

## Avaliação da precipitação projetada pelos modelos climáticos globais para o Sudeste do Brasil utilizando SIG

Emília Hamada<sup>1</sup>  
Aline de Holanda Nunes Maia<sup>1</sup>  
Raquel Ghini<sup>1</sup>  
Marília Campos Thomaz<sup>2</sup>  
Renata Ribeiro do Valle Gonçalves<sup>2</sup>  
José Tadeu de Oliveira Lana<sup>1</sup>  
Elias Gomes de Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Meio Ambiente  
Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil  
{emilia, hmaia, raquel, lana, elias}@cnpma.embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Av. Candido Rondon, 501 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil  
mariliang@gmail.com; renaribeiro@yahoo.com.br

**Abstract.** Global climatic models (GCM) are considered the best tool to project climate change scenarios, despite their uncertainties. Projections for each region are different and vary among seasons. The aim of this study was to evaluate projections of precipitation from 15 GCMs provided by the IPCC-AR4 at Southeastern Brazil for 2071-2100 period, scenario A2. A geographic database has been structured with projected climate data and the observed data obtained from the Climate Research Unit. Principal component and cluster analysis were applied for grouping models with similar performance, based on bias rainfall projections, after bias correction. Models were clustered accordingly to spatial similarity of projections, for each season. Spatial similarities varied among seasons.

**Palavras-chave:** climate change, GIS, cluster analysis, mudança climática, SIG, análise de agrupamento hierárquico.

### 1. Introdução

O Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), lançado em 2007, traz evidências contundentes das alterações do clima no planeta. Dentre as quais, o fato de que é muito provável que a maior parte do incremento observado nas temperaturas médias globais desde meados do século XX seja decorrente do aumento observado nas concentrações de gases de efeito estufa de origem antrópica (IPCC, 2007). De modo geral, os países em desenvolvimento são os mais vulneráveis às mudanças climáticas e seus possíveis impactos (IPCC, 2001).

As informações necessárias para avaliação desses impactos são derivadas de projeções de modelos climáticos, que podem ser globais (GCMs) ou regionais (RCMs). O uso das projeções dos GCMs para estudos de impacto é mais limitado quando comparado ao uso dos RCMs, quando se considera que a resolução espacial dos primeiros é da ordem de 300 a 400 km e, dos segundos, de 10 a 50 km; porém, ainda assim, segundo Marengo (2007), considerando a extensão continental do Brasil, os modelos globais certamente oferecem informações de grande utilidade sobre mudanças do clima, contribuindo para antever as características gerais do clima futuro. Desta forma, os GCMs constituem-se em uma importante informação para o estudos de impactos de mudanças climáticas em larga escala, a médio e longo prazo para o País.

Para se realizar estudos consistentes que tratem de nossa vulnerabilidade nas diversas áreas, torna-se necessária uma base de dados organizada e estruturada das condições

climáticas projetadas pelos modelos climáticos globais do IPCC para o Brasil. A alteração no clima não é projetada somente considerando a alteração dos valores de temperatura, mas também no ritmo esperado de outras variáveis climáticas (precipitação, umidade, ventos, etc), embora se considere que as projeções de temperatura sejam as mais confiáveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar precipitação projetada por 15 modelos climáticos globais do IPCC-AR4 para a região Sudeste do Brasil no período de 2071-2100, cenário A2, utilizando a ferramenta de Sistema de Informações Geográficas.

## 2. Metodologia de Trabalho

Neste estudo foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) Idrisi 32, software desenvolvido pela Universidade de Clark, EUA. As informações climáticas de precipitação foram inseridas no banco de dados do SIG, adotando-se o sistema de coordenadas geográficas latitude e longitude, com resolução espacial de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ , para o período de 2071-2100, cenário A2 (pessimista) de projeções de 15 GCMs do IPCC-AR4 e do período de referência de 1961-1990 do Climate Research Unit (CRU).

Os modelos climáticos globais (GCMs) do AR4 utilizados foram: BCCR-BCM2.0 - Bjerknæs Centre for Climate Research, Noruega; CGCM3.1.T47 - Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis, Canadá; CNRM-CM3 - Météo-France, França; CSIRO-Mk3.0 do CSIRO Atmospheric Research, Austrália; ECHO-G - Meteorological Institute of the University of Bonn, Alemanha/Coréia; GFDL-CM2.0 - US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, EUA; GISS-ER - Goddard Institute for Space Shuttles, EUA; UKMO-HadCM3 - Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office, Reino Unido; UKMO-HadGEM1 - Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office, Reino Unido; INM-CM3.0 - Institute for Numerical Mathematics, Rússia; MIROC3.2.medres do Center for Climate System Research, Japão; ECHAM5 - Max Planck Institute for Meteorology, Alemanha; MRI-CGCM2.3.2 - Meteorological Research Institute, Japão; CCSM3 - National Center for Atmospheric Research, EUA; e PCM - National Center for Atmospheric Research, EUA.

Como cada modelo apresenta dados projetados em diferentes resoluções espaciais, um trabalho preliminar foi realizado de forma a se obter a mesma resolução espacial utilizando-se de interpolação matemática. Também foi realizada a média aritmética de 30 anos, de forma a se obter a precipitação média mensal do período de 2071-2100. Posteriormente foi realizado um “recorte” das informações para a região Sudeste do Brasil, resultando em informações em formato raster ou matricial compostos de 322 pixels para cada mês e modelo.

A similaridade entre os modelos foi avaliada utilizando análise de componentes principais e análise de agrupamento hierárquico, utilizando do software estatístico SAS/STAT. O agrupamento dos modelos foi realizado de acordo com a similaridade espacial da precipitação acumulada em cada estação do ano. Inicialmente, foi realizada uma análise de componentes principais pra obter combinações lineares das colunas (322) representando cada pixel sobre a região. Foram selecionadas as dez primeiras componentes para cada estação do ano, para realização da análise de agrupamento.

Os modelos foram agrupados de acordo com a similaridade espacial da precipitação acumulada em cada estação do ano, utilizando um método hierárquico baseado na distância entre centróides dos grupos (método do centróide). A escolha do número de grupos baseou-se no gráfico do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) em função do número possível de grupos (1 a 15). O  $R^2$ , nesse contexto, representa a relação entre a variabilidade entre os grupos formados e a variabilidade total (entre modelos).

## 3. Resultados e Discussão

Na Figura 1 está apresentado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) em função do número de grupos de modelos climáticos globais (GCMs) e a estação do ano, adotando-se neste estudo sete grupos de modelos. Os valores de precipitação acumulada média de cada grupo de modelos por estação estão apresentados na Tabela 1. A precipitação acumulada no período de 2071-2100, cenário A2, variou na média dos sete grupos de GCMs de 564.98mm a 799.65mm no verão, 218.22mm a 290.30mm no outono, 33.92mm a 98.27mm no inverno e de 256.32mm a 453.97mm na primavera, apresentando comportamento sazonal típico. Dendogramas com os agrupamentos dos GCMs por estação estão apresentados na Figura 2. As Figuras 3 e 4 apresentam as precipitações médias mensais do período de referência de 1961-1990 e os 15 GCMs do período de 2071-2100, cenário A2, com barras verticais com máximo e mínimos representando os maiores e menores valores de precipitação encontrados na região Sudeste. A Figura 5 apresenta os mapas de distribuição da precipitação do período de 1961-1990 e previsto para 2071-2100, cenário A2. Pode-se observar que as previsões dos GCMs não apresentam tendências uniformes de aumento ou de diminuição de precipitação no futuro na região Sudeste. Além disso, observa-se que as similaridades espaciais variaram nas estações do ano. Porém, as projeções de precipitação dos modelos, na média, seguiram comportamento sazonal típico das estações do ano.

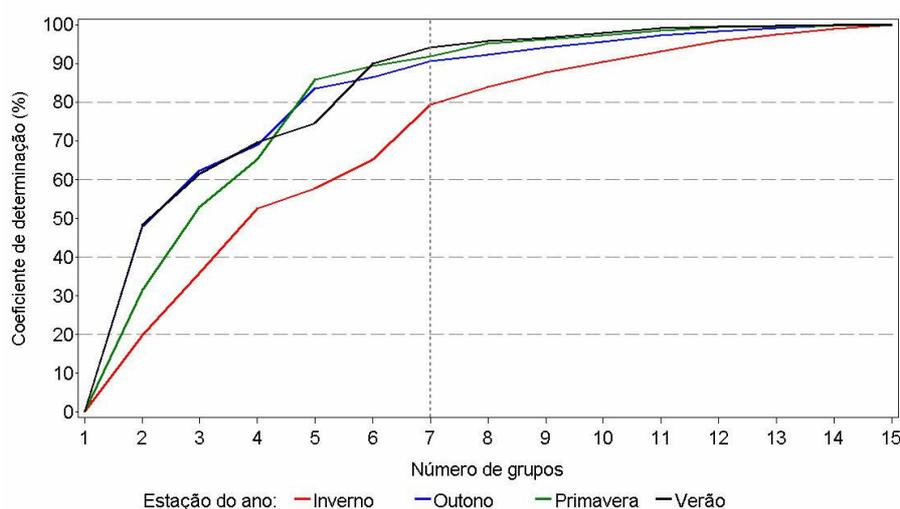


Figura 1. Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) em função do número de grupos. (O  $R^2$  é a fração da variabilidade total capturada pelos grupos de tamanho n).

#### 4. Conclusões

As projeções de precipitação dos GCMs na região Sudeste são variáveis entre si, não apresentando uma tendência uniforme no futuro. As similaridades espaciais variaram nas estações do ano, porém, as projeções de precipitação dos modelos, na média, seguiram comportamento sazonal típico das estações do ano.

#### Agradecimentos

À Embrapa-Macroprograma 1 (Projeto Climapest) pelo suporte financeiro.

### Referências Bibliográficas

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2001**: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2007**: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996 p.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. **Caracterização do clima de referência e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**: sumário técnico. Brasília, DF: MMA, SBF, DCBio, 2007. 50 p.

Tabela 1. Agrupamentos dos modelos climáticos para a região Sudeste, por estação do ano, de acordo com a similaridade espacial das projeções da precipitação acumulada sazonal.

Estação	Grupo	Modelos climáticos	Precipitação média da estação (mm)
Verão	G1	CGCM3.1.T47, GISS-ER, CCSM3, PCM	634.12
	G2	BCCR-BCM2.0, CNRM-CM3, CSIRO-mk3.0, ECHAM5, MRI-CGCM2.3.2	707.07
	G3	GFDL-CM2.0, MIROC3.2.medres	478.82
	G4	INM-CM3.0	564.98
	G5	ECHO-G	705.36
	G6	UKMO-HadGEM1	799.65
	G7	UKMO-HadCM3	673.80
Outono	G1	CGCM3.1.T47, GISS-ER, MRI-CGCM2.3.2, CCSM3	253.72
	G2	ECHO-G	270.77
	G3	CSIRO-Mk3.0, PCM	282.12
	G4	BCCR-BCM2.0, CNRM-CM3, ECHAM5	290.30
	G5	UKMO-HadCM3	285.32
	G6	UKMO-HadGEM1	284.80
	G7	GFDL-CM2.0, INM-CM3.0, MIROC3.2.medres	218.22
Inverno	G1	INM-CM3.0	47.19
	G2	CGCM3.1.T47	51.44
	G3	CNRM-CM3, GFDL-CM2.0, GISS-ER, ECHAM5, CCSM3	78.86
	G4	BCCR-BCM2.0, CSIRO-Mk3.0, UKMO-HadCM3, MIROC3.2.medres, PCM	63.99
	G5	ECHO-G	65.27
	G6	MRI-CGCM2.3.2	98.27
	G7	UKMO-HadGEM1	33.92
Primavera	G1	BCCR-BCM2.0, CSIRO-Mk3.0, ECHAM5, MRI-CGCM2.3.2, CCSM3	368.10
	G2	UKMO-HadCM3	388.62
	G3	CGCM3.1.T47, GFDL-CM2.0, GISS-ER, MIROC3.2.medres, PCM	321.02
	G4	UKMO-HadGEM1	307.75
	G5	ECHO-G	410.47
	G6	INM-CM3.0	256.32
	G7	CNRM-CM3	453.97

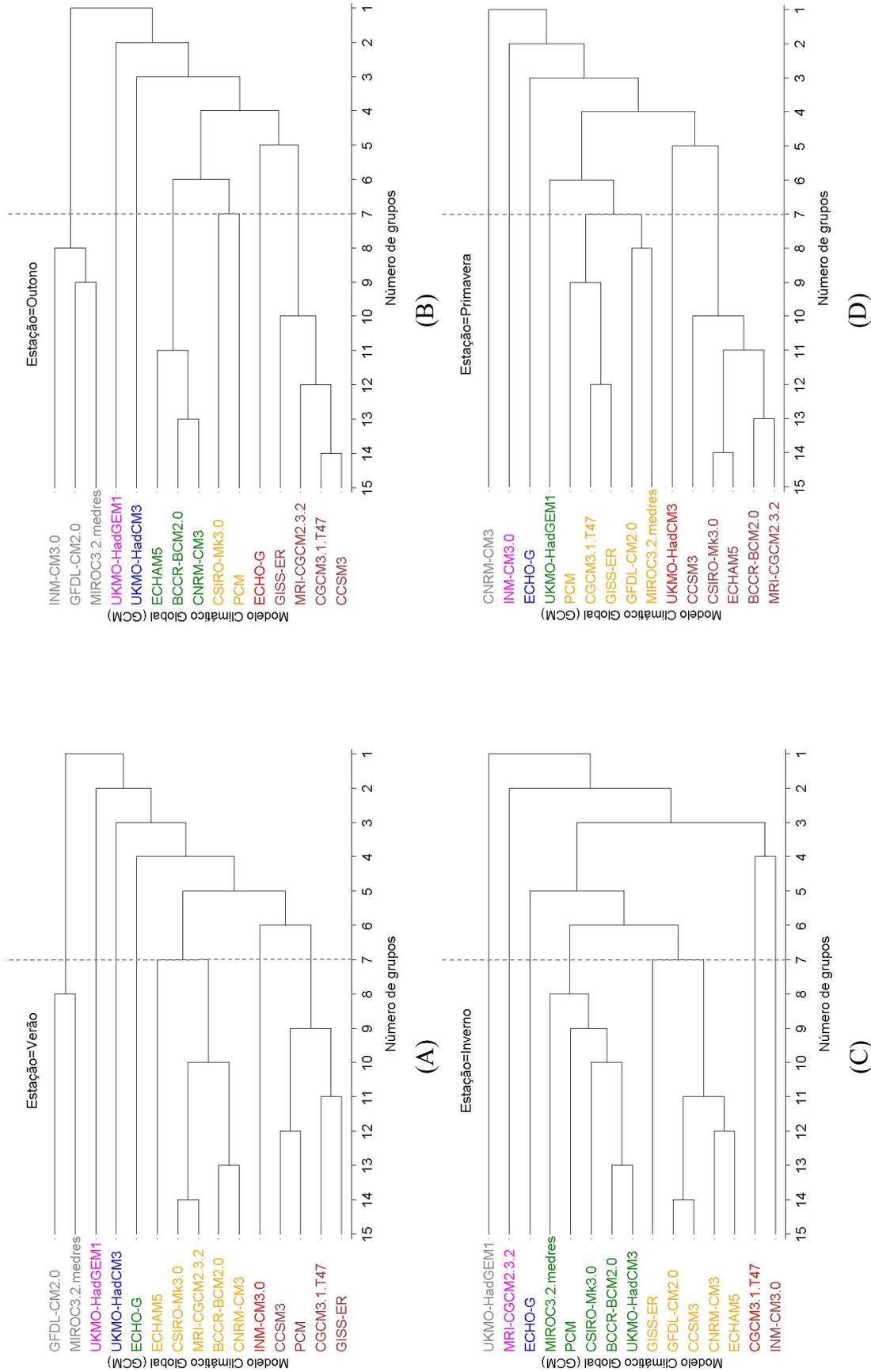


Figura 2. Agrupamentos dos modelos climáticos para a região Sudeste, de acordo com similaridade espacial das projeções da precipitação acumulada sazonal: (A) Verão, (B) Outono, (C) Inverno e (D) Primavera.

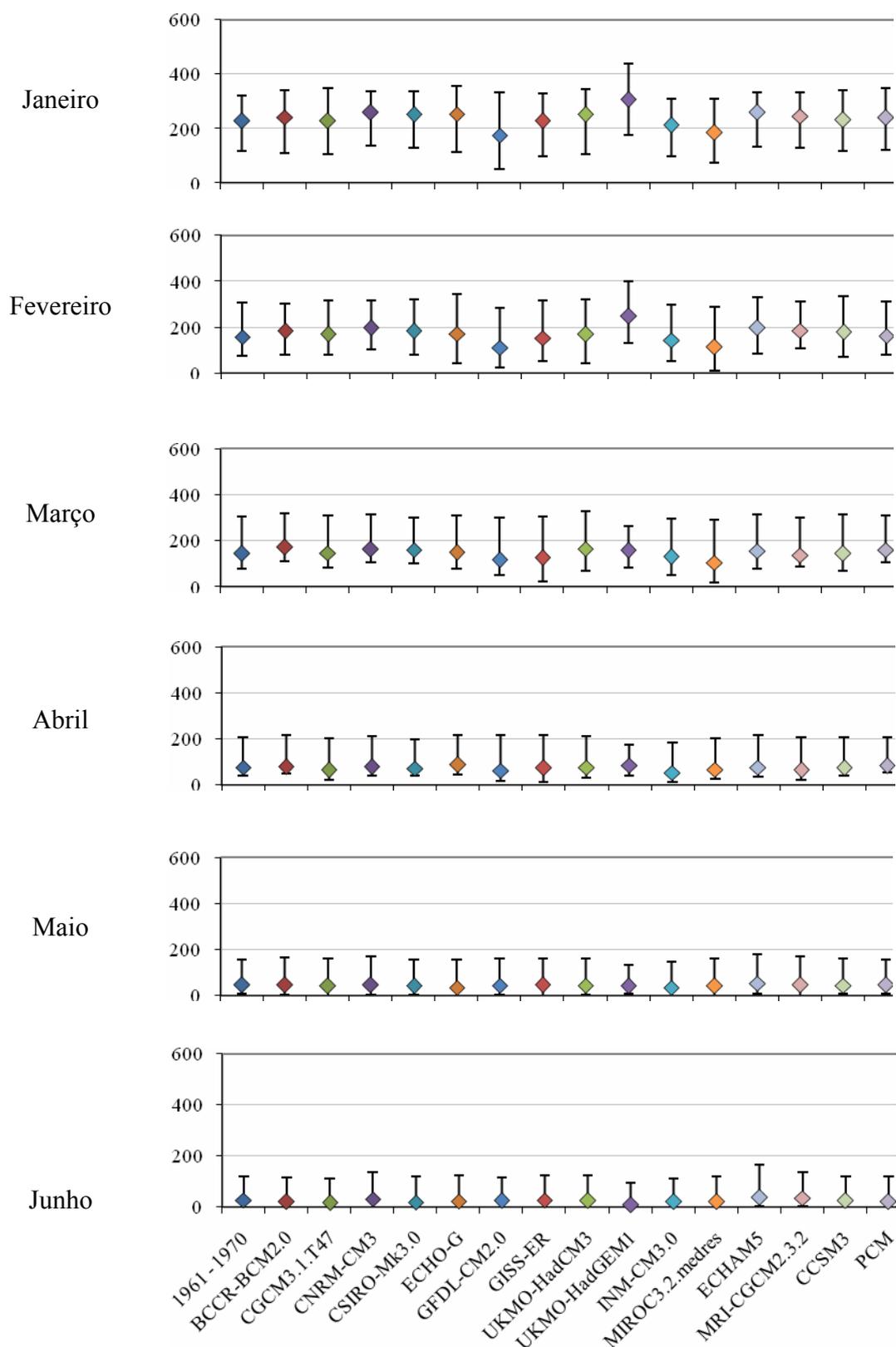


Figura 3. Precipitação média mensal (mm/mês) de janeiro a junho da normal climatológica de 1961 a 1990 e de 15 modelos climáticos globais do período de 2071 a 2100, cenário A2 do IPCC-AR4, na região Sudeste do Brasil. A barra vertical une os valores máximo e mínimo na região em cada mês e modelo.

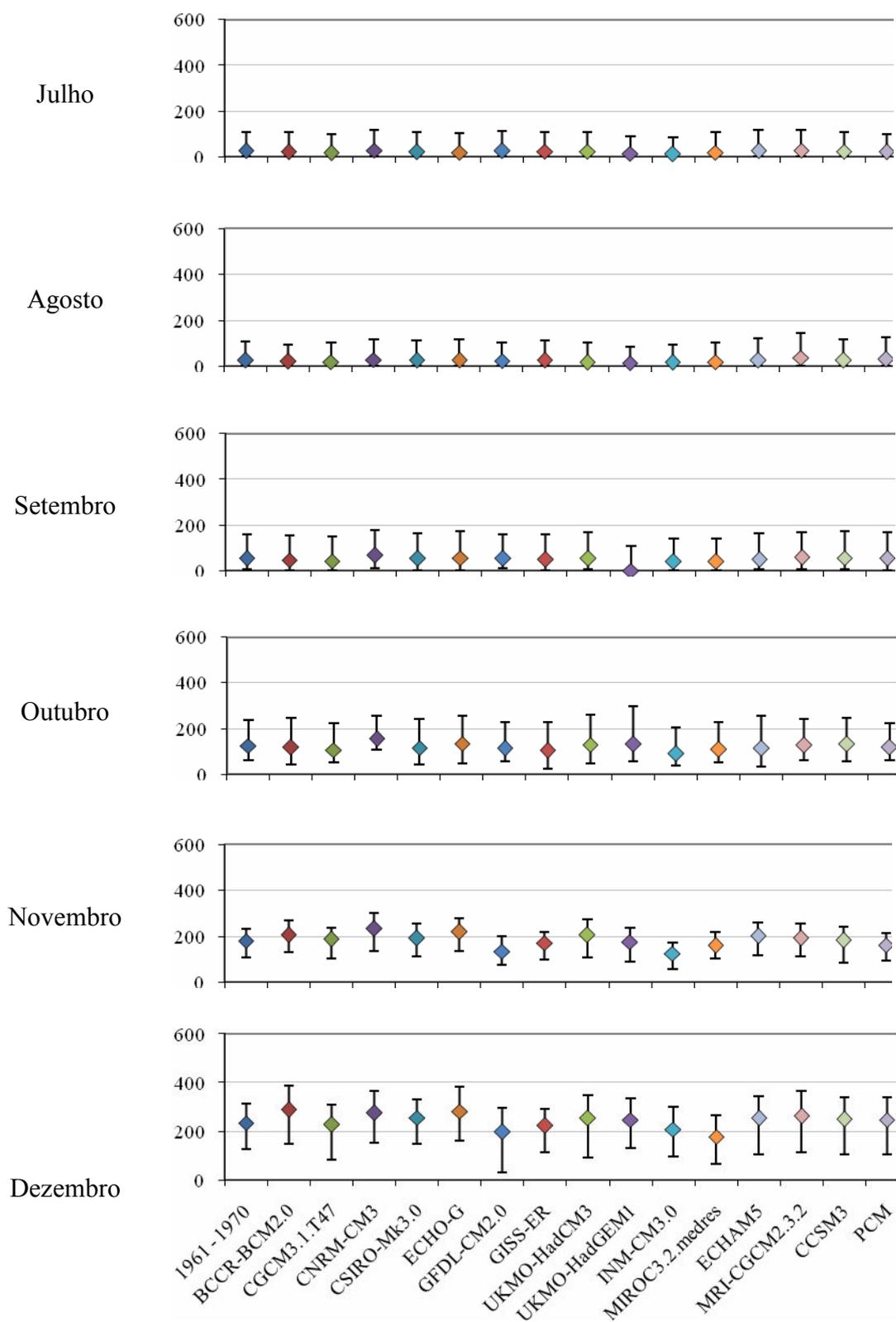


Figura 4. Precipitação média mensal (mm/mês) de julho a dezembro da normal climatológica de 1961 a 1990 e de 15 modelos climáticos globais do período de 2071 a 2100, cenário A2 do IPCC-AR4, na região Sudeste do Brasil. A barra vertical une os valores máximo e mínimo na região em cada mês e modelo.

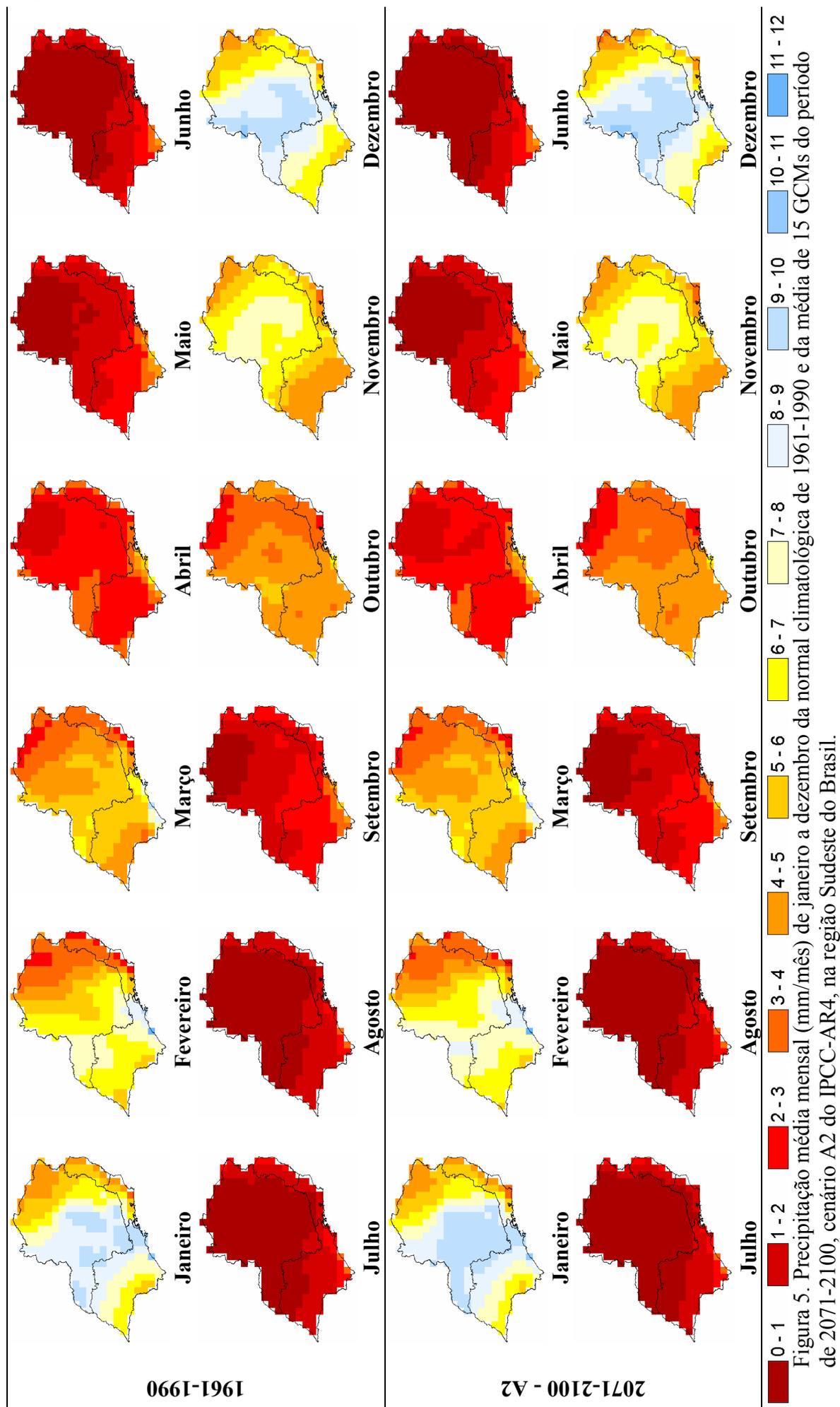


Figura 5. Precipitação média mensal (mm/mês) de janeiro a dezembro da normal climatológica de 1961-1990 e da média de 15 GCMs do período de 2071-2100, cenário A2 do IPCC-AR4, na região Sudeste do Brasil.