



METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DE MAPAS DOS CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS DO TERCEIRO RELATÓRIO DO IPCC PARA O BRASIL*

EMÍLIA HAMADA¹, RENATA RIBEIRO DO VALLE GONÇALVES²,
RAQUEL GHINI¹

¹ Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP, {emilia; raquel}@cnpma.embrapa.br

² Eng. Cartógrafo, Doutoranda Unicamp, Campinas-SP, renaribeiro@yahoo.com.br

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi desenvolver um banco de dados de informações sobre o clima dos cenários futuros, utilizando um Sistema de Informação Geográfica (GIS). Cenários futuros centrados nas décadas de 2020, 2050 e 2080, do (cenários A2 e B2), foram obtidos a partir dos Modelos de Circulação Geral (GCM) disponíveis no Data Distribution Centre do Terceiro Relatório de Avaliação (TAR) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). A TAR é composta por seis GCM com diferentes resoluções espaciais (ECHAM4: $2,8125 \times 2,8125^\circ$, HadCM3: $3,75 \times 2,5^\circ$, CGCM2: $3,75 \times 3,75^\circ$, CSIROmk2b: $5,625 \times 3,214^\circ$, e CCSR / NIES: $5,625 \times 5,625^\circ$). A média aritmética dos modelos disponíveis foi realizada as ferramentas de análise espacial (operação aritmética) do SIG. Mapas de médias mensais de temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação, umidade relativa e radiação solar foram elaboradas adotando a resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ latitude e longitude. O método de elaboração de mapas, utilizando ferramentas de SIG permitiu avaliar a distribuição espacial e das avaliações climáticas futuras.

PALAVRAS-CHAVE: geoprocessamento, SIG, mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

A mudança climática é um processo decorrente do efeito acumulativo contínuo das emissões excessivas de gases de efeito estufa e de aerossóis, provenientes da intensificação de algumas atividades humanas. As atividades humanas estão alterando as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, produzindo mudanças no clima do planeta. O conhecimento dos impactos das mudanças climáticas globais é de grande importância para o setor agrícola, pois permite a elaboração de estratégias para minimizar prejuízos futuros.

Os gases de efeito estufa vêm aumentando consideravelmente nos últimos 150 anos e têm sido a principal causa do aquecimento incomum no planeta nesse período (BARROS, 2005). Segundo o IPCC (2001), durante o século XX, houve um aumento na temperatura média do planeta de $0,6^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$ e as projeções para as duas próximas décadas é de aquecimento de cerca de $0,2^\circ\text{C}$, por década (IPCC, 2007). No Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente $0,75^\circ\text{C}$ até o final do século XX, considerando a normal climatológica (1961-1990) de $24,9^\circ\text{C}$ (MARENGO et al., 2007).

As projeções do clima futuro são descritas por meio de modelos climáticos globais, que são representações descrevendo como se modificará o clima do planeta em decorrência de uma determinada alteração da composição da atmosfera, resultante das atividades humanas (CAMILLONI; BIDEgain, 2005). Tais representações são baseadas em um conjunto de suposições e incluem tendências futuras de demanda energética, emissões de gases de efeito estufa, mudanças no uso do solo e aproximações nas leis que regem o comportamento do sistema climático sobre grandes períodos de tempo.

No Brasil, as projeções dos modelos climáticos do futuro indicam que o aquecimento pode variar por região, sendo acompanhado por mudanças na precipitação que podem incluir incrementos ou reduções em diferentes regiões, e também mudanças na variabilidade do clima e na frequência e intensidade de eventos extremos de clima (MARENGO, 2001).

O SIG tem um enorme impacto em todos os campos que utilizam e analisam dados distribuídos espacialmente, com vantagens na velocidade de processamento, consistência e precisão

* Trabalho apresentado, em parte, no XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

com as quais ele opera e o seu forte caráter gráfico (EASTMAN, 1997). De uma forma geral, as vantagens mais comuns da utilização do SIG são que os dados, uma vez inseridos no sistema, são manipulados com rapidez, permitindo que se façam diferentes análises dos dados de forma mais eficiente, utilizando ferramentas matemáticas e estatísticas sofisticadas e também com menor subjetividade que se fossem realizadas de forma manual. Além disso, ele também possibilita processos de tomada de decisão, facilita a atualização dos dados e produz mapas com rapidez.

Este trabalho teve como objetivo apresentar o método de elaboração de mapas de variáveis climáticas do Brasil nos cenários futuros, utilizando a ferramenta de SIG. O banco de dados desenvolvido possibilitará a sua utilização em diversos estudos baseados em informações climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram consideradas as informações climáticas de temperatura média (°C), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), precipitação (mm/dia), umidade relativa (%) e radiação solar (W/m^2), médias mensais do clima futuro.

Para o clima futuro foram selecionados dois cenários A2 e B2, centrados nas décadas 2020 (entre 2010 a 2039), 2050 (entre 2040 a 2069) e 2080 (entre 2070 a 2099), utilizando a média dos modelos (ECHAM4, HadCM3, CGCM2, CSIRO-Mk2, CCSR-NIES, GFDL-R30) do Terceiro Relatório (*Third Assessment Report – TAR*) do IPCC (2001). Os modelos apresentam resolução espacial e tamanho de grid característicos, conforme apresentado na Tabela 1. Nem todas as variáveis são disponíveis em todos os modelos, por exemplo, a umidade relativa no Terceiro Relatório foi disponibilizado somente pelo modelo HadCM3.

TABELA 1: Características de resolução espacial e tamanho de grid de algumas variáveis dos modelos climáticos globais do Terceiro Relatório (TAR) do IPCC

Características	Modelos					
	ECHAM	HadCM3	GFDL	CGCM	CSIRO	CCSR
Resolução espacial	2,8x2,8	3,7x2,5	3,7x2,2	3,7x3,7	5,6x3,2	5,6x5,6
Tamanho do grid	128x64	96x73	96x80	96x48	54x56	64x32
Temperatura média	X	X	X	X	X	X
Temperatura máxima	ND	X	ND	X	X	X
Temperatura mínima	ND	X	ND	X	X	X
Radiação solar	X	X	X	X	X	X
Precipitação	X	X	X	X	X	X
Umidade relativa	ND	X	ND	ND	ND	ND

Obs.: ND – Informação não disponível.

Fonte: Adaptado de IPCC (2005)

As seguintes etapas preliminares foram seguidas na preparação dos dados:

- 1: Entrada no sumário de dados dos modelos do TAR (IPCC, 2001);
- 2: Seleção do modelo climático global (Figura 1);
- 3: Obtenção de arquivo com a descrição do modelo (Figura 2);
- 4: Seleção dos cenários A2 e B2 e as variáveis climáticas médias mensais (Figura 3);
- 5: Obtenção dos arquivos das variáveis climáticas (Figura 4).
6. Organização dos dados estruturados em colunas de longitude, latitude e valor da variável.

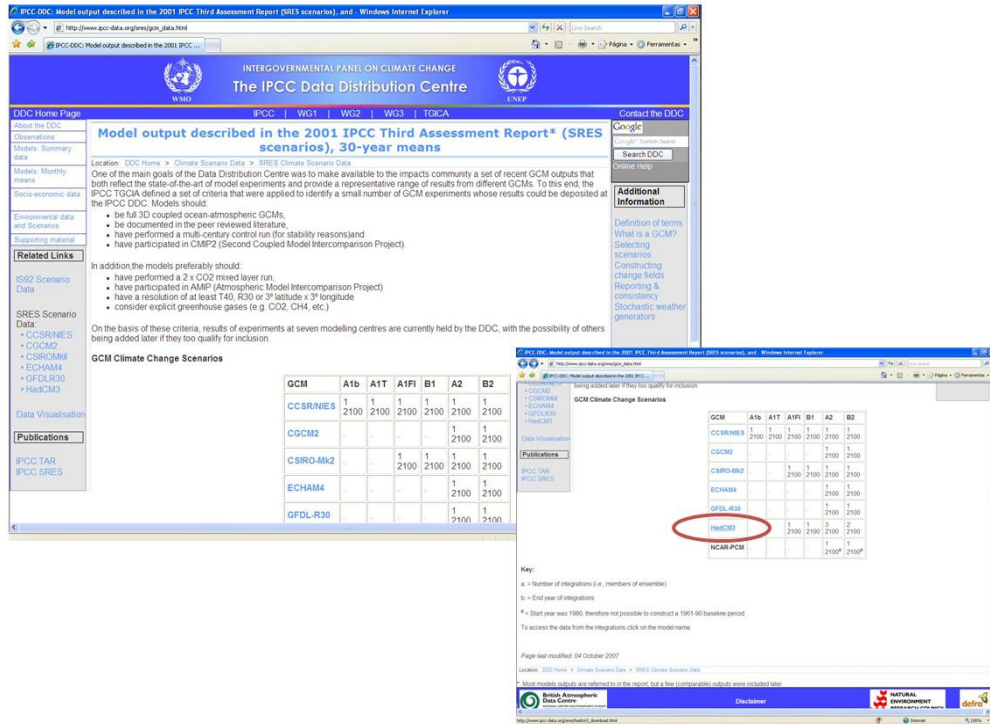


FIGURA 1: Seleção do Modelo

Grid Definition:

The grid orientation is west to east, north to south.

Upper left corner Upper right corner
 $I=1, J=1$ (0.0 E, 90.0 N) $I=96, J=1$ (356.25 E, 90.0 N)

Lower left corner Lower right corner
 $I=1, J=73$ (0.0 E, 90.0 S) $I=96, J=73$ (356.25 E, 90.0 S)

The 96 Longitudes of the centre of each grid box
 0.0000 3.7500 7.5000 11.2500 15.0000 18.7500 22.5000 26.2500
 30.0000 33.7500 37.5000 41.2500 45.0000 48.7500 52.5000 56.2500
 60.0000 63.7500 67.5000 71.2500 75.0000 78.7500 82.5000 86.2500
 90.0000 93.7500 97.5000 101.2500 105.0000 108.7500 112.5000 116.2500
 120.0000 123.7500 127.5000 131.2500 135.0000 138.7500 142.5000 146.2500
 150.0000 153.7500 157.5000 161.2500 165.0000 168.7500 172.5000 176.2500
 180.0000 183.7500 187.5000 191.2500 195.0000 198.7500 202.5000 206.2500
 210.0000 213.7500 217.5000 221.2500 225.0000 228.7500 232.5000 236.2500
 240.0000 243.7500 247.5000 251.2500 255.0000 258.7500 262.5000 266.2500
 270.0000 273.7500 277.5000 281.2500 285.0000 288.7500 292.5000 296.2500
 300.0000 303.7500 307.5000 311.2500 315.0000 318.7500 322.5000 326.2500
 330.0000 333.7500 337.5000 341.2500 345.0000 348.7500 352.5000 356.2500

The 73 Latitudes of scalar grid of the centre of each grid box
 90.0000 87.5000 85.0000 82.5000 80.0000 77.5000 75.0000 72.5000
 70.0000 67.5000 65.0000 62.5000 60.0000 57.5000 55.0000 52.5000
 50.0000 47.5000 45.0000 42.5000 40.0000 37.5000 35.0000 32.5000
 30.0000 27.5000 25.0000 22.5000 20.0000 17.5000 15.0000 12.5000
 10.0000 7.5000 5.0000 2.5000 0.0000 -2.5000 -5.0000 -7.5000
 -10.0000 -12.5000 -15.0000 -17.5000 -20.0000 -22.5000 -25.0000 -27.5000
 -30.0000 -32.5000 -35.0000 -37.5000 -40.0000 -42.5000 -45.0000 -47.5000
 -50.0000 -52.5000 -55.0000 -57.5000 -60.0000 -62.5000 -65.0000 -67.5000
 -70.0000 -72.5000 -75.0000 -77.5000 -80.0000 -82.5000 -85.0000 -87.5000
 -90.0000

CAUTION

FIGURA 2. Arquivo com informações do modelo (grid e latitudes e longitudes).

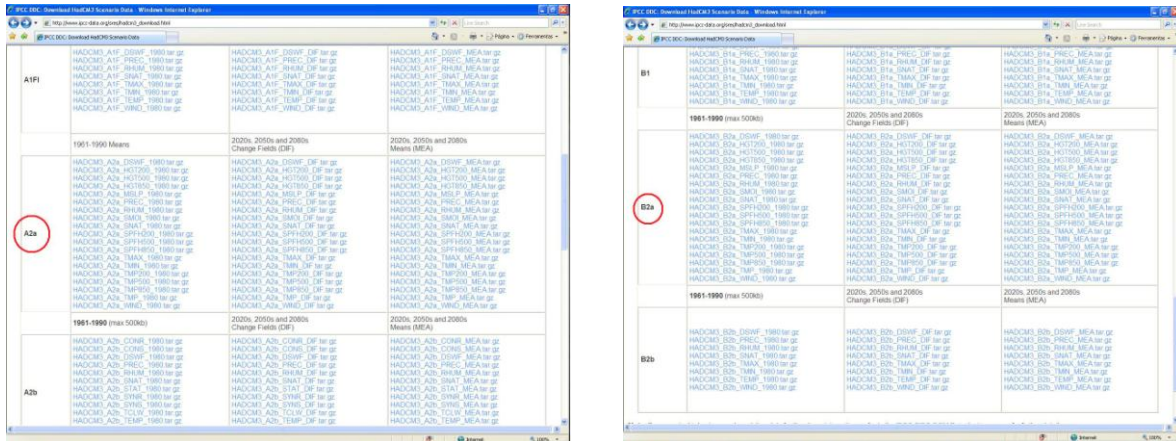


FIGURA 3. Seleção dos cenários e das variáveis climáticas.

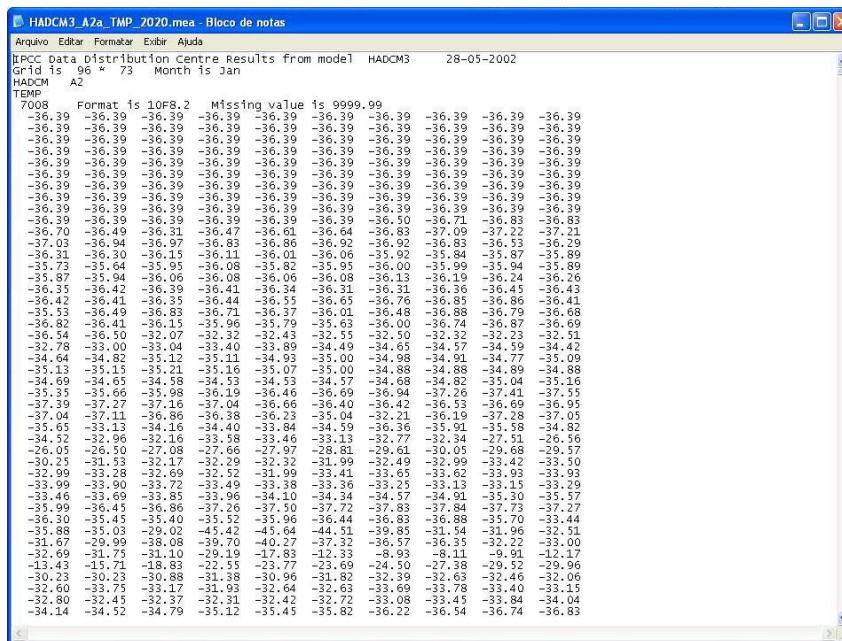


FIGURA 4. Exemplo de arquivo de dados.

Na elaboração dos mapas foi utilizado o SIG Idrisi 32, software desenvolvido pela Universidade de Clark - EUA. Foi definida uma padronização dos dados no sistema de coordenadas geográficas latitude e longitude e resolução espacial de 0,5° X 0,5°.

Os dados das variáveis climáticas estruturados em colunas foram importados no banco de dados do SIG e depois convertidos para o formato matricial. Os dados de cada modelo apresentaram suas resoluções espaciais características. Na padronização foi realizado o *downscaling*, utilizando o processo de interpolação pelo método de krigagem ordinária, exceto para a informação de precipitação para a qual foi empregado o inverso do quadrado da distância. Cada variável utilizou a média aritmética dos modelos disponíveis para ela.

Os dados para o Brasil foram selecionados utilizando uma máscara dos limites do país. Os mapas das seis variáveis climáticas foram classificados em intervalos de valores e depois foi sobreposta uma informação vetorial contendo as fronteiras dos estados, com dados mensais dos anos centrados em 2020, 2050 e 2080 e cenários A2 e B2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram elaborados mapas de temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação, umidade relativa, radiação solar do clima futuro (2020, 2050 e 2080 - cenários A2 e B2). Exemplos de mapas estão nas Figuras 5 a 10.

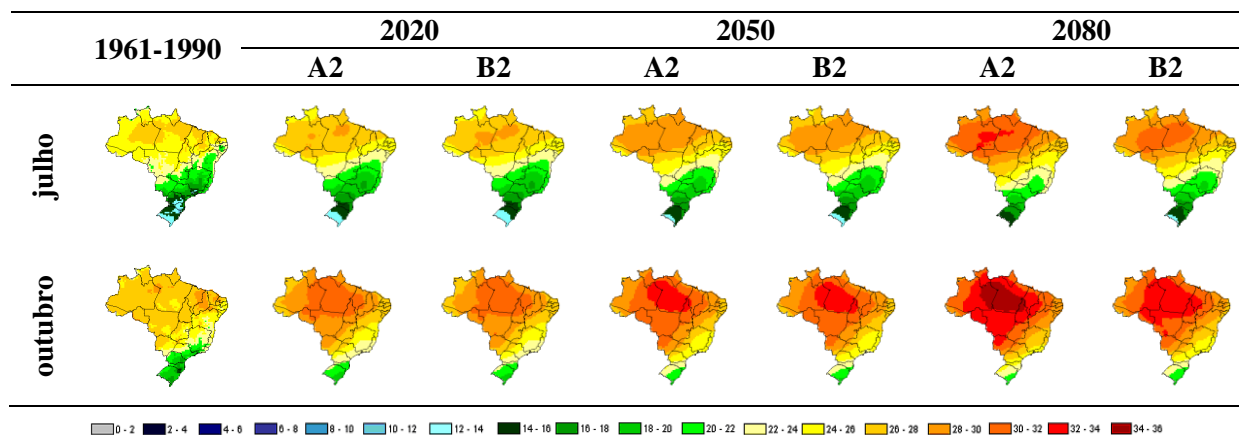


FIGURA 5. Temperatura média (°C) para o clima de referência (1961-1990) e futuro nos meses de julho e outubro.

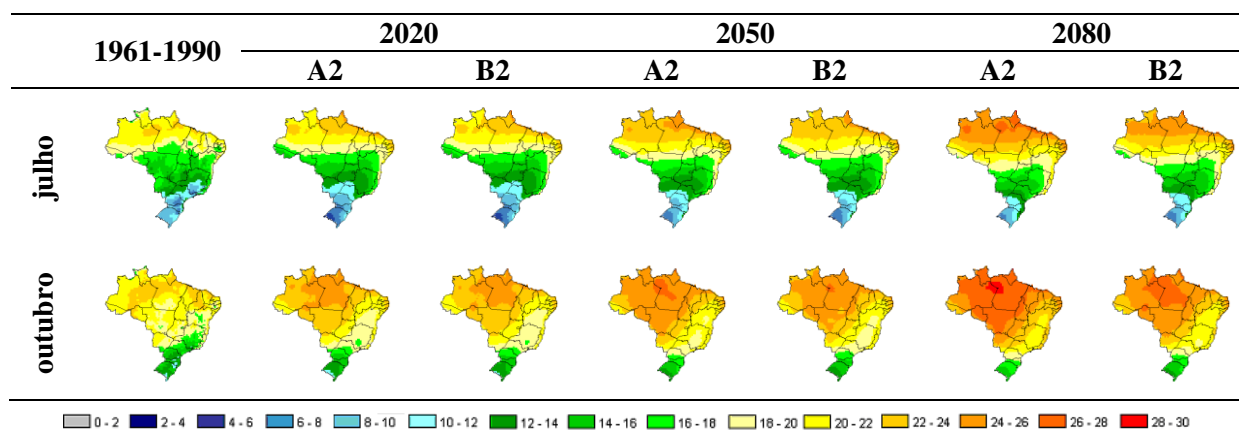


FIGURA 6. Temperatura mínima (°C) para o clima de referência (1961-1990) e futuro nos meses de julho e outubro.

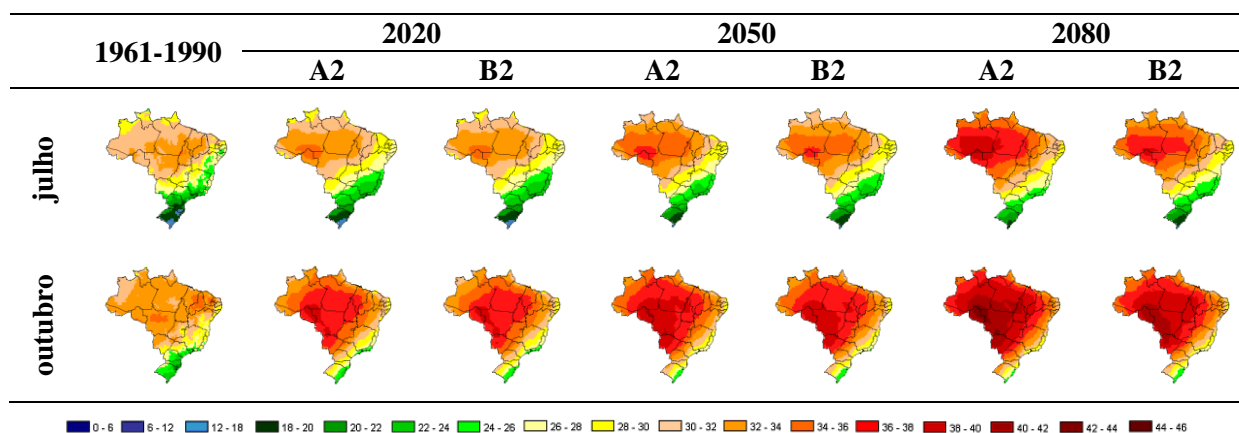


FIGURA 7. Temperatura máxima (°C) para o clima de referência (1961-1990) e futuro nos meses de julho e outubro.

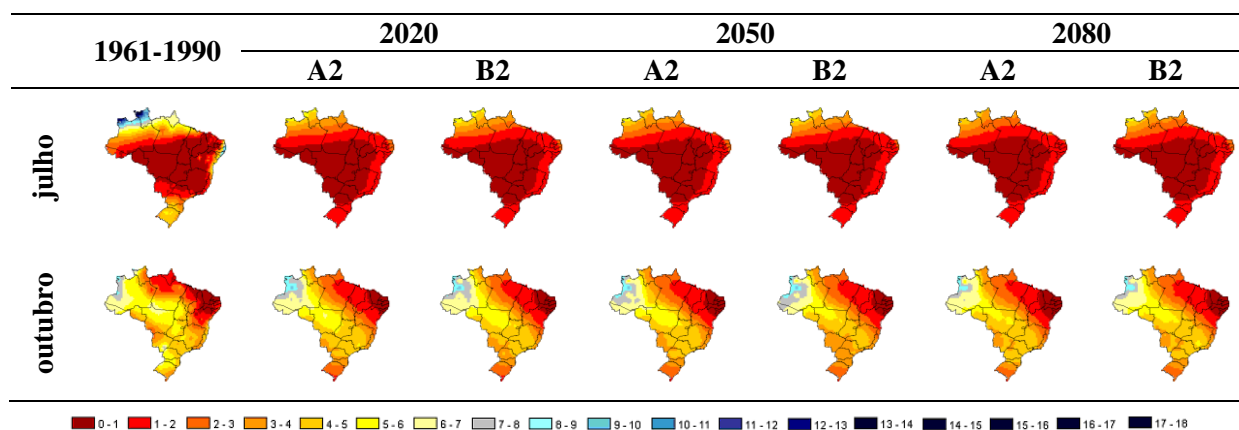


FIGURA 8. Precipitação (mm/dia) para o clima de referência (1961-1990) e futuro nos meses de julho e outubro.

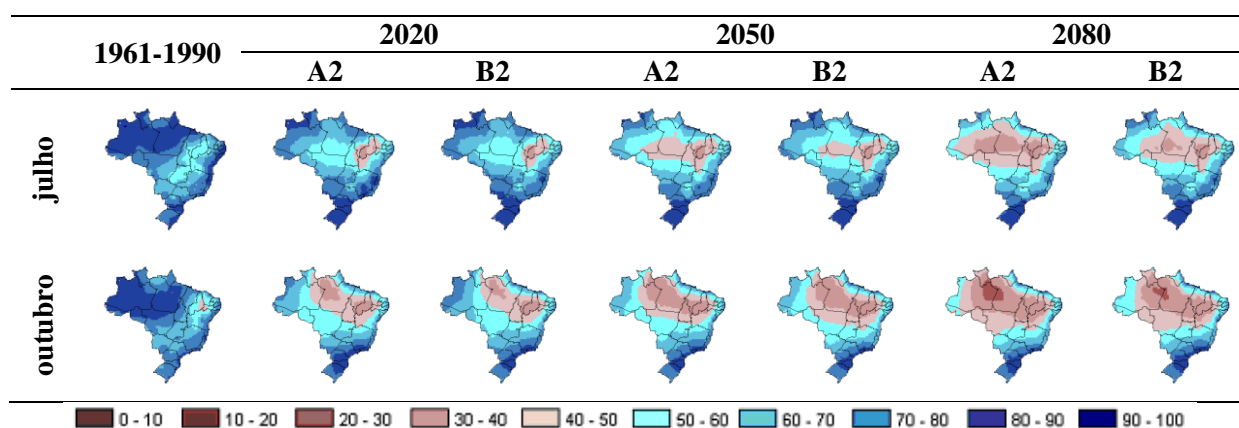


FIGURA 9. Umidade relativa (%) para o clima de referência (1961-1990) e futuro nos meses de julho e outubro.

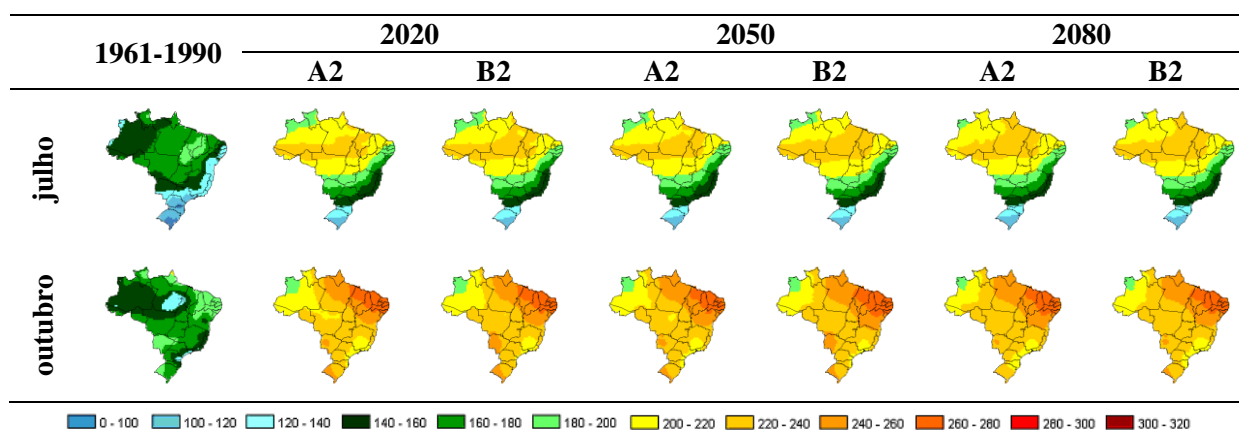


FIGURA 10. Radiação Solar (W/m^2) para o clima de referência (1961-1990) e futuro nos meses de julho e outubro.

Segundo as projeções dos modelos climáticos globais do TAR do IPCC (2001), estima-se que ocorrerão mudanças nas variáveis climáticas ao longo do tempo que podem incluir incrementos ou reduções em diferentes regiões do país.

CONCLUSÕES

O método de elaboração de mapas de variáveis climáticas do Brasil nos cenários futuros, utilizando o SIG permitiu avaliar as projeções definidas pelos modelos climáticos globais do TAR do IPCC e possibilitará sua utilização em diversos estudos sobre os impactos de mudanças climáticas.

Segundo as projeções, as temperaturas média, mínima e máxima e radiação solar poderão aumentar, mas os acréscimos nessas variáveis climáticas não serão uniformes para todo o país. As previsões também indicam diminuição da umidade relativa e precipitação decorrer dos anos com comportamento diferenciado nas diversas regiões do país ao longo dos meses dos anos.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa (Macroprograma 3) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

BARROS, V. Cambio climático. In: BARROS, V.; MENÉNDEZ, Á.; NAGY, G. (Ed.). **El cambio climatic en el río de la plata**. Buenos Aires: CIMA/CONICET/UBA, 2005. p. 3-12.

CAMILLONI, I.; BIDEGAIN, M. Escenarios climáticos para el siglo XXII. In: BARROS, V.; MENÉNDEZ, Á.; NAGY, G. (Ed.). **El cambio climático en el río de la Plata**. Buenos Aires: CIMA/CONICET/UBA, 2005, p. 33-39.

EASTMAN, J.R. **Idrisi for Windows: user's guide - version 2.0**. Worcester, MA: Clark University, 1997.

IPCC. **Climate change 2001: the scientific basis: summary for policymakers**. Geneva, 2001. 20 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2006.

IPCC. **Climate change 2007: the physical scientific basis: summary for policymakers**. Geneva, 2007. 18 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>>. Acesso em: 3 mai. 2007.

IPCC. **Data Distribution Centre**. Disponível em: <<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>>. Acesso em 15 abr. 2005.

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, p. 1-18, 2001.

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