

ISSN 0104-1347

Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira¹

Climate changes projected by GISS models and implications on brazilian agriculture¹

Otávio João Wachholz de Siqueira², Sílvio Steinmetz³, Mauro Fernando Ferreira⁴,
Andréia Castro Costa⁵ e Marcos Antônio Wozniak⁶

Resumo - Através da modelagem de dados torna-se possível analisar cenários climáticos decorrentes do efeito estufa e suas implicações. Neste contexto incluem-se os modelos, tridimensionais, direcionados a processos de movimento e equilíbrio atmosférico. Neste trabalho foram avaliados cenários climáticos projetados através dos modelos GISS e GISS_t, desenvolvidos pelo Goddard Institute for Space Studies da NASA, simulando padrões atmosféricos decorrentes de concentrações de CO₂ na atmosfera entre 330 e 550 ppm. Foram avaliados reflexos sobre a produção nacional de grãos de trigo, de milho e de soja, utilizando-se o sistema de suporte de decisão DSSAT e os modelos de simulação CERES e SOYGR0. O desempenho dos modelos GISS em simular os cenários climáticos foi satisfatório em relação à temperatura do ar e à radiação solar global diárias, apresentando muita variabilidade em relação à precipitação mensal. Os cenários climáticos futuros, implicam numa redução média de 31% na produção nacional de grãos do trigo, com maiores reflexos na regiões Centro-Sul. No caso do milho, os decréscimos médios correspondem a 16%, sendo mais expressivos para as regiões Nordeste e Norte. Para a soja são projetados acréscimos médios na produção de grãos em torno de 27%, como resultante de efeitos benéficos do aumento das concentrações de CO₂. Considerando-se as áreas de cultivo atuais, os maiores reflexos na produção nacional de grãos (negativos para trigo/milho e positivos para soja), são projetados para as regiões Centro-Sul e Sul, sendo o Centro-Sul mais sensível aos cenários futuros, especialmente a partir de 530 e 555 ppm CO₂ (2050-2060). Para as demais regiões produtoras (Centro, Nordeste e Norte), os impactos são menos expressivos, face a menor extensão da área cultivada. Desdobramentos ambientais e reflexos potenciais expressivos do efeito estufa na agricultura são apresentados para os próximos 20 a 30 anos, com efeitos magnificados em torno de 2050.

Palavras-chave: efeito estufa, agricultura, modelagem, simulação

Abstract - Modeling is a useful approach to analyse future climate scenarios associated to greenhouse gases being included the General Circulation Models in this context. In this work climate scenarios projected by GISS and GISS_t transient (GISS_t) models, developed by Goddard Institute for Space Studies – NASA, were generated simulating CO₂ concentrations from 330 to 550 ppm. GISS models performed satisfactorily to simulate actual daily air temperature and daily global solar radiation (overestimated); precipitation values were poorly estimated. Future climate scenarios projected by GISS models resulted in wheat grain yield reductions near 31%, especially for the Central-South regions. For maize grain yield reductions averaged 16%, projecting expressive reductions for Northeast and Northern regions. Soybean presented positive responses with average increase in yield near 27%. National grain supply projections are negative for wheat and maize and positive for soybeans, being the Central-South and the South regions more sensitive for the projected climate changes, especially near 2050-2060 (530 and 555 ppm CO₂). For the other regions (Central, Northeast and North) the impacts were less expressive due to lower cultivated areas. Environmental changes and expressive impacts in agriculture production at short run (next 20 to 30 years) are presented with intensification of effects by the year 2050.

Key words: global warming, agriculture, modeling, simulation.

¹Pesquisa associada ao CNPq (Contrato 040-2941/90)

²Eng. Agr., Ph.D., EMBRAPA Clima Temperado. C. Postal 403, 96001-970, Pelotas-RS, bolsista do CNPq (otavio@cpact.embrapa.br).

³Eng. Agr., Dr., EMBRAPA Clima Temperado (silvio@cpact.embrapa.br).

⁴Engenheiro Agrícola, M.Sc., bolsista do CNPq.

⁵Analista de Sistemas, bolsista do CNPq.

⁶Bacharel em Ciência da Computação, bolsista do CNPq.

Introdução

A incerteza nas projeções de cenários climáticos decorrentes do efeito estufa ainda é significativa, como ressaltado, recentemente, por HANSEN et al. (1998). Encarar a questão, objetivamente, ou ignorar o fato, pode implicar em questões de sobrevivência (HILLEL & ROSENZWEIG, 1989). Atualmente, existe consenso à nível mundial, em torno do aquecimento global (“global warming”) como o principal reflexo do efeito estufa; segundo relatórios do Segundo Painel Inter-governamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), estima-se o aquecimento global em torno de 1 e 3,5°C até o ano 2100, podendo haver diferenças regionais marcantes (EUROPEAN COMMISSION, 1997). Modernamente, incluem-se nas projeções a intensificação da variabilidade climática como resultante do efeito estufa, podendo alterar o equilíbrio de ecossistemas (ROSENZWEIG & HILLEL, 1995; BRIGHT, 1997).

A modelagem, como ferramenta de análise de dados, tem merecido atenção nos últimos anos para avaliações do efeito estufa na agricultura, destacando-se os modelos de equilíbrio atmosférico na projeção de cenários climáticos (ROSENZWEIG, 1993; ROSENZWEIG & PARRY, 1994; BARRON, 1995; ROSENZWEIG & HILLEL, 1995; REYENGA et al., 1998). No Brasil, são restritas as pesquisas relacionadas aos impactos do efeito estufa na agricultura. Projeções de cenários climáticos para o Brasil, para cerca da segunda metade deste século, segundo os trabalhos de SIQUEIRA et al. (1994ab), apontam para um aquecimento global entre 3 a 5°C e para aumentos no volume de precipitações, significando maiores riscos de inundações, erosão do solo e efeitos associados. Ressaltam, no entanto, os mesmos autores, também quanto à possibilidade de agravamentos de conflitos regionais relacionados à disponibilidade de água, no inverno para o Nordeste e no verão (dezembro) para o extremo Sul do país. Esses autores analisaram projeções destes cenários climáticos sobre o contexto agrícola brasileiro, utilizando os modelos de simulação CERES e SOYGRO e o sistema de suporte de decisão DSSAT – Decision Support System for Agrotechnology Transfer (IBSNAT, 1990). Apresentam, para o período referido, indicativos de reduções de cerca de 1,2 e 3,5 milhões de toneladas nas produções brasileiras de trigo e milho, respectivamente, e de aumentos na produção de soja de cerca de 2,8 milhões de toneladas, como resultado do efeito estufa.

Neste trabalho objetivou-se avaliar os impactos de mudanças graduais de clima, dentro dos próxi-

mos 50 anos, utilizando-se cenários climáticos decenais projetados pelos modelos GISS, buscando analisar efeitos, estratégias mitigadoras e as tendências de resposta ao longo do período.

Material e métodos

Este trabalho complementa o desenvolvido por SIQUEIRA et al. (1994ab) e direciona-se a avaliar os impactos de mudanças graduais de clima associadas ao efeito estufa, na agricultura brasileira, dentro de um horizonte de curto prazo. Para tanto, integrou-se a este trabalho a base de dados de solo, planta e clima e os modelos de simulação aplicados ao desenvolvimento das culturas de trigo, milho e soja, utilizados pelos autores referidos. Os modelos de crescimento e de produção vegetal correspondem às séries CERES e SOYGRO, integradas à versão 2.1 do sistema de suporte de decisão DSSAT (IBSNAT, 1990). Os cenários climáticos futuros foram construídos a partir de estimativas de mudanças mensais, geradas pelo modelo GISS, utilizado previamente por SIQUEIRA et al. (1994), e pelo modelo GISS_t (“transient”), cedido pela NASA, projetadas sobre os dados diários de temperatura do ar, radiação solar global e precipitação. Enquanto o modelo GISS aplica-se para cenários associados a 555ppm CO₂, estimados para em torno do ano 2060, o modelo GISS_t possibilita avaliar cenários climáticos decorrentes de mudanças graduais na concentração de CO₂ na atmosfera, permitindo análises de tendência. Foram avaliadas implicações climáticas decorrentes de seis níveis de CO₂ (330, 405, 460, 530 e 555ppm), projetados, respectivamente, para os anos 1995 (valores “atuais”), 2010, 2030, 2050 e 2060. Estas estimativas foram estabelecidas pela NASA/EPA-USA⁷, como parte de um projeto de cooperação internacional voltado ao efeito estufa.

Foram correlacionados valores de temperatura diária do ar, precipitação mensal e radiação solar global diária, comparando os obtidos a partir das séries históricas utilizadas por SIQUEIRA et al. (1994ab), com os dados simulados pelos modelos GISS (330ppm CO₂) para avaliação de performance dos modelos em relação a cenários atuais, utilizando-se os dados disponíveis em 13 locais (1951-1980).

As projeções sobre o desenvolvimento e a produção de grãos dos três cultivos foram geradas através de modelagem de dados e de estudos de simulação conduzidos a partir de 13 locais⁸, selecionados em função do posicionamento geográfico (latitu-

⁷Comunicação pessoal, Cyntia Rosenzweig, NASA/Goddard Institute for Space Studies, New York-USA.

⁸Pelotas-São Borja-Passo Fundo-Vacaria (RS), Ponta Grossa-Londrina (PR), Campinas (SP), Sete Lagoas (MG), Campo Grande (MS), Cruz das Almas (BA), Petrolina (PE), Manaus (AM), Belém (PA).

des entre 1,28 e 31,47° Sul) e da disponibilidade de série histórica de dados climáticos diários. Os dados climáticos corresponderam, tanto quanto possível, ao período 1951-1980, tendo sido obtidos, para os quatro locais do Rio Grande do Sul, junto ao 8º Distrito de Meteorologia e FEPAGRO-SAA/RS; os demais dados foram obtidos através das Unidades da Embrapa. Por requerimento mínimo dos modelos de simulação de crescimento dos cultivos, foram realizados testes preliminares de calibração e validação dos modelos e ajustados os dados de manejo, solo e cultivares, conforme o condicionamento regional/local. A maior parte dos dados relativos à radiação solar foram calculados a partir da insolação diária (SIQUEIRA et al., 1994ab).

Os resultados foram globalizados por região produtiva, obedecendo a classificação: (a) trigo: *Sul* (Pelotas, Passo Fundo, São Borja, Vacaria), *Centro-Sul* (Londrina, Campinas, Campo Grande), *Central* (Sete Lagoas); (b) milho/soja: *Sul* (Pelotas, Passo Fundo, São Borja, Vacaria), *Centro-Sul* (Londrina, Campinas, Campo Grande, Sete Lagoas), *Nordeste* (Cruz das Almas, Petrolina), *Norte* (Manaus, Belém). As regiões centrais não foram simuladas para os cultivos de milho e soja, face à dificuldades de acesso a dados meteorológicos diários de locais representativos. Na definição das regiões produtoras foram observadas as recomendações dos cultivos específicos. Informações complementares, sobre a metodologia adotada, encontram-se descritas no trabalho desenvolvido por SIQUEIRA et al. (1994ab).

Resultados e discussão

Em relação a cenários climáticos atuais, ambos os modelos GISS e GISS₁ apresentam resposta satisfatória, tanto para a radiação solar global como para temperaturas médias diárias, ressaltando-se a tendência de super-estimação para a radiação solar global (Figura 1). As correlações relativas à precipitação pluviométrica mensal foram, por outro lado, menos consistentes, incorporando muita variabilidade, denotando, para este componente climático, maior incerteza nas estimativas de cenários. Os valores de radiação solar global, temperatura média diária do ar e de precipitação, projetados por ambos os modelos GISS e GISS₁, para os cenários atuais, foram muito semelhantes, com coeficientes de correlação superiores a 0,9 (Figura 2).

Na Figura 3, estão representados os valores mensais de temperatura média diária do ar, classificados por região produtora. Os dados médios atuais foram obtidos a partir da série histórica de dados e

são apresentados como termo referencial. As projeções dos modelos GISS estão classificadas por região, sendo apresentados somente os diferenciais de temperatura em relação aos dados atuais, correspondendo aos cenários entre 405 e 555ppm CO₂ (2010-2060). O modelo GISS projeta mudanças significativas na temperatura do ar a curto prazo, alcançando aumentos próximos a 2°C para cerca do ano 2010 (405 ppm CO₂). Aparentemente, para as regiões Sul e Central, os aumentos de temperatura projetados pelos modelos distribuem-se ao longo do ano. Para as regiões Centro-Sul, Norte e Nordeste, as maiores diferenças de temperatura tendem a concentrarem-se nos últimos 4 a 5 meses do ano (primavera-verão). Os aumentos de temperatura projetados pelos modelos GISS são progressivos, atingindo valores máximos (6°C) na região Centro-Sul, em torno do início da primavera e do verão, sob 530 e 555ppm CO₂ (2050-2060), antecipando maiores riscos para o desenvolvimento dos cultivos, face a maior probabilidade de ocorrência de estresses térmico e hídrico associados.

Os dados de precipitação pluviométrica, os atuais e os projetados pelos modelos GISS, esses representados pela relação GISS/dados atuais, para as diversas concentrações de gás carbônico (405 a 555ppm CO₂), encontram-se representados por região na Figura 4. Em geral, as projeções correspondem a elevações no volume mensal de chuvas nos primeiros meses do ano (outono), com declínios no inverno-primavera. Maior volume de chuvas no outono pode representar maior dificuldade de colheita para os cultivos de verão, especialmente para as regiões Centro-Sul e Sul. Por outro lado, reduções no volume de chuvas no inverno e na primavera poderão representar maior risco na atividade agrícola e agravamento de conflitos relativos à disponibilidade de água para consumo, especialmente nas regiões Centro-Sul, Central e Nordeste, por concentrarem, historicamente, neste período, menor volume de chuvas.

Com relação à radiação solar global, os modelos GISS projetam um declínio, à curto prazo, para o período correspondente a 2010-2030 (405-460ppm CO₂), para o período outono-inverno, com elevação nos meses posteriores (Figura 5), podendo representar menor disponibilidade de energia para os cultivos de inverno, especialmente nas regiões Sul e Centro-Sul.

As projeções relativas às culturas de trigo, milho e de soja incluem a duração do ciclo, a produção de biomassa aérea e o rendimento de grãos (Tabela 1). Com relação ao trigo, as produtividades atuais de grãos ("Atual, 330ppm CO₂"), simuladas para as re-

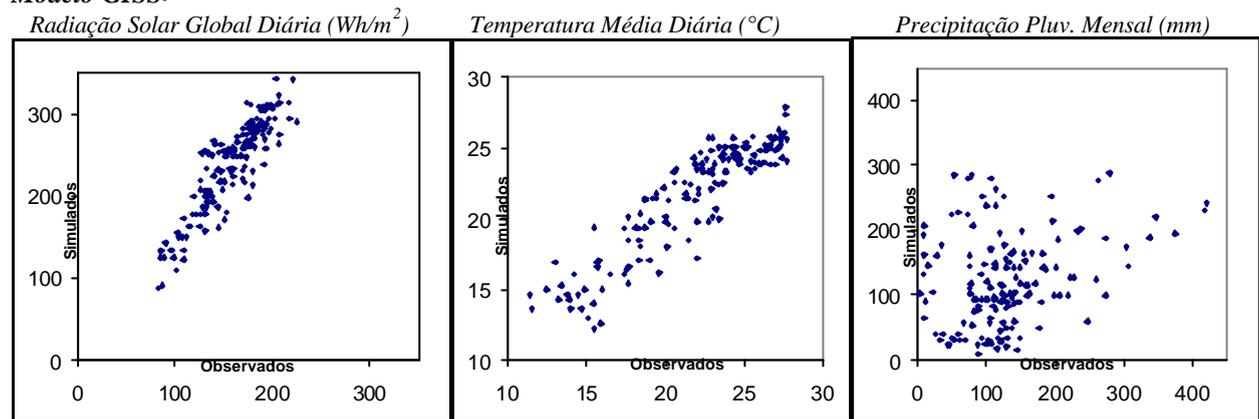
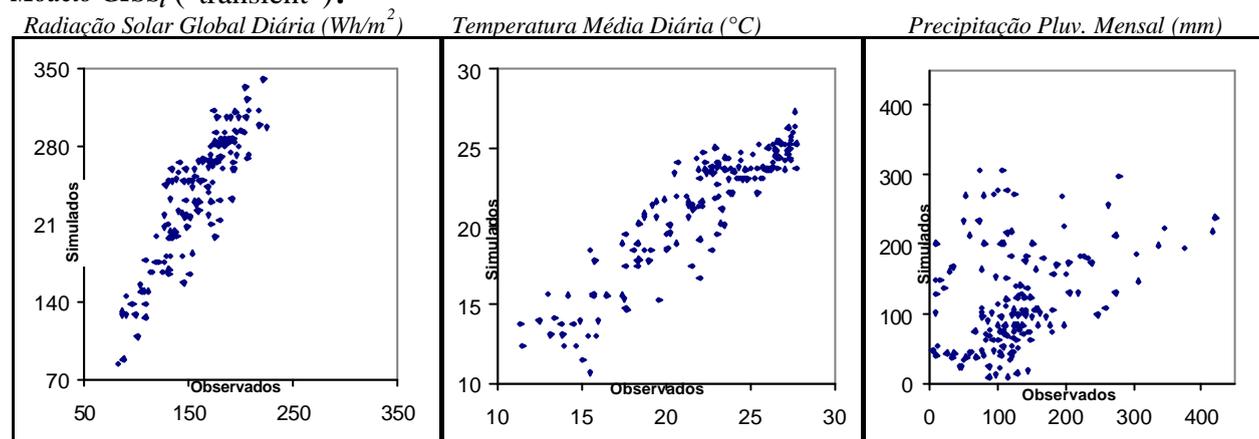
Modelo GISS:**Modelo GISS_t (“transient”):**

Figura 1. Radiação solar global, temperatura do ar e precipitação pluviométrica: valores atuais e virtuais, projetados pelos modelos GISS e GISS_t (“transient”).

giões Sul, Centro Sul e Central corresponderam, respectivamente, a 2,3, 2,4 e 2,9t/ha. A produtividade decresce, numa relação inversa aos aumentos da concentração de CO_2 na atmosfera, atingindo 20, 50 e

30% para as regiões Sul, Centro-Sul e Central, com uma queda de produção média em torno de 31% (1,74t/ha). Reflexos semelhantes são projetados com relação à produção de biomassa aérea, com reduções

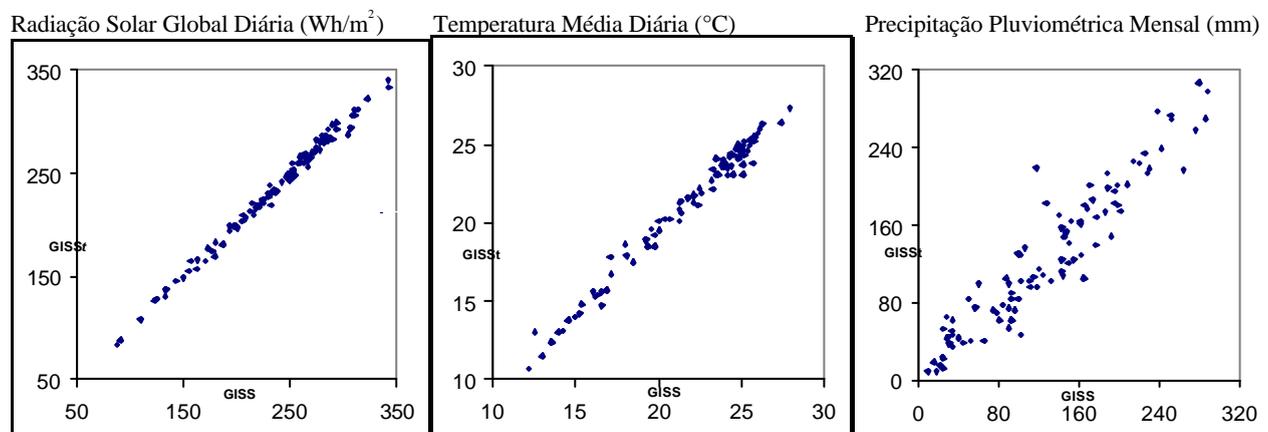


Figura 2. Correlações entre valores atuais, estimados pelos modelos GISS e GISS_t (“transient”) para radiação solar global, temperatura do ar e precipitação pluviométrica.

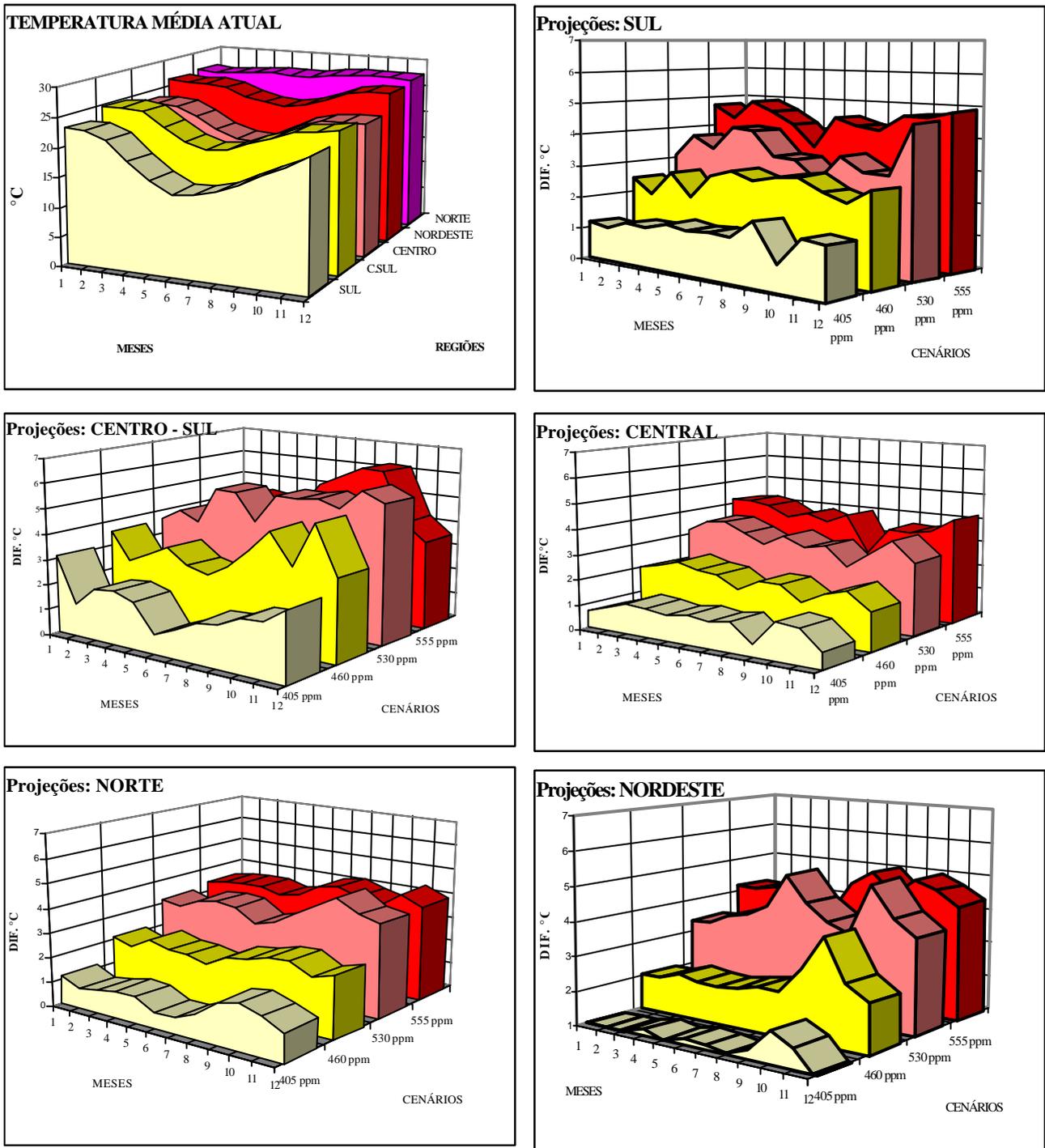


Figura 3. Temperatura do ar atual e projetada pelos modelos GISS (diferença GISS/Atual), para diferentes cenários de concentração de gás carbônico e regiões brasileiras.

médias de 8 para 6t/ha. A produção de biomassa e de grãos relacionou-se inversamente com o comprimento do ciclo da cultura, sendo as reduções do ciclo mais expressivas para as regiões Centrais.

Resultados semelhantes foram também constatados com a cultura do milho, sendo menos expres-

sivas as quedas de produtividade. As reduções na produção de grãos situaram-se entre 8, 10, 22 e 24%, respectivamente para as regiões Sul, Centro-Sul, Nordeste e Norte, sendo 16% o decréscimo médio na produtividade de grãos. Reflexos correspondentes foram constatados na produção de biomassa aérea, também relacionados com encurtamentos do ciclo.

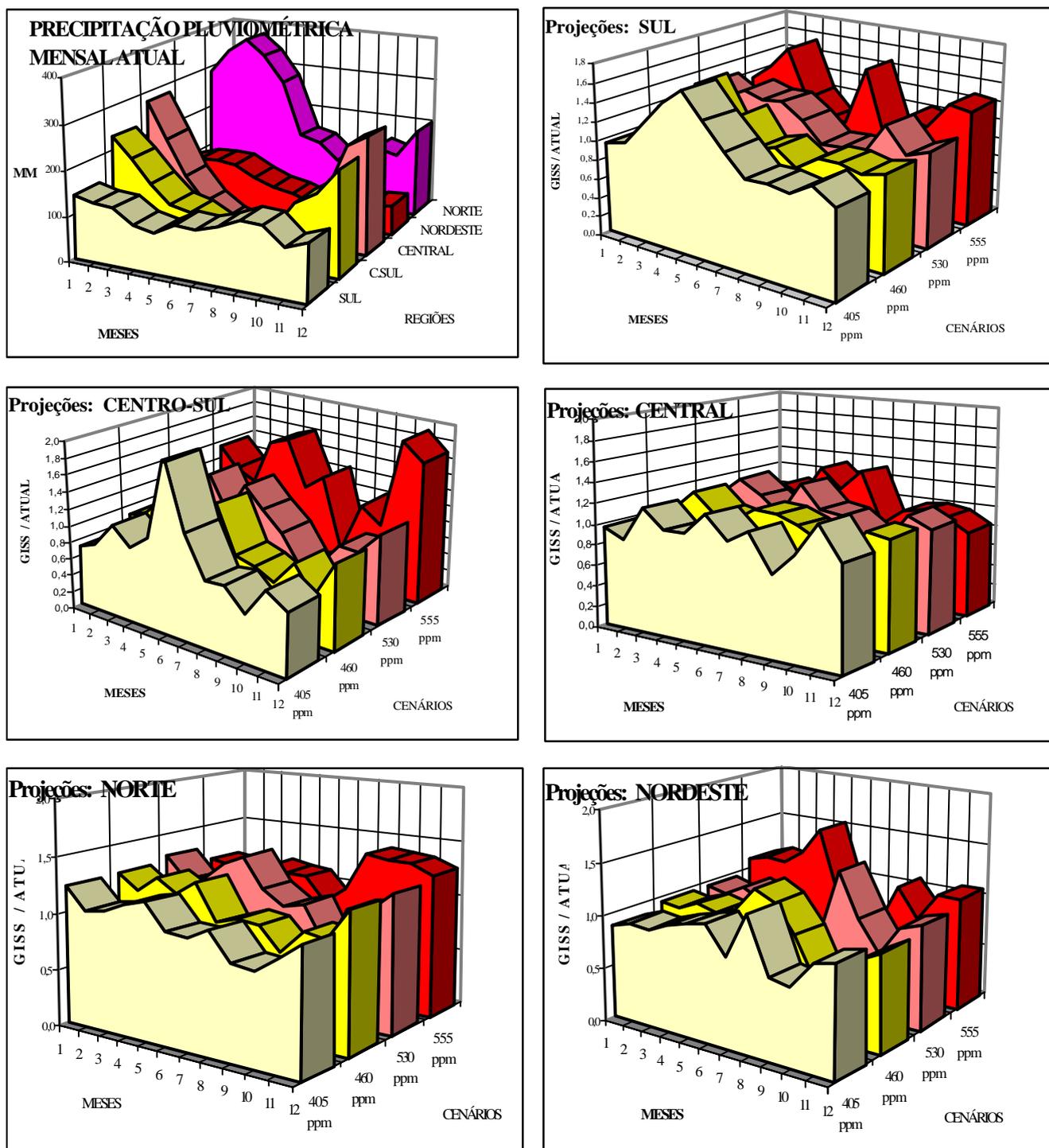


Figura 4. Precipitação pluviométrica atual e projetada pelos modelos GISS (relação GISS/ Atual), para diferentes cenários de concentração de gás carbônico e regiões brasileiras.

Os efeitos na produção de trigo e milho foram diretamente relacionados com os aumentos de temperatura, com reflexos no encurtamento do ciclo das culturas, face à sensibilidade atual dos genótipos avaliados, o que reforça a necessidade de linhas de pesquisa nesta área.

As projeções relativas a cultura da soja foram diferenciadas e antagônicas às apresentadas para o trigo e o milho. São estimados reflexos positivos na produção de biomassa e de grãos, em relação aos cenários climáticos decorrentes dos aumentos na concentração de CO₂ na atmosfera, aparentemente su-

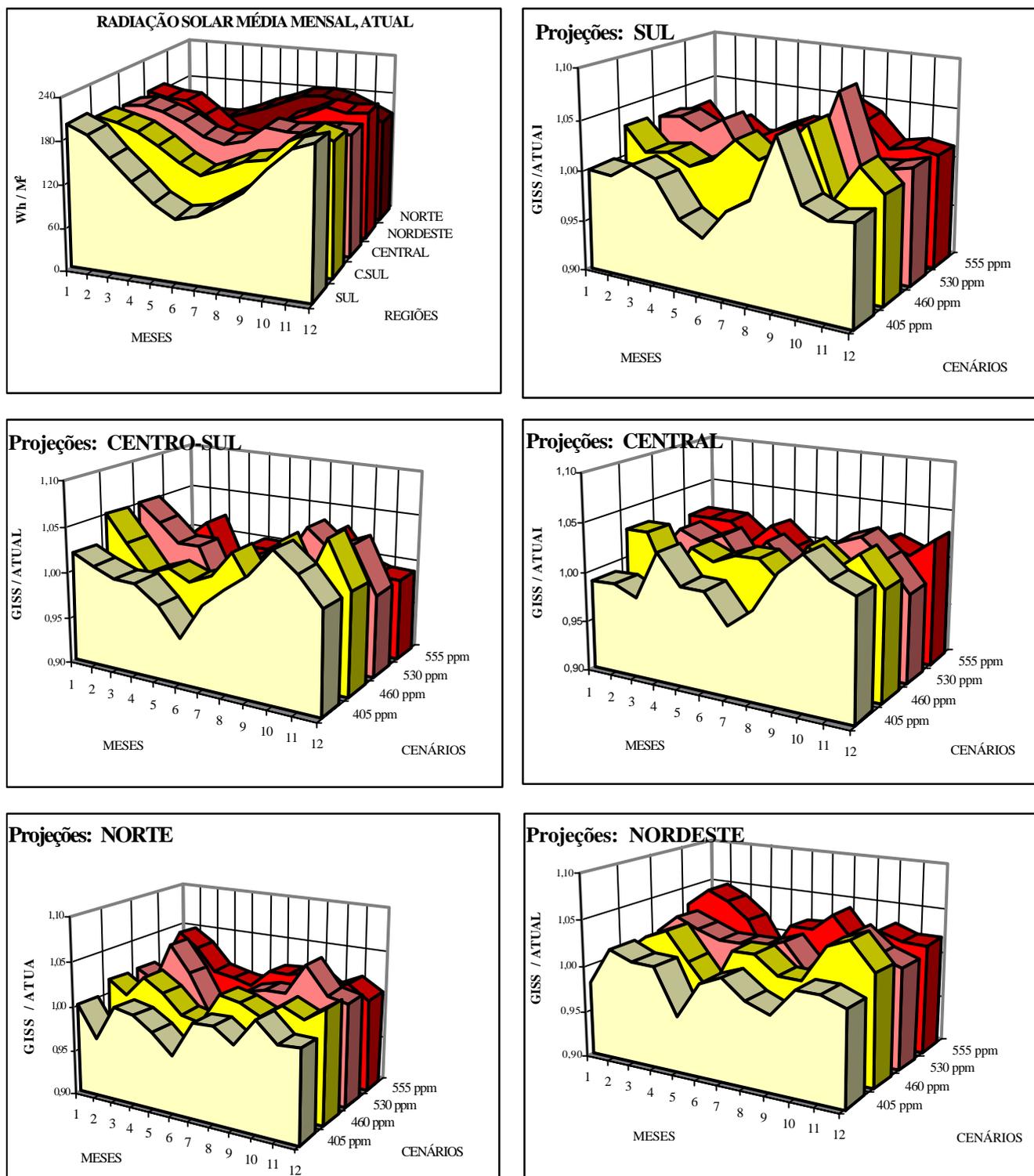


Figura 5 Radiação solar atual e projetada pelos modelos GISS (relação: GISS/Atual), para diferentes cenários de concentração de gás carbônico e regiões brasileiras.

plantando os efeitos negativos dos aumentos de temperatura. Foram constatados aumentos potenciais na produção da soja entre 30, 32, 9 e 38%, respectivamente para as regiões Sul, Centro-Sul, Nordeste e Norte, situando-se em média ao redor de 27%. Cons-

tatarem-se efeitos pouco expressivos na duração do ciclo da cultura, a exceção da região Sul, onde se verificou um encurtamento do ciclo em torno de 7%. Estes resultados permitem inferir sobre a possibilidade de que os efeitos benéficos dos aumentos da

concentração de CO₂ tenham compensado os efeitos decorrentes dos aumentos de temperatura, entre outros, requerendo, também, novas pesquisas dirigidas ao desenvolvimento de novos genótipos e práticas de manejo que possam maximizar os benefícios referidos.

Os impactos das mudanças climáticas, estimados pelos modelos GISS, sobre a produção nacional de grãos encontram-se representados na Figura 6. Com relação ao trigo e ao milho, os efeitos mais depressivos são projetados para a região Centro-Sul, especialmente a partir do ano 2030 (530 ppm CO₂). Em contrapartida, os efeitos benéficos potenciais, mais expressivos, são estimados para a cultura da soja para as regiões produtoras do Sul e Centro-Sul, face a expressividade da área cultivada. As regiões Centrais, tanto para milho como para soja, não foram analisadas devido a inacessibilidade a dados climáticos.

Conclusões

Os modelos GISS apresentam performance satisfatória ao simular cenários atuais de temperatura

e radiação solar diários, incorporando maiores incertezas em reproduzir o volume mensal de chuvas.

As projeções dos modelos GISS sinalizam aumentos na temperatura do ar à curto prazo, em torno de 2°C para o ano 2010, com máximas projetadas para as regiões Centro-Sul, alcançando 6°C em torno de 2050 a 2060. Quanto à radiação solar global ressaltam a possibilidade de redução à curto prazo (2010-2030), no outono-inverno, representando menor disponibilidade de energia, com tendência à elevação em cenários futuros.

As projeções relativas à precipitação pluviométrica, incorporam incerteza elevada, tendo sido detectada uma tendência de elevação do volume de chuvas no período do outono, com declínios no inverno e início da primavera, esses últimos podendo representar agravamento de conflitos quanto à disponibilidade de água para as regiões Centro-Sul, Central e Nordeste.

A produção de grãos do trigo e milho reduz-se em cerca de 31% e 16%, respectivamente, em relação direta com os cenários climáticos decorrentes dos

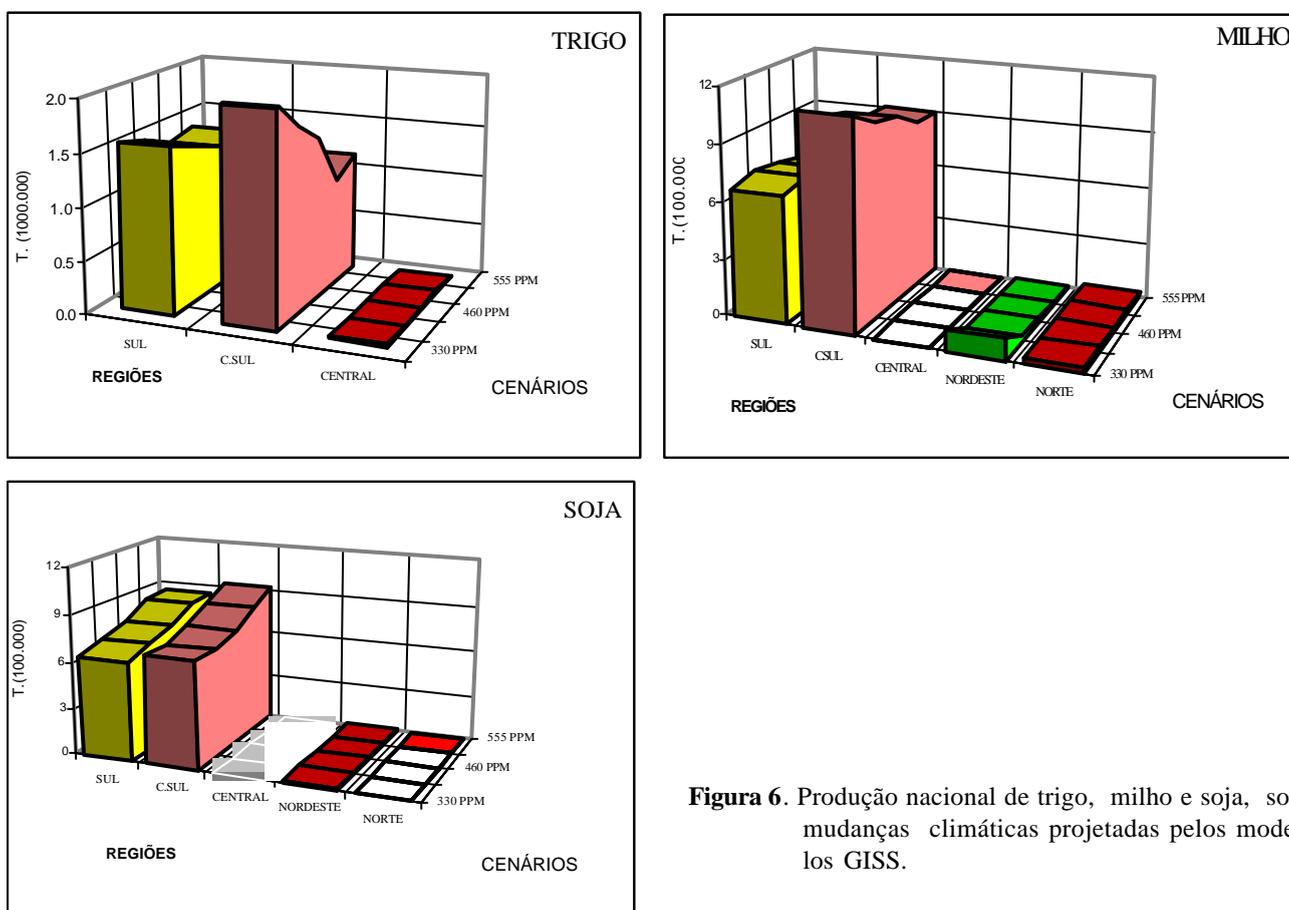


Figura 6. Produção nacional de trigo, milho e soja, sob mudanças climáticas projetadas pelos modelos GISS.

Tabela 1. Produção de grãos, biomassa aérea e duração do ciclo das culturas de trigo, milho e soja, em relação a cenários climáticos atuais e virtuais, projetados pelos modelos GISS e GISS_t “transient”.**TRIGO:**

Cenários (Modelo/CO ₂)	produção de grãos, t/ha				Biomassa aérea, t/ha				Duração do ciclo, dias			
	S	CS	CE	Média	S	CS	CE	Média	S	CS	CE	Média
Atual, 330 ppm	2,30	2,37	2,90	2,52	8,82	7,36	7,72	7,97	125	103	100	109
GISSt, 405 ppm	2,15	2,05	2,62	2,27	8,47	6,44	7,06	7,32	118	98	95	104
GISSt, 460 ppm	1,98	1,79	2,58	2,12	8,18	5,77	6,94	6,96	112	92	92	99
GISS, 530 ppm	2,08	1,19	2,22	1,83	8,65	3,91	6,08	6,21	112	86	88	95
GISS, 555 ppm	1,84	1,35	2,04	1,74	7,85	4,55	5,63	6,01	107	87	85	93

MILHO:

Cenários (Modelo/CO ₂)	produção de grãos, t/ha					Biomassa aérea, t/ha					Duração do ciclo, dias				
	S	CS	NE	N	Média	S	CS	NE	N	Média	S	CS	NE	N	Média
Atual, 330 ppm	7,34	6,66	4,87	4,40	5,92	14,07	13,32	10,64	10,82	12,21	133	118	106	104	115
GISSt, 405 ppm	7,71	6,09	4,40	4,16	5,59	13,83	12,61	9,48	10,14	11,51	124	106	100	98	107
GISSt, 460 ppm	7,44	5,94	4,19	3,78	5,34	13,88	12,51	9,10	9,47	11,24	116	101	94	95	102
GISS, 530 ppm	7,11	5,42	3,84	3,46	4,96	13,61	11,86	8,64	8,93	10,76	110	97	90	92	97
GISS, 555 ppm	6,73	5,96	3,77	3,32	4,94	13,27	12,32	8,75	8,60	10,73	105	99	88	92	96

SOJA::

Cenários (Modelo/CO ₂)	produção de grãos, t/ha					Biomassa aérea, t/ha					Duração do ciclo, dias				
	S	CS	NE	N	Média	S	CS	NE	N	Média	S	CS	NE	N	Média
Atual, 330 ppm	2,91	3,10	3,26	2,17	2,86	6,23	5,68	6,18	3,86	5,49	143	123	110	91	117
GISSt, 405 ppm	3,13	3,09	3,29	2,30	2,95	6,64	5,65	6,36	4,08	5,68	139	121	110	90	115
GISSt, 460 ppm	3,39	3,35	3,43	2,48	3,16	7,16	6,20	6,30	4,36	6,00	136	120	105	90	113
GISS, 530 ppm	3,75	3,76	3,53	2,82	3,46	7,91	7,07	6,72	4,94	6,66	134	121	107	91	113
GISS, 555 ppm	3,78	4,08	3,56	3,00	3,60	8,11	7,70	7,48	5,21	7,12	133	121	116	92	116

S: Sul CS: Centro-Sul CE: Central NE: Nordeste N: Norte

aumentos nas concentrações de CO₂ na atmosfera, com efeitos mais pronunciados em torno do ano 2050.

Para a cultura da soja, os cenários climáticos decorrentes dos aumentos da concentração de CO₂ na atmosfera, não apresentam efeitos negativos, registrando-se um aumento na produção de grãos, em torno de 27%.

Os reflexos quanto à produção nacional de grãos, decorrentes dos cenários climáticos projetados através dos modelos GISS, são mais expressivos nas regiões Centro-Sul e Sul, tendendo a intensificarem-se estes efeitos a partir dos anos 2050.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais à Dra. Cynthia Rosenzweig, pesquisadora do Goddard Institute for Space Studies (GISS) da NASA, pela cessão dos “outputs” dos modelos GISS e GISS “transient”.

Referências bibliográficas

- BARRON, E.J. **Climate models: how reliable are their predictions?** Disponível: World.voila.com (1995) **URL:** <http://www.gcrio.org/CONSEQUENCES/fall95/mod.html>. Consultado em março 1999.
- BRIGHT, C. Tracking the ecology and climate change. In: STARKE, L., (ed.) **State of the world – a worldwatch institute report on progress toward a sustainable society**. London : Norton, W.W., 1997. p. 78-94.
- EUROPEAN COMMISSION **Climate change and agriculture in Europe: assessment of impacts and adaptations**. Luxemburg : Office for Official Publications of the European Communities, 1997. 37 p.
- HANSEN, J., FUNG, I., LACIS, A., et al. Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. **J. Geophys. Res.**, Washington, v. 93. p. 934-9364, 1988.

- HANSEN, J., RUSSEL, G., RIND, D., et al. Efficient three-dimensional global models for climate studies: **models I and II**. *Monthly Weather Review*, Boston, v. 3, n. 4, p. 609-662, 1993.
- HANSEN, J., SATO, M., LACIS, A., et al. Perspective: climate forcings in the industrial era. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Washington, v. 95, p. 12753-12758. 1998.
- HILLEL, D., ROSENZWEIG, C. **The greenhouse effect and its implications regarding Global agriculture**. Amherst : Massachusetts Agricultural Experiment Station/ University of Massachusetts, 1989. 36 p. (Research Bulletin, 724).
- IBSNAT Decision support systems for agrotechnology transfer, v. 2.1: **User's guide**. Honolulu : University of Hawaii – IGBP, 1990. p. 201-251. (Report 12)
- REYENGA, P.J., WOWDEN, S.M., MEINKW, H., et al. Modelling global change impacts on wheat cropping in south-east Australia. **Environmental modelling & software**. Queensland: Elsevier, 1998. 10 p.
- ROSENZWEIG, C. Modeling crop responses to environmental change. In: SOLOMON, A.M. SHUGART, H.H., (eds.) **Vegetation Dynamics and Global Change**. New York : Chapman & Hall, p. 306-321, 1993.
- ROSENZWEIG, C., HILLEL, D. An overview: Potential impacts of climate change on agriculture and food supply. **Consequences**. Miami : Saginaw Valley State University, v. 1, n. 2, p. 22-32. 1995.
- ROSENZWEIG, C., PARRY, M.L. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, London, v. 367, p. 133-138, 1994.
- RUSSEL, G.L., MILLER, J.R., RIND, D. A coupled atmosphere – ocean model for transient climate change studies. *Atmos.-Ocean*, Albany, v. 33, p. 683-730, 1995.
- RUSSEL, G., RIND, D. Atmosphere-ocean reponse to CO₂ transient increase in the GISS coupled model. *Journal Climate*, Boston, v. 12, p. 531-539, 1999.
- SIQUEIRA, O.J.F. de, FARIAS, J.R.B. de, SANS, L.M.A. Efeitos potenciais de mudanças climáticas globais na agricultura brasileira e estudos de adaptação para trigo, milho e soja. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994a.
- SIQUEIRA, O.J.F. de, FARIAS, J.R.B.de, SANS, L.M.A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture: applied simulations studies for wheat, maize and soybeans. In: ROSENZWEIG, C., IGLESIAS, A., (org.) **Implications of climate change for international agriculture: crop modeling study**. Washington DC : EPA, 1994b. p. 117- 135.