

# Projeções de variáveis climáticas de interesse agrícola para o Brasil ao longo do século 21

Emília Hamada, Raquel Ghini e Bruno Silva Oliveira

---

## Introdução

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) é composto por centenas de cientistas de todo o mundo de diversas áreas do conhecimento. Desde 1990, o IPCC é responsável pela produção e divulgação, de forma periódica, dos relatórios de avaliação, que visam fornecer uma visão clara e atualizada sobre o estado atual do conhecimento científico relevante para a mudança climática.

Segundo o IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013), é extremamente provável (95% a 100% de probabilidade) que a influência antrópica seja a causa dominante do aquecimento observado desde meados do século 20, tendo os gases de efeito estufa concorrido para o provável (66% a 100% de probabilidade) aquecimento médio da superfície global de 0,5°C a 1,3°C no período de 1951-2010, com a contribuição de outras forçantes antrópicas.

Para o clima futuro, o IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013) considera provável o aumento das temperaturas médias da superfície no planeta de 0,3°C a 1,7°C para o período de 2081-2100, comparado a 1986-2005, no cenário mais otimista, de baixa emissão de gases de efeito estufa e de 2,6°C a 4,8°C no cenário mais pessimista ou de alta emissão.

Essas projeções climáticas vêm sendo apresentadas nos Relatórios de Avaliação do IPCC e, com o desenvolvimento dos modelos climáticos globais, as projeções estão se tornando mais confiáveis à medida que aumenta a compreensão de como o clima está mudando em termos espaciais e de tempo. Segundo o IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007, 2013), isso foi possibilitado graças à melhoria das análises dos dados, à ampliação de numerosos conjuntos de dados, à análise mais ampla da cobertura vegetal, à melhor compreensão das incertezas e à maior variedade de medições, apesar da cobertura dos dados em algumas regiões do planeta ser ainda limitada.

Neste capítulo são abordadas a modelagem do clima e os cenários climáticos, a metodologia descrita e empregada para a obtenção de mapas de projeções climáticas e apresentadas as previsões das variáveis climáticas de interesse agrícola para o Brasil, com base nas projeções do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

### **Modelagem do clima e cenários climáticos**

Um dos aspectos mais relevantes nos estudos dos efeitos das mudanças climáticas são os modelos climáticos, utilizados como uma ferramenta de pesquisa para estudar e simular o clima para diversas aplicações. Os modelos climáticos são baseados em princípios físicos bem estabelecidos e descrevem características do clima recente e mudanças do clima passado e, com considerável confiança, fornecem boas estimativas quantitativas da mudança do clima futuro (RANDALL et al., 2007).

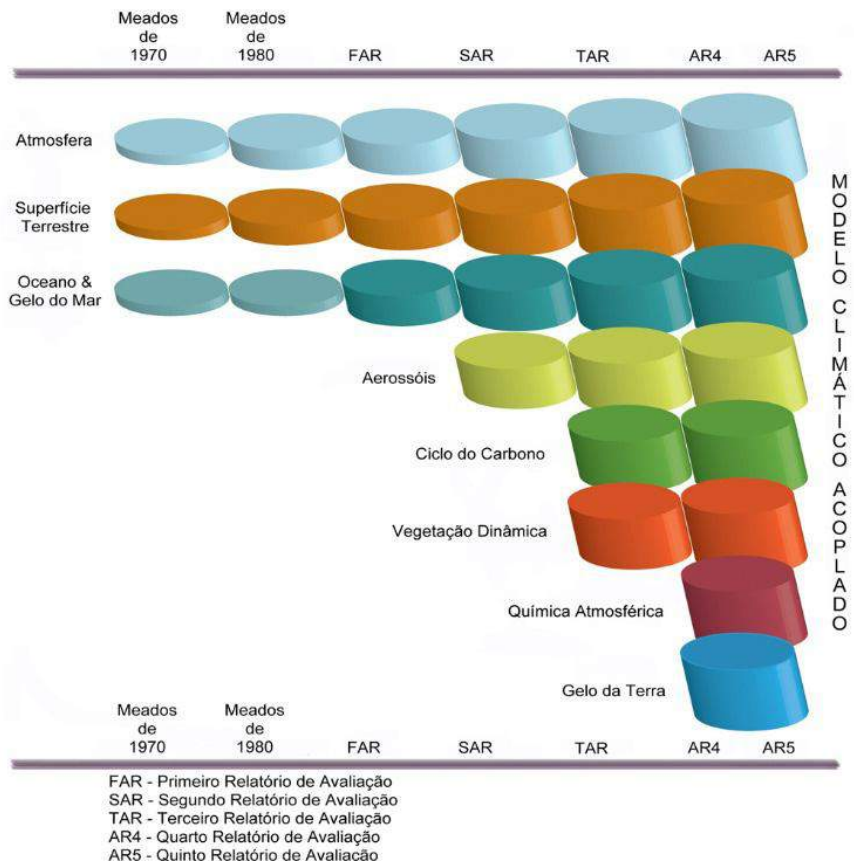
As projeções de clima são derivadas de modelos climáticos globais (MCG) ou regionais (MCR). As simulações numéricas usadas no IPCC-AR4 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE

CHANGE, 2007) para definir os cenários do clima futuro da Terra têm resolução típica de 100 km, e o primeiro impacto da baixa resolução é na definição da condição de contorno na superfície em termos de topografia, da definição das regiões cobertas por água (oceano, lagos, rios) e da cobertura vegetal (DIAS; DIAS, 2007). Em função das incertezas regionais dos cenários climáticos globais, segundo esses autores, várias iniciativas têm levado à produção de cenários mais detalhados, por meio do processo de enfoque em escalas maiores, permitidos por MCRs que utilizam os cenários de baixa resolução como condições de contorno. No entanto, concluem que sem chegar a resoluções bem menores que 10 km, dificilmente esses cenários de maior resolução terão reduzido as incertezas nos resultados. Também é preciso observar que o desempenho de um MCR depende substancialmente do desempenho do MCG original, pois se esse MCG não simular bem os processos importantes em pequena escala, então o MCR não conseguirá capturar corretamente o clima em maior resolução (BETTS et al., 2011).

Considerando a extensão continental do Brasil, ainda assim os MCGs certamente oferecem informações de grande utilidade sobre mudanças do clima, contribuindo para antever as características gerais do clima futuro e constituindo-se em uma importante informação para estudos de impactos de mudanças climáticas em pequena escala, a médio e longo prazo para o País (MARENGO, 2007). Por outro lado, se forem conseguidos bons ajustes entre os métodos aplicáveis aos cenários de mudança do clima resultantes de MCGs para projeções de escopo regional ou local, os MCRs seriam úteis para estudos sobre os impactos da mudança do clima em áreas como gerenciamento de recursos hídricos, ecossistemas, atividades agrícolas e mesmo a favorabilidade à ocorrência de doenças (MARENGO, 2007).

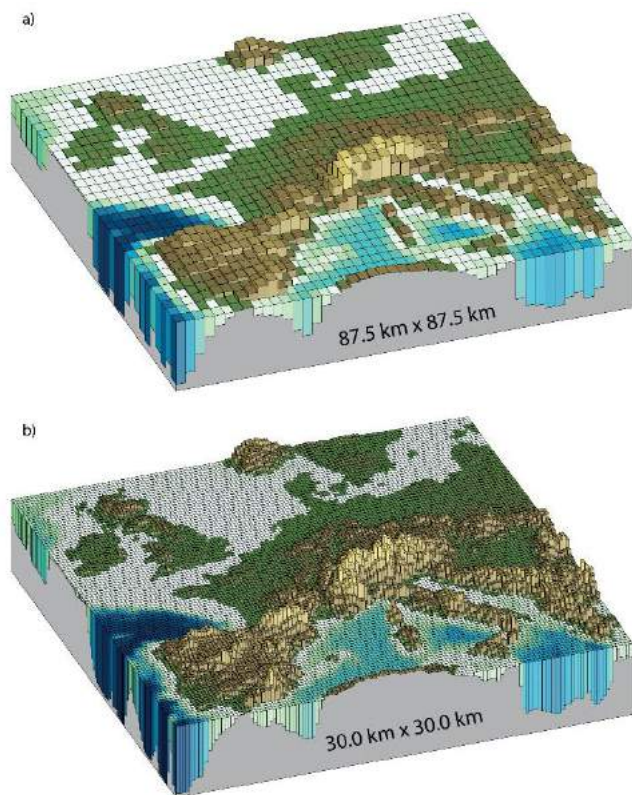
Desde o Terceiro Relatório do IPCC (HOUGHTON et al., 2001), considerável melhoria no conhecimento dos processos do clima

foi sendo incorporada aos modelos climáticos; em função disso, a complexidade e a confiabilidade desses modelos também aumentaram ao longo das últimas décadas. Na Figura 1, pode-se observar o desenvolvimento dos modelos climáticos associado ao aumento de componentes acoplados considerados nos modelos ao longo das divulgações dos Relatórios de Avaliação pelo IPCC e na Figura 2, o aumento da resolução espacial ou do detalhamento da informação das projeções dos modelos.



**Figura 1.** Desenvolvimento de modelos climáticos ao longo dos últimos 35 anos, com evolução dos componentes acoplados aos modelos ao longo do tempo.

Fonte: Adaptado de Cubasch et al. (2013).



**Figura 2.** Ilustração da topografia europeia na resolução espacial considerada nos atuais modelos de alta resolução (a) 87,5 km X 87,5 km, e (b) em modelos de muita alta resolução (30,0 X 30,0 km) atualmente em teste.

Fonte: Adaptado de Cubasch et al. (2013).

As projeções das mudanças do clima apresentadas no IPCC-AR4 são resultados de um grande número de simulações realizadas por uma gama de MCGs, que juntamente com as informações adicionais obtidas de dados observados, fornecem uma base quantitativa para estimar as probabilidades de muitos aspectos das mudanças do clima no futuro.

No entanto, nenhum modelo pode prever com certeza um evento climático futuro (BETTS et al., 2011), cujas “incertezas” decorrem do desconhecimento das emissões futuras de gases de efeito es-

tufa, na variabilidade natural do tempo e clima e nas incertezas da modelagem. Assim, ao invés de fazer previsões sobre as emissões futuras, foi estabelecido um conjunto de cenários climáticos. Os cenários são representações plausíveis das emissões futuras de substâncias ativas do ponto de vista radiativo (gases de efeito estufa) ou que possuam a característica de afetar outros constituintes com ação radiativa, como por exemplo, o dióxido de enxofre que forma os aerossóis de sulfato (JONES et al., 2004).

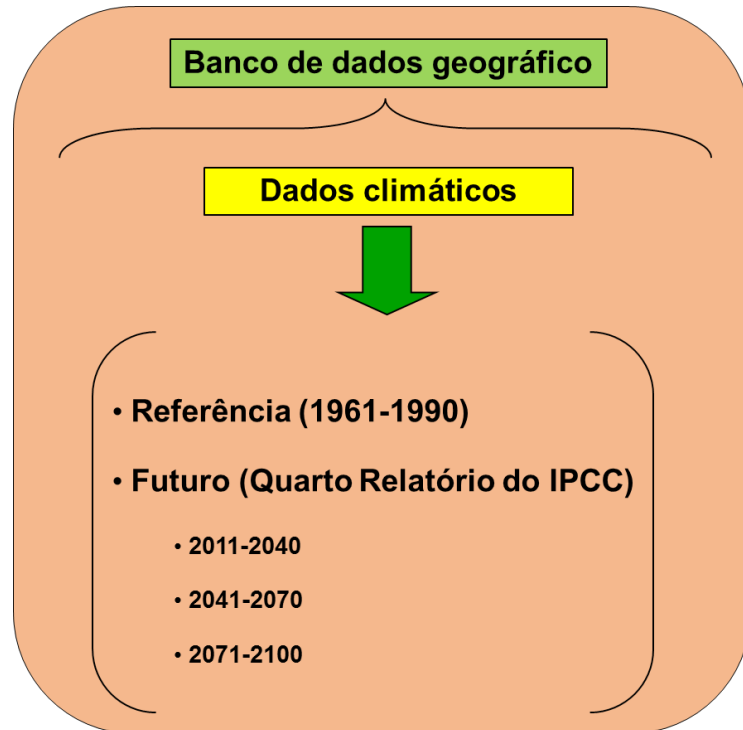
Os cenários de emissão de gases de efeito estufa, conhecidos como SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*), utilizados no IPCC-AR4, foram definidos baseando-se em possíveis descrições do desenvolvimento socioeconômico, tecnológico, crescimento populacional, preocupação com o ambiente e diferenças regionais, variando do cenário mais otimista ao mais pessimista (NAKICENOVIC, 2000). Por exemplo, adotar um cenário de baixas emissões ou otimista (B1) supõe um futuro tendendo à estabilização das emissões de efeito estufa e que a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> será, no final deste século, em torno de 550 ppmv ou 0,055%; enquanto que para o cenário de altas emissões ou pessimista (A2), com manutenção dos padrões de emissões observados nas últimas décadas, implicaria em chegar à concentração de 1000 ppmv de CO<sub>2</sub> atmosférico, cerca de três vezes maior que as concentrações atuais (NAKICENOVIC, 2000).

O Quinto Relatório (AR5) do IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013) introduz novos cenários denominados RCPs (*Representative Concentration Pathways*), que levam em conta os impactos das emissões relativos a alteração no balanço de radiação no sistema terrestre, que vão do cenário mais otimista (2.6) ao mais pessimista (8.5), associados aos cenários de emissão do IPCC-AR4.

## **Metodologia de mapeamento das projeções da modelagem climática**

As mudanças do clima no futuro devem afetar de forma distinta os diferentes setores, e seus impactos devem ser estudados em cada situação particular. Os estudos de impacto de mudanças do clima, em geral, têm como ponto de partida a seleção de um conjunto de projeções climáticas futuras para área de interesse.

Nesta proposta metodológica, foram utilizadas as projeções climáticas do IPCC-AR4, que reúne simulações mensais de diversos modelos climáticos para cada cenário de emissão de gases de efeito estufa, ano a ano. Em função do objetivo de aplicação da base de dados climáticos para fins agrícolas, foram definidos dois cenários extremos, o B1, mais otimista e o A2, mais pessimista; e para esses cenários, as projeções dos modelos foram integradas em períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. A fim de permitir uma avaliação das alterações do clima, foi definido como comparativo ou período de referência, a normal climatológica de 1961-1990 do CRU (*Climate Research Unit*), estabelecida na *School of Environmental Sciences* da Universidade de East Anglia, Reino Unido. Esses dados climáticos são de alta resolução espacial para o globo, e mais detalhes sobre essa base de dados podem ser encontrados em Mitchell et al. (2004) e a descrição dos métodos utilizados na produção desses dados em Mitchell e Jones (2005). Os períodos abrangidos pela base de dados climáticos são apresentados esquematicamente na Figura 3.



**Figura 3.** Períodos de tempo abrangidos pelo banco de dados de projeções retrospectivas (*hindcasts*) e futuras de modelos climáticos.

Cada centro de pesquisa climática desenvolve seus modelos de forma distinta em muitos aspectos, como por exemplo, a representação da física do modelo ou a resolução da grade. Considerando a área de estudo, foram selecionados 15 MCGs, cujas principais características estão apresentadas na Tabela 1.



**Tabela 1.** Características dos modelos climáticos globais do IPCC-AR4 adotados, com abrangência para o continente sul-americano.

<b>Modelo</b>	<b>Instituição e País</b>	<b>Resolução (graus X graus de latitude- longitude)</b>	<b>Número de linhas e colunas</b>
BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research, Noruega	2,81252 X ~2,7904	32 x 26
CMCG3.1.T47	Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis, Canadá	3,75 X ~3,711	24 x 20
CNRM-CM3	Météo-France, França	2,81252 X ~2,7904	32 x 26
CSIRO-Mk3.0	CSIRO Atmospheric Research, Austrália	1,875 X 1,865	48 x 39
ECHO-G	Meteorological Institute of the University of Bonn, Alemanha/Coréia	3,75 X ~3,711	24 x 20
GFDL-CM2.0	US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, EUA	2,5 X 2,0	36 x 37
GISS-ER	Goddard Institute for Space Shuttles, EUA	5,0 X 4,0	18 x 19
UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office, Reino Unido	3,75 X 2,5	24 x 30
UKMO-HadGEM1	Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office, Reino Unido	1,875 X 1,25	48 x 59
INM-CM3.0	Institute for Numerical Mathematics, Rússia	5,0 X 4,0	18 x 18
MIROC3.2.medres	Center for Climate System Research, Japão	2,81252 X ~2,7904	32 x 26
ECHAM5	Max Planck Institute for Meteorology, Alemanha	1,875 X ~1,8652	48 x 39
MRI-CMCG2.3.2	Meteorological Research Institute, Japão	2,81252 X ~2,7904	32 x 26
CCSM3	National Center for Atmospheric Research, EUA	1,40625 X ~1,4007	64 x 52
PCM	National Center for Atmospheric Research, EUA	2,81252 X ~2,7904	32 x 26

Fonte: Adaptado de IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

Como variáveis climáticas de interesse agrícola foram definidas a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), a precipitação pluviométrica ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), a temperatura máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), a temperatura mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a umidade relativa do ar (%), médias mensais.

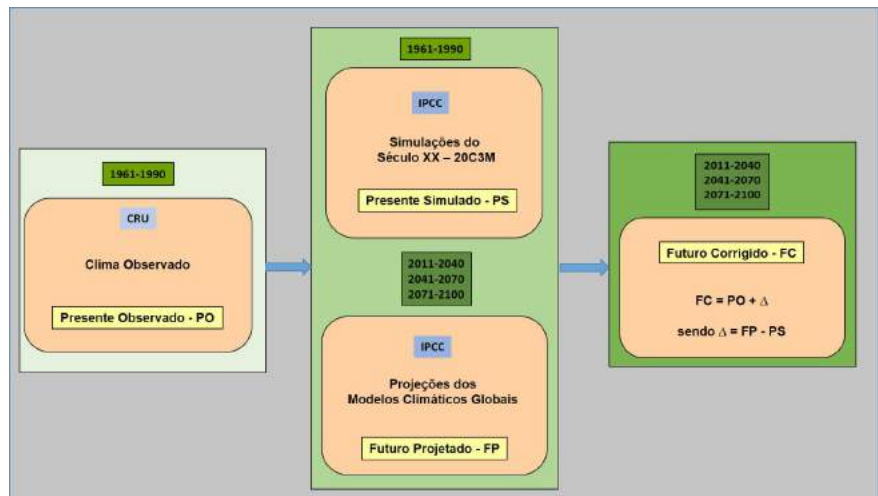
Embora no IPCC-AR4 sejam disponibilizados dados projetados de mais de 20 MCGs, nem todos contêm informações sobre o mesmo conjunto de variáveis e cenários climáticos. Assim, para este estudo, foram considerados 15 modelos para as variáveis de temperatura média e precipitação pluvial, no cenário A2 e 14 modelos no cenário B1; três modelos para temperatura máxima e mínima, nos cenários A2 e B1; e sete modelos para umidade relativa e período de molhamento foliar. A umidade relativa não é diretamente disponibilizada pelo IPCC-AR4. Foi obtida utilizando-se a fórmula de Tetens (1930 citado por MURRAY, 1967), a partir das projeções de pressão atmosférica ao nível do mar e umidade específica do ar, disponíveis no IPCC-AR4 e de altitude, utilizando dados do sensor SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), da base de dados do projeto TOPODATA (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2017). Essas informações consolidadas estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Disponibilidade de projeções das variáveis climáticas consideradas nos modelos climáticos globais do IPCC-AR4 selecionados para estudos de impacto de interesse agrícola.

Modelo	Temperatura média do ar e precipitação pluviométrica	Temperatura máxima do ar e temperatura mínima do ar	Pressão atmosférica ao nível do mar e umidade específica do ar
BCCR-BCM2.0	X		X
CMCG3.1.T47	X		X
CNRM-CM3	X		X
CSIRO-Mk3.0	X	X	
ECHO-G	X		
GFDL-CM2.0	X		
GISS-ER	X		X
UKMO-HadCM3	X		
UKMO-HadGEM1	X		
INM-CM3.0	X	X	X
MIROC3.2.medres	X	X	X
ECHAM5	X		
MRI-CMCG2.3.2	X		X
CCSM3	X		
PCM	X		

Uma operação de correção de viés das projeções originais dos modelos foi realizada, obtendo-se o que denominamos de “futuro corrigido” (Figura 4). Essa correção busca minimizar os efeitos de vieses mensurados, para cada variável, pela divergência entre os valores observados e as correspondentes projeções retrospectivas dos modelos. Para tanto, foram estruturadas as bases do período de referência de 1961-1990, das projeções dos MCGs para os denominados de “experimentos do século XX” ou 20C3M, que contêm projeções retrospectivas do período de 1961-1990, chamado de “presente simulado”; e, por fim, das projeções dos MGCs para os períodos futuros, chamado de “futuro projetado”. A partir dessas bases de dados, foi obtido o assim denominado “futuro corrigido”,

realizando a adição do “presente observado” e o resultado da operação de subtração do “futuro projetado” e “presente simulado”. As considerações do clima futuro, a seguir, serão baseadas nas informações do “futuro corrigido”.



**Figura 4.** Bases de dados consideradas na operação de correção de viés das projeções climáticas originais dos modelos climáticos globais para obtenção das projeções do clima projetado do futuro ou “futuro corrigido”.

Em função do grande volume de dados, foi utilizado um sistema computacional de gerenciamento dos dados climáticos, baseado no sistema gerenciador de banco de dados Firebird v2.0 (FIREBIRD FOUNDATION INCORPORATED, 2006), usando a linguagem Object Pascal do software Delphi (BORLAND SOFTWARE CORPORATION, 2002) e a ferramenta de manipulação dos dados IBEExpert (HK-SOFTWARE, 2001). Esse sistema permitiu: i) a entrada dos dados no formato “grib”, disponível no AR4; ii) realizou a conversão dos dados para o Sistema Internacional de Unidades das variáveis climáticas, quando necessário; iii) fez a incorporação das informações de coordenadas geográficas para cada modelo; iv) realizou operações aritméticas básicas (média de 30 anos)

dos períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, para cada modelo disponível de cada variável climática; e v) gerou a saída das informações no formato ajustado para ser utilizado como dado de entrada no software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 2002), programa de mapeamento de superfície. O formato ajustado das informações de saída é a padronização delas para uma mesma resolução espacial, utilizando métodos de interpolação específicos para cada variável climática (para a variável precipitação foi utilizada o método do inverso do quadrado da distância e para outras variáveis de krigagem ou triangulação) e um recorte para os limites geográficos da América do Sul. Desta forma, os dados foram padronizados por interpolação para a resolução espacial de 0,5° X 0,5° de latitude e longitude (a mesma dos dados do clima de referência), adotando-a como técnica de “downscaling”, com reamostragem dos dados para a resolução espacial desejada.

Posteriormente, os dados interpolados foram utilizados como dados de entrada do software SIG Idrisi 32 (EASTMAN, 2001), permitindo a elaboração de diversos procedimentos automatizados disponíveis em suas Macros de programação, a fim de aumentar a velocidade e eficiência nas diversas etapas de elaboração dos mapas. No SIG as informações foram convertidas do formato vetorial para o formato matricial. A seguir, foi feito o recorte das informações para a área do Brasil, desconsiderando os outros países da América do Sul e o oceano. O banco de dados geográficos do SIG possibilitou a elaboração dos mapas climáticos do País com acabamentos gráficos de classes, legenda e cores.

## **Clima projetado para o Brasil: variáveis climáticas de interesse agrícola**

As projeções climáticas consideram não somente a alteração dos valores de temperatura, mas também alterações esperadas para outras variáveis climáticas (precipitação, umidade, ventos, etc.), embora se considere que as projeções de temperatura sejam as mais confiáveis.

Os mapas das projeções das variáveis climáticas médias mensais de temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitação pluvial média diária ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), temperatura máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%) são apresentados nas Figuras 5 a 19. As projeções indicam alterações nessas variáveis no futuro, em geral, com aumentos na temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima do ar e diminuição da umidade relativa do ar, variando em grandeza entre as regiões do País e ao longo dos meses do ano.

Já as projeções de precipitação pluvial indicam variação quanto aos padrões de aumentos e diminuições entre as regiões do Brasil e nos meses do ano, em função da variação das projeções dos diferentes MCGs, que não apresentam consistência quanto ao seu comportamento. Observa-se grande incerteza das projeções de precipitação para um mesmo local devido à falta de consistência entre as projeções de modelos individuais. As Figuras 20 e 21 apresentam as tendências das anomalias (diferenças) de projeções de precipitação de 15 MCGs para o Brasil para o período de 2071-2100, do cenário A2, comparado ao período de referência de 1961-1990. Considerando-se a média para o País, as projeções são de anomalias positivas nos meses de novembro a abril e anomalias negativas de maio a outubro, apresentando comportamento sazonal. Na Figura 22 pode-se observar que na média anual de anomalia de precipitação a região Nordeste e parte da região Norte se destacam com anomalias

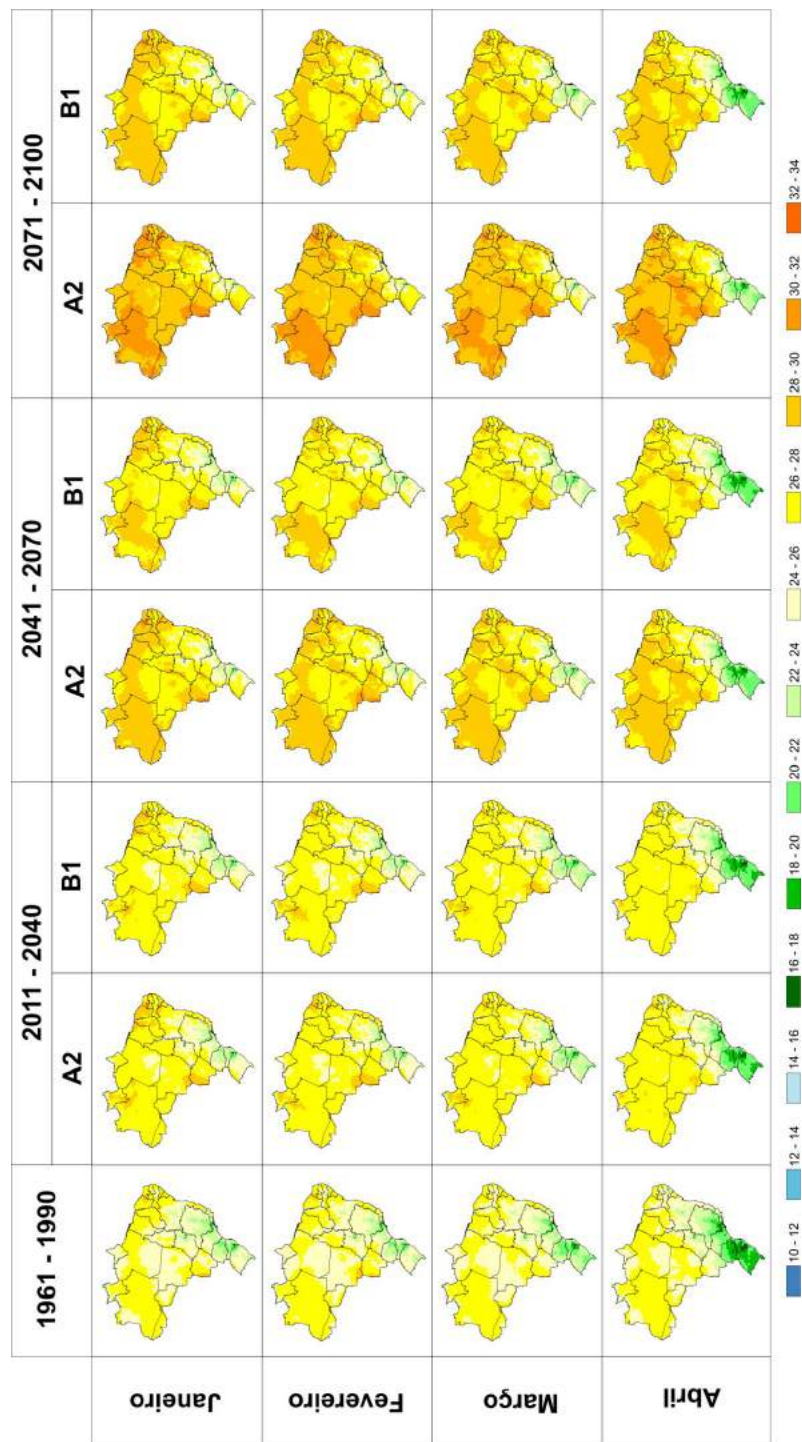
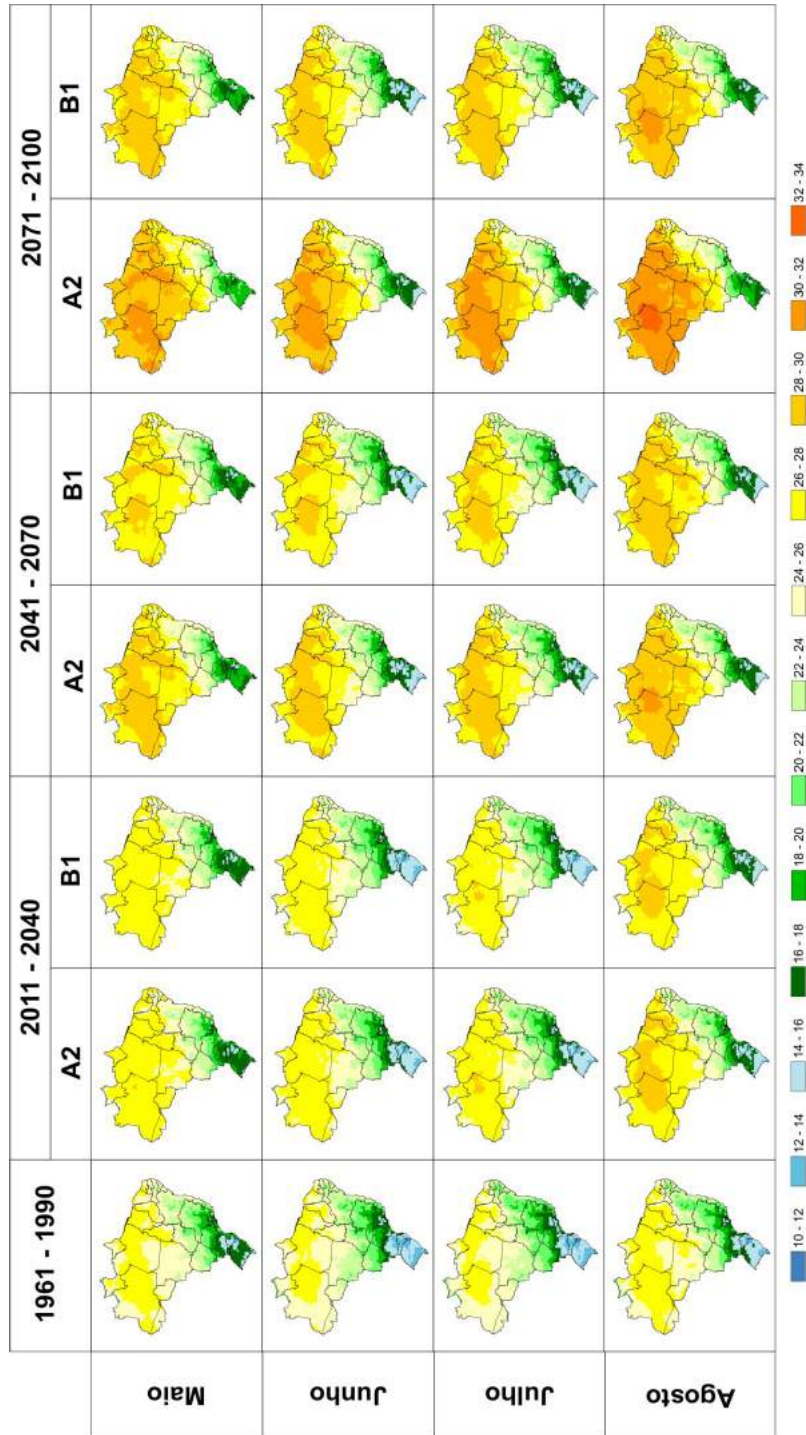
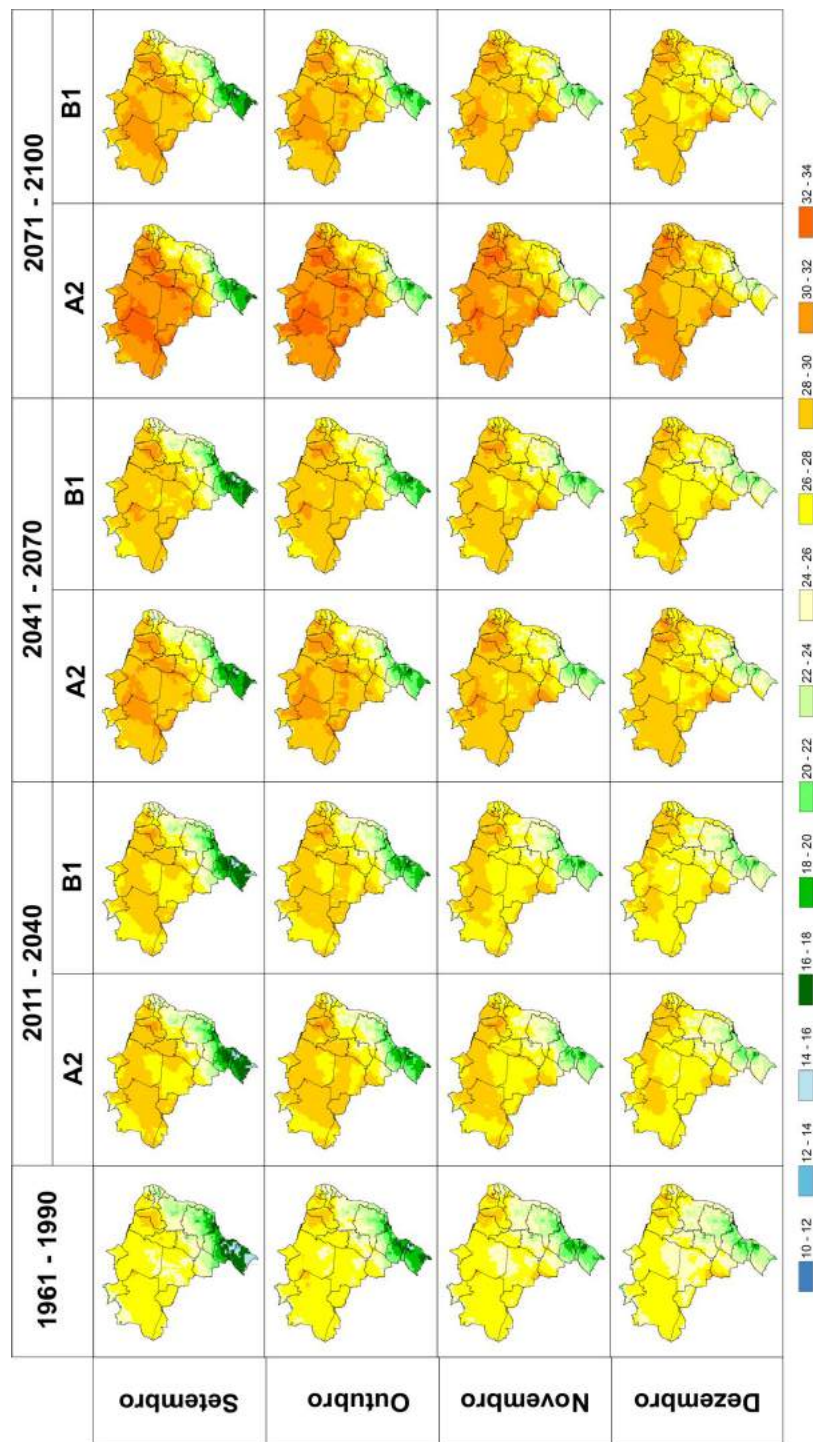


Figura 5. Temperatura média do ar (°C) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

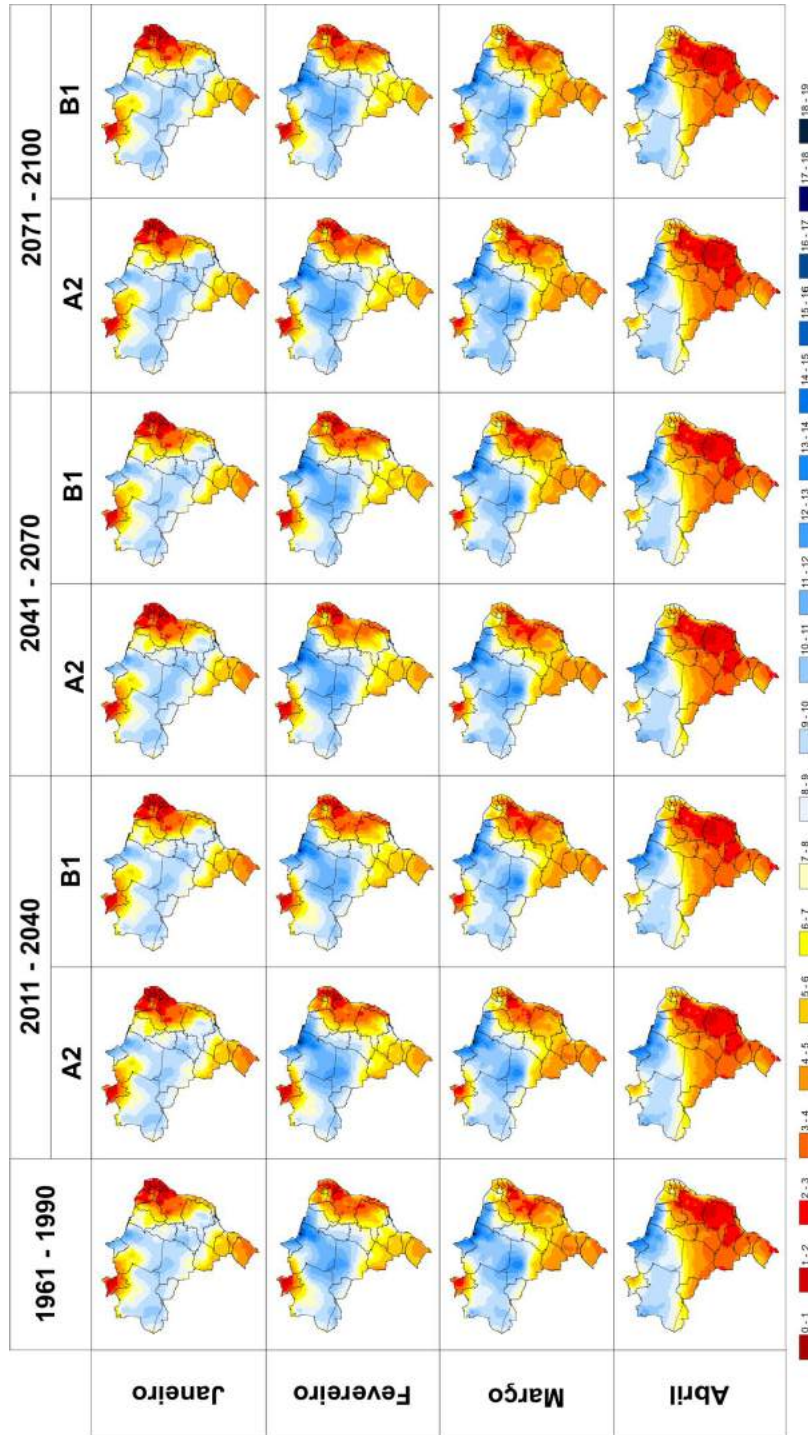


**Figura 6.** Temperatura média do ar (°C) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

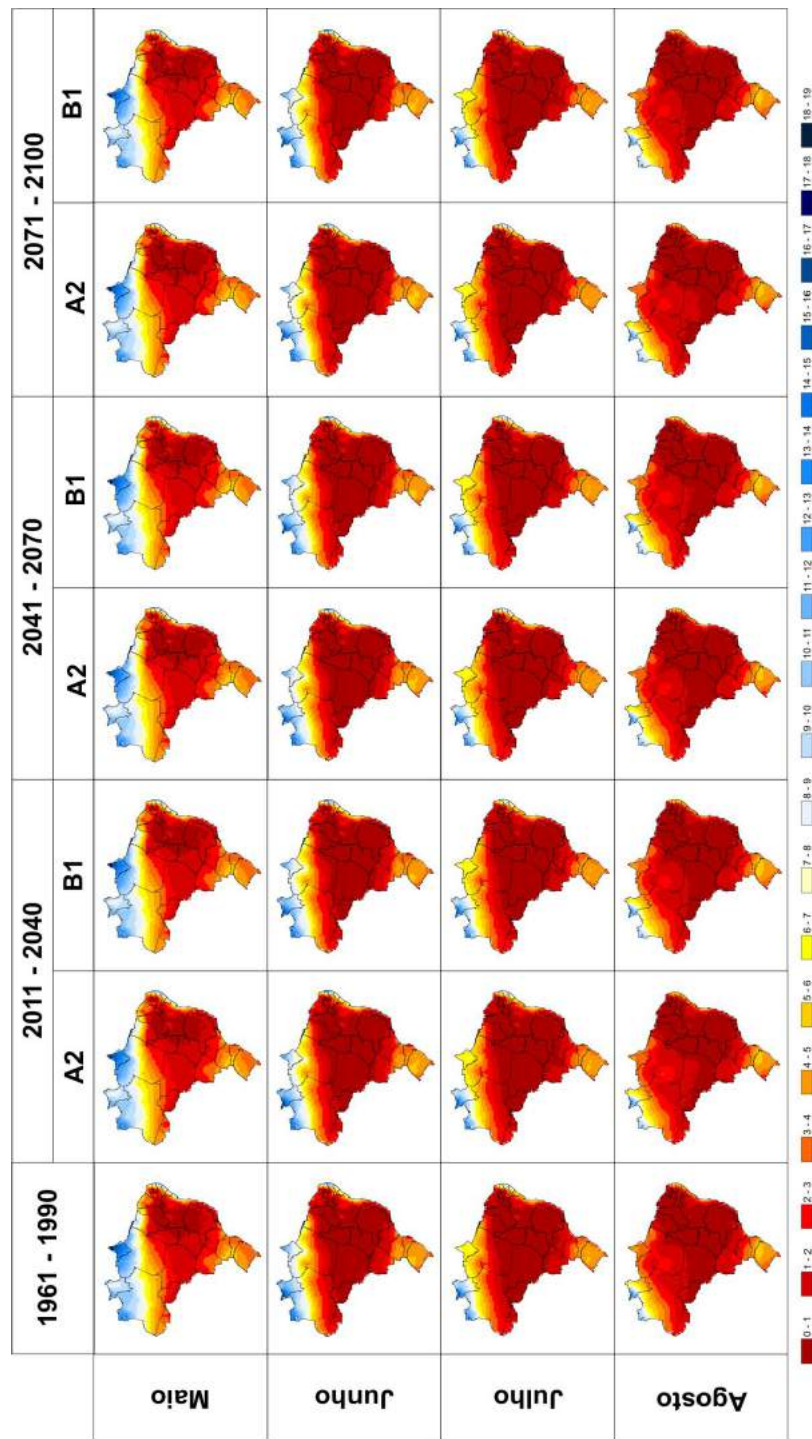




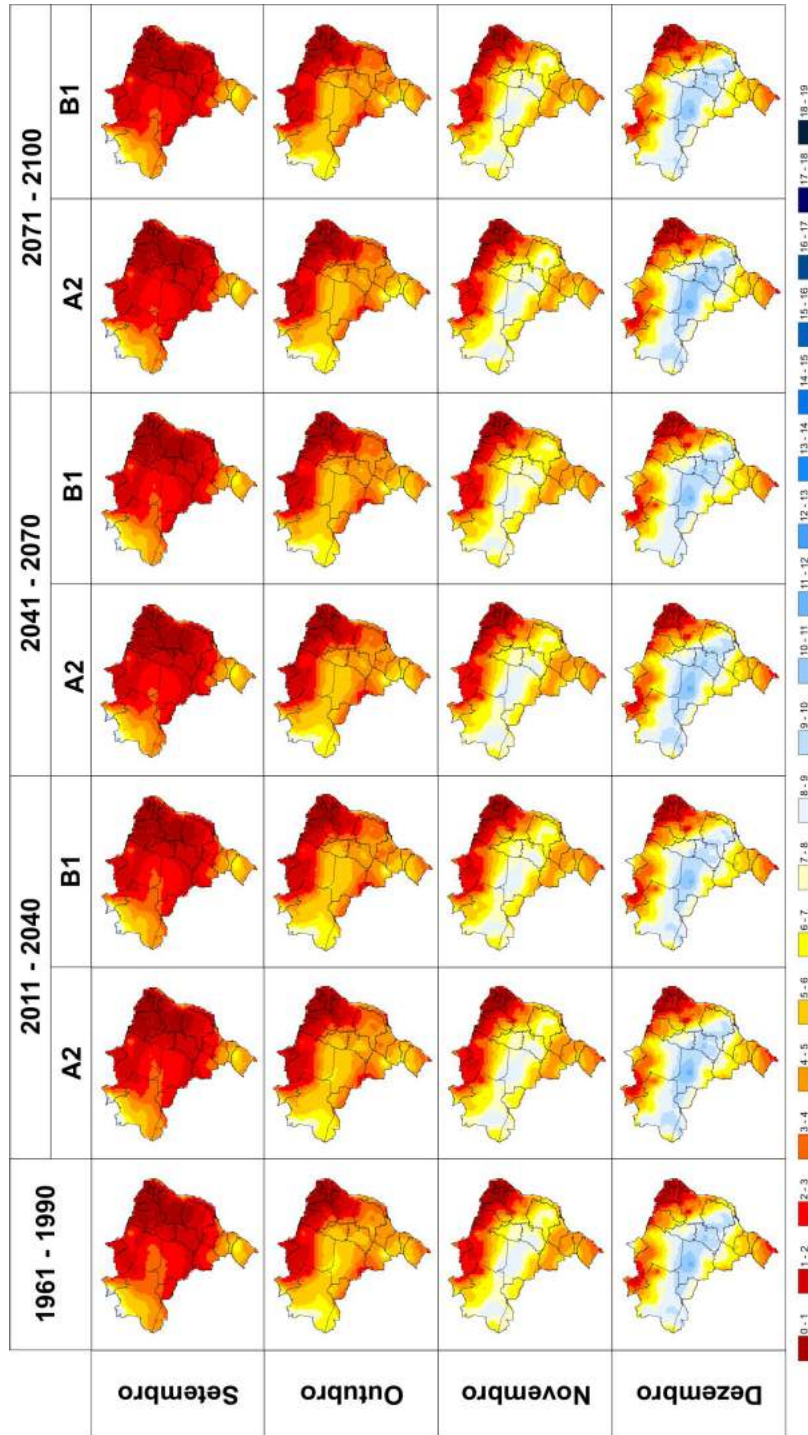
**Figura 7.** Temperatura média do ar (°C) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



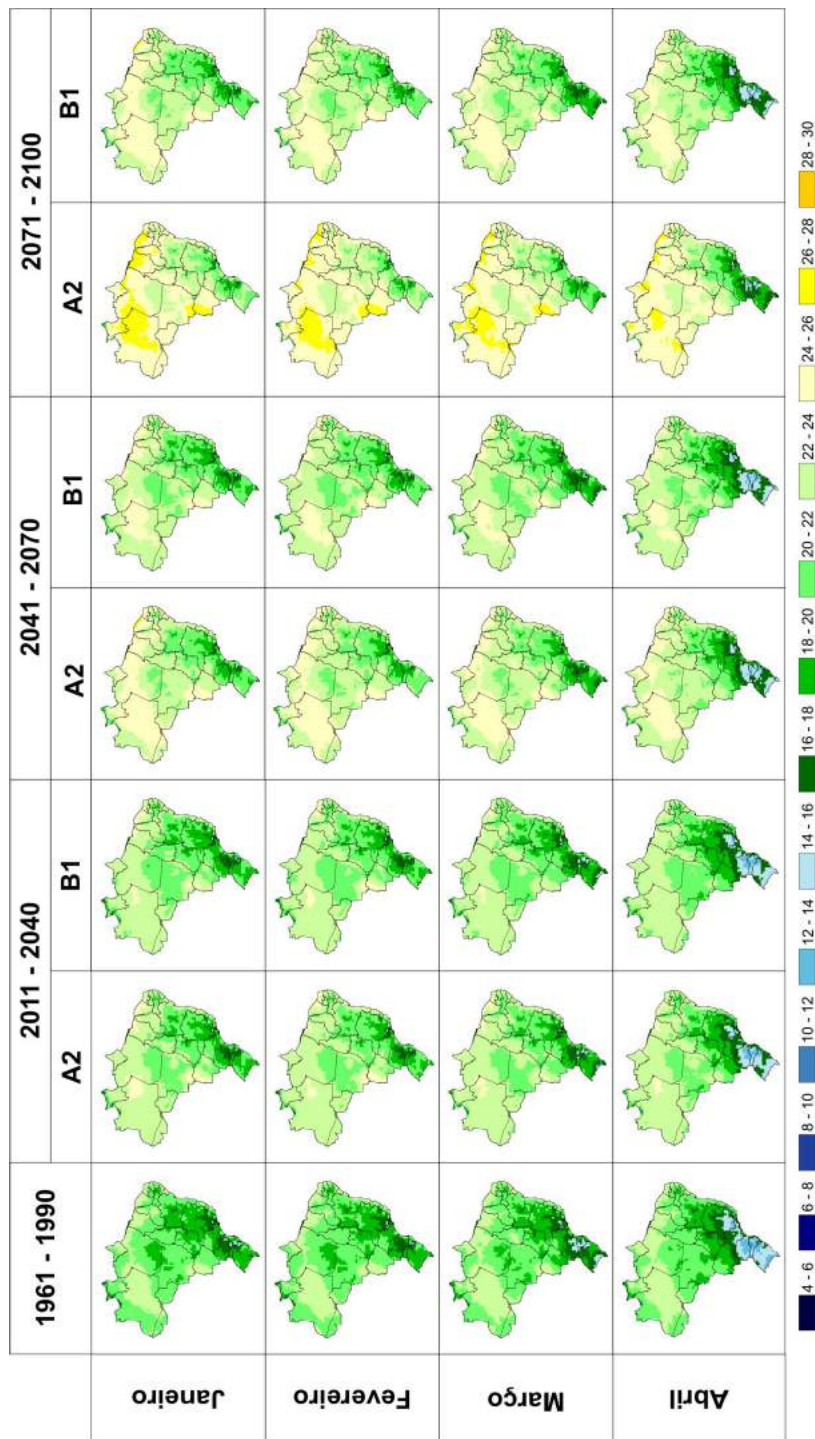
**Figura 8.** Precipitação pluviométrica média diária (mm dia<sup>-1</sup>) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



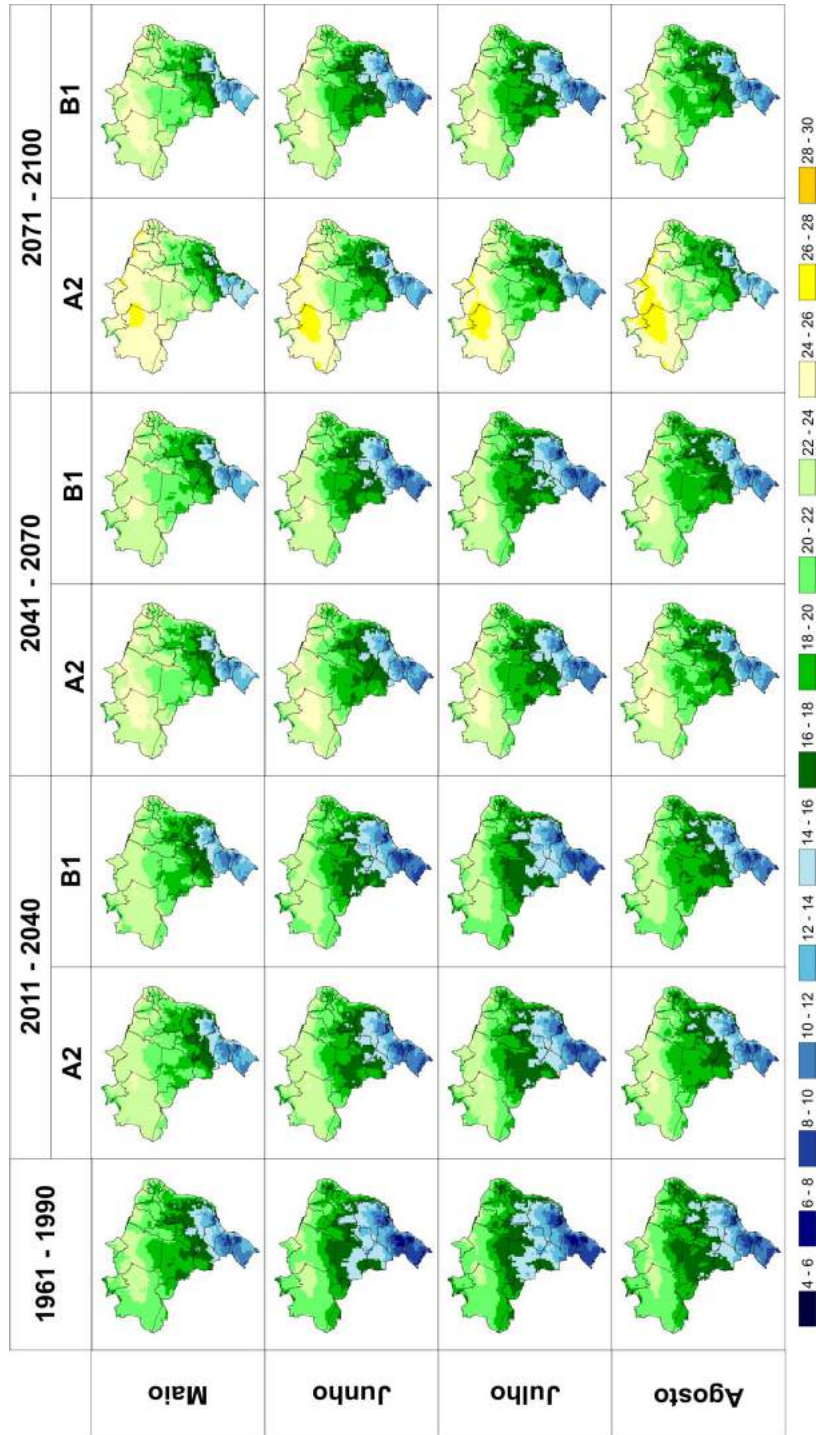
**Figura 9.** Precipitação pluviométrica média diária (mm dia<sup>-1</sup>) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



**Figura 10.** Precipitação pluviométrica média diária ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



**Figura 11.** Temperatura mínima do ar (°C) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



**Figura 12.** Temperatura média do ar (°C) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

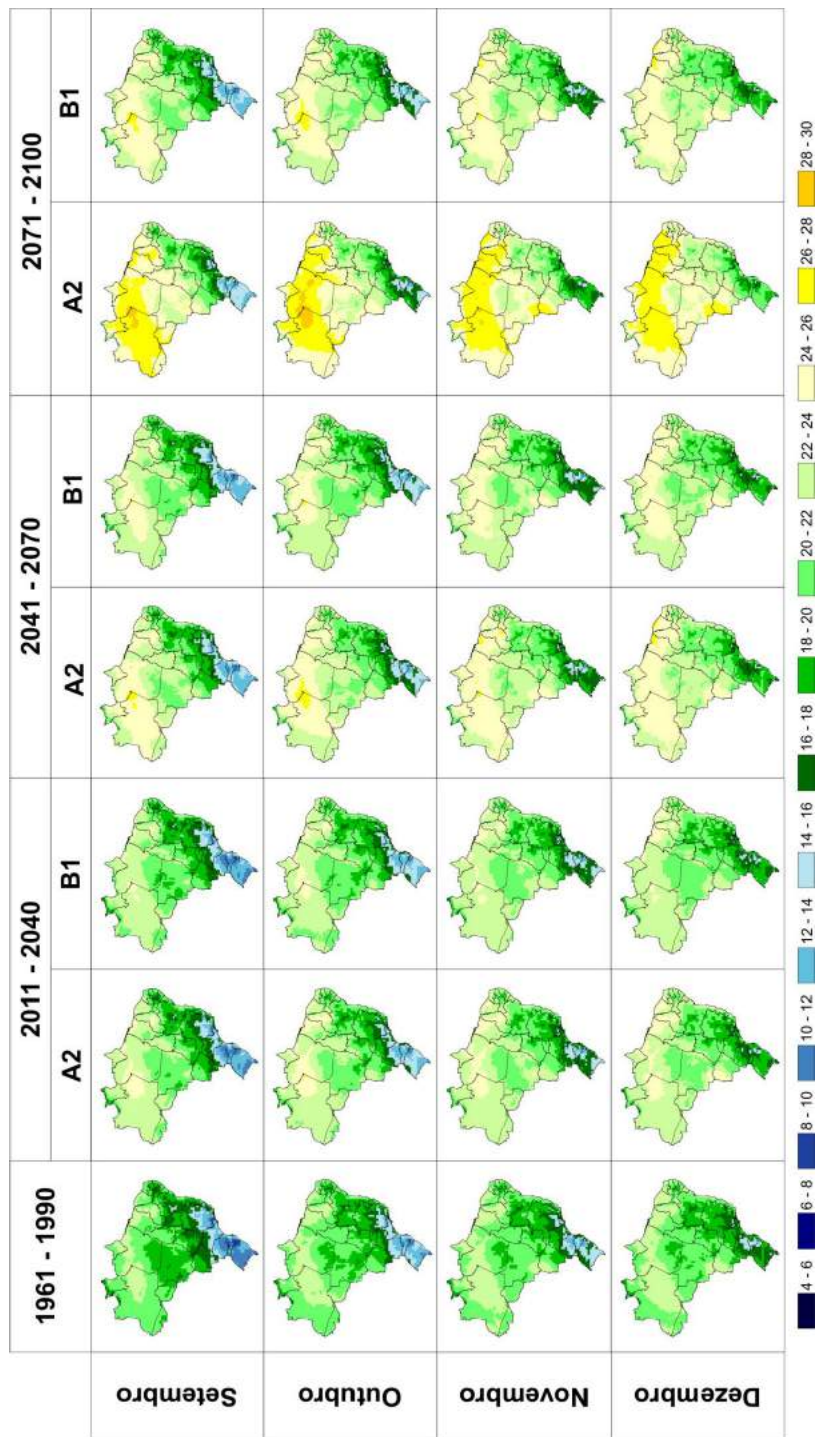
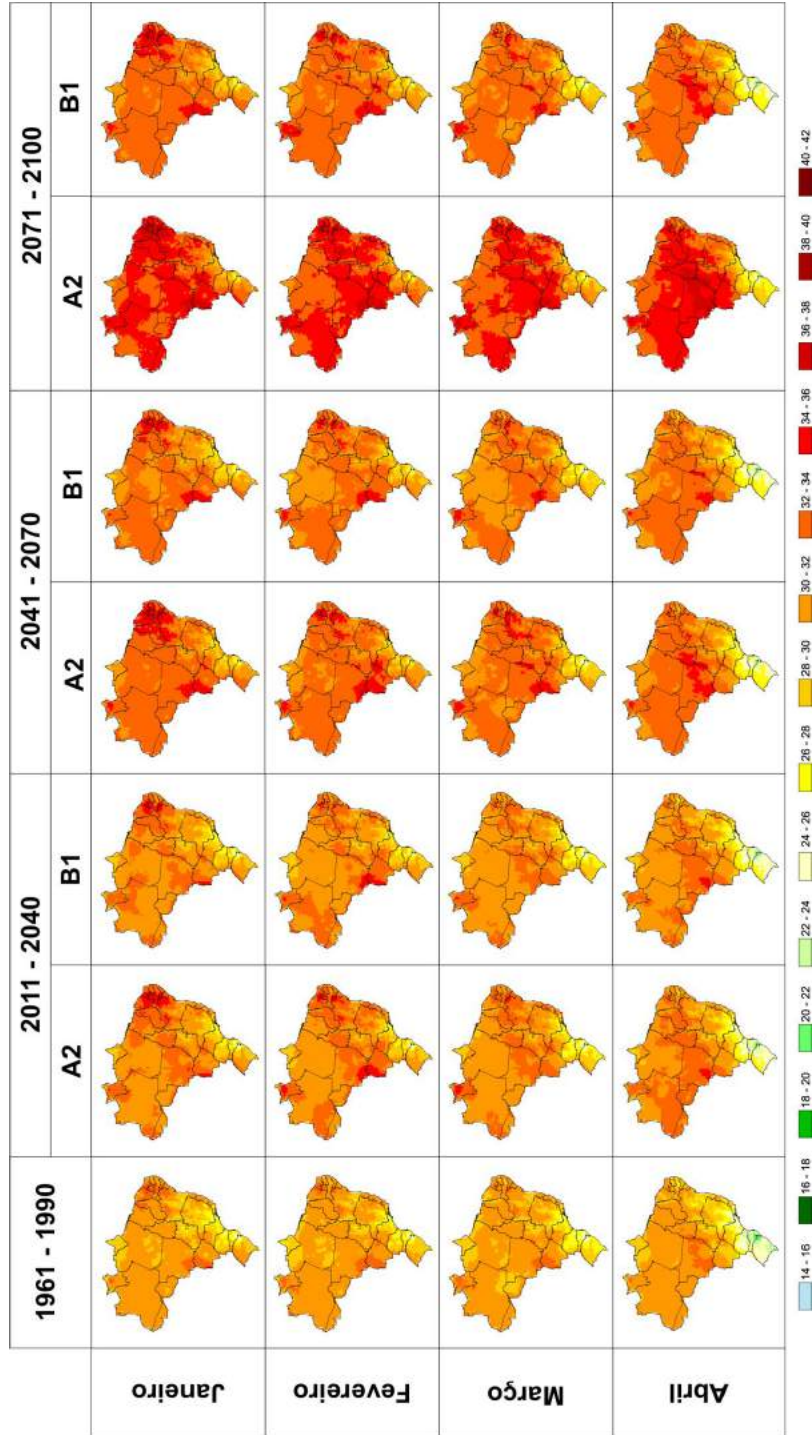
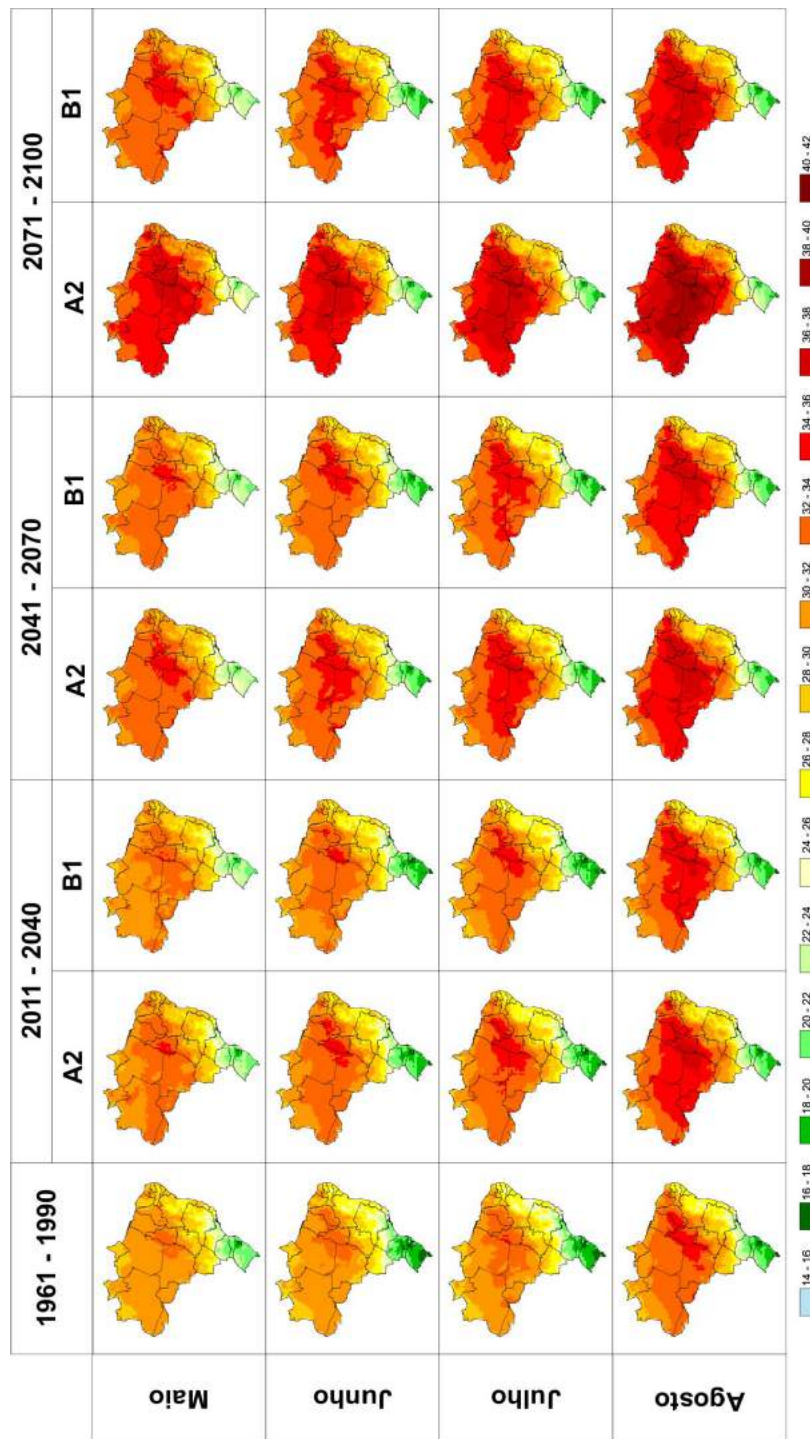


Figura 13. Temperatura mínima do ar (°C) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

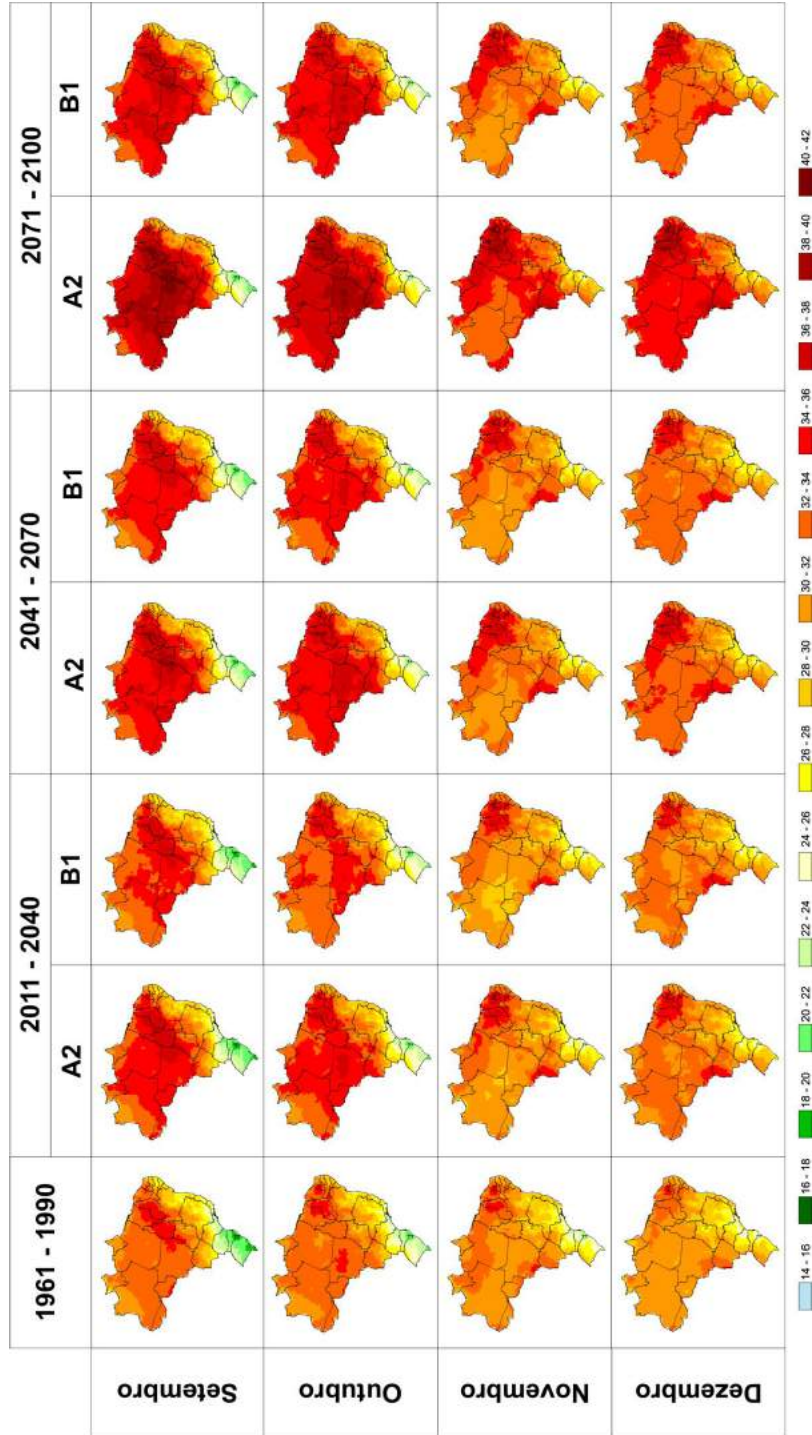


**Figura 14.** Temperatura máxima do ar (°C) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

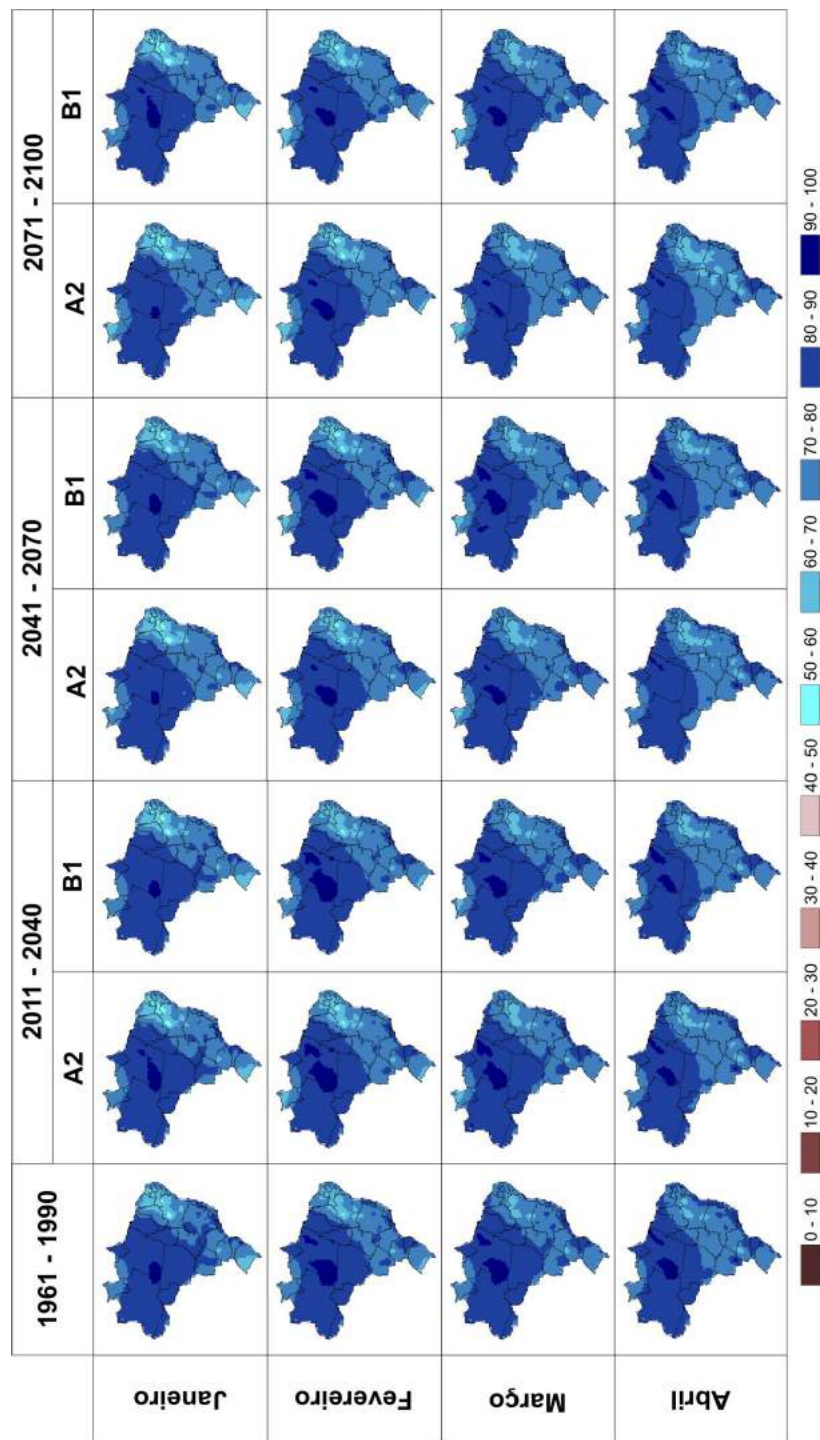




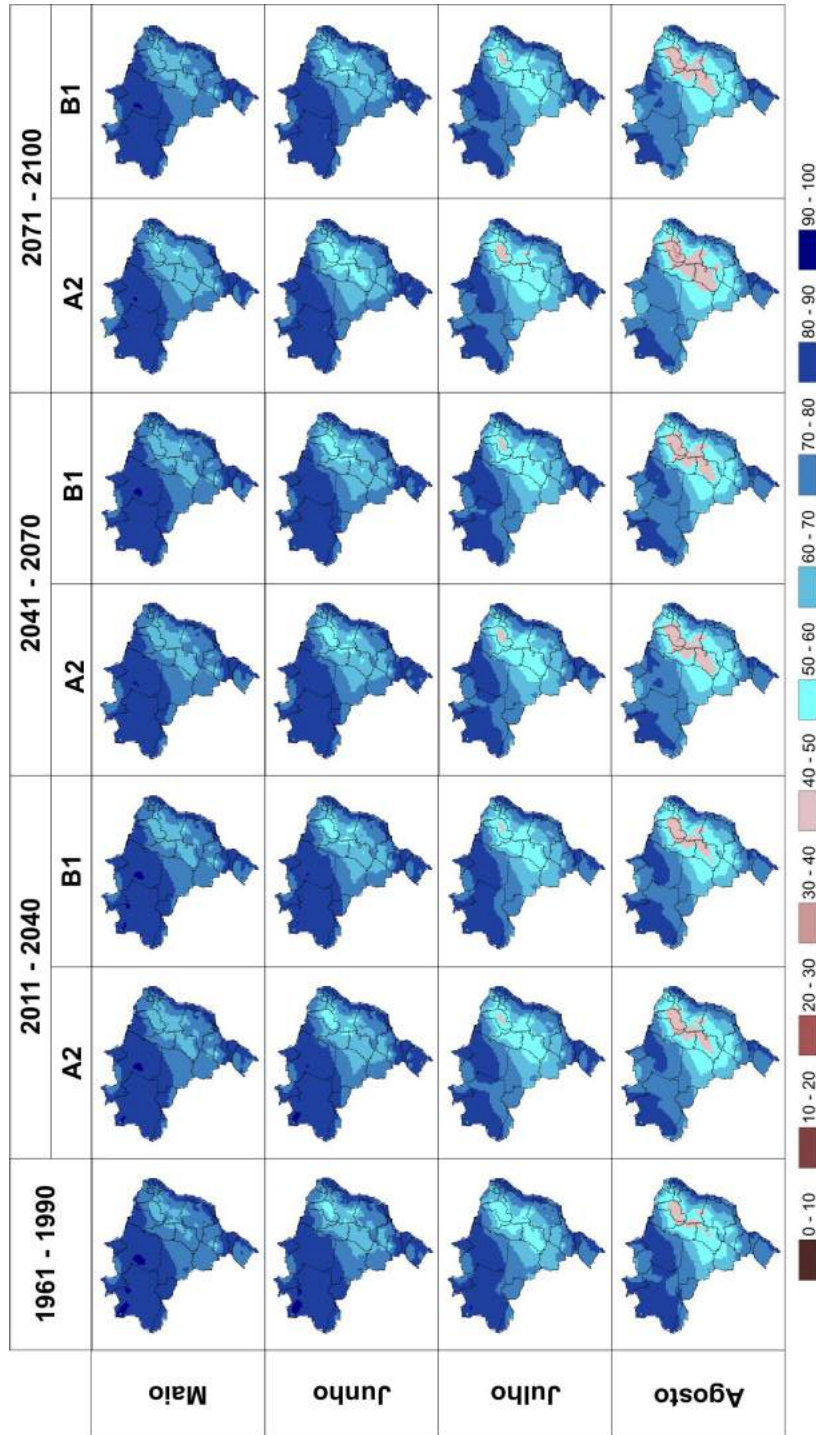
**Figura 15.** Temperatura máxima do ar (°C) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



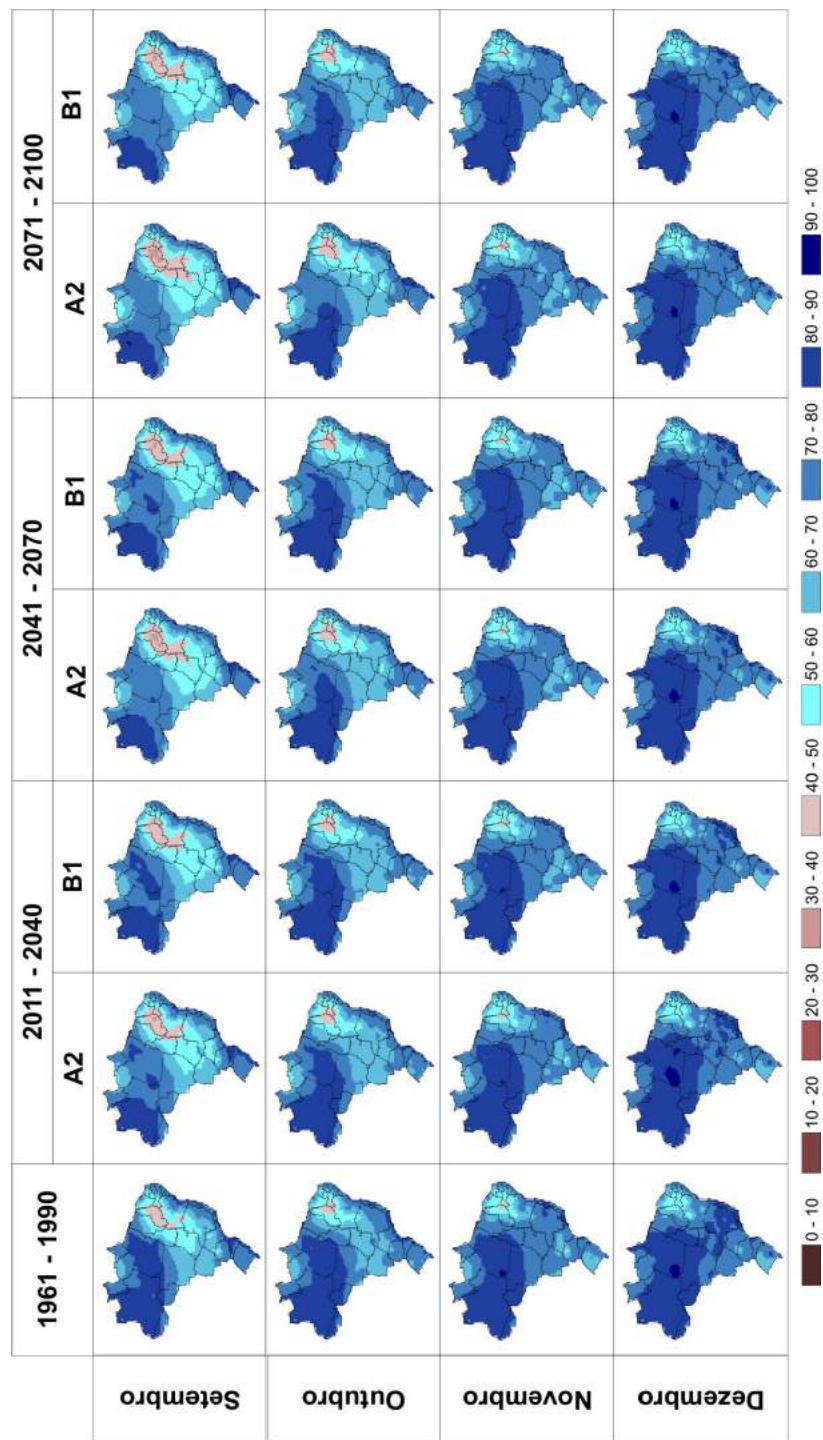
**Figura 16.** Temperatura máxima do ar (°C) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



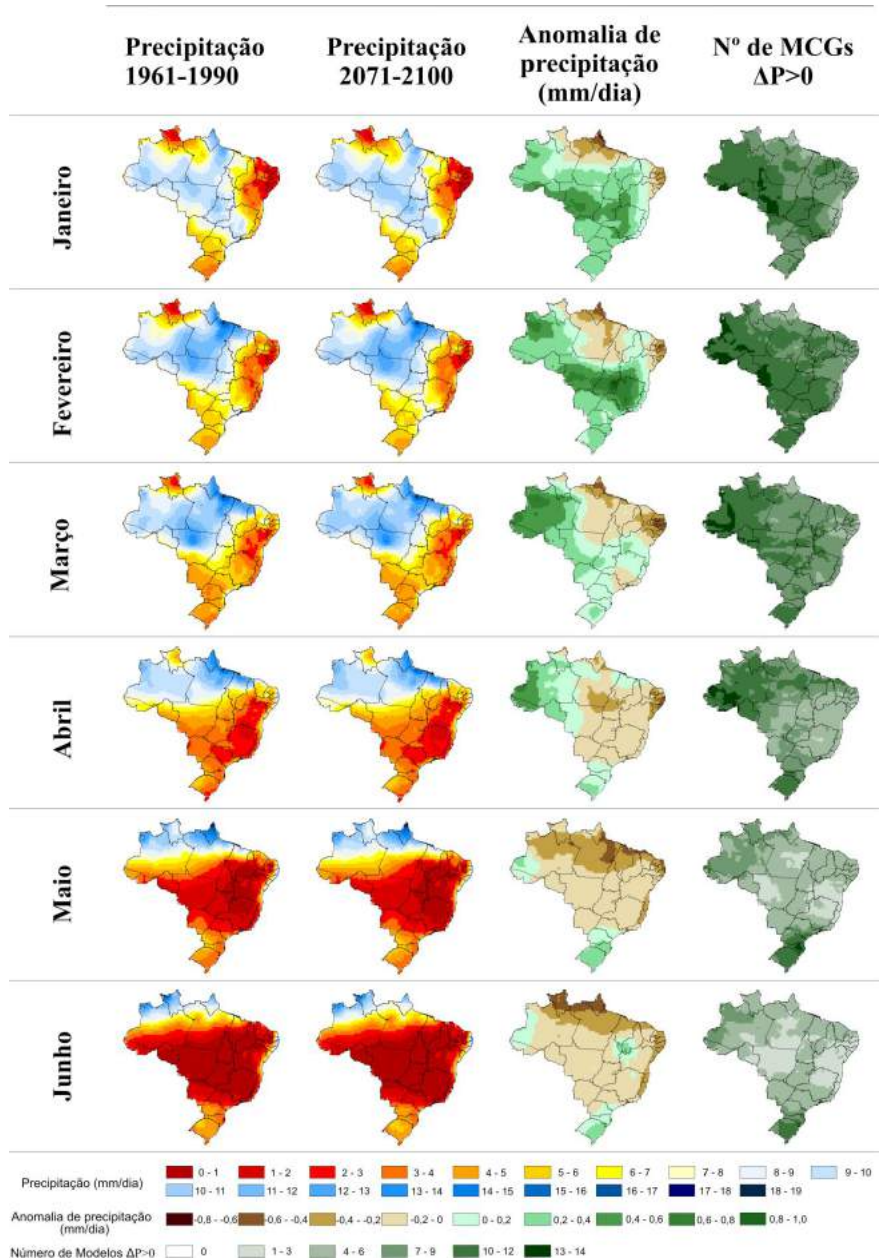
**Figura 17.** Umidade relativa do ar (%) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



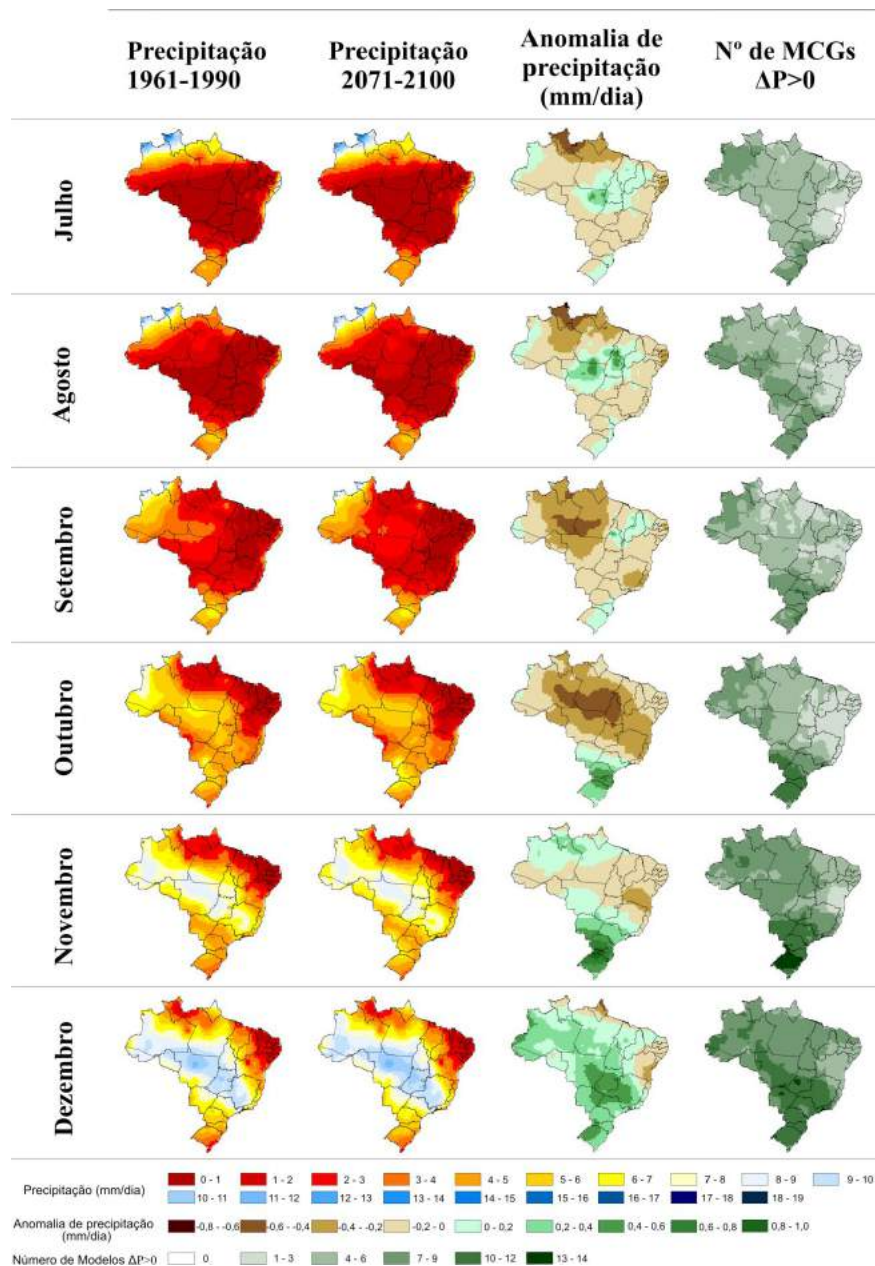
**Figura 18.** Umidade relativa do ar (%) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



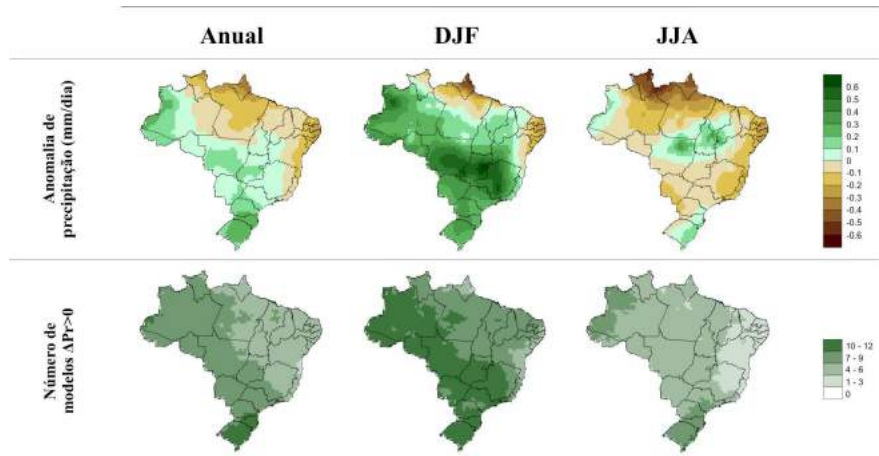
**Figura 19.** Umidade relativa do ar (%) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



**Figura 20.** Precipitação pluviométrica média diária (mm dia<sup>-1</sup>), anomalia (mm dia<sup>-1</sup>) e número de MCGs que projetam anomalias positivas de janeiro a junho para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2071-2100, cenário A2, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



**Figura 21.** Precipitação pluviométrica média diária (mm dia<sup>-1</sup>), anomalia (mm dia<sup>-1</sup>) e número de MCGs que projetam anomalias positivas de julho a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2071-2100, cenário A2, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.



**Figura 22.** Anomalias de precipitação ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) e número de modelos climáticos globais que projetam anomalias positivas na média para o Brasil, para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2071-2100, cenário A2, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

negativas e as demais regiões com anomalias positivas, em especial as regiões Sul, Sudeste e parte da Centro-Oeste. Além disso, as regiões Norte e Sul apresentam maior convergência de número de MCGs quanto ao aumento de precipitação.

As limitações da abordagem baseada em médias de modelos não consideram a variabilidade entre as diferentes projeções, principalmente para precipitação pluvial. A apresentação de medidas de erro padrão para as projeções médias mensais poderiam melhorar os resultados em estudos futuros.

## Considerações finais

As projeções dos modelos climáticos são importante ponto de partida para estudos de impactos das mudanças do clima, pois os modelos climáticos vêm nas últimas décadas aumentando sua resolução e fornecendo melhores estimativas quantitativas da mudança do clima futuro, dependendo da região e da variável de interesse.



Para sua aplicação, no entanto, a definição criteriosa dos parâmetros utilizados na metodologia de elaboração de mapas das projeções dos cenários climáticos futuros é imprescindível, estando diretamente conectada aos objetivos de aplicação do mapeamento. Desta forma, avaliam-se as necessidades das informações climáticas provenientes dos modelos climáticos quanto às suas características, como sua resolução espacial e temporal, conjugadas à disponibilidade dessas informações e balanceando-as com as possíveis vantagens/acréscimos e desvantagens/limitações de cada escolha metodológica.

A média das projeções dos MCGs do IPCC-AR4 estima um aumento na temperatura média do ar para o século 21 no Brasil, em ambos os cenários, A2 e B1, em todos os meses, comparado ao período de referência de 1961-1990. O aumento previsto da temperatura média para o Brasil, porém, variará de intensidade nas diversas regiões e ao longo dos meses do ano, demonstrando também o efeito sazonal.

Avaliando individualmente os MCGs, todos simulam elevações na temperatura média. Porém, para a precipitação pluvial, as projeções individuais dos MCGs para o Brasil não apresentam consistência quanto à tendência da mudança, aumento ou diminuição, para a maioria das localidades. Como limitações dessa falta de consistência, as estimativas projetadas possuem uma incerteza maior, refletindo na adoção desses dados em aplicações de interesse agrícola.

## Referências

BORLAND SOFTWARE CORPORATION. **Delphi 7 for Windows**. Scotts Valley, California, 2002. Disponível em: <[www.borland.com](http://www.borland.com)>. Acesso em: 5 maio 2017.

BETTS, R.; NOBRE, C.; KAY, G.; SAMPAIO, G.; CHOU, S. Como modelamos o clima. In: MARENGO, J. A.; BELLS, R. (Coord.). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil**: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. São José dos Campos: Inpe, 2011. p. 32-38. Disponível em: <<http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/relatorioport.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2014.

CUBASCH, U.; WUEBBLES, D.; CHEN, D.; FACCHINI, M. C.; FRAME, D.; MAHOWALD, N.; WINTHER, J.-G. Introduction. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Climate change 2013**: the physical science basis. Working Group I: contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University, 2013. p. 119-158. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wgl/WGIAR5\\_Chapter01\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wgl/WGIAR5_Chapter01_FINAL.pdf)>. Acesso em: 28 dez. 2014.

DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. As incertezas regionais nos cenários de mudanças climáticas globais. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 12-16, 2007.

EASTMAN, J. R. **Idrisi 32**: guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v. 2.

FIREBIRD FOUNDATION INCORPORATED. **Firebird v2.0**. 2006. Disponível em: <<http://www.firebirdsql.org>>. Acesso em: 5 maio 2017.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer 8.02**. Golden: Colorado, 2002. Disponível em: <<http://www.goldensoftware.com>>. Acesso em: 5 maio 2017.

HK-SOFTWARE. **IBExpert**. 2001. Disponível em: <<http://www.ibexpert.net>>. Acesso em: 5 maio 2017.

HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; LINDEN, P. J. van der; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. (Ed.). **Climate change 2001**: the scientific basis: contribution of working group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de Sensoriamento Remoto. **TOPODATA**: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>. Acesso em: 5 maio 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **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, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 1-18.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Climate change 2013: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 1-29.

JONES, R. G.; NOGUER, M.; HASSEL, D. C.; HUDSON, D.; WILSON, S. S.; JENKINS, G. J.; MITCHELL, J. F. B. **Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS**. Exeter, UK: Met Office Hadley Centre, 2004. 40 p. Disponível em: <[http://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/mohippo/pdf/6/5/precis\\_handbook.pdf](http://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/mohippo/pdf/6/5/precis_handbook.pdf)>. Acesso em: 9 maio 2017.

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. 2. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007. 163 p. (Biodiversidade, 26).

MITCHELL, T. D.; CARTER, T. R.; JONES, P. D.; HULME, M.; NEW, M. **A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100)**. Norwich, UK: Tyndall Centre for Climate Change Research, 2004. 30 p. (Tyndall Centre Working Paper, 55).

MITCHELL, T. D.; JONES, P. D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 6, p. 693-712, 2005.

MURRAY, F. W. On the computation of saturation vapor pressure. **Journal of Applied Meteorology**, v. 6, n. 1, p. 203-204, 1967.

NAKICENOVIC, N. (Coord.). **Special report on emission scenarios**: contribution of Working Group III. Cambridge: Cambridge University, 2000. 599 p.

RANDALL, D. A.; WOOD, R. A. (Coord.). Climate models and their evaluation. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **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, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 589–662.