicular. Nesta ordem, tanto nas mesorregiões MR04 e MR11, a cultivar apresentou menor demanda de transpiração e evapotranspiração por meio do cenário de clima em série dinâmica.

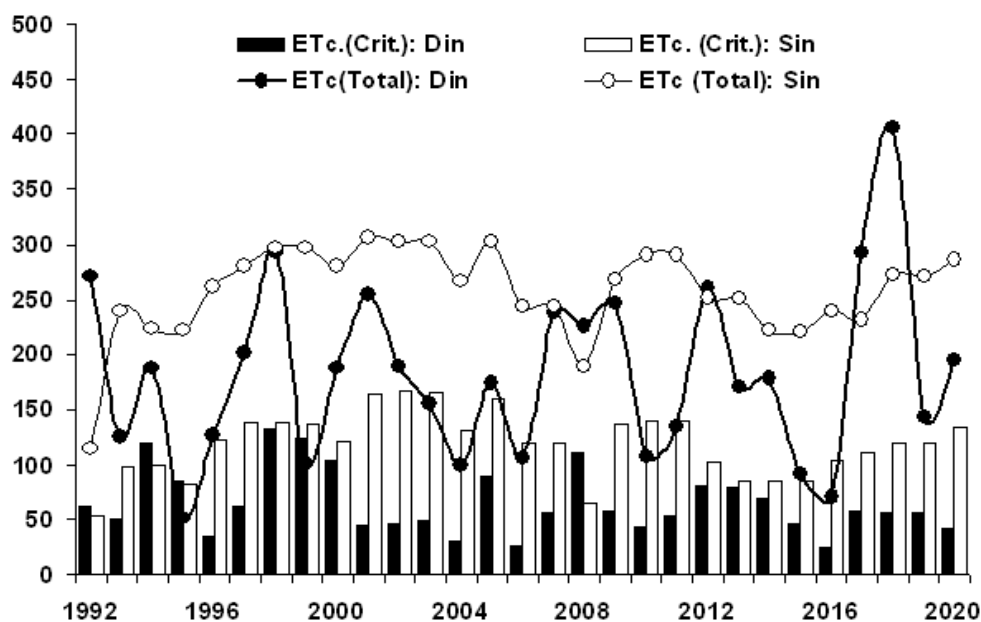


Figura 45 – Evapotranspiração da cultura total, em mm. Durante as fases críticas e do ciclo total do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para Mesorregião Jequitinhonha (MR04).

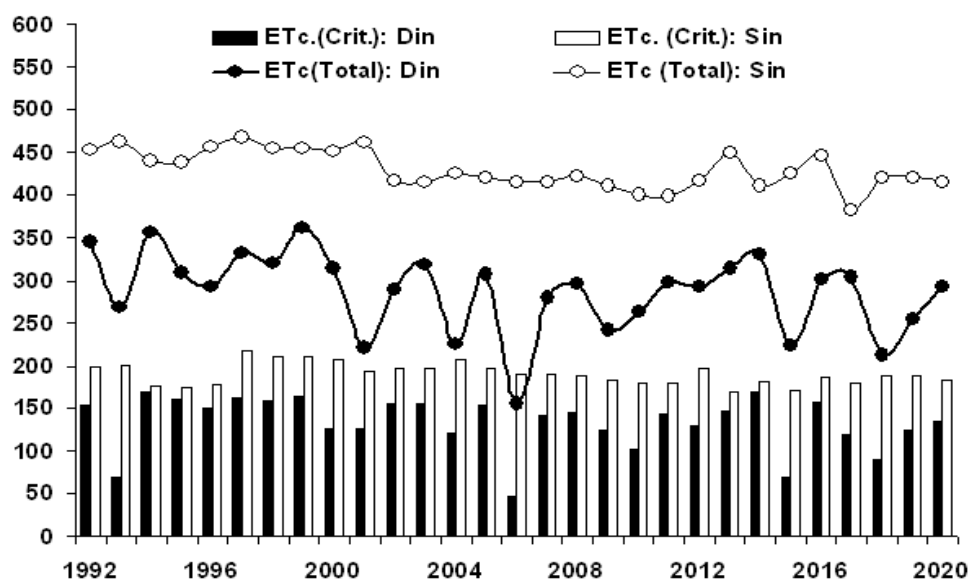


Figura 46 – Evapotranspiração da cultura total, em mm. Durante as fases críticas e do ciclo total do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11).

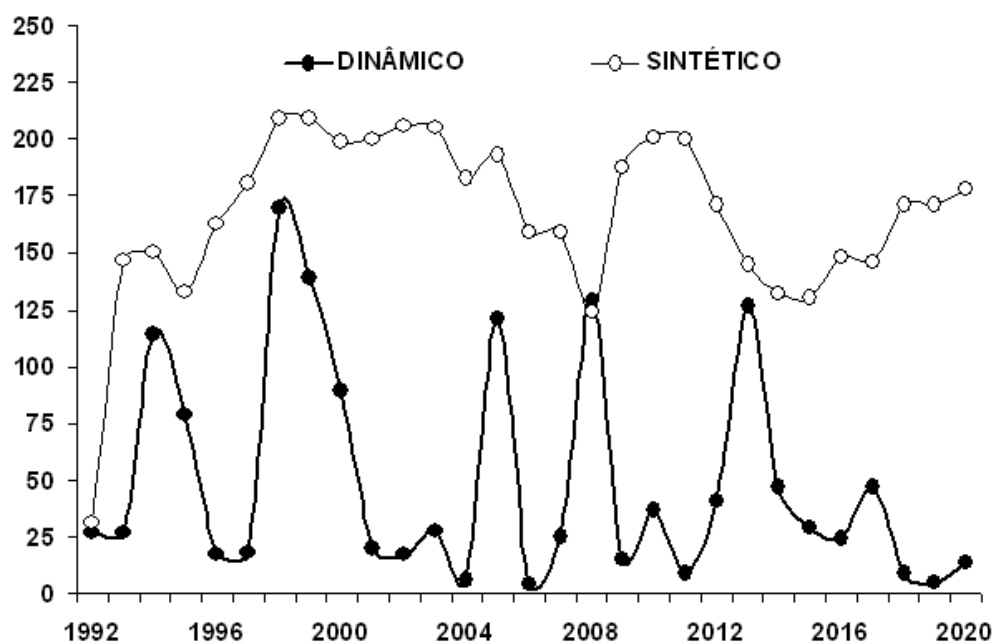


Figura 47 – Transpiração total, em mm. Ciclo total do cultivar BR201, em dias. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para Mesorregião Jequitinhonha (MR04).

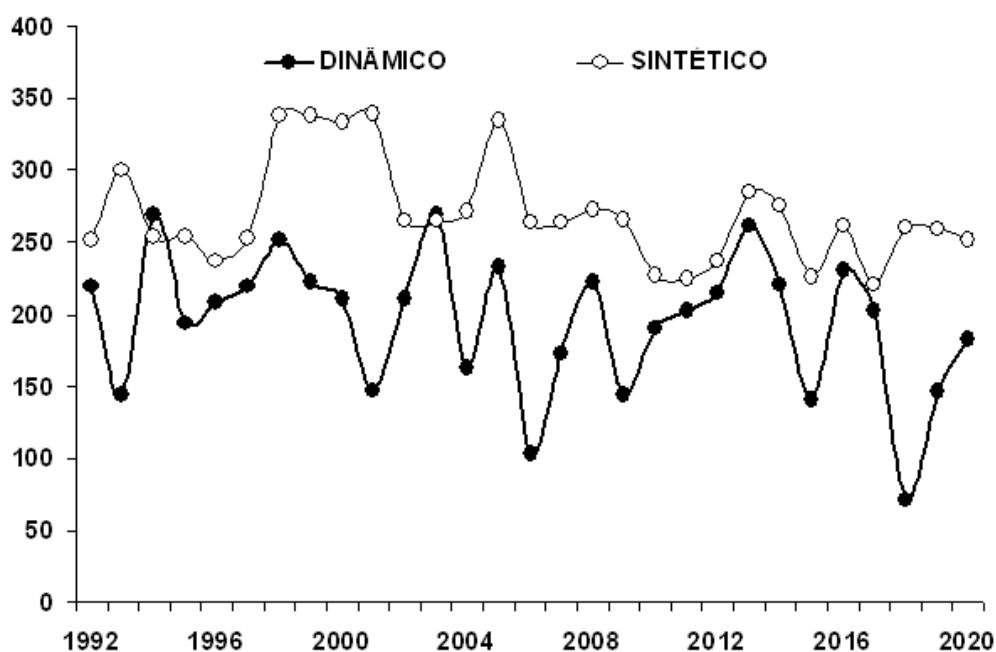


Figura 48 – Transpiração total, em mm. Ciclo total do cultivar BR201, em dias. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11).

No que concerne ao aproveitamento de luz, a superfície da folha fotossinteticamente ativa em relação à unidade de superfície de solo é denominada de índice de área foliar (IAF). Tal parâmetro permite estimar o grau de desenvolvimento da planta e o potencial de interceptação de energia radiante. Ainda, o IAF que determina a taxa máxima de crescimento é conhecido como IAF crítico, o qual varia em função do ambiente em que a planta estiver submetida. O IAF crítico para a cultura do milho oscila entre valores de 3 a 5, de acordo com a região, o genótipo e o sistema de produção considerados. As Figuras 49 e 50 referem-se aos valores simulados de IAF máximo para MR04 e MR11. Na mesorregião Jequitinhonha, em séries futuras, o IAF máximo apresenta valores abaixo do IAF crítico, ou seja, este ambiente por meio de tais cenários emprega ritmos desfavoráveis, devido estresses, para os processos essenciais de desenvolvimento do milho (FANCELLI; DOURADO-NETO, 2005; JONES et al., 2003; CHALLINOR et al., 2005 e 2007; EMBRAPA, 2008).

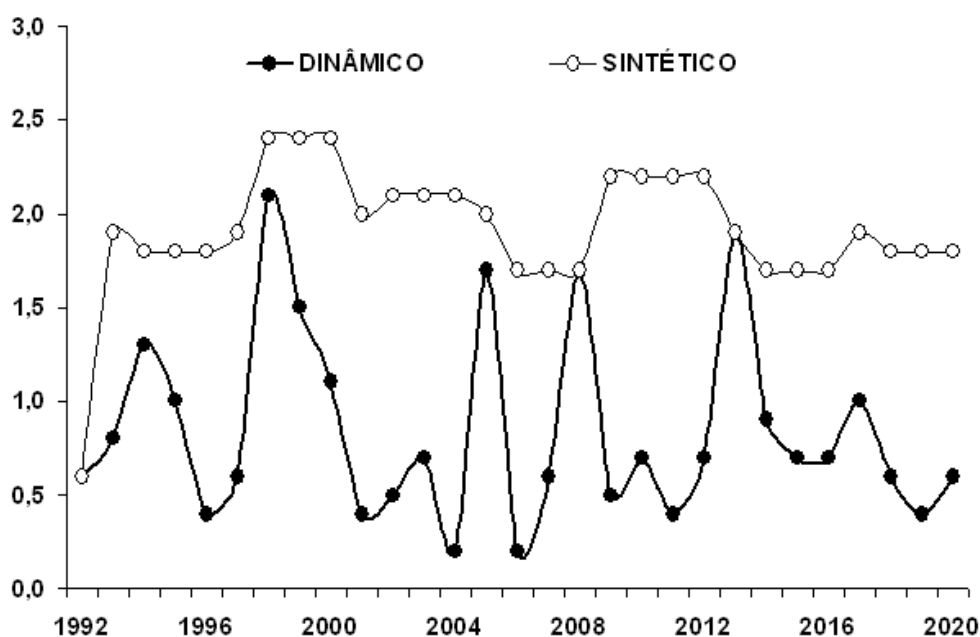


Figura 49 – Índice de área foliar máximo do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para Mesorregião Jequitinhonha (MR04).

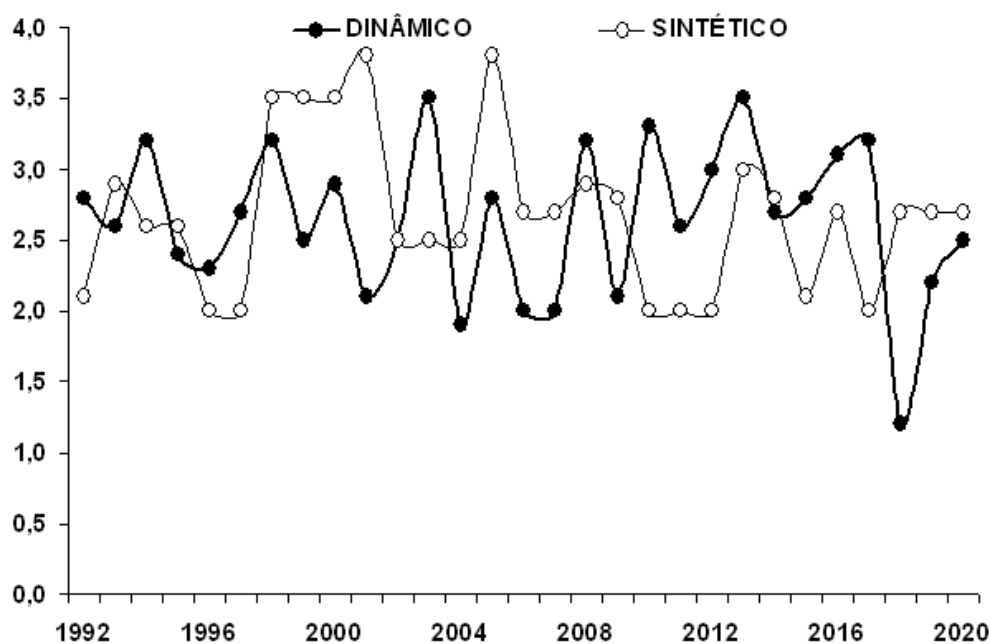


Figura 50 – Índice de área foliar máximo do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11).

As Figuras 51 e 52 representam o índice de colheita (IC) para as mesorregiões avaliadas (MR04 e MR11). O rendimento de grãos de uma cultura pode ser definido como sendo o produto do índice de colheita (IC). O índice de colheita, que se constitui na fração dos grãos produzidos em relação à matéria seca total da planta. O IC máximo para a cultura do milho encontra-se próximo de (0,52) para regiões de clima temperado. Em contrapartida os menores índices de colheita mencionados na literatura referem-se àqueles oriundos de alguns países da África, quais sejam: Quênia (IC = 0,20) e Gana (IC = 0,27). Certamente, o índice de colheita seria mais um produto de manifestação tecnológica e climática.

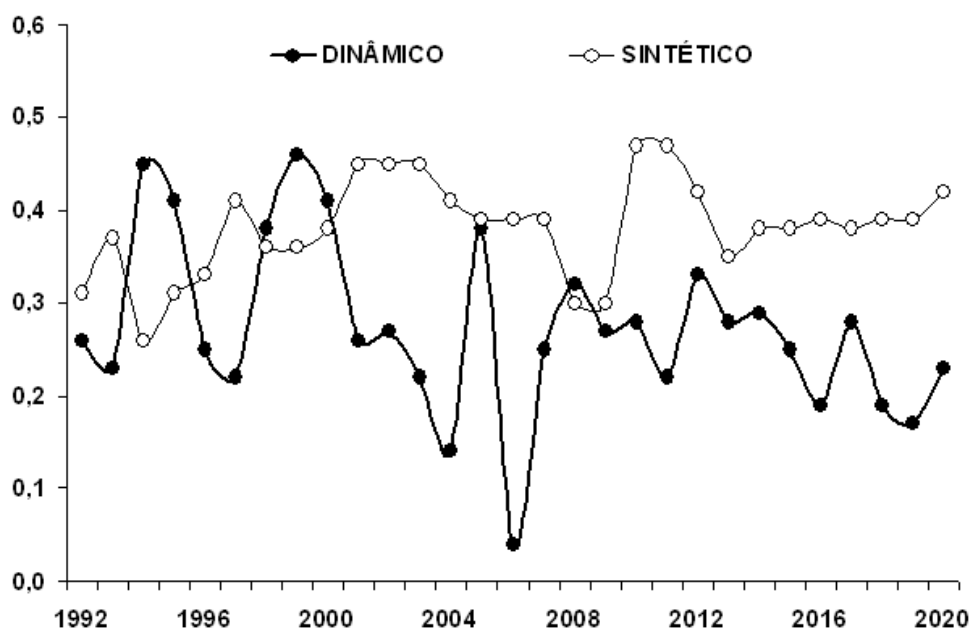


Figura 51 – Índice de colheita do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para Mesorregião Jequitinhonha (MR04).

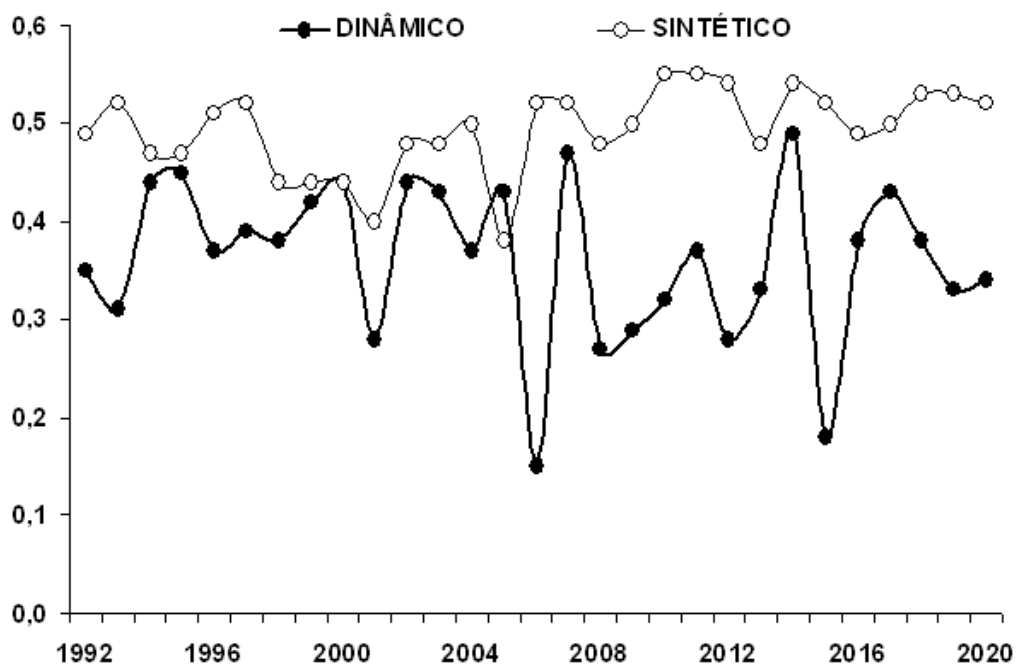


Figura 52 – Índice de colheita do cultivar BR201. Impactos e projeções do clima por meio de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM) e sintéticas (CLIMGEN) para mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11).

3.3. Eficiência do sistema produtivo: análise de “yield gap”

As Figuras 53 e 54 representam tendência em “yield gap”, ou seja, outra forma simples de promover avaliações de avanço tecnológico numa determinada área. Neste tipo de análise, espera-se que amplitudes entre rendimento reais e potenciais tendam a zero ao longo tempo. Em termos práticos, os fatores ambientes e os níveis tecnológicos empregado no campo propiciam altos rendimentos. Em termos em “yield gap”, atualmente, o Triângulo e Alto Paranaíba é a área mais eficiente no cultivo de milho de em Minas Gerais. De fato, na MR11, os rendimentos oficiais, das últimas safras, atingiram o limite inferior da simulação potencial. Nesta região, tradicionalmente, as safras estão associados aos maiores produtores (em termo de área plantada e poder aquisitivo); disponibilidade de orientação técnica; logística para escoamento da produção e etc. Normalmente é conduzido um sistema de rotação milho-soja e é mais freqüente o uso do plantio direto. Em contrapartida, em 32 anos de safras, não se pode estabelecer um padrão de avanço tecnológico para mesorregião Jequitinhonha (MR04), em função, basicamente, do clima desfavorável e falta de investimentos tecnológicos dos produtores.

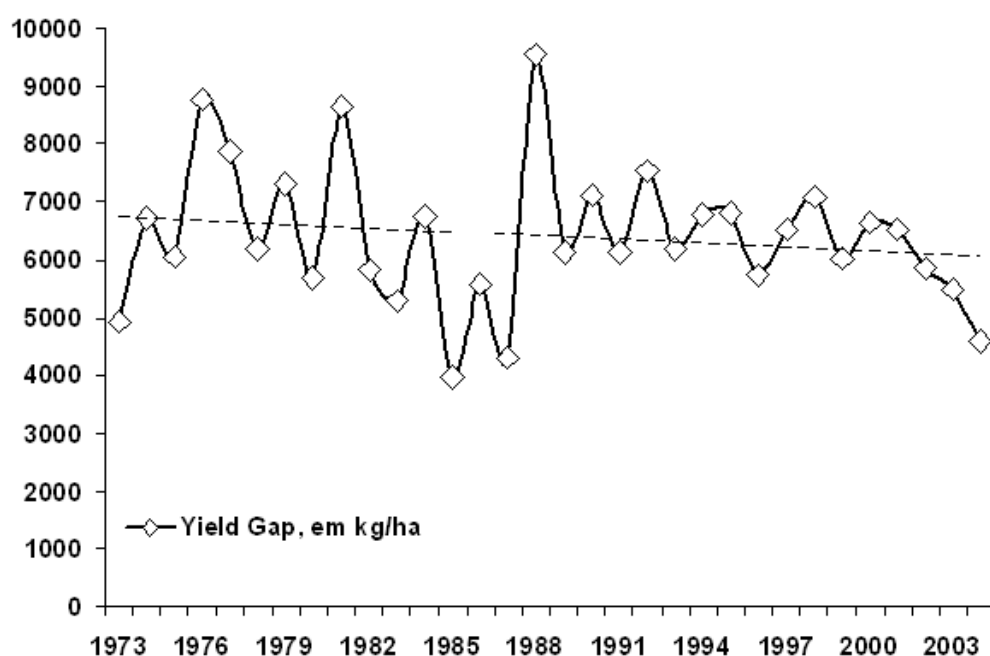


Figura 53 – Razão entre os rendimentos oficiais e potenciais das safras de milho, em kg/ha (“yield gap”). Avanços tecnológicos na mesorregião Jequitinhonha (MR04).

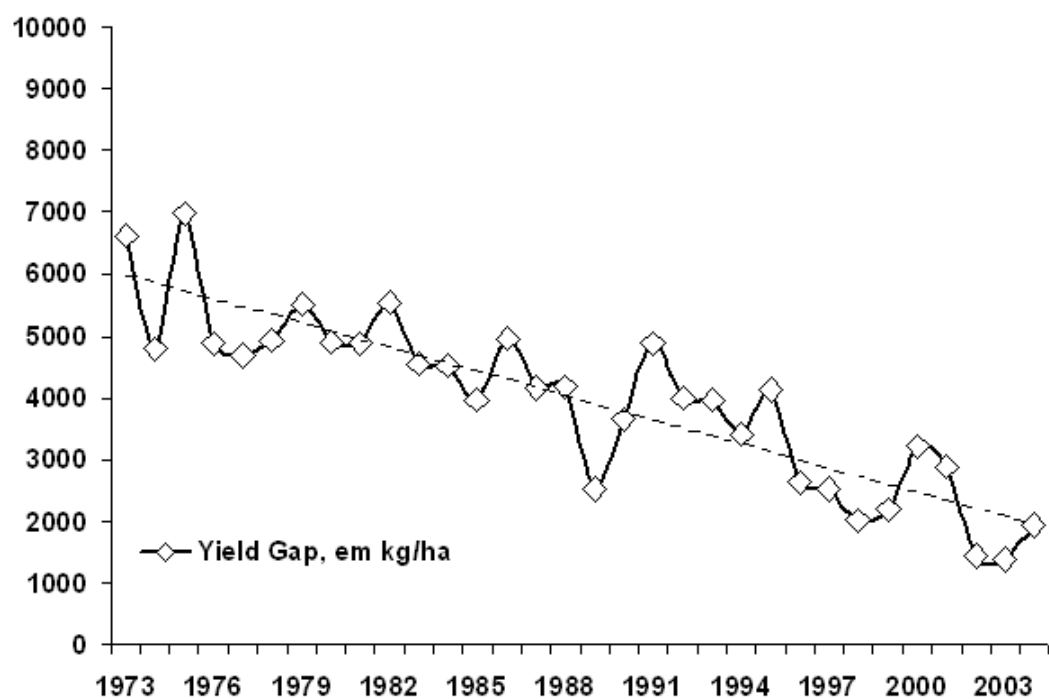


Figura 54 – Razão entre os rendimentos oficiais e potenciais das safras de milho, em kg/ha (“yield gap”). Avanços tecnológicos na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MR11).

CONSIDERAÇÕES GERAIS E CONCLUSÕES

O estudo de séries meteorológicas, em Minas Gerais, empregando os conceitos clássicos de estruturação, ou seja, séries em base sintética, dinâmica e em reanálise foi determinante na caracterização de alterações de padrão e viabilidades, no futuro, para a cadeia produtiva do milho. Para isto, o estudo focou três determinantes momentos de análise, ou seja: a climatologia 1961-1990 (presente); climatologia 1991-2020 (futuro) e o período mensal entre 1991 e 2004 como série intermediária para efeito de validação das variáveis meteorológicas. Nesta ordem, foi possível identificar alterações e divergências diante dos conceitos de séries empregados. Ou seja: Primeiramente, em relação à série meteorológica em reanálise, ou seja, registros extraídos em campos de grades do ECMWF/ERA40, que se mostra como excelente fonte de dados para preenchimento de falhas em séries observadas. Por sua vez, séries sintéticas, estruturadas em conceitos probabilísticos e estocásticos, tendem preservar tendência do clima no presente para o futuro, ou seja, em termos climatológicos os padrões podem ser considerados semelhantes. E, por fim, as séries em registro dinâmico que mostrou alterações significativas para os totais de precipitação e aumento da temperatura mínima. Estatisticamente foram as séries que produziram os erros, no período de validação, quando comparado com os registros observados. Tais alterações foram determinantes para o sucesso da cultura do milho em Minas Gerais, adiante discutidas. Todavia, nos estudos de séries podemos ainda concluir que:

- a) No estudo de validação, todas as variáveis meteorológicas em séries meteorológicas, no geral, mostraram-se consistente quando comparado com os registros

meteorológicos observado. Neste caso, consistência assumiu papel determinante, pois, certifica a qualidade dos registros simulados e ainda garante climatologicamente a sazonalidade para as mesorregiões;

- b) Séries meteorológicas, em cenário dinâmico, são ambientes ao nível de simulação que ainda apresenta possibilidades para estudos de sensibilidade climática. Pois, existe um número expressivo de parâmetros físicos, químicos, ambientais e socioeconômicos interagindo dinamicamente. Todavia, os custos e a dependência de um grupo científico tornam limitantes para países em desenvolvimento. Outro aspecto abordado converge para o emprego destas séries meteorológicas, distintas em conceitos, na avaliação de rendimentos agrícola. Neste caso, para avaliar impactos destas séries, foi adotado aspectos biofísicos da cultura do milho. No presente, os valores simulados, foram confrontados com dados oficiais fornecidos pela EMATER, CONAB e IBGE. As simulações foram estruturadas pelo modelo Ceres-Maize, inserido no pacote de simulação DSSAT, considerando os seguintes efeitos: ambiente (solo, relevo, clima, CO₂ atmosférico...); tecnologias (adubação química, genótipos...); agrônômicos (espaçamento, número de semente e profundidade de plantio...). Todavia, emprego de séries meteorológicas no futuro, principalmente por meio de séries dinâmicas, revelou impactos preocupantes para cadeia produtiva do milho. Ou seja, por exemplo, em regiões com menor emprego de tecnologias e sujeitas a fatores extremos do clima como secas o colapso da cadeia produtiva é iminente. Este impacto se deve, basicamente, pelo aumento significativo da temperatura mínima e redução expressiva dos totais de precipitação.
- c) No foco biofísico, ainda se pode concluir que em todas as mesorregiões, e independente do volume precipitado, o dióxido de atmosférico contribuiu positivamente para os rendimentos das safras milho conferindo estabilidade nas simulações;
- d) Adubações elevam de forma significativa o rendimento do milho nas mesorregiões, mesmo em dosagens consideradas agronomicamente mínima; e
- e) As projeções de queda no rendimento de safras agrícolas de acordo com o IPCC são confirmadas por meio de séries meteorológicas em cenários dinâmicos. No geral, durante a fase crítica e o ciclo total da cultura para este cenário, houve uma redução no volume de chuvas e um aumento nos graus-dias. Refletindo de forma determinante nas características morfológica da cultivar BR210/EMBRAPA, por exemplo, queda expressiva do ciclo da cultura e redução no índice de área foliar.

REFERÊNCIAS

ALBERT, J. **Hydraulic analysis and double mass curves of the middle Rio Grande from Cochiti to San Marcial, New Mexico**. 2004. 207 p. Dissertação (Mestrado) - Colorado State University, Fort Collins, CO.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evaporación del cultivo: guías para determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 299 p. (FAO, 56).

ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v. 50, p. 121-126, 1924.

ARNOLD, C.D.; ELLIOT, W.J. CLIMGEN: weather generator predictions of seasonal wet and dry spells in Uganda. **Transaction of the Society of Agricultural Engineers**, v. 39, n. 3, p. 969-972, 1996.

BANCO MUNDIAL – BM. **Relatório sobre o desenvolvimento mundial de 2008: agricultura para o desenvolvimento (visão geral)**. Washington, 2008. 34 p.

BETTS, A.K.; BALL, J.H.; VITERBO, P. Evaluation of the ERA-40 surface water budget and surface temperature for the Mackenzie River basin. **Journal Hydrometeorology**, v. 4, p. 1194-1211, 2003.

BETTS, A.K.; BALL, J.H.; VITERBO, P.; DAI, A.; MARENGO, J.A. Hydrometeorology of the Amazon from ERA-40. **Journal Hydrometeorology**, v. 6, p. 764-774, 2005.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 704-716, 1996.

BRASIL. RADAM Brasil 1973-1986. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, 1992. 84 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assessoria de Gestão Estratégica. **Projeções do agronegócio: mundial e Brasil (resumo executivo)**. Brasília, 2006. 13 p.

BRISTOW, K.; CAMPBELL, G. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 31, p. 159-166, 1984.

CAMARGOS, D. A nova fronteira agrícola: produção do Brasil tem espaço de sobra para crescer. **Revista Forbes Brasil**, 11 ago. 2003.

CAMPBELL, G.S.; NORMAN, J.M. **An introduction to environmental biophysics**. 2.ed. New York: Springer-Verlag, 1998. 286 p.

CHALLINOR, A.J.; WHEELER, T.R.; SLINGO, J.M.; CRAUFURD, P.Q.; GRIMES, D.I.F. Design and optimization of a large-area process-based model for annual crops. **Agriculture Forecast Meteorological**, v. 124, p. 99-120, 2004.

CHALLINOR, A.J.; WHEELER, T.R.; SLINGO, J.M.; CRAUFURD, P.Q.; GRIMES, D.I.F. Simulation of crop yields using the ERA40 re-analysis: limits to skill and non-stationarity in weather-yield relationships. **Journal Applied Meteorological**, v. 44, n. 4, p. 516-531, 2005.

CHALLINOR, A.J.; WHEELER, T.R.; CRAUFURD, P.Q.; FERRO, C.A.T.; STEPHENSON, D.B. Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 119, p. 190-204, 2007.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C.; HERNANI, L.C. **Cultivo do milho nutrição e adubação**. Sete Lagoas: Embrapa, 2002. 12 p. (Comunicado técnico, 44).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – PRODEMGE. **Base de dados de solo GEOMINAS**. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos: safras 2008/2009**. Intenção de plantio (primeiro levantamento: outubro de 2008). Brasília, 2008. 39 p.

COSTA, M.H. **Análise de dados de precipitação**. Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 1994. 21 p.

COSTA, L.C.; AMORIM, M.C. Sistemas e modelos em agrometeorologia: estado atual e desafios para o futuro. **Informe Agropecuário**, v. 29, n. 246, p. 38-46, 2008.

COUTO, L.; SANS, L.M.A. **Requerimento de água das culturas**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 2002. 9 p. (Circular Técnica, 21 - EMBRAPA/CNPMS).

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. **Mais de 300 cultivares de milho são disponibilizadas no mercado de sementes do Brasil para a safra 2008/09**. Nota on-line do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Disponível em <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 15 nov. 2008.

DANUSO, F. Climak: a stochastic model for weather data generation. **Italian Journal Agronomy**, v. 6, p. 57-71, 2002.

DUARTE, J.O. **Benefícios econômicos do uso da cultivar de milho híbrido BR 201**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 14 p. (Documentos/Embrapa Milho e Sorgo, 54).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo. **Milho BR201**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/produtos/produtos/br201.html>>. Acesso em: 30 nov. 2008.

EVANS, L.T. **Crop evolution, adaption and yield**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. 500 p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2005.

FREEDMAN, D.A.; PISANI, R.; PURVES, R.A. **Statistics**. 4.ed. New York: W.W. Norton, 2007. 578 p.

GENG, S.; PENNING, DE VRIES, F.W.T.; SUPIT, I. A simple method for generating daily rainfall data. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 36, p 363-376, 1986.

GENG, S.; AUBURN, J.S.; BRANDSTETTER, E.; LI, B. **A program to simulate meteorological variables**: documentation for SIMMETEO. Davis: Department of Agronomy and Range Science, University of California, 1988. (Agronomy Progress Report, 204).

GEVAERD, R.; FREITAS, S. Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1-15, 2006.

GOUDRIAAN, J.; VAN LAAR, H.H. **Modelling potential crop growth processes**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994. 239 p.

GRAHAM, L.P.; HAGEMANN, S.; JAUN, S.; BENISTON, M. On interpreting hydrological change from regional climate models. **Climatic Change**, v. 81, n. 1, p. 97-122, 2007.

HANSEN, J.W.; MAVROMATIS, T. Correcting low-frequency variability bias in stochastic weather generators. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 109, n. 4, p. 297-310, 2001.

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

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

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; BOOTE, K.J.; SINGH, U.; URYASEV, O.; BOWEN, W.T.; GIJSMAN, A.J.; DU TOIT, A.; WHITE, J.W.; TSUJI, G.Y. **Decision support system for agrotechnology transfer version 4.0**. Honolulu: University of Hawaii, 2004.

HUNT, R. **Basic growth analysis**. London: Unwin Hyman, 1990. 112 p.

HUNT L.A.; PARARAJASINGHAM, S.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; IMAMURA, D.T.; OGOSHI, R.M. GENCALC: software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. **Agronomy Journal**, v. 85, n. 5, p. 1090-1094, 1993.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **SERS – special report on emission scenarios**. 2001. 20 p. (Working Group III of the IPCC).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>>. Acesso em: 1.º out. 2008.

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

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 332 p. (Manuals, 70).

JOHNSON, G.L.; HANSON, C.L.; HARDEGREE, S.P.; BALLARD, E.B. Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. **Journal of Applied Meteorology**. v. 35, p. 1878-1896, 1996.

JONES, T.A. Fitting straight lines when both variables are subject to error, i. maximum likelihood and least-squares estimation. **Mathematical Geology**, v. 11, n. 1, p. 1-25, 1979.

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.

JONES, P.G.; THORNTON, P.K. MarkSim: software to generate daily weather data for Latin America and Africa. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 445-453, 2000.

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. **Europe Journal Agronomy**, v. 18, p. 235-265, 2003.

JUNGCLAUS, H.; KEENLYSIDE, N.; BOTZET, M.; HAAK, H.; LUO, J.J.; LATIF, M.; MAROTZKE, J.; MIKOLAJEWICZ, U.; ROECKNER, E. Ocean circulation and tropical variability in the coupled model ECHAM5/MPI-OM. **Journal Climate**, v. 19, p. 3952-3972, 2006.

JUSTINO, F.; AMORIM, M.C. Projeções do clima da América do Sul segundo o cenário "B1" do IPCC adotando um modelo acoplado oceano-atmosfera-vegetação-gelo marinho. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 29-35, 2007.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, W.J.; ZHU, J.Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.

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

KISTLER, R.; KALNAY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; KANAMITSU, M.; KOUSKY, V.; VAN DEN DOOL, H.; JENNE, R.; FIORINO, M. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 82, p. 247-267, 2001.

KJELLSTRÖM, E.; RUOSTEENOJA, K. Present-day and future precipitation in the Baltic Sea region as simulated in a suite of regional climate models **Springer Netherlands: Climatic Change**, v. 81, n. 1, p. 281-291, 2007.

LIZASO, J.I.; BATCHELOR, W.D.; BOOTE, K.J.; WESTGATE, M.E. Development of a leaf-level canopy assimilation model for CERES-Maize. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 722-733, 2005.

MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2006. 212 p.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.; VALVERDE, M.; ROCHA, R.; LABORBE, R. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI**: projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MARK, D.M.; PEUCKER, T.K. Regression analysis and geographic models. **The Canadian Geographer**, v. 12, p. 51-64, 1978.

MARSLAND, S.J.; HAAK, H.; JUNGCLAUS, J.H.; LATIF, M.; RÖSKE, F. The Max-Planck-Institute global ocean/sea ice model with orthogonal curvilinear coordinates. **Ocean Modelling**, v. 5, p. 91-127, 2003.

MAVROMATIS, T.; BOOTE, K.J.; JONES, A.; WILKERSON, G.G.; HOOGENBOOM, G. Repeatability of model genetic coefficients derived from soybean performance trials across different states. **Crop Science**, v. 42, p. 76-89, 2002.

McCASKILL, M.R. TAMSIM – a program for preparing meteorological records for weather-driven models. **Tropical Agronomy Technical Memorandum**, n. 65, p. 26, 1990.

MERA, R.J.; NIYOGI, D.; BUOL, G.S.; WILKERSON, A.; 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.

NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. **1958-2007 – CO₂ concentration (ppm)**. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>. Acesso em: 15 jul. 2008.

ONOGI, K.; TSUTSUI, J.; KOIDE, H.; SAKAMOTO, M.; KOBAYASHI, S.; HATSUSHIKA, H.; MATSUMOTO, T.; YAMAZAKI, N.; KAMAHORI, H.; TAKAHASHI, K.; KADOKURA, S.; WADA, K.; KATO, K.; OYAMA, R.; OSE, T.; MANNOJI, N.; TAIRA, R. The JRA-25 reanalysis. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 85, n. 3, p. 369-432, 2007.

PEREIRA, A.M.A.R. **Eficiência do modelo CERES-Maize na simulação do desempenho de híbridos de milho**. 2008. 43 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PICKERING, N.B.; HANSEN, J.W.; JONES, J.W.; WELLS, C.M.; CHAN, V.K.; GODWIN, D.C. Weatherman: a utility for managing and generating daily weather data. **Agronomy Journal**, v. 86, p. 332-337, 1994.

PINTO, L.I.C. **Comparação de produtos de precipitação e radiação solar incidente para a América do Sul: dados observados e reanálises**. 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PINTO, J.G.; FRÖHLICH, E.L.; LECKEBUSCH, G.C.; ULBRICH, U. Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MPIOM1 GCM. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 7, p. 165-175, 2007.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. **Atlas do desenvolvimento humano do Brasil**. Brasília, 2003.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008**. Coimbra: Gráfica de Coimbra, 2008. 402 p.

RICHARDSON C.W.; WRIGHT, D.A. **WGEN**: a model for generating daily weather variables. Washington: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1984. 83 p.

RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.

RIHA, S.J.; WILKS, D.S.; SIMOENS, P. Impact of temperature and precipitation variability on crop model predictions. **Climatic Change**, v. 32, p. 293-311, 1996.

ROADS J.; BETTS, A. NCEP–NCAR and ECMWF reanalysis surface water and energy budgets for the Mississippi River basin. **Journal Hydrometeorology**, v. 1, p. 88-94, 2000.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2001. 139 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

RUGEGE, D. **Regional analysis of maize-based land use systems for early warning applications**. 2002. 122 p. Thesis (Doctoral) – International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences and Wageningen University, Enschede, The Netherlands.

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

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

SEARCY, J.K.; HARDISON, C.H. **Double-mass curves**. Washington: U.S. Geological Survey Water Supply, 1960. 66 p. (Paper, 1541-B).

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO – SEAPA. Secretaria de Estado Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Governo de Minas vai subvencionar seguro rural**. Belo Horizonte, 2007.

SEMENOV, M.A.; BARROW, E.M. **LARS-WG**: a stochastic weather generator for use in climate impact studies, Version 3.0, user manual. Disponível em: <<http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/mas-models/download/LARS-WG-Manual.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2008.

SEMENOV, M.A.; PORTER, J.R. Climatic variability and the modelling of crop yields. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 73, p. 265-283, 1995.

SEMENOV, M.A.; BROOKS, R.J.; BARROW, E.M.; RICHARDSON, C.W. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. **Climate Research**, v. 10, p. 95-107, 1998.

SENTELHAS, P.C.; FARIA, R.T.; CHAVES, M.O.; HOOGENBOOM, G. Evaluation of the WGEN and SIMMETEO weather generators for the Brazilian tropics and subtropics, using crop simulation models. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, p. 357-376, 2001.

SHARPLEY, A.N.; WILLIAMS, J.R. **EPIC – Erosion Productivity Impact Calculator**. US Department of Agriculture, 1990. 235 p. (Technical Bulletin, 1768).

SHULER, A. **O controle estatístico**. 8.ed. Recife, 2007. 152 p.

SILVA, L.C. **Stochastic simulation of the dynamic behavior of grain storage facilities**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SIMMONS, A.J.; BURRIDGE, D.M.; JARRAUD, M.; GIRARD, C; WERGEN, W. The ECMWF medium-range prediction models: development of the numerical formulations and the impact of increased resolution. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 40, p. 28-60, 1989.

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.

SIVAKUMAR, M.V.K.; DAS, H.P.; BRUNINI, O. Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics. **Climatic Change**, v. 70, p. 31-72, 2005.

SIVAKUMAR, M.V.K.; GLINNI, A.F. Applications of crop growth models in the semiarid regions. In: AHUJA, L.R.; MA, L.; HOWELL, T.A. **Agricultural system models in field research and technology transfer**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2002. p. 177-205.

SOLTANI, A.; HOOGENBOOM, G. Minimum data requirements for parameter estimation of stochastic weather generators. **Climate Research**, v. 25, p. 109-119, 2003.

SOUZA; S.S.; TOMASELLA, J.; GRACIA, M.G.; AMORIM, M.C.; MENEZES, P.C.P.; MOREIRA C.A. O programa de monitoramento climático em tempo real na área de atuação da Sudene - Proclima. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**. v. 25, n. 1, p. 15-24, 2001.

STÖCKLE, C.O.; NELSON, R. **ClimGen, a weather generator program**. Pullman, Washington: Biological Systems Engineering Department, 1999.

STÖCKLE, C.O.; NELSON, R.L.; DONATELLI, M.; CASTELLVÌ, F. ClimGen: a flexible weather generation program. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM MODELLING CROPPING SYSTEMS, 2, 2001, Florence, Italy. **Poster...** Florence, Italy, 2001.

STONE, R.J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289-291, 1993.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood City: Benjamin/Cummings, 2006. 559 p.

THORNLEY J.H.M.; JOHNSON R.L. **Plant and crop modeling: a mathematical approach to plant and crop physiology**. Oxford: Oxford Science Publications, 1990. 688 p.

TRENBERTH, K.E.; SHEA D.J. Relationships between precipitation and surface temperature. **Geophyscal Research Letter**, v. 32, 2005.

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 of Agronomy*, v. 13, p. 179-189, 2000.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de vazões.** Porto Alegre: UFRGS/ABRH/ANEEL/ANA, 2002. 250 p.

UPPALA, S.M.; KÄLLBERG, P.W.; SIMMONS, A.J. et al. The ERA-40 re-analysis. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, v. 131, p. 2961-3012, 2005.

VILLA, M.A. **Vida e morte no sertão: história das secas no Nordeste nos séculos XIX e XX.** 4.ed. São Paulo: Ática, 2000. 269 p.

WANG, G.L. Agricultural drought in a future climate: results from 15 global climate models participating in the IPCC 4th Assessment. **Climate Dynamics**, Berlin/Heidelberg, v. 25, n. 7-8, p. 739-753, 2005.

WIGBOUT, M. Limitations in the use of double-mass curves. **Journal of Hydrology**. New Zeland, v. 12, n. 2, p. 132-138, 1973.

WILKENS, P.W.; BATCHELOR, W.D.; BOOTE, K.J.; GIJSMAN, A.J.; HUNT, L.A.; JONES, J.W.; PORTER, C.H.; SINGH, U.; DU TOIT, A.S.; TSUJI, G.Y.; URYASEVA, O.; HOOGENBOOM, G. **Decision support system for agrotechnology transfer version 4.0.** Madison, WI: American Society of Agronomy, 2003.

WILLMOTT, C.J. On the validations of models. **Physical Geography**, Newark, p. 184-194, 1981.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bullentin American Meteorological Society**, Newark, v. 63, p. 1309-1313, 1982.

WISSMANN, J.A.; TAMPELINI, L.G.; FEIL, A.C.; SAMPAIO, S.C.; SUSZEK, M. Ferramenta computacional para análise de consistência de dados pluviométricos. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 6, n. 11, 2006.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. Commission for Instruments and Methods of Observation. **Bridged final report with resolutions and recommendations.** Geneva, Switzerland, 2003. (WMO, 947).

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation.** 7.ed. Geneva, Switzerland, 2006. 569 p. 2006. (WMO, 8).

ZANETTI, S.S.; PRUSKI, F.F.; MOREIRA, M.C.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, D.D. Programa computacional para geração de séries sintéticas de precipitação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 96-104, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1A – Principais referências geográficas e características socioeconômicas das mesorregiões de Minas Gerais, MG

Mesorregiões (IBGE)	Cód.	Solo (km ²)	n ¹	IDH ²	Densidade (hab/km ²)	Coordenadas geográficas		Altitudes de referências (m) ⁴		
						Ponto Central ³				
						Latitude	Longitude	Média	Mínima	Máxima
Sul/Sudoeste	MR01	49523	146	0,79	49,7	21°32'(S)	45°46'(W)	926	445	1505
Noroeste de Minas	MR02	62380	19	0,76	5,7	16°39'(S)	46°17'(W)	694	509	947
Norte de Minas	MR03	128453	81	0,68	12,4	16°44'(S)	43°52'(W)	652	0	1048
Jequitinhonha	MR04	50143	51	0,66	13,8	17°05'(S)	42°32'(W)	603	142	1231
Vale do Mucuri	MR05	20081	23	0,68	18,4	17°52'(S)	41°30'(W)	381	103	847
Vale do Rio Doce	MR06	41810	102	0,74	38,0	18°51'(S)	41°57'(W)	416	0	950
Oeste Mineiro	MR07	24044	44	0,79	38,4	20°27'(S)	45°33'(W)	831	650	1013
Campos das Vertentes	MR08	12564	36	0,78	43,5	21°08'(S)	44°16'(W)	943	505	1164
Central Mineira	MR09	31752	30	0,75	12,8	18°13'(S)	45°15'(W)	659	526	935
Metropolitana de BH	MR10	39487	105	0,80	159,6	19°50'(S)	43°48'(W)	751	120	1179
Triângulo/A. Paranaíba	MR11	90543	66	0,81	23,1	19°12'(S)	47°44'(W)	737	218	1203
Zona Mata Mineira	MR12	35748	142	0,76	60,0	20°45'(S)	42°53'(W)	536	140	1101
Total		586528	853							

¹ Municípios por mesorregião; ² Índice de Desenvolvimento Humano, base 2000 (PNUD, 2003); ³ Ponto central da mesorregião; e ⁴ Altitudes mínima, média e máxima dos municípios inseridos em cada mesorregião, em metros.

Quadro 2A – Período com ocorrência de falhas e taxa preenchimentos destas com registros em reanálises do ECMWF/ERA40

AREA	Temperatura máxima		Temperatura mínima		Precipitação		Radiação incidente		Velocidade do vento	
	PC ¹	%	PC ¹	%	PC ¹	%	PC ¹	%	PC ¹	%
MR01	88	2,8	88	2,6	88	2,5	88	3,1	88	3,0
MR04	80-82; 85-86	7,8	81-89	14,6	85-86	14,6	-	-	85-86	6,8
MR08	1986-1989	11,7	86-89	11,1	86-89	11,1	86-89	12,8	86-89	13,2
MR06	83-88; 92	19,0	83-88	18,8	83-92	18,8	83-92	23,5	83-92	24,6
MR09	1984-1985	6,8	84-85	6,8	84-85	6,8	61-85	33,1	84-85	7,3
MR10	84-85	2,9	84-85	2,9	84-85	2,9	84-85	2,9	84-85	3,1
MR11	85; 88	5,6	85; 88	5,5	85; 88	5,5	85; 88	5,8	85; 88	6,2
MR12	-	1,3	-	1,2	-	1,2	-	1,2	-	1,3

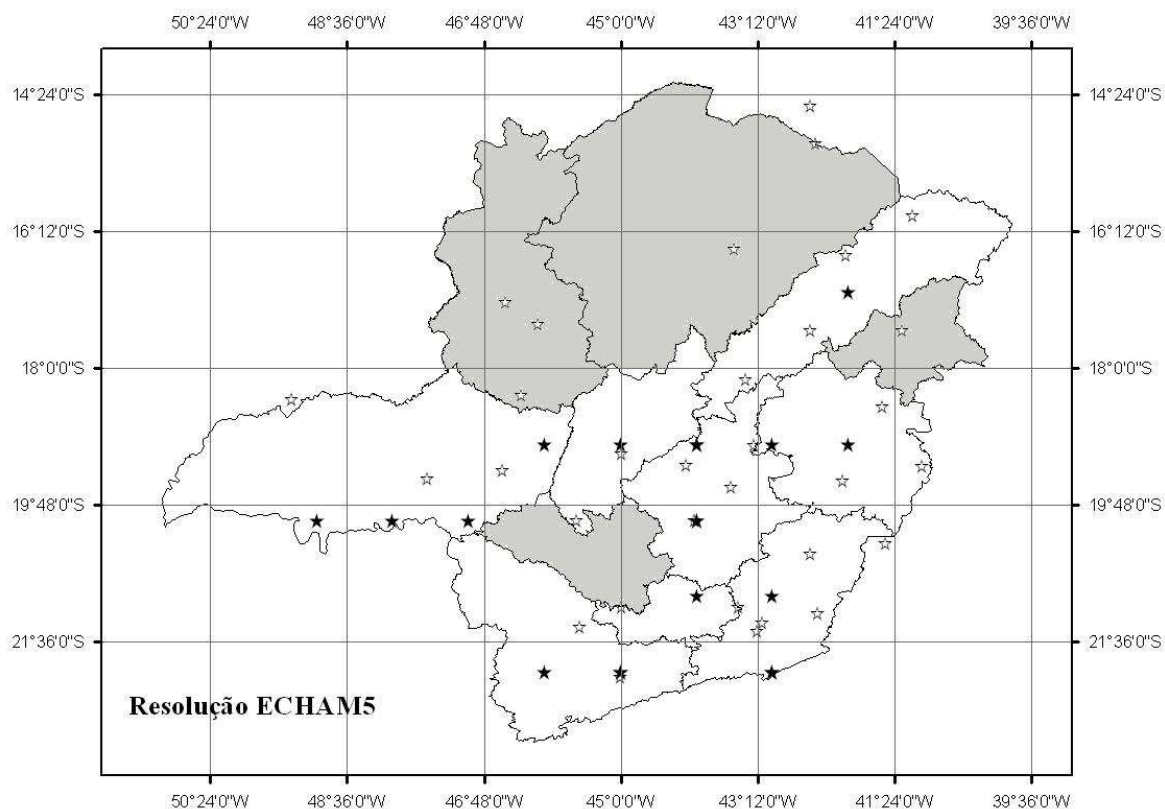


Figura 1A – Estado de Minas Gerais – divisão em mesorregiões/IBGE. (○) Estações do INMET não utilizadas no estudo, em solo cinza. (●) Estações do INMET utilizadas no estudo. Grade com resolução do campo do modelo ECHAM5/MPI-OM – 27 células de resolução para cobrir 100% da área estadual.

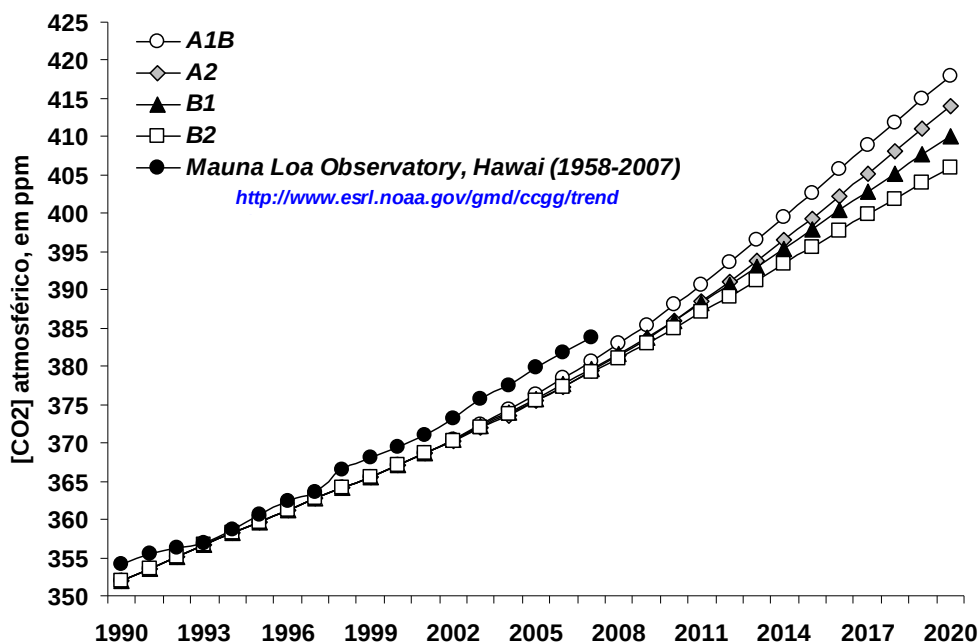


Figura 2A – Concentrações de CO₂ na atmosfera medida (NOAA) e simulada (IPCC, 2001 e 2007), em ppmv.

Quadro 3A – Experimento numérico na construção das séries sintéticas

Pontos principais	Destaques
Período fornecido	1961 a 1990: Diário (Climatologia do presente: 30 anos)
Período gerado	1991 a 2100: Diário
Período em avaliação	1991 a 2020: Diário (Climatologia do futuro: 30 anos)
Divergências	Normal climatológica/INMET (1961-90), BRASIL (1982).
Variáveis de entrada*	$P_t^{(a)}$ $T_m^{(b)}$ $T_n^{(c)}$ $R_g^{(d)}$ $W_v^{(e)}$
Registros gerados*	$P_t^{(a)}$ $T_m^{(b)}$ $T_n^{(c)}$ $R_g^{(d)}$ $W_v^{(e)}$
Simulador	ClimGen weather generator (versão 4.04.15)
Instituição	Universidade do Estado de Washington, EUA.
Equipe	Claudio Stöckle; Roger Nelson; Gaylon Campbell; Leonard Ndlovu; Marcello Donatelli; Francesc Castellvi.
Disponibilidade	Domínio Público (com cadastro)
Portal	http://www.bsyse.wsu.edu/climgen/
Custo operacional	Nível mínimo - máquinas de baixa performance.
Sistema operacional	Plataforma Windows®
Grau de execução	Simple

(*) Séries de (a) precipitação total, mm; (b) e (c) temperaturas máxima e mínima; (d) Radiação incidente (medidas e estimada pelo brilho solar por meio da equação de Angström, 1924); e (e) velocidade do vento, no plano 10 metros, m/s.

Quadro 4A – Resumo das características do experimento numérico empregado no modelo ECHAM5/MPI-OM

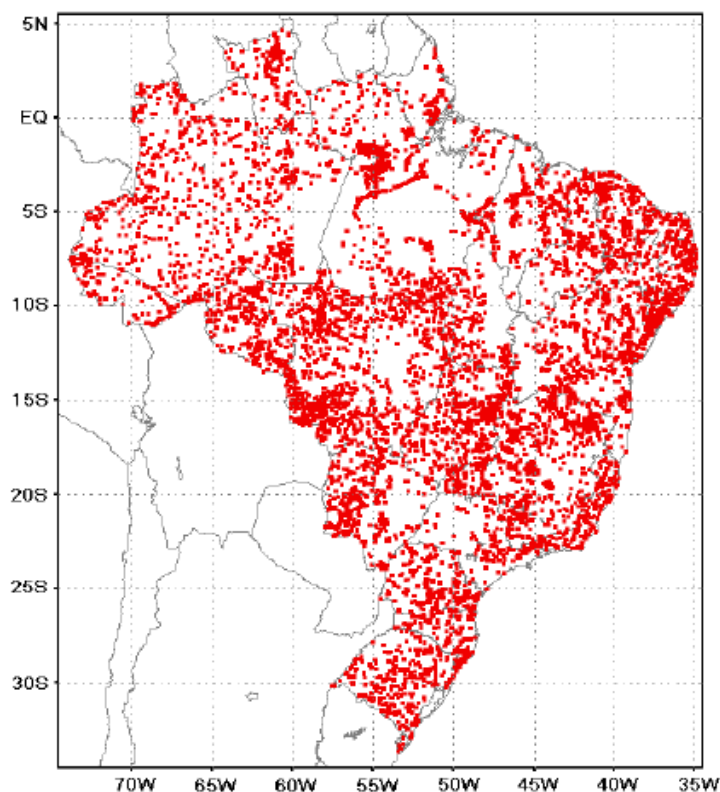
Pontos principais	Destaques				
Instituição	Instituto Max-Planck de Meteorologia (MPIM)				
Local	Hamburgo, Alemanha				
Simulação	Modelo de Circulação Geral Atmosférica (MCGA)				
Versão	Sexta Geração				
Inicialização	Renálise do ECMWF/ERA40				
Acoplado	Sim [ECHAM5 (atmosfera) e MPI-OM (oceano)]				
Dióxido de carbono	A1B (IPCC, 2000 e 2007)				
Vulcanismo	Considerado				
Registros gerados*	$P_t^{(a)}$	$T_m^{(b)}$	$T_n^{(c)}$	$R_g^{(d)}$	$W_v^{(e)}$
Resolução	1,875° x 1,875° (~ 180 x 180 km na faixa equatorial)				
Período simulado	150 anos (1950-2100)				
Portal	http://www.mpimet.mpg.de/en/home.html				
Custo operacional	Elevado (produto em simulação de alto desempenho e equipe multidisciplinar);				
Sistema operacional	Unix e Linux				
Grau de execução	Complexo				
Referências	Jungclaus et al. (2006) e Roeckner et al. (2003)				

(*) Séries de (a) precipitação total, mm; (b) e (c) temperaturas máxima e mínima; (d) Radiação global, MJ/m²d; e (e) velocidade do vento, no plano 10 metros, m/s.

Quadro 5A – Resumo do levantamento das séries meteorológicas para as mesorregiões mineiras

Séries meteorológicas	MR ²	Período ¹		Variáveis meteorológicas ³					
		Início	Fim	$P_t^{(a)}$	$T_m^{(b)}$	$T_n^{(c)}$	$R_g^{(d)}$	$W_v^{(e)}$	$E_T^{(f)}$
Observada	07	1961	2004	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
Reanálise (ECMWF/ERA40)	09	1957	2002	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
Dinâmica [ECHAM5/MPI-OM]	11	1991	2020	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
Sintética (CLIMGEN)	12	1991	2020	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>

(1) Período diário entre anos; (2) Número de mesorregiões; Séries de: (3a) precipitação total, mm; (3b) e (3c) temperaturas máxima e mínima; (3d) Radiação incidente (medida e estimada por insolação); (3e) Velocidade do vento, no plano 10 metros, m/s; e, (3f) evapotranspiração de referência, mm/d.



Fonte: Rossato (2001) e Souza et al. (2001).

Figura 3A – Referenciamento dos perfis de solos do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH/INPE/MCT).

Quadro 6A – Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem, em diferentes níveis de produtividades

Tipo de exploração	Produtividade (kg/ha)	Nutrientes extraídos (kg/ka) ¹				
		N	P	K	Ca	Mg
Grãos	3650	77	9	83	10	10
	5800	100	19	95	7	17
	7870	167	33	113	27	25
	9170	187	34	143	30	28
	10150	217	42	157	32	33
Silagem (matéria seca)	11600	115	15	69	35	26
	15310	181	21	213	41	28
	17130	230	23	271	52	31
	18650	231	26	259	58	32

Fonte: Coelho et al. (2002).

(1) Para converter P em P₂O₅; K em K₂O; Ca em CaO e Mg em MgO, multiplicar por 2,29; 1,20; 1,39 e 1,66; respectivamente.

Quadro 7A – Propriedades físico-químicas dos perfis de solos predominantes nas mesorregiões de Minas Gerais (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – PRODEMGE, 2008). Base de dados do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH/INPE/MCT)

.Mesorregião Sul/Sudoeste de Minas Gerais (MR01)													
Solo Predominante: Latossolo Vermelho Escuro: (31%) - [Latossolos totais: 50%]													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A ₁	0	25	11	57	32	1,0	2,5	2,4	0,2	28,0	30,2	19,7	1,0
A ₃	26	45	18	55	27	1,1	2,6	1,4	0,1	26,7	30,9	21,1	1,1
B ₁₁	46	70	18	56	26	1,1	2,6	1,1	0,1	27,2	31,0	21,4	1,1
B ₁₂	71	110	16	57	27	1,1	2,7	0,9	0,1	27,9	30,9	21,1	1,1
Mesorregião Noroeste de Minas (MR02)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Amarelo: 25% (Latossolos totais: 41%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A	0	25	4	32	64	1,4	2,7	1,0	0,1	13,0	21,3	10,7	1,5
B	26	80	3	36	61	1,3	2,7	0,4	0,1	13,0	22,5	11,5	1,5
Mesorregião Norte de Minas (MR03)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Amarelo: 32% (Latossolos totais: 39%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A ₁	0	15	7	55	38	1,1	2,4	1,8	1,3	-	29,0	18,1	1,3
A ₃	15	50	10	55	35	1,3	2,5	0,8	0,5	-	29,6	18,9	1,4
B ₁	50	120	9	56	35	1,3	2,4	0,5	0,4	-	29,6	18,9	1,4
Mesorregião Jequitinhonha (MR04)													
Solo predominante: Podzólico Vermelho Amarelo: 25% (Latossolos totais: 48%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A ₁	0	15	4	55	41	1,3	2,3	0,6	0,4	-	28,4	17,2	1,5
B ₂₁	15	50	4	64	32	1,3	2,3	0,1	0,1	-	30,2	19,7	1,4
B ₂₂	50	80	2	70	28	1,2	2,3	0,1	0,0	-	30,8	20,8	1,2
B ₃	80	100	4	61	35	1,3	2,4	0,3	0,2	-	29,6	18,9	1,4
Mesorregião Vale do Mucuri (MR05)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Amarelo: 50% (Latossolos totais: 67%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A ₁	0	26	3	33	64	1,0	2,1	3,6	2,6	-	21,3	10,7	1,1
A ₃	27	50	2	49	49	1,0	2,4	1,3	0,9	-	26,3	15,0	1,2
B ₁	51	96	3	49	48	1,1	3,0	1,0	0,7	-	26,6	15,3	1,2

Continua...

Quadro 7A, Continuação

Mesoregião Vale do Rio Doce (MR06)													
Solo predominante: Podzólico Vermelho Amarelo: 51% (Latossolos totais: 57%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A	0	15	7	55	38	1,1	2,4	1,8	1,3	-	29,0	18,1	1,3
B ₂₁	16	50	10	55	35	1,3	2,5	0,8	0,5	-	29,6	18,9	1,4
B ₂₂	51	120	9	56	35	1,3	2,4	0,5	0,4	-	29,6	18,9	1,4
Mesoregião Oeste de Minas Gerais (MR07)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Escuro (LVE): 26% (Latossolos totais: 51%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A ₁	0	8	9	40	51	1,1	2,6	2,0	0,2	21,0	25,8	14,4	1,2
A ₃	9	25	19	40	41	1,2	2,6	1,1	0,1	21,0	28,4	17,2	1,3
B ₁	26	65	17	45	38	1,1	2,6	0,8	0,1	22,0	29,0	18,1	1,2
B ₂₁	66	120	17	49	34	1,2	2,7	0,5	0,1	24,0	29,8	19,2	1,2
Mesoregião Campos das Vertentes (MR08)													
Área predominante: Cambissolo: 69%													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A	0	30	25,8	23,9	50,3	1,5	2,4	1,8	1,3	21,0	26,0	14,6	1,7
B ₁	30	60	46,9	23,7	46,9	1,5	2,5	0,7	0,6	22,0	30,6	20,4	1,5
B ₂	60	90	42,3	20,8	42,3	1,5	2,4	0,6	0,4	24,0	29,3	18,4	1,7
Mesoregião Central Mineira (MR09)													
Área predominante: Cambissolo: 55%													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A	0	11	19	26	55	1,1	2,6	1,9	1,4	21,0	24,5	13,3	1,2
B ₁	11	33	30	34	36	1,2	2,7	1,0	0,1	22,0	29,4	18,6	1,3
B ₂	33	95	35	38	27	1,2	2,9	1,3	0,1	24,0	30,9	21,1	1,1
Mesoregião Metropolitana de Belo Horizonte (MR10)													
Área predominante: Latossolo Vermelho Amarelo: 22% (Latossolos totais: 38%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A ₁	0	13	15	41	44	1,0	2,2	2,2	1,0	-	27,7	16,4	1,2
A ₃	13	27	16	41	43	1,1	2,2	1,6	0,7	-	27,9	16,7	1,2
B ₁	27	52	18	48	34	1,0	2,2	1,0	0,4	-	29,8	19,2	1,1
B ₂	52	180	17	50	33	1,0	2,3	0,5	0,2	-	30,0	19,4	1,0

Continua...

Quadro 7A, Continuação

Mesoregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Escuro (LVE): 41% (Latossolos totais: 57%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A _p	0	10	28	49	23	1,2	2,7	2,0	1,5	28,4	31,4	22,2	1,1
A	10	35	28	49	23	1,3	2,7	1,4	0,9	26,0	31,4	22,2	1,1
B _A	35	55	29	52	19	1,1	2,9	1,1	0,5	26,9	31,7	23,3	1,0
B _{w1}	55	75	27	54	19	1,1	2,7	0,8	0,4	27,9	31,7	23,3	1,0

Mesoregião Zona da Mata Mineira (MR12)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Escuro (LVE): 77%													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm ³)		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A ₁	0	5	22	54	24	1,2	2,8	3,1	0,3	38,0	31,3	21,9	1,1
A ₃	6	15	20	56	24	1,2	2,7	2,1	0,2	38,0	31,3	21,9	1,1
B ₂₁	16	60	18	61	21	1,2	2,7	1,2	0,1	36,0	31,6	22,7	1,0
B ₂₂	61	114	20	59	21	1,1	2,7	0,6	0,1	39,0	31,6	22,7	1,0

Fonte: Souza et al. (2001) e Tomasella (2000).

Hz: Horizonte; C: carbono; N: nitrogênio; UME: Umidade Equivalente; CC: Capacidade de Campo; PMP: Ponto de Murcha Permanente; e AD: Água Disponível.

Quadro 8A – Fenologia da cultura do milho em modelagem, DSSAT

Estádios	Descrição
8	Semeadura – germinação
9	Germinação – emergência
1	Emergência – indução floral
2	Indução floral – pendoamento
3	Pendoamento – embonecamento
4*	Embonecamento – início de enchimento de grãos
5*	Enchimento de grãos
6	Fim de enchimento de grãos – maturação fisiológica

* Fase crítica para a formação de grãos na cultura do milho.

Quadro 9A – Resumo de algumas características agronômicas das cultivares de milho adotado no estudo

Cultivar	Tipo	Ciclo	Graus-dias (h)	Densidade planta/ha ($\times 10^3$)	Nível de tecnologia	Área de adaptação	Empresa
AG7000	HS	P	890	50-60	A	Cerrado	Monsanto
AG8060	HS	P	845	55-65	A	Cerrado	Monsanto
AGN3060	HS	SP	810	60-70	M/A	BR	Monsanto
BR201	HD	P	889	40-50	B	Brasil (-RS)	Embrapa
DKB199	HS	SMP	920	60-65	A	Brasil (-RS)	Monsanto
GNZ2004	HS	P	880	45-50	A	Sul/CO/SE	Geneze
P30F90	HS	SMP	-	55-65	M	Sul/CO/SE	Pionner

Fonte: Cruz e Pereira Filho (2008).

HS: Híbrido Simples; Híbrido Duplo; SP: Superprecoces; P: Precoces; SMP: semiprecoces; A: Alta; M: Média; B: Baixa; CO: Centro Oeste; e SE: Sudeste.

Quadro 10A – Valores dos parâmetros genéticos correspondentes às diferentes híbridos

Cultivar	P1	P2	P5	G2	G3
GNZ2004	332	0,5	776	467	3,9
BR201	375	0,5	798	500	5,1
AGN3060	219	0,5	801	990	8,5
DKB 199	368	0,5	765	536	2,2
P 30F90	345	0,5	819	481	2,9
AG7000	349	0,5	760	475	2,5
AG8060	338	0,5	745	494	3,0

Fonte: Rezende (2008).

O coeficiente P2 foi considerado igual 0,5 para todos os híbridos (típico de cultivares de clima tropical (JONES; KINIRY, 1986).

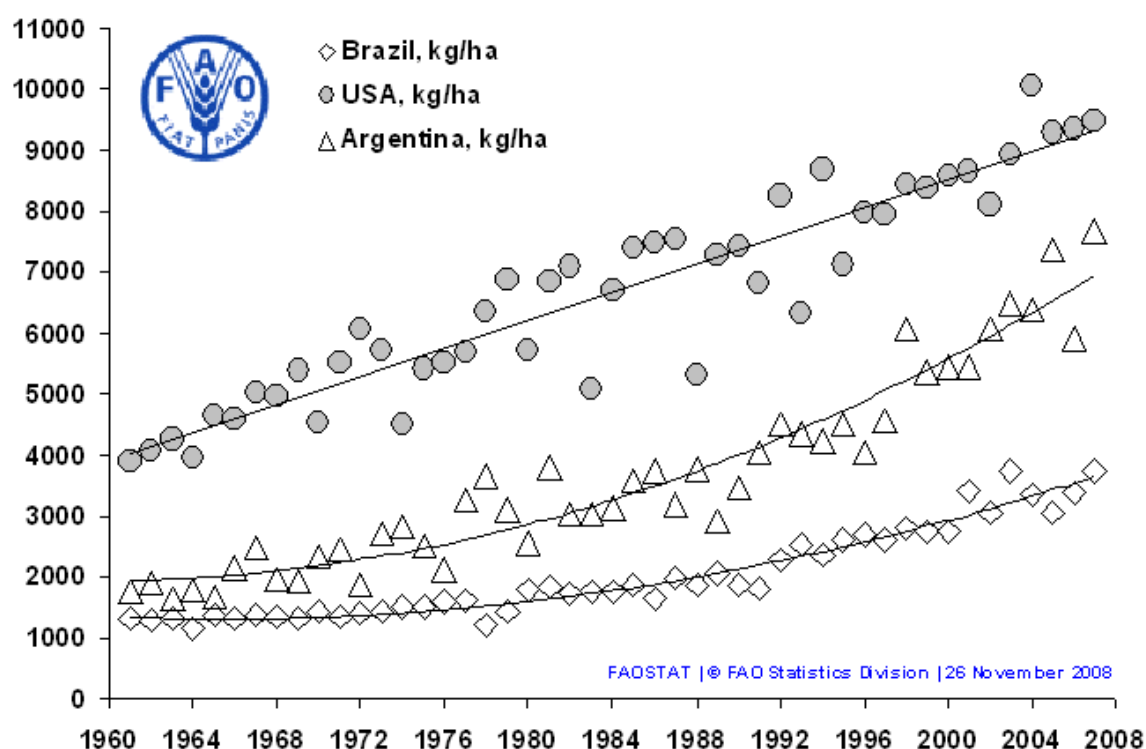


Figura 4A – Rendimentos das safras de milho em alguns países considerados principais produtores mundiais [Estados Unidos (1.º), Brasil (3.º) e Argentina (6.º)].

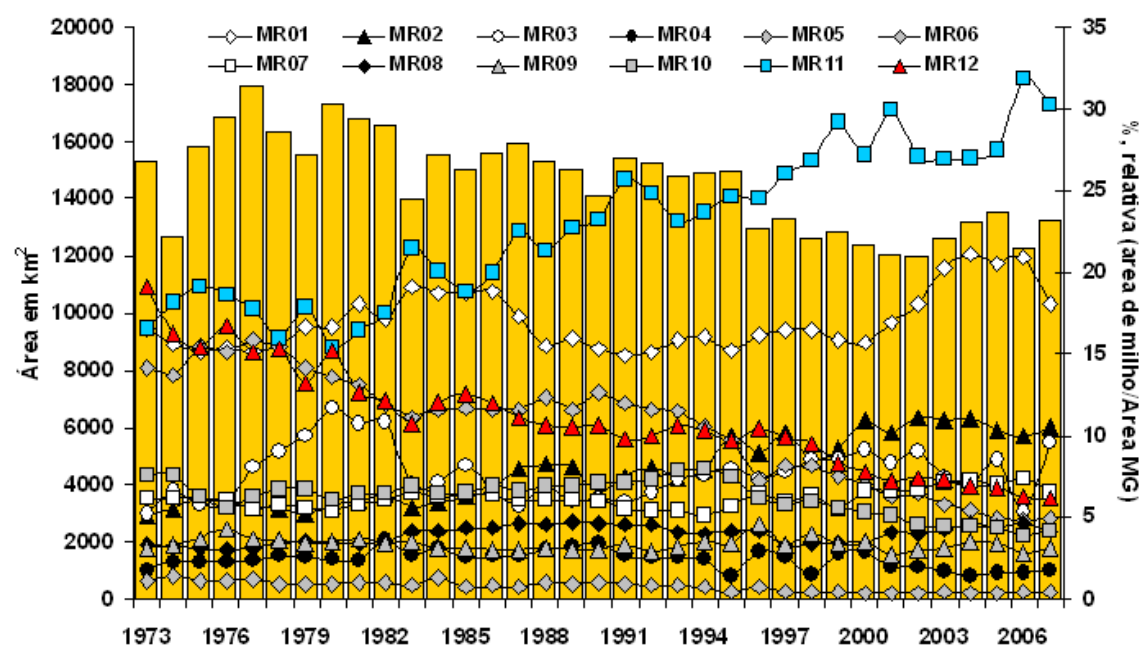


Figura 5A – Área cultivada com milho em Minas Gerais (MG), em km². Áreas relativas, em %, ocupada com plantio de milho nas mesorregiões (safras 1973-2007).

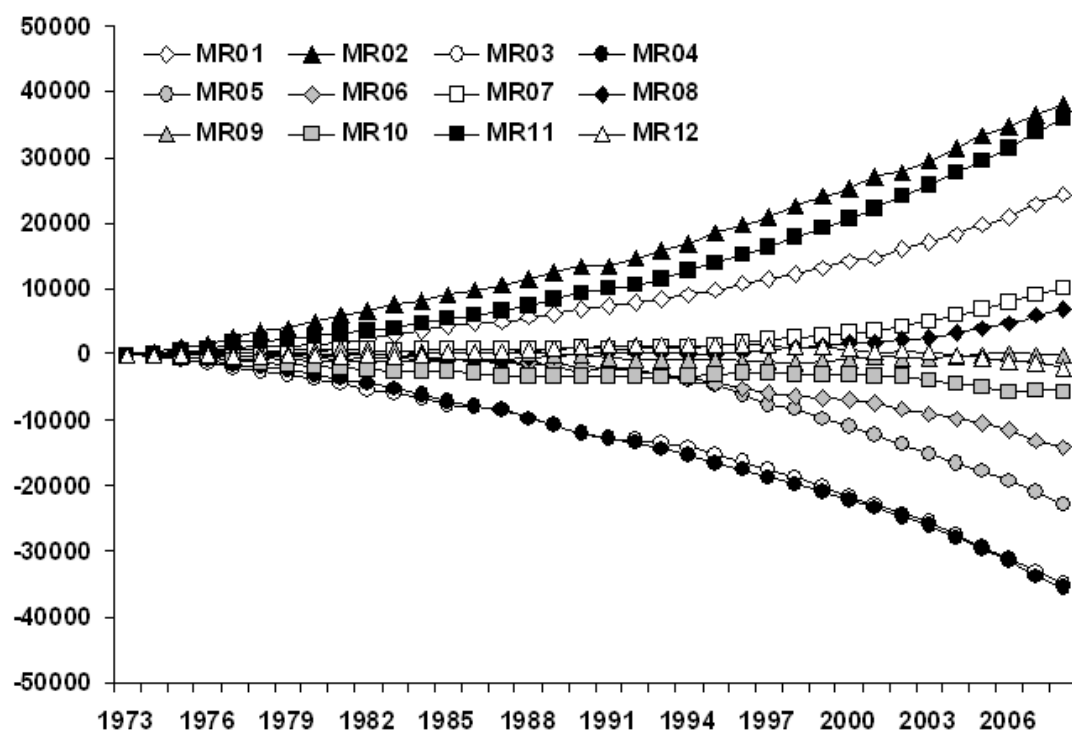
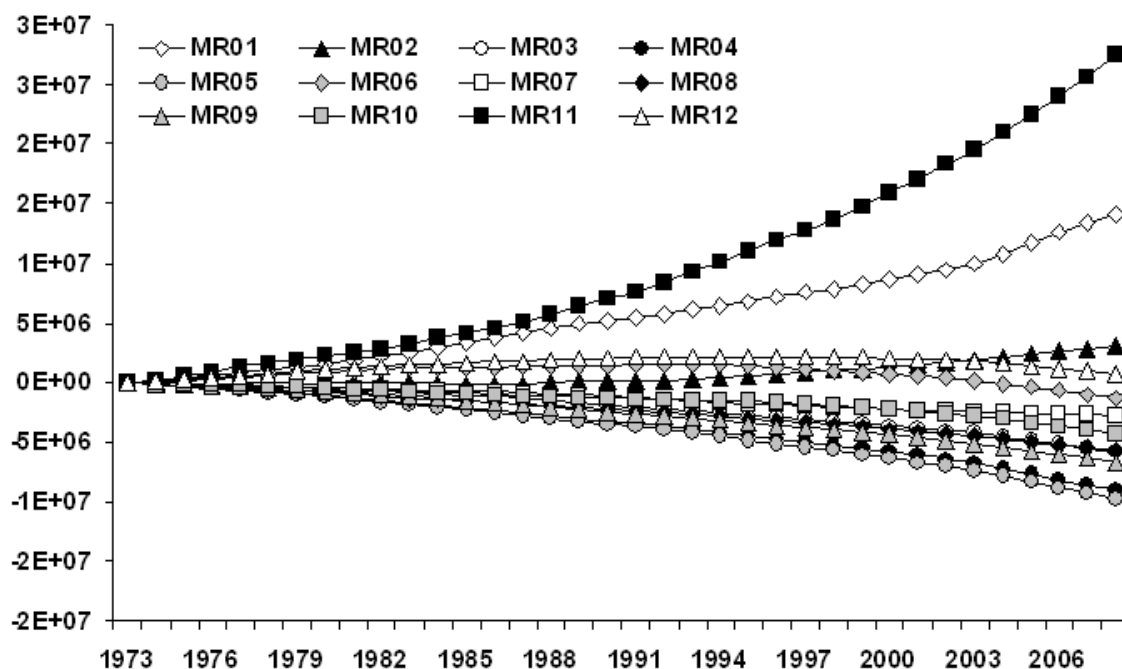


Figura 6A – Acúmulo de desvios anuais (*) dos rendimentos de milhos nas mesorregiões mineiras, em kg/ha (1973-2007).



$$(*) \text{ Desvios}_{ACum.}(MR's) = 0 + (\bar{X}_{MG} - \bar{X}_{MR})_{1973} + \dots + (\bar{X}_{MG} - \bar{X}_{MR})_{2007}$$

Figura 7A – Acúmulo de desvios anuais (*) da Produção de milhos nas mesorregiões mineiras, em toneladas (1973 -2007).

APÊNDICE B

MESORREGIÃO DO SUL DE MINAS E SUDOESTE DE MINAS – MR01

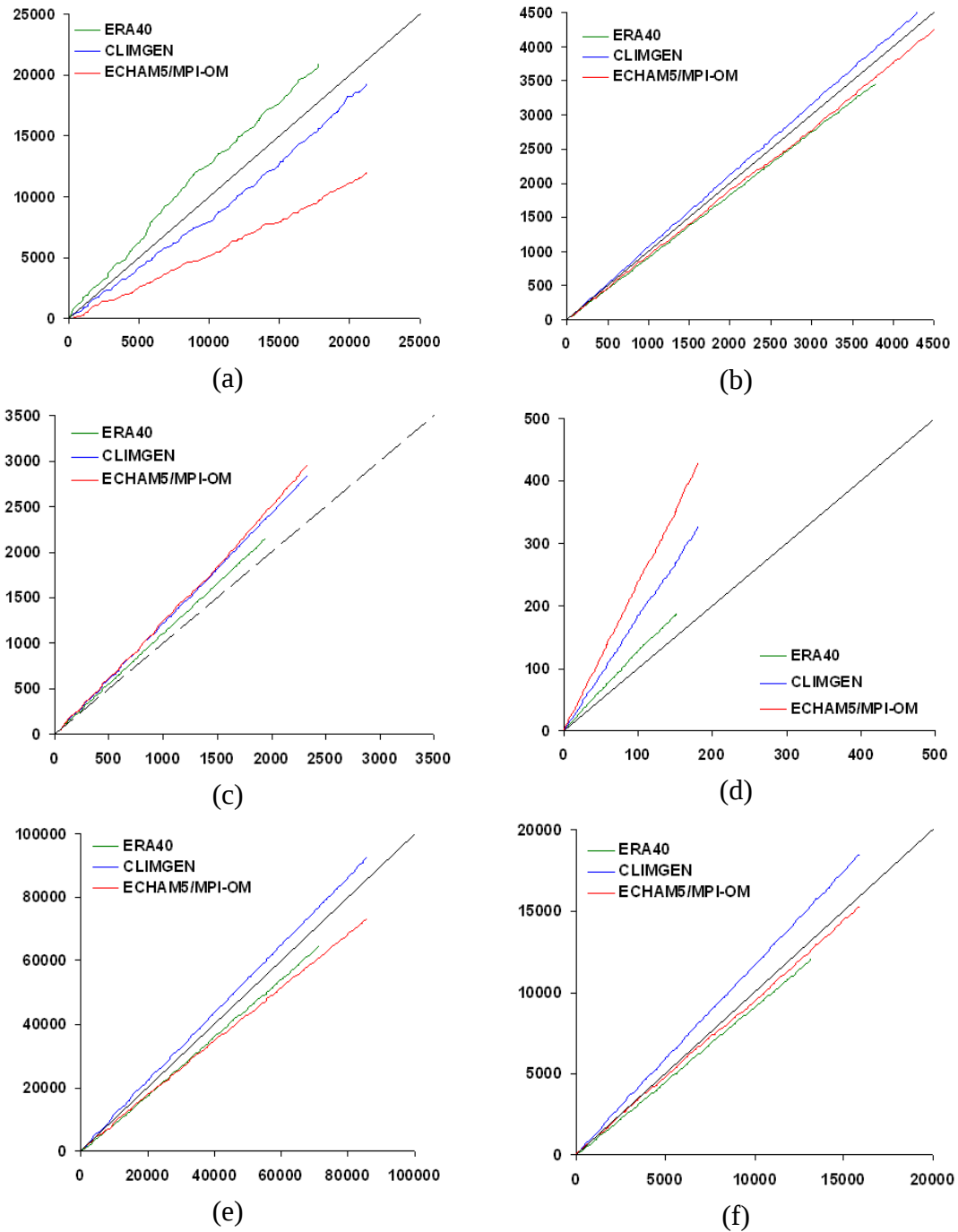
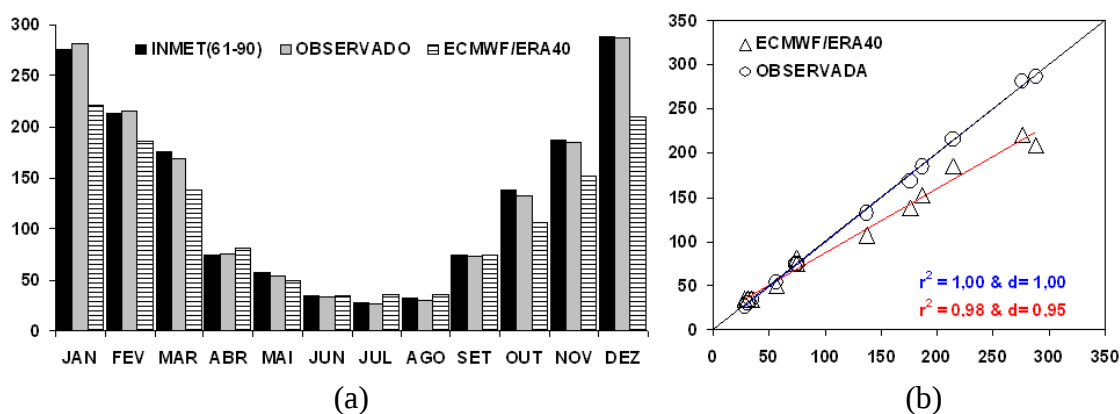
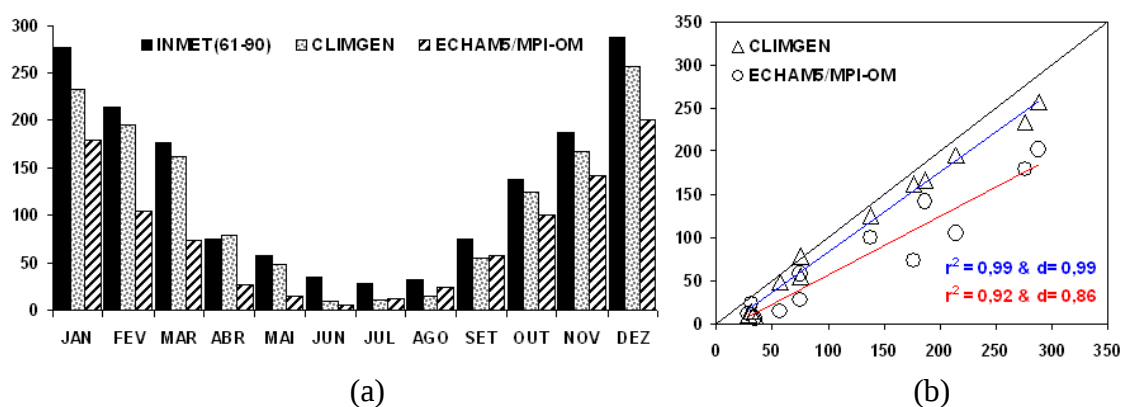


Figura 1B – Análise de inconsistências entre séries meteorológicas da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01) por meio de teste da dupla-massa: (a) precipitação mensal, em mm; (b) temperatura máxima, em °C; (c) temperatura mínima, em °C; (d) velocidade do vento, m/s; (e) radiação global mensal, MJ/m²; e (f) evapotranspiração de referência, mm (eixo da abscissa representa a série de registros observados e a linha 1:1 em preto).



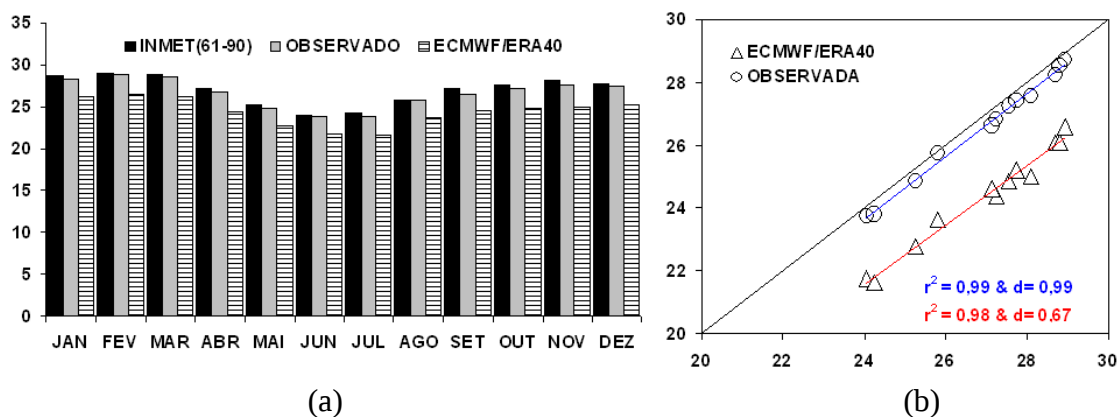
Fonte: Brasil (1992).

Figura 2B – Climatologia da precipitação acumulada mensal da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em mm, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 3B – Climatologia da precipitação acumulada mensal da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em mm, no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 4B – Climatologia da temperatura máxima da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em °C, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

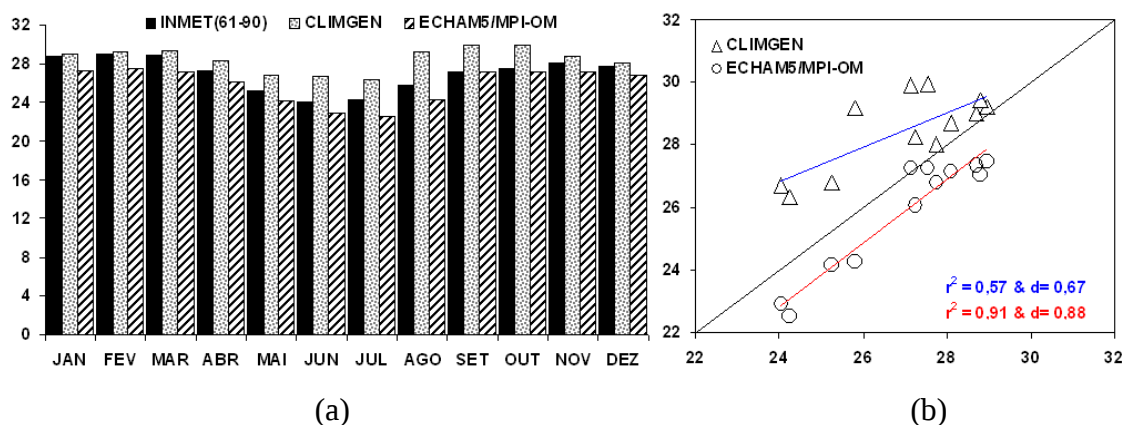
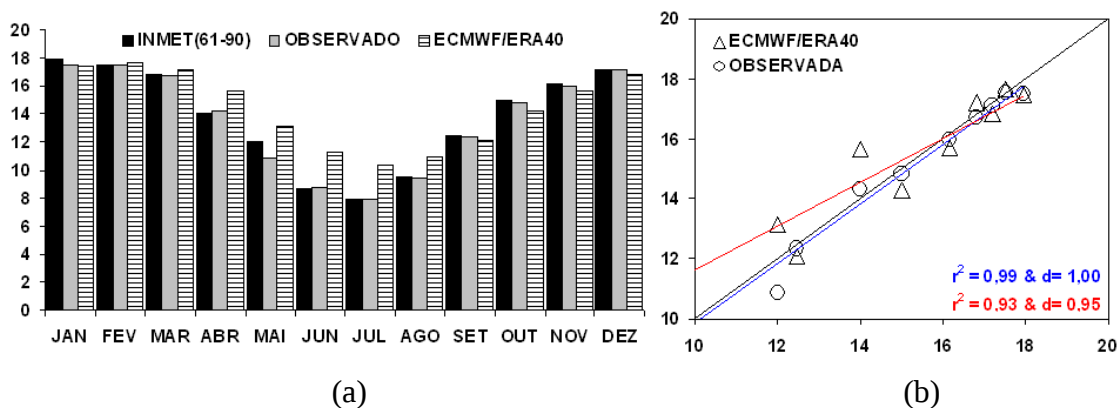


Figura 5B – Climatologia da temperatura máxima, em °C, da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais (MR01), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 6B – Climatologia da temperatura mínima, °C, da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais (MR01), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

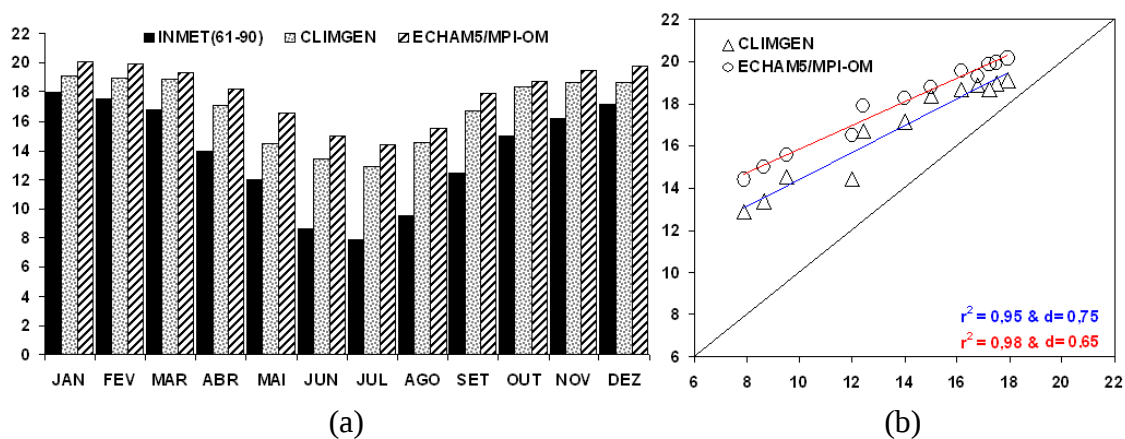
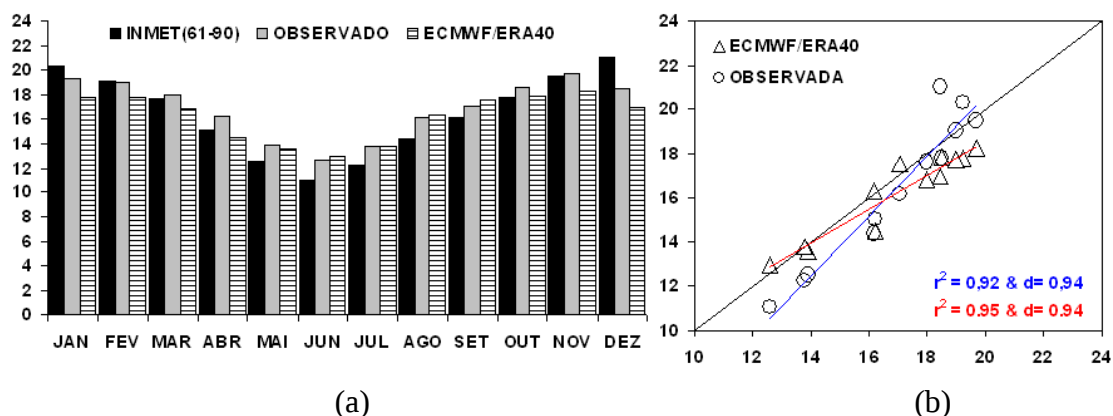


Figura 7B – Climatologia da temperatura mínima, em °C, da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais (MR01), no período de 1991 a 2020 – FUTURO 9a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 8B – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais (MR01), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

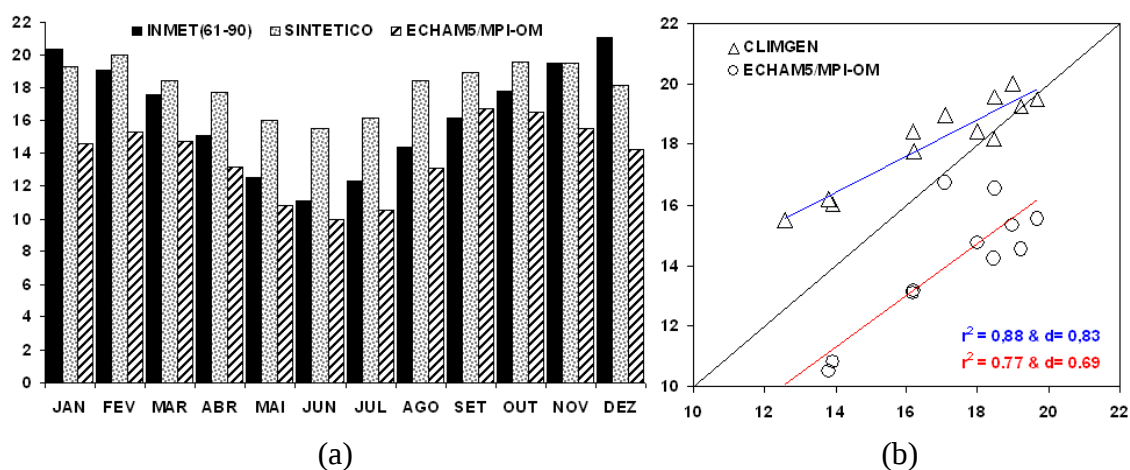
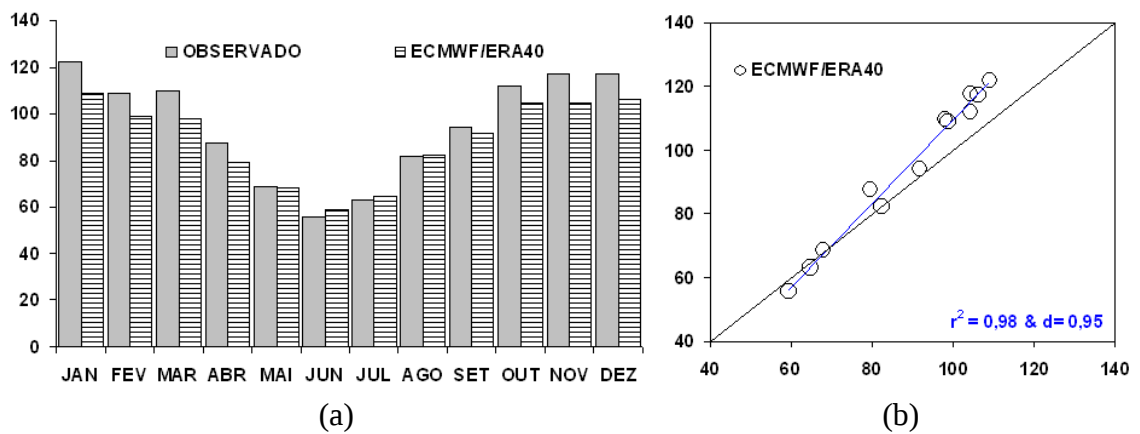


Figura 9B – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais (MR01), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 10B – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais (MR01), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados em reanálise do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

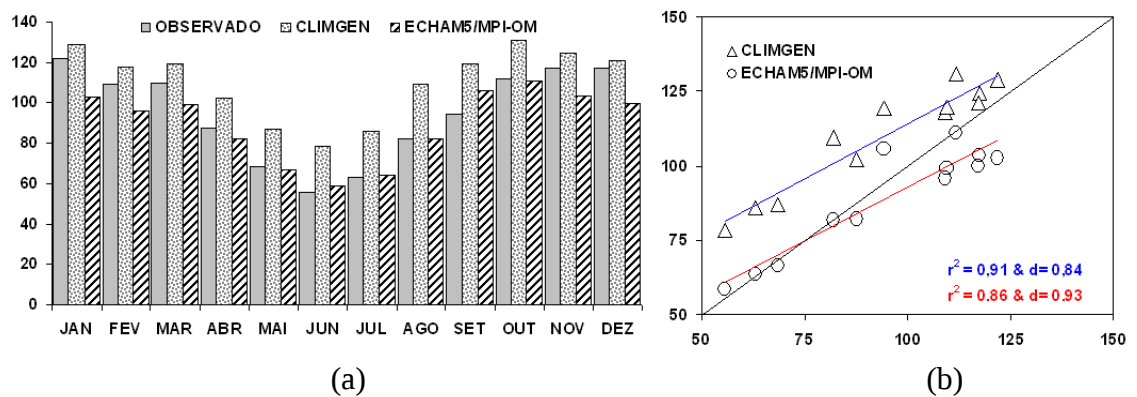


Figura 11B – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais (MR01), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

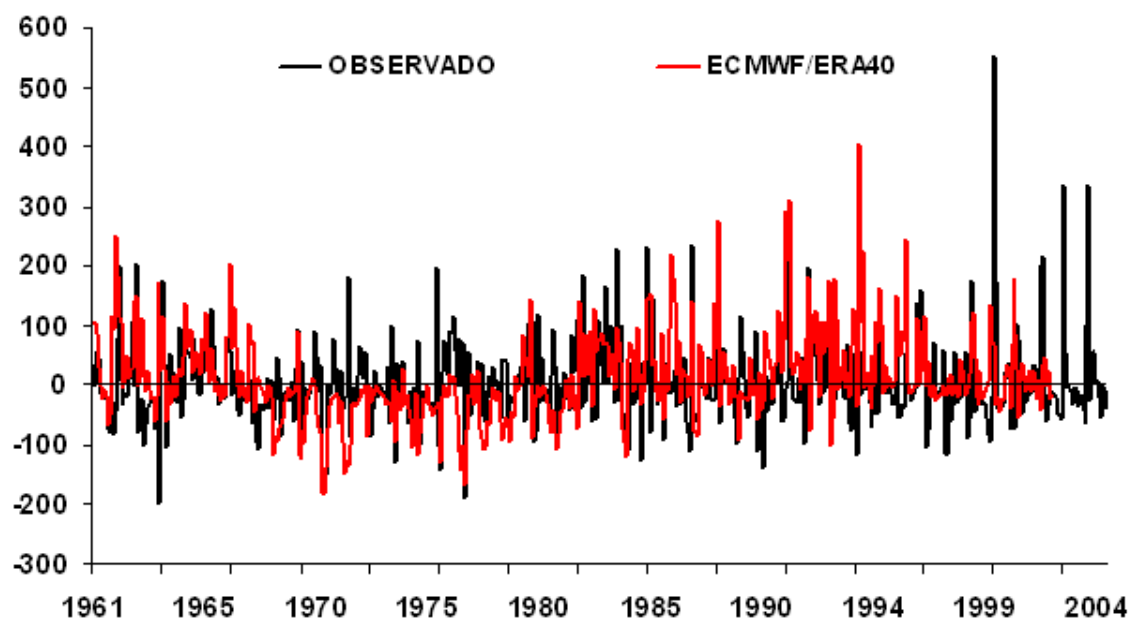


Figura 12B – Anomalias mensais de precipitação dos “registros observados e da reanálise do ECMWF/ERA40” para mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em mm/mês, no período 1961 a 2002, para ECMWF/ERA40 e de 1961 a 2004 para os registros observados - PRESENTE.

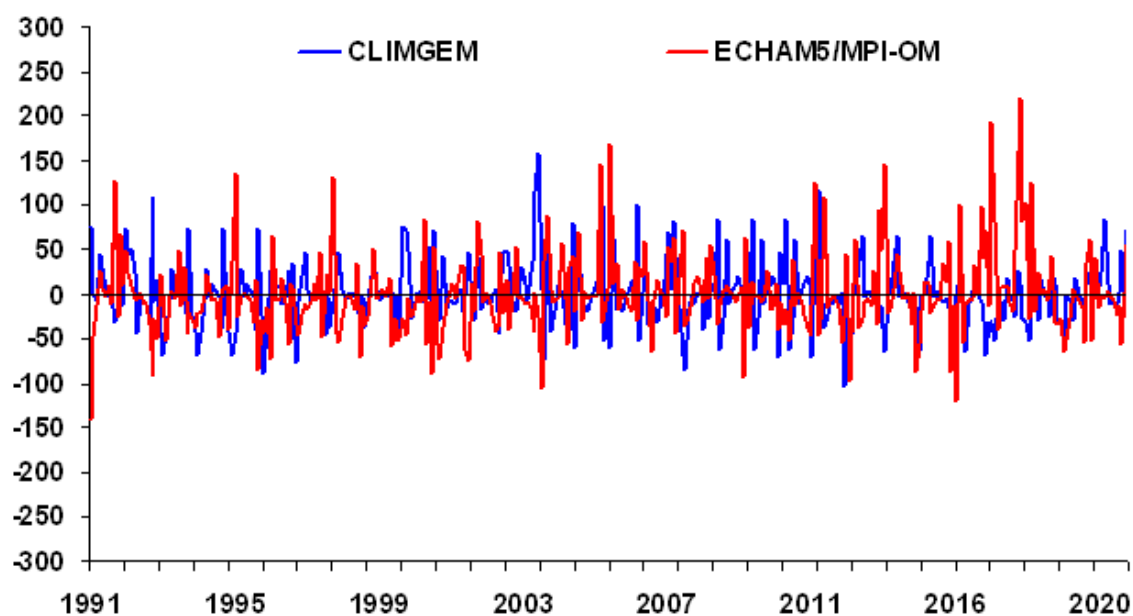


Figura 13B – Anomalias mensais de precipitação total dos “registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e o ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

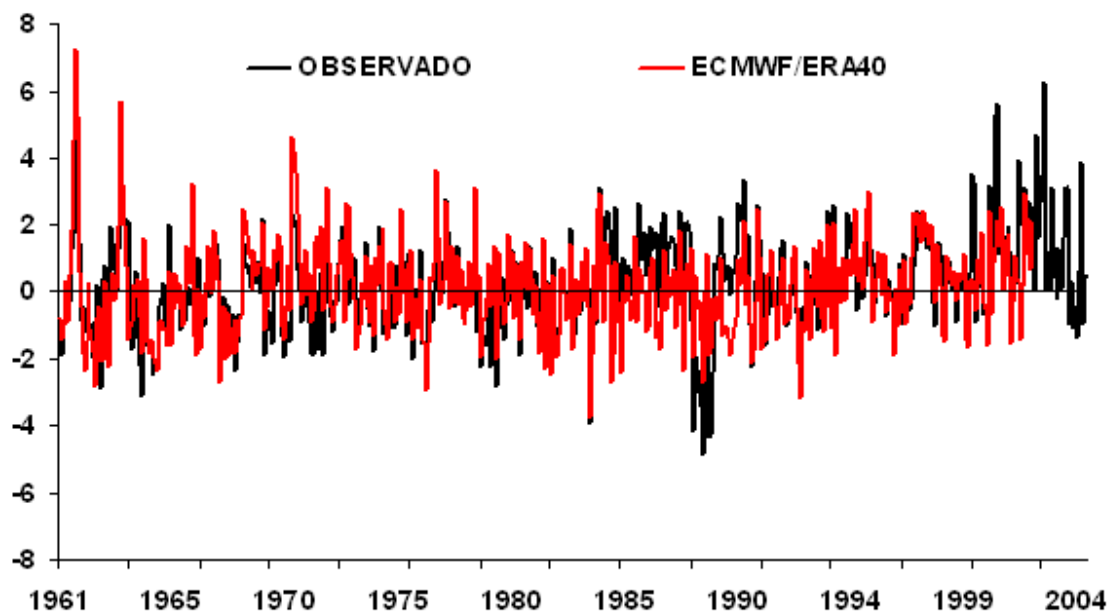


Figura 14B – Anomalias mensais de temperatura máxima dos “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em °C, no período de 1961 a 2002, para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

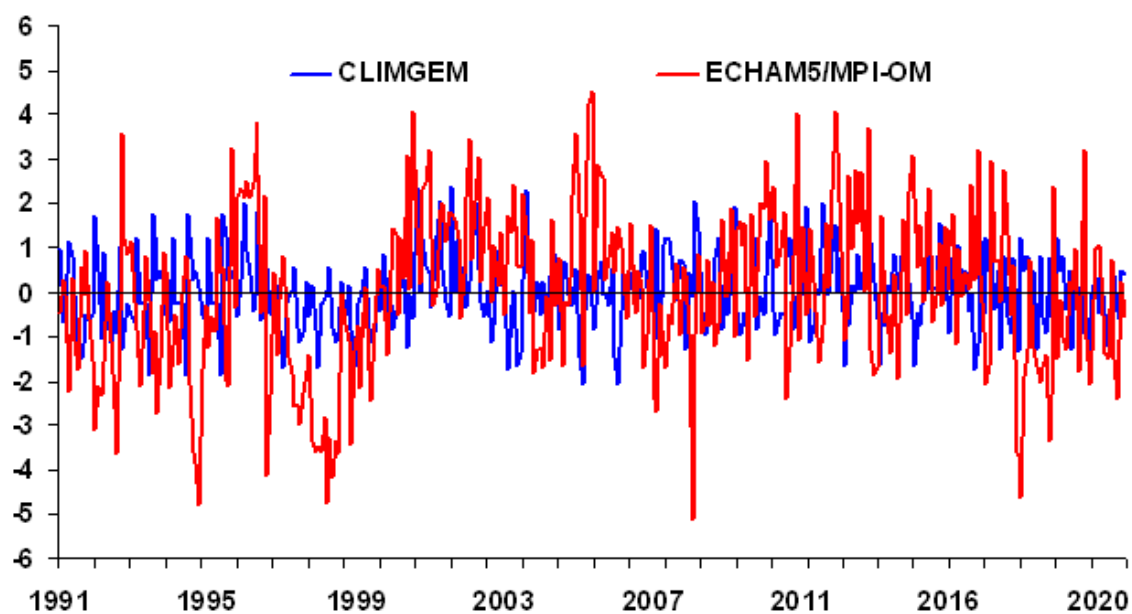


Figura 15B – Anomalias mensais de temperatura máxima a partir de “registros simulados pelo CLIMGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

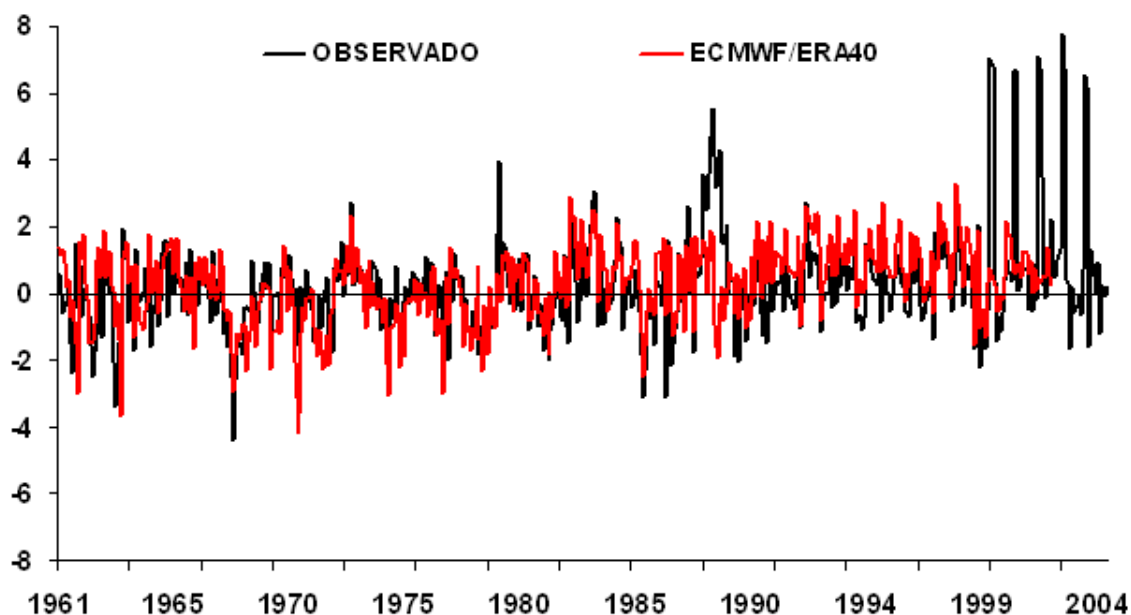


Figura 16B – Anomalias mensais de temperatura mínima de “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em °C, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

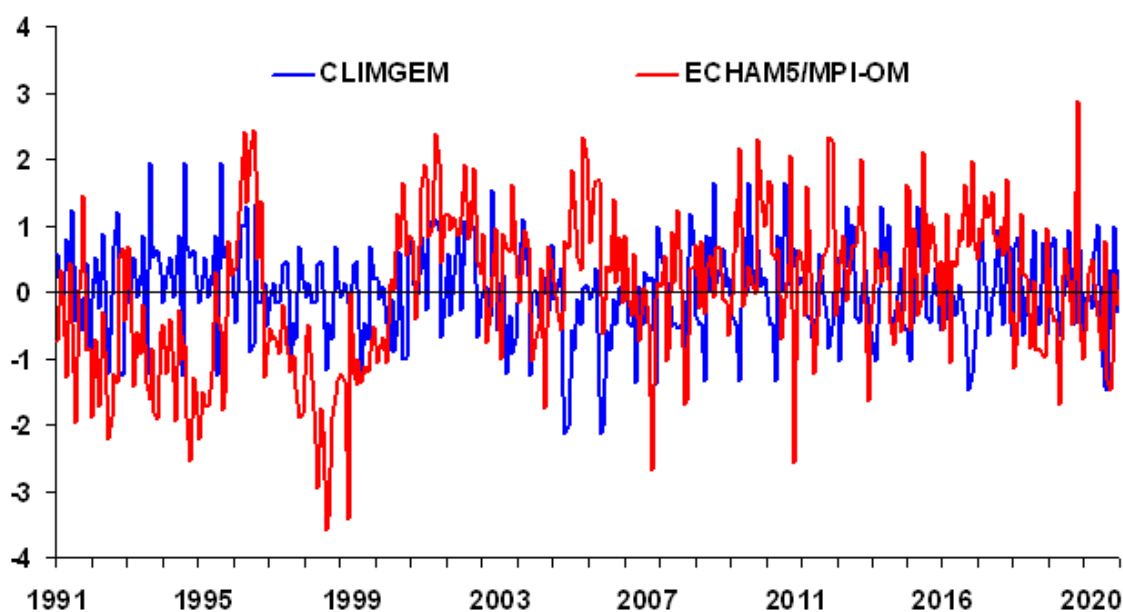


Figura 17B – Anomalias mensais de temperatura mínima dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

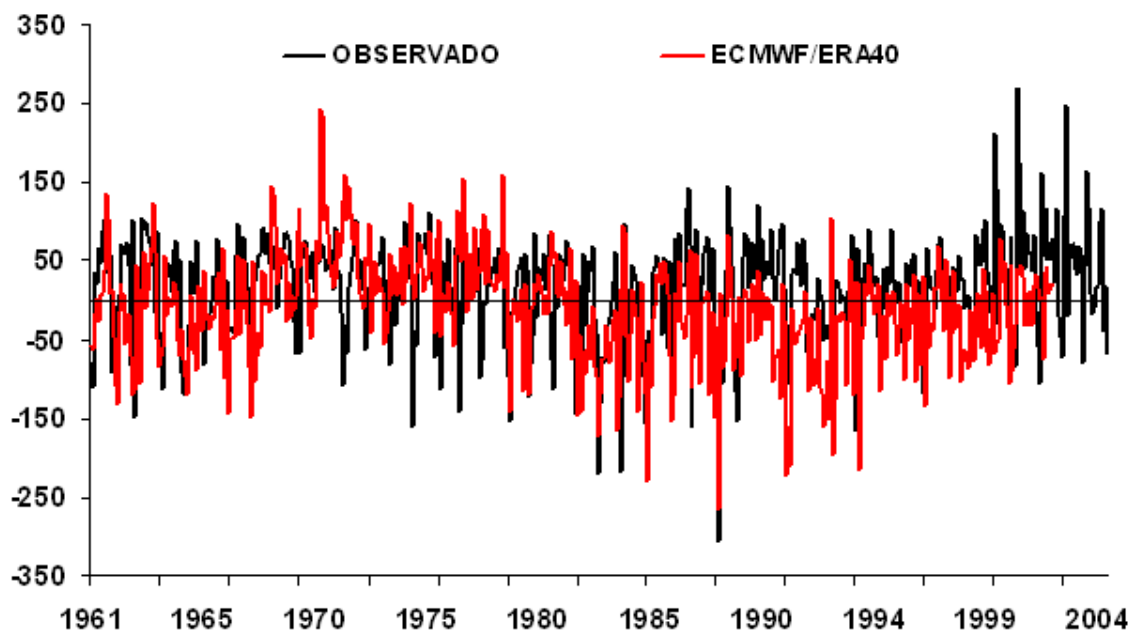


Figura 18B – Anomalias mensais de radiação global incidente dos registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40 para a mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em MJ/m²mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

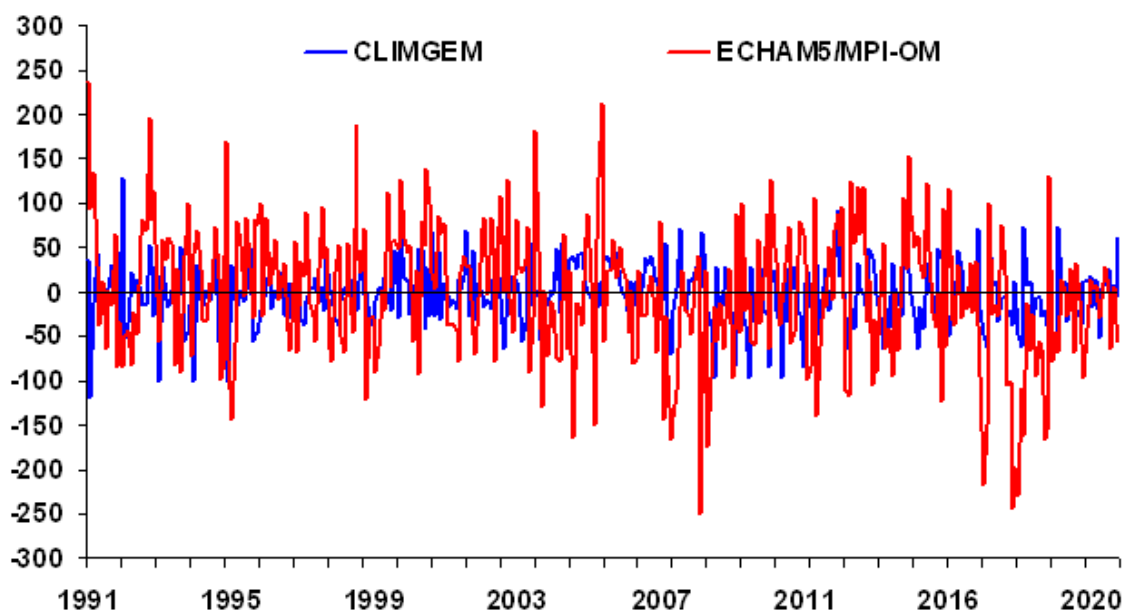


Figura 19B – Anomalias mensais de radiação global total dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em MJ/m²mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

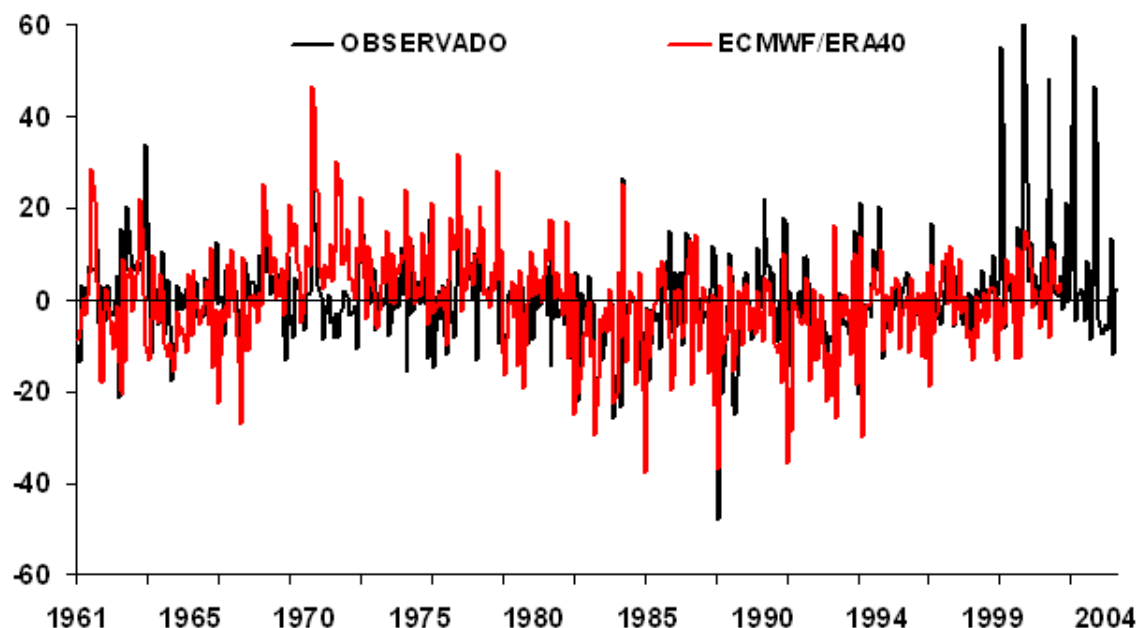


Figura 20B – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência dos registros observado e reanálise do ECMWF/ERA40 para mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em mm/mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

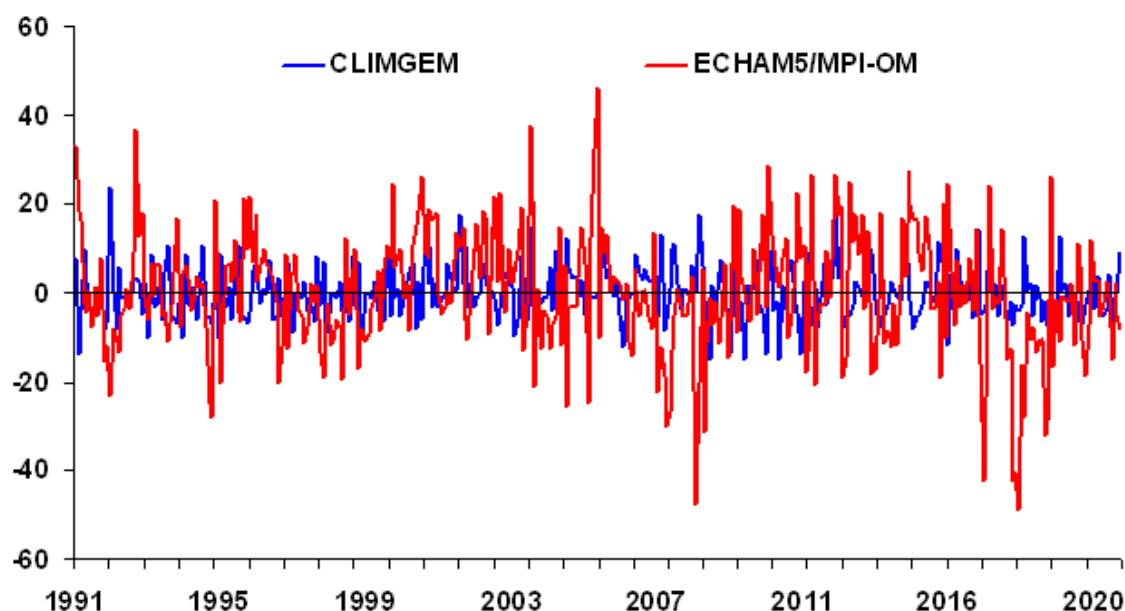


Figura 21B – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência estimada com registros meteorológicos simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

Quadro 1B – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas (MR01). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros OBSERVADOS, níveis atuais de concentração de CO₂ atmosférico (NOAA, 2008), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos meiorregional predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1972-73	275	113	15	49	423	746	172	335	1404	0,46	1,4	166
1973-74	293	114	17	45	365	921	167	339	1419	0,61	1,2	149
1974-75	293	118	13	46	345	771	163	313	1413	0,62	1,0	132
1975-76	307	114	21	45	297	905	148	318	1445	0,62	1,0	137
1976-77	285	118	15	48	457	1012	159	332	1413	0,61	0,9	126
1977-78	276	117	20	48	318	722	162	326	1409	0,58	1,2	155
1978-79	286	121	21	52	457	882	162	332	1402	0,56	1,1	137
1979-80	283	117	14	54	625	1022	156	304	1410	0,54	1,3	150
1980-81	284	113	15	52	424	912	138	279	1390	0,56	1,2	145
1981-82	282	122	12	28	421	1126	143	319	1416	0,61	0,7	92
1982-83	287	115	9	39	599	1065	144	295	1420	0,61	0,9	93
1983-84	278	117	17	50	379	969	136	290	1370	0,57	1,1	131
1984-85	318	117	18	49	502	1291	138	288	1455	0,62	0,8	95
1985-86	307	109	16	52	381	841	155	290	1365	0,61	1,2	147
1986-87	297	110	20	59	465	1064	156	288	1400	0,62	1,4	156
1987-88	280	107	17	57	362	732	152	295	1414	0,61	1,5	161
1988-89	275	121	15	48	447	749	127	284	1372	0,43	1,2	117
1989-90	310	112	32	65	241	555	154	296	1451	0,52	1,4	168
1990-91	276	113	17	58	461	729	170	332	1420	0,55	1,9	191
1991-92	275	112	8	40	614	863	158	332	1395	0,54	2,2	188
1992-93	278	117	19	48	415	826	156	319	1408	0,62	1,0	124
1993-94	280	113	8	48	550	757	141	308	1413	0,49	2,0	180
1994-95	297	108	12	38	503	930	144	319	1431	0,64	1,1	127
1995-96	288	114	16	52	372	750	138	284	1387	0,55	1,1	129
1996-97	279	116	9	36	524	1144	144	296	1437	0,62	1,1	116
1997-98	295	104	18	41	233	621	154	313	1414	0,52	1,0	115
1998-99	276	114	14	46	552	874	157	321	1393	0,56	1,3	138
1999-00	315	113	20	50	351	1144	150	289	1391	0,56	1,0	117
2000-01	304	110	14	33	247	725	153	330	1433	0,62	0,9	105
2001-02	276	113	14	51	503	916	150	296	1382	0,62	1,0	106
2002-03	303	107	19	40	461	794	135	296	1443	0,54	1,3	133
2003-04	283	110	24	50	207	618	134	281	1348	0,59	0,8	87

(a) Fases críticas: entre o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994), em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 2B – Determinações biometeorológicas para cultivar BR201 para a mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01). Simulações do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros SINTÉTICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	279	108	7	32	452	829	172	340	1450	0,59	1,0	132
1992-93	279	109	10	40	358	731	161	329	1424	0,59	0,9	108
1993-94	274	107	17	44	335	692	153	309	1479	0,62	1,0	117
1994-95	274	107	17	44	335	692	153	309	1479	0,62	1,0	117
1995-96	274	107	17	44	281	638	148	304	1471	0,61	1,0	116
1996-97	276	107	20	45	337	586	174	331	1440	0,57	1,4	167
1997-98	308	105	12	34	345	699	158	336	1437	0,57	1,0	116
1998-99	308	105	12	34	345	699	158	336	1437	0,57	1,0	116
1999-00	308	104	8	29	478	845	168	339	1433	0,59	0,9	110
2000-01	275	107	13	36	382	782	159	330	1435	0,58	1,0	123
2001-02	299	104	18	38	265	742	158	329	1431	0,60	0,8	101
2002-03	299	109	9	29	426	903	165	336	1453	0,59	0,8	89
2003-04	277	110	15	33	568	1035	151	342	1429	0,55	0,8	98
2004-05	276	104	11	42	365	648	159	318	1441	0,51	1,7	163
2005-06	282	109	12	39	331	725	172	334	1464	0,61	1,0	118
2006-07	282	107	16	43	377	771	158	321	1462	0,61	1,0	117
2007-08	275	105	10	38	454	817	149	318	1434	0,54	1,1	111
2008-09	284	103	11	35	396	665	158	322	1463	0,63	1,1	118
2009-10	278	105	12	40	405	617	165	333	1451	0,56	1,5	153
2010-11	278	105	12	40	405	617	165	332	1451	0,56	1,5	152
2011-12	278	105	9	37	447	889	158	325	1450	0,62	0,9	95
2012-13	310	110	9	39	361	716	172	331	1454	0,60	1,1	127
2013-14	288	112	11	41	332	747	164	334	1478	0,63	0,8	90
2014-15	288	108	10	38	329	594	160	308	1420	0,59	1,3	134
2015-16	288	107	9	37	350	614	158	305	1428	0,58	1,3	129
2016-17	283	105	12	43	321	562	156	321	1413	0,54	1,7	161
2017-18	282	105	12	37	334	646	148	310	1437	0,57	1,1	114
2018-19	282	105	12	37	334	646	148	309	1437	0,57	1,1	113
2019-20	282	107	10	35	443	755	151	312	1454	0,58	1,1	113

(a) Fases críticas: entreo o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 3B – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas (MR01). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros DINÂMICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	302	125	25	54	301	756	135	280	1507	0,50	0,8	96
1992-93	317	111	33	64	175	506	139	277	1546	0,58	1,5	169
1993-94	298	118	20	60	183	524	143	288	1492	0,56	0,9	111
1994-95	291	129	33	71	211	699	129	281	1445	0,57	0,9	105
1995-96	277	107	30	68	141	431	156	300	1421	0,50	1,7	182
1996-97	277	118	28	63	240	564	127	258	1503	0,50	1,1	122
1997-98	278	120	18	62	351	686	136	262	1393	0,60	1,0	116
1998-99	305	122	17	59	252	591	152	306	1478	0,63	1,0	116
1999-00	287	115	21	68	202	394	161	293	1470	0,49	1,8	195
2000-01	292	107	18	63	304	471	145	300	1546	0,32	2,4	205
2001-02	286	102	29	63	272	461	54	146	1448	0,18	0,4	13
2002-03	276	103	24	58	290	518	141	265	1456	0,50	1,3	142
2003-04	277	103	24	58	165	363	145	268	1440	0,47	1,6	162
2004-05	276	112	19	57	270	584	137	276	1484	0,49	1,7	162
2005-06	274	100	19	59	378	591	145	268	1474	0,55	1,5	169
2006-07	274	105	22	55	298	544	87	201	1418	0,29	1,2	53
2007-08	274	115	17	48	287	669	88	205	1415	0,33	0,7	32
2008-09	278	115	7	39	382	674	95	197	1455	0,27	0,4	11
2009-10	280	110	23	65	322	487	140	282	1446	0,33	1,9	184
2010-11	301	106	17	45	158	463	143	312	1550	0,42	1,6	154
2011-12	286	111	14	52	223	602	132	239	1481	0,53	1,3	120
2012-13	281	104	29	63	222	457	133	275	1517	0,46	1,5	152
2013-14	277	116	15	52	296	819	100	209	1445	0,45	0,9	50
2014-15	293	100	20	54	208	405	131	257	1421	0,43	1,7	143
2015-16	289	112	26	68	164	406	159	297	1507	0,49	2,0	198
2016-17	281	108	15	43	462	825	93	221	1480	0,47	1,0	69
2017-18	274	125	12	34	504	1183	70	190	1509	0,28	0,5	10
2018-19	287	117	21	49	245	571	116	258	1488	0,53	1,2	105
2019-20	296	116	28	59	177	601	60	185	1489	0,32	0,8	34

(a) Fases críticas: entre o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994), em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

APÊNDICE C

MESORREGIÃO DO JEQUITINHONHA – MR04

Quadro 1C – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na mesorregião do Jequitinhonha (MR04). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros OBSERVADOS, CO₂ atmosférico em níveis atuais (NOAA, 2008), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1972-73	280	107	21	50	305	578	132	247	1407	0,36	1,6	151
1973-74	293	113	22	47	176	677	127	268	1461	0,39	1,6	140
1974-75	284	119	25	61	356	707	142	291	1416	0,42	1,7	183
1975-76	285	117	33	65	136	497	79	233	1410	0,36	1,8	135
1976-77	286	122	23	60	532	1006	131	290	1425	0,40	2,1	179
1977-78	282	119	27	59	448	772	115	247	1401	0,39	1,7	154
1978-79	287	128	24	46	853	1236	126	274	1385	0,43	2,0	161
1979-80	283	126	19	68	392	863	153	285	1350	0,41	1,9	181
1980-81	320	118	38	74	151	608	88	216	1420	0,40	1,7	122
1981-82	276	109	17	46	403	811	116	254	1369	0,39	1,8	153
1982-83	306	103	18	57	339	563	112	192	1460	0,42	1,2	109
1983-84	288	98	25	44	98	520	109	239	1413	0,37	2,0	155
1984-85	296	102	12	42	388	685	106	232	1331	0,40	2,0	154
1985-86	274	104	14	50	267	429	68	139	1441	0,30	0,7	30
1986-87	287	109	23	56	280	487	95	185	1443	0,32	1,1	90
1987-88	296	125	35	64	258	877	116	281	1427	0,46	2,0	169
1988-89	302	104	28	62	95	656	78	193	1221	0,34	1,4	109
1989-90	291	114	42	73	144	635	51	138	1445	0,35	1,2	62
1990-91	300	119	19	65	535	815	171	316	1396	0,44	2,2	225
1991-92	282	122	11	37	722	1093	147	302	1425	0,49	2,1	180
1992-93	279	121	24	52	269	925	113	252	1392	0,38	1,8	142
1993-94	301	109	27	59	176	485	122	257	1392	0,39	2,3	178
1994-95	325	103	25	56	202	444	116	225	1340	0,44	1,6	143
1995-96	283	112	27	59	207	608	103	239	1379	0,39	2,0	151
1996-97	305	112	32	50	86	579	90	236	1398	0,39	1,9	137
1997-98	297	102	29	53	205	529	104	227	1387	0,31	1,7	136
1998-99	283	113	27	51	152	722	100	247	1419	0,35	1,7	141
1999-00	294	118	21	53	261	773	139	302	1400	0,43	2,0	178
2000-01	310	111	37	59	109	769	88	231	1431	0,35	1,7	125
2001-02	284	115	17	52	250	841	142	292	1387	0,53	2,0	183
2002-03	305	111	27	59	177	543	107	224	1429	0,35	1,9	135
2003-04	298	115	18	56	494	733	145	263	1442	0,45	1,6	162

(a) Fases críticas: entre o o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 2C – Determinações biometeorológicas para cultivar BR201 para a mesorregião do Jequitinhonha (MR04). Simulações do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros SINTÉTICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	281	111	33	80	156	260	53	115	1436	0,31	0,6	31
1992-93	290	118	26	74	121	461	99	239	1409	0,37	1,9	147
1993-94	305	111	32	68	136	412	99	224	1449	0,26	1,8	150
1994-95	287	111	34	69	152	595	82	221	1413	0,31	1,8	133
1995-96	287	108	20	55	376	819	123	262	1412	0,33	1,8	163
1996-97	295	104	21	43	285	610	139	281	1410	0,41	1,9	181
1997-98	286	112	29	67	227	584	137	297	1431	0,36	2,4	209
1998-99	286	112	29	67	227	584	137	297	1431	0,36	2,4	209
1999-00	286	115	35	73	160	517	121	281	1449	0,38	2,4	199
2000-01	294	109	23	56	399	726	165	306	1405	0,45	2,0	200
2001-02	284	114	23	58	343	717	167	303	1392	0,45	2,1	206
2002-03	284	114	23	58	343	717	167	302	1392	0,45	2,1	205
2003-04	284	111	25	60	195	570	131	267	1392	0,41	2,1	183
2004-05	276	120	22	58	265	658	159	303	1404	0,39	2,0	193
2005-06	278	113	30	73	156	484	120	244	1418	0,39	1,7	159
2006-07	278	113	30	73	156	484	120	244	1418	0,39	1,7	159
2007-08	278	107	34	77	66	394	65	189	1401	0,30	1,7	124
2008-09	283	110	26	68	298	610	136	269	1434	0,30	2,2	188
2009-10	282	110	28	66	277	658	141	290	1437	0,47	2,2	201
2010-11	282	110	28	66	277	658	141	290	1437	0,47	2,2	200
2011-12	282	108	32	70	161	542	103	252	1420	0,42	2,2	171
2012-13	292	112	31	59	81	564	85	250	1456	0,35	1,9	145
2013-14	284	107	32	65	119	451	86	222	1421	0,38	1,7	132
2014-15	284	107	32	65	119	451	85	221	1421	0,38	1,7	130
2015-16	284	106	26	59	178	510	104	240	1411	0,39	1,7	148
2016-17	279	112	30	70	235	566	110	231	1454	0,38	1,9	146
2017-18	282	119	31	67	197	740	120	272	1440	0,39	1,8	171
2018-19	282	119	31	67	197	740	119	272	1440	0,39	1,8	171
2019-20	282	116	24	60	371	914	134	286	1461	0,42	1,8	178

(a) Fases críticas: entre o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 3C – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na mesorregião do Jequitinhonha (MR04). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros DINÂMICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	305	112	18	55	334	690	63	145	1546	0,26	0,6	27
1992-93	324	100	21	51	176	463	51	129	1526	0,23	0,8	27
1993-94	299	107	13	53	308	497	119	213	1514	0,45	1,3	114
1994-95	291	115	29	72	137	437	84	170	1449	0,41	1	79
1995-96	278	101	26	74	162	303	36	77	1463	0,25	0,4	17
1996-97	277	105	16	52	265	478	63	127	1499	0,22	0,6	18
1997-98	278	111	14	53	425	638	132	248	1490	0,38	2,1	170
1998-99	329	116	20	49	225	569	124	259	1495	0,46	1,5	139
1999-00	288	108	20	67	291	434	103	173	1474	0,41	1,1	89
2000-01	293	97	23	74	300	335	45	78	1494	0,26	0,4	20
2001-02	299	94	19	54	236	387	46	95	1460	0,27	0,5	17
2002-03	310	101	21	58	205	463	49	117	1540	0,22	0,7	28
2003-04	277	94	27	68	132	216	32	60	1454	0,14	0,2	6
2004-05	327	109	20	45	264	720	90	215	1567	0,38	1,7	121
2005-06	274	88	19	70	132	169	26	47	1442	0,04	0,2	4
2006-07	280	98	19	58	294	448	56	110	1478	0,25	0,6	25
2007-08	283	103	17	56	339	554	112	212	1486	0,32	1,7	129
2008-09	278	102	16	55	304	410	58	107	1489	0,27	0,5	15
2009-10	341	102	27	62	151	477	44	119	1532	0,28	0,7	37
2010-11	303	96	16	53	188	460	53	97	1495	0,22	0,4	9
2011-12	286	106	11	52	340	516	80	133	1483	0,33	0,7	41
2012-13	309	102	25	57	250	521	79	196	1543	0,28	1,9	127
2013-14	278	108	16	50	249	715	70	144	1505	0,29	0,9	47
2014-15	294	91	22	60	137	262	46	95	1424	0,25	0,7	29
2015-16	288	101	28	60	96	268	24	90	1472	0,19	0,7	24
2016-17	275	101	20	50	350	643	58	141	1516	0,28	1	47
2017-18	278	112	13	34	462	968	55	136	1499	0,19	0,6	9
2018-19	288	106	20	53	198	390	55	108	1457	0,17	0,4	5
2019-20	294	102	23	59	238	436	43	93	1517	0,23	0,6	14

(a) Fases críticas: entre o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

APÊNDICE D

MESORREGIÃO DO VALE RIO DOCE – MR06

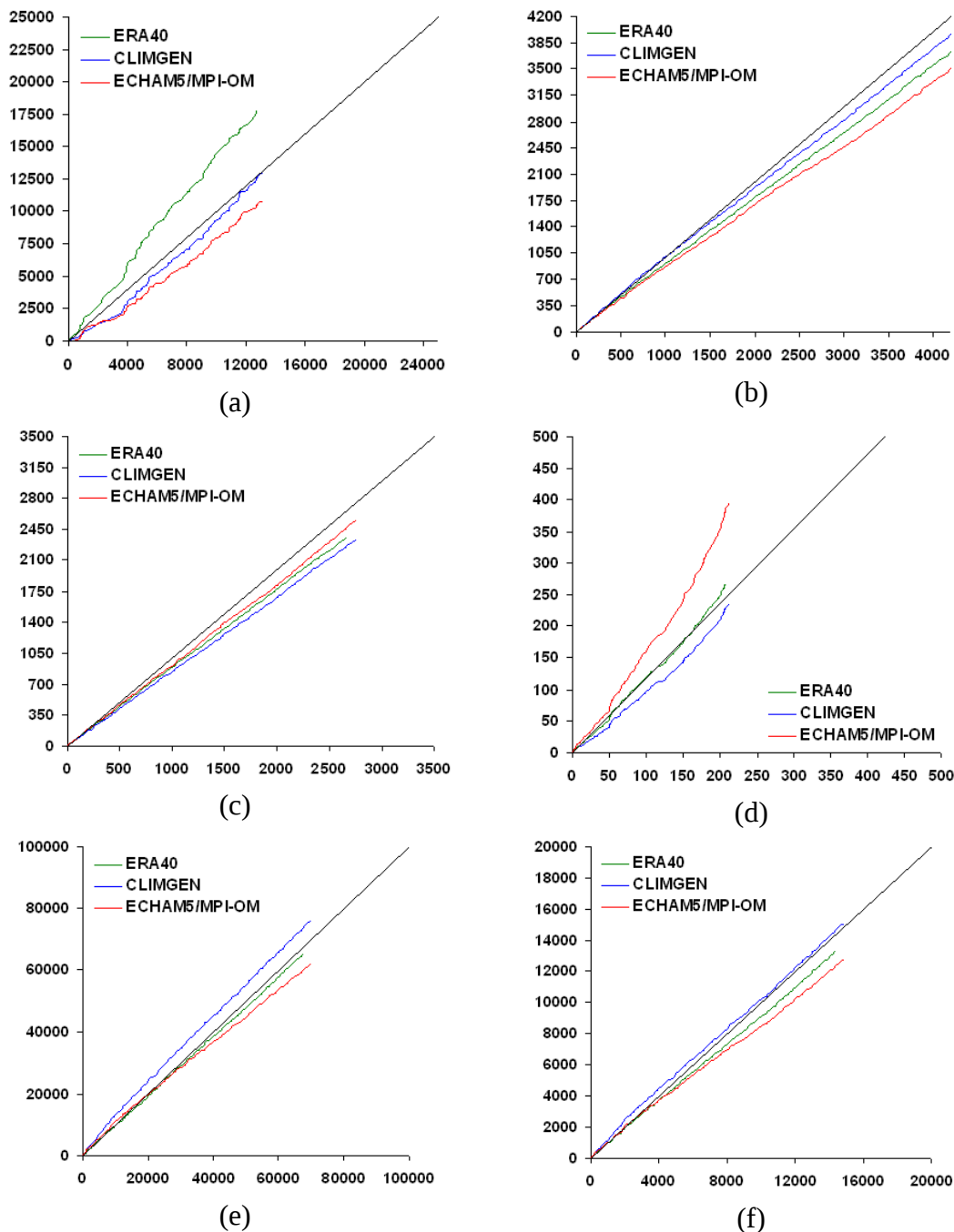
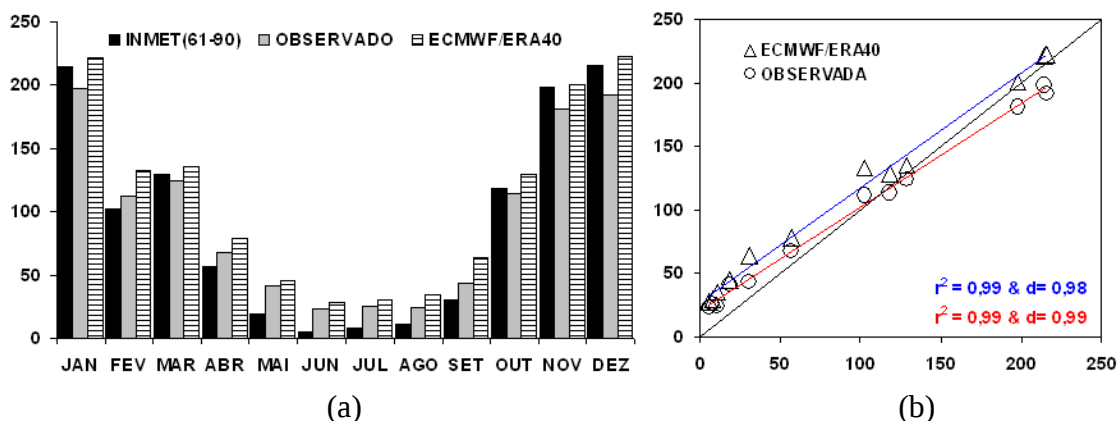
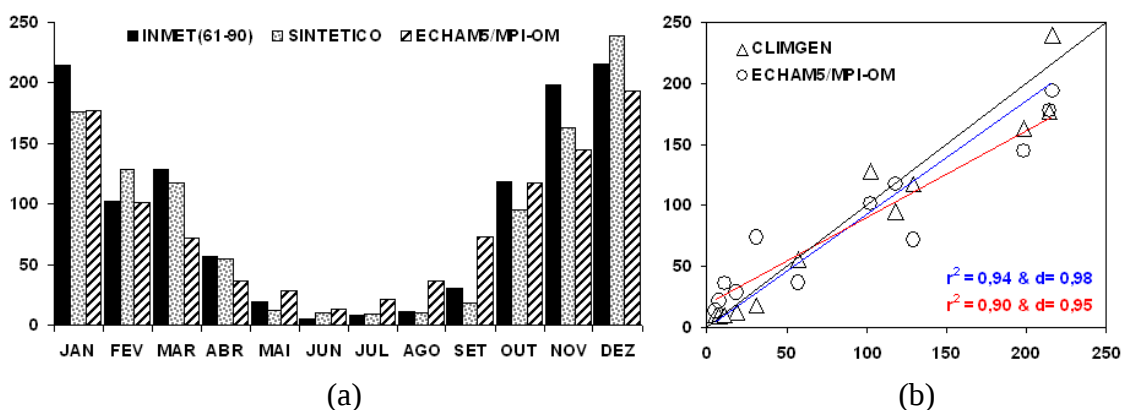


Figura 1D – Análise de inconsistências entre séries meteorológicas da mesorregião do Vale do Rio Doce (MR06) por meio de teste da dupla-massa: (a) precipitação total, em mm/mês; (b) temperatura máxima, em °C; (c) temperatura mínima, em °C; (d) velocidade do vento, m/s; (e) radiação global, MJ/m²mês; e (f) evapotranspiração de referência, mm/mês (no eixo “X” dados observados e a linha 1:1 em preto).



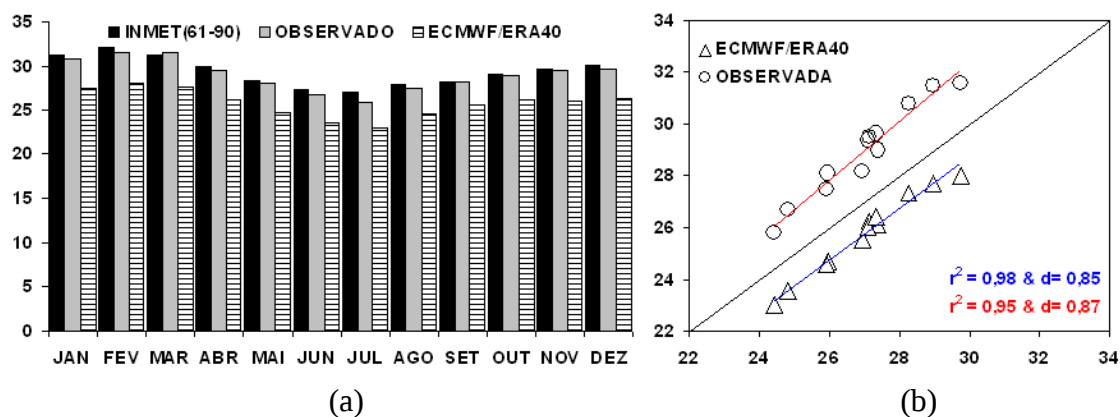
Fonte: Brasil (1992).

Figura 2D – Climatologia da precipitação acumulada mensal da mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em mm, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 3D – Climatologia da precipitação acumulada mensal da mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em mm, no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 4D – Climatologia da temperatura máxima da mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em °C, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

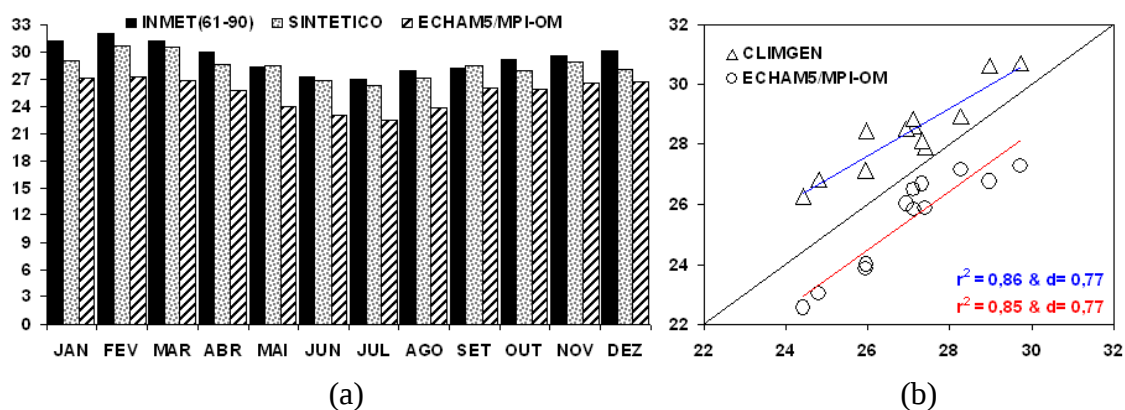
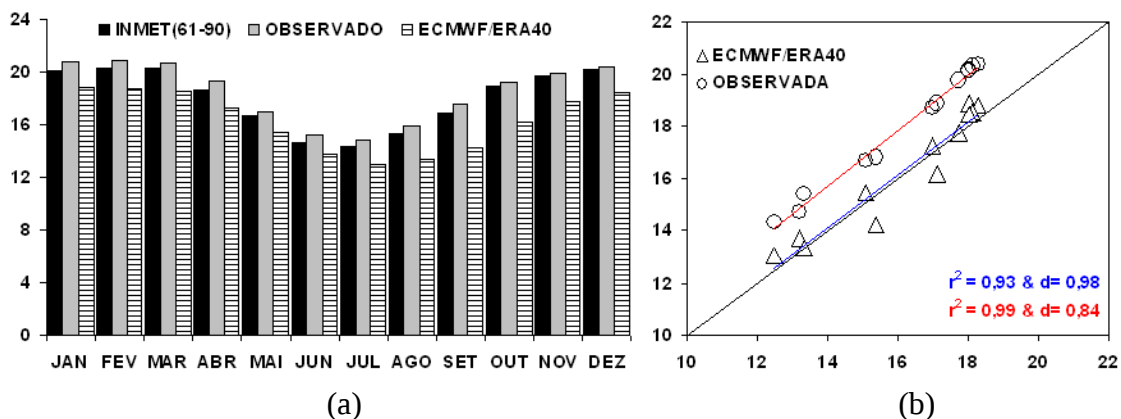


Figura 5D – Climatologia da temperatura máxima, em °C, da mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 6D – Climatologia da temperatura mínima, °C, da mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

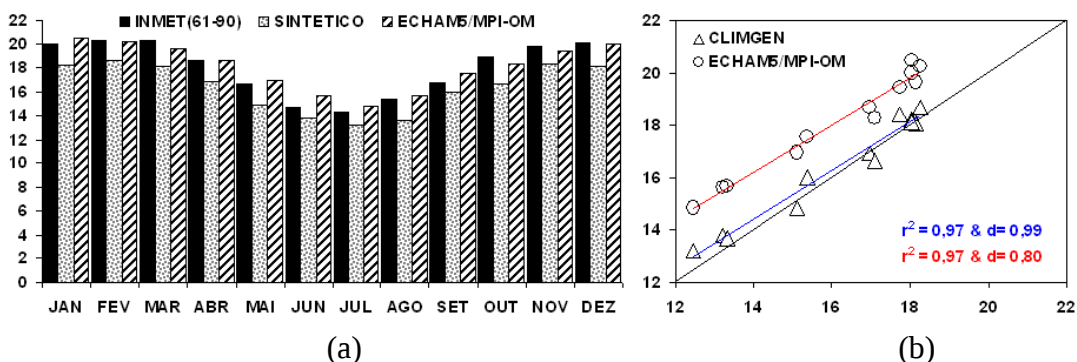
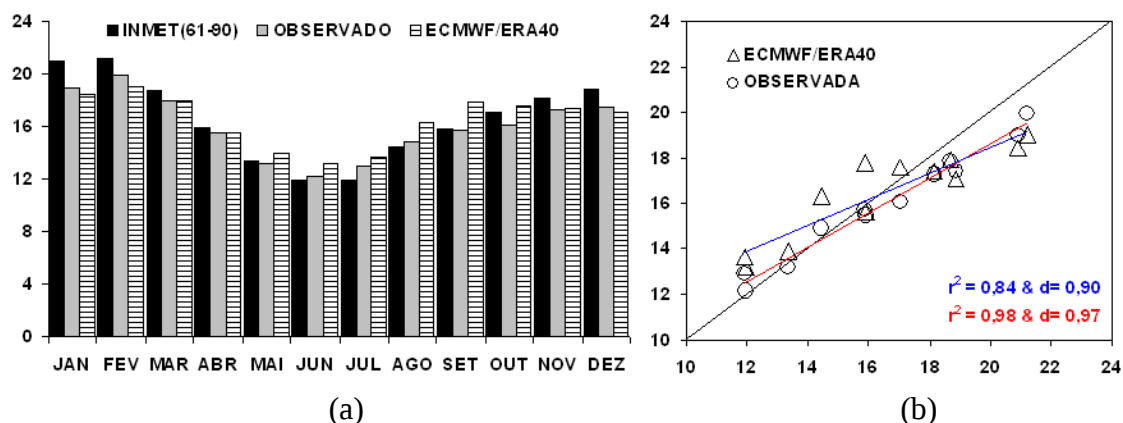


Figura 7D – Climatologia da temperatura mínima, em °C, da mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 8D – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

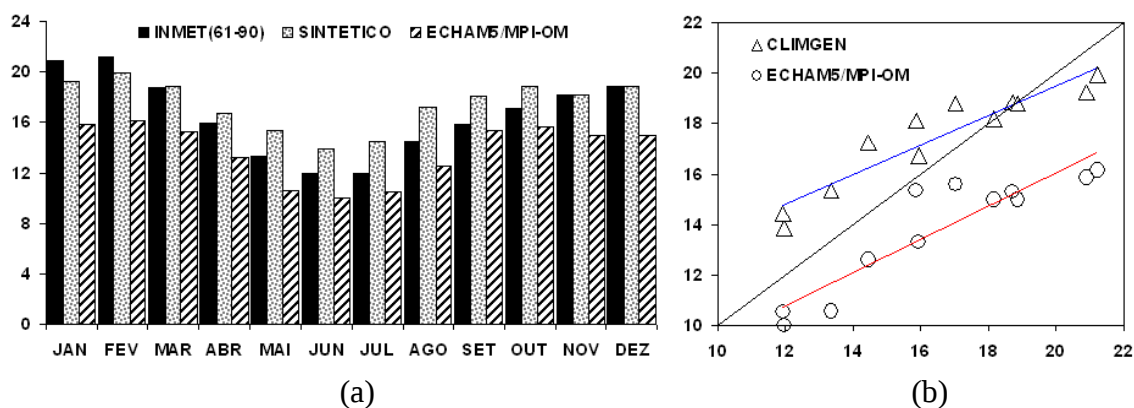
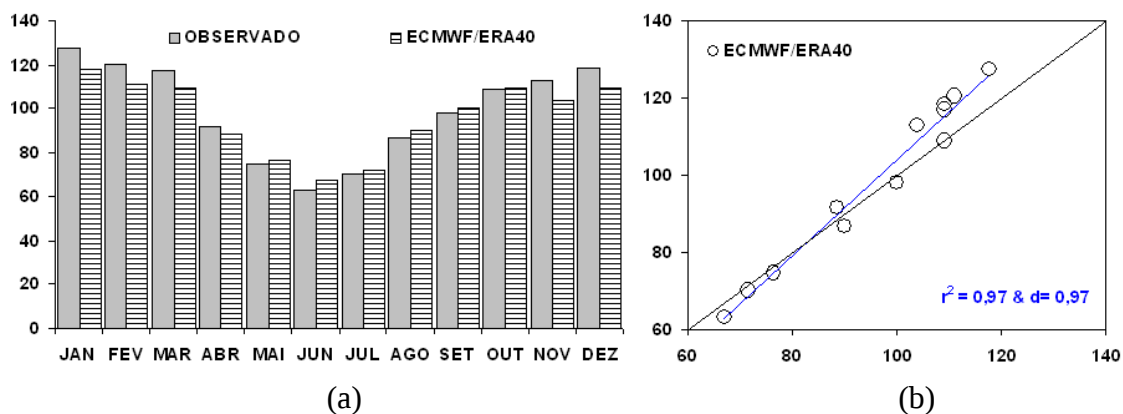


Figura 9D – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 10D – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da mesorregião Sul Vale do Rio Doce (MR06), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados em reanálise do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

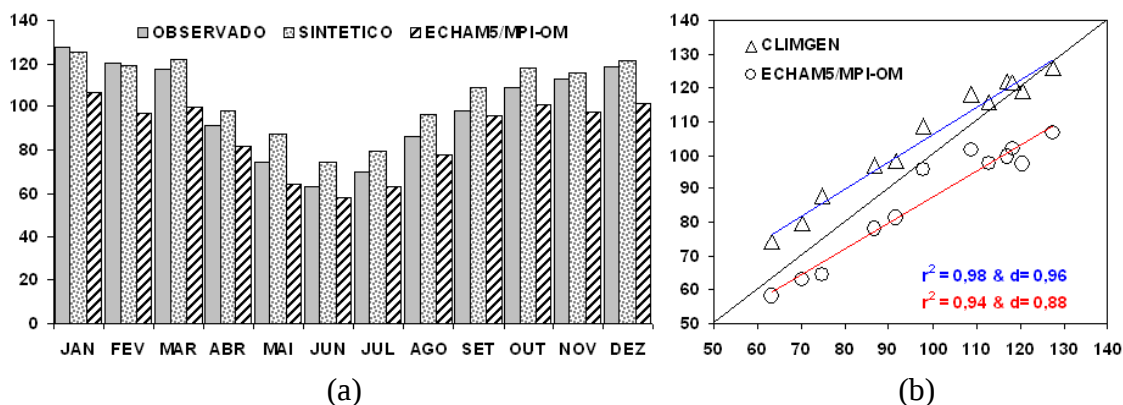


Figura 11D – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

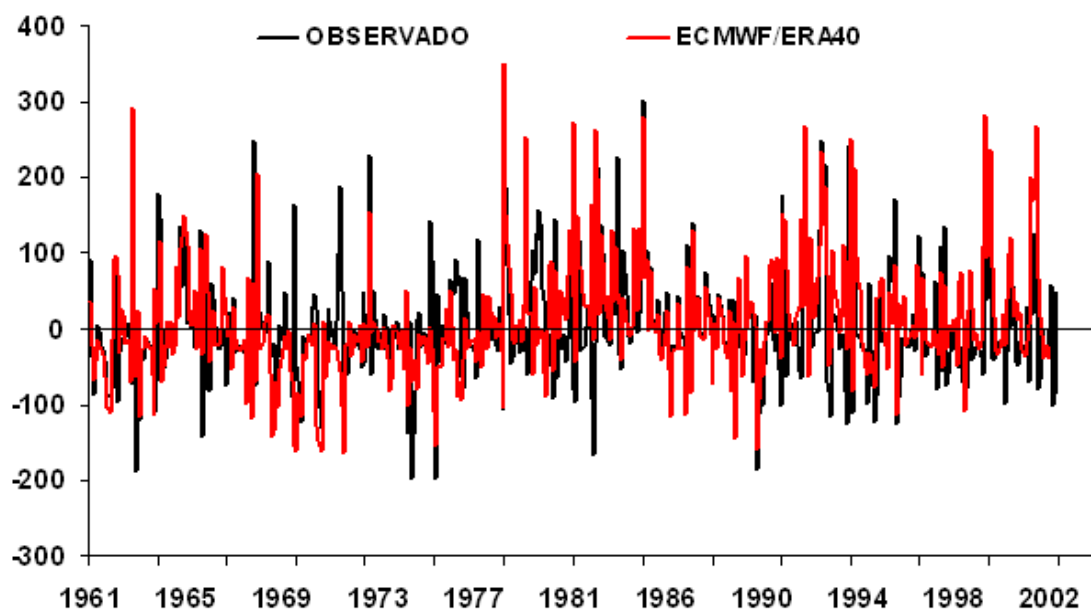


Figura 12D – Anomalias mensais de precipitação dos “registros observados e da reanálise do ECMWF/ERA40” para mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em mm/mês, no período 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e de 1961 a 2004 para os registros observados – PRESENTE.

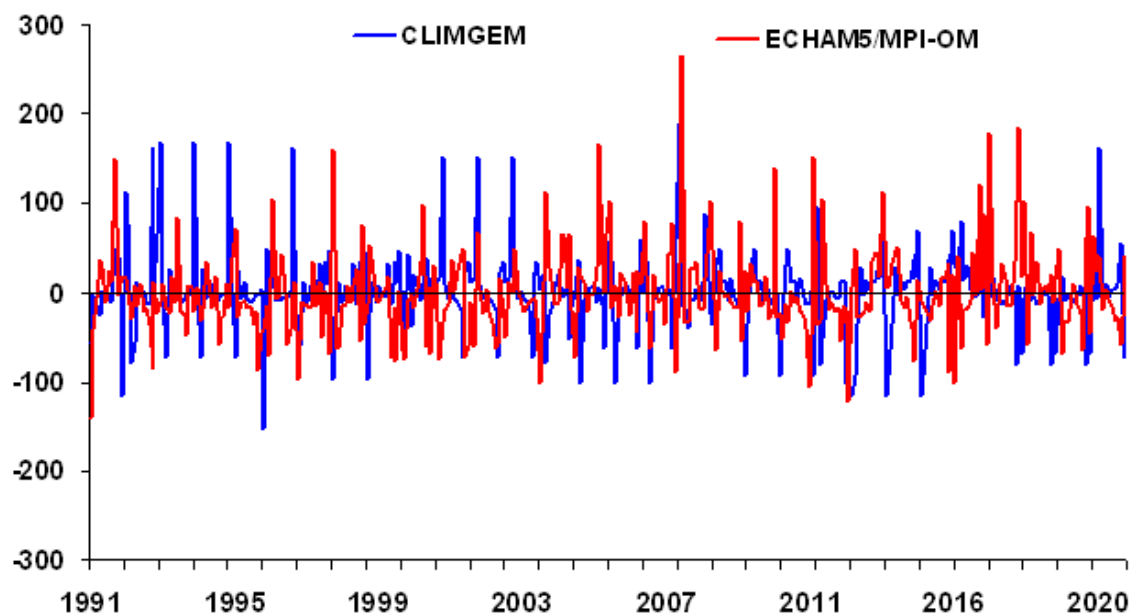


Figura 13D – Anomalias mensais de precipitação total dos “registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e o ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

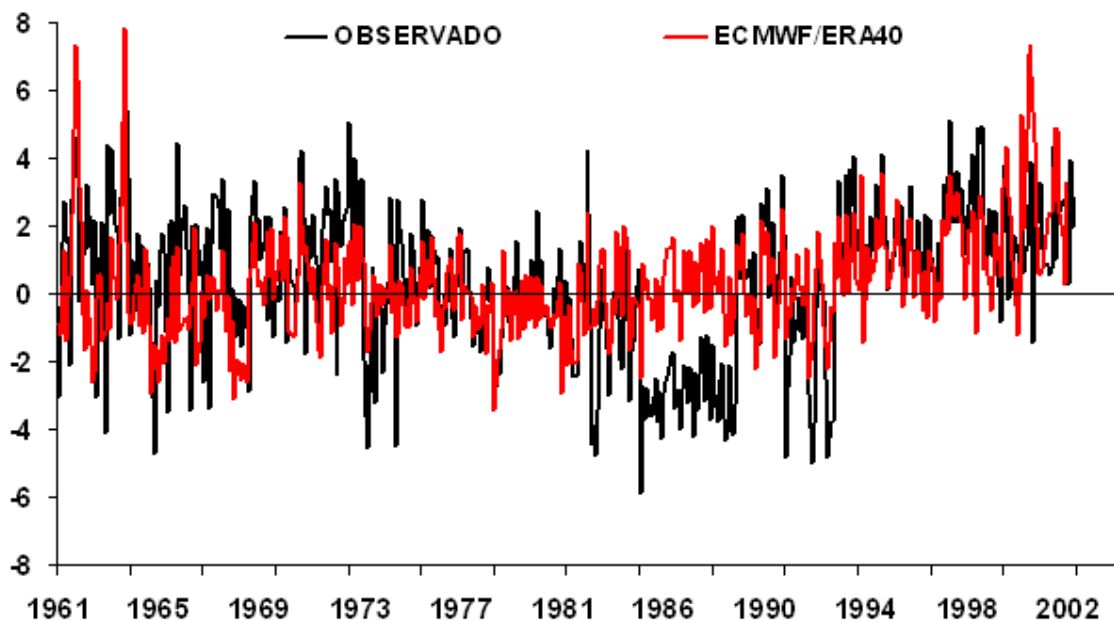


Figura 14D – Anomalias mensais de temperatura máxima dos “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em °C, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

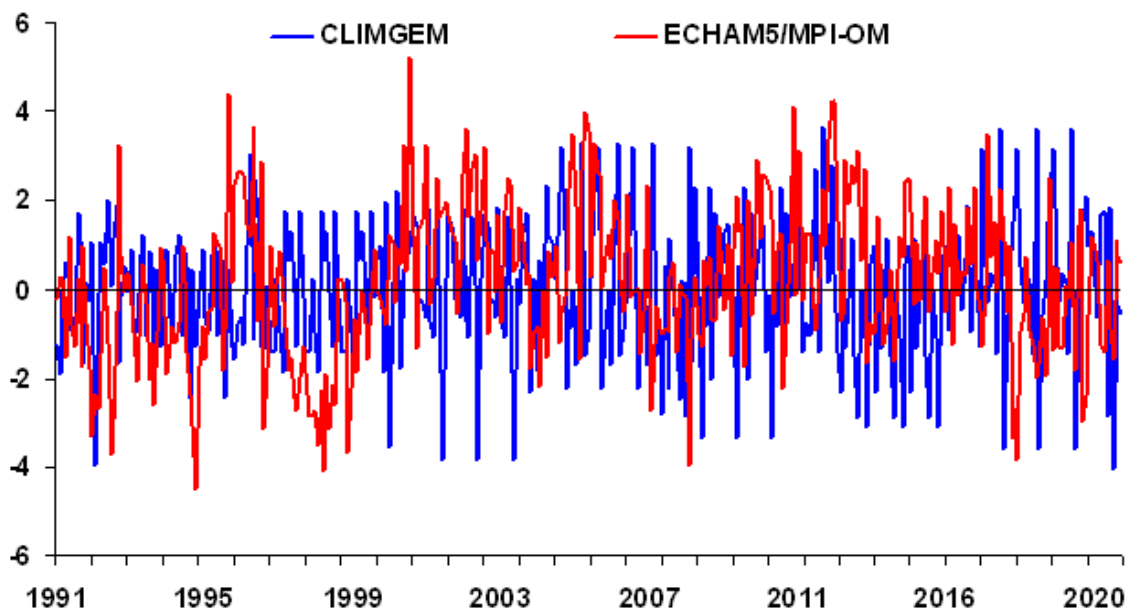


Figura 15D – Anomalias mensais de temperatura máxima a partir de “registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

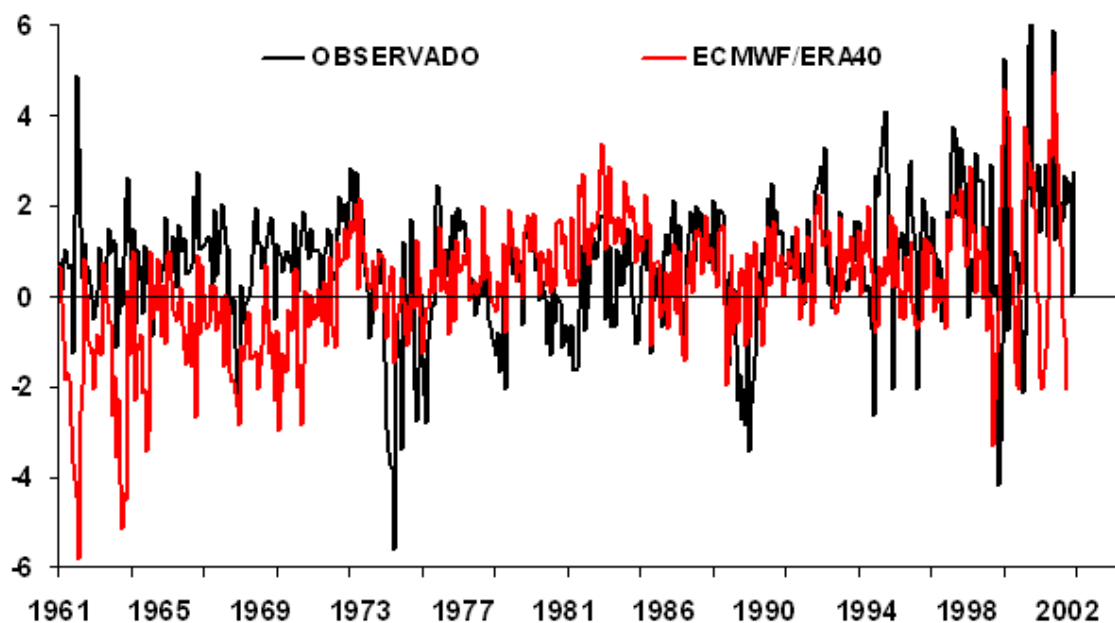


Figura 16D – Anomalias mensais de temperatura mínima de “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em °C, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

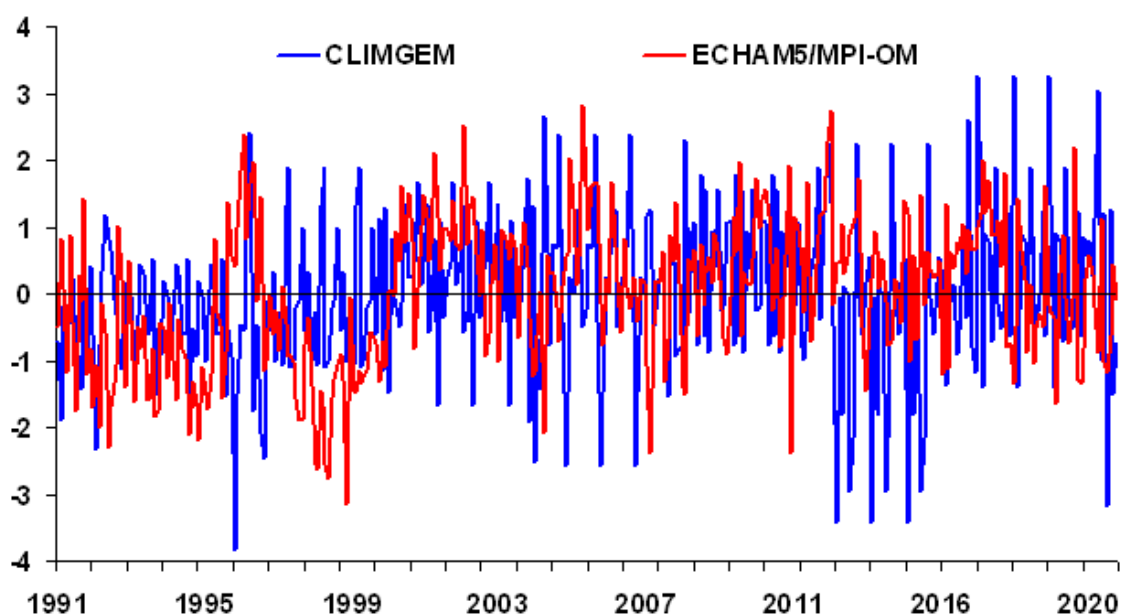


Figura 17D – Anomalias mensais de temperatura mínima dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

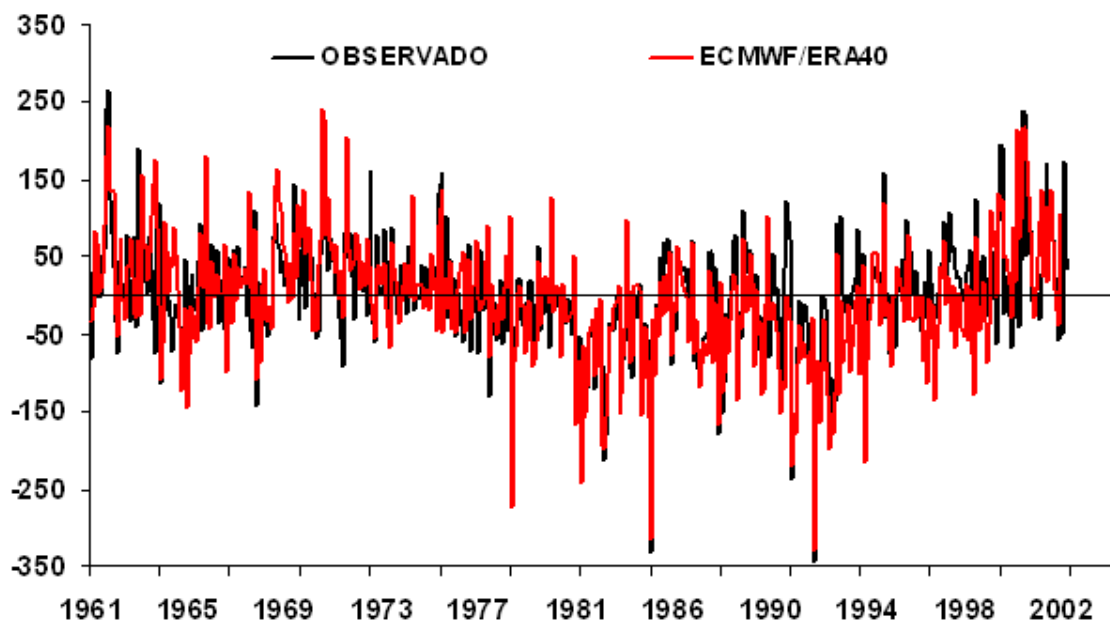


Figura 18D – Anomalias mensais de radiação global incidente dos registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40 para a mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em MJ/m²mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

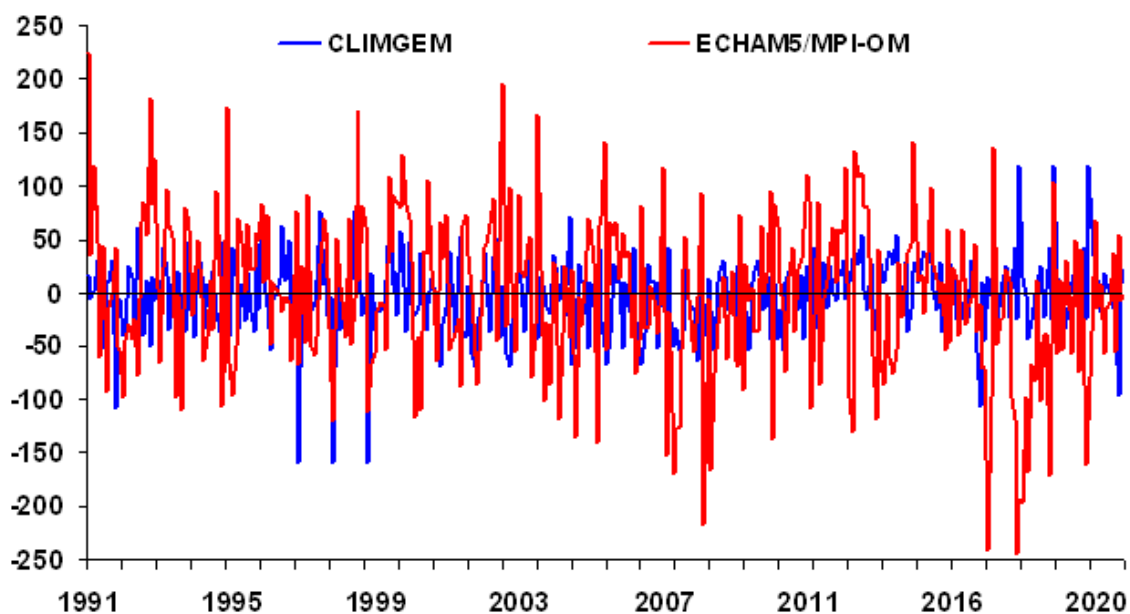


Figura 19D – Anomalias mensais de radiação global total dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em MJ/m²mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

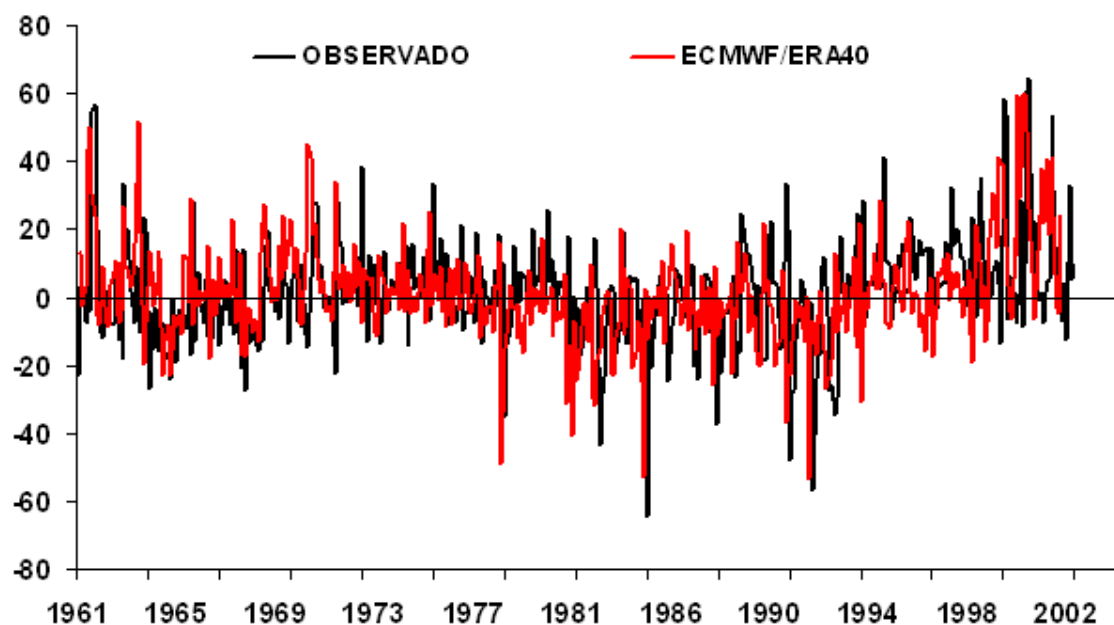


Figura 20D – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência dos registros observado e reanálise do ECMWF/ERA40 para mesorregião Sul Vale do Rio Doce (MR06), em mm/mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

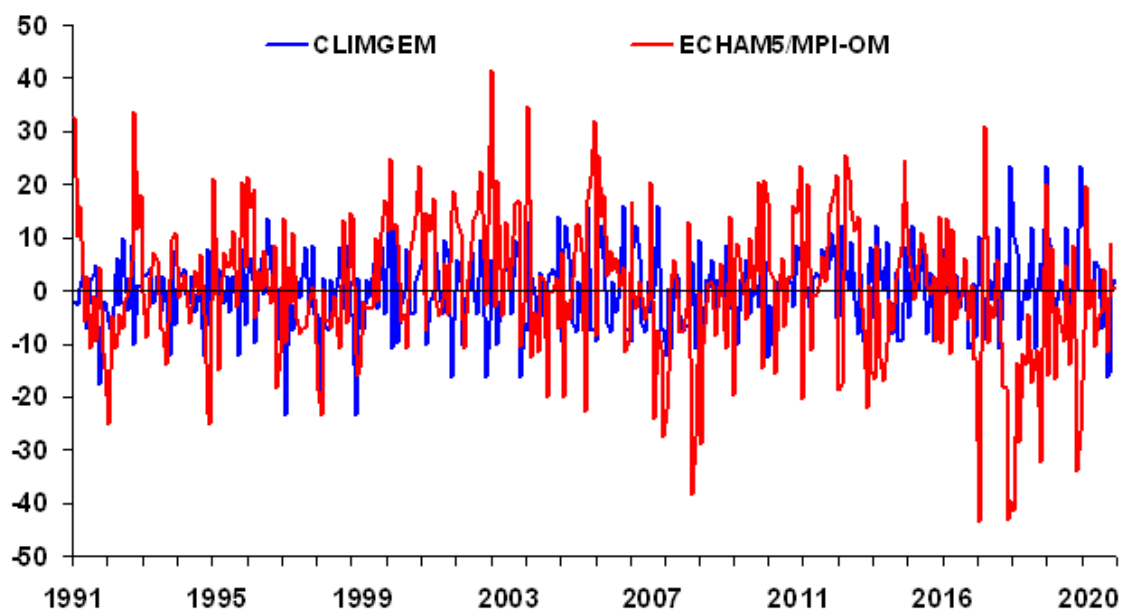


Figura 21D – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência estimada com registros meteorológicos simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para mesorregião Vale do Rio Doce (MR06), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

Quadro 1D – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na Mesorregião Vale do Rio Doce (MR06). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros OBSERVADOS, CO₂ atmosférico em níveis atuais (NOAA, 2008), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1972-73	286	90	24	63	161	422	135	251	1402	0,37	1,9	179
1973-74	288	107	12	35	260	532	167	347	1461	0,51	1,9	184
1974-75	284	99	22	59	30	242	40	156	1253	0,24	1,2	66
1975-76	285	101	36	76	2	482	68	207	1404	0,37	1,9	126
1976-77	275	101	24	54	236	678	135	275	1456	0,44	1,5	151
1977-78	280	100	22	61	397	697	154	271	1473	0,46	1,9	190
1978-79	290	105	24	56	616	917	131	261	1444	0,53	1,9	169
1979-80	283	99	19	59	234	513	143	281	1467	0,42	1,8	164
1980-81	280	98	10	28	282	533	153	340	1440	0,41	1,2	131
1981-82	276	105	30	65	296	709	121	250	1417	0,43	1,2	113
1982-83	358	107	8	19	373	950	141	285	1506	0,45	1,0	89
1983-84	285	102	22	43	219	824	162	318	1451	0,54	1,3	149
1984-85	275	107	14	44	655	1004	128	290	1444	0,53	1,7	154
1985-86	298	108	18	42	211	660	139	263	1456	0,51	1,4	140
1986-87	286	108	17	56	294	579	139	272	1474	0,38	2,2	182
1987-88	294	101	21	40	184	617	106	223	1435	0,49	1,0	96
1988-89	287	110	31	55	223	633	124	282	1434	0,51	1,5	152
1989-90	284	99	29	69	202	410	98	209	1412	0,40	1,4	116
1990-91	296	99	13	54	416	646	111	241	1463	0,37	2,0	160
1991-92	299	102	12	42	532	953	94	240	1504	0,43	1,7	124
1992-93	278	107	19	33	395	1078	119	259	1411	0,50	1,0	98
1993-94	325	90	32	65	33	611	87	199	1409	0,46	1,2	113
1994-95	324	84	25	56	97	275	94	195	1374	0,26	1,4	99
1995-96	281	93	23	54	432	807	131	260	1409	0,46	1,5	141
1996-97	303	92	19	44	278	777	127	276	1418	0,48	1,6	154
1997-98	331	85	28	53	248	679	102	226	1416	0,39	1,6	128
1998-99	317	85	29	61	52	319	79	209	1401	0,29	1,9	125
1999-00	297	99	27	60	251	782	113	254	1389	0,40	1,4	127
2000-01	313	96	22	53	91	490	136	290	1438	0,39	1,5	124
2001-02	294	93	15	52	327	647	123	226	1477	0,42	1,5	125
2002-03	323	90	27	57	204	490	132	238	924	0,45	1,8	152
2003-04	298	92	16	58	300	672	129	241	465	0,40	1,5	134

(a) Fases críticas do desenvolvimento do milho: início da floração e final do enchimento grãos, em dias; (b) ciclo total, em dias; Plantio: data de plantio mesorregional devido início das chuvas (COSTA, 1994), em dias Juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura do milho, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo do ciclo; e EPCM: Água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 2D – Determinações biometeorológicas para cultivar BR201 para a Mesorregião Vale do Rio Doce (MR06). Simulações do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros SINTÉTICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	299	119	34	71	425	774	203	386	1500	0,50	2,1	247
1992-93	281	112	23	51	485	988	188	368	1418	0,56	1,6	206
1993-94	280	114	19	55	536	801	185	377	1407	0,43	2,0	219
1994-95	280	114	19	55	536	801	185	377	1407	0,43	2,0	219
1995-96	280	120	32	68	244	509	162	353	1407	0,42	2,0	200
1996-97	280	120	29	59	129	785	151	357	1430	0,55	1,2	158
1997-98	279	110	28	60	300	628	177	354	1401	0,50	1,4	164
1998-99	279	110	28	60	300	628	177	354	1401	0,50	1,4	164
1999-00	279	109	28	60	316	644	174	351	1396	0,50	1,4	170
2000-01	311	105	28	55	137	603	130	335	1465	0,40	1,7	186
2001-02	317	108	28	51	184	726	119	310	1465	0,43	1,5	140
2002-03	317	108	28	51	184	726	119	310	1465	0,43	1,5	139
2003-04	317	110	26	56	292	720	165	346	1473	0,39	1,6	175
2004-05	300	109	24	63	289	628	176	362	1453	0,41	2,4	247
2005-06	300	112	23	54	271	696	163	346	1472	0,41	1,6	183
2006-07	300	112	23	54	271	696	163	345	1472	0,41	1,6	182
2007-08	300	116	18	50	411	870	178	353	1489	0,51	1,6	182
2008-09	287	108	20	51	309	693	174	335	1439	0,50	1,4	159
2009-10	299	110	17	56	234	547	185	324	1459	0,55	1,9	200
2010-11	299	110	17	56	234	547	184	324	1459	0,55	1,9	200
2011-12	299	111	31	70	296	609	184	324	1460	0,51	1,9	213
2012-13	290	116	32	81	136	350	168	305	1458	0,44	2,1	211
2013-14	275	119	29	67	226	626	193	359	1435	0,59	1,9	217
2014-15	275	119	29	67	226	626	192	359	1435	0,59	1,9	216
2015-16	275	112	24	62	351	751	183	349	1430	0,55	1,9	202
2016-17	295	108	19	50	239	728	162	336	1453	0,55	1,6	182
2017-18	307	103	22	62	251	531	171	357	1496	0,39	2,5	233
2018-19	307	103	22	62	251	531	171	356	1496	0,39	2,5	233
2019-20	307	106	33	76	191	535	168	351	1492	0,46	2,5	234

(a) Fases críticas do desenvolvimento do milho: início da floração e final do enchimento grãos, em dias; (b) ciclo total, em dias; Plantio: data de plantio mesorregional devido início das chuvas (COSTA, 1994), em dias Juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura do milho, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo do ciclo; e EPCM: Água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 3D – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na mesorregião Vale do Rio Doce (MR06). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros DINÂMICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	302	128	29	57	246	650	147	299	1517	0,50	1,4	145
1992-93	299	110	27	67	205	531	152	283	1490	0,50	1,6	173
1993-94	275	115	18	63	270	545	164	306	1413	0,50	1,6	173
1994-95	290	127	30	67	153	628	127	278	1421	0,57	1,0	111
1995-96	302	104	27	63	201	406	144	300	1514	0,41	2,1	193
1996-97	300	118	32	62	126	514	105	260	1502	0,43	1,2	111
1997-98	278	123	20	62	366	632	141	292	1391	0,50	1,5	149
1998-99	303	119	21	56	271	690	158	340	1508	0,51	1,7	177
1999-00	286	114	24	70	180	390	170	320	1446	0,47	2,2	222
2000-01	281	100	19	55	203	407	149	298	1464	0,47	1,8	180
2001-02	285	104	28	57	233	470	135	292	1443	0,41	1,6	171
2002-03	305	107	29	64	202	515	153	318	1510	0,53	1,9	199
2003-04	277	108	28	60	211	432	153	295	1481	0,42	1,7	174
2004-05	275	113	20	51	201	574	145	296	1452	0,46	1,8	168
2005-06	274	100	11	39	408	720	162	314	1457	0,56	2,2	196
2006-07	274	108	21	57	285	571	133	255	1431	0,54	1,1	115
2007-08	301	115	18	40	519	902	66	196	1502	0,26	0,7	19
2008-09	278	117	11	46	424	775	86	187	1454	0,29	0,4	10
2009-10	279	113	24	56	259	532	134	287	1418	0,39	1,9	167
2010-11	296	100	22	39	140	442	137	294	1446	0,48	1,6	152
2011-12	275	109	18	67	248	533	144	249	1432	0,41	2,0	173
2012-13	280	103	30	58	209	397	136	285	1501	0,40	2,2	179
2013-14	277	116	16	49	364	790	126	264	1428	0,58	1,3	114
2014-15	293	101	19	56	245	483	151	274	1410	0,52	1,7	159
2015-16	283	112	32	66	185	460	147	279	1448	0,47	1,9	175
2016-17	302	112	6	35	404	797	97	224	1506	0,32	1,3	91
2017-18	274	124	22	48	425	1025	70	171	1473	0,29	0,6	16
2018-19	288	111	18	41	288	658	119	287	1446	0,53	1,5	134
2019-20	295	117	26	49	224	694	112	233	1424	0,56	0,9	90

(a) Fases críticas do desenvolvimento do milho: início da floração e final do enchimento grãos, em dias; (b) ciclo total, em dias; Plantio: data de plantio mesorregional devido início das chuvas (COSTA, 1994), em dias Juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura do milho, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo do ciclo; e EPCM: Água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

APÊNDICE E **MESORREGIÃO CENTRAL MINEIRA – MR09**

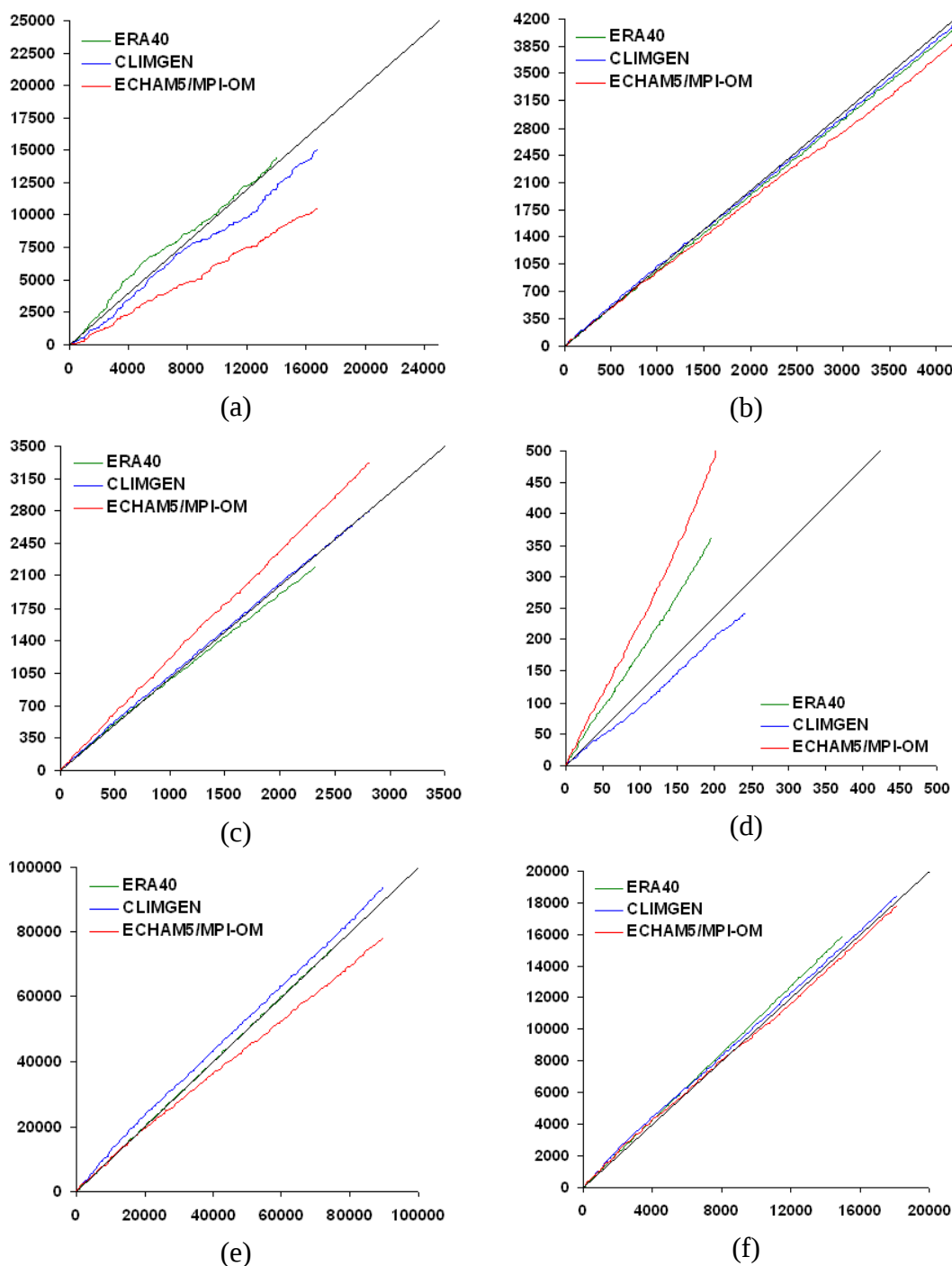
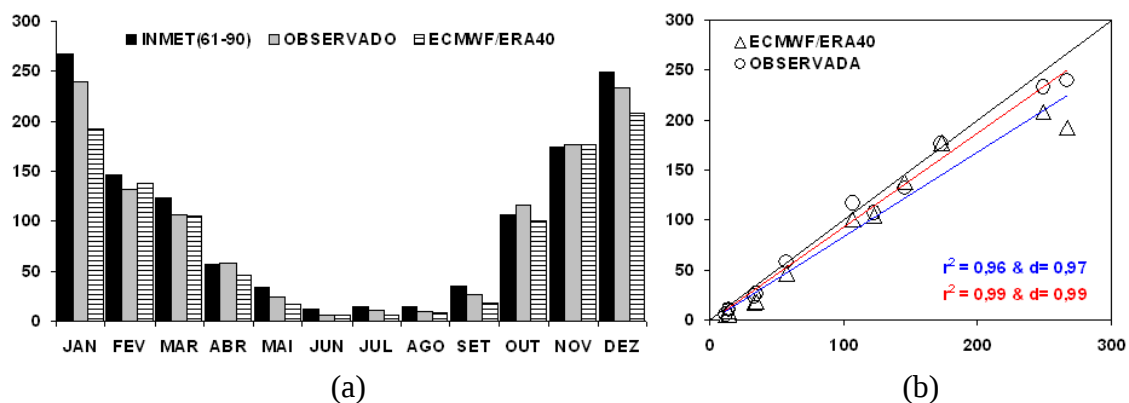
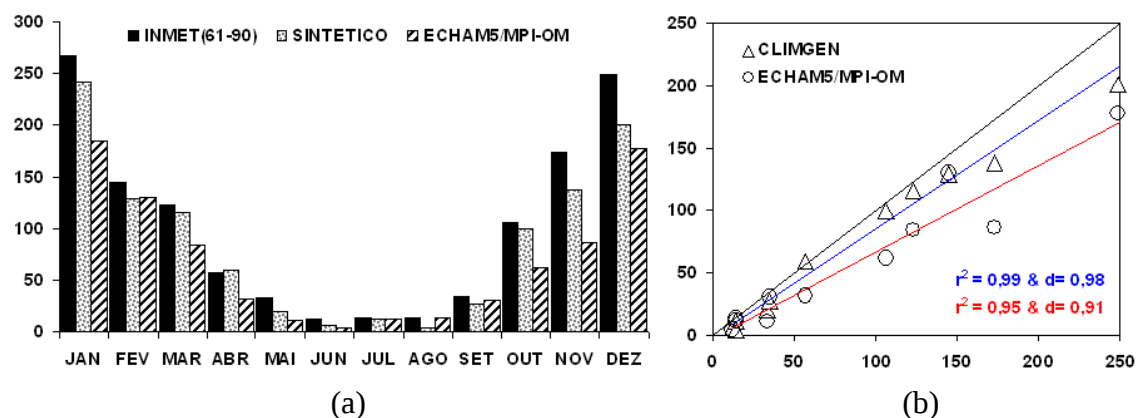


Figura 1E – Análise de inconsistências entre séries meteorológicas da mesorregião Central Mineira (MR09) por meio de teste da dupla-massa: (a) precipitação total, em mm/mês; (b) temperatura máxima, em °C; (c) temperatura mínima, em °C; (d) velocidade do vento, m/s; (e) radiação global, MJ/m²mês; e (f) evapotranspiração de referência, mm/mês (No eixo “X” dados observados e a linha 1:1 em preto).



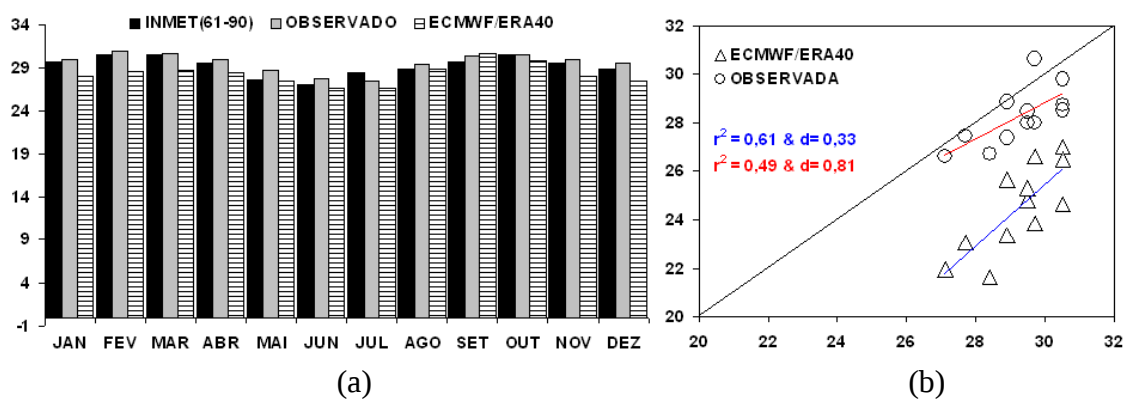
Fonte: Brasil (1992).

Figura 2E – Climatologia da precipitação acumulada mensal da mesorregião Central Mineira (MR09), em mm. Período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 3E – Climatologia da precipitação acumulada mensal da mesorregião Central Mineira (MR09), em mm, no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 4E – Climatologia da temperatura máxima da mesorregião Central Mineira (MR09), em °C, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

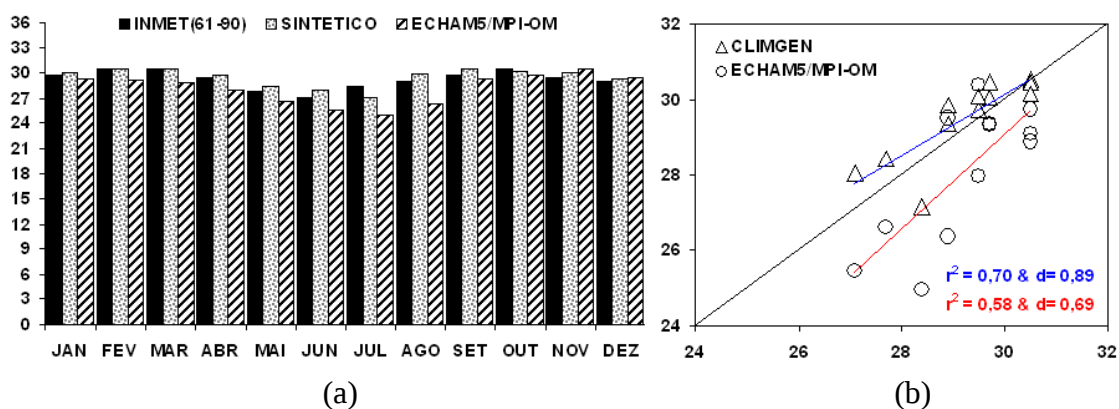
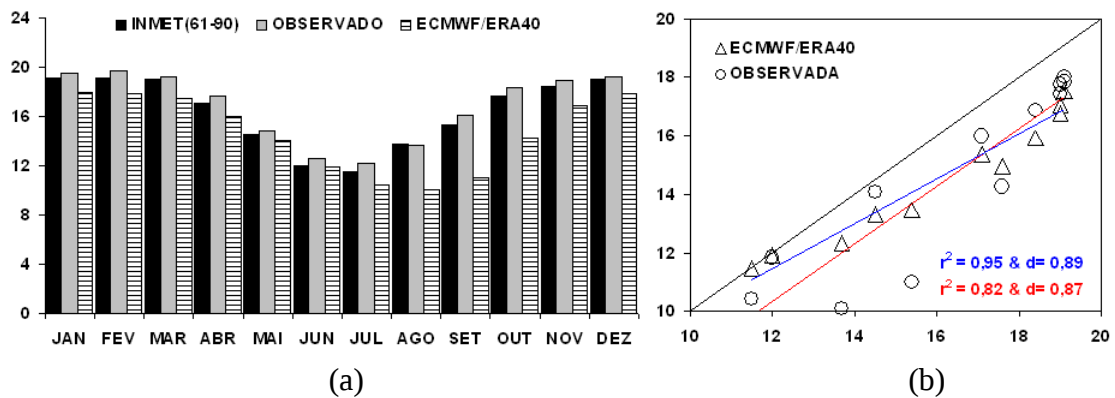


Figura 5E – Climatologia da temperatura máxima, em °C, da mesorregião Central Mineira (MR09), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 6E – Climatologia da temperatura mínima, °C, da mesorregião Central Mineira (MR09), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

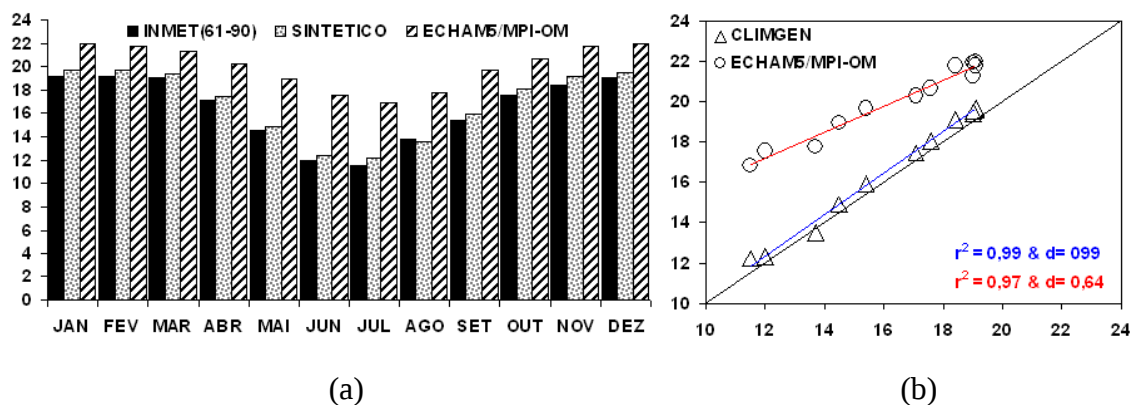
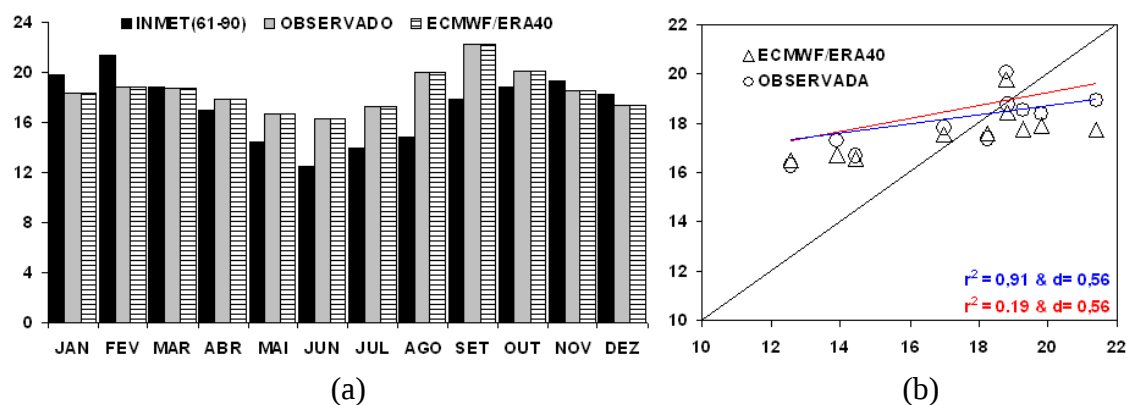


Figura 7E – Climatologia da temperatura mínima, em °C, da mesorregião Central Mineira (MR09), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 8E – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da mesorregião Central Mineira (MR09), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

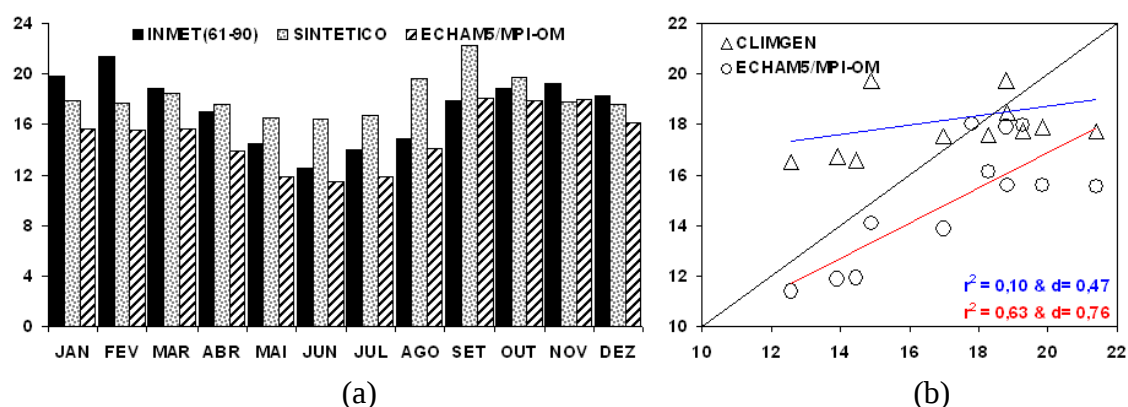
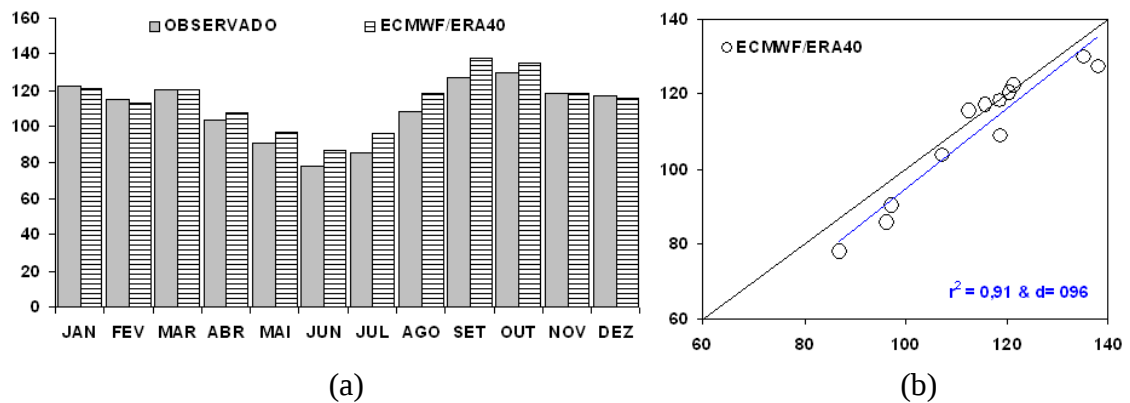


Figura 9E – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da mesorregião Central Mineira (MR09), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 10E – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da mesorregião Central Mineira (MR09), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados em reanálise do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

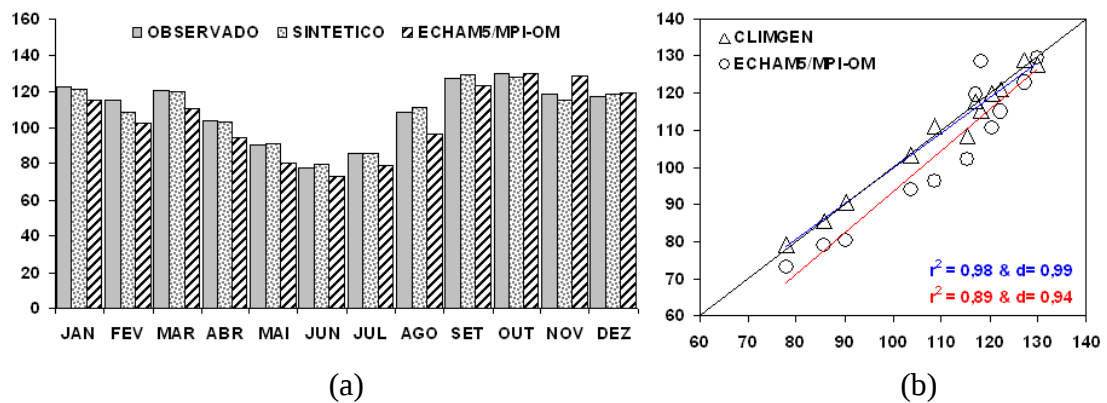


Figura 11E – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da Mesorregião Sul Central Mineira (MR09), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

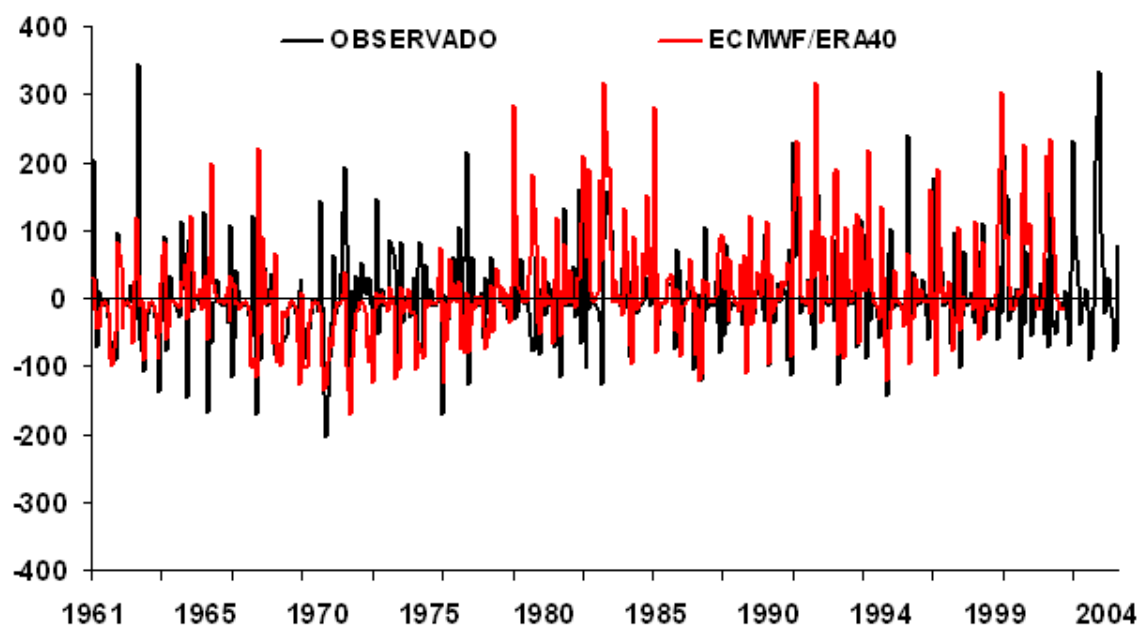


Figura 12E – Anomalias mensais de precipitação dos “registros observados e da reanálise do ECMWF/ERA40” para Mesorregião Central Mineira (MR09), em mm/mês, no período de 1961 a 2002, para ECMWF/ERA40 e de 1961 a 2004 para os registros observados - PRESENTE.

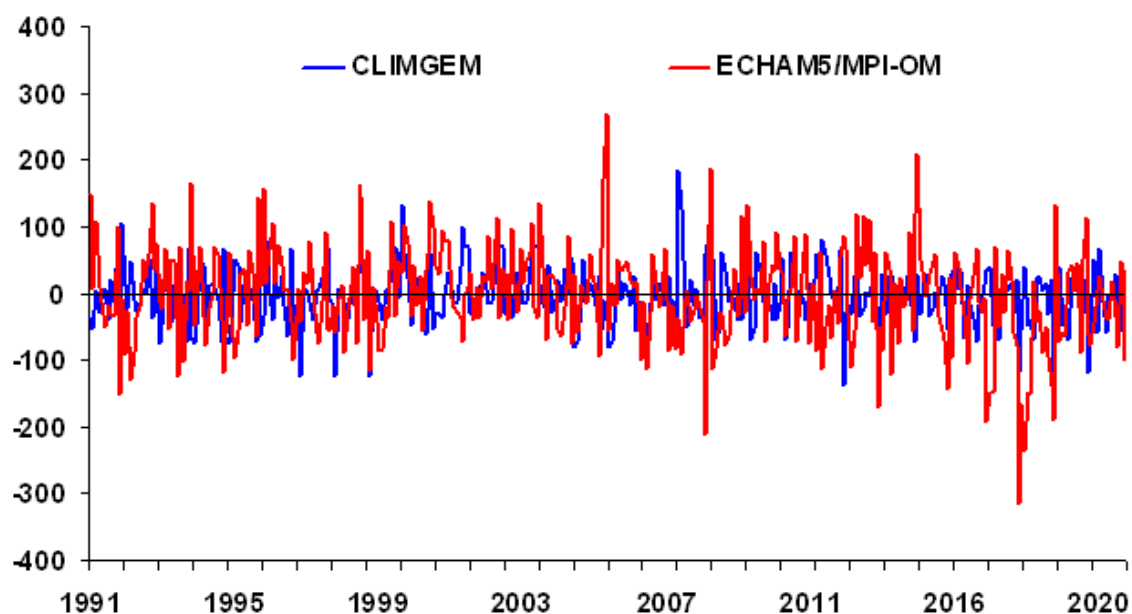


Figura 13E – Anomalias mensais de precipitação total dos “registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e o ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para Mesorregião Central Mineira (MR09), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

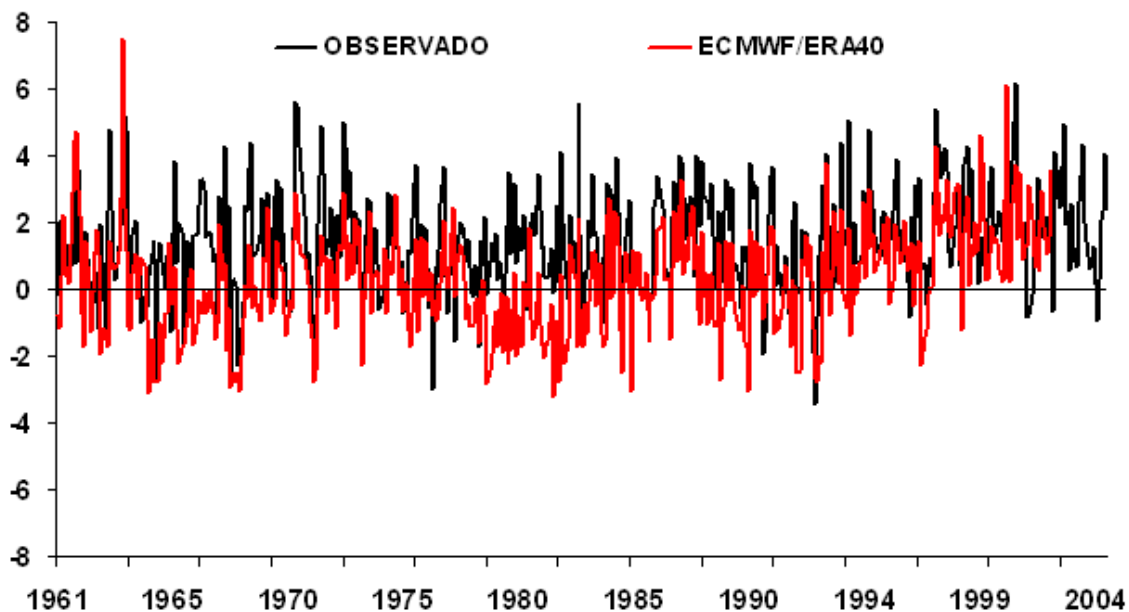


Figura 14E – Anomalias mensais de temperatura máxima dos “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a Mesorregião Central Mineira (MR09), em °C, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

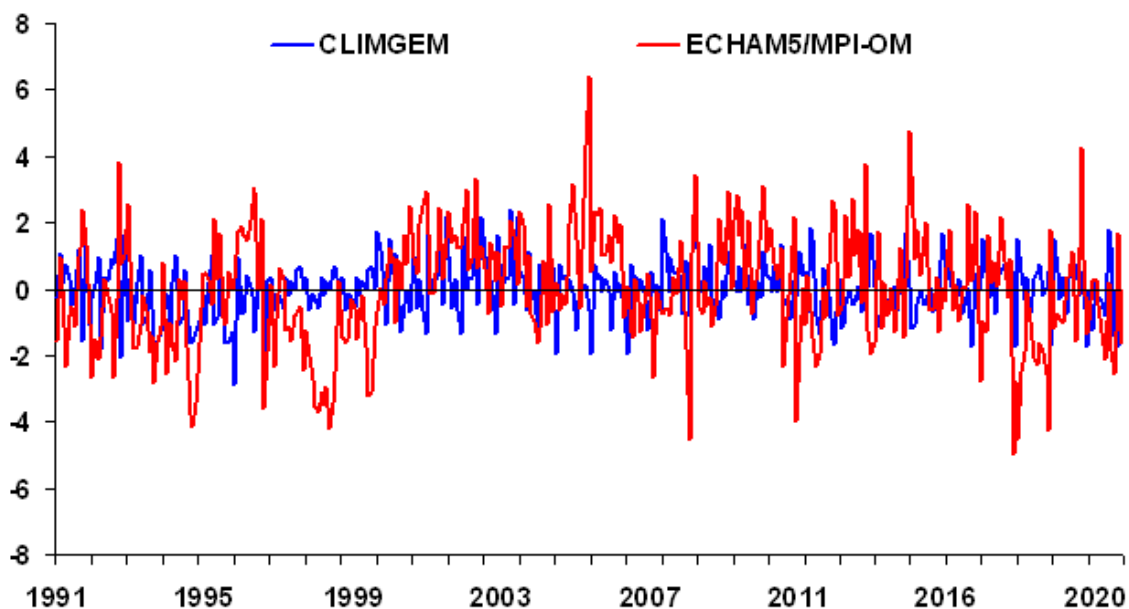


Figura 15E – Anomalias mensais de temperatura máxima a partir de “registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para Mesorregião Central Mineira (MR09), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

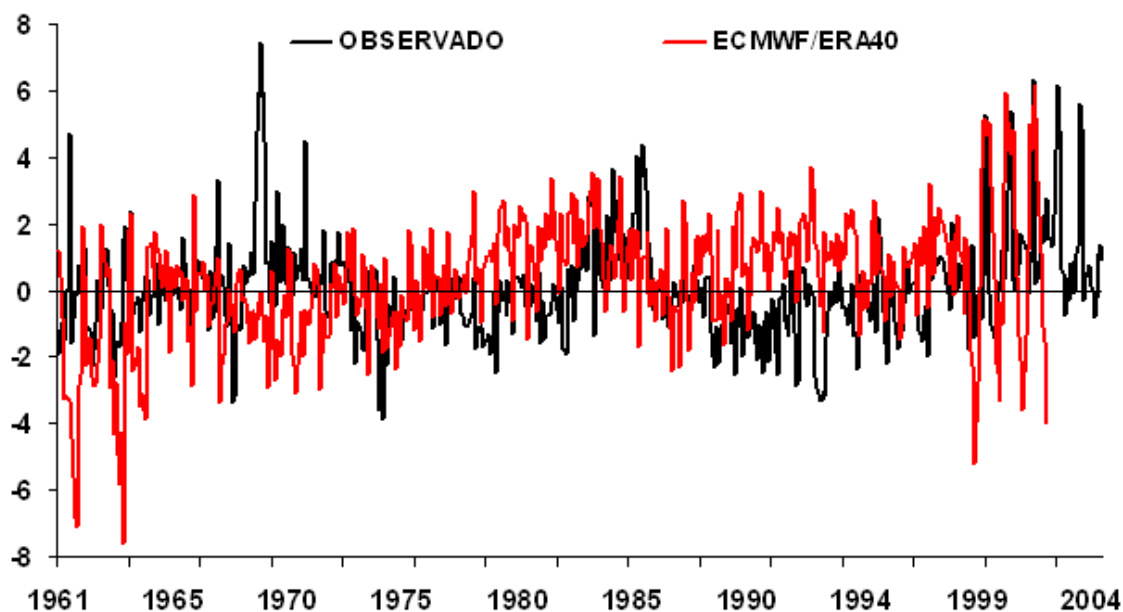


Figura 16E – Anomalias mensais de temperatura mínima de “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a Mesorregião Central Mineira (MR09), em °C, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

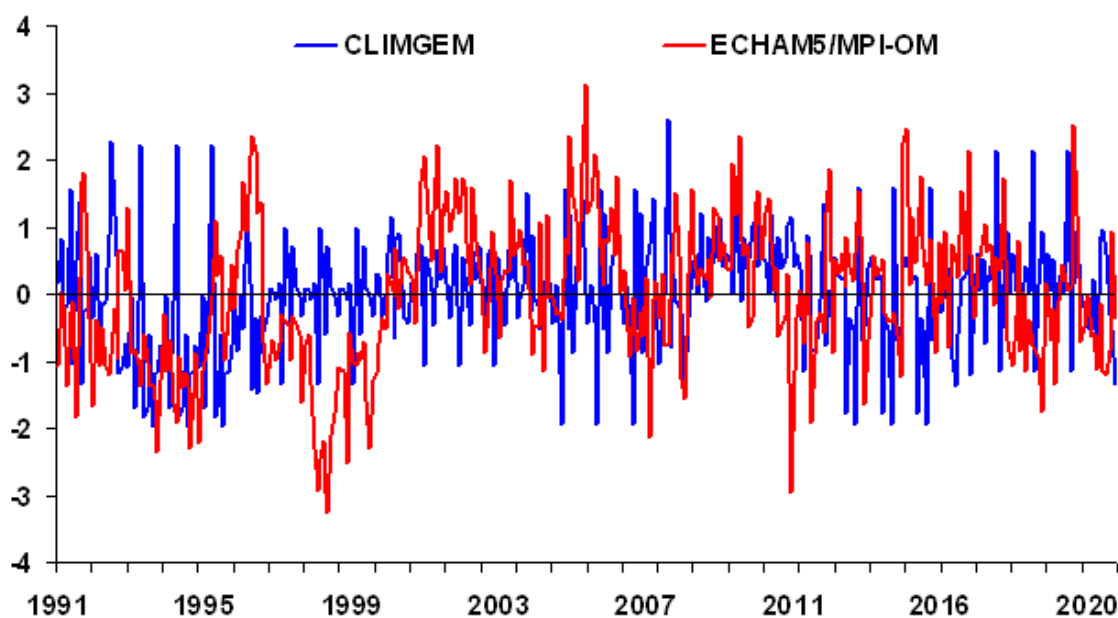


Figura 17E – Anomalias mensais de temperatura mínima dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião Central Mineira (MR09), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

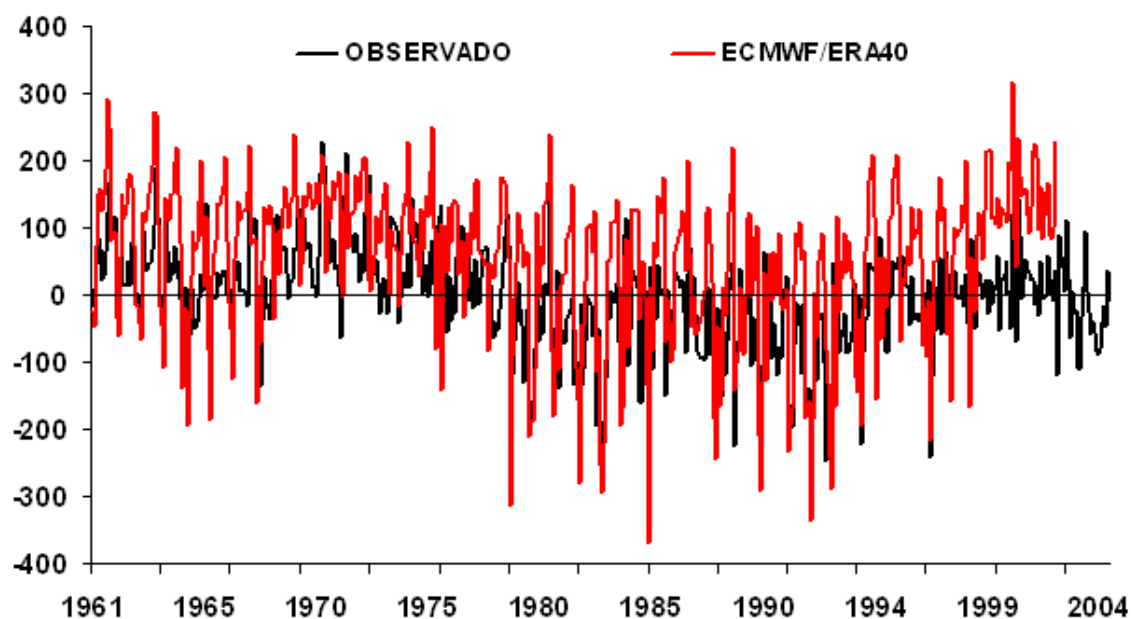


Figura 18E – Anomalias mensais de radiação global incidente dos registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40 para a Mesorregião Central Mineira (MR09), em MJ/m²mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

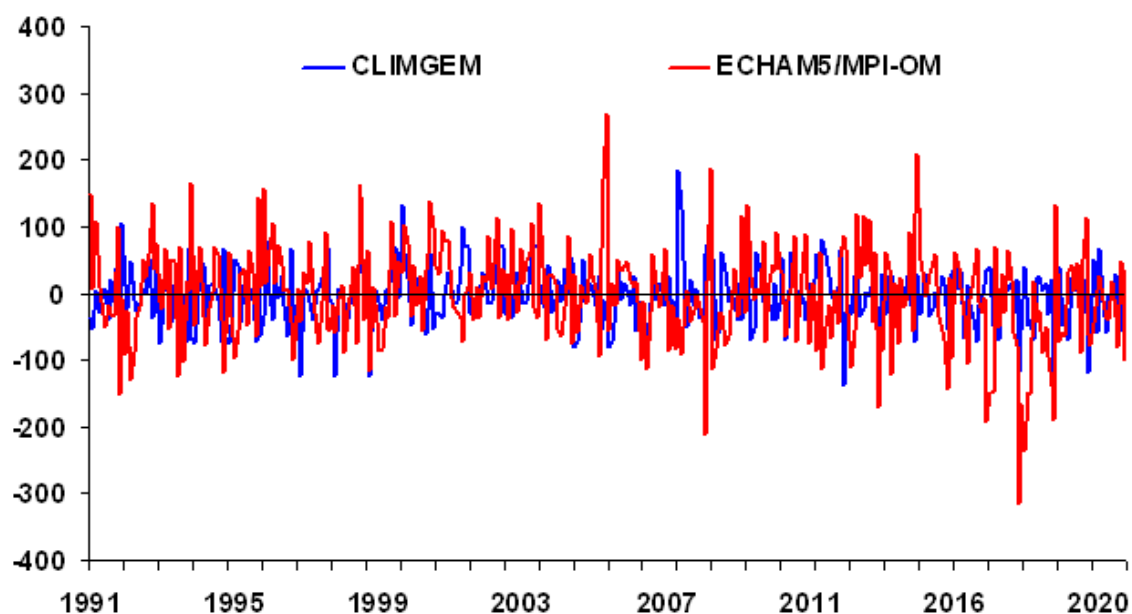


Figura 19E – Anomalias mensais de radiação global total dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião Central Mineira (MR09), em MJ/m²mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

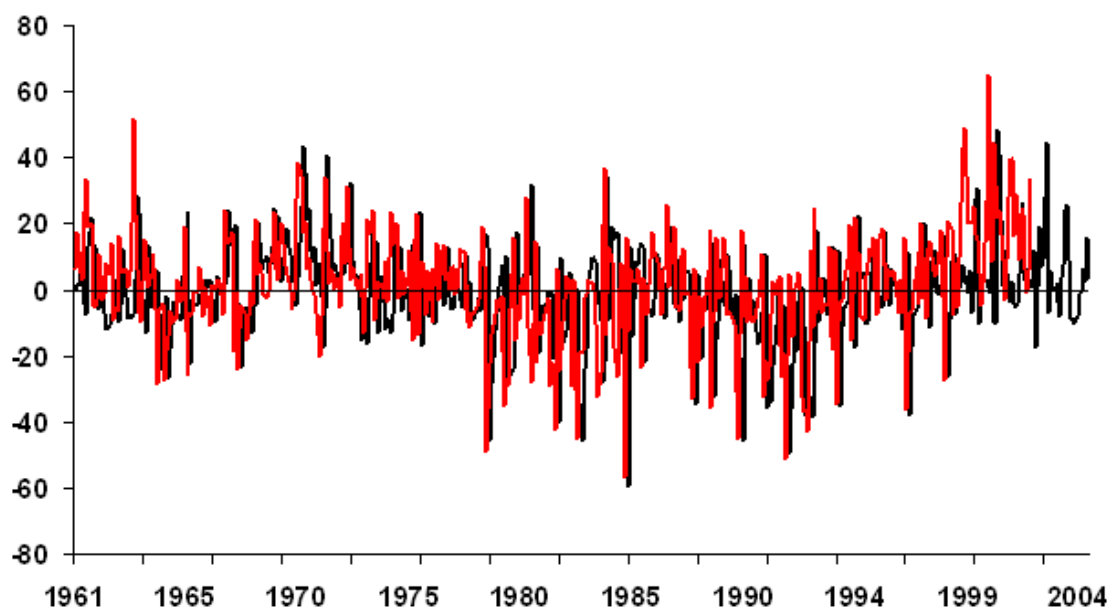


Figura 20E – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência dos registros observado e reanálise do ECMWF/ERA40 para Mesorregião Central Mineira (MR09), em mm/mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

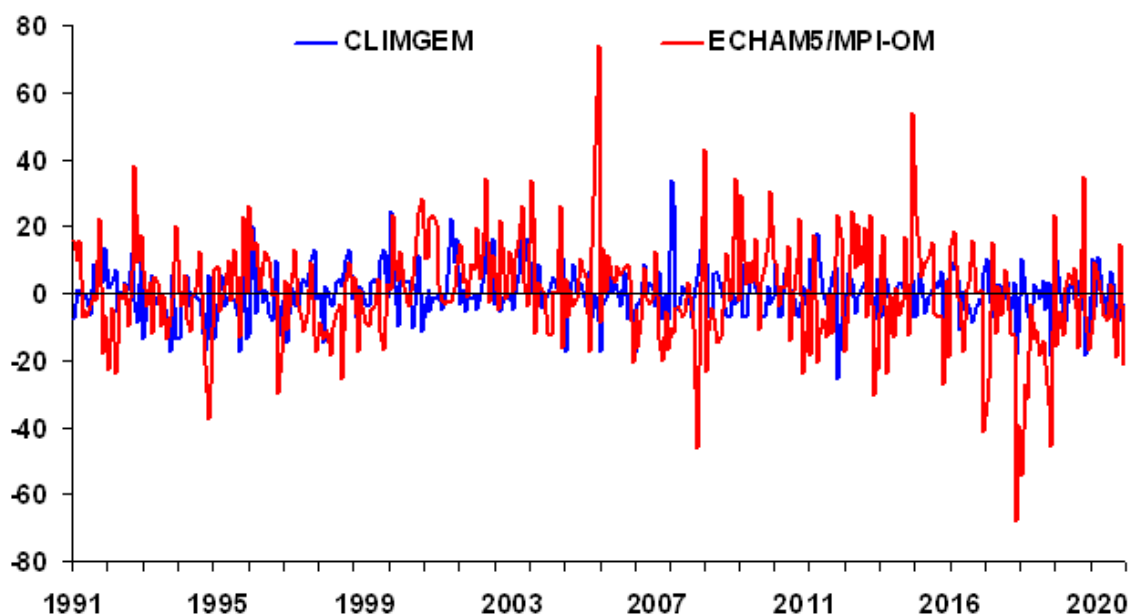


Figura 21E – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência estimada com registros meteorológicos simulados pelo CLINGEN (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião Central Mineira (MR09), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

Quadro 1E – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na Mesorregião Central Mineira (MR09). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros OBSERVADOS, CO₂ atmosférico em níveis atuais (NOAA, 2008), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1972-73	275	97	28	65	201	467	165	342	1407	0,41	4,1	293
1973-74	289	105	22	52	338	764	186	392	1422	0,40	3,7	290
1974-75	283	104	14	48	518	775	169	380	1397	0,39	3,7	283
1975-76	284	100	32	62	125	394	163	357	1417	0,35	3,5	273
1976-77	285	105	19	53	420	834	165	335	1444	0,36	3,5	250
1977-78	303	105	30	59	391	810	183	370	1454	0,33	3,6	283
1978-79	286	109	17	48	639	965	171	342	1444	0,44	3,7	266
1979-80	305	102	20	53	329	565	171	336	1448	0,39	3,7	256
1980-81	278	103	20	57	291	544	172	351	1463	0,37	3,8	278
1981-82	287	106	17	41	467	957	158	327	1442	0,43	3,4	242
1982-83	278	98	18	55	607	717	133	289	1413	0,35	3,5	224
1983-84	285	105	27	44	189	647	185	365	1471	0,36	3,6	270
1984-85	295	103	8	41	584	970	132	269	1439	0,41	3,4	217
1985-86	274	104	16	47	420	711	152	322	1453	0,41	3,3	243
1986-87	317	98	24	54	219	487	174	340	1383	0,35	3,7	282
1987-88	296	98	26	60	232	587	187	336	1398	0,40	3,4	269
1988-89	276	107	22	57	325	594	180	390	1408	0,34	3,7	293
1989-90	291	104	30	61	171	724	195	371	1384	0,34	3,6	281
1990-91	311	104	19	51	487	950	165	377	1445	0,33	3,8	276
1991-92	281	104	20	63	502	724	161	320	1459	0,40	3,9	264
1992-93	304	112	25	55	233	633	208	399	1422	0,43	3,6	316
1993-94	277	100	13	52	574	711	151	308	1406	0,39	3,6	257
1994-95	302	98	23	52	138	594	174	328	1402	0,35	3,6	252
1995-96	305	100	22	43	199	859	191	367	1395	0,38	3,5	276
1996-97	279	101	12	48	568	966	134	275	1434	0,34	3,5	213
1997-98	297	94	19	47	268	706	176	317	1397	0,40	3,7	267
1998-99	292	98	25	51	199	623	162	323	1420	0,36	3,4	229
1999-00	301	101	16	45	389	818	163	344	1426	0,36	3,5	247
2000-01	306	98	27	56	99	567	175	366	1435	0,38	3,5	261
2001-02	283	100	27	62	185	480	146	319	1437	0,36	3,8	246
2002-03	279	101	13	59	185	480	148	315	1521	0,38	3,8	249
2003-04	298	99	17	53	169	504	152	336	1475	0,37	3,7	240

(a) Fases críticas: entre o o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 2E – Determinações biometeorológicas para cultivar BR201 para a Mesorregião Central Mineira (MR09). Simulações do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros SINTÉTICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	274	106	22	65	319	563	185	375	1461	0,41	3,9	307
1992-93	313	108	20	62	352	717	177	376	1490	0,35	3,9	296
1993-94	296	109	22	59	316	842	166	359	1475	0,37	3,5	269
1994-95	296	109	22	59	316	842	166	359	1475	0,37	3,5	268
1995-96	296	110	18	55	410	936	183	376	1489	0,41	3,5	284
1996-97	283	107	19	50	459	817	173	369	1459	0,37	3,3	263
1997-98	282	105	28	82	279	360	139	300	1483	0,30	3,5	243
1998-99	282	105	28	82	279	360	138	300	1483	0,30	3,5	244
1999-00	282	104	24	78	193	274	126	289	1480	0,27	3,5	226
2000-01	279	104	22	64	381	565	171	359	1441	0,32	3,7	281
2001-02	291	99	25	55	189	585	173	361	1432	0,42	3,6	276
2002-03	291	99	25	55	189	585	172	361	1432	0,42	3,6	275
2003-04	291	100	26	56	261	658	182	370	1433	0,43	3,6	282
2004-05	275	106	25	59	406	764	170	387	1489	0,41	3,9	291
2005-06	307	104	20	61	242	416	153	306	1458	0,45	3,3	244
2006-07	307	104	20	61	242	416	153	306	1458	0,45	3,3	244
2007-08	307	102	37	78	222	396	182	335	1465	0,42	3,3	265
2008-09	310	101	11	40	515	902	170	391	1485	0,37	4,1	295
2009-10	282	100	19	51	511	826	166	354	1445	0,41	3,4	259
2010-11	282	100	19	51	511	826	165	354	1445	0,41	3,4	258
2011-12	282	99	24	56	366	681	165	353	1434	0,40	3,4	259
2012-13	289	107	15	45	345	823	170	365	1476	0,38	3,4	260
2013-14	280	103	23	57	239	544	171	373	1457	0,34	3,6	261
2014-15	280	103	23	57	239	544	171	372	1457	0,34	3,6	261
2015-16	280	102	26	60	278	584	181	382	1441	0,33	3,6	272
2016-17	279	103	21	61	376	581	179	363	1453	0,42	3,7	276
2017-18	329	104	30	62	118	434	165	371	1493	0,36	3,8	268
2018-19	329	104	30	62	118	434	165	371	1493	0,36	3,8	268
2019-20	329	109	29	68	157	483	173	387	1529	0,34	3,9	283

(a) Fases críticas: entreo o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 3E – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na Mesorregião Central Mineira (MR09). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros DINÂMICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	305	108	24	62	300	643	154	342	1577	0,31	3,5	249
1992-93	361	107	43	73	34	460	94	299	1572	0,34	3,7	204
1993-94	330	107	20	54	235	574	170	357	1549	0,38	3,6	283
1994-95	291	110	28	67	74	354	180	326	1468	0,43	2,8	237
1995-96	280	98	26	72	143	297	161	323	1469	0,33	3,0	261
1996-97	301	104	20	52	195	453	160	328	1514	0,35	3,1	235
1997-98	278	105	13	53	395	578	158	320	1505	0,35	3,7	268
1998-99	338	111	20	49	263	584	164	363	1563	0,35	3,7	269
1999-00	324	107	35	71	40	315	154	339	1549	0,41	4,0	264
2000-01	293	95	20	73	339	352	134	254	1498	0,24	3,0	206
2001-02	299	92	23	62	150	300	168	304	1469	0,41	3,1	248
2002-03	310	100	17	53	218	481	155	318	1555	0,39	4,0	283
2003-04	278	92	25	70	146	181	129	257	1440	0,34	2,9	221
2004-05	328	103	18	44	193	604	154	336	1562	0,36	4,0	268
2005-06	274	84	24	72	54	91	48	182	1387	0,12	2,7	143
2006-07	309	95	18	50	307	416	136	292	1482	0,33	3,4	244
2007-08	283	98	22	65	310	415	148	300	1446	0,27	3,5	234
2008-09	278	95	20	62	297	374	130	276	1432	0,23	3,2	207
2009-10	348	94	33	68	122	297	118	287	1493	0,32	3,9	235
2010-11	333	92	19	46	127	430	146	301	1472	0,32	3,4	232
2011-12	286	103	15	56	376	597	131	298	1458	0,28	3,6	239
2012-13	281	96	22	62	178	335	148	320	1506	0,31	4,3	284
2013-14	290	104	15	53	204	627	171	329	1509	0,42	3,1	242
2014-15	294	88	28	67	77	190	73	245	1404	0,20	3,8	183
2015-16	289	99	24	63	113	319	157	305	1470	0,36	3,6	249
2016-17	275	97	20	48	362	573	120	303	1481	0,42	3,6	217
2017-18	279	109	14	34	429	918	99	227	1512	0,35	2,3	132
2018-19	289	100	19	57	304	532	128	279	1460	0,30	3,1	201
2019-20	326	104	26	61	220	526	148	305	1546	0,31	3,3	223

(a) Fases críticas: entreo o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

APÊNDICE F

MESORREGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE – MR10

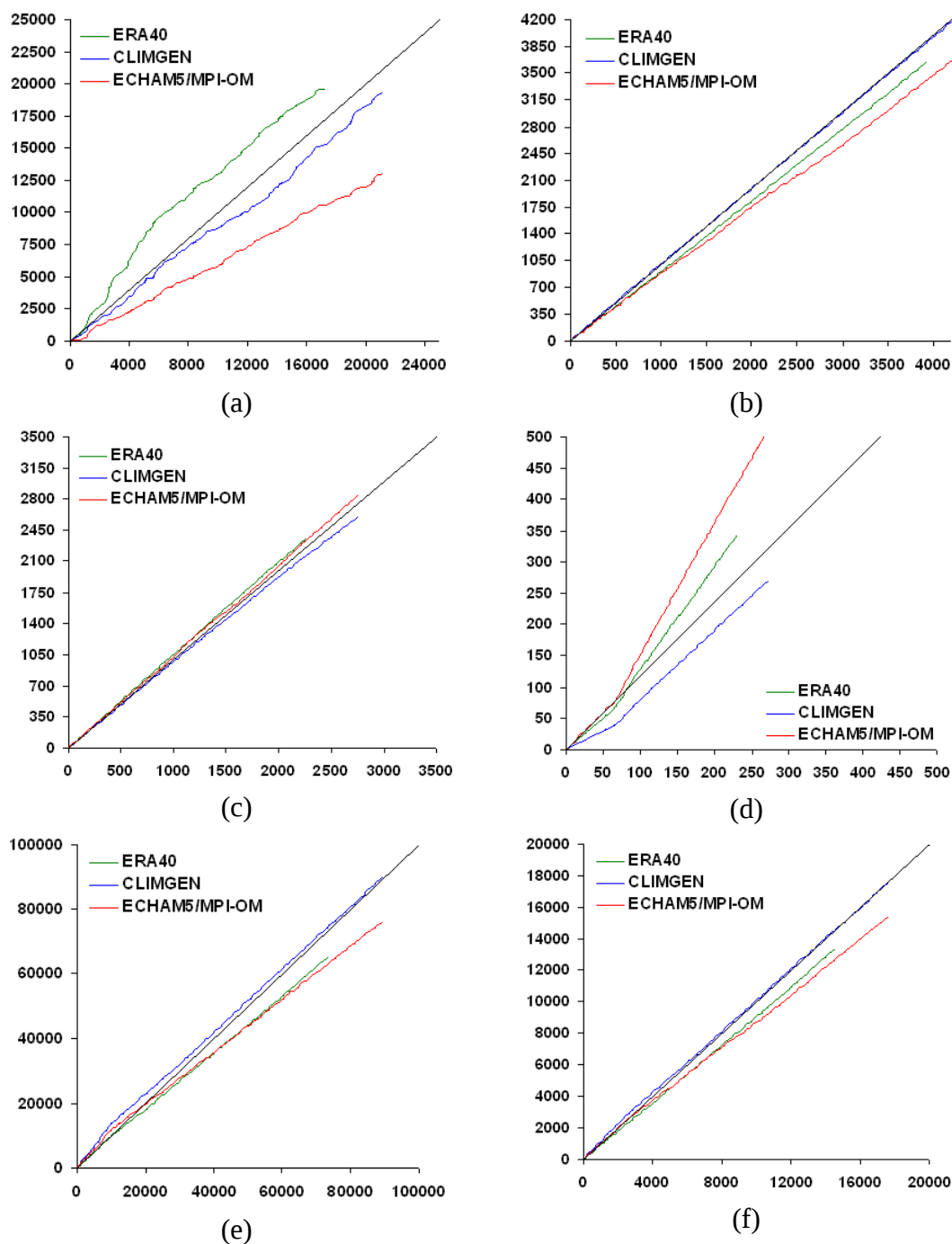
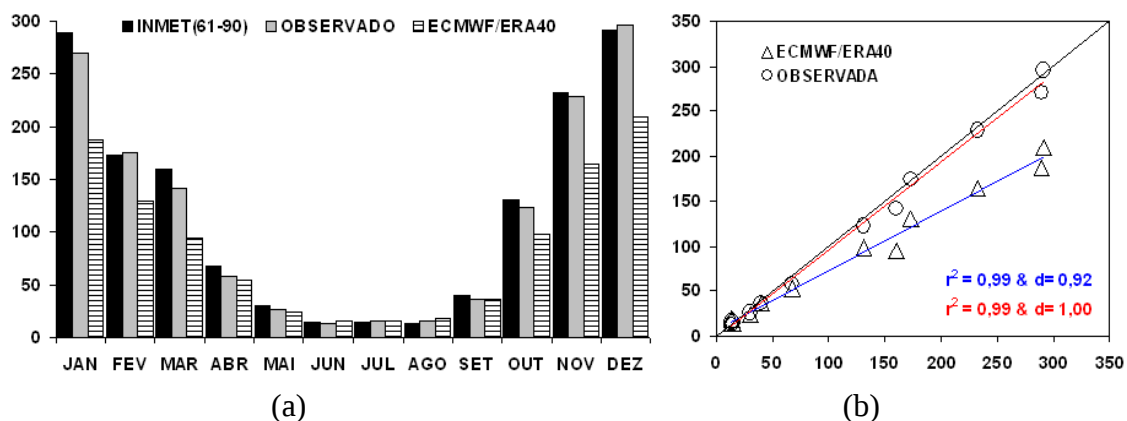
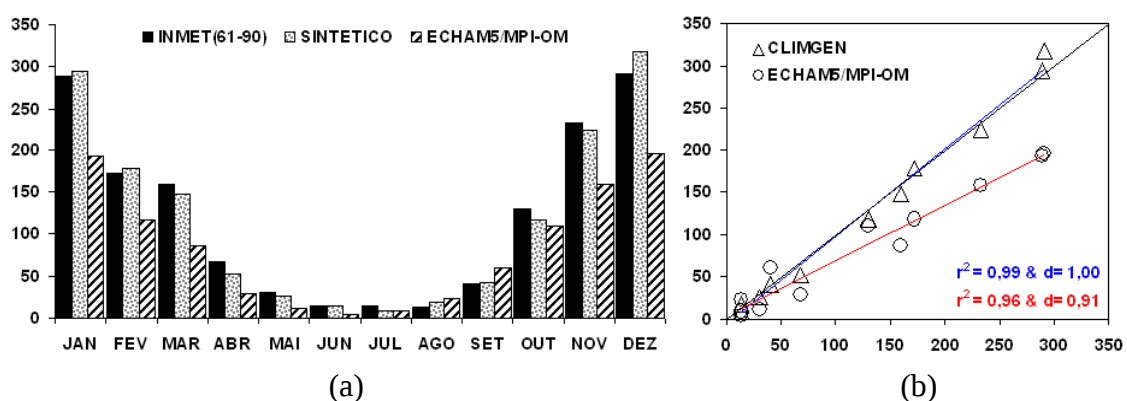


Figura 1F – Análise de inconsistências entre séries meteorológicas da Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MR10) por meio de teste da dupla-massa: (a) precipitação total, em mm/mês; (b) temperatura máxima, em °C; (c) temperatura mínima, em °C; (d) velocidade do vento, m/s; (e) radiação global, MJ/m²mês; e (f) evapotranspiração de referência, mm/mês (no eixo “X” dados observados e a linha 1:1 em preto).



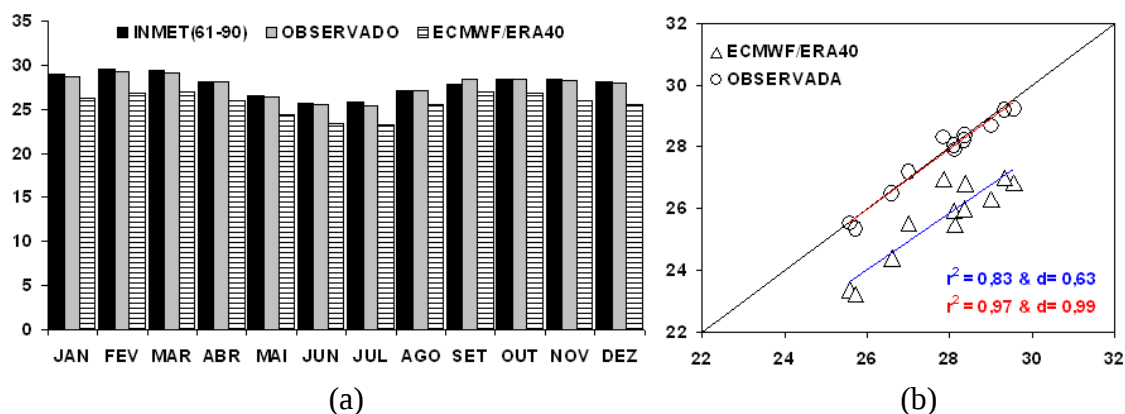
Fonte: Brasil (1992).

Figura 2F – Climatologia da precipitação acumulada mensal da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em mm. no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 3F – Climatologia da precipitação acumulada mensal da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em mm, no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 4F – Climatologia da temperatura máxima da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em °C, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

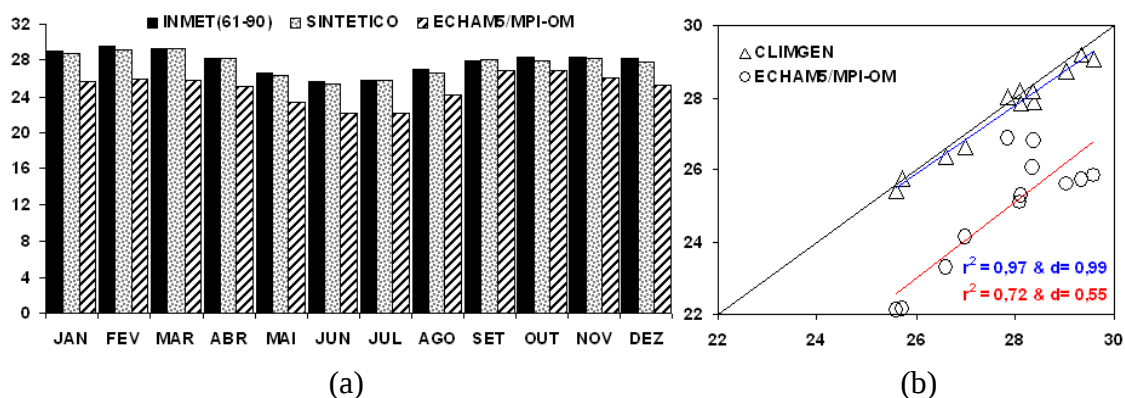
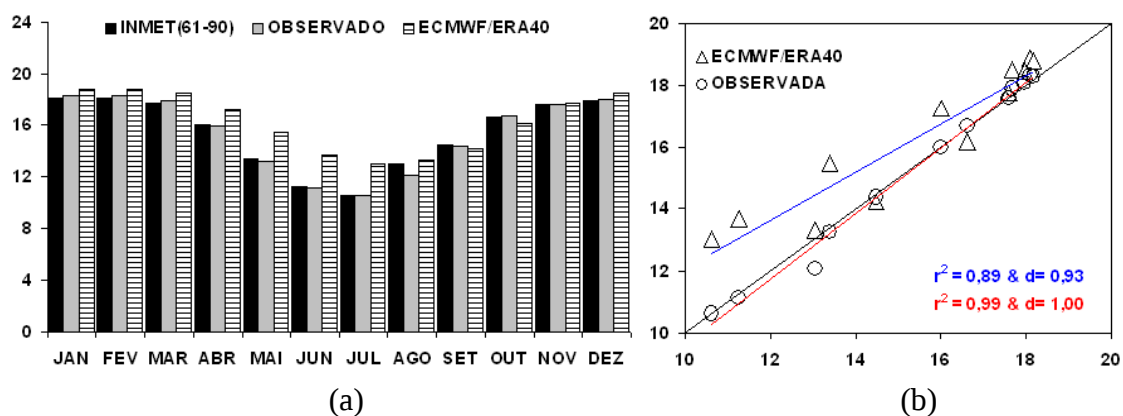


Figura 5F – Climatologia da temperatura máxima, em °C, da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 6F – Climatologia da temperatura mínima, °C, da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

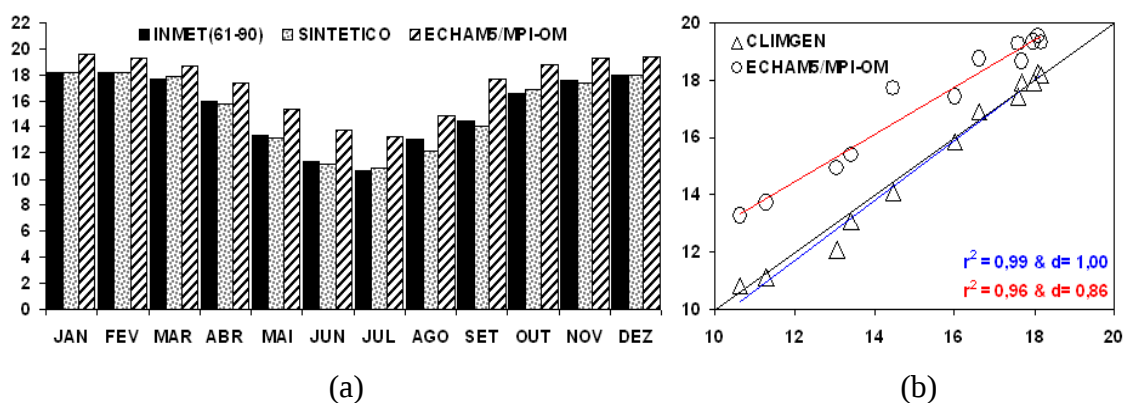
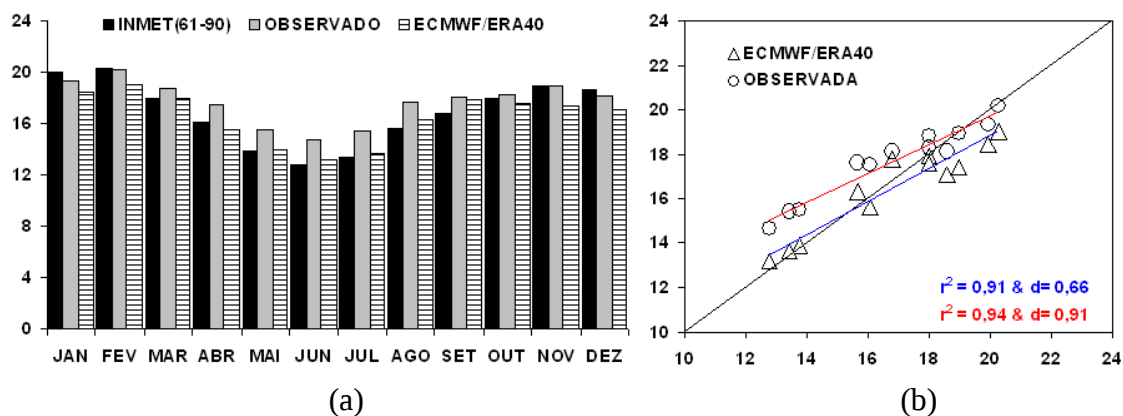


Figura 7F – Climatologia da temperatura mínima, em °C, da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 8F – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

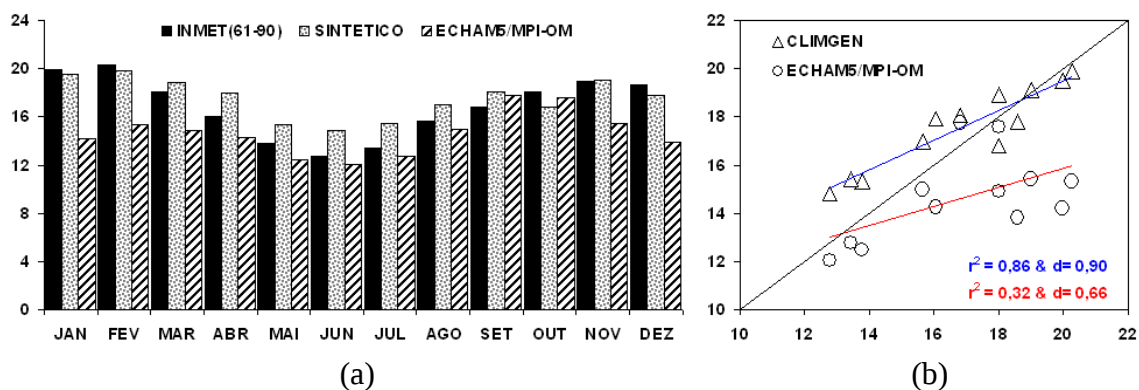
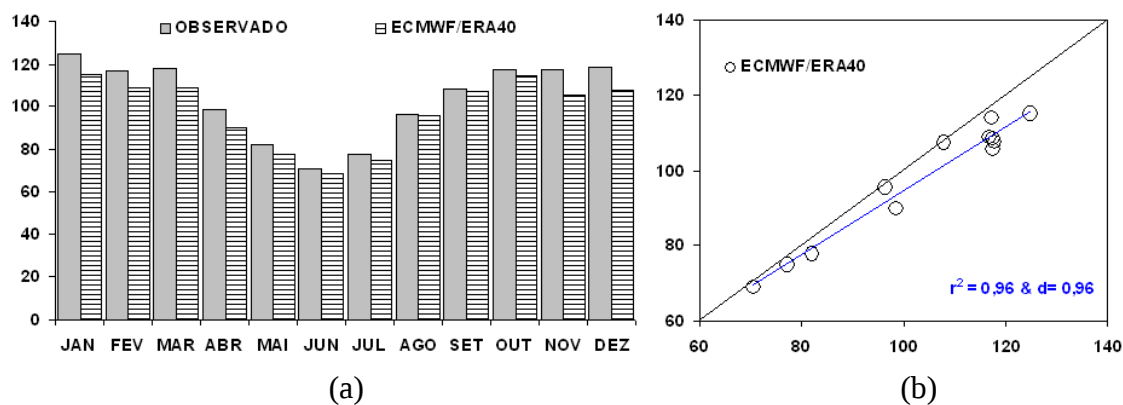


Figura 9F – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 10F – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados em reanálise do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

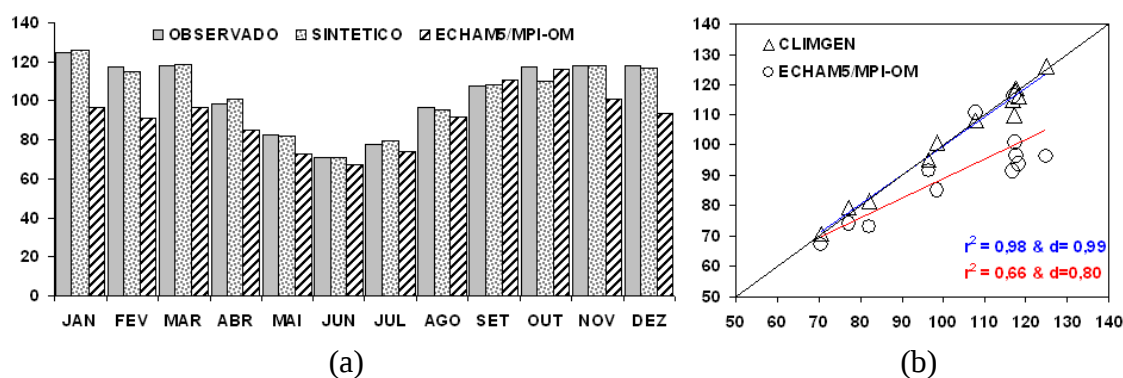


Figura 11F – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

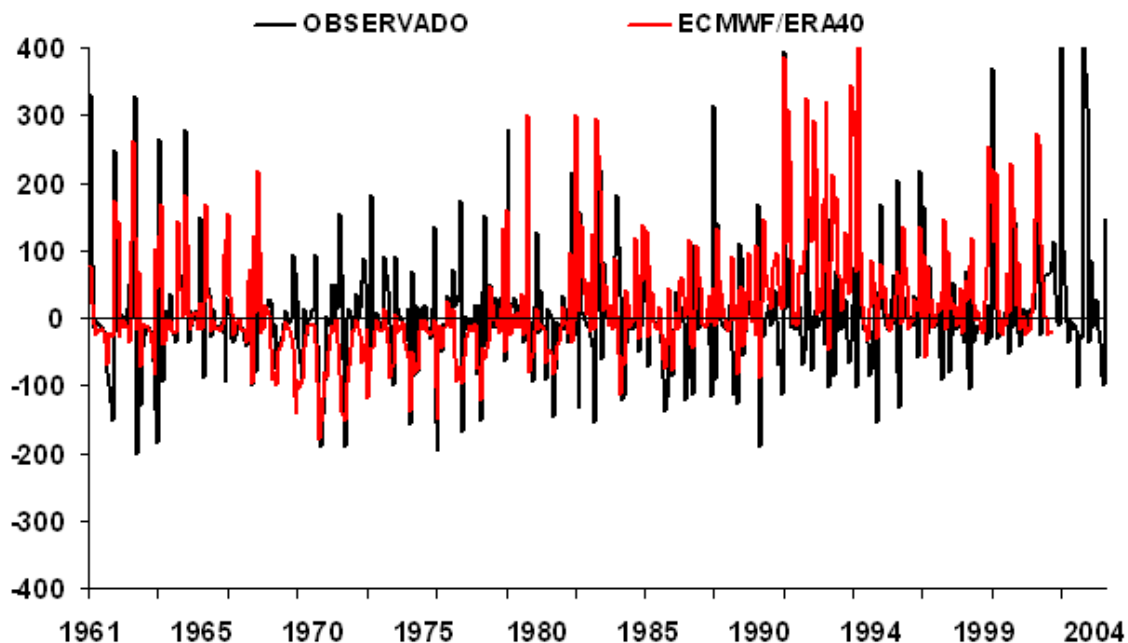


Figura 12F – Anomalias mensais de precipitação dos “registros observados e da reanálise do ECMWF/ERA40” para Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em mm/mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e de 1961 a 2004 para os registros observados – PRESENTE.

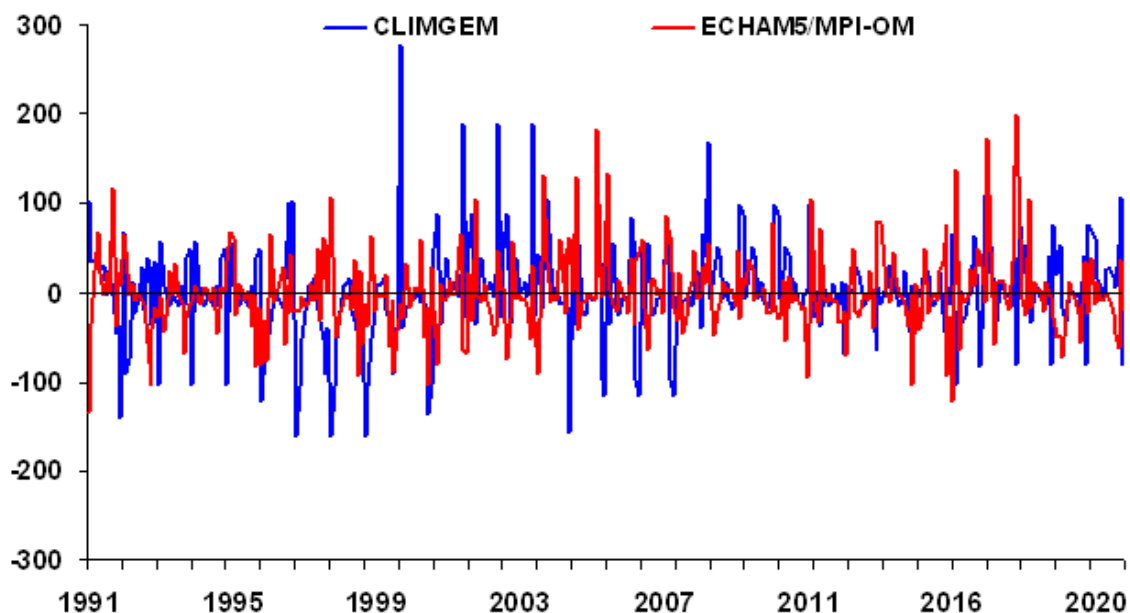


Figura 13F – Anomalias mensais de precipitação total dos “registros simulados pelo CLIMGEM (séries sintéticas) e o ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

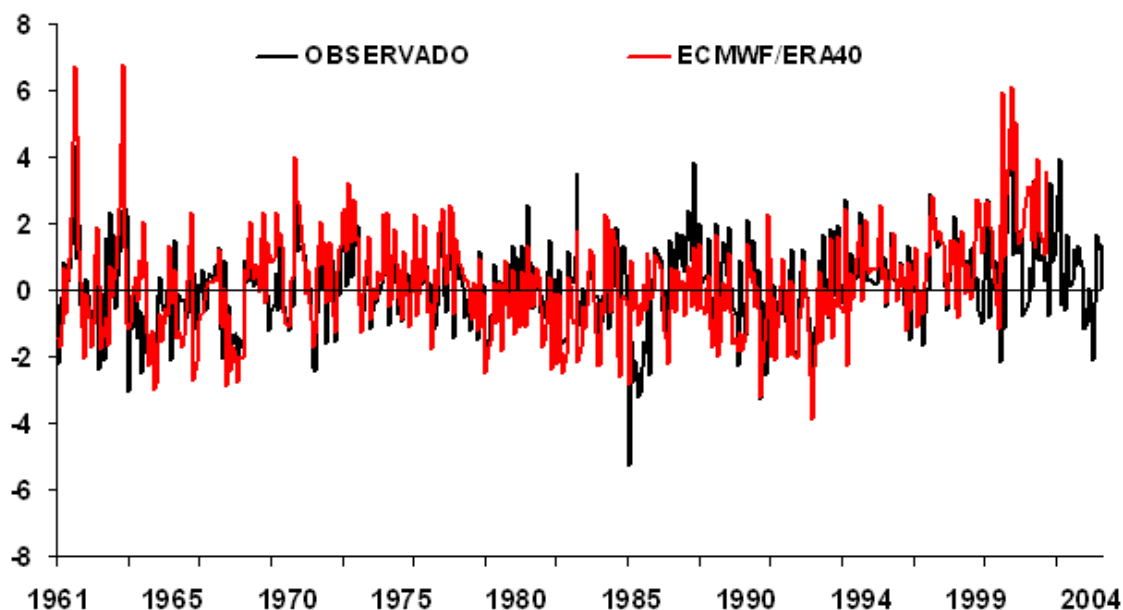


Figura 14F – Anomalias mensais de temperatura máxima dos “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em °C, no período de 1961 a 2002, para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

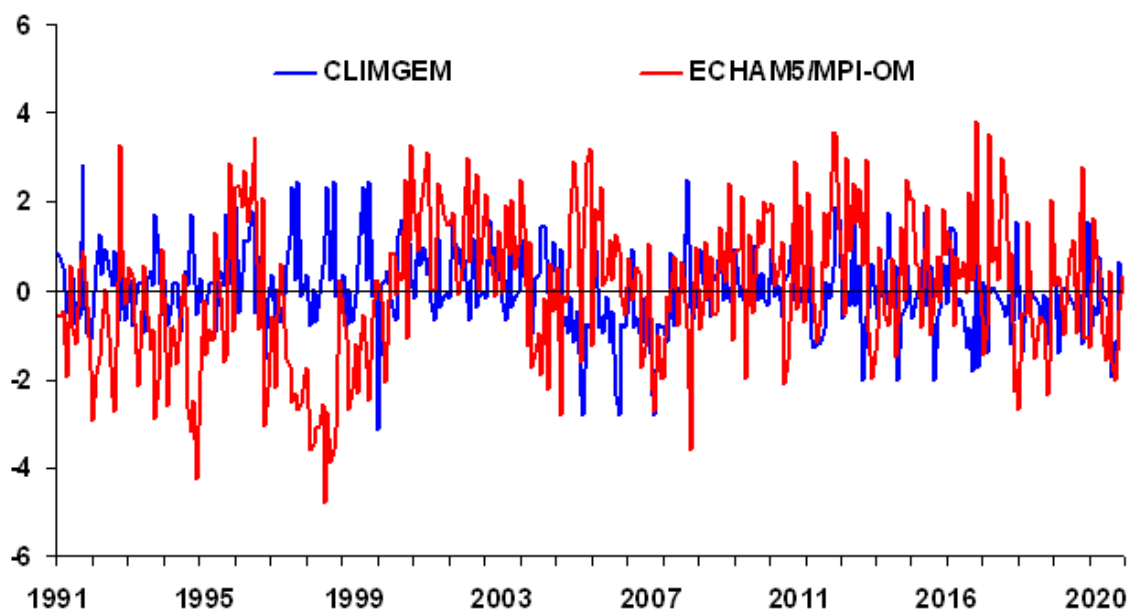


Figura 15F – Anomalias mensais de temperatura máxima a partir de “registros simulados pelo CLIMGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

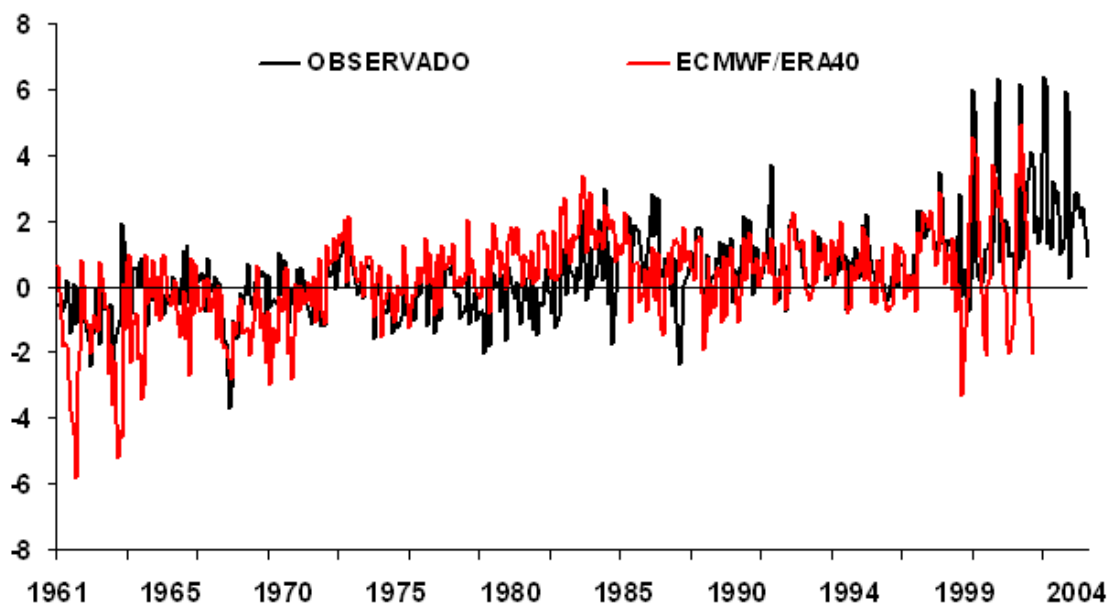


Figura 16F – Anomalias mensais de temperatura mínima de “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em °C, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

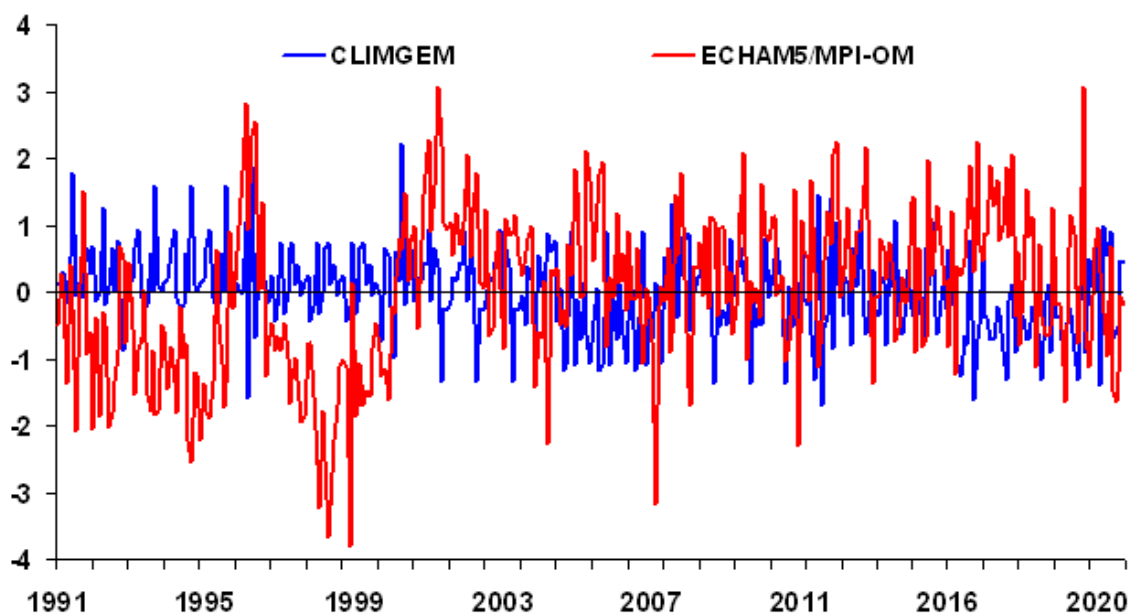


Figura 17F – Anomalias mensais de temperatura mínima dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

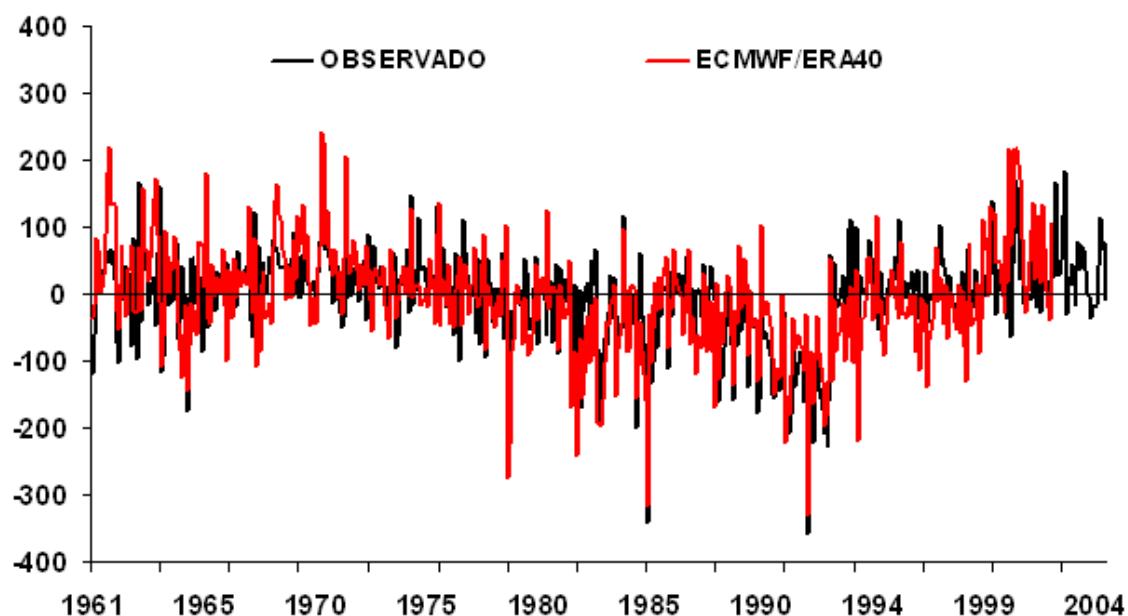


Figura 18F – Anomalias mensais de radiação global incidente dos registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40 para a Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em MJ/m²mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

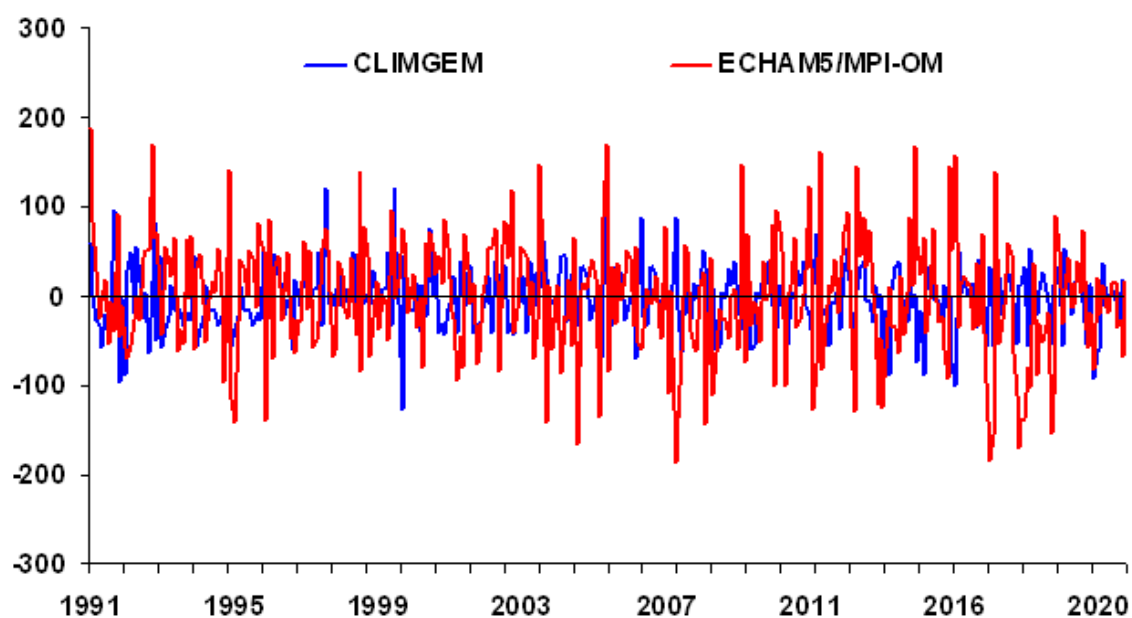


Figura 19F – Anomalias mensais de radiação global total dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em MJ/m²mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

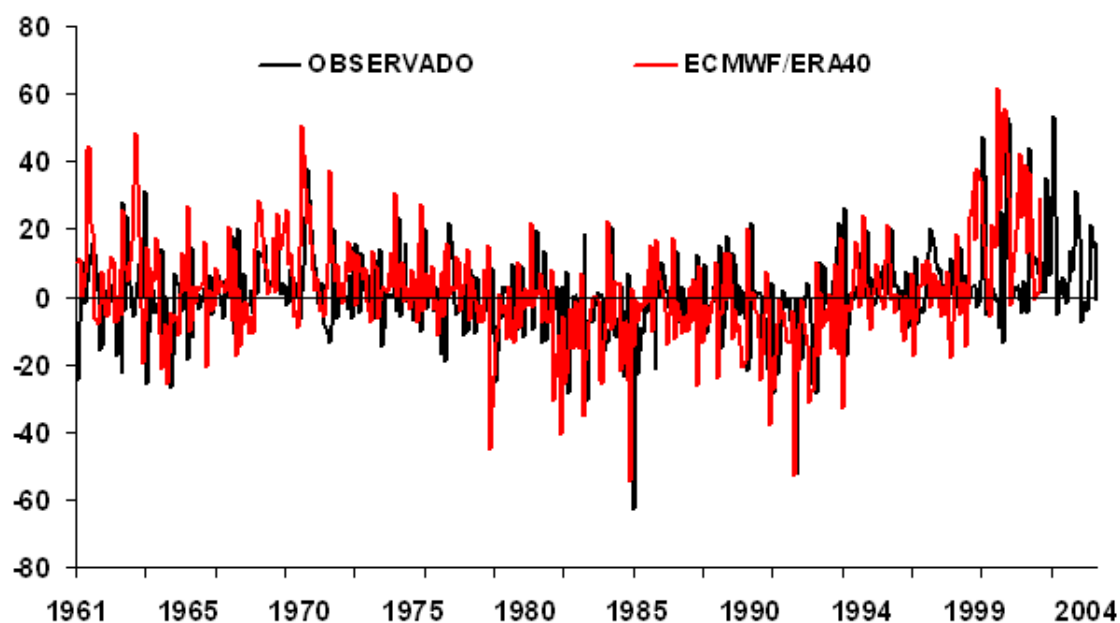


Figura 20F – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência dos registros observado e reanálise do ECMWF/ERA40 para Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em mm/mês, no período de 1961 a 2002, para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

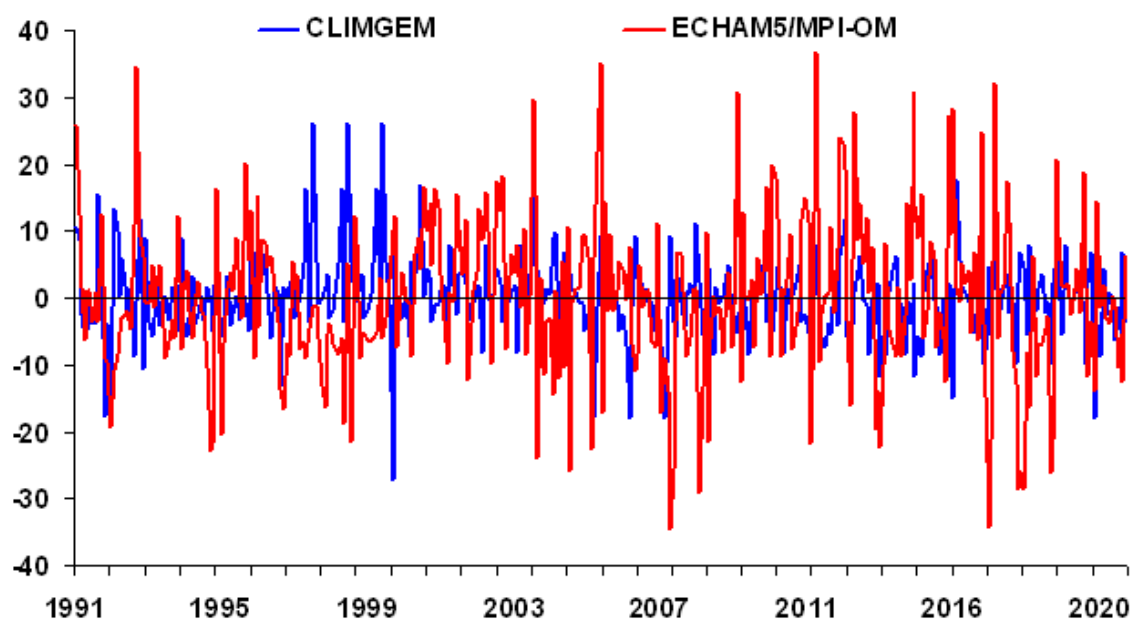


Figura 21F – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência estimada com registros meteorológicos simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião de Belo Horizonte (MR10), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

Quadro 1F – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MR10). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros OBSERVADOS, CO₂ atmosférico em níveis atuais (NOAA, 2008), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1972-73	276	107	22	51	427	857	165	286	1439	0,47	2,0	215
1973-74	287	109	12	39	406	894	156	280	1431	0,48	1,8	201
1974-75	284	111	15	54	490	786	163	299	1407	0,44	2,7	246
1975-76	287	111	26	45	201	670	156	285	1429	0,48	1,9	207
1976-77	285	113	15	43	583	1111	145	255	1434	0,5	1,6	177
1977-78	312	109	24	50	404	713	147	250	1438	0,48	1,9	198
1978-79	285	115	13	41	693	1208	153	274	1439	0,57	2,1	199
1979-80	289	108	13	42	501	920	136	264	1424	0,43	2,1	198
1980-81	287	107	20	52	338	821	141	240	1410	0,51	1,8	182
1981-82	286	114	23	44	472	1183	124	235	1436	0,48	1,4	152
1982-83	323	108	23	41	299	1028	113	216	1462	0,48	1,1	134
1983-84	285	112	24	37	235	976	128	240	1450	0,48	1,2	145
1984-85	287	115	11	47	397	1005	112	201	1457	0,51	1,6	133
1985-86	308	108	21	53	250	614	152	246	1407	0,53	1,9	196
1986-87	317	106	29	56	216	678	131	250	1432	0,38	2,1	202
1987-88	296	103	25	54	306	1050	135	238	1429	0,47	1,7	176
1988-89	275	111	17	61	353	577	155	275	1430	0,37	2,3	228
1989-90	274	112	27	61	537	986	129	247	1423	0,32	1,9	188
1990-91	294	110	19	51	731	1092	136	252	1446	0,48	2,0	185
1991-92	275	111	14	51	679	914	122	204	1451	0,51	1,4	129
1992-93	284	109	15	46	352	849	41	92	1413	0,19	0,3	8
1993-94	277	107	12	46	527	744	153	273	1414	0,49	2,6	217
1994-95	324	104	19	50	348	792	143	253	1437	0,42	1,8	187
1995-96	281	106	18	50	600	886	146	260	1382	0,44	2,2	206
1996-97	307	107	22	40	135	1106	131	235	1425	0,54	1,4	157
1997-98	292	102	21	45	321	768	115	203	1464	0,51	1,2	134
1998-99	306	101	24	51	157	634	146	259	1431	0,48	1,9	199
1999-00	294	110	17	52	574	1077	143	252	1420	0,47	1,9	185
2000-01	298	104	26	53	263	765	139	254	1428	0,46	2,0	189
2001-02	277	108	13	44	522	945	138	251	1431	0,43	1,9	176
2002-03	308	102	20	23	604	1156	119	234	1432	0,51	1,3	145
2003-04	306	108	19	48	563	1100	136	254	1463	0,45	2,1	194

(a) Fases críticas: entre o o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 2F – Determinações biometeorológicas para cultivar BR201 para a Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MR10). Simulações do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros SINTÉTICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	309	115	21	43	210	778	167	317	1503	0.53	2	234
1992-93	280	119	21	54	316	870	187	350	1513	0.45	2.5	277
1993-94	284	115	26	58	349	898	167	308	1517	0.51	1.8	226
1994-95	284	115	26	58	349	898	167	307	1517	0.51	1.8	226
1995-96	284	115	24	56	354	903	159	299	1529	0.52	1.8	222
1996-97	286	117	28	52	253	948	155	301	1510	0.51	1.8	220
1997-98	283	113	29	75	292	544	171	303	1499	0.43	2.8	268
1998-99	283	113	29	75	292	544	171	302	1499	0.43	2.8	268
1999-00	283	117	16	62	784	1035	169	303	1504	0.45	2.8	259
2000-01	294	116	20	57	466	813	187	349	1532	0.48	2.9	291
2001-02	280	118	20	56	427	1129	173	318	1478	0.5	2.1	247
2002-03	280	118	20	56	427	1129	173	318	1478	0.5	2.1	247
2003-04	280	116	19	55	500	1202	173	318	1465	0.49	2.1	244
2004-05	276	113	20	54	426	727	177	310	1471	0.43	2.4	239
2005-06	285	123	19	60	468	848	187	362	1503	0.48	2.9	301
2006-07	285	123	19	60	468	848	186	361	1503	0.48	2.9	300
2007-08	285	123	27	68	335	715	176	350	1512	0.47	2.8	291
2008-09	295	117	23	46	361	1203	153	297	1519	0.5	1.6	202
2009-10	295	116	23	48	374	1154	167	318	1538	0.47	2.1	237
2010-11	295	116	23	48	374	1154	166	317	1538	0.47	2.1	236
2011-12	295	117	22	47	352	1160	175	322	1529	0.55	2.1	242
2012-13	277	111	14	55	490	818	181	331	1454	0.44	3	282
2013-14	306	115	17	42	298	929	161	296	1500	0.53	2	216
2014-15	306	115	17	42	298	929	159	295	1500	0.53	2	214
2015-16	306	113	20	44	322	872	159	293	1507	0.49	2	218
2016-17	308	118	16	40	550	1116	171	308	1498	0.42	1.9	212
2017-18	292	117	18	50	471	1038	177	324	1505	0.51	2.3	247
2018-19	292	117	18	50	471	1038	177	323	1505	0.51	2.3	246
2019-20	292	118	14	46	520	1101	158	301	1521	0.48	2.2	226

(a) Fases críticas: entreo o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

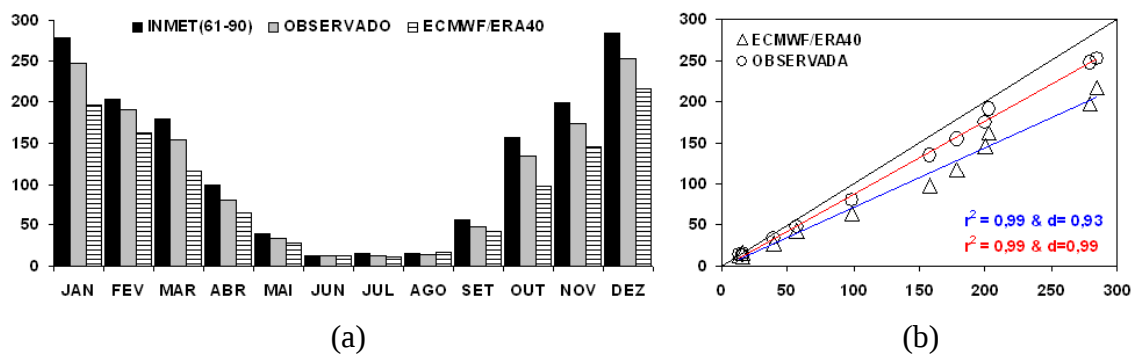
Quadro 3F – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MR10). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros DINÂMICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	302	135	23	55	326	844	144	257	1514	0.5	1.9	176
1992-93	317	120	36	66	157	504	120	223	1511	0.51	1.4	152
1993-94	298	130	27	65	248	629	147	283	1497	0.48	2.2	210
1994-95	290	138	23	62	276	848	147	274	1465	0.53	1.7	185
1995-96	277	118	26	64	175	466	158	309	1525	0.46	2.8	250
1996-97	277	126	24	60	261	697	127	233	1528	0.44	1.8	163
1997-98	278	134	28	68	350	754	135	261	1452	0.46	2.3	194
1998-99	314	137	27	61	231	617	157	306	1515	0.51	2.2	226
1999-00	286	126	25	73	225	454	160	292	1521	0.5	2.8	252
2000-01	281	111	18	63	271	490	147	278	1541	0.42	2.9	234
2001-02	286	112	25	63	272	576	145	270	1546	0.5	2.6	221
2002-03	276	113	12	48	372	630	134	242	1550	0.38	1.8	166
2003-04	315	119	25	55	239	589	140	290	1584	0.43	2.9	232
2004-05	275	123	13	53	434	826	139	256	1510	0.43	2.3	196
2005-06	274	109	16	45	405	721	149	286	1514	0.53	2.8	232
2006-07	274	114	18	57	406	719	124	224	1478	0.4	2	169
2007-08	274	125	14	42	262	719	107	194	1445	0.48	1.2	103
2008-09	278	124	14	45	371	783	111	224	1522	0.45	1.7	148
2009-10	279	116	24	64	298	617	144	280	1487	0.37	3	242
2010-11	298	115	17	44	218	571	135	273	1550	0.45	2.4	206
2011-12	320	118	28	54	179	687	93	180	1539	0.53	1.1	108
2012-13	307	118	32	61	251	621	134	266	1587	0.46	2.7	219
2013-14	278	124	14	49	388	886	123	226	1479	0.46	1.9	161
2014-15	293	112	18	52	240	488	147	276	1520	0.45	2.8	234
2015-16	288	120	26	67	219	497	157	278	1556	0.48	2.3	223
2016-17	281	117	13	43	446	882	100	204	1551	0.48	2.1	138
2017-18	274	127	18	39	404	1054	90	180	1544	0.53	1.3	95
2018-19	288	120	25	53	223	595	128	255	1509	0.47	2.1	185
2019-20	296	122	27	60	243	705	131	241	1488	0.44	2.2	178

(a) Fases críticas: entreo o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

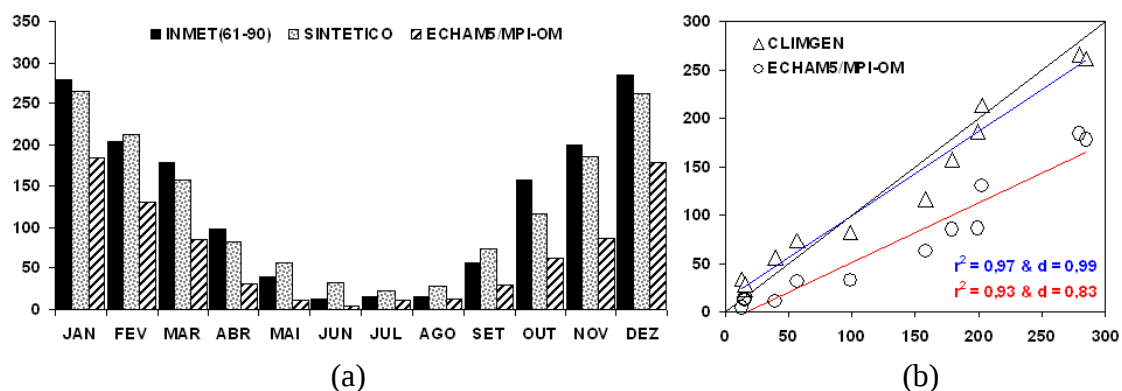
APÊNDICE G

MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO/ALTO PARANAÍBA – MR11



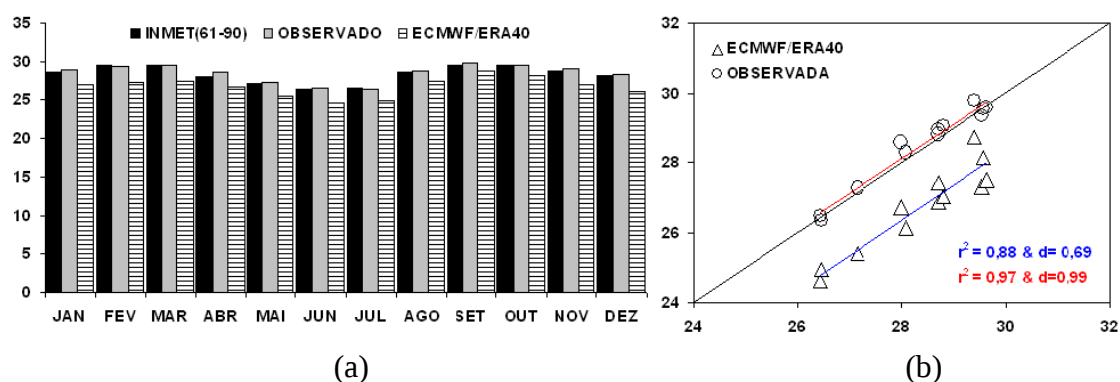
Fonte: Brasil (1992).

Figura 1G – Climatologia da precipitação acumulada mensal da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em mm, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 2G – Climatologia da precipitação acumulada mensal da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em mm, no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 3G – Climatologia da temperatura máxima da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em °C, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

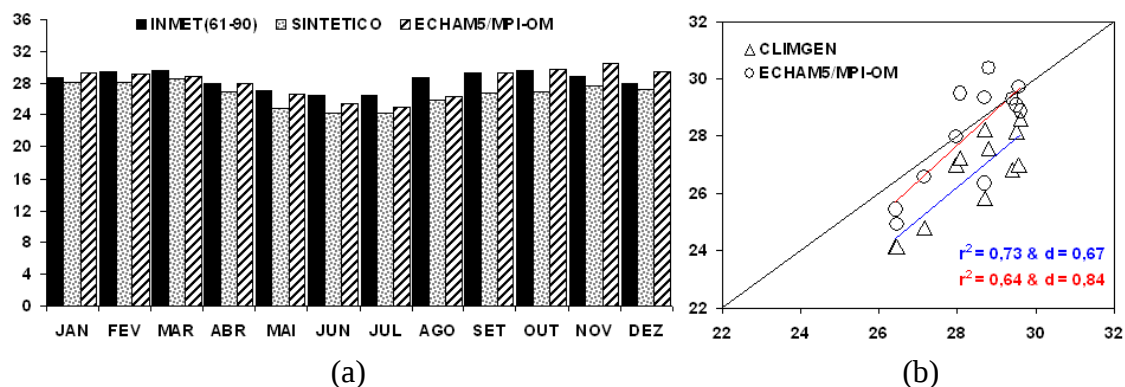
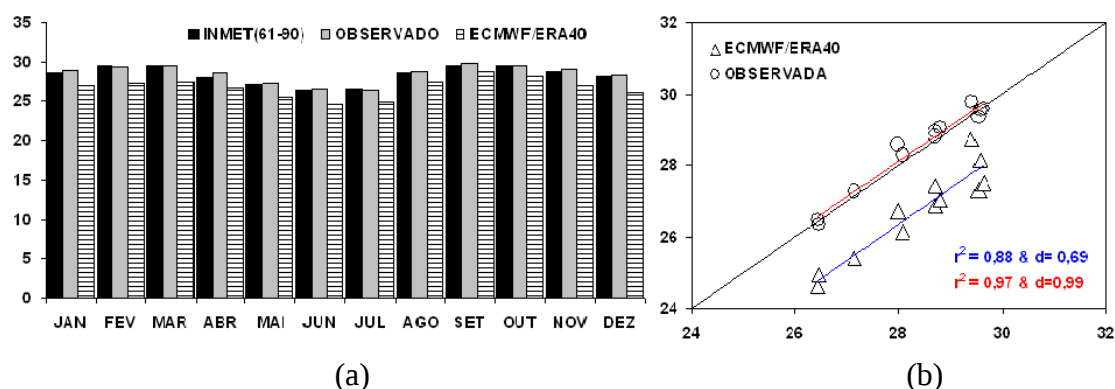


Figura 4G – Climatologia da temperatura máxima, em °C, da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 5G – Climatologia da temperatura mínima, °C, da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

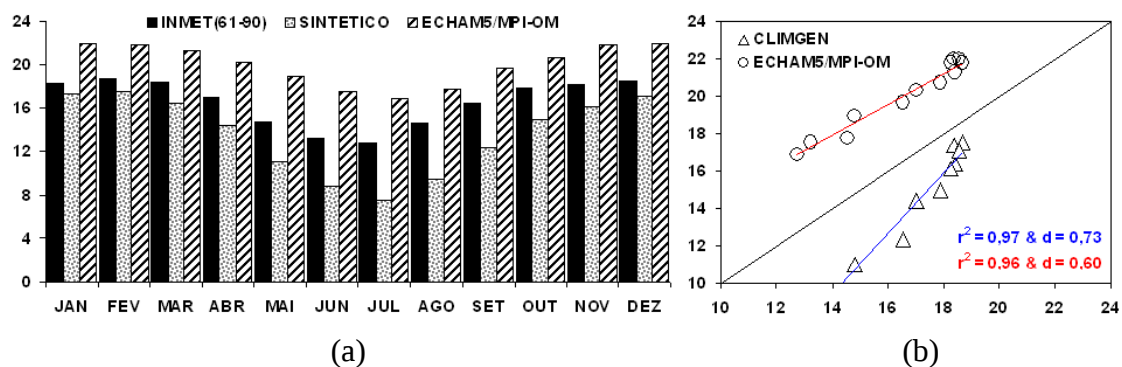
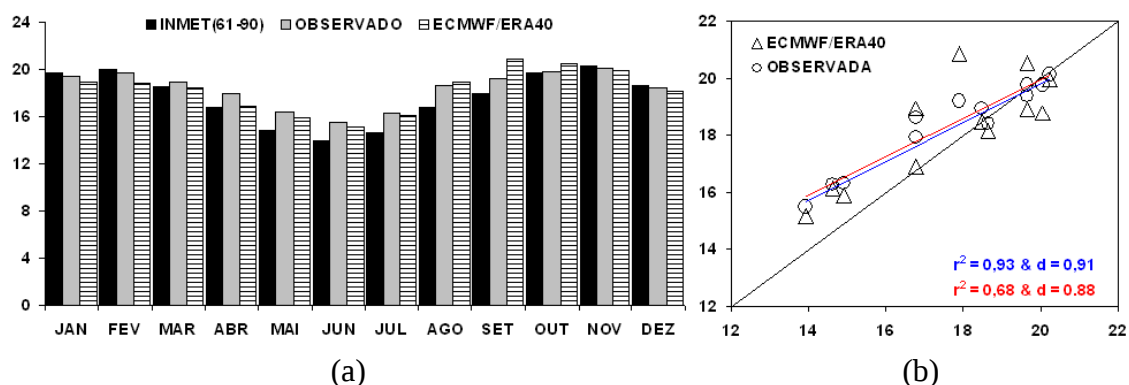


Figura 6G – Climatologia da temperatura mínima, em °C, da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 7G – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

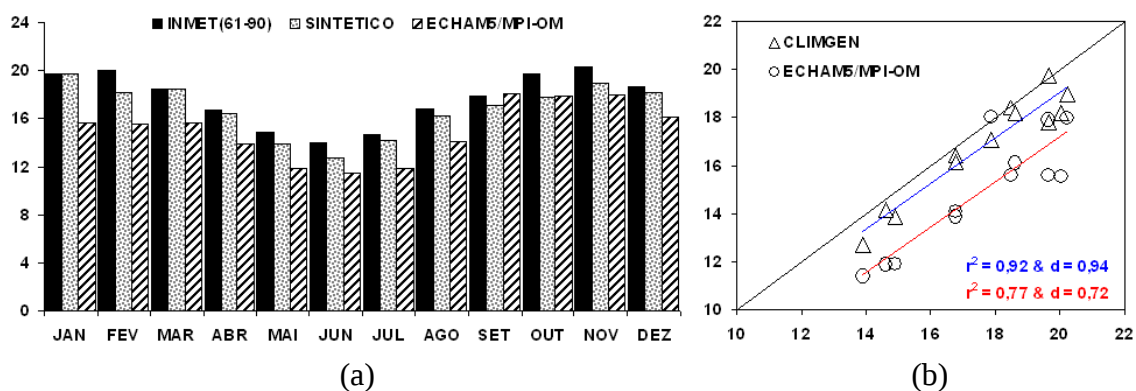
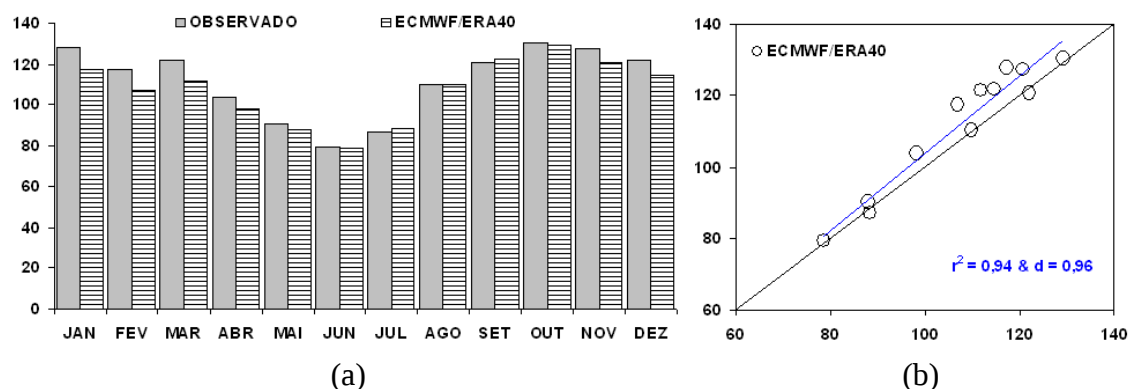


Figura 8G – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 9G – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados em reanálise do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

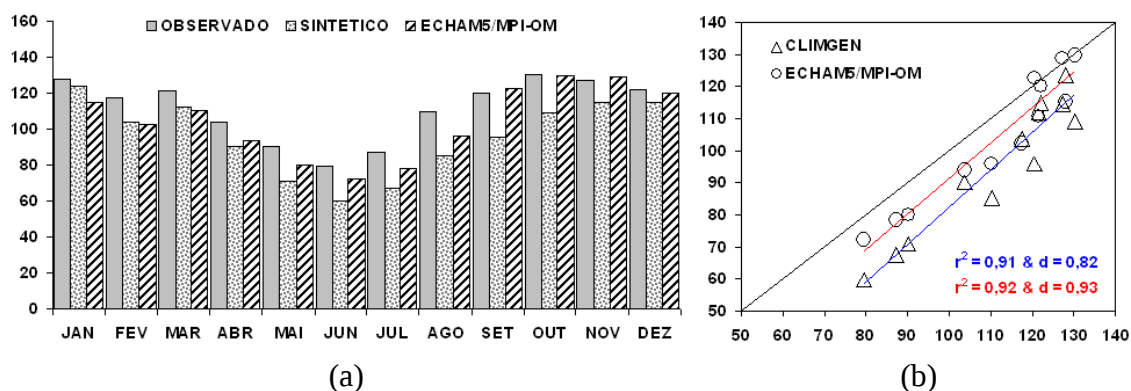


Figura 10G – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

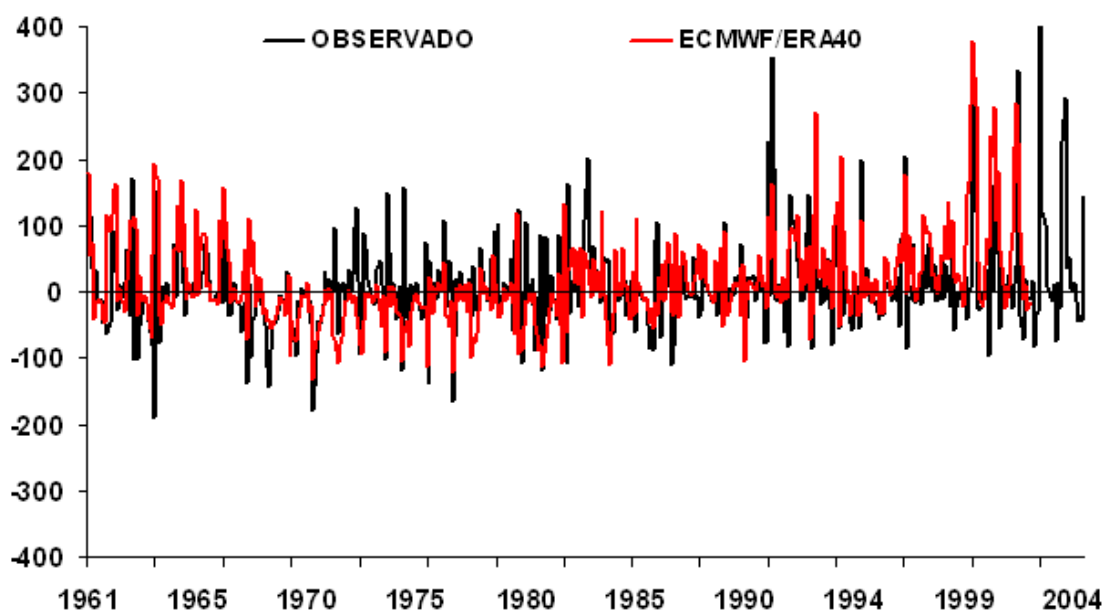


Figura 11G – Anomalias mensais de precipitação dos “registros observados e da reanálise do ECMWF/ERA40” para Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em mm/mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e de 1961 a 2004 para os registros observados – PRESENTE.

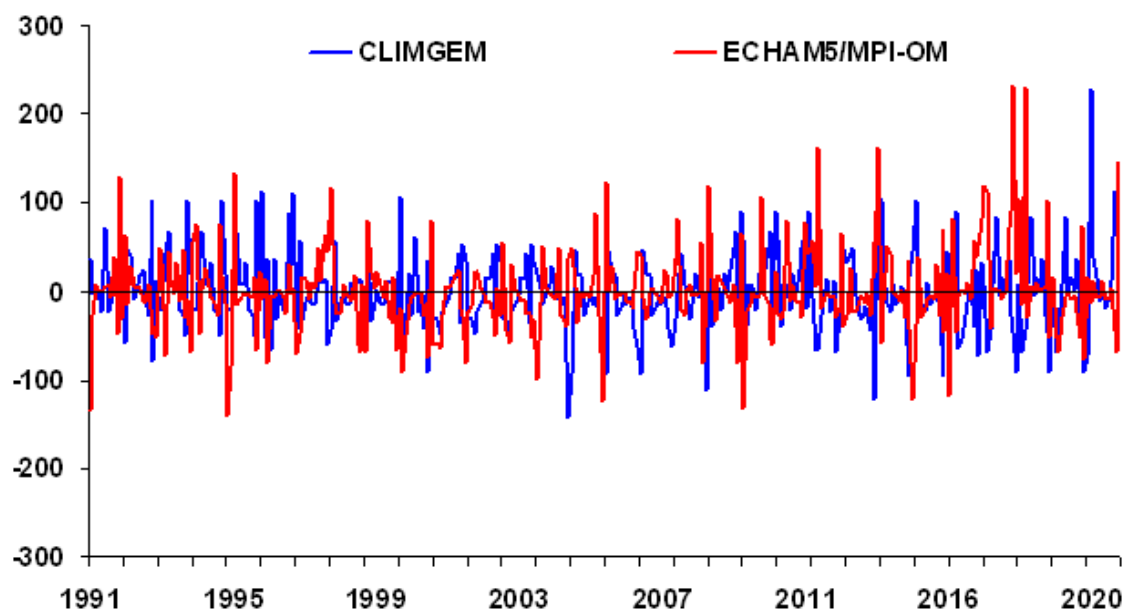


Figura 12G – Anomalias mensais de precipitação total dos “registros simulados pelo CLIMGEM (séries sintéticas) e o ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

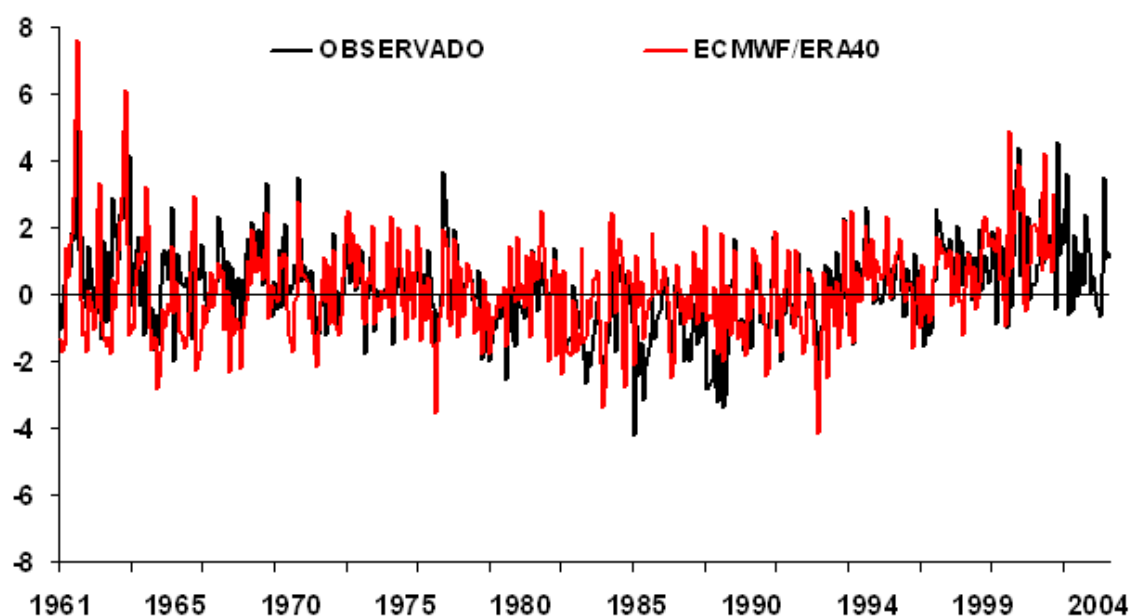


Figura 13G – Anomalias mensais de temperatura máxima dos “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a Mesorregião Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba (MR11), em °C, no período de 1961 a 2002, para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

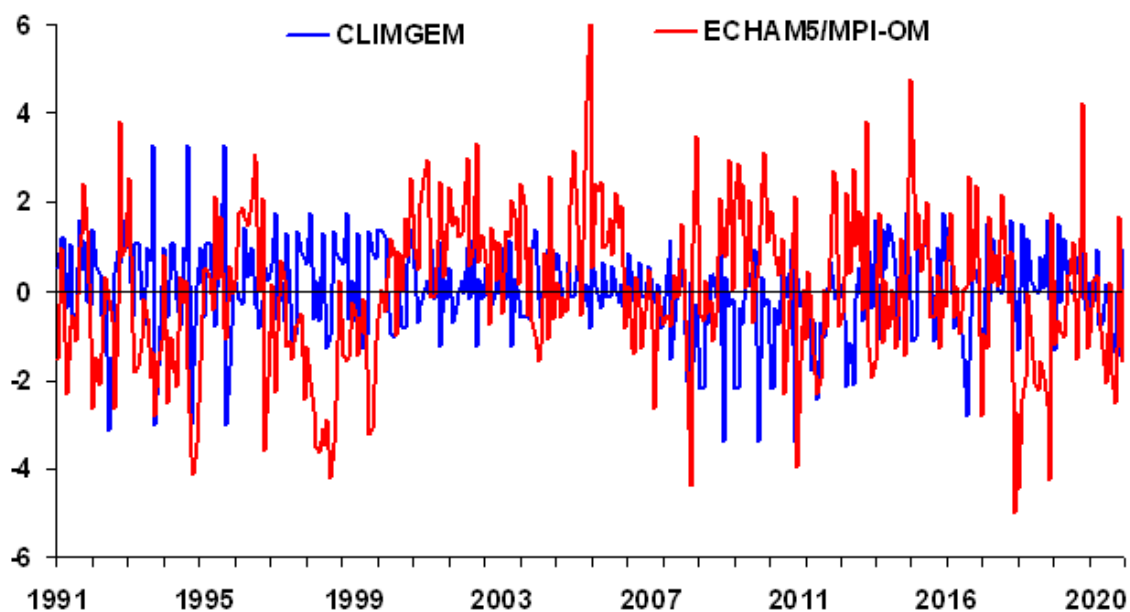


Figura 14G – Anomalias mensais de temperatura máxima a partir de “registros simulados pelo CLIMGEN (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

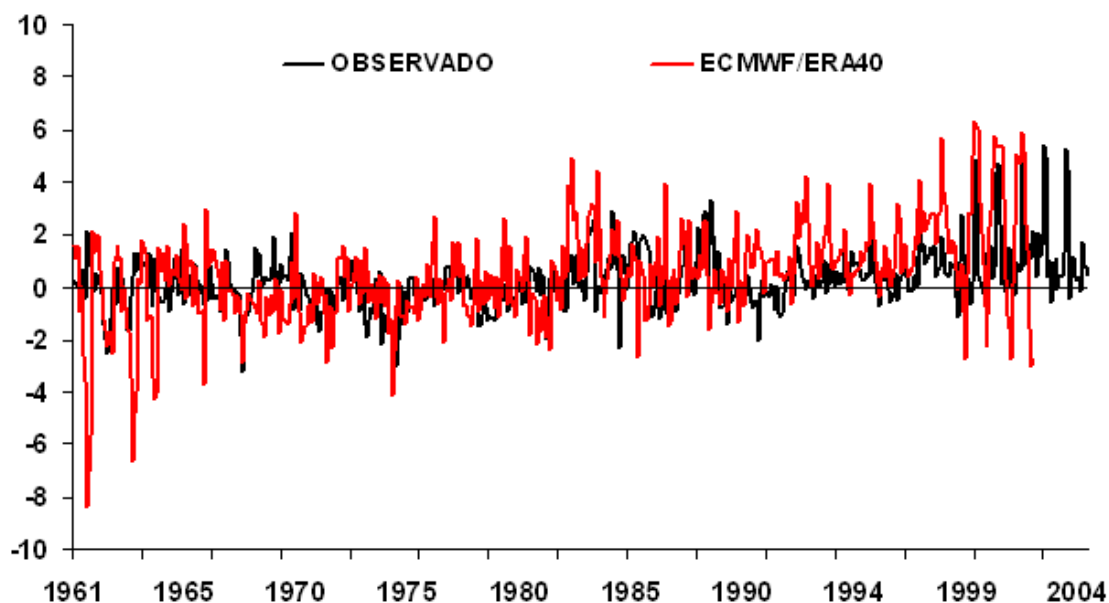


Figura 15G – Anomalias mensais de temperatura mínima de “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em °C, no período de 1961 a 2002, para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

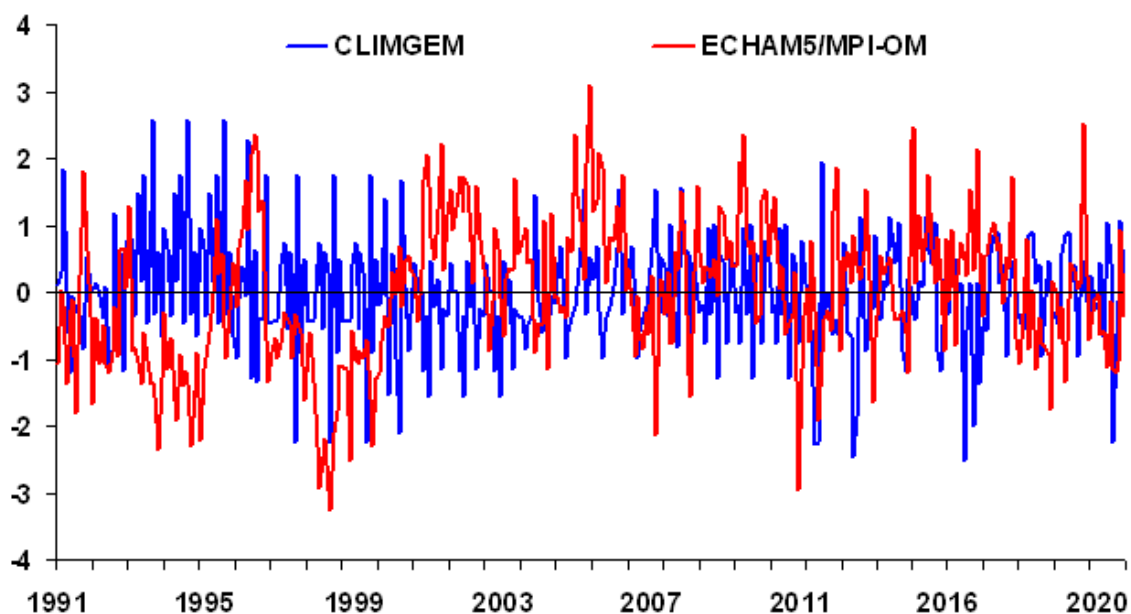


Figura 16G – Anomalias mensais de temperatura mínima dos registros simulados pelo CLIMGEN (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

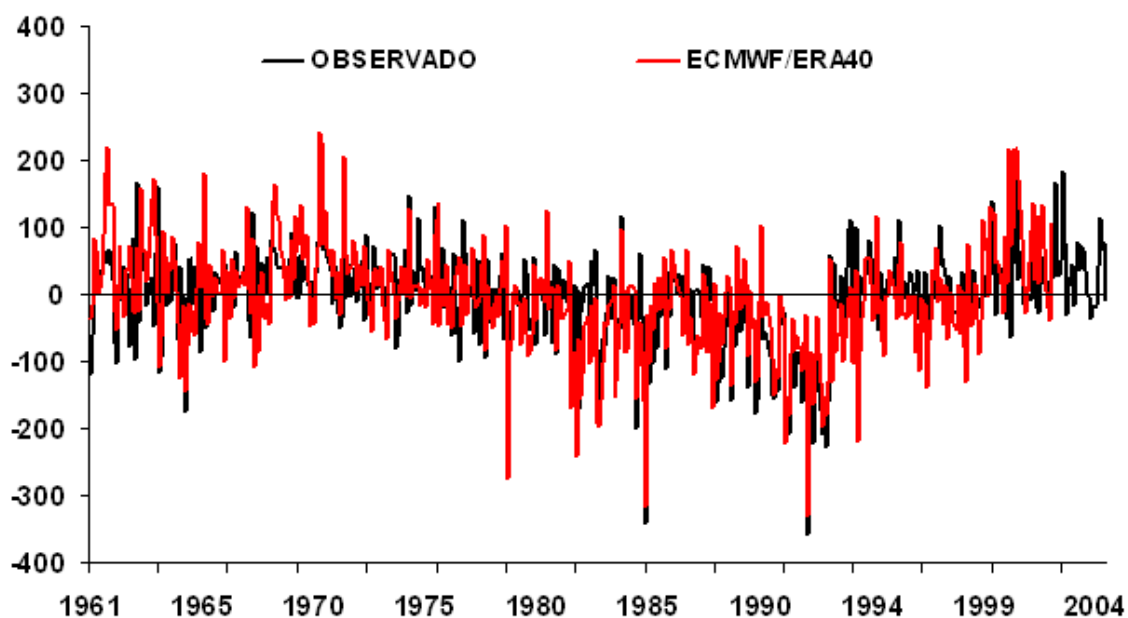


Figura 17G – Anomalias mensais de radiação global incidente dos registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40 para a Mesorregião Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba (MR11), em MJ/m²mês, no período de 1961 a 2002, para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

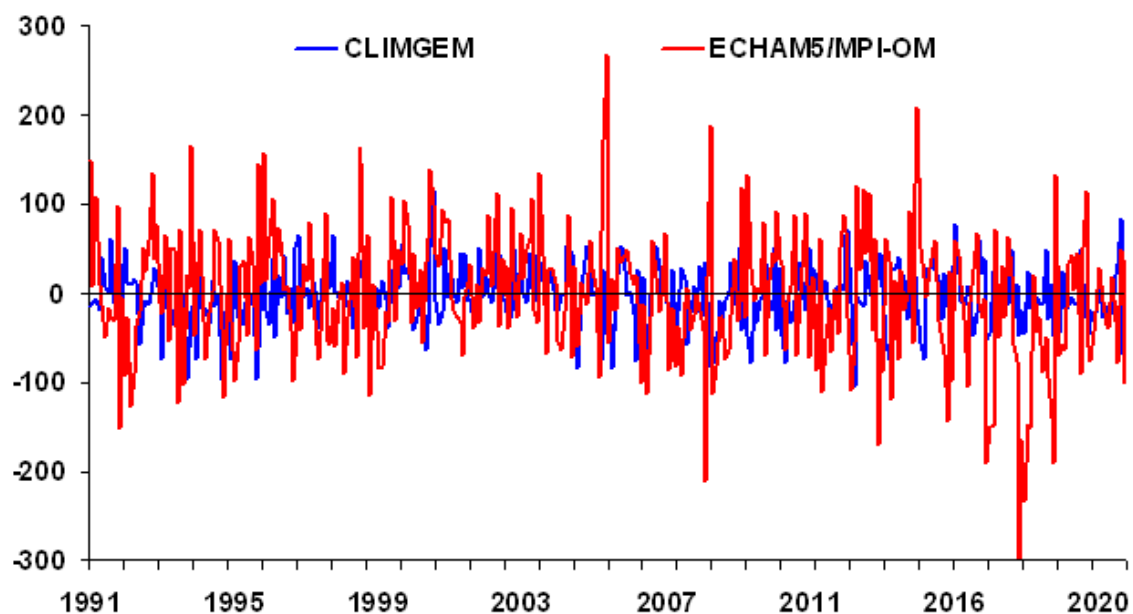


Figura 18G – Anomalias mensais de radiação global total dos registros simulados pelo CLIMGEN (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em MJ/m²mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

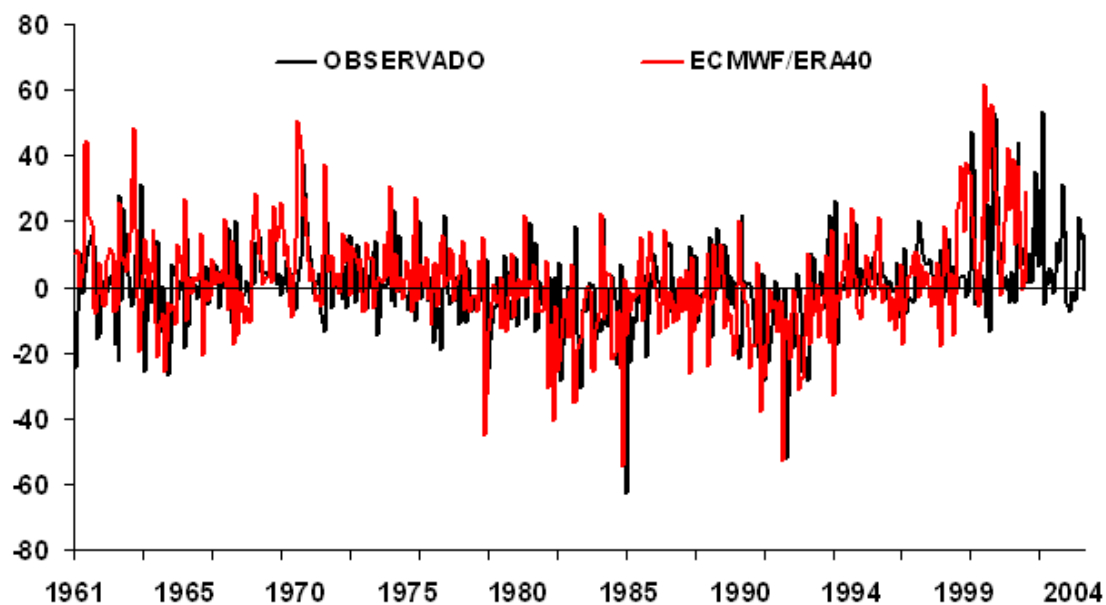


Figura 19G – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência dos registros observado e reanálise do ECMWF/ERA40 para Mesorregião Triângulo Mineiro/A. Paranaíba (MR11), em mm/mês. Período 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

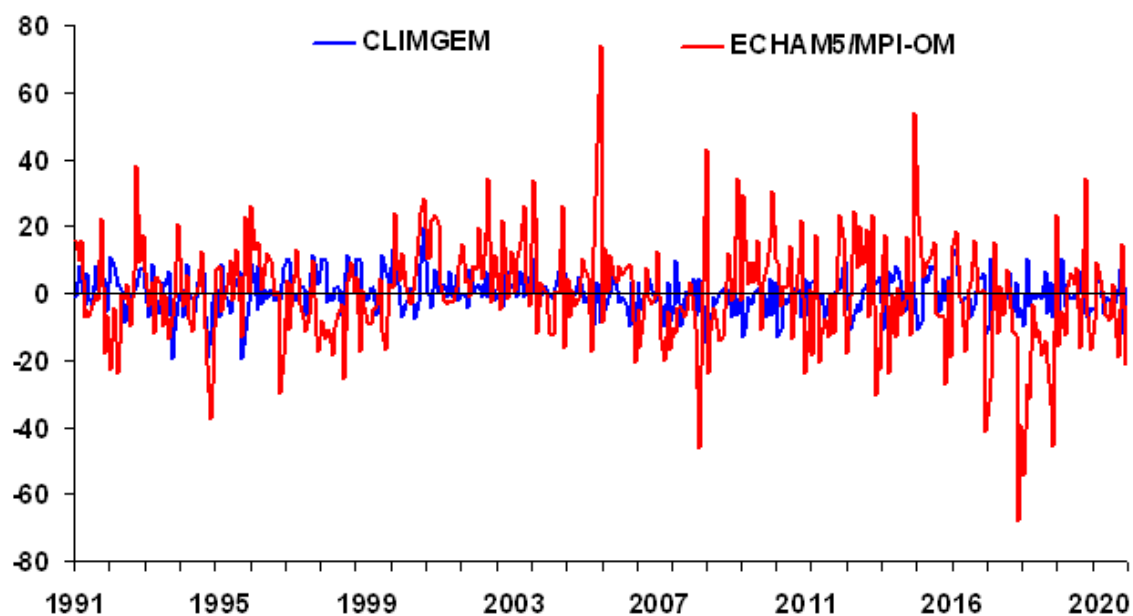


Figura 20G – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência estimada com registros meteorológicos simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

Quadro 1G – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11). Simulações dinâmicas por meio do Ceres-Maize (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros OBSERVADOS, CO₂ atmosférico em níveis atuais (NOAA, 2008), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1972-73	275	105	18	44	285	728	186	386	1471	0.46	2.3	243
1973-74	287	108	2	25	346	791	197	425	1424	0.52	1.9	234
1974-75	299	115	13	44	296	837	224	423	1408	0.59	2.6	302
1975-76	293	105	12	33	285	644	192	418	1453	0.43	2.4	245
1976-77	285	108	9	34	401	795	182	379	1458	0.53	2	221
1977-78	276	105	11	39	428	749	171	334	1457	0.53	2.8	249
1978-79	286	113	13	34	431	991	173	366	1439	0.52	2	207
1979-80	287	110	8	31	605	968	162	355	1463	0.48	2.3	221
1980-81	317	103	17	28	247	653	193	401	1456	0.47	2.5	246
1981-82	278	107	11	26	463	904	180	389	1457	0.51	1.9	190
1982-83	286	109	10	28	766	1138	149	358	1481	0.52	2.5	218
1983-84	286	110	13	35	276	752	178	369	1457	0.53	1.6	184
1984-85	294	109	12	36	289	717	141	309	1458	0.46	2	190
1985-86	308	107	17	42	540	869	189	336	1446	0.52	2.2	223
1986-87	312	111	26	58	415	774	181	358	1440	0.41	2.7	249
1987-88	276	105	19	57	376	684	166	333	1407	0.44	3	251
1988-89	275	113	14	42	473	758	163	364	1460	0.37	2.7	221
1989-90	286	109	21	48	240	765	191	386	1441	0.44	2.2	222
1990-91	276	105	23	59	436	633	181	375	1454	0.36	3.4	283
1991-92	275	104	12	46	364	556	163	349	1432	0.42	3	257
1992-93	277	106	19	37	305	727	184	390	1444	0.49	2.2	213
1993-94	280	106	0	30	589	790	151	365	1474	0.41	3.8	261
1994-95	302	100	16	33	440	879	174	352	1430	0.48	1.9	192
1995-96	288	106	9	29	334	643	185	389	1456	0.45	3.2	273
1996-97	301	105	8	24	503	1073	163	332	1462	0.51	1.6	170
1997-98	275	97	10	37	438	729	164	342	1429	0.43	3.1	250
1998-99	290	101	7	26	369	763	171	357	1436	0.51	2.3	216
1999-00	300	105	6	33	651	1068	162	363	1457	0.46	2.6	227
2000-01	314	102	17	31	206	758	184	400	1469	0.48	1.9	195
2001-02	283	101	8	35	448	734	163	343	1426	0.44	2.4	216
2002-03	306	101	5	24	597	920	168	350	1480	0.49	2.7	230
2003-04	311	103	8	16	451	858	159	366	1488	0.54	2.1	186

(a) Fases críticas: entre o o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 2G – Determinações biometeorológicas para cultivar BR201 para a Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11). Simulações do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros SINTÉTICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	281	121	15	49	371	940	200	453	1471	0.49	2.1	251
1992-93	282	121	21	51	397	851	202	462	1495	0.52	2.9	300
1993-94	319	121	13	37	369	972	176	439	1516	0.47	2.6	254
1994-95	319	121	13	37	369	972	176	439	1516	0.47	2.6	254
1995-96	319	125	21	41	314	1054	179	457	1510	0.51	2	237
1996-97	285	120	24	43	343	1018	217	468	1472	0.52	2	253
1997-98	276	120	25	68	339	750	212	455	1480	0.44	3.5	338
1998-99	276	120	25	68	339	750	212	455	1480	0.44	3.5	338
1999-00	276	119	17	60	469	880	208	451	1478	0.44	3.5	334
2000-01	276	123	18	69	485	842	193	461	1479	0.4	3.8	339
2001-02	274	120	17	58	396	862	198	416	1407	0.48	2.5	265
2002-03	274	120	17	58	396	862	198	416	1407	0.48	2.5	265
2003-04	274	123	14	55	462	928	208	426	1414	0.5	2.5	272
2004-05	280	122	18	62	272	493	197	420	1477	0.38	3.8	335
2005-06	295	120	14	45	313	694	190	416	1482	0.52	2.7	264
2006-07	295	120	14	45	313	694	189	415	1482	0.52	2.7	264
2007-08	295	122	15	48	374	743	189	421	1496	0.48	2.9	273
2008-09	289	130	15	57	450	846	182	410	1515	0.5	2.8	266
2009-10	277	124	12	42	543	1021	180	400	1464	0.55	2	227
2010-11	277	124	12	42	543	1021	180	399	1464	0.55	2	225
2011-12	277	121	18	48	469	947	198	417	1455	0.54	2	237
2012-13	300	127	12	47	498	1096	170	449	1532	0.48	3	285
2013-14	295	124	8	42	531	1045	182	410	1499	0.54	2.8	276
2014-15	308	124	11	31	463	1163	172	425	1522	0.52	2.1	226
2015-16	308	119	19	44	423	1031	186	446	1514	0.49	2.7	262
2016-17	284	124	17	61	234	803	181	382	1444	0.5	2	221
2017-18	302	124	19	59	316	779	188	421	1510	0.53	2.7	260
2018-19	302	124	19	59	316	779	188	420	1510	0.53	2.7	259
2019-20	302	124	18	57	552	991	184	415	1524	0.52	2.7	252

(a) Fases críticas: entreo o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 3G – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros DINÂMICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	305	108	24	62	300	643	153	345	1577	0.35	2.8	219
1992-93	361	107	43	73	34	460	68	269	1572	0.31	2.6	144
1993-94	330	107	20	54	235	574	170	357	1549	0.44	3.2	269
1994-95	291	110	28	67	74	354	160	308	1468	0.45	2.4	194
1995-96	280	98	26	72	143	297	150	293	1469	0.37	2.3	208
1996-97	301	106	22	54	187	458	161	332	1540	0.39	2.7	219
1997-98	278	105	13	53	395	578	158	321	1505	0.38	3.2	252
1998-99	338	111	20	49	263	584	163	361	1563	0.42	2.5	223
1999-00	324	107	35	71	40	315	126	314	1549	0.44	2.9	211
2000-01	293	95	20	73	339	352	127	221	1498	0.28	2.1	147
2001-02	299	94	22	62	163	318	156	290	1502	0.44	2.5	210
2002-03	310	100	17	53	218	481	155	319	1555	0.43	3.5	269
2003-04	278	92	25	70	146	181	122	226	1440	0.37	1.9	163
2004-05	328	99	17	41	298	585	154	307	1506	0.43	2.8	233
2005-06	274	84	24	72	54	91	48	155	1387	0.15	2	103
2006-07	309	99	20	52	265	612	142	280	1541	0.47	2	173
2007-08	283	98	22	65	310	415	146	296	1446	0.27	3.2	223
2008-09	278	95	20	62	297	374	125	242	1432	0.29	2.1	144
2009-10	348	94	33	68	122	297	102	263	1493	0.32	3.3	191
2010-11	333	92	19	46	127	430	145	298	1472	0.37	2.6	203
2011-12	286	103	15	56	376	597	128	293	1458	0.28	3	215
2012-13	281	96	22	62	178	335	147	314	1506	0.33	3.5	262
2013-14	290	104	15	53	204	627	170	330	1509	0.49	2.7	221
2014-15	294	88	28	67	77	190	70	225	1404	0.18	2.8	141
2015-16	289	99	24	63	113	319	157	301	1470	0.38	3.1	231
2016-17	275	97	20	48	362	573	120	305	1481	0.43	3.2	203
2017-18	279	109	14	34	429	918	89	213	1512	0.38	1.2	71
2018-19	289	100	19	57	304	532	124	255	1460	0.33	2.2	146
2019-20	326	104	26	61	220	526	136	292	1546	0.34	2.5	183

(a) Fases críticas: entre o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

APÊNDICE H

MESORREGIÃO DO DA ZONA DA MATA MINEIRA – MR12

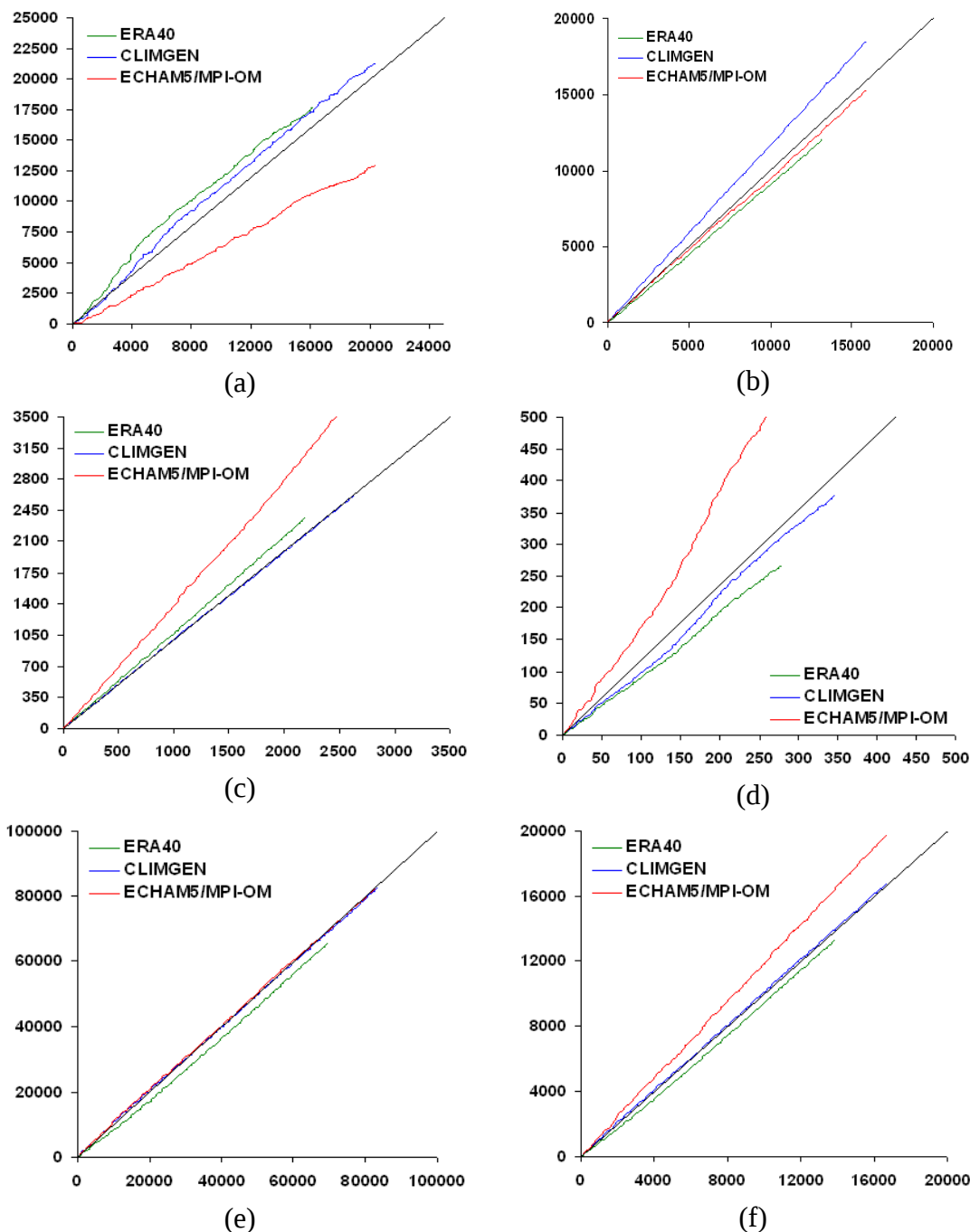
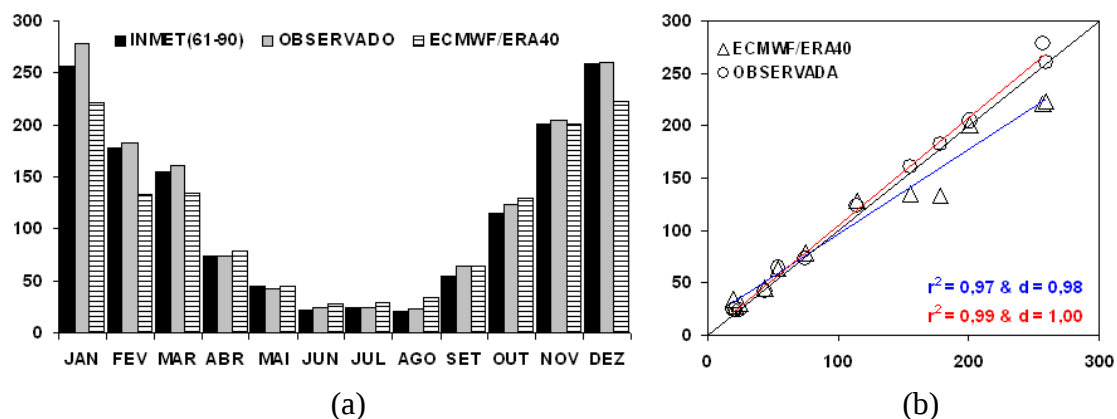
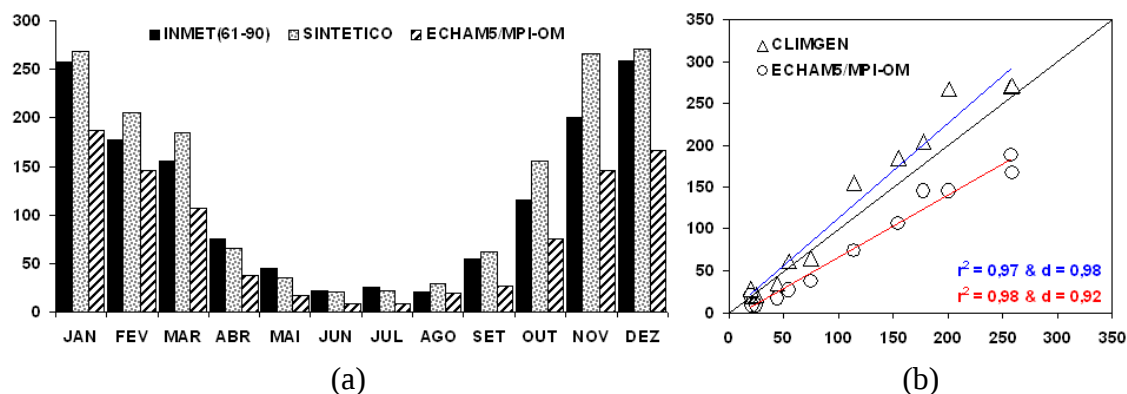


Figura 1H – Análise de inconsistências entre as séries meteorológicas na Mesorregião da Zona da Mata Mineira (MR12) por meio do teste da dupla-massa: (a) precipitação total, em mm/mês; (b) temperatura máxima, em °C; (c) temperatura mínima, em °C; (d) velocidade do vento, m/s; (e) radiação global, MJ/m²mês; e (f) evapotranspiração de referência, mm/mês (No eixo “X” dados observados e a linha 1:1 em preto).



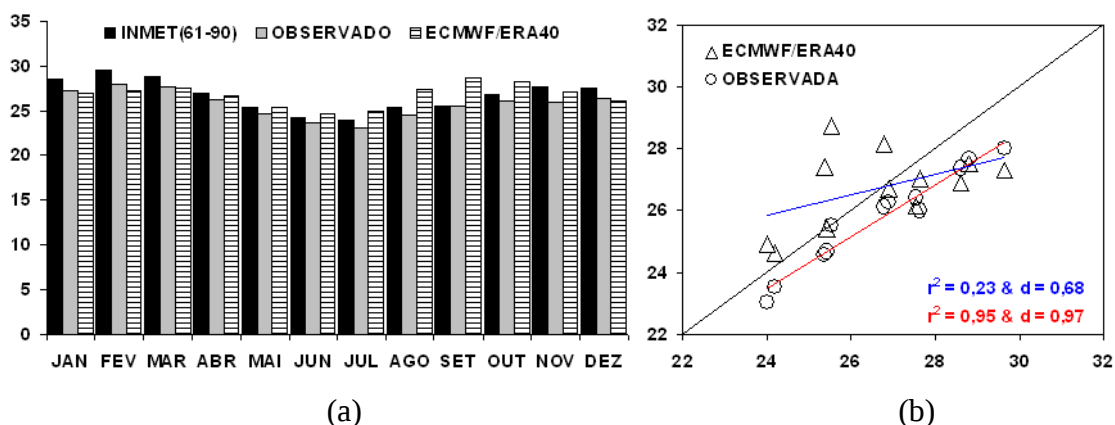
Fonte: Brasil (1992).

Figura 2H – Climatologia da precipitação acumulada mensal da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em mm, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 3H – Climatologia da precipitação acumulada mensal da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em mm, no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 4H – Climatologia da temperatura máxima da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em °C, no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

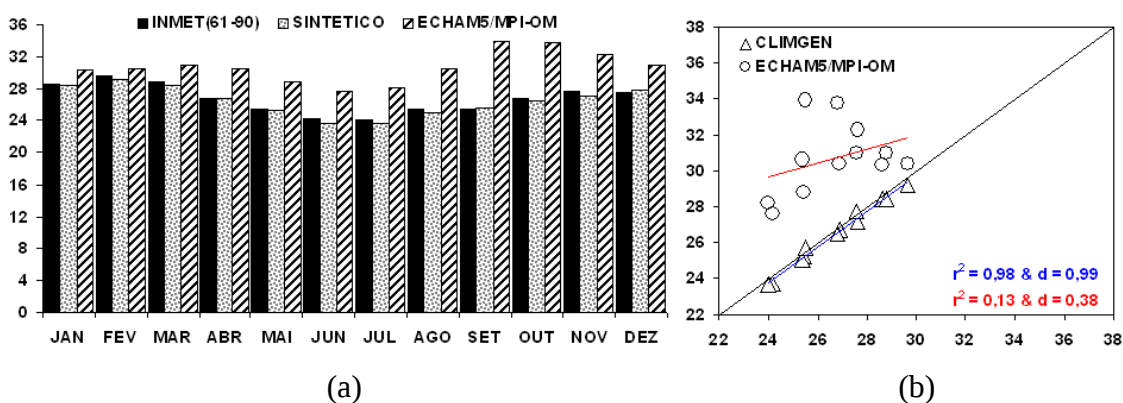
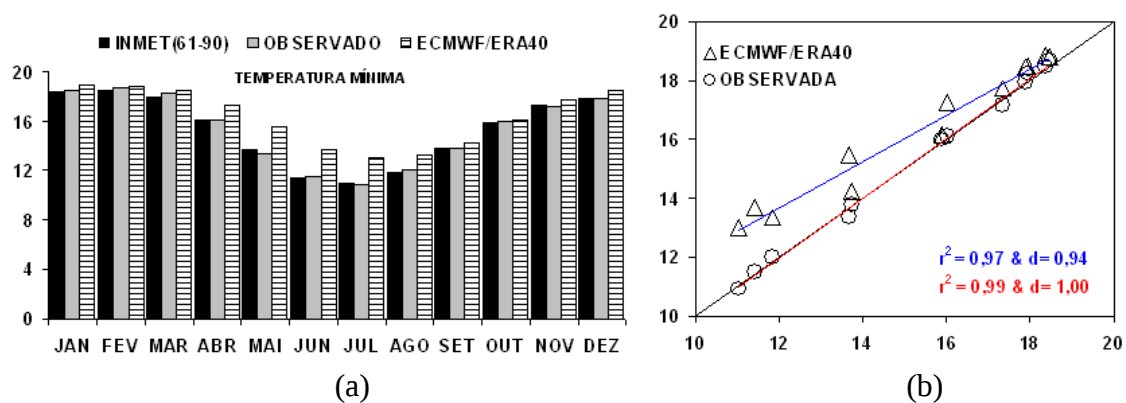


Figura 5H – Climatologia da temperatura máxima, em °C, da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 6H – Climatologia da temperatura mínima, °C, da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

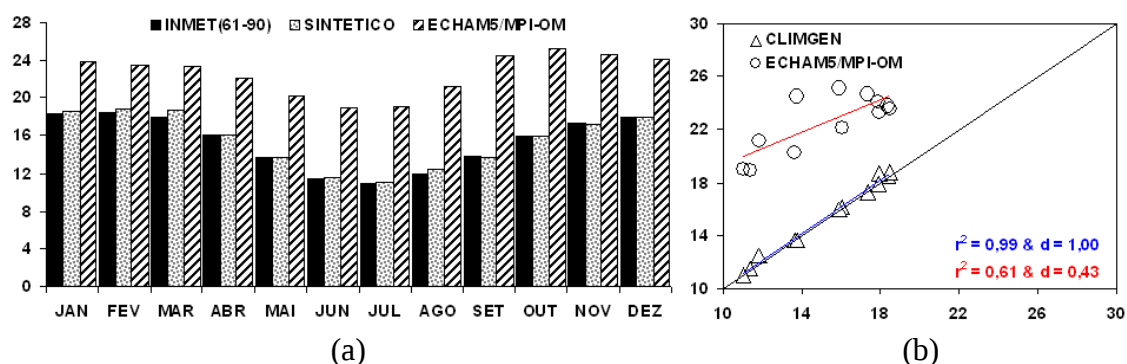
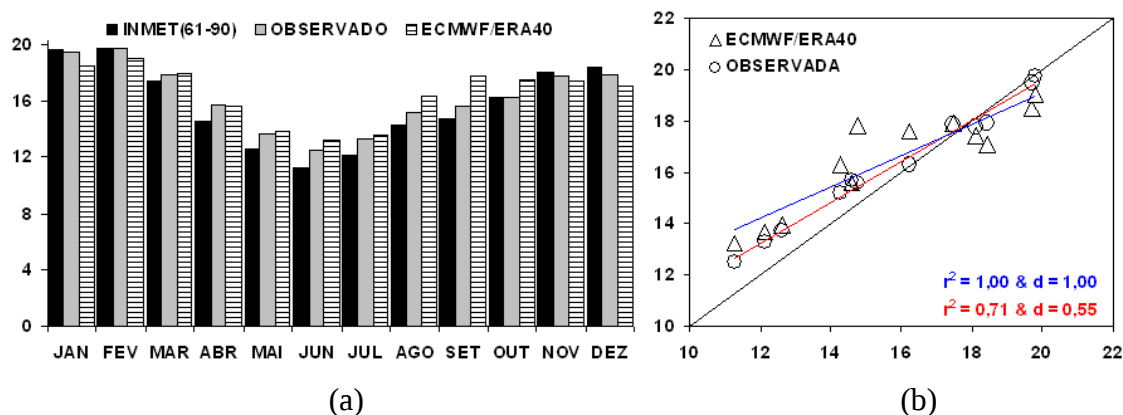


Figura 7H – Climatologia da temperatura mínima, em °C, da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 8H – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados observados e do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

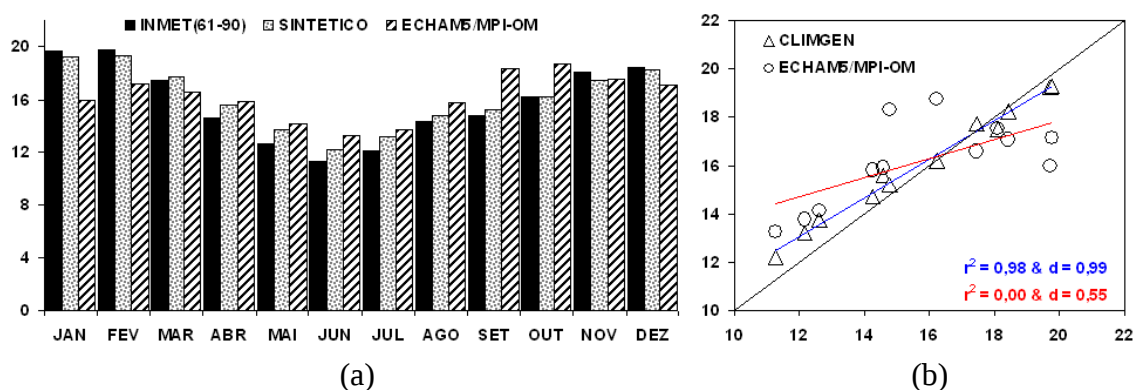
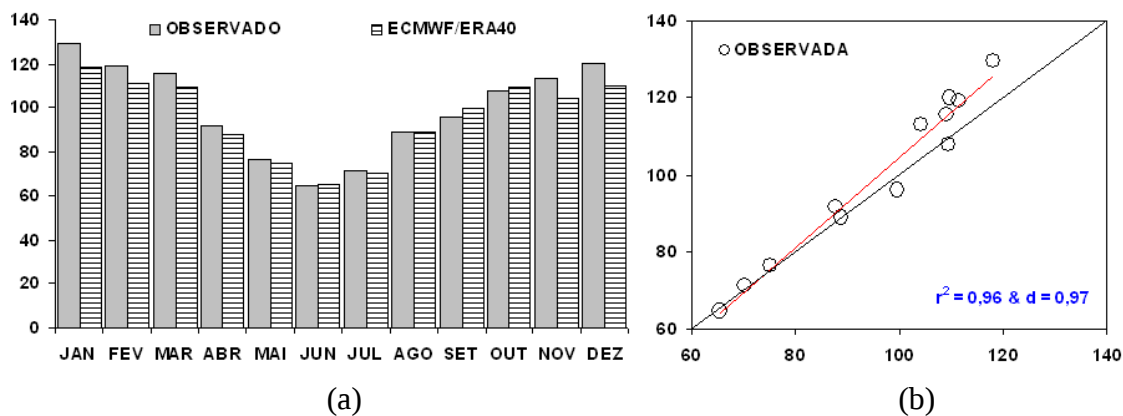


Figura 9H – Climatologia da radiação global incidente, em MJ/m²d, da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).



Fonte: Brasil (1992).

Figura 10H – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), no período de 1961 a 1990 – PRESENTE (a); validações das séries de dados em reanálise do ECMWF/ERA40 (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

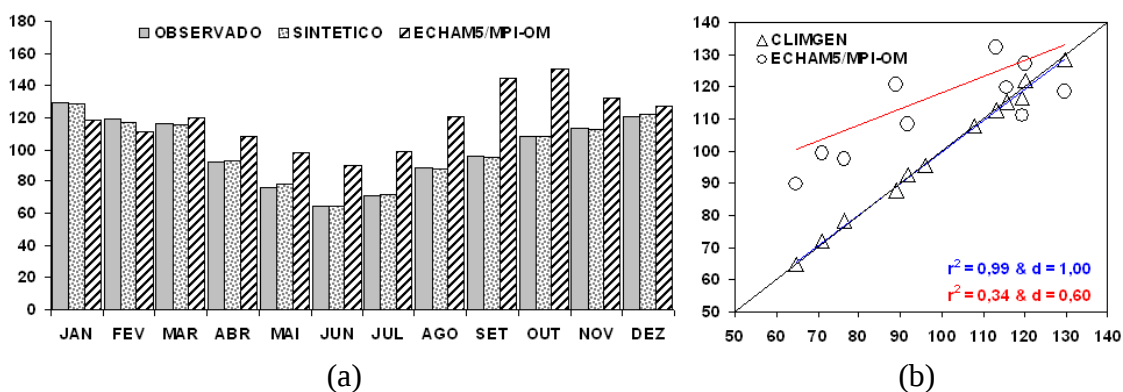


Figura 11H – Climatologia da evapotranspiração de referência mensal, em mm, da Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), no período de 1991 a 2020 – FUTURO (a); validações entre as climatologias das séries simuladas pelo CLIMGEN e o ECHAM5/MPI-OM (na abscissa climatologia oficial do INMET) (b).

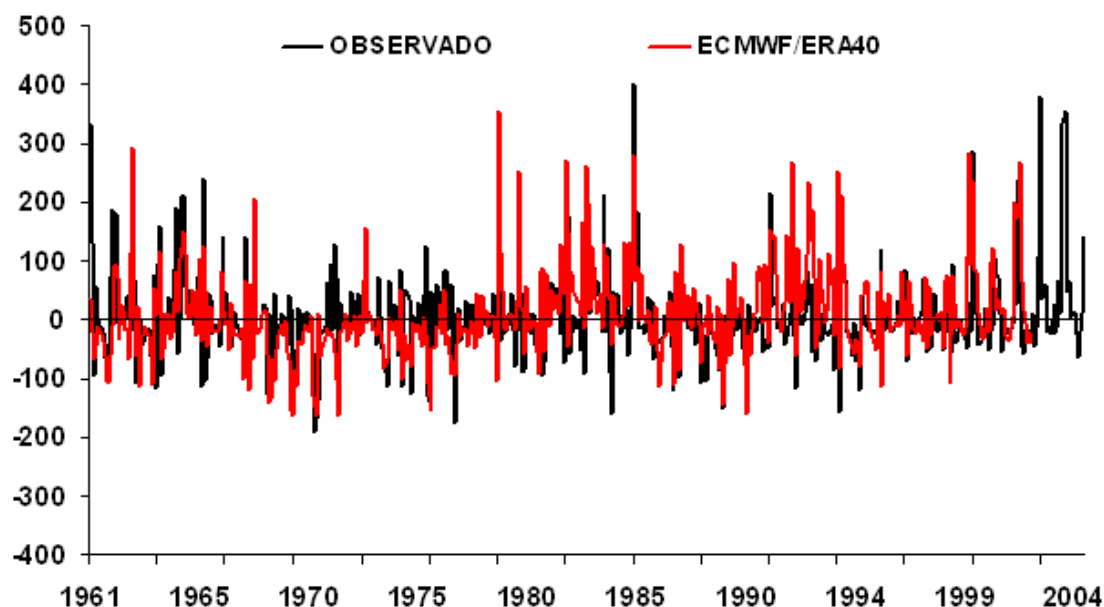


Figura 12H – Anomalias mensais de precipitação dos “registros observados e da reanálise do ECMWF/ERA40” para Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em mm/mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e de 1961 a 2004 para os registros observados – PRESENTE.

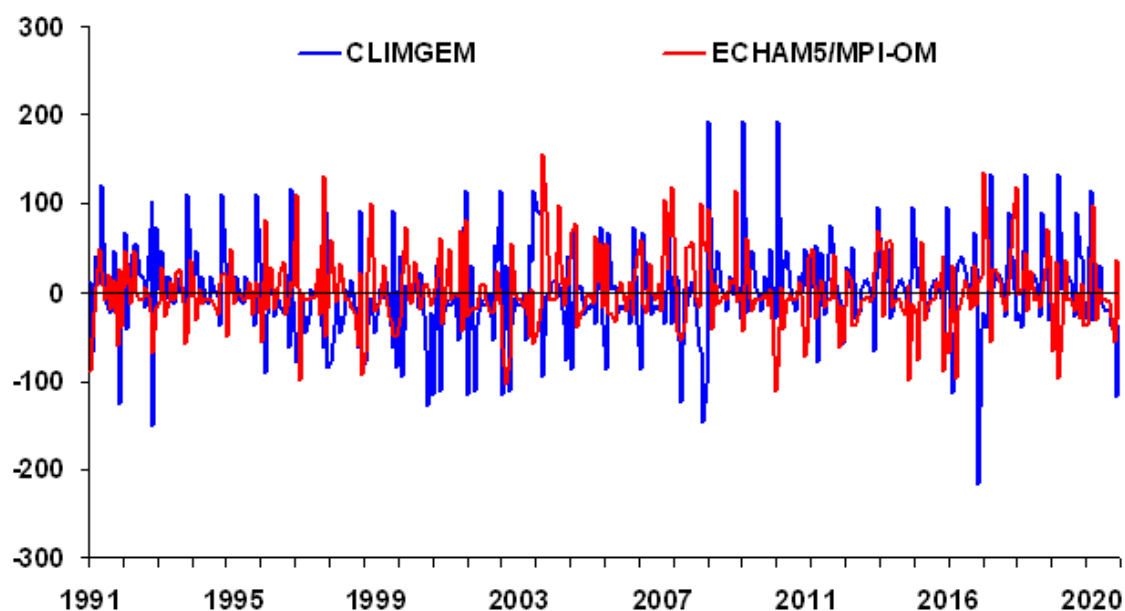


Figura 13H – Anomalias mensais de precipitação total dos “registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e o ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em mm/mês. Período 1991 a 2020 – FUTURO.

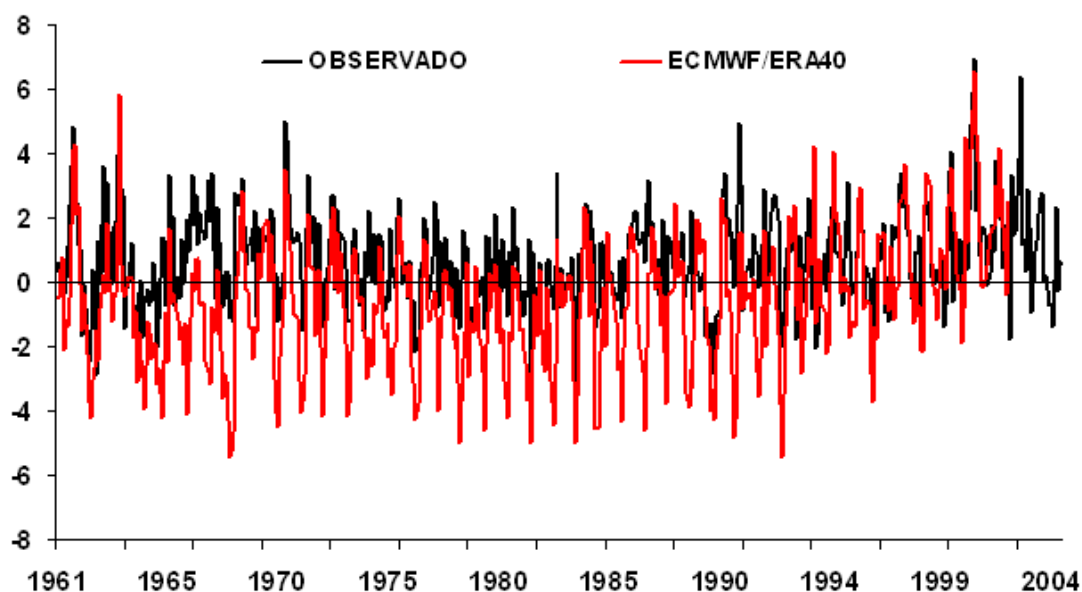


Figura 14H – Anomalias mensais de temperatura máxima dos “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em °C, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

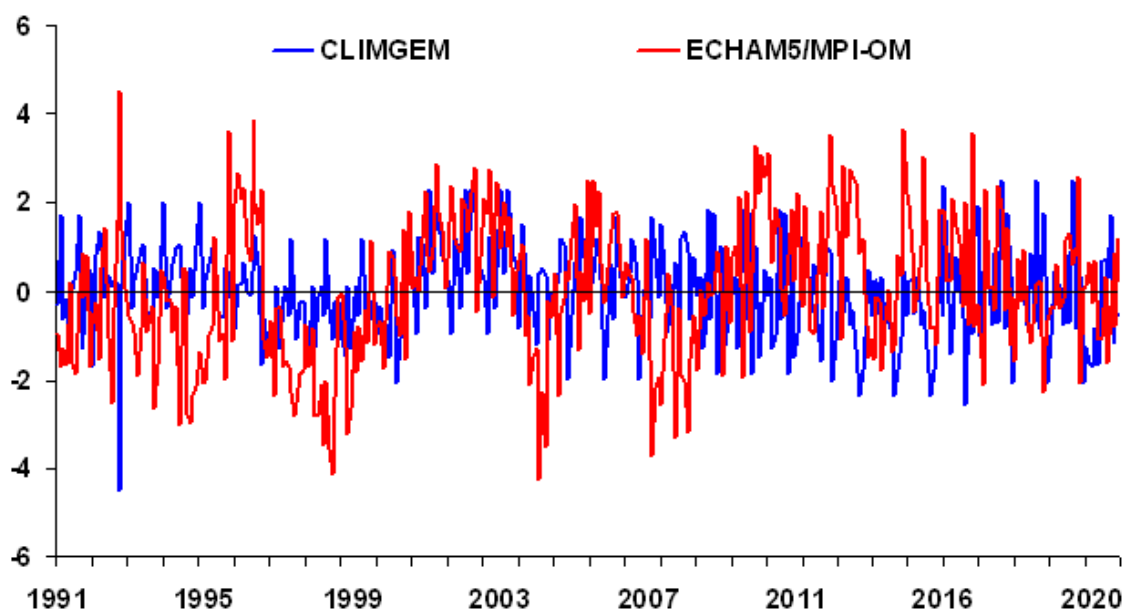


Figura 15H – Anomalias mensais de temperatura máxima a partir de “registros simulados pelo CLIMGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica)” para Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

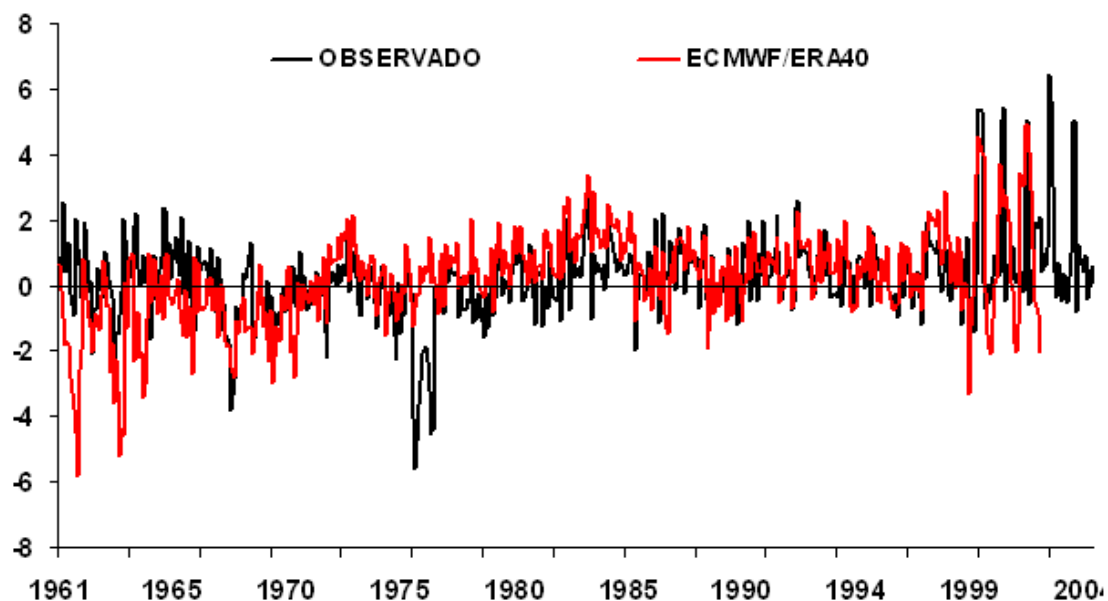


Figura 16H – Anomalias mensais de temperatura mínima de “registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40” para a Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em °C, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

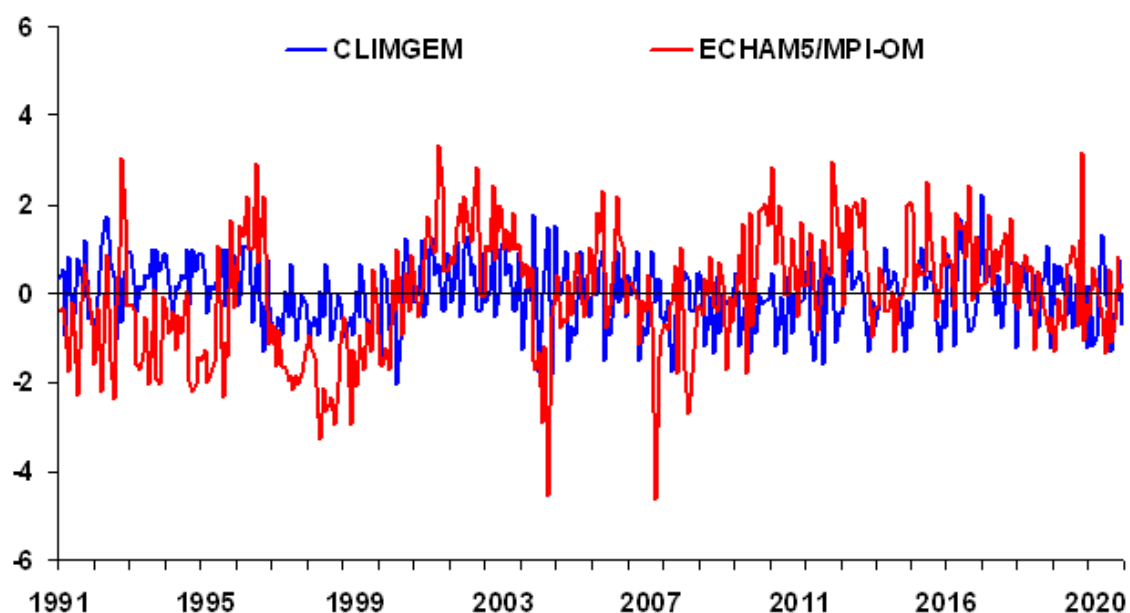


Figura 17H – Anomalias mensais de temperatura mínima dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em °C, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

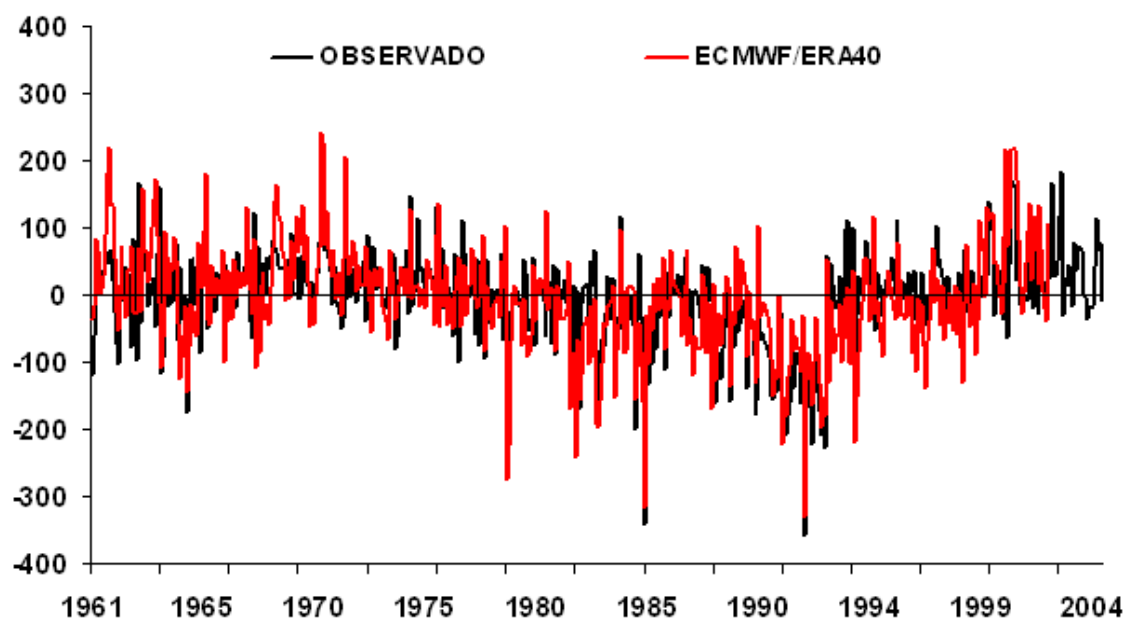


Figura 18H – Anomalias mensais de radiação global incidente dos registros observados e de reanálise do ECMWF/ERA40 para a Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em MJ/m²mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

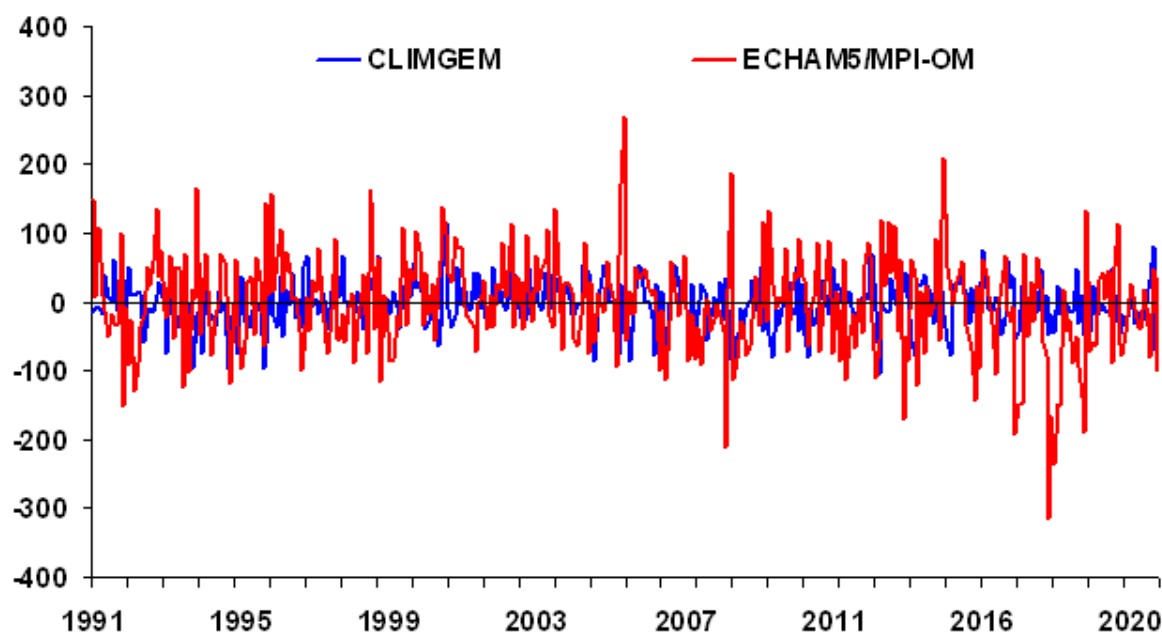


Figura 19H – Anomalias mensais de radiação global total dos registros simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em MJ/m²mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

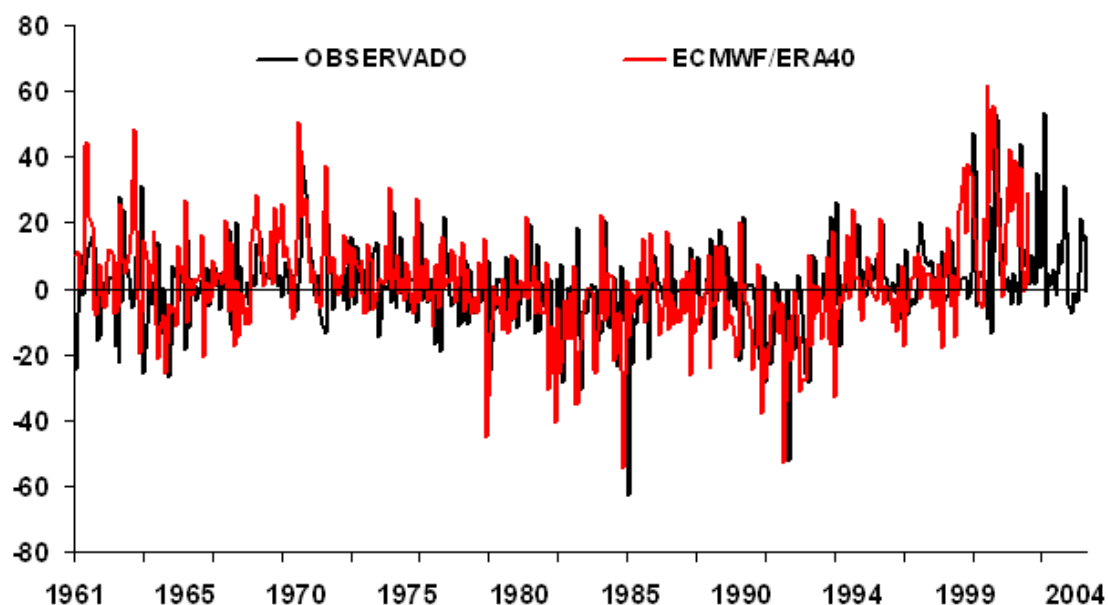


Figura 20H – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência dos registros observado e reanálise do ECMWF/ERA40 para Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em mm/mês, no período de 1961 a 2002 para ECMWF/ERA40 e 1961 a 2004 para o observado – PRESENTE.

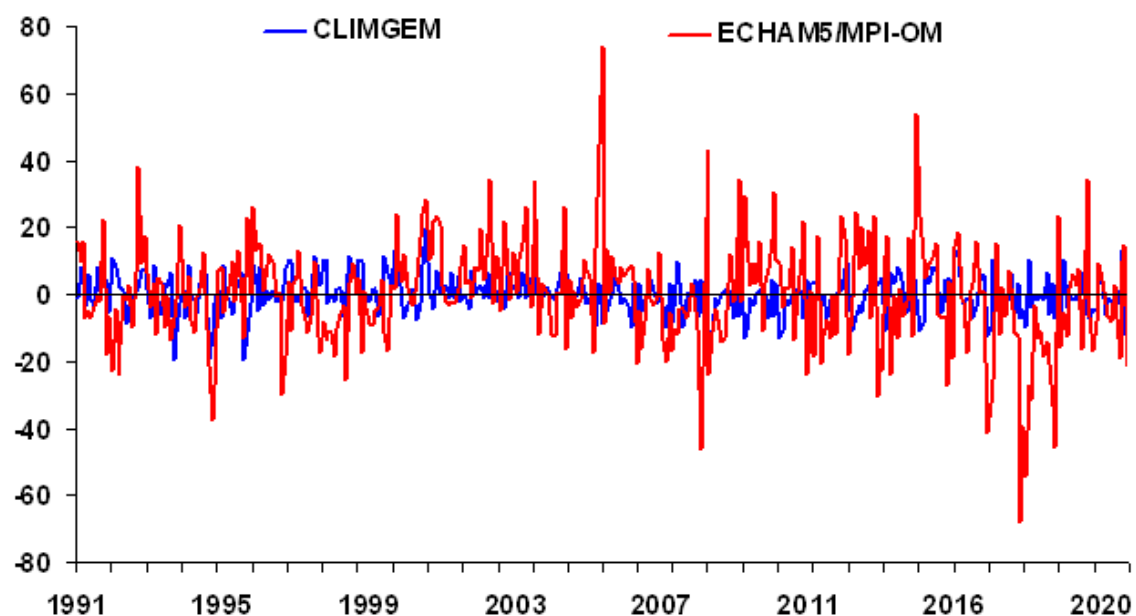


Figura 21H – Anomalias mensais de evapotranspiração de referência estimada com registros meteorológicos simulados pelo CLINGEM (séries sintéticas) e ECHAM5/MPI-OM (série dinâmica) para Mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12), em mm/mês, no período de 1991 a 2020 – FUTURO.

Quadro 1H – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na Mesorregião da Zona da Mata Mineira (MR12). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros OBSERVADOS, CO₂ atmosférico em níveis atuais (NOAA, 2008), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1972-73	279	112	16	48	323	767	193	364	1401	0.53	1.4	194
1973-74	283	114	17	46	273	752	176	357	1382	0.55	1.1	155
1974-75	292	116	9	39	573	992	181	361	1409	0.56	1.3	170
1975-76	278	118	30	61	309	744	229	401	1422	0.55	1.6	244
1976-77	285	124	28	63	215	879	152	374	1359	0.57	1	169
1977-78	281	116	24	54	367	803	150	324	1440	0.58	1.2	162
1978-79	285	119	10	34	588	1045	177	363	1409	0.65	1.2	160
1979-80	305	112	17	40	434	862	151	327	1433	0.51	1.3	148
1980-81	286	110	12	41	325	696	177	335	1420	0.52	1.3	165
1981-82	295	117	20	32	390	864	150	341	1431	0.57	0.9	119
1982-83	285	110	5	31	268	1007	137	306	1408	0.57	0.8	100
1983-84	274	115	18	50	258	822	151	322	1423	0.59	1.1	152
1984-85	295	116	7	34	918	1391	150	302	1478	0.58	1.3	137
1985-86	274	108	15	46	243	755	142	276	1309	0.6	0.9	123
1986-87	312	107	25	52	280	758	156	319	1440	0.47	1.6	181
1987-88	303	110	24	48	270	771	132	294	1453	0.54	1.1	137
1988-89	311	118	20	57	227	500	180	332	1493	0.51	2	205
1989-90	274	119	21	59	363	705	179	353	1347	0.5	1.4	181
1990-91	297	108	14	41	580	904	155	313	1470	0.57	1.5	155
1991-92	276	113	11	50	618	845	168	321	1420	0.53	2	195
1992-93	279	112	15	35	334	841	154	322	1375	0.57	1	127
1993-94	279	117	15	60	515	738	162	330	1414	0.42	2.4	232
1994-95	281	104	25	65	335	691	161	316	1362	0.47	1.5	176
1995-96	295	115	18	47	486	978	153	325	1463	0.53	1.4	154
1996-97	280	110	12	47	165	902	119	263	1356	0.61	0.9	115
1997-98	276	104	12	46	271	790	145	313	1391	0.58	1.1	134
1998-99	276	108	12	34	183	697	156	322	1309	0.57	1	127
1999-00	294	116	17	43	379	928	153	323	1415	0.57	1.2	135
2000-01	304	109	23	41	234	704	156	331	1450	0.58	1	129
2001-02	277	113	17	52	515	916	156	308	1380	0.5	1.4	144
2002-03	276	105	12	53	359	989	141	297	1384	0.56	1	130
2003-04	282	111	24	52	602	1215	144	297	1395	0.63	1	111

(a) Fases críticas: entre o o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 2H – Determinações biometeorológicas para cultivar BR201 para a Mesorregião da Zona da Mata Mineira (MR12). Simulações do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros SINTÉTICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	289	118	14	48	457	882	205	406	1438	0.52	1.9	237
1992-93	276	112	15	44	475	909	187	377	1364	0.56	1.2	163
1993-94	284	109	18	38	364	1037	169	355	1431	0.62	0.9	131
1994-95	284	109	18	38	364	1037	169	355	1431	0.62	0.9	131
1995-96	284	113	20	40	360	1033	170	355	1438	0.64	0.9	128
1996-97	297	120	27	62	316	991	170	355	1484	0.58	1.2	164
1997-98	291	120	27	62	299	860	177	371	1496	0.59	1.4	186
1998-99	291	120	27	62	299	860	176	370	1496	0.59	1.4	186
1999-00	291	119	21	56	341	903	174	369	1484	0.57	1.4	184
2000-01	292	115	17	50	309	703	195	405	1497	0.53	1.8	227
2001-02	290	110	19	37	363	1025	175	377	1434	0.57	1	133
2002-03	290	110	19	37	363	1025	175	376	1434	0.57	1	133
2003-04	290	111	17	35	541	1203	178	380	1428	0.58	1	135
2004-05	278	117	19	49	374	752	174	370	1460	0.52	1.5	183
2005-06	278	114	15	44	279	922	177	380	1434	0.58	1.1	147
2006-07	278	114	15	44	279	922	176	379	1434	0.58	1.1	146
2007-08	278	114	16	45	389	1032	190	392	1443	0.58	1.1	155
2008-09	288	112	13	50	575	843	181	336	1413	0.4	1.7	185
2009-10	290	116	12	39	581	1219	176	387	1471	0.57	1.1	140
2010-11	290	116	12	39	581	1219	175	386	1471	0.57	1.1	138
2011-12	290	115	22	49	446	1084	155	366	1462	0.61	1.1	140
2012-13	275	120	19	52	429	896	188	384	1431	0.6	1.3	173
2013-14	274	116	18	56	547	971	199	372	1380	0.56	1.7	211
2014-15	274	116	18	56	547	971	199	370	1380	0.56	1.7	210
2015-16	274	112	13	51	513	936	193	364	1342	0.53	1.7	201
2016-17	277	113	19	62	296	649	165	327	1456	0.52	2.1	210
2017-18	287	118	20	44	342	978	153	361	1449	0.53	1	117
2018-19	287	118	20	44	342	978	152	359	1449	0.53	1	115
2019-20	287	121	18	42	409	1045	154	360	1456	0.58	1	113

(a) Fases críticas: entreo o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

Quadro 3H – Estimativas biometeorológicas para cultivar BR201 na Mesorregião da Zona da Mata Mineira (MR12). Simulações dinâmicas por meio do *Ceres-Maize* (DSSAT) com adoção de séries meteorológicas em registros DINÂMICOS, CO₂ atmosférico em projeções (IPCC, 2000 e 2007), adubação mínima (COELHO, 2006) e solos agrícolas predominantes

Safras	Plantio	Ciclo	NDSC		PREC		ETc		GDAC	HIAM	LAIX	EPCM
			(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)				
1991-92	308	100	11	41	310	586	140	311	1627	0.41	1.5	155
1992-93	298	93	14	53	285	403	102	178	1618	0.16	0.4	10
1993-94	321	95	17	36	238	566	73	214	1569	0.14	0.4	7
1994-95	284	95	13	44	218	481	157	295	1496	0.53	1.9	176
1995-96	276	86	17	47	163	346	85	167	1465	0.2	0.3	6
1996-97	302	95	7	29	318	626	138	299	1557	0.52	1.4	143
1997-98	277	95	18	59	280	552	112	221	1526	0.32	1.6	122
1998-99	319	97	18	51	233	398	157	305	1580	0.35	1.9	181
1999-00	286	90	21	59	142	265	76	147	1522	0.28	0.5	20
2000-01	280	87	14	45	183	382	86	168	1516	0.16	0.3	8
2001-02	300	89	17	39	206	503	65	167	1506	0.17	0.6	19
2002-03	306	89	15	38	146	385	79	192	1539	0.19	0.5	11
2003-04	314	92	15	41	142	378	75	190	1575	0.19	0.4	7
2004-05	275	90	15	47	256	422	136	280	1454	0.32	1.9	169
2005-06	274	86	14	38	176	415	73	181	1489	0.18	0.6	17
2006-07	307	85	7	34	207	390	76	154	1471	0.24	0.2	5
2007-08	274	97	9	42	364	605	118	253	1504	0.42	2	157
2008-09	283	94	9	29	317	632	94	248	1518	0.36	1	70
2009-10	280	90	17	46	198	406	131	288	1500	0.39	1.7	158
2010-11	298	85	22	56	91	254	59	129	1535	0.23	0.5	14
2011-12	320	89	19	42	139	446	55	164	1515	0.16	0.6	12
2012-13	317	91	12	39	243	516	120	250	1597	0.43	1.2	109
2013-14	297	95	9	31	333	648	120	255	1559	0.48	1.4	114
2014-15	297	82	16	43	155	290	91	192	1489	0.27	0.9	53
2015-16	288	86	23	57	110	289	41	119	1506	0.22	0.4	12
2016-17	287	86	14	41	267	443	74	154	1497	0.26	0.4	7
2017-18	291	92	10	29	361	734	108	251	1557	0.53	1	88
2018-19	288	94	7	27	292	614	126	285	1542	0.51	1.4	123
2019-20	296	91	18	48	220	441	119	262	1519	0.42	1.6	130

(a) Fases críticas: entreo o início da floração e final do enchimento grãos; (b) ciclo total; Plantio: data de plantio mesorregional devido o início das chuvas (COSTA, 1994) em dias juliano; NDSC: número de dias sem chuva (< 1,0 mm); PREC: Precipitação total, mm/ciclo; ETc: Evapotranspiração da cultura, mm/ciclo; GDAC: Graus-Dias acumulado no ciclo, °C/ciclo; HIAM: índice de colheita; LAIX: índice de área foliar máximo no ciclo; e EPCM: Volume de água transpirada pela cultivar, em mm/ciclo.

APÊNDICE I

SAFRAS REAIS, SIMULADAS E AVANÇOS TECNOLÓGICOS

Quadro 1I – Rendimento médio da cultura do milho, em kg/ha, para as mesorregiões no Estado de Minas Gerais (MG) – registros oficiais

ANO	MR01	MR02	MR03	MR04	MR05	MR06	MR07	MR08	MR09	MR10	MR11	MR12
1973	1406	1675	970	1096	1525	1224	1422	1156	1374	1232	1427	1149
1974	1962	2472	1110	1456	1372	1670	1898	1493	1947	1307	2253	1731
1975	1600	1793	1023	1092	1197	1391	1445	1244	1533	1172	1645	1356
1976	1778	2078	430	362	416	866	1527	1276	1047	1016	2076	1007
1977	1555	2625	923	1151	2009	1530	1463	1211	1494	1135	1757	1423
1978	1601	1907	988	1032	1721	1474	1390	1277	1326	1173	1708	1646
1979	1835	2560	858	842	1729	1353	1731	1385	1966	1251	2099	1730
1980	1946	2708	1145	1055	1762	1488	1709	1596	1923	1410	2106	1416
1981	2139	2392	569	928	1760	1838	1594	1625	1514	1465	1927	1769
1982	2231	2638	1073	966	1360	1698	1607	1790	1615	1533	2181	1653
1983	2303	2097	1123	654	1651	1530	1837	1702	1482	1560	2292	1833
1984	2005	2318	427	407	819	1291	1426	1412	1198	1364	2226	1789
1985	2303	2598	1554	1195	1590	1683	1780	1947	1773	1576	2298	1895
1986	2357	2601	1415	1030	1771	1733	1915	2003	1955	1606	2500	1957
1987	2381	2804	265	796	1553	1655	1977	2104	1762	1706	2663	2052
1988	2529	2762	964	724	1645	1717	1854	2070	1680	1812	2738	2096
1989	2593	2919	757	770	1158	1467	2000	2183	1786	1953	2967	2127
1990	1827	1607	818	754	2085	1283	1246	1617	962	1583	2096	1733
1991	2642	3384	1871	1441	1721	1773	2161	2257	2052	2023	2875	2050
1992	2701	3269	1620	1322	1432	1760	2400	2123	2166	2072	3086	2239
1993	2945	3361	1618	1223	1474	1764	2432	2120	2225	2388	3344	2245
1994	2865	3677	926	860	1283	1199	2384	2129	2028	2373	3359	2271
1995	2984	3224	979	1218	527	1287	2499	2469	1842	2207	3318	2155
1996	2965	3505	1029	911	845	1441	2475	2646	2155	2288	3456	1963
1997	3210	4138	1224	1493	1664	2023	2735	2583	2370	2296	3855	2237
1998	3331	3754	1007	1180	903	1991	2797	2633	2592	2388	3956	2290
1999	3439	3811	1031	1206	1332	2245	2973	3041	2735	2357	3959	2413
2000	3555	4631	1766	1710	1916	2520	3268	3039	3357	2739	4312	2510
2001	3878	3343	1087	1164	941	1712	3278	3042	2364	2535	4553	2780
2002	4333	5102	2000	2143	1918	2642	4031	3599	3509	2797	5034	3032
2003	4734	5360	1540	1490	1976	2705	4313	4126	3626	2941	5275	3064
2004	5085	5466	1856	2012	2414	2806	4639	4415	3839	3090	5486	3233
2005	5120	5436	2105	2057	2550	2870	4790	4534	3992	3202	5789	3314
2006	4917	4716	1000	571	1175	1257	4234	4243	2965	3101	5311	2713
2007	5137	5197	1816	2156	1780	2780	4780	4687	3620	3536	5952	3019

Fonte: IBGE e EMATER/MG.

MR's: MESORREGIÕES: Sul/Sudoeste de Minas Gerais (MR01); Noroeste de Minas (MR02); Norte de Minas (MR03); Jequitinhonha (MR04); Vale do Mucuri (MR05); Vale do Rio Doce (MR06); Oeste de Minas Gerais (MR07); Campos das Vertentes (MR08); Central Mineira (MR09) Metropolitana de Belo Horizonte (MR10); Triângulo Mineiro/A. Paranaíba (MR11); e Zona Mata Mineira (MR12).

Quadro 2I – Rendimento potencial simulado pelo DSSAT¹ (versão 4.0) para o milho em algumas mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações considerando o efeito da radiação global na superfície e temperatura do ar (registros do INMET com preenchimentos de falhas com dados de reanálise construindo pelo ECMWF/ERA40)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1973	7053	6036	5475	7364	7673	8053	6471
1974	7079	8175	6807	7641	6402	7054	6995
1975	6999	7144	5985	6250	6501	8614	5982
1976	8623	9133	7392	7383	8026	6941	9146
1977	7725	9014	5749	5880	6988	6432	7351
1978	7253	7234	6369	6191	7215	6642	7004
1979	7645	8162	8021	8182	8201	7624	7666
1980	7386	6747	5805	5796	6556	7015	6289
1981	6832	9581	5824	6422	7715	6809	7028
1982	7230	6799	5869	6983	6418	7730	7214
1983	6460	5953	6587	5962	5349	6831	6496
1984	6441	7150	5728	5783	7645	6750	7715
1985	6964	5162	5518	5488	6108	6256	6824
1986	8402	6610	5286	7281	7945	7451	7767
1987	8139	5112	4314	5479	5927	6825	6265
1988	8188	10276	4228	6198	5633	6908	6476
1989	5163	6911	6649	6238	5480	5494	7421
1990	6091	7862	4478	6371	4230	5765	6082
1991	8577	7563	5992	6463	5655	7758	6842
1992	7543	8860	5018	8185	6243	7063	8136
1993	8940	7402	4446	8233	5594	7318	7796
1994	6009	7633	6401	6925	6986	6757	6069
1995	7670	8020	6450	6301	6658	7456	6481
1996	6003	6648	5153	7111	6251	6094	5659
1997	6640	8024	4863	5540	7294	6380	7293
1998	7631	8279	6745	7595	7995	5970	7595
1999	6610	7221	6653	5102	8034	6134	8442
2000	7603	8348	6535	7795	8459	7527	8047
2001	8494	7693	6667	7133	7457	7430	7398
2002	6612	8008	4708	5491	5834	6468	6447
2003	6960	6982	5878	5990	5925	6666	6154
2004	7101	6604	4950	6648	7315	7436	6919

Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>.

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT).

Quadro 3I – Rendimento penalizado para algumas das mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações a partir do DSSAT¹ (versão 4.0) para cultura do milho. Considerando o efeito dos registros meteorológicos observados: Precipitação, radiação global incidente, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima (registros do INMET com preenchimentos de falhas com dados de reanálise construindo pelo ECMWF/ERA40)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1973	4115	1083	3795	6233	5089	5566	3404
1974	3715	672	4712	5247	3932	5053	3610
1975	3607	1001	1246	5619	5191	7016	3438
1976	4368	645	2985	5500	4821	5602	5634
1977	3303	715	3962	4631	4331	4811	3698
1978	3616	1093	4616	4826	5263	5772	3270
1979	3754	984	5638	7149	5275	5235	3623
1980	4155	548	3570	5447	4049	5258	3708
1981	4057	598	2690	5960	4728	5575	3624
1982	2930	983	2724	3599	3141	5452	3151
1983	2756	1497	2891	5446	3186	5409	2583
1984	3603	843	3740	4008	3643	4256	3880
1985	3042	820	3919	4901	4331	4457	3461
1986	4563	1196	3440	5758	6040	5784	3736
1987	4813	862	3394	4186	3224	5484	3590
1988	4930	650	2567	5448	3713	5615	3101
1989	3038	63	4054	5102	4548	4446	5197
1990	3713	515	2409	4202	2277	4409	3418
1991	5725	564	3862	4149	3603	5193	3927
1992	5810	682	2941	4581	4032	5618	5339
1993	4053	159	1361	3019	14	3298	3766
1994	3929	1068	2847	5393	4347	5084	4382
1995	3647	438	1800	3589	2449	4893	3878
1996	3138	461	3573	2604	2717	5225	3427
1997	2998	91	3281	3653	2086	3829	3167
1998	3560	791	3190	4124	4618	5140	3599
1999	4066	198	1965	2634	2247	4235	3992
2000	3969	234	3521	3549	2568	5283	4121
2001	3603	183	3339	2868	2324	2578	3593
2002	3081	110	2912	3430	2422	4771	3642
2003	3823	276	4274	3983	1828	5038	3293
2004	3029	1013	3304	3787	2409	4602	3611

Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>.

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT).

Quadro 4I – Rendimento penalizado para algumas Mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações a partir do DSSAT¹ (versão 4.0) para cultura do milho. Considerando o efeito de adubação química mínima (COELHO, 2006) associado aos dados meteorológicos observados: Precipitação, radiação global incidente, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima (registros do INMET com preenchimentos de falhas com dados de reanálise construindo pelo ECMWF/ERA40)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1973	4558	3219	3606	7100	5789	6280	4236
1974	4068	3666	4881	7295	4809	5363	4064
1975	3856	4199	1003	6047	5609	7290	3728
1976	4780	1949	3018	6449	6010	5744	6312
1977	3731	3851	3983	5656	4956	5074	3999
1978	4126	3983	4538	5940	5157	5876	4006
1979	4208	3307	5404	7887	6331	5901	4369
1980	4615	4169	3411	5596	5028	5671	3962
1981	4277	2736	2801	6206	4592	5711	4445
1982	3126	2936	2743	6440	4054	5902	3720
1983	3080	2866	2526	5780	3351	5746	2736
1984	3753	2869	3307	5508	4530	4638	4378
1985	3345	2637	3900	5295	3878	4848	4017
1986	5015	998	3503	6981	6305	6155	4039
1987	5207	1529	3350	4924	4461	5987	4253
1988	5473	4123	2529	5973	3980	6294	3753
1989	3381	2023	4019	5992	4585	4836	5722
1990	3994	1585	2323	5567	3113	4571	4373
1991	6207	4879	3462	6209	4329	6438	4432
1992	5815	4566	2326	7628	3414	6507	6146
1993	4601	3542	60	7303	0	5914	4399
1994	4543	4325	2827	6680	5843	6337	4903
1995	4167	3675	1643	5995	4394	5595	4017
1996	3566	3235	3600	6580	5133	5648	3692
1997	3424	3310	3313	5315	4836	4409	3800
1998	4055	2055	2822	7068	2108	5441	4172
1999	4522	2540	1810	4837	6071	4888	4747
2000	4367	3877	3445	7293	6140	6502	4733
2001	4130	2601	3061	5941	5524	5491	4114
2002	3476	4287	2777	5177	4301	5398	4294
2003	4295	2960	4451	5657	3985	5582	3679
2004	3480	3715	3201	6333	5480	5822	3946

Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>.

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT).

Quadro 5I – Rendimento penalizado para as mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações a partir do DSSAT¹ (versão 4.0) para cultura do milho. Considerando o efeito de adubação química mínima (COELHO, 2006) associado com a concentração de dióxido de carbono atmosférico² (CO₂) associados aos dados meteorológicos observado: Precipitação, radiação global incidente, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima (registros do INMET com preenchimentos de falhas por meio de dados de reanálise do ECMWF/ERA40)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1973	4543	3178	3531	7070	5757	6257	4216
1974	4068	3666	4881	7295	4809	5366	4064
1975	3857	4198	1002	6047	5609	7292	3729
1976	4785	1953	3012	6453	6013	5751	6316
1977	3736	3870	3985	5659	4958	5076	4001
1978	4128	4001	4570	5947	5176	5879	4005
1979	4218	3327	5441	7898	6338	5837	4377
1980	4621	4204	3446	5608	5032	5665	3956
1981	4270	2800	2928	6220	4749	5718	4430
1982	3150	2977	2823	6451	4063	5898	3710
1983	3095	2996	3117	5796	3356	5745	3186
1984	3739	3060	3769	5540	4539	4626	4384
1985	3370	2767	3942	5315	4052	4852	4081
1986	5016	1402	3512	7008	6328	6154	4038
1987	5183	1790	3399	4958	4484	5998	4260
1988	5476	4203	2601	6004	4011	6252	3752
1989	3409	2090	4073	6022	4653	4832	5766
1990	4003	2070	2401	5623	3158	4588	4318
1991	6215	4949	3641	6244	4364	6567	4422
1992	5836	4656	3242	7658	3617	6528	6235
1993	4570	3611	2182	7321	71	5914	4371
1994	4481	4464	2915	6722	5868	6374	5001
1995	4139	3774	1793	6035	4520	5514	4106
1996	3531	3327	3569	6620	5152	5663	3674
1997	3413	3470	3338	5356	4902	4380	3819
1998	4087	2433	3133	7120	4050	5478	4083
1999	4361	2662	2036	4872	6134	4879	4636
2000	4348	3972	3654	7299	6162	6491	4720
2001	4109	2748	3328	6111	5542	5430	4068
2002	3480	4460	2957	5213	4335	5397	4282
2003	4287	3199	4482	5699	3893	5590	3550
2004	3390	4014	3391	6386	5439	5772	3933

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>. (2) Concentração média anual de Dióxido de Carbono (CO₂) medida pela NOAA no laboratório Mauna Loa, no Havai (EUA) entre 1958 e 2004.

Quadro 6I – Rendimento potencial, em kg/ha, simulado pelo DSSAT¹ (versão 4.0) para o milho em algumas mesorregiões de Minas Gerais. Simulações considerando o efeito da radiação global na superfície e temperatura do ar a partir de séries meteorológicas sintéticas (CLIMGEN²)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1992	6569	6673	7162	8962	7094	8470	6968
1993	6371	7681	7304	6249	6614	8006	7165
1994	7309	8203	6581	5695	7040	6491	7658
1995	7309	5967	6581	5695	7040	6491	7658
1996	7403	5033	7819	6617	7272	7323	8161
1997	7604	6351	7314	5578	7881	9361	7394
1998	6828	7726	6863	5968	6946	7643	8028
1999	6828	7726	6863	5968	6946	7643	8028
2000	6950	8930	6654	5806	7187	7478	7254
2001	5927	7814	5981	6072	7460	7943	8015
2002	7743	8038	7479	6353	7520	7156	7297
2003	7611	8038	7479	6353	7520	7156	7297
2004	6549	7033	5985	6624	6895	7516	7382
2005	6737	6685	5544	7243	6991	7234	6408
2006	7616	7060	5495	6323	8305	8155	6364
2007	7175	7060	5495	6323	8305	8155	6364
2008	5956	6294	6666	6105	7826	8014	6251
2009	7201	6437	7042	6379	7165	7263	6634
2010	7281	7711	7426	4691	6836	7879	6585
2011	7281	7711	7426	4691	6836	7879	6585
2012	7068	7360	7531	4553	8325	8260	7020
2013	6962	7310	7759	6750	7335	8438	7637
2014	6967	6407	8827	6485	8559	8229	7381
2015	7405	6407	8827	6485	8559	7288	7381
2016	6669	6026	7722	6230	6408	8896	6603
2017	6601	6764	6977	6347	6853	8444	7623
2018	6568	8058	6192	6656	8720	8027	6346
2019	6568	8058	6192	6656	8720	8027	6346
2020	6925	8179	7268	6080	6421	8387	6486
1992	6569	6673	7162	8962	7094	8470	6968
1993	6371	7681	7304	6249	6614	8006	7165

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>. (2) CLIMGEN – Universidade do Estado do Washington: <http://www.bsyse.wsu.edu/climgen/>.

Quadro 7I – Rendimento penalizado para as mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações a partir do DSSAT¹ (versão 4.0) para cultura do milho. Considerando o efeito dos dados meteorológicos sintéticos de: Precipitação, radiação global incidente, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima (estruturados em conceitos probabilísticos e estocásticos do programa CLIMGEN²)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1992	3204	1785	5453	8030	5118	5648	4594
1993	2810	1132	5137	5903	4577	6604	3885
1994	3496	646	4954	4946	4993	4572	3189
1995	3493	584	4937	4880	4966	4543	3191
1996	3607	553	4938	5375	5121	4525	3383
1997	4776	581	4198	5026	4493	5930	3836
1998	3340	1382	4182	3887	5553	6876	4438
1999	3339	1352	4179	3885	5555	6856	4441
2000	3224	1311	4017	3428	5631	6693	3995
2001	3010	925	3494	5718	5750	5631	4618
2002	3263	756	3187	5204	4024	5842	3593
2003	3061	737	3187	5134	3926	5789	3597
2004	2695	657	3270	5275	3555	5935	3621
2005	4626	726	4322	5681	4985	6278	3702
2006	3751	738	3559	5462	4217	6278	3377
2007	3557	719	3559	5531	4110	6227	3380
2008	2930	580	4371	5158	3857	6186	3387
2009	3872	664	4627	5604	2576	5311	3589
2010	4874	860	5517	3155	2693	4832	3432
2011	4870	841	5520	3074	2613	4794	3439
2012	2764	729	5279	2978	2763	4888	3694
2013	3755	453	4548	3887	4568	5102	3197
2014	3081	381	5977	4650	3376	6048	4809
2015	4144	366	5966	4591	3278	4517	4813
2016	3726	380	5499	4373	2548	4514	4300
2017	4558	744	4639	3764	2640	4668	5603
2018	3542	325	4660	3661	3072	4932	3033
2019	3541	308	4675	3707	2995	4864	3043
2020	3714	274	5022	3506	2223	4949	3111

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>. (2) CLIMGEN – Universidade do Estado do Washington: <http://www.bsyse.wsu.edu/climgen/>.

Quadro 8I – Rendimento penalizado para as mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações a partir do DSSAT¹ (versão 4.0) para cultura do milho. Considerando o efeito de adubação química mínima (COELHO, 2006) associado aos dados meteorológicos sintéticos de: precipitação, radiação global incidente, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima (CLIMGEN²)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1992	3543	410	5458	8678	5537	6453	5077
1993	3216	2538	5172	6041	5468	7103	4363
1994	3638	1552	4954	5479	4978	5209	3892
1995	3721	2372	4955	5470	4979	5205	3893
1996	3855	2138	4860	6254	5137	5315	4128
1997	5218	3694	4200	5372	5505	6664	4366
1998	3726	3560	4191	3994	4797	7154	5080
1999	3724	3550	4190	4001	4797	7154	5081
2000	3647	2867	4045	3553	4879	6999	4587
2001	3309	4857	3504	5862	5962	7267	5967
2002	3786	4841	3204	6089	5647	6222	3977
2003	3550	4831	3206	6085	5641	6221	3979
2004	3061	4136	3295	6353	5206	6558	3995
2005	4832	4121	4338	6982	5544	6903	4374
2006	4104	2363	3742	5725	6980	7068	3742
2007	3881	2355	3742	5738	6956	7061	3743
2008	3321	1672	4635	5424	6561	7059	3759
2009	4203	3009	4521	6129	4844	6272	3395
2010	5366	3895	5402	4457	5262	5790	3627
2011	5366	3879	5402	4448	5251	5785	3628
2012	3267	3081	5222	4341	6246	6008	3894
2013	4119	2355	4319	6434	6479	6825	4579
2014	3463	2489	6237	6245	6465	6974	5402
2015	4596	2486	6235	6244	6457	5216	5403
2016	4122	2777	5845	5996	5024	7097	4825
2017	4881	2178	4842	6059	4730	6430	4477
2018	4022	3343	4518	5600	6695	6862	3536
2019	4024	3330	4526	5601	6684	6862	3537
2020	4231	3696	4890	5589	5096	7161	3611

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>. (2) CLIMGEN – Universidade do Estado do Washington: <http://www.bsyse.wsu.edu/climgen/>.

Quadro 9I – Rendimento penalizado para as mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações a partir do DSSAT¹ (versão 4.0) para cultura do milho. Considerando o efeito de adubação química mínima (COELHO, 2006) e a concentração de dióxido de carbono atmosférico² (CO₂) associados aos dados meteorológicos sintéticos de: Precipitação, radiação global incidente, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima (CLIMGEN³)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1992	3560	584	5530	8732	5545	6518	5080
1993	3203	2688	5202	6082	5497	7061	4349
1994	3871	1747	5098	5507	5013	5210	3862
1995	3871	2500	5105	5509	5016	5206	3861
1996	3959	2251	5085	6295	5174	5389	4076
1997	5190	3907	4257	5414	5538	6785	4348
1998	3665	3794	4427	4161	5632	7156	5033
1999	3661	3798	4430	4187	5760	7158	5034
2000	3613	3051	4291	3715	6075	7004	4528
2001	3278	5108	3562	5926	6254	7313	5716
2002	3755	5130	3435	6142	5668	6188	3988
2003	3624	5134	3441	6140	5660	6188	3986
2004	3031	4405	3534	6411	5224	6511	4011
2005	4847	4282	4451	7042	5810	6940	4337
2006	4096	2624	3709	6014	7004	7030	3724
2007	3860	2628	3709	6041	6996	7026	3724
2008	3278	1861	4622	5751	6608	7047	3738
2009	4073	3372	4625	6186	4874	6265	4365
2010	5064	4148	5677	4500	5295	5870	3564
2011	5068	4145	5692	4492	5286	5871	3559
2012	3366	3373	5647	4394	6276	6105	3806
2013	3999	2581	4870	6529	6555	6929	4682
2014	3393	2861	6528	6350	6471	7049	5385
2015	4442	2868	6541	6354	6463	5304	5368
2016	3994	3148	5949	6107	5050	7198	4789
2017	4899	2911	4819	6143	4807	6491	5865
2018	3893	3828	5059	6129	6794	6800	3443
2019	3886	3835	5074	6150	6781	6800	3441
2020	4083	4191	5459	5847	5141	7118	3514

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>. (2) Concentração média anual de acordo com as projeções e cenários do IPCC (2007) para 1991 e 2020. (3) CLIMGEN – Universidade do Estado do Washington: <http://www.bsyse.wsu.edu/climgen/>.

Quadro 10I – Rendimento potencial, em kg/ha, simulado pelo DSSAT¹ (versão 4.0) para cultura do milho para as mesorregiões de Minas Gerais. Simulações considerando o efeito da radiação global na superfície e temperatura do ar a partir de séries meteorológicas dinâmicas (ECHAM5/MPI-OM²)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1992	4758	4144	5116	4335	5531	4335	4636
1993	5920	4603	5444	6684	8021	6684	4664
1994	5558	7116	5858	5686	6222	5686	5766
1995	7563	7024	8345	5648	7683	5648	5968
1996	6766	5586	7352	5128	7115	5128	4455
1997	4197	5177	7047	4740	4878	4807	4988
1998	5961	5592	6320	5327	5909	5327	4824
1999	6859	6286	7167	4850	7376	4850	5535
2000	6342	6348	6792	7556	7716	7556	7101
2001	4635	3513	6066	3780	4721	3780	4472
2002	5476	6213	6236	5863	7468	6092	5175
2003	5170	6613	8641	6456	5160	6456	6167
2004	5267	6765	5981	6149	7989	6149	5945
2005	5411	5342	5218	5992	5197	6264	4074
2006	8066	6702	6801	6199	7517	6199	4777
2007	4482	4877	5408	4708	4200	5533	4925
2008	4416	4735	3918	4503	3969	4503	3826
2009	4138	4799	3836	6203	4782	6203	4283
2010	4611	5272	4334	6037	4265	6037	4704
2011	4848	4770	5622	4231	6906	4231	5893
2012	5421	4454	4260	4459	7963	4459	4385
2013	5185	5502	4824	4846	6309	4846	4869
2014	5753	4553	5676	6199	5200	6199	4759
2015	6889	6985	7742	6681	7146	6681	4626
2016	6961	4315	6040	3990	7267	3990	6359
2017	4560	3814	2351	4030	4434	4030	3901
2018	3828	3105	3935	2888	4704	2888	4979
2019	5025	5064	6036	5305	5669	5305	5081
2020	5354	4002	5166	5042	4537	5008	5545

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>. (2) ECHAM5/MPI-OM – Instituto Max Planck de Meteorologia, Hamburgo, Alemanha: <http://www.mpimet.mpg.de/en/home.html>.

Quadro 11I – Rendimento penalizado para as mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações a partir do DSSAT¹ (versão 4.0) para cultura do milho. Considerando o efeito dos dados meteorológicos sintéticos de: Precipitação, radiação global incidente, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima (ECHAM5/MPI-OM²)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1992	1540	60	3442	4053	3758	3776	481
1993	4050	377	3906	2752	5169	2654	16
1994	2356	1669	4277	5302	5191	5267	0
1995	2941	879	3837	4998	4903	4183	3988
1996	4433	134	4705	4051	6062	3381	8
1997	1424	72	2973	4556	4308	4269	2643
1998	3525	917	4170	4967	3915	4958	1207
1999	3687	911	5193	4398	4881	4112	2022
2000	4698	1796	5013	5702	6046	4200	77
2001	3285	202	4334	1747	5461	1409	52
2002	33	79	3937	4979	4259	3662	244
2003	2032	345	5468	6148	4748	5926	2
2004	2670	5	3002	3012	4548	2424	0
2005	2837	173	3407	4568	4207	5694	2301
2006	4503	0	5742	839	4126	727	726
2007	1538	177	2862	4400	4505	4474	2
2008	272	651	16	4156	2626	3858	1932
2009	5	83	23	3059	2952	2534	0
2010	3006	2	3361	3309	3055	3331	1831
2011	3122	16	4138	3565	3433	3693	72
2012	2462	531	2859	3136	3275	3698	4
2013	3529	598	3754	3488	4330	4112	1059
2014	0	96	3638	5120	3758	5568	0
2015	3628	771	5230	1098	4430	1167	1438
2016	4750	221	4664	3675	4586	3468	210
2017	21	148	668	3302	3246	3687	0
2018	0	0	0	1825	2098	637	0
2019	0	0	3344	1889	2722	2659	4
2020	0	9	1595	3944	2684	4040	19

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>. (2) ECHAM5/MPI-OM – Instituto Max Planck de Meteorologia, Hamburgo, Alemanha: <http://www.mpimet.mpg.de/en/home.html>.

Quadro 12I – Rendimento penalizado para as mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações a partir do DSSAT1 (versão 4.0) para cultura do milho. Considerando o efeito de adubação química mínima (COELHO, 2006) associado aos dados meteorológicos sintéticos de: Precipitação, radiação global incidente, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima (estruturados em conceitos físicos entre sistemas dinâmicos por meio dos modelos de circulação atmosférico e acoplado com oceano ECHAM5/MPI-OM²)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1992	1863	202	5458	4053	4436	3824	306
1993	4131	186	5172	2752	5322	2085	24
1994	2456	2547	4954	5302	4941	5253	1
1995	3236	1813	4955	4998	5666	4213	4206
1996	4343	86	4860	4051	6089	3400	14
1997	1604	121	4200	4556	3337	4259	2457
1998	3657	3196	4191	4967	4912	4947	1405
1999	3760	2611	4190	4398	5905	4145	2431
2000	4698	1523	4045	5702	6825	4325	65
2001	3212	168	3504	1747	4185	1409	14
2002	7	97	3204	4979	6384	3645	21
2003	1560	147	3206	6148	2358	5914	8
2004	2623	5	3295	3012	6470	2423	30
2005	2937	1932	4338	4568	3290	5700	1822
2006	4360	0	3742	839	6415	738	13
2007	1461	160	3742	4400	3448	4550	4
2008	256	1690	4635	4156	2205	3902	1615
2009	8	73	4521	3059	3316	2541	16
2010	2894	218	5402	3309	3840	3357	562
2011	3183	16	5402	3565	5560	3713	20
2012	2509	266	5222	3136	40	3848	6
2013	3545	1242	4319	3488	5394	4120	34
2014	0	90	6237	5120	4108	5591	0
2015	3317	288	6235	1098	6164	1212	123
2016	4803	83	5845	3675	3486	3471	31
2017	7	98	4842	3302	3173	3695	0
2018	0	4	4518	1825	0	599	0
2019	0	0	4526	1889	4471	2812	6
2020	0	7	4890	3944	3694	4122	5

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>. (2) ECHAM5/MPI-OM – Instituto Max Planck de Meteorologia, Hamburgo, Alemanha: <http://www.mpimet.mpg.de/en/home.html>.

Quadro 13I – Rendimento penalizado para as mesorregiões de Minas Gerais, em kg/ha. Simulações a partir do DSSAT¹ (versão 4.0) para cultura do milho. Considerando o efeito de adubação química mínima (COELHO, 2006) e a concentração de dióxido de carbono atmosférico² (CO₂) associados aos dados meteorológicos sintéticos de: Precipitação, radiação global incidente, velocidade do vento, temperatura máxima e mínima (estruturados em conceitos físicos entre sistemas dinâmicos por meio dos modelos de circulação atmosférico e acoplado com oceano ECHAM5/MPI-OM³)

ANO	MR01	MR04	MR06	MR09	MR10	MR11	MR12
1992	2432	697	3528	4202	4462	3837	2373
1993	4148	403	3921	3491	5446	2542	95
1994	2625	2927	4433	5526	4960	5326	704
1995	3490	2553	3997	5118	5722	4413	4352
1996	4651	203	5000	4356	6171	3548	94
1997	2427	687	3056	4596	3769	4328	3091
1998	3601	3517	4266	5186	4938	4994	1890
1999	3736	3178	5197	4733	5965	4153	3013
2000	4741	2442	5181	6081	6919	4671	455
2001	3419	395	4402	1817	4236	1454	88
2002	1401	257	4339	5336	6496	3941	234
2003	2823	409	6116	6297	3026	6045	1243
2004	3328	40	3098	3276	6705	2609	110
2005	3797	2224	3668	5845	4128	5730	2950
2006	5313	13	5964	828	6481	770	1680
2007	2053	550	2999	4506	3502	4569	116
2008	789	2212	456	4436	2678	4093	2317
2009	272	253	305	3598	3541	2771	1578
2010	3445	739	3494	4940	3919	3952	2602
2011	3211	207	4178	4153	5641	3777	258
2012	3195	873	2942	4359	4265	4036	643
2013	3581	1880	4059	4777	5551	4388	2449
2014	2394	1414	3676	6052	4311	5704	2630
2015	4139	570	5889	1720	6314	1427	1170
2016	5266	401	4840	3933	5685	3733	239
2017	1992	1224	1439	3979	3588	3853	276
2018	305	182	469	2818	2672	2009	2640
2019	2813	108	4060	4099	4629	3233	2794
2020	914	276	3234	4975	3877	4368	2724

(1) Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Fonte ICASA: <http://www.icasa.net/dssat/>. (2) Concentração média anual de acordo com as projeções e cenários do IPCC (2007) para 1991 e 2020. (3) ECHAM5/MPI-OM – Instituto Max Planck de Meteorologia, Hamburgo, Alemanha: <http://www.mpimet.mpg.de/en/home.html>.

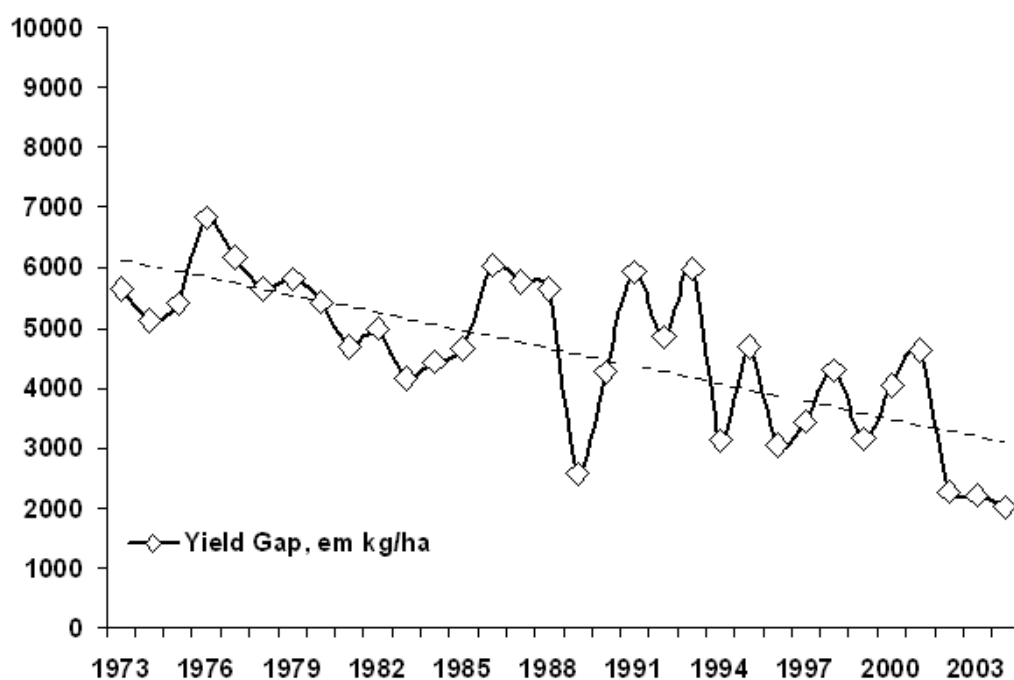


Figura 1I – Razão entre os rendimentos oficiais e potenciais das safras de milho, em kg/ha (“yield gap”). Avanços tecnológicos na mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (MR01).

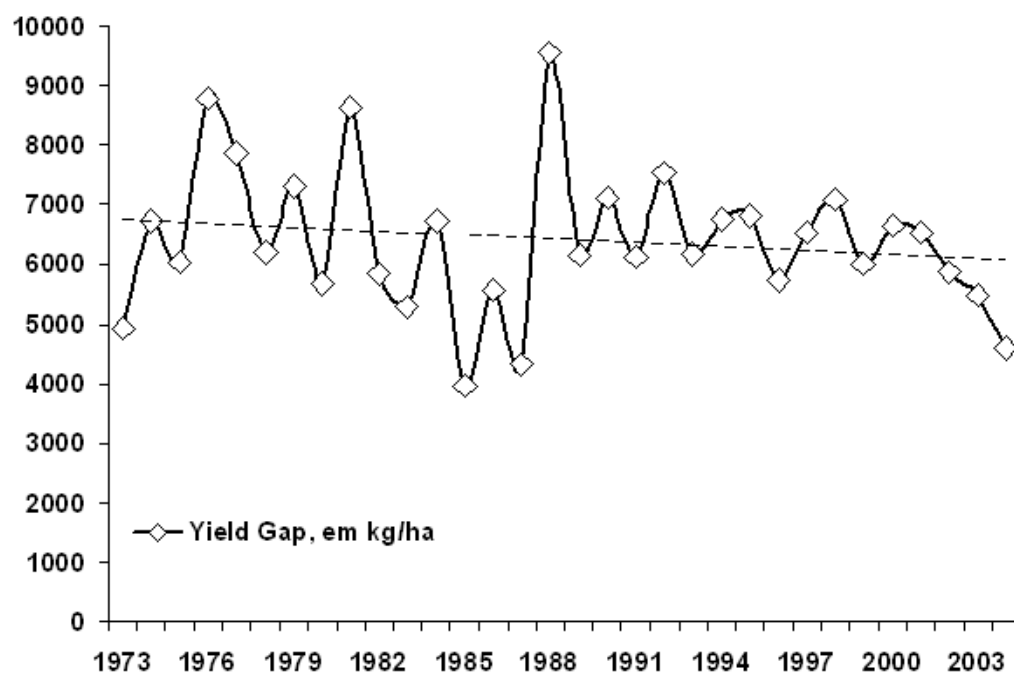


Figura 2I – Razão entre os rendimentos oficiais e potenciais das safras de milho, em kg/ha (“yield gap”). Avanços tecnológicos na mesorregião Vale do Rio Doce (MR06).

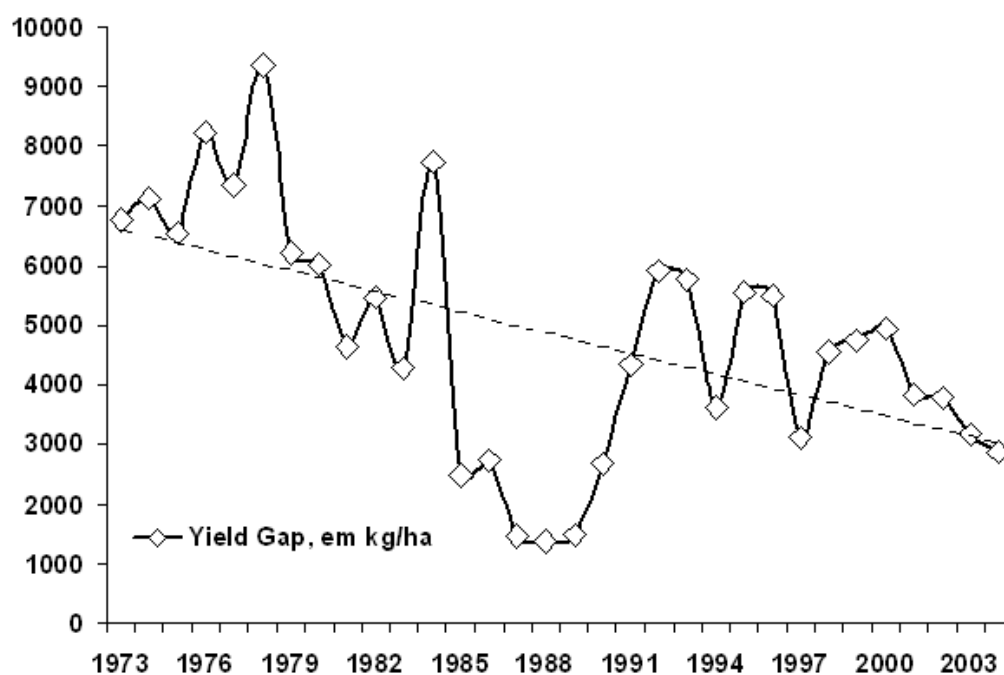


Figura 3I – Razão entre os rendimentos oficiais e potenciais das safras de milho, em kg/ha (“yield gap”). Avanços tecnológicos na mesorregião Campos das Vertentes (MR08).

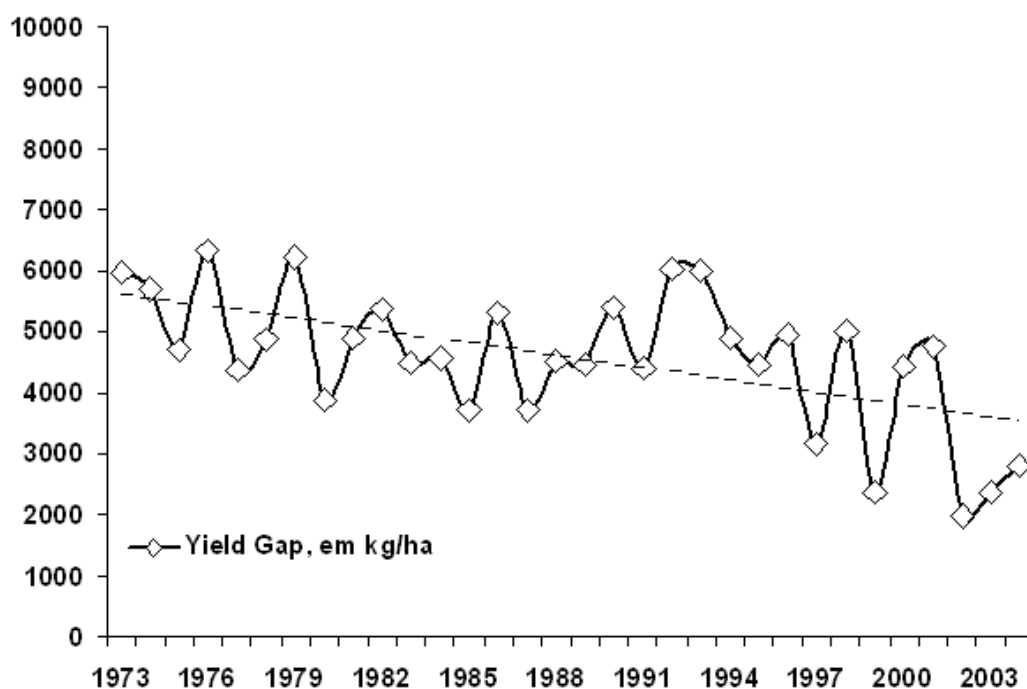


Figura 4I – Razão entre os rendimentos oficiais e potenciais das safras de milho, em kg/ha (“yield gap”). Avanços tecnológicos na mesorregião Central Mineira (MR09).

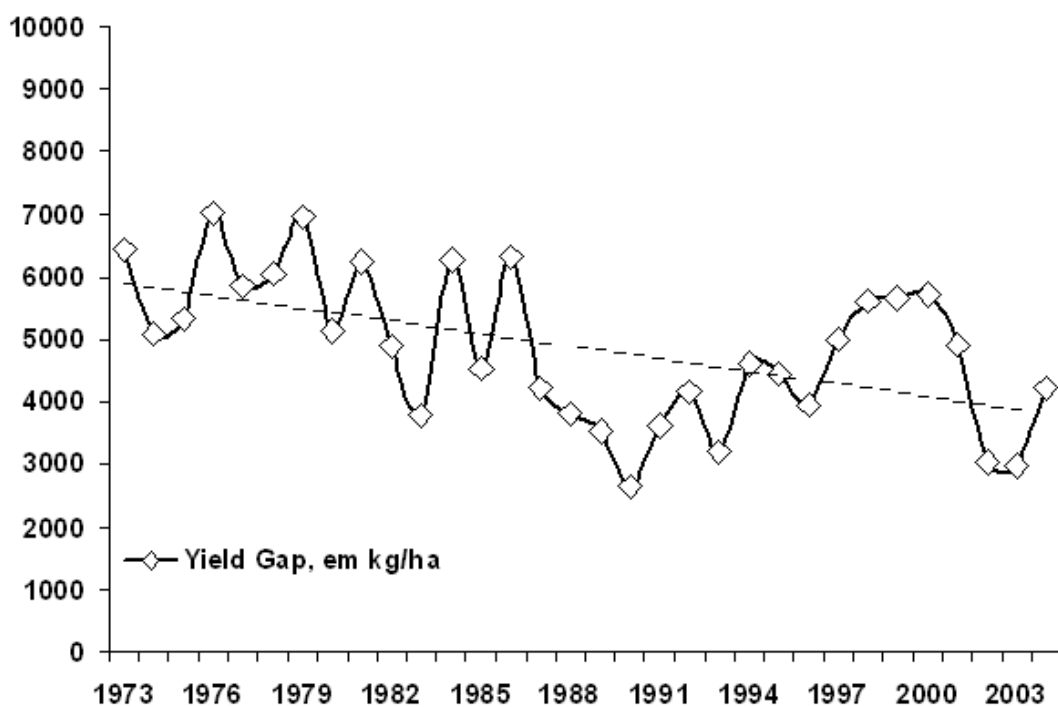


Figura 5I – Razão entre os rendimentos oficiais e potenciais das safras de milho, em kg/ha (“yield gap”). Avanços tecnológicos na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MR10).

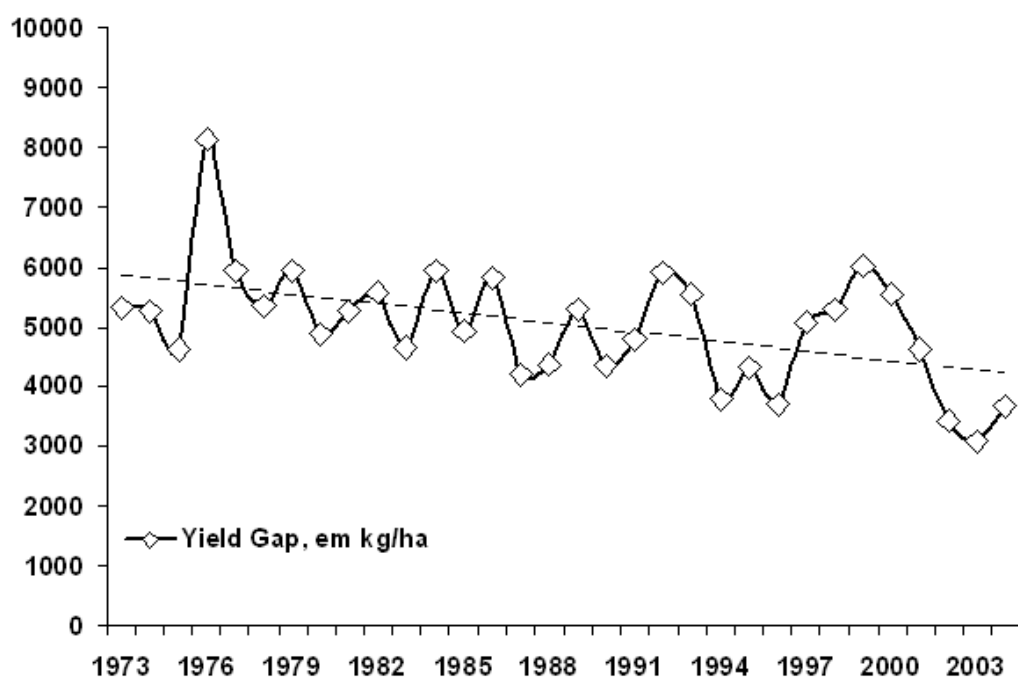


Figura 6I – Razão entre os rendimentos oficiais e potenciais das safras de milho, em kg/ha (“yield gap”). Avanços tecnológicos na mesorregião Zona da Mata Mineira (MR12).