

## **Tendência das projeções de precipitação dos modelos climáticos globais para o Brasil utilizando SIG**

Bruno Silva Oliveira<sup>1</sup>  
Emilia Hamada<sup>2</sup>  
José Tadeu de Oliveira Lana<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/FEAGRI  
Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil  
brusilol@gmail.com

<sup>2</sup> Embrapa Meio Ambiente  
Caixa Postal 69 – 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil  
{emilia, lana}@cnpma.embrapa.br

**Abstract.** The reality of global climate changes creates the necessity of predicting how will be the climatic scenario in our planet and how it will affect the economic activities in the future. For some climatic variables the global climate models projections are similar, as in the case of temperature. But in the case of rainfall it does not happen, once the global climate models show different projections. This study aims to evaluate the rainfall projections tendency for Brazil and its regions according to global climate models, using GIS Idrisi 32. Fifteen global models were performed to compare the projection of future precipitation (2071 - 2100) of the emission scenario A2 of the IPCC Fourth Assessment Report with reference period data (1961 - 1990) of the Climate Research Unit (C.R.U). The results showed global climate models behavior differently for each Brazilian region, indicating a tendency of rainfall increase in certain geographic areas and decrease in others. During the winter months there is a tendency of rainfall decrease, while during summer the tendency is the increase of rainfall, according to the global models evaluated. The results can be used as a base for the knowledge of global climate models behavior in future scenarios.

**Palavras-chave:** climate models, geoprocessing, rainfall, modelos climáticos, geoprocessamento, precipitação pluvial.

### **1. Introdução**

Dentro do contexto econômico e de desenvolvimento do País, é esperado que as mudanças climáticas globais causem impactos sobre as atividades que são diretamente afetadas pelo clima. Dessa forma, é importante buscar maneiras de prever de que modo as mudanças climáticas afetarão essas atividades, para se ter uma base de conhecimento a ser utilizada no planejamento de produção e estratégias para garantir o rendimento dessas atividades.

O Geoprocessamento pode ser aplicado nesse contexto por ser uma ferramenta que permite a integração do planejamento com gerenciamento de recursos. Segundo Hamada e Gonçalves (2007), a utilização de SIG (Sistema de Informações Geográficas) é fundamental para esse tipo de estudo, por permitir a manipulação das informações georreferenciadas mantendo-se todo o trabalho no formato digital.

A melhor ferramenta para projetar cenários prováveis de alterações climáticas para o futuro são modelos matemáticos do sistema climático global, os quais levam em conta de forma quantitativa o comportamento dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, criosfera, vegetação, solos, etc.) e suas interações. Estes modelos permitem a simulação de prováveis cenários de evolução do clima para vários cenários de emissões de gases de efeito estufa (Nobre, 2005).

Os cenários de emissão representam uma visão possível do desenvolvimento futuro de emissões de substâncias que têm efeito radiativo potencial, como gases de efeito estufa ou aerossóis, baseados numa combinação coerente e internamente consistente de assunções sobre

forçamentos controladores como demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudança na tecnologia, assim como suas interações (Marengo, 2006).

Os modelos climáticos globais (MCG) apresentam convergência de suas projeções de temperatura indicando para os diferentes cenários de emissão uma tendência de aumento. Já para a precipitação, não há essa concordância. As estimativas de precipitação pluvial dos modelos climáticos globais divergem nas diferentes áreas geográficas, afetando a previsibilidade e a confiança nos resultados obtidos para essa variável. Desta forma, estudos mais aprofundados devem ser realizados para essa variável, avaliando-se o comportamento dos diferentes modelos climáticos globais.

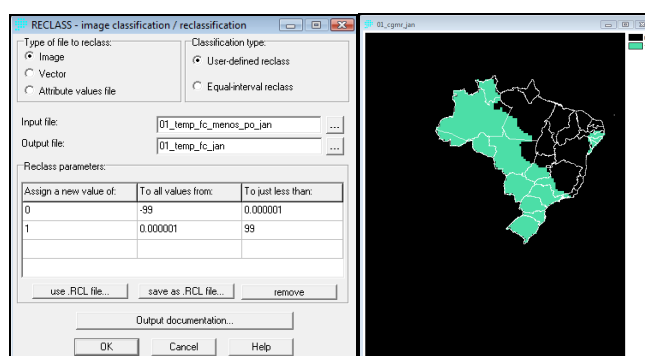
Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento dos modelos climáticos globais (MCG) do Quarto Relatório do IPCC para precipitação, para o Brasil e suas regiões, possibilitando uma melhor compreensão do comportamento dos mesmos em cada região e a tendência de suas projeções.

## 2. Metodologia de Trabalho

A metodologia utilizada busca ao seu final obter mapas do Brasil que mostrem quantos dos MCG projetam aumento de precipitação no período futuro (2071 – 2100) em relação ao período de referência presente (1961 – 1990), nos meses de janeiro a dezembro. Os procedimentos de operação de imagens foram realizados utilizando o SIG IDRISI 32.

Primeiramente foi feita, para cada MCG, a operação de subtração de imagens entre a precipitação do período futuro (2071 – 2100) e período de referência presente (1961 – 1990), para cada mês. As imagens de precipitação dos dois períodos são apresentadas na Figura 2. Estas imagens são referentes à média de precipitação dos quinze MCGs para cada mês.

Uma vez que se obteve a diferença de precipitação entre futuro e presente, foi feita uma reclassificação, separando os pixels nos quais essa diferença é positiva (aumento de precipitação no futuro) daqueles onde é negativa (diminuição de precipitação). Essa reclassificação é feita atribuindo os valores 1 e 0, sendo 1 para os pixels de diferença positiva e zero para os com diferença negativa. Dessa forma, essas imagens reclassificadas seguem o princípio de imagem booleana. A Figura 1 exemplifica a imagem booleana obtida para o mês de janeiro do modelo climático global CGMR, por meio de reclassificação no software IDRISI 32.



**Figura 1** – Comando RECLASS; imagem reclassificada para o CGMR no mês de janeiro.

Após obter a imagem booleana para cada MCG, em cada mês, foi realizada a soma das imagens booleanas. Nessa etapa, para cada mês, foi feita a soma das imagens booleanas de cada MCG. Como em cada imagem, os pixels com valor 1 são os que indicam aumento da precipitação, ao final da operação foram obtidas imagens em que, para cada pixel, continham o número de MCG que projetam aumento de precipitação.

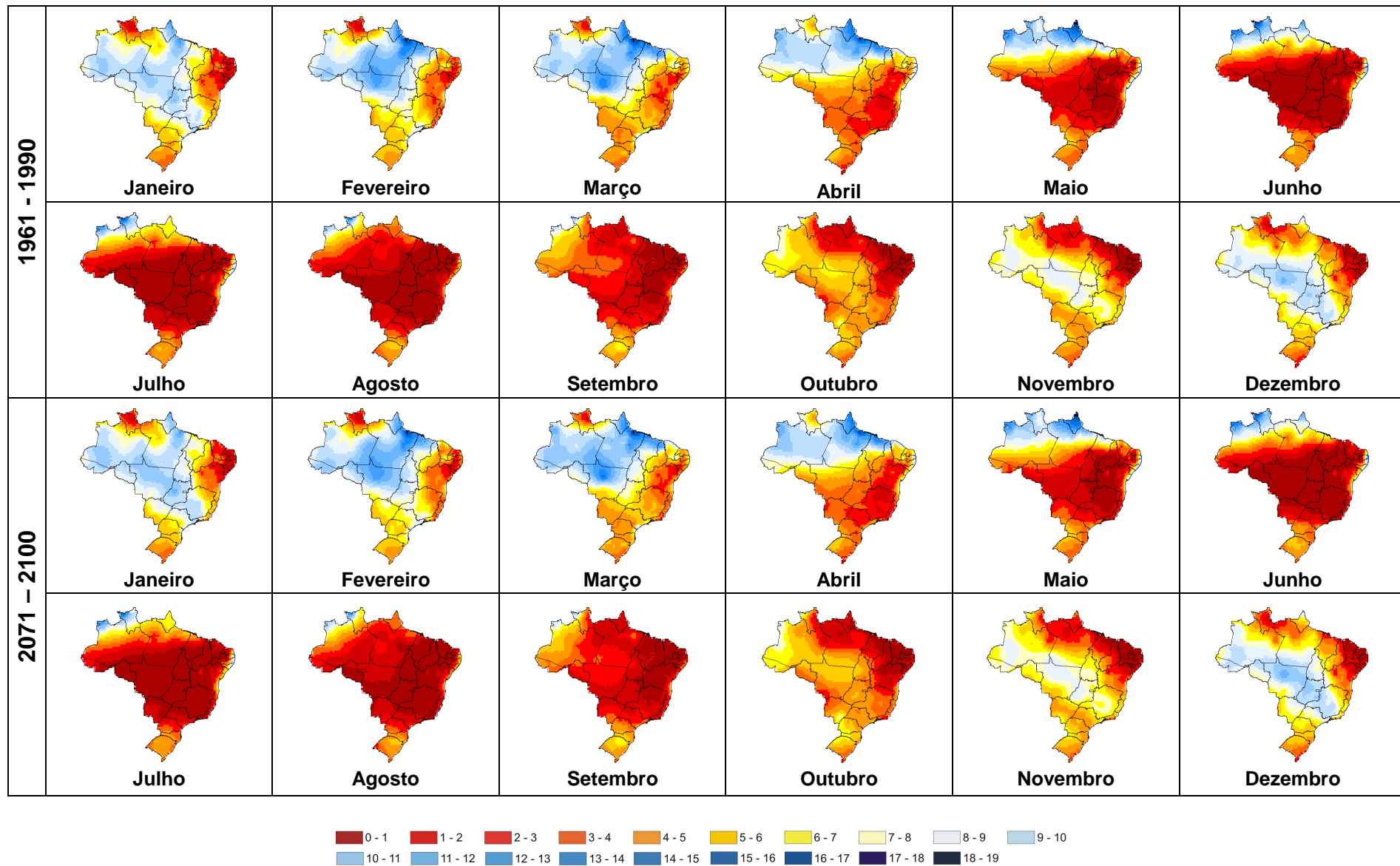
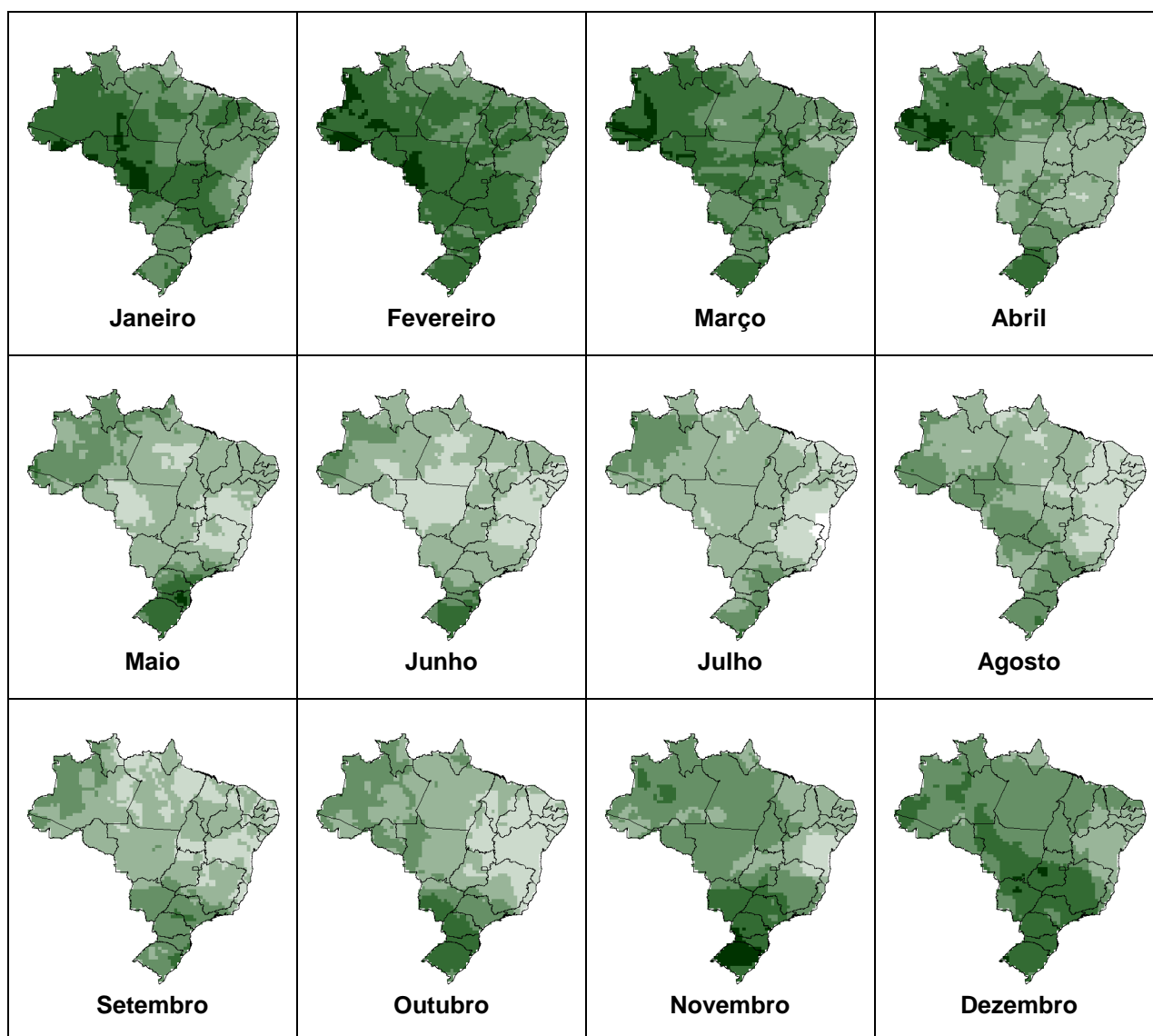


Figura 2– Precipitação mensal (mm/dia) – Média dos 15 MCG para o período de referência (1961-1990) e período futuro (2071-2100).

Após a obtenção das imagens com o número de MCGs que projetam aumento da precipitação para o Brasil, as mesmas foram submetidas a máscaras das regiões do Brasil, para posterior extração dos resultados por região para realização da estatística básica, a ser apresentada nos Resultados e Discussão. A estatística básica foi realizada no software Minitab versão 15.

## 2. Resultados e Discussão

As imagens do Brasil com o número de MCGs que projetam aumento de precipitação no futuro são apresentadas na Figura 3.



**Figura 3.** Número de MCGs que projetam aumento de precipitação no período de 2071 – 2100, cenário A2, em relação ao período de referência 1961 – 1990.

Pela Figura 3 nota-se uma tendência a aumento da precipitação no oeste da região Norte e norte da região Centro-Oeste de janeiro a abril.

Para a região Nordeste, observa-se ao longo do ano uma tendência de diminuição da precipitação, exceto nos meses de janeiro a março, onde há uma maior quantidade de MCGs

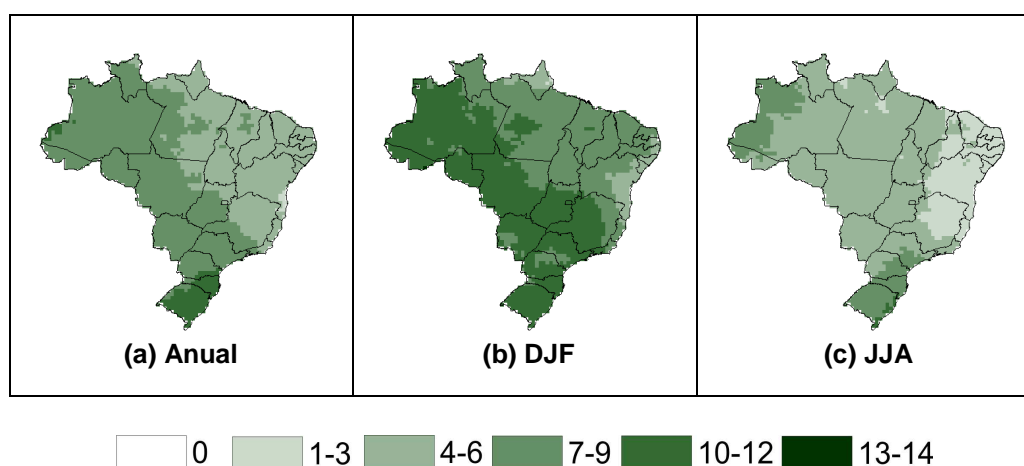
indicando aumento da precipitação. Para essa região, ocorre em julho que nenhum MCG projeta aumento de precipitação no sul da Bahia.

Na região Centro-Oeste, nos meses de janeiro a março há uma concordância quanto ao aumento da precipitação.

Já na região Sudeste, nos meses de verão há uma tendência ao aumento de precipitação. Porém no norte de Minas Gerais, nos meses de inverno, a maioria dos MCGs indica diminuição de precipitação.

A região Sul mostra também tendência de aumento principalmente nos meses de novembro e fevereiro. Nessa região o comportamento nos meses de inverno é diferenciado, uma vez que mais MCGs projetam aumento da precipitação, comparando-se com as outras regiões.

De maneira geral, o comportamento dos MCG varia ao longo do ano, havendo padrões em determinadas regiões, em certas épocas do ano. Dessa forma, foram gerados os mapas apresentados na Figura 4 com a finalidade de se observar o comportamento geral dos MCGs na média anual e nos meses de verão (DJF) e inverno (JJA).



**Figura 4.** Número de MCGs que projetam aumento de precipitação no Futuro Corrigido (2071 – 2100) em relação ao Presente Observado (1961 – 1990). (a) Média anual; (b) Média dos meses de dezembro a janeiro; (c) Média dos meses de junho a agosto.

Observando a média anual, percebe-se que nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul ocorre a maior convergência nas projeções dos MCGs quanto a aumento de precipitação (10 a 12 MCGs indicando aumento de precipitação). Já a faixa de 7 a 9 MCGs abrange grande parte das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte. Esse comportamento mostra uma divergência entre as projeções dos MCGs, pois essa faixa compreende aproximadamente a metade dos MCGs. Já no leste da região Norte, norte da região Sudeste e a região Nordeste, há predominância da faixa onde 4 a 6 MCGs projetam aumento da precipitação. Comparando com os mapas de anomalias de precipitação apresentados por Marengo (2006), nota-se concordância dos resultados para região Sul, onde a maior parte dos MCGs projeta aumento de precipitação. Porém para região Norte, o autor apresenta tendência à diminuição de precipitação no período de 2071 a 2100. Já para a região Nordeste o mesmo autor apresenta uma tendência ao aumento da precipitação na média anual, enquanto no presente estudo, para esta região, há uma menor quantidade de MCGs que fazem tal projeção.

A região Nordeste, isoladamente, apresenta uma tendência a diminuição da precipitação, principalmente no sul da Bahia, onde há menos MCGs indicando aumento de precipitação. Esse resultado está de acordo com o Quarto Relatório do IPCC, onde para a região Nordeste poucos MCGs indicam aumento da precipitação. Mais especificamente no caso do Sul da

Bahia, Marengo (2006) mostra que nesta faixa da região a tendência da anomalia de chuva é mesmo de diminuição nos meses de inverno (JJA).

Comparando com o Quarto Relatório do IPCC, a região Sul do Brasil mostra uma tendência ao aumento de precipitação, com uma maior quantidade de MCGs fazendo essa projeção para esta região do que para as demais.

Na Figura 4(b) é mostrada a média entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) Nesse caso há uma maior quantidade de MCGs projetando aumento da precipitação, comparando-se com os meses de inverno (JJA) e mesmo com a média anual. Nesses meses, tem-se que de 10 a 12 MCGs projetam aumento de precipitação para a região Sul, abrangendo também grande parte das regiões Sudeste, Centro- Oeste e Norte. Já na região Nordeste há menor quantidade de MCGs fazendo essa projeção. Nos resultados apresentados por Marengo (2006) para o período DJF, há uma tendência a aumento da precipitação indo da região Sul até a Nordeste, porém para a área do centro do estado do Amazonas até o Acre os MCGs projetam diminuição, o que não foi observado no presente estudo, onde ocorre uma tendência de aumento da precipitação mesmo para a região Norte, sendo indicada por de 10 a 12 MCGs.

Nos meses de junho, julho e agosto (JJA), a tendência é de haver mais MCGs indicando diminuição da precipitação, comparando-se com a média anual e com os a média dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Na faixa que vai do norte de Minas Gerais e Espírito Santo até o Piauí tem-se que de 1 a 3 MCGs projetam aumento da precipitação, o que é o mesmo que dizer que de 12 a 14 MCGs projetam diminuição. Ainda em JJA, nota-se um padrão semelhante ao apresentado por Marengo (2006), onde na região Sul as projeções são de aumento de precipitação segundo alguns dos MCGs, enquanto na região Nordeste a tendência dos MCG é projetar diminuição de precipitação. Também para esses meses, os resultados apresentados por Marengo (2006) mostram uma tendência a diminuição da precipitação mais intensa no extremo norte da região Norte, porém isso não foi observado nos resultados obtidos neste estudo, uma vez que na região Norte, para JJA, tem-se uma uniformidade quanto número de MCGs que projetam aumento da precipitação (4 a 6 MCGs).

Os resultados da estatística básica realizada para cada uma das regiões do Brasil são apresentados na Tabela 1. Os resultados são referentes ao período de janeiro a dezembro, sendo o número total de pixels o total para os 12 meses do ano.

**Tabela 1.** Estatística básica realizada para as cinco regiões do Brasil.

Região	Total pixels	Média Nº MCG PR>0	Erro	Desvio Padrão	Coef. de Variação(%)	Mínimo	Máximo
Norte	15276	8.32	0.02	2.61	31.33	2	14
Nordeste	6180	6.11	0.03	2.51	41.06	0	12
Sudeste	3852	7.53	0.05	3.00	39.80	0	12
Sul	2556	10.61	0.04	1.88	17.68	5	14
Centro-Oeste	6696	8.25	0.03	2.85	34.54	2	14

Para a região Norte tem-se uma média de aproximadamente 8 MCGs projetando aumento da precipitação no futuro, sendo que o mínimo de 2 MCG indicando aumento de precipitação ocorreu nos meses de inverno (JJA), o que é compatível com os resultados observados na Figura 4(c), onde há pixels na faixa 1-3. O máximo observado para a região ocorreu nos meses de janeiro a abril, conforme observado na Figura 3 para esses meses. O coeficiente de variação para a região foi de 31,33%, mostrando o grau de variabilidade das projeções dos MCGs para precipitação ao longo do ano. Porém, comparando com o coeficiente de variação da região com as demais, e considerando que o número de pixels da região é muito superior, pode-se dizer que há maior homogeneidade das projeções dos MCGs ao longo do ano nessa região.

Para a região Nordeste, é obtido para o período anual o mínimo de zero MCG projetando aumento de precipitação, porém a faixa predominante para o período, conforme observado na Figura 4(a), é de 4 a 6 MCGs indicando esse aumento. O máximo de 13 MCGs indicando aumento da precipitação ocorre nos meses de verão (DJF), conforme observado na Figura 3, o que mostra uma tendência dos MCGs a projetar aumento de precipitação nesses meses do ano, assim como foi observado para as outras regiões do Brasil. Para essa região foi obtido o maior coeficiente de variação (41,06%), mostrando que a região tem a maior variação com relação as projeções dos MCGs ao longo do ano, assim como nos resultados apresentados por Marengo (2006), onde se tem uma maior diferença das projeções entre os meses de DJF e JJA para a região Nordeste. Tal variabilidade pode ser observada na Figura 3, onde se tem o máximo para a região de 13 MCGs indicando aumento da precipitação no mês de abril e nenhum modelo indicando esse aumento no mês de julho, no sul da Bahia. Tem-se uma média de aproximadamente 6 MCGs indicando aumento de precipitação para essa região.

A região Sudeste apresenta uma variabilidade relativamente maior de número de MCGs que projetam aumento da precipitação ao longo do ano, assim como a região Nordeste. O mínimo de MCGs indicando aumento de precipitação é de zero e o máximo é de 13 MCG. O mínimo ocorre no mês de julho, assim como na região Nordeste, e o máximo ocorre nos meses de verão (DJF). O coeficiente de variação para a região é de 39,80%, em uma quantidade de 3852 pixels. A média para a região é de 7,53 MCGs indicando aumento de precipitação, o que somado ao fato de o máximo e mínimo para a região estarem relativamente distantes, mostra uma variabilidade relativamente grande para essa região ao longo do ano.

A região Sul é a que tem mais projeções de aumento de precipitação segundo os MCGs, com uma média de 10,61 MCGs indicando esse aumento. Essa tendência para a região pode ser observada por a mesma ter um mínimo de 5 MCGs indicando aumento de precipitação, ocorrendo no mês de junho e julho, sendo superior ao mínimo das demais regiões. O máximo é de 14 MCGs, ocorrendo no mês de Novembro, como se pode observar na Figura 3. O coeficiente de variação para essa região ao longo do ano é o menor de todas as regiões, com um menor desvio padrão. Isso mostra uma maior homogeneidade das projeções dos MCGs para essa região, com uma variabilidade relativamente menor ao longo do ano. Dessa forma, tem-se que para essa região há uma tendência mais forte de aumento de precipitação no futuro, mesmo nos meses de inverno, segundo os MCGs. Essa tendência observada para a região Sul é compatível com o mostrado por Marengo (2006), tanto para a média anual quando para os meses de verão e inverno.

A região Centro-Oeste mostra um comportamento mais semelhante ao observado nas regiões Sudeste e Nordeste, com maior número de MCG indicando aumento de precipitação nos meses de verão, e menor quantidade nos meses de inverno, porém com um menor coeficiente de variação ao longo do ano (34,54%). A média anual é de 8,25 MCGs indicando aumento de precipitação, com o mínimo de 2 MCGs ocorrendo de maio a junho, como se pode observar na Figura 3, e o máximo de 14 MCG ocorrendo em fevereiro.

Apesar da variação ao longo do ano, nota-se na Figura 4 que a região Centro-Oeste apresenta uniformidade quanto a faixa de número de MCG que projetam aumento de precipitação, sendo de 7 a 9 no período anual, 10 a 12 nos meses de DJF e 4 a 6 nos meses de JJA. Comparando com os resultados apresentados por Marengo (2006), há nos meses de verão uma semelhança nos resultados obtidos, com a região Centro-Oeste mostrando uma tendência a aumento de precipitação no futuro.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos mostram comportamentos variados das regiões do Brasil ao longo do ano quanto às tendências de projeções de precipitação dos MCGs. A região Sul é a que

apresenta mais projeções de aumento de precipitação em todos os meses do ano, havendo uma homogeneidade relativamente maior com relação à tendência das projeções dos MCGs. A região Norte também mostrou uma tendência a aumento de precipitação, devendo-se destacar que essa tendência ocorre em toda a área da região, que mesmo sendo a maior e com maior número de pixels, apresentou coeficiente de variação menor do que das demais regiões, exceto a região Sul.

O comportamento dos MCGs varia nos períodos do ano onde se tem os meses de inverno (JJA) e verão (DJF). Nos meses de inverno tem-se uma tendência dos MCGs a projetar diminuição da precipitação, principalmente nas regiões Nordeste e Sudeste. Mas essa tendência se observa em todo o Brasil, com o número de MCGs que indicam aumento de precipitação sendo menor que nos meses de DJF e também menor que na média anual. Nos meses de verão, a tendência é de se ter um número maior de MCGs projetando aumento da precipitação, o que é observado em todo o Brasil. O comportamento dos MCGs se mostrou compatível, de maneira geral, com os resultados da bibliografia.

### **Agradecimentos**

À Embrapa (Macroprograma 1) pelo apoio financeiro.

### **Referências Bibliográficas**

Hamada, E.; Gonçalves, R.R.V. Introdução ao geoprocessamento: princípios básicos e aplicação– Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 52 p. : il. — (Embrapa Meio Ambiente. Documentos; 67).

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, José 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** / José A. Marengo – Brasília: MMA, 2006.

Nobre, C. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima**. In: MUDANÇA do clima: volume I: negociações internacionais sobre a mudança do clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. Brasília, DF: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2005. p. 147-216. (Cadernos NAE, 3).