

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**OBSERVAÇÃO E PROJEÇÃO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS SOBRE
O BRASIL E IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS VULNERABILIDADES SOBRE
MINAS GERAIS**

Ulisses Antônio Natividade

**Itajubá,
Junho/2015**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Ulisses Antônio Natividade

**OBSERVAÇÃO E PROJEÇÃO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS SOBRE
O BRASIL E IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS VULNERABILIDADES SOBRE
MINAS GERAIS**

**Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação
em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos
requisitos para obtenção do Título de Mestre em Meio
Ambiente e Recursos Hídricos.**

Área de concentração: Meio ambiente e Recursos
Hídricos

Orientadora: Profa. Dra. Sâmia Regina Garcia Calheiros

Coorientador: Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres

**Itajubá,
Junho/2015**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Ulisses Antônio Natividade

**OBSERVAÇÃO E PROJEÇÃO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS SOBRE
O BRASIL E IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS VULNERABILIDADES SOBRE
MINAS GERAIS**

Dissertação aprovada em 26 de Junho de 2015, conferindo
ao autor o título de *Mestre em Meio Ambiente e Recursos
Hídricos*.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Sâmia Regina Garcia Calheiros (Orientadora)

Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres (Coorientador)

Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa

Prof. Dr. Cristiano Prestrelo de Oliveira

**Itajubá,
Junho/2015**

A minha mãe e a minha esposa
ALPINA VALÉRIA NATIVIDADE e
ANGELITA DE PAULA PIMENTA

AGRADECIMENTOS

À minha mãe que lutou sozinha por minha educação e me preparou para os desafios da vida.

À professora Dra. Sâmia Regina Garcia Calheiros pelo comprometimento, pela disciplina e organização na orientação deste trabalho, além da paciência e todos os conhecimentos dispensados.

Ao professor Dr. Roger Rodrigues Torres pela parceria e orientação indispensável no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. Cristiano Prestrelo de Oliveira por suas preciosas sugestões e colaboração.

À professora Dra. Michelle Simões Reboita pela amizade, companheirismo e dedicação, contribuindo sempre para o meu crescimento acadêmico.

Ao professor Luiz Felipe Silva pela amizade e sabedoria compartilhada, mostrando, sobretudo, que a ciência deve respeitar a demanda humana por qualidade de vida.

Aos coordenadores do programa de mestrado Dr. Rogério Melloni e Dr. Marcelo de Paula Corrêa por tudo que fizeram em favor dos mestrandos.

À fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que viabilizou a execução desta pesquisa através do suporte financeiro.

Às minhas sobrinhas Márcia e Laura Pimenta por todo apoio e colaboração nos momentos em que precisei.

Ao professor Demetrius Artur Werner Soares pelo incentivo ao meu ingresso no programa de mestrado.

A todos os funcionários e professores da UNIFEI que de maneira direta ou indireta contribuíram para a minha realização acadêmica.

À minha sogra, Dona Expedita, pelo zelo, apoio e orações.

À Angelita, esposa e farol que me guia pelo mar da vida, pela cumplicidade, amor, dedicação e apoio incondicionais, fundamentais em tudo que realizo.

“O mundo é um lugar perigoso de se viver, não por causa daqueles que fazem o mal, mas sim por causa daqueles que observam e deixam o mal acontecer”.

ALBERT EINSTEIN

RESUMO

O Brasil é um país de dimensões continentais com vários regimes de temperatura e precipitação, mas ainda possui poucos trabalhos que abordam as mudanças climáticas sob o contexto dos extremos climáticos observados e projetados. Assim, esse trabalho propõe a análise de índices de extremos climáticos de temperatura e precipitação na região da América do Sul por meio da utilização de 19 Modelos de Circulação Geral (MCG) pertencentes ao Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5, em inglês). Os índices utilizados são dias frios (TX10p), noites frias (TN10p), dias quentes (TX90p), noites quentes (TN90p), dias secos consecutivos (CDD), dias úmidos consecutivos (CWD), dias muito úmidos (R95p) e precipitação máxima em 5 dias (Rx5day). Inicialmente, as simulações dos modelos foram comparadas às climatologias do período 1961-1990 utilizando dados de Reanálise (assumidos como observação). De uma maneira geral, as simulações com índices de precipitação são superestimadas comparadas às observações em todo o Brasil, contudo, sobre Minas Gerais (MG), as simulações assemelham-se mais com a observação. Quanto às simulações dos índices de temperatura, tem-se que as mesmas são bem próximas à observação no que se refere aos valores e à distribuição espacial sobre o Brasil como um todo. Em seguida, foram analisadas as projeções de tais índices dos 19 modelos para o período de 2071–2100, com ênfase para a região de MG. Nessa análise, a simulação (1961–1990) foi subtraída da projeção (2071–2100) em cada modelo para análise do fortalecimento ou enfraquecimento dos sinais desses índices no período futuro. Notou-se um aumento (uma diminuição) do CDD (CWD) em praticamente todo o Brasil, embora tenham sido observados valores próximos a zero desses índices em MG, assim como um aumento dos índices R95p e Rx5day. As tendências para os índices baseados em temperatura são de aumento de noites e dias quentes e diminuição de noites e dias frios em quase todo o Brasil, caracterizando aspectos de aumento de temperatura global. Para análise da tendência de longo prazo desses índices, médias espaciais dos mesmos foram calculadas em áreas ao norte e ao sul do estado de MG no período completo de análise dos dados dos modelos (1901-2100) e para o período 1948-2005 da observação. Para a observação, nota-se diminuição no índice CDD e aumento no CWD no período 1961-1990, enquanto que a média multimodelo aponta para pequeno aumento dos mesmos; quanto aos índices R95p e Rx5day, os modelos e a observação são consistentes quanto ao aumento desses índices nesse período em todo o estado de MG. As projeções indicam diminuição de CWD, R95p e Rx5day e aumento de CDD para o final do século XXI. Os índices baseados em temperatura apontam, tanto na observação quanto nas simulações e projeções, diminuição (aumento) em TN10p e TX10p (TN90p e TX90p). Portanto, esses resultados podem ter implicações importantes em estudos de extremos climáticos e atividades de monitoramento das características extremas de temperatura e precipitação, principalmente na região de MG.

Palavras-chave: Variabilidade climática, Eventos climáticos extremos, Modelos de Circulação Geral, Projeções Climáticas, Minas Gerais.

ABSTRACT

Brazil is a country of continental dimensions with various temperature and precipitation regimes, but it has few works that address climate change in the context of observed and projected climate extremes. Thus, this work proposes the analysis of climatic extremes indices of temperature and precipitation in the South American region through 19 General Circulation Models (GCM) participating in the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). The indices used are cold days (TX10p), cold nights (TN10p), warm days (TX90p), warm nights (TN90p), consecutive dry days (CDD), consecutive wet days (CWD), very wet days (R95p) and max 5 day precipitation (Rx5day). Initially, the simulations of the models were compared to the 1961-1990 period climatologies using Reanalysis data (assumed as observation). In general, the simulations with precipitation indices are overestimated compared to the observations in Brazil, however, about Minas Gerais (MG), the simulations are similar to observations. For simulation of temperature indices, it has that they are similar to observations as regards the values and spatial distribution on Brazil as a whole. Then it were analyzed the projections of these 19 models indices for the period 2071-2100, with emphasis on the MG region. In this analysis, the simulation (1961-1990) was subtracted from the projection (2071-2100) in each model for analysis of strengthening or weakening of these indices signs in the future period. It was noted an increase (decrease) of CDD (CWD) in Brazil, although it have been observed values close to zero in MG, as well as an increase in R95p and Rx5day indices. The projections for temperature-based indices are increase of warm nights and days and decrease of cold nights and days in Brazil, featuring aspects of global temperature increase. To analyze the long-term trend of these indices, spatial averages were calculated in areas to north and south of MG state in the period of models data analysis (1901-2100) and for the 1948-2005 period of observation. For the observation, there is a decrease in CDD and an increase in CWD index in the period 1961-1990, while the multimodelo average points to a small increase of both; concerning the R95p and Rx5day indices, models and observations are consistent showing an increase of these indices during this period in the MG state. The projections show a decrease of CWD, R95p and Rx5day and an increase of CDD in the end of the XXI century. The indices based on temperature show decrease (increase) in TN10p and TX10p (TN90p and TX90p) for the observations, simulations and projections. Therefore, these results may have important implications for studies of climate extremes and monitoring activities of the extreme characteristics of temperature and precipitation, mainly in the MG region.

Keywords: Climate Variability, Climate Extreme Events, General Circulation Models, Climate Projections, Minas Gerais.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Distribuição do ciclo anual de chuvas sobre o território brasileiro. Fonte: Adaptado de Reboita *et al.* (2010).....21
- Figura 2 - Índice de Vulnerabilidade Sócio Climática no Brasil. As áreas nos tons de vermelho (azul) indicam maior (menor) vulnerabilidade. Fonte: Adaptado de Torres *et al.* (2012).....28
- Figura 3 - Trajetórias das emissões de CO₂ (direita), CH₄ (centro), e N₂O (esquerda) referentes aos quatro cenários RCPs (2.6, 4.5, 6.0, 8.5). As áreas em cinza representam os percentis 98 (cinza claro) e 90 (cinza escuro) encontrados na literatura. As linhas tracejadas indicam quatro dos cenários SRES (A2, A1b, B2, e B1). Fonte: Adaptado de van Vuuren *et al.* (2011).....30
- Figura 4 - Divisão do Estado de Minas Gerais para análise das séries temporais: NMG (SMG) indica a região norte (sul) de MG.....34
- Figura 5 - Simulação dos 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice **CDD**.....38
- Figura 6 - Simulação dos 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice **CWD**.....40
- Figura 7 - Simulação dos 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice **R95p**.....42
- Figura 8 - Simulação dos 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice **Rx5day**.....44
- Figura 9 - Simulação dos 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice **TN10p**.....46
- Figura 10 - Simulação dos 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice **TN90p**.....48
- Figura 11 - Simulação dos 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice **Tx10p**.....50
- Figura 12 - Simulação dos 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice **TX90p**.....52
- Figura 13 - Projeções para o período futuro (2071-2100) do índice **CDD** dos 19 modelos globais estudados comparados com o período presente. Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.....54
- Figura 14 - Projeções para o período futuro (2071-2100) do índice **CWD** dos 19 modelos globais estudados comparados com o período presente. Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.....56

- Figura 15 - Projeções para o período futuro (2071-2100) do índice **R95p** dos 19 modelos globais estudados comparados com o período presente. Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.....58
- Figura 16 - Projeções para o período futuro (2071-2100) do índice **Rx5day** dos 19 modelos globais estudados comparados com o período presente. Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.....60
- Figura 17 - Projeções para o período futuro (2071-2100) do índice **TN10p** dos 19 modelos globais estudados comparados com o período presente. Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.....62
- Figura 18 - Projeções para o período futuro (2071-2100) do índice **TN90p** dos 19 modelos globais estudados comparados com o período presente. Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.....64
- Figura 19 - Projeções para o período futuro (2071-2100) do índice **TX10p** dos 19 modelos globais estudados comparados com o período presente. Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.....66
- Figura 20 - Projeções para o período futuro (2071-2100) do índice **TX90p** dos 19 modelos globais estudados comparados com o período presente. Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.....68
- Figura 21 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **CDD** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.....71
- Figura 22 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **CWD** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.....73
- Figura 23 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **R95p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.....75
- Figura 24 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **Rx5day** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.....77
- Figura 25 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **TN10p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.....80
- Figura 26 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **TN90p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.....82
- Figura 27 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **TX10p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.....84

Figura 28 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **TX90p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.....86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características resumidas dos cinco regimes de precipitação sobre o Brasil. Fonte: Adaptado de Reboita <i>et al.</i> (2010).....	22
Quadro 2 - Modelos globais utilizados, com as respectivas instituições responsáveis e resoluções horizontais.....	31
Quadro 3 - Índices anuais utilizados com sua respectiva descrição.....	32
Quadro 4 - Coeficiente angular da reta de tendência das observações e simulações dos períodos indicados para as regiões NMG e SMG dos índices de precipitação.....	78
Quadro 5 - Idem ao Quadro 4, mas para os índices de temperatura.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	- Alta da Bolívia
ASAS	- Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
AR5	- Quinto Relatório de Avaliação
CCMs	- Complexos Convectivos de Mesoescala
CMIP3	- <i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 3</i>
CMIP5	- <i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i>
ENOS	- El Niño/Oscilação Sul
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOS	- Índice de Oscilação Sul
IPCC	- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IV	- Índice de Vulnerabilidade
IVC	- Índice de Vulnerabilidade Climática
IVE	- Índice de Vulnerabilidade Epidemiológica
IVG	- Índice de Vulnerabilidade Geral
IVSE	- Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica
JBN	- Jato de Baixos Níveis
LI	- Linhas de Instabilidade
Lat	- Latitude
Lon	- Longitude
MCG	- Modelo Climático Global
MG	- Minas Gerais
NMG	- Norte de Minas Gerais
R1	- Região um
R2	- Região dois
R3	- Região três
R4	- Região quatro
R5	- Região cinco
RCCI	- <i>Regional Climate Change Index</i>
RCP	- <i>Representative Concentration Pathways</i>
SCVI	- <i>Socio-Climatic Vulnerability Index</i>
SMAS	- Sistema de Monção da América do Sul
SMG	- Sul de Minas Gerais

SRES	- <i>Special Report on Emissions Scenarios</i>
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
VCANs	- Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
WMO	- <i>World Meteorological Organization</i>
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivos.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Climatologia e variabilidade climática.....	20
2.2 Observação e projeção climática.....	25
3. DADOS E METODOLOGIA.....	30
3.1 Dados.....	30
3.2 Metodologia.....	32
<i>3.2.1 Comparação dos modelos com a observação.....</i>	<i>33</i>
<i>3.2.2 Análise das projeções.....</i>	<i>33</i>
<i>3.2.3 Análise das tendências.....</i>	<i>33</i>
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 Climatologia.....	36
<i>4.1.1 Índices extremos de precipitação.....</i>	<i>36</i>
<i>4.1.2 Índices extremos de temperatura.....</i>	<i>45</i>
4.2 Projeções Climáticas.....	53
<i>4.2.1 Índices extremos de precipitação.....</i>	<i>53</i>
<i>4.2.2 Índices extremos de temperatura.....</i>	<i>61</i>
4.3 Séries Temporais.....	69
<i>4.3.1 Índices extremos de precipitação.....</i>	<i>69</i>
<i>4.3.2 Índices extremos de temperatura.....</i>	<i>79</i>
5. CONCLUSÕES.....	88
<i>5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....</i>	<i>91</i>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, país de economia emergente e privilegiado território que apresenta dimensões continentais, conta com grande potencial para exploração mineral e agrícola, além de turística. Contudo sofre com a desigualdade social e o mau gerenciamento de problemas socioambientais que podem colocar uma significativa parcela de sua população em risco. Esta parcela da população encontra-se, por exemplo, em áreas ocupadas em encostas ou margens de rios em condições precárias de moradia, sendo vulneráveis a eventos como enchentes e desmoronamentos. Esta situação aliada a políticas públicas pouco efetivas e crescimento desordenado das cidades justificam as pesquisas acerca dos sistemas e fenômenos meteorológicos e suas consequências.

O estado de Minas Gerais, localizado na região Sudeste do Brasil, é um grande produtor de alimentos que são transportados pela mais extensa malha viária do país, e com rios importantes na geração de energia elétrica, inclusive para outros estados. Destacam-se, também, o potencial turístico de várias regiões mineiras e a extração de minerais como ferro, nióbio, zinco e alumínio; todas estas atividades são vulneráveis a eventos extremos de clima que aumentam o custo, dificultam ou impossibilitam sua extração e/ou seu transporte. Além disso, podem-se observar situações de grande vulnerabilidade, tais como habitação em encostas ou ocupação de forma desordenada das margens ou das calhas de rios que permanecem anos com baixa vazão, o que ameaça ou fragiliza a sustentabilidade de seu ambiente.

O termo vulnerabilidade empregado neste estudo denota o grau em que um sistema (ou população) é suscetível a, ou incapaz de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, incluindo a variabilidade e os extremos climáticos, além de ser uma função do caráter, magnitude e a taxa de mudança climática com a qual um sistema está exposto, sua sensibilidade e sua capacidade de adaptação (IPCC, 2007). Ao mesmo tempo, Ayoade (2004, p. 288) define vulnerabilidade climática como “a medida pela qual uma sociedade é suscetível de sofrer por causas climáticas”. Os estudos da frequência e risco para ocorrência desses eventos extremos têm sido componentes importantes na análise da vulnerabilidade, e estes, constituem uma informação necessária para priorizar ações de mitigação dos impactos promovidos por fenômenos naturais potencialmente destrutivos.

Ambientes fragilizados e uma sociedade vulnerável justificam o estudo da vulnerabilidade socioambiental, como realizado por Torres *et al.* (2012). Entretanto, a vulnerabilidade de um

sistema e os desastres ambientais nunca dependem de um único fator ou variável, mas de um conjunto deles, que determinam as condições do meio. Eventos extremos de tempo como o furacão Catarina em 2004, e extremos de clima como as grandes secas de 2005 e 2010 na Amazônia (LEWIS *et al.*, 2011) e a estiagem no Sudeste Brasileiro em 2013/2015 motivam a comunidade acadêmica brasileira buscar explicações mais contundentes acerca de fenômenos que ocorrem hoje e devem ocorrer no futuro em função das mudanças nas características climáticas no Brasil e no mundo. Todavia, desde os anos 1990 já se dá o crescimento relevante de instituições internacionais preocupadas em determinar índices de vulnerabilidade ambiental (NASCIMENTO e DOMINGUEZ, 2009) e a comunidade científica tem aumentado seus esforços em estudar e divulgar trabalhos que alertam a população, de modo geral, para as mudanças climáticas e a possível interferência do homem para o seu agravamento (TORRES *et al.*, 2012).

São evidentes os fatos que demonstram mudanças no clima mundial de acordo com o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR5, sigla em inglês), concluído em 2013. Para constatação destas mudanças, dentre outros, são utilizados dados de índices de extremos climáticos que apontam a frequência e o quanto um determinado índice é diferente da normal climatológica de uma região (SILLMANN *et al.*, 2013a). Segundo o relatório, pode-se afirmar que alterações climáticas vêm sendo observadas em todo planeta, como um aumento no nível médio do mar, redução das coberturas de gelo e neve, aumento da temperatura do ar e dos oceanos, entre outros (IPCC, 2013), sendo muitas das mudanças observadas desde 1950 sem precedentes através das décadas. Além disso, veiculam-se diariamente notícias sobre tragédias ocorridas por deslizamentos, enchentes, raios, ventos, seca, neve ou ar frio, tanto no Brasil quanto em outros países. E ainda, a comunidade científica e as autoridades de saúde mantêm a preocupação com surtos epidêmicos ligados a insetos que dependem do acúmulo de água (p.e. dengue, febre amarela, malária e leishmaniose) ou contato direto entre pessoas e águas contaminadas (p.e. leptospirose, ancilostomose e cólera) como ocorre anualmente (CONFALONIERI *et al.*, 2009) e que podem ser agravados pela influência destas mudanças no clima.

Ainda neste contexto, sabe-se que os ecossistemas são vulneráveis a mudanças drásticas do clima, seja por efeito de eventos esporádicos e rápidos, tais como tempestades e enchentes, ou por aqueles que ocorrem de forma lenta e gradativa, como um aumento na temperatura média anual ou da precipitação (FRICH *et al.*, 2002; SILLMANN e ROECKNER, 2007; GARREAUD *et al.*, 2008; SILLMANN *et al.*, 2013a). O aumento da temperatura merece

grande destaque entre as mudanças climáticas observadas diante da constatação de que isto pode vir a modificar a disponibilidade de chuvas em uma ou outra região (MARENGO, 2008b), o que pode alterar as condições de abastecimento e irrigação em propriedades produtoras ou mananciais importantes, como pôde ser visto no decorrer dos anos de 2013 a 2015 em regiões do Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Assim, o homem tem aprendido que a vulnerabilidade ambiental o afeta direta e indiretamente por transformar os modos de produção e consequentemente o consumo de alimentos.

A vulnerabilidade ambiental também merece atenção, pois as pragas que destroem lavouras ou os animais que podem transmitir doenças tem seu comportamento alterado em virtude de mudanças em seu meio. Por exemplo, em bosques de coníferas¹ e florestas temperadas já foi constatado aumento no impacto provocado por pragas devido a mudanças climáticas que modificam o ciclo biológico e a distribuição dos patógenos ou insetos implicados (AYRES e LOMBARDERO, 2000). A vulnerabilidade ambiental também vem sendo utilizada, além dos aspectos mencionados anteriormente, para o balizamento de futuras instalações de atividades econômicas de modo a considerar a capacidade de suporte² dos ambientes terrestres e marinhos (NASCIMENTO e DOMINGUEZ, 2009). Deve-se ter em mente que a vulnerabilidade de um ecossistema é agravada pela mudança na variabilidade climática, o que corrobora para as incertezas no processo de administração dos recursos hídricos (MARENGO, 2008a).

Como o ser humano se estabelece em torno de recursos naturais necessários à sua subsistência, tais como água, solo fértil para cultivo de seu alimento e condições climáticas favoráveis, dedica-se uma preocupação em observar o clima e sua relação com a disponibilidade de água ao longo da história e a projeção futura para esta disponibilidade ao longo de bacias hidrográficas³, por exemplo. Assim, percebe-se que o estabelecimento de cidades, assim como sua gestão política, deve levar em conta as possíveis alterações que por ventura venham ocorrer em uma bacia hidrográfica, seja no aspecto geomorfológico ou no climático, pois estes podem determinar sua hidrologia. Hidrologia esta, que depende do estudo analítico e conhecimento profundo de chuvas intensas, pois seu uso está intrinsecamente relacionado ao

¹ As coníferas, como Sequoias, Tuias, Ciprestes e Pinheiros, são plantas que não produzem frutos, têm folhas em forma de agulha ou escamas e lançam suas sementes em regiões tropicais e principalmente temperadas do planeta.

² A capacidade de suporte é definida como o número máximo de indivíduos possíveis em um determinado ambiente sem comprometer suas funções naturais. Por exemplo, uma cidade não deve crescer infinitamente, pois depende de seus recursos que são limitados.

³ Uma bacia hidrográfica é o conjunto de terras que fazem a drenagem da água das precipitações para cursos de água e rios menores que desaguam em rios maiores. Onde se estabelecem as cidades, lavouras, pastos e margens ciliares com fauna e flora a ser conhecida e explorada.

dimensionamento de obras que garantem o abastecimento e o controle de cheias em qualquer cidade (MELLO *et al.*, 2008). A Bacia do São Francisco (rio que nasce no interior de Minas Gerais), por exemplo, representa um importante indutor do desenvolvimento nos cinco Estados por onde correm seus rios (PEREIRA, 2007). Nota-se, então, que diante dos eventos projetados e observados sobre os sistemas naturais e humanos, em todos os continentes, toda a população pode sofrer, de alguma maneira, os impactos das mudanças climáticas (IPCC, 2013).

1.1 Objetivos

Dada a problemática supracitada, este estudo tem como objetivo geral avaliar os eventos extremos climáticos de temperatura e precipitação observados no Brasil durante o período 1961-1990 e as projeções do período 2071-2100 de 19 modelos climáticos integrantes do 5º Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas através de oito índices de extremos climáticos. Além disso, como objetivos específicos, este trabalho pretende:

- a) analisar o comportamento desses índices dos modelos climáticos comparando-os com as séries observadas no período 1961–1990;
- b) avaliar as projeções climáticas futuras de tais modelos no final do século XXI (2071-2100), identificando possíveis áreas mais vulneráveis às mudanças de eventos climáticos extremos no estado de Minas Gerais;
- c) analisar as séries temporais desses índices nas regiões norte e sul do estado para identificação de possíveis tendências de aumento ou diminuição desses extremos até o final do século XXI.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Climatologia e variabilidade climática

O Brasil está situado, quase totalmente, entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, ou seja, grande parte de seu território encontra-se em domínio tropical. Trata-se de um país de características continentais e relevo bastante heterogêneo com grandes planícies e muitas montanhas. Além disso, conta com uma hidrografia generosa com rios caudalosos e muitos afluentes, possuindo a tarefa de abastecer uma população de mais de 190 milhões de habitantes disposta em 5.565 municípios (IBGE, 2014), além de ceder à atmosfera uma parcela de seu conteúdo em vapor de água, que se soma à evapotranspiração e à umidade proveniente dos oceanos e deve voltar ao solo na forma de chuva tão necessária para a produção agrícola. Adicionalmente, a diversidade biológica que se espalha por biomas⁴ de grande importância – tais como Mata Atlântica, Amazônia e Cerrado – merecem atenção já que mudanças no clima podem interferir na distribuição fitogeográfica e no equilíbrio das cadeias alimentares.

O Brasil, por ser um país de grande extensão territorial, possui diferenciados regimes de precipitação e temperatura. De norte a sul encontra-se uma grande variedade de climas com distintas características regionais. No Norte do país verifica-se um clima equatorial chuvoso, praticamente sem estação seca. No centro-sul da região Nordeste, por exemplo, observam-se baixos índices pluviométricos, sendo a estação chuvosa restrita a poucos meses (Dezembro, Janeiro e Fevereiro; MOLION, 1987; MOLION e BERNARDO, 2002), caracterizando um clima semi-árido; diferente do que ocorre no litoral sul e norte desta região onde a quantidade de chuva é bem maior caracterizando um clima litorâneo úmido, influenciados pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pela brisa marítima (HASTENRATH, 1991; KOUSKY, 1980; SILVA DIAS, 1987) e em áreas da Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí onde tem-se o típico clima tropical alternando seca e chuva.

As regiões Sudeste e Centro-Oeste sofrem influência tanto de sistemas tropicais quanto de latitudes médias, apresentando estações bem definidas, com inverno frio e seco e verão quente e chuvoso, sendo integrantes do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) (ZHOU e LAU, 1998; MARENGO *et al.*, 2001; GAN *et al.*, 2004; GARCIA e KAYANO, 2009; 2013). O Sul do Brasil, devido à sua localização latitudinal, sofre mais influência dos sistemas de

⁴ Bioma é um conjunto de diferentes ecossistemas, que possuem certo nível de homogeneidade. São as populações de organismos da fauna e da flora interagindo entre si e com o meio.

latitudes médias, onde os sistemas frontais são os principais causadores de chuvas durante o ano, o que é mais frequente no inverno do Hemisfério Sul (p.e., REBOITA *et al.*, 2010).

Assim, baseado em Reboita *et al.* (2010), tem-se que o regime de chuvas no Brasil pode ser descrito a partir de cinco regiões (Figura 1). A região R1 engloba o litoral nordestino e parte do norte da região Norte do Brasil, em que ocorre, sobre a região Norte, um total anual de 2000 mm e, ao litoral da região Nordeste, cerca de 1500 mm. A região R2 é o Sertão Nordestino, onde o total anual fica entre 200 e 500 mm. A terceira região (R3) é composta pelo Noroeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, em que o acumulado do ano é normalmente superior a 2450 mm ao norte e cerca de 1500 no Centro-Oeste e Sudeste. Na quarta (R4), tem-se a região Sul do país, onde a precipitação total anual é elevada (1050-1750 mm/ano) sendo ainda maior no oeste da região Sul do Brasil na fronteira com o Paraguai (1750-2100 mm/ano). Por último, junto a região Norte (R5) encontram-se trechos com precipitação anual em torno de 1500 mm ao norte do estado do Amazonas e em grande parte de Roraima.

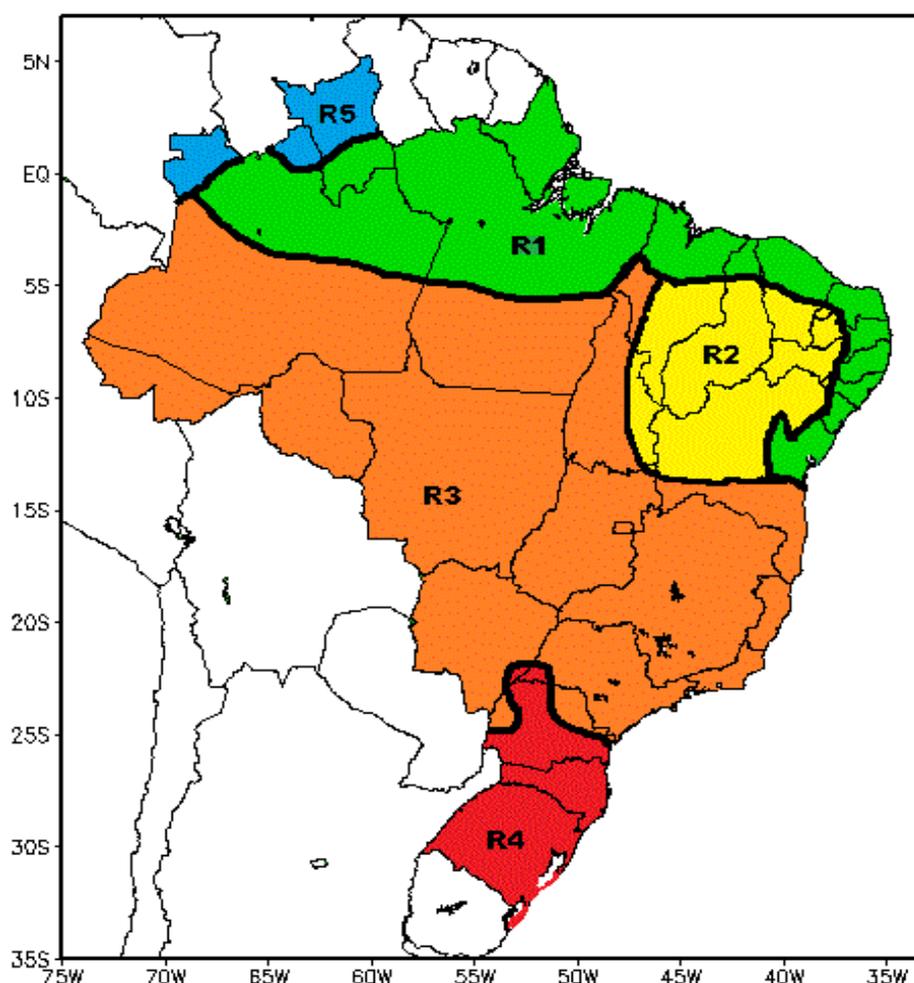


Figura 1 - Distribuição do ciclo anual de chuvas sobre o território brasileiro. Fonte: Adaptado de Reboita *et al.* (2010).

O Quadro 1 ilustra as principais características mostradas na Figura 1, indicando a característica do ciclo anual de precipitação, assim como os sistemas atmosféricos atuantes em cada região.

Quadro 1 - Características resumidas dos cinco regimes de precipitação sobre o Brasil.
Fonte das informações: Reboita *et al.* (2010).

Região	Característica do Ciclo Anual de Precipitação	Sistemas Atmosféricos Atuantes
R1	Máximos de precipitação no primeiro semestre do ano. No norte da região norte do Brasil o total anual é de 2000 mm, enquanto no litoral do nordeste do Brasil é de 1500 mm.	ZCIT; convecção por aquecimento radiativo da superfície; CCMs tropicais; ventos alísios, circulação de brisa; LI; ondas de leste; cavado do nordeste; VCANs tropicais; ASAS; frentes.
R2	Máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno, mas os totais são reduzidos (entre 200 e 500 mm/ano).	Ramo descendente da circulação zonal propiciada pela atividade convectiva na Amazônia; ZCIT; VCANs tropicais; frentes; ASAS.
R3	Máximo de precipitação no verão e mínimo no inverno. O total anual varia ao longo da R3: no setor norte é superior a 2450 mm, já no Centro-Oeste e sudeste é de 1500 mm.	Ventos alísios; JBN a leste dos Andes; ASAS; convecção por aquecimento radiativo da superfície; AB; ZCIT; circulação de brisa; LI tropicais e pré-frontais; CCMs tropicais; frentes; VCANs subtropicais; ciclones; ZCAS.
R4	A precipitação é praticamente homogênea ao longo do ano. O total anual é elevado (1050-1750 mm/ano) sendo ainda maior no oeste do sul do Brasil na fronteira com o Paraguai (1750-2100 mm/ano).	Frentes; ciclones; VCANs subtropicais; LI pré-frontais; nuvens vírgula; CCMs subtropicais, bloqueios atmosféricos; ZCAS; ASAS; JBN a leste dos Andes; circulação de brisa.
R5	A precipitação é abundante o ano todo, mas com maiores totais no inverno. O total anual é superior a 1500 mm.	Ventos alísios; ZCIT; ondas de leste; cavados em altos níveis; convecção por aquecimento radiativo da superfície; CCMs tropicais; circulação de brisa; LI tropicais.

Como mais de 50% do total anual de precipitação ocorre sobre a maior parte da América do Sul tropical e subtropical no verão austral (RAO e HADA, 1990) e o inverno é seco, tem-se que grande parte deste país, principalmente Centro-Oeste e Sudeste (R3 na Figura 1), apresentam características típicas de um Sistema de Monção com distinção clara entre estação seca e chuvosa (HOREL *et al.*, 1989; ZHOU e LAU, 1998; MARENGO *et al.*, 2001; GARCIA e KAYANO, 2009; 2013). Rao *et al.* (1996) observaram que a região central do Brasil (R3) recebe 70% ou mais da chuva anual durante o período de setembro a fevereiro e, durante o verão do Hemisfério Sul, o máximo de água precipitável ocorre ao longo da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Dessa maneira, tem-se que a maior parte do Brasil é influenciada pelo SMAS.

Diferentes sistemas atmosféricos atuam sobre o território brasileiro, tais como, ZCIT que traz umidade do oceano Atlântico para o continente pela ação de ventos alísios, ocorrendo, no

Brasil, próximo à linha do Equador, que juntamente às Linhas de Instabilidade (LI) que adentram a costa leste do país, é responsável por uma parcela considerável da precipitação em parte da região Nordeste (em R1 e R2) e Norte (em R2 e R5); estas chuvas são mais intensificadas entre os meses de Fevereiro e Maio. A ZCIT também contribui com a precipitação ao norte de R1 (MOLION e BERNARDO, 2002; MARENGO, 2004, 2006). Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs) tropicais que contribuem para a formação de chuvas no Nordeste e extratropicais que se associam a formação de ciclones em superfície ao Sul do Brasil como se constatou em 2004. Neste ano a transição de ciclone extratropical para o furacão Catarina esteve associada a um bloqueio do tipo dipolo, o que criou uma circulação anômala com ventos de leste e propiciou o deslocamento do ciclone para oeste (MCTAGGART-COWAN *et al.*, 2006) promovendo sérias consequências à população afetada.

Sobre o Brasil também atua o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que traz umidade e calor do Oceano Atlântico para o interior do continente, assim como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) tropicais que podem se deslocar para o Sul do Brasil (R4) causando intensa precipitação. Sabe-se, também, que quando CCMs ocorrem ao Norte do Brasil (R1) contribuem para a formação de chuvas naquela região (GRIMM, FERRAZ e GOMES, 1998; GRIMM *et al.*, 2000; BARROS *et al.*, 2002). Outro sistema de grande importância e que atua, normalmente, sobre o centro-sul brasileiro é a ZCAS, a qual pode ser influenciada pela ASAS e pelo Jato de Baixos Níveis (JBN). A ZCAS participa do transporte de umidade oceânica que penetra o continente sobre a região amazônica provocando mais chuvas – que se relacionam a extremos que promovem enchentes ou deslizamentos – no verão principalmente na região Sudeste (R3) (ALVES *et al.*, 2005; GAN *et al.*, 2005; SANT’ANNA NETO, 2005) e que acaba inibindo, no mesmo período, as chuvas no Sul (R4), fenômeno de gangorra que alterna aumento e diminuição de chuvas entre o Sul e o Sudeste do Brasil em escala intrasazonal estudado por Muza *et al.* (2009). Além dos sistemas anteriores ocorre a influência de frentes frias que contribuem com o aumento da precipitação ao norte de R4 e sul de R3 na primavera e no verão, circulação de brisas de grande influência em regiões costeiras e zona de alta pressão da Bolívia (AB) capazes de influenciar o deslocamento das ZCAS segundo Jones e Horel (1990).

No que se refere à variabilidade climática e como já relatado em vários trabalhos publicados (p.e. KOUSKY e ROPELEWSKI, 1989; ROPELEWSKI e HALPERT, 1989; RAO e HADA, 1990, GRIMM, 1993; DIAZ e STUDZINSKI, 1998), existem alguns fenômenos meteorológicos que promovem a variabilidade natural do clima em determinadas regiões e

podem tanto amenizar quanto intensificar os eventos extremos; como, por exemplo, o El Niño - Oscilação Sul (ENOS). O El Niño representa um fenômeno associado a alterações dos padrões climatológicos da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial e Leste (anomalias positivas de TSM com as águas do Pacífico Sul mais quentes que a normal) e no Pacífico Oeste próximo à Austrália. Juntamente a essas características, existe uma oscilação da pressão atmosférica entre tais regiões do Oceano Pacífico (Oscilação Sul) que possui um efeito acoplado ao El Niño e, por isso, estuda-se o fenômeno ENOS. Os valores do Índice de Oscilação Sul (IOS), índice este que representa a diferença normalizada da pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico Oeste (Ilha de Darwin/Austrália) determinam os eventos de El Niño (IOS negativo) e La Niña (IOS positivo) que se relacionam às mudanças na circulação atmosférica nos baixos e altos níveis, determinando alterações nos padrões de transporte de umidade e, portanto, variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas, assim como aumento ou queda de temperatura em algumas regiões.

O ENOS é um fenômeno que pode mudar o regime de chuvas principalmente no Nordeste e Sul brasileiro levando à diminuição de chuvas ou até secas no Norte do Brasil, secas severas no Nordeste, temperaturas mais altas que a média para o Sudeste e áreas do Centro-Oeste, além de chuvas abundantes no Sul do Brasil com aumento das temperaturas médias naquele local. Durante os eventos El Niño, o movimento ascendente sobre a América do Sul tropical é mais fraco que o normal, com anomalias negativas de precipitação sobre o leste da Amazônia e nordeste do Brasil (RAO *et al.*, 1986) e anomalias positivas sobre o sul do Brasil (ROPELEWSKI e HALPERT, 1987; 1989; KAYANO *et al.*, 1988). Em anos de La Niña, pode ser observado um aumento (diminuição) da precipitação no Norte e Nordeste (Sul) do país. Durante os eventos La Niña, as anomalias de precipitação e circulação são opostas àquelas descritas para os eventos El Niño, algumas vezes com pequenos deslocamentos na posição das anomalias mais fortes e na magnitude das mesmas (KOUSKY e ROPELEWSKI, 1989; GRIMM, 2003; 2004).

Assim, tem-se que o ENOS é um fenômeno que se relaciona à variabilidade natural do clima, ou seja, independente de ação antropogênica. Por outro lado, podem existir outros aspectos de mudanças climáticas que não podem ser explicadas pela variabilidade climática natural. Logo, cabe ressaltar o trabalho de Silva Dias *et al.* (2013) que destaca o papel do homem na variabilidade climática sobre a cidade de São Paulo, principalmente, no tocante a extremos diários de precipitação que tem uma parcela considerável de sua ocorrência explicada pela

presença de ilhas de calor, relacionadas a extensa ocupação urbana do solo, e pela poluição atmosférica promovida pela indústria, veículos automotores e queimadas ao longo do ano e principalmente na estação da seca do Hemisfério Sul (FREITAS *et al.*, 2005). Assim, as diferentes componentes da variabilidade climática (natural ou antropogênica) precisam ser sempre consideradas em estudos climáticos.

2.2 Observação e projeção climática

As características climatológicas discutidas acima podem ser alteradas por mudanças nas principais variáveis climáticas, as quais já estão sendo observadas ao longo dos anos, principalmente no que se refere à temperatura do ar e precipitação. O IPCC criado em 1988 avalia trabalhos científicos que podem estabelecer informações técnicas sobre as mudanças climáticas em todo planeta. A cada relatório publicado pelo IPCC aumentam as bases de informação necessárias para a formulação de políticas públicas e complementação do conhecimento científico. Ainda assim, chama a atenção o que se refere à confirmação de antigas e o surgimento de novas evidências de mudanças no clima como mostrado no Quinto Relatório de Avaliação [*Fifth Assessment Report (AR5)*] (IPCC, 2014).

Frich *et al.* (2002) identificaram mudanças no clima a partir da observação de 10 índices de extremos climáticos de temperatura e precipitação estabelecidos em reunião da Organização Mundial de Meteorologia (WMO) em 1998, sendo alguns eventos extremos muito localizados enquanto outros em escala global. Os autores constataram que a maioria dos resultados baseados na temperatura mostra um aquecimento no Hemisfério Norte e Austrália após 1946 indicando um decréscimo global no número de dias frios na segunda metade do século XX. Com relação aos resultados baseados em precipitação, tem-se uma alternância entre mudanças positivas (aumento no número de eventos de precipitação intensa no oeste da Rússia e partes da Europa) e negativas (declínio na frequência de precipitação ao leste da Rússia e Sibéria). Ainda, notaram o aumento em todos os indicadores de eventos de precipitação intensa no Sul da África, Oeste da Rússia, partes da Europa e leste dos Estados Unidos.

Sillmann *et al.* (2013a; 2013b) analisaram alguns índices gerados a partir dos dados dos Modelos de Circulação Geral (MCG) integrantes do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5, em inglês), os quais apresentam maior resolução espacial que os utilizados no CMIP3, além de incluir nas simulações um maior detalhamento de processos físicos e químicos do sistema climático, tornando-os mais eficazes. Sillmann *et al.* (2013a;

2013b) identificaram nas projeções para o fim do século XXI (2071-2100) uma tendência de diminuição no número de noites frias (TN10p) e dias frios (TX10p), e um aumento na porcentagem de noites quentes (TN90p) e dias quentes (TX90p) em todo o globo, e para todos os cenários utilizados (RCP 2.6, 4.5 e 8.5). Além disso, os autores identificaram que, apesar da magnitude dos eventos de precipitação ser subestimada pelos modelos, as principais características do padrão climatológico de eventos extremos de precipitação, tais como os representados pela precipitação anual máxima em 5 dias consecutivos (Rx5day) e dias muito úmidos (R95p), são razoavelmente bem capturadas pelos modelos do CMIP5. Nesse sentido, as projeções indicam uma tendência em simular mais dias secos consecutivos (CDD) e menos dias úmidos consecutivos (CWD) nos modelos do CMIP5; contudo é importante mencionar um melhor desempenho para o índice CDD nestes modelos.

No CMIP5 as projeções climáticas são realizadas utilizando-se os cenários forçantes intitulados Representative Concentration Pathways (RCPs; MOSS et al., 2010), e denominados como RCP 2.6, 4.5, 6.0, e 8.5, que correspondem a uma forçante radiativa aproximada no final do século XXI de 2.6, 4.5, 6.0, e 8.5 W/m², respectivamente, relativo às condições pré-industriais (MOSS et al., 2010). Os RCPs 2.6, 4.5, 6.0, e 8.5, correspondem à concentração de aproximadamente 490, 650, 850, e 1370 partes por milhão de CO₂, respectivamente, em 2100 (VAN VUUREN et al., 2011).

Jones e Carvalho (2013) documentaram mudanças no SMAS através da comparação de simulações históricas com 10 modelos do CMIP5 e dados da Reanálise *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), além de analisarem a possibilidade de mudanças futuras com simulações em 6 modelos CMIP5 no cenário RCP 8.5. A maioria das simulações mostra mudanças na estação chuvosa como aumento da amplitude, início adiantado, final atrasado e, conseqüentemente, aumento da duração do SMAS. Entretanto, os autores identificaram a falta de concordância entre os modelos para as projeções de mudanças na precipitação total na estação úmida na América do Sul para o período de 2071-2100.

Para Zhang *et al.* (2011), índices derivados de dados diários são uma tentativa de extrair objetivamente informações, a partir de observações meteorológicas diárias, que respondam a perguntas relativas a extremos que afetam muitos sistemas humanos e naturais. Os índices de extremos apresentam duas diferenças principais: como a distribuição foi definida, e o quão longe na cauda da distribuição o índice limiar está localizado. As incertezas nestes índices aumentam quanto mais eles se afastam na cauda de sua distribuição já que estes eventos

extremos ocorrem com menor frequência e, muitas vezes, é difícil estimar mudanças na frequência destes extremos. Para estes autores, deve-se ter cuidado ao tratar tendências de extremos a partir de dados de Reanálise, principalmente de precipitação. Isto porque uma vez que estes dados são produto de um modelo e não da observação direta, o resultado não leva em conta eventos de tempo (e não de clima), ou seja, de curto prazo que podem promover chuvas em uma determinada área. Assim se nestas áreas há uma cobertura feita por um número muito pequeno de estações tem-se os resultados de precipitação menos confiável. Mas o mais importante é perceber que a análise de índices avaliados em diferentes partes do mundo mostra claramente mudanças nos extremos, especialmente extremos de temperatura.

Esses indicadores de mudanças climáticas são construídos com o foco de monitorar onde e como estas mudanças ocorrem, sendo que, tais estudos, tentam explicar por que a frequência e/ou severidade dos eventos extremos de tempo e clima vieram mudando nas últimas décadas do século XX (FRICH *et al.*, 2002). Os relatórios do IPCC (2013) mantêm a afirmação de que os efeitos antropogênicos têm influenciado o clima global e promovido um acréscimo na temperatura média do planeta desde a metade do século 19. Associando este tipo de informações a outras pesquisas, Torres *et al.* (2012) combinaram um Índice de Mudanças Climáticas Regional (*Regional Climate Change Index - RCCI*), desenvolvido por Giorgi (2006), aplicando-o especificamente para o Brasil juntamente com informações sobre vulnerabilidade social para definir o Índice de Vulnerabilidade Socioclimática (*Socio-Climatic Vulnerability Index - SCVI*). O *SCVI* mostrou-se um identificador de áreas nas quais as projeções de mudanças climáticas podem causar maior ou menor impacto humano/social, e assim, conseguir auxiliar na condução de ações preventivas (TORRES *et al.*, 2012). As áreas de maior vulnerabilidade socioclimática no Brasil estão destacadas na Figura 2. Pode-se observar que as áreas de maior vulnerabilidade Socioclimática são mais numerosas no Sudeste e Nordeste do país, com destaque para a região Sudeste, que é a mais populosa, o que confirma a importância do presente trabalho.

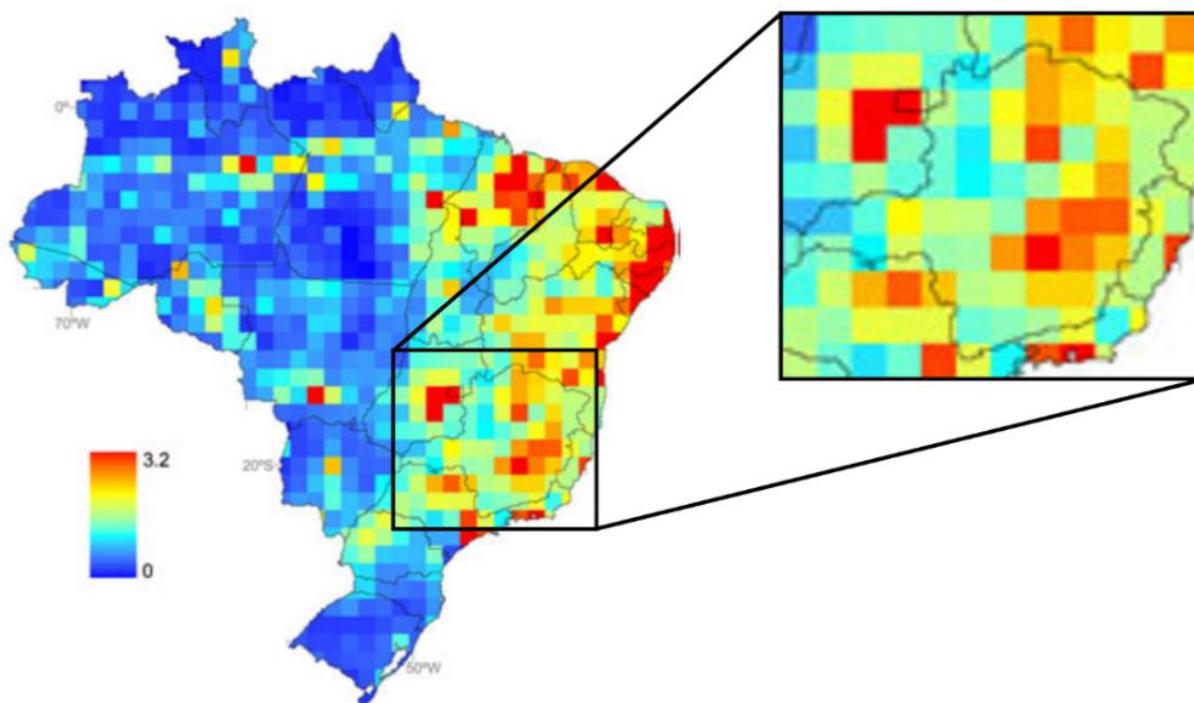


Figura 2 - Índice de Vulnerabilidade Socioclimática no Brasil. As áreas nos tons de vermelho (azul) indicam maior (menor) vulnerabilidade. Fonte: Adaptado de Torres *et al.* (2012).

Percebendo-se a importância dos indicadores de vulnerabilidade não somente na determinação de quanto uma mudança climática pode ser temerária, mas na identificação de regiões que podem sofrer maiores consequências destas mudanças, tem-se o Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG), utilizado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e que associa os índices de vulnerabilidade socioeconômica, epidemiológica e climatológica na sua formação (BRASIL, 2005). Tal índice foi utilizado por Tibúrcio e Corrêa (2012) na análise da vulnerabilidade da microrregião de Itajubá, mas podendo ser aplicado na análise de vulnerabilidade de áreas maiores. Esta metodologia faz uma avaliação quantitativa da vulnerabilidade a partir da média aritmética de três diferentes índices: o IVSE (Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica), o IVE (Índice de Vulnerabilidade Epidemiológica) e o IVC (Índice de Vulnerabilidade Climática). A partir da análise da demografia, renda, educação, saneamento e saúde nas localidades observadas por Tibúrcio e Corrêa (2012), foi levantada a capacidade de cada município em enfrentar os impactos das mudanças climáticas. Localidades que apresentam condições precárias de saúde, educação e saneamento, por exemplo; ou número elevado de doenças de veiculação hídrica⁵, considerando a relação entre clima, surtos e histórico de

⁵ Doenças de veiculação hídrica são aquelas transmitidas através do contato ou ingestão de água contaminada. Tais como diarreia e gastroenterite, hepatites virais e esquistossomose.

enchentes e inundações em determinada região devem apresentar maiores índices de vulnerabilidade (IV). Utilizando-se o IVC como medida de exposição aos impactos promovidos por eventos extremos de clima (no caso, precipitação), na mesma microrregião de Itajubá, foram encontrados valores que revelam a possível participação do clima sobre a vulnerabilidade de uma região (TIBÚRCIO e CORRÊA, 2012).

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

Neste estudo são utilizados dados anuais de extremos climáticos de temperatura e precipitação fornecidos pelo Centro Canadense para Modelagem e Análises Climáticas (SILLMANN *et al.*, 2013a; 2013b), e calculados a partir de 19 MCGs, listados no Quadro 2, pertencentes ao CMIP5 (TAYLOR *et al.*, 2012), além de dados de Reanálise do *National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR). A reanálise tem por objetivo produzir registros de análise de campos atmosféricos globais com a finalidade de auxiliar pesquisas e monitoramento de clima depois da coleta e do controle de qualidade dos dados de vários tipos de mecanismos de medição, fixos ou móveis, distribuídos por todo o planeta (KALNAY *et al.*, 1996; KISTLER *et al.*, 2001).

A Figura 3 ilustra as trajetórias das emissões de CO₂ (direita), CH₄ (centro), e N₂O (esquerda) referentes aos quatro cenários RCPs (2.6, 4.5, 6.0, 8.5), situando esses cenários com relação aos inúmeros outros publicados na literatura, e em especial, com quatro cenários pertencentes ao *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES; A2, A1b, B2 e B1). Como se pode observar, os diferentes cenários RCPs são mais abrangentes com relação às magnitudes de emissão relativas aos SRES, e cobrem praticamente todo o intervalo de trajetórias publicadas na literatura para os gases CO₂ e CH₄, e uma grande maioria para o N₂O. Maiores detalhes acerca dos cenários SRES e RCPs podem ser encontrados em Nakicenovic *et al.* (2000), Clarke *et al.* (2007), Moss *et al.* (2010), e van Vuuren *et al.* (2011).

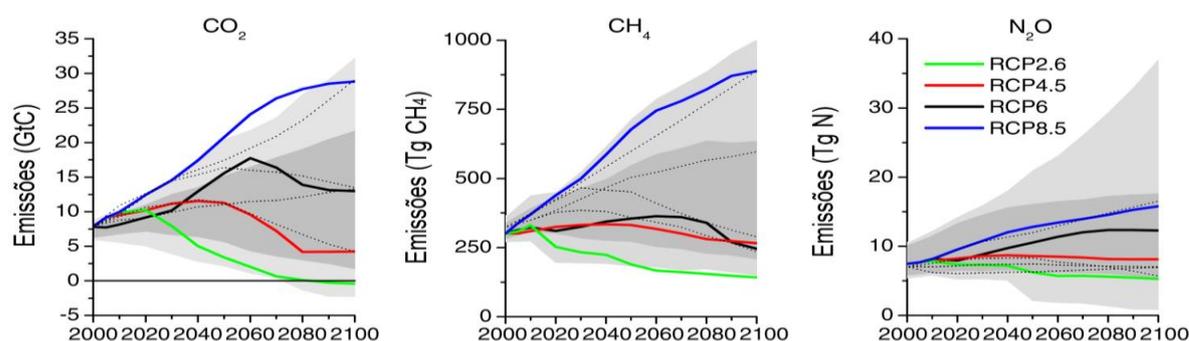


Figura 3- Trajetórias das emissões de CO₂ (direita), CH₄ (centro), e N₂O (esquerda) referentes aos quatro cenários RCPs (2.6, 4.5, 6.0, 8.5). As áreas em cinza representam os percentis 98 (cinza claro) e 90 (cinza escuro) encontrados na literatura. As linhas tracejadas indicam quatro dos cenários SRES (A2, A1b, B2 e B1). Fonte: Adaptado de van Vuuren *et al.* (2011).

As simulações e projeções dos MCGs, no presente trabalho, abrangem o clima presente (1901-2010) e projeções futuras para o século XXI (2011-2100) em um cenário intermediário de

forçante climática (RCP 4.5). Neste cenário, as projeções são para um futuro onde a forçante radiativa total se estabiliza em $4,5 \text{ W/m}^2$ antes de 2100. Contudo as análises focam-se no período de climatologia (1961-1990) para fins de comparação mais específicos como o que se espera para o final do século XXI (2071-2100) de acordo com os modelos.

Quadro 2. Modelos globais utilizados, com as respectivas instituições responsáveis e resoluções horizontais.

Modelo	Instituição, origem	Resolução Espacial Lon x Lat
ACCESS1.0	Australian Community Climate and Earth System Simulator, Austrália	1,3° x 2,8°
BCC-CSM1-1	Beijing Climate Center-China Meteorological Administration, China	2,8° x 2,8°
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canadá	2,8° x 2,8°
CCSM4	National Center for Atmospheric Research (NCAR), USA	0,9° x 1,3°
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques, Meteo-France, França	1,4° x 1,4°
EC-EARTH	Earth Consortium-Earth System Model, Vários países da Europa	1,1° x 1,1°
FGOALS-s2	Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, China	3,1° x 2,8°
GFDL-ESM2G	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	2,0° x 2,5°
GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	2,0° x 2,5°
GISS-E2-R	NASA / Goddard Institute for Space Studies, USA	2,0° x 2,5°
HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre, Reino Unido	1,3° x 1,9°
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre, Reino Unido	1,3° x 1,9°
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace, França	1,3° x 2,5°
MIROC5	AORI, NIES, JASMETC, Japão	1,4° x 1,4°
MIROC-ESM	AORI, NIES, JASMETC, Japão	2,8° x 2,8°
MIROC-ESM-CHEM	AORI, NIES, JASMETC, Japão	2,8° x 2,8°
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology, Alemanha	1,9° x 1,9°
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute, Japão	1,1° x 1,1°
NorESM1-M	Norwegian Climate Centre, Noruega	1,9° x 2,5°

Os dados anuais de extremos climáticos de temperatura e de precipitação para cada modelo (resolução espacial conforme Quadro 2) e de Reanálise (resolução espacial $2,5^\circ \times 2,5^\circ$) estão disponíveis através do endereço eletrônico < <ftp://ftp.cccma.ec.gc.ca/data/climdex> >.

3.2 Metodologia

Sabe-se que quanto mais extremo é um evento, maior o dano social ou ambiental que ele pode causar (ZHANG *et al.*, 2011). Assim, os índices de extremos climáticos escolhidos para este estudo e que podem ser observados no Quadro 3 têm sua relevância demonstrada quando, por exemplo, nota-se que mais de 70% das áreas de superfície globais sofrem com um decréscimo na ocorrência anual de noites frias e um aumento na ocorrência anual de dias quentes (ZHANG *et al.*, 2011). Para o presente estudo estes índices são divididos em duas categorias, Índices de Temperatura e Índices de Precipitação, e os mesmos são organizados como índices percentuais (TN10p, TX10p, TN90p, TX90p), índices de duração (CDD, CWD), índice de limiar (r95p) e índice absoluto (rx5day).

Quadro 3. Índices anuais utilizados com sua respectiva descrição. Todos os percentis são determinados com relação ao período 1961-1990.

ÍNDICE (unidade)	DEFINIÇÃO
CDD (dias) <i>Dias secos consecutivos</i>	Número máximo de dias consecutivos com precipitação abaixo de 1 mm
CWD (dias) <i>Dias úmidos consecutivos</i>	Número máximo de dias consecutivos com precipitação igual ou acima de 1 mm
R95p (mm) <i>Dias muito úmidos</i>	Precipitação total anual em dias com chuva acima do percentil 95
Rx5day (mm) <i>Precipitação máxima em 5 dias</i>	Maior quantidade de precipitação em 5 dias consecutivos
TN10p (%) <i>Noites frias</i>	Porcentagem de dias com temperatura mínima abaixo do percentil 10
TN90p (%) <i>Noites quentes</i>	Porcentagem de dias com temperatura mínima acima do percentil 90
TX10p (%) <i>Dias frios</i>	Porcentagem de dias com temperatura máxima abaixo do percentil 10
TX90p (%) <i>Dias quentes</i>	Porcentagem de dias com temperatura máxima acima do percentil 90

Os índices percentuais (de temperatura) indicam os extremos relacionados a porcentagem de dias e noites do ano em que são registradas ou projetadas medições abaixo do percentil 10 (TX10p, TN10p) ou acima do percentil 90 (TX90p, TN90p) baseados no período 1961–1990, o que se traduz em temperaturas extremas de frio e calor, respectivamente. Os índices de duração para precipitação (CDD, CWD) indicam os extremos relacionados ao número de dias consecutivos do ano em que a precipitação observada foi menor que 1 mm (CDD) e igual ou maior que 1 mm (CWD), traduzindo-se em quantidade medida ou projetada de dias com chuva contínua (CWD) ou ausência de chuva (CDD). O índice R95p contabiliza o acumulado de precipitação, para o total de um ano, em dias em que a quantidade de chuva excede o percentil 95, baseado no período 1961-1990, podendo indicar eventos de precipitação extrema ao longo

de um período. Enquanto o índice Rx5day indica a maior quantidade de chuva em 5 dias consecutivos durante o ano, o que mede a intensidade, em um período curto de tempo, de um evento de chuva intensa.

De forma objetiva este trabalho foi desenvolvido em três etapas fundamentais: comparação dos modelos com a observação, análise de projeções e análise de tendência dos índices.

3.2.1 - Comparação dos modelos com a observação

Foram calculadas as climatologias do período compreendido entre 1961 e 1990 para os oito índices apresentados no Quadro 3 dos dados observados (Reanálise NCEP/NCAR) e da simulação (19 modelos do CMIP5 mostrados no Quadro 2) para a área limitada por 35°S-7°N e 75°W-33°W que cobre todo o Brasil. Assim, foi feita uma comparação qualitativa entre os dados referentes à observação e à simulação realizada por cada modelo acerca de cada índice. Avaliando-se assim o desempenho dos modelos em representar a distribuição e a magnitude dos extremos de temperatura e de precipitação observados.

3.2.2 – Análise das projeções

Após a comparação dos modelos com os dados observados, foram analisadas as projeções para o período de 2071–2100 com os índices de extremos escolhidos para os 19 modelos. Nessa etapa, foi dada maior ênfase à região de Minas Gerais, na observação da intensidade dos índices de extremos climáticos.

Assim, para cada índice do Quadro 3, a simulação (1961–1990) foi subtraída da projeção (2071–2100) em cada modelo para análise do fortalecimento ou enfraquecimento dos sinais desses índices no período futuro (final do século XXI). O resultado da subtração indica o quanto a projeção é diferente da climatologia em cada modelo simulado, destacando a intensidade da diferença (positiva ou negativa) para cada índice testado.

3.2.3 – Análise de tendência

A etapa 3 consiste na análise de possíveis tendências desses índices. Assim, foram delimitadas duas áreas sobre o Estado de Minas Gerais, as quais podem ser vistas na Figura 4 e, para tais áreas, médias espaciais foram calculadas para cada índice de todos os modelos, tanto para o período de observação (1901-2005), quanto para o período de projeção (2005-2100). Elaborou-se, ainda, um quadro com as tendências relativas à climatologia (1961-1990) e para três

períodos diferentes de tempo (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100) até o fim do século XXI para facilitar a análise.

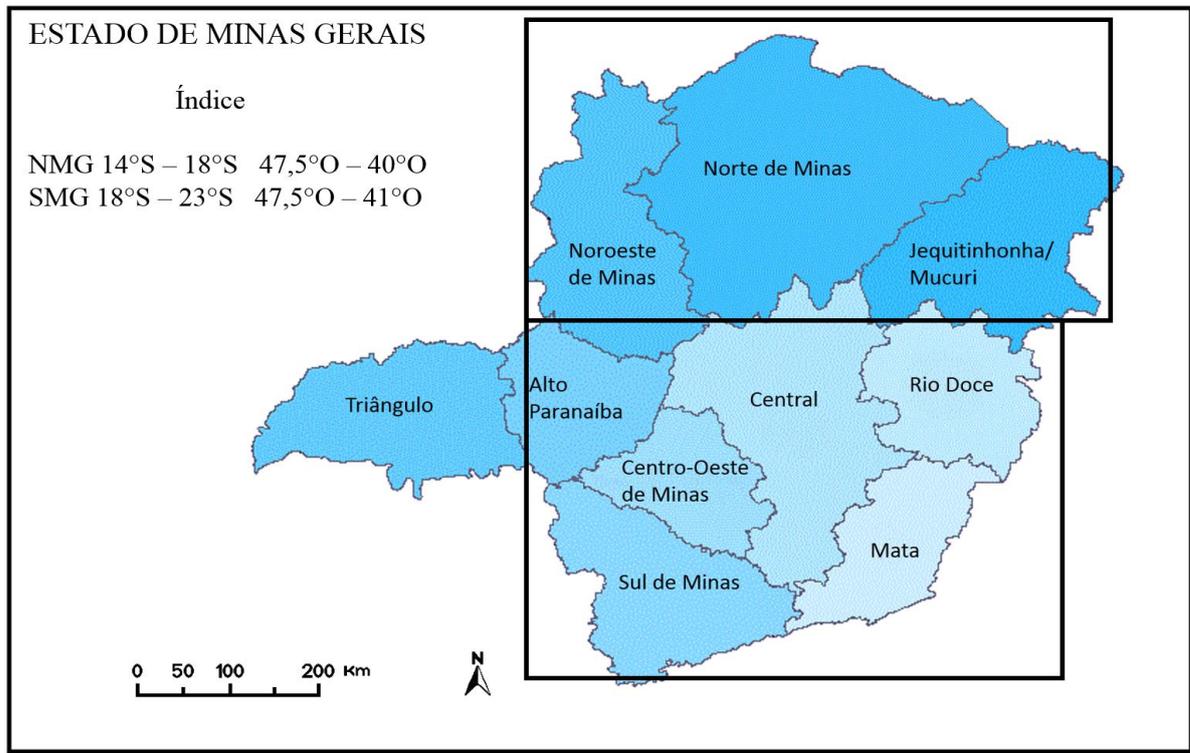


Figura 4 - Divisão do Estado de Minas Gerais para análise das séries temporais: NMG (SMG) indica a região norte (sul) de MG.

A escolha da divisão nessas áreas foi feita com base no trabalho de Torres *et al.* (2012), tendo em vista que existe uma divisão aproximada norte/sul de Minas Gerais dos sinais de um índice regional de mudanças climáticas nessas áreas. As médias espaciais foram calculadas, pois o enfoque, nessa etapa, foi analisar as diferenças temporais (no caso, a tendência linear) mais do que as diferenças espaciais. Em seguida, foram plotadas as séries temporais, para cada índice, do período de observação, juntamente com as projeções de todos os modelos.

Nesta fase, análises estatísticas foram feitas para avaliar tais tendências dos índices de temperatura e precipitação presentes nos dados. A tendência linear de uma série temporal pode ser encontrada utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados para determinação dos coeficientes A e B, de acordo com a equação 1:

$$y = Ax + B \quad (1)$$

Assim, se a série possui n valores q_0, \dots, q_n , cuja ordem numérica de 1 a n está representada por p_0, \dots, p_n , os coeficientes são encontrados de acordo com as equações 2 e 3:

$$A = \frac{n \sum pq - \sum q \sum p}{n \sum p^2 - (\sum p)^2} \quad (2)$$

$$B = \frac{\sum q - A \sum p}{n} \quad (3)$$

Onde A (B) é o coeficiente angular (linear) da reta. Do ponto de vista geométrico, o coeficiente angular de uma reta é um número que indica se os pontos da reta aumentam ou diminuem, além de indicar a intensidade desse aumento ou diminuição. Na prática, o coeficiente angular de uma reta pode ser interpretado como uma razão ou como uma taxa de variação. Assim, se os eixos x e y apresentam unidades diferentes, o coeficiente angular representa uma taxa de variação da grandeza y em relação à grandeza x. No presente trabalho, o coeficiente angular da reta de tendência foi utilizado para fornecer a taxa de aumento ou diminuição, com relação ao tempo, dos índices climáticos analisados. Nessa etapa do trabalho, foram apontados alguns eventos extremos observados em Minas Gerais sob a perspectiva socioambiental no período observado e se estes eventos podem, de alguma forma, se relacionar aos resultados das simulações e/ou das observações realizadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Climatologia

No intuito de avaliar a simulação com relação ao clima presente (1961–1990), e as projeções de mudanças futuras (2071–2100), diante dos 8 índices de extremos climáticos definidos para este estudo, serão observados e comparados os 19 modelos climáticos empregados. As Figuras 5 a 8 mostram a climatologia (1961–1990), ou seja, a observação, para os índices extremos de precipitação (CDD, CWD, R95p e Rx5day) assim como a simulação para este período com os modelos escolhidos. Por outro lado, as Figuras 9 a 12 ilustram a observação e a simulação para os índices extremos de temperatura (TN10p, TN90p, TX10p e TX90p).

4.1.1 Índices extremos de precipitação

A partir da Figura 5 pode-se notar que os dados observados (1961–1990) do número de dias secos consecutivos (CDD) apresentam os maiores valores nos arredores das regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil e no semiárido nordestino, enquanto que os menores valores podem ser observados principalmente no sul e norte do Brasil. Tendo em vista que as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil encontram-se sob influência do SMAS, tais valores em torno de 90 a 120 dias secos consecutivos podem ser relacionados a estação seca, durante o inverno do Hemisfério Sul, na região. Por outro lado, no que se refere ao semiárido nordestino, tal característica é representativa da ausência típica de chuvas nesta região. Avaliando as simulações dos modelos para o índice CDD, pode-se constatar que a maioria dos modelos simula uma maior quantidade de dias secos no Brasil central e semi-árido nordestino, e menor na região Norte e Sul, coerentemente com a observação. No entanto, no geral, os padrões espaciais de maiores valores de CDD abrangem uma área maior do que aquela observada, e as magnitudes simuladas deste índice são ligeiramente maiores para vários modelos. Por outro lado, sobre o estado de Minas Gerais, no qual será feito um estudo mais detalhado dos extremos, praticamente todos os modelos representam razoavelmente bem os padrões observados de CDD.

Dentre os modelos que apresentam maior semelhança entre os padrões observados e simulados, pode-se destacar ACCESS1.0, CCSM4, CNRM-CM5, FGOALS-g2, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES e MRI-CGCM3. Por outro lado, os modelos GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR e MPI-ESM-LR apresentam as simulações mais discrepantes, com superestimativas de CDD em praticamente todo o território brasileiro, assim como os valores

máximos também abrangendo grande parte do Brasil. Adicionalmente, o modelo BCC-CSM1-1 é aquele que apresenta os padrões menos intensos de CDD no domínio de estudo.

Sobre Minas Gerais a observação apresenta números de CDD menores no vale do Rio Doce e Zona da Mata Mineira e maiores no Noroeste e Norte de Minas. A amplitude fica entre 30 e 90, o que condiz com o período de estiagem relacionado ao SMAS. Todos os modelos simulam maior número de CDD ao Noroeste e Norte e menor na Zona da Mata de Minas, semelhante à observação. Contudo alguns modelos superestimam os sinais enquanto outros os subestimam, em relação à observação. Nota-se que os modelos CanESM2, EC-EARTH, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M e IPSL-CM5A-MR superestimam os resultados quando comparados à Reanálise, sendo os modelos que apresentam os maiores valores de CDD, principalmente sobre as regiões Norte e Noroeste de Minas Gerais. Enquanto que os modelos BCC-CSM1-1, CNRM-CM5 e MIROC-ESM-CHEM são os modelos que subestimam os menores valores de CDD.

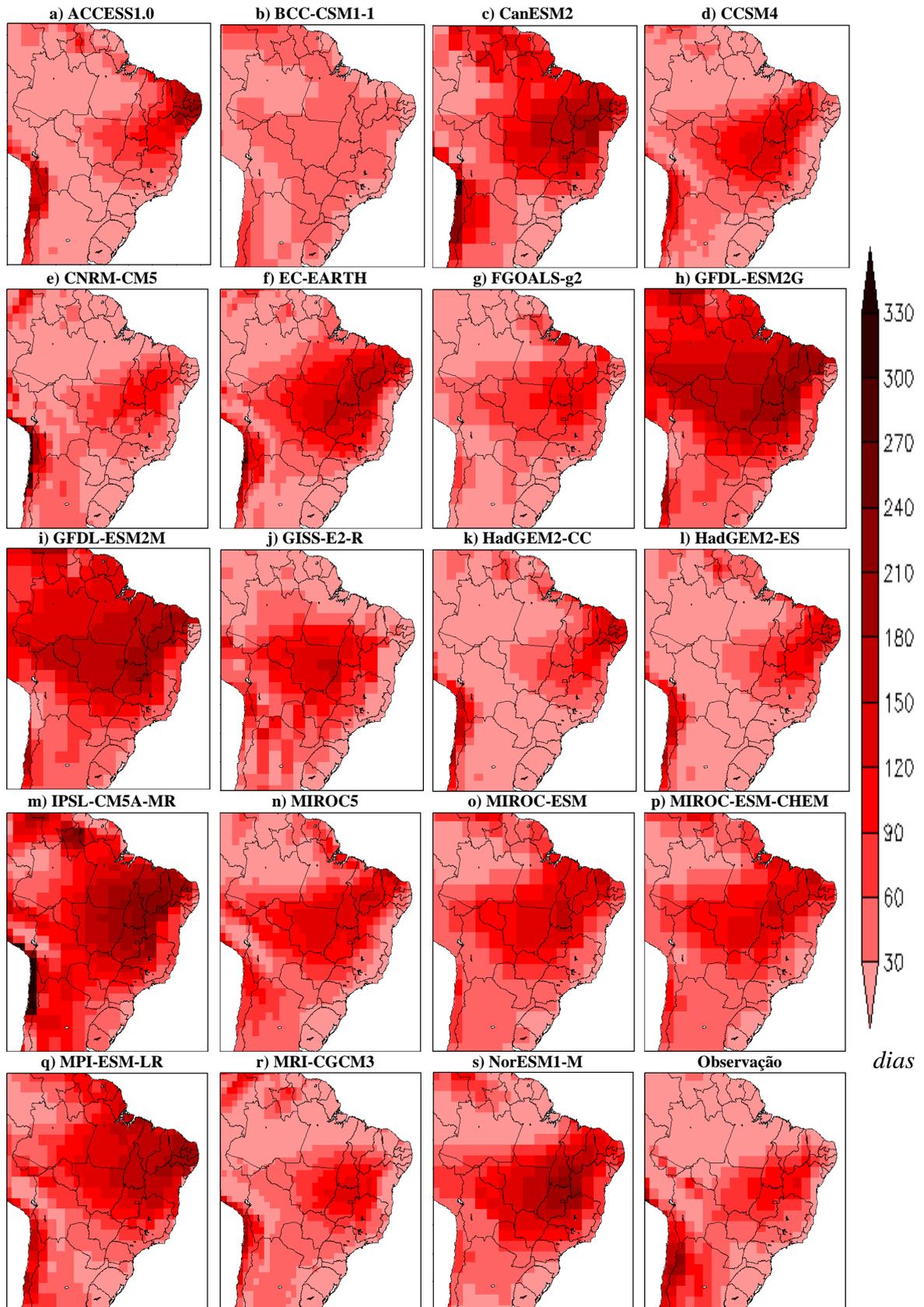


Figura 5 – Simulação com os 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice CDD.

Avaliando-se o índice extremo dias úmidos consecutivos (CWD; Figura 6.observação) observa-se que os maiores valores (acima de 240 dias) ocorrem sobre a região Norte do Brasil (exceto nos estados do Acre e Roraima) e no estado do Maranhão. Faz-se importante mencionar a diferença, em termos de número de CWD, do resultado observado sobre o estado do Maranhão em comparação com os outros estados do Nordeste. Esses acontecimentos podem estar associados à ZCIT e às Linhas de Instabilidade (LI) que transportam umidade do oceano Atlântico para o interior do continente, o que torna o resultado observado consistente, uma vez que estes fenômenos se somam ao calor equatorial intenso, o que contribui para as chuvas frequentes na região.

Um número menor de CWD, acima de 90 dias, ocorre em estados do centro-sul do Brasil, associados ao SMAS e à ZCAS que durante o verão no hemisfério sul atuam levando umidade do Norte/Noroeste da América do Sul para o Sudeste. Já os menores valores de CWD ocorrem nos estados do Rio Grande do Sul, no Acre e justamente sobre o semiárido Nordestino corroborando os resultados de CDD e com o fenômeno de baixa incidência de chuvas na região. Nas simulações, nota-se a tendência generalizada dos modelos em subestimar os valores de CWD em todo o domínio de estudo, mas com uma sutil concordância entre simulações e observações com relação ao posicionamento dos máximos valores ao Norte e os mínimos ao Sul.

Tratando dos modelos individualmente, dentre aqueles que se aproximam ligeiramente dos padrões observados, pode-se destacar os modelos ACCESS1.0, CCSM4, CNRM-CM5, EC-EARTH, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES e NorESM1-H. Por outro lado, os modelos BCC-CSM1-1, CanESM2, FGOALS-g2, MIROC5, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, MPI-ESM-LR e MRI-CGCM3 são aqueles que mais se distanciam das observações, simulando valores de CWD inferiores a 30-60 dias. Os resultados mostram deficiência dos modelos em simular a precipitação.

Sobre Minas Gerais, os menores valores de CWD são observados sobre o vale do Jequitinhonha (menos de 30 dias) e os maiores (acima de 60 dias) sobre o Sul, Centro, Centro-Oeste e Triângulo Mineiro. Sobre a Zona da Mata e Vale do Rio Doce observa-se CWD entre 30 e 60. Com relação às simulações, os modelos que mais se aproximam dos padrões observados sobre o estado mineiro são o ACCESS1.0 e o EC-EARTH, enquanto que todos os outros modelos simulam valores inferiores a 30 dias consecutivos em todo o estado, deixando claro a tendência em subestimar os resultados.

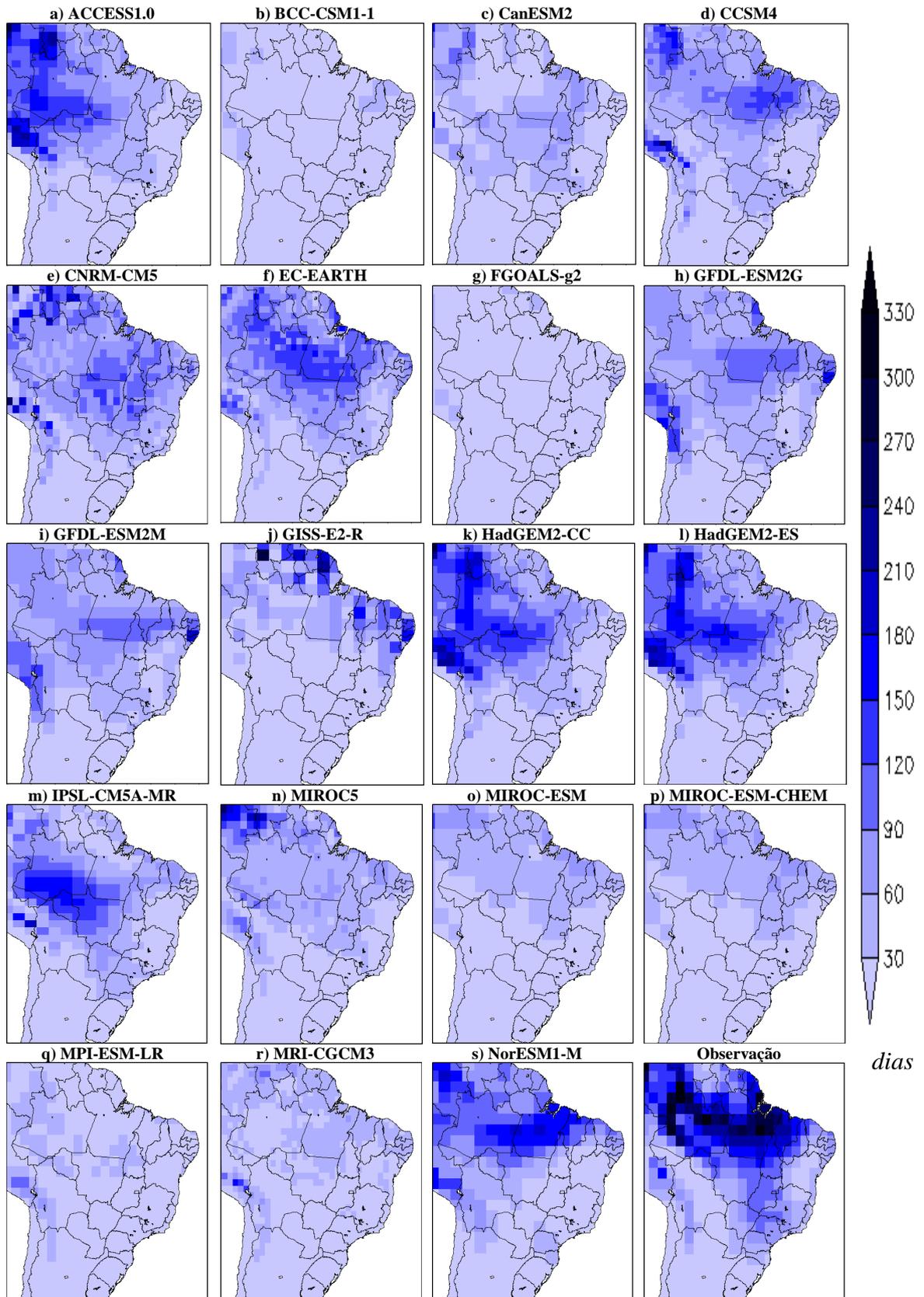


Figura 6 - Simulação com os 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice CWD.

Com relação ao índice extremo de dias muito úmidos (R95p; Figura 7), as observações indicam que os maiores valores acumulados de precipitação nesta categoria ocorrem ao norte da região Norte do Brasil e no estado do Maranhão (entre 300 e 400 mm). Valores pouco menores (entre 200 e 300 mm) também ocorrem ao longo de todo litoral da região Nordeste, e nas regiões Norte, Sudeste e Sul. Valores abaixo de 200 mm podem ser observados sobre a região Centro-Oeste e no semiárido nordestino. Vale ressaltar que o índice R95p está muito relacionado a eventos de precipitação mais intensa que podem ocasionar alagamentos e formação de enxurradas durante um único episódio de chuva em áreas com extensa impermeabilização do solo.

Avaliando-se as simulações dos diversos modelos empregados neste estudo nota-se uma grande discrepância em alguns deles, tais como ACCESS1.0, BCC-CSM1-1, CanESM2, CNRM-CM5, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, MIROC5 e MRI-CGM3, os quais simulam magnitudes extremamente elevadas (> 500 mm) no noroeste do Brasil, e em diversas partes do Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste do Brasil, que variam de modelo a modelo. Por outro lado, vários modelos simulam os padrões de R95p relativamente próximos às observações, sendo eles: NorESM1-M (aparentemente o melhor), MPI-ESM-LR, IPSL-CM5A-MR, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, GFDL-ESM2M, GFDL-ESM2G e EC-EARTH.

Sobre Minas Gerais os maiores valores observados de R95p estão nas áreas do Triângulo Mineiro e no quadrante denominado SMG neste trabalho (Fig. 4.3), com valores entre 200 e 300 mm, enquanto que no NMG as magnitudes dos dias muito úmidos encontram-se abaixo de 200 mm. O desempenho dos modelos em simular os padrões observados no estado mineiro varia muito, mas a maioria mostra a porção Norte do estado de Minas Gerais com valores menores que os da porção Sul de Minas. Dentre os modelos que mais se aproximam dos padrões observados no estado, pode-se destacar MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, GFDL-ESM2M, FGOALS-g2 e GFDL-ESM2G.

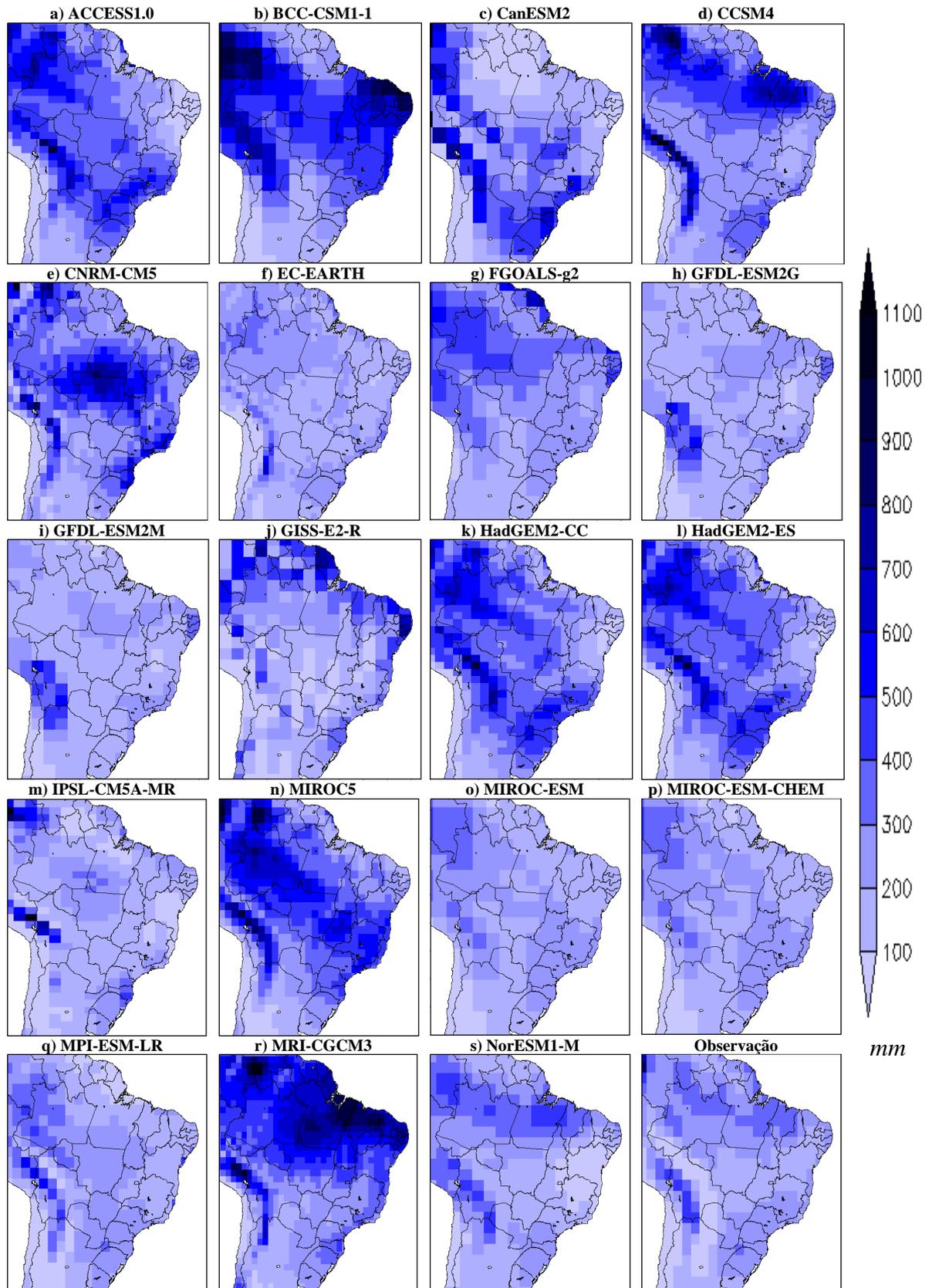


Figura 7 - Simulação com os 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice **R95p**.

Na Figura 8 é apresentado o índice de extremo climático precipitação máxima em 5 dias (Rx5day). Este índice extremo mostrou-se bastante uniforme em grande parte do território brasileiro no período base observado de 1961-1990 (Figura 8.observação) com valores entre 60 e 90 mm. Basicamente, somente os estados do Maranhão, Piauí, Rio Grande do Sul e boa parte de Minas Gerais apresentaram valores superiores (90-120 mm).

Com relação às simulações dos modelos para o Rx5day, pode-se notar que as deficiências apresentadas são bastante análogas às aquelas apresentadas para a simulação do R95p. No geral, nenhum modelo simulou adequadamente os padrões observados, superestimando o índice em praticamente todo o território brasileiro, sendo que os modelos BCC-CSM1-1, CNRM-CM5, MIROC5 e MRI-CGCM3 foram aqueles que apresentaram as maiores superestimativas.

Sobre Minas Gerais observam-se maiores valores de Rx5day, entre 90 e 120 mm, sobre o Centro-Oeste de Minas, região Central e Vale do Rio Doce enquanto em todas as outras regiões estão entre 60 e 90 mm. As simulações para esta região, de modo geral, tendem a superestimar as magnitudes de Rx5day em todos os modelos, e apresentam distribuição espacial bem diferente das observações.

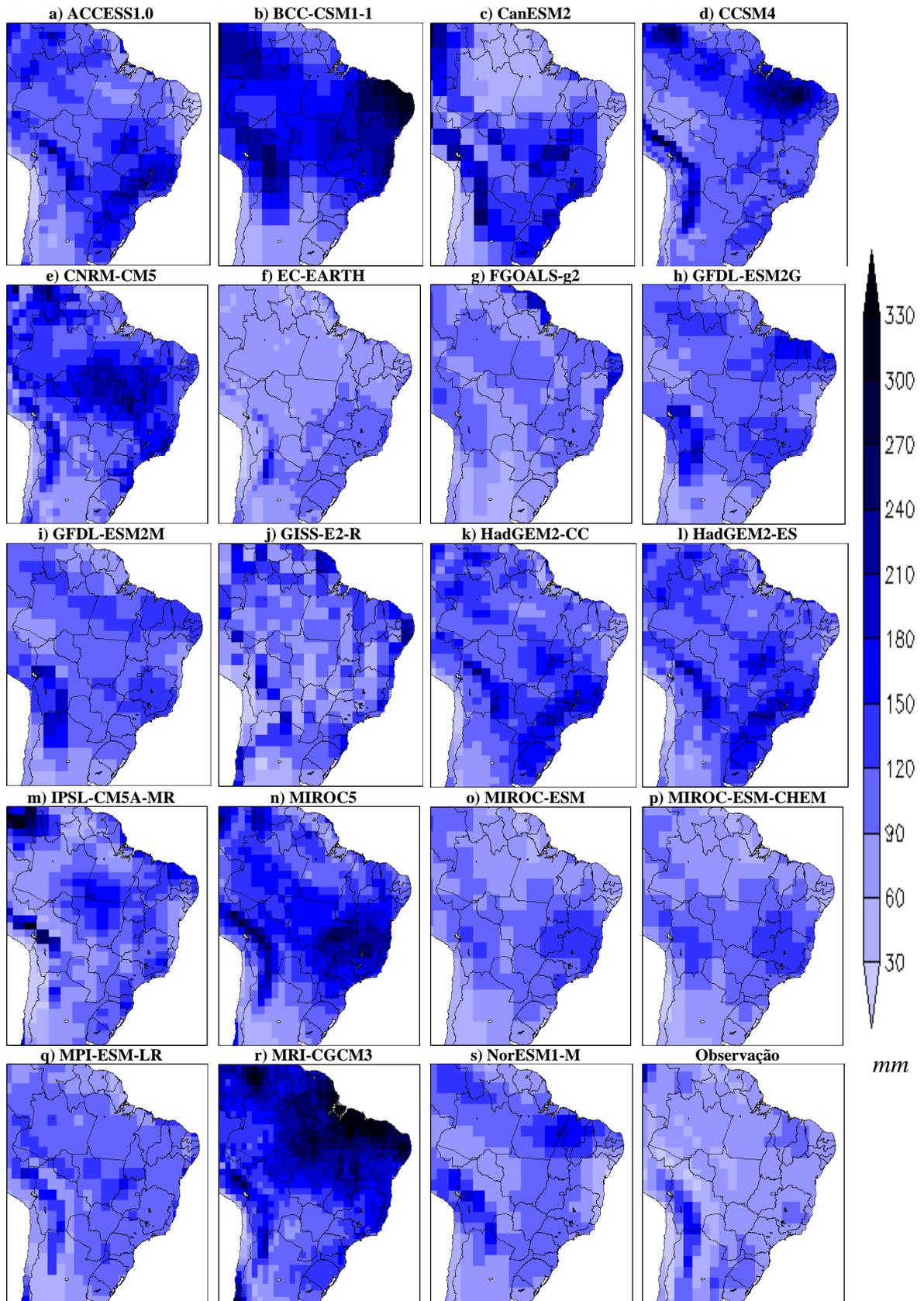


Figura 8 - Simulação com os 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice $Rx5day$.

4.1.2 Índices extremos de temperatura

O registro da porcentagem de dias com temperatura mínima abaixo do percentil 10, conhecido como índice de noites frias (TN10p) é mostrado na Figura 9, tanto para os dados de Reanálise, quanto para as simulações dos diversos modelos avaliados neste estudo. Como pode ser observado, o padrão espacial de TN10p nos dados de Reanálise é bastante uniforme, variando em cerca de 2% em todo o território brasileiro no período base de 1961-1990 (Figura 9.observação). Contudo a maior parte dos estados do Norte e Nordeste, abrangendo o norte da região Centro-Oeste, apresenta neste período as menores porcentagens de noites frias (aproximadamente 9%) enquanto áreas da região Sul e Sudeste do Brasil e a porção sul da região Centro-Oeste apresentam os maiores valores de TN10p (entre 10 e 11%). Portanto, de modo geral, é possível identificar um gradiente norte/sul bem definido neste índice de noites frias associado ao gradiente de insolação, indicando uma zona tropical mais quente (e consequentemente uma porcentagem de noites frias menor) e uma zona subtropical mais fria (conduzindo a uma porcentagem maior de noites frias quando comparado a latitudes menores).

Apesar de a variação espacial ser pequena, todos os modelos simulam uma porcentagem maior de noites frias do que se observa para o período base de 1961-1990, em especial os modelos ACCESS1.0, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, IPSL-CMSA-MR, MIROC5, MIROC-ESM e NorESM1-M. Dentre todos os modelos avaliados, o modelo MIROC-ESM-CHEM é o único modelo que se aproxima razoavelmente bem das observações, e o único que simula corretamente o gradiente norte/sul observado. Em todos os outros modelos, a variação latitudinal de noites frias não é bem simulada.

A observação em Minas Gerais aponta para maiores valores, entre 10,5 e 11%, de TN10p nas regiões do Centro, Centro-Oeste e Zona da Mata. Os modelos dificilmente simulam esta mesma distribuição espacial sobre Minas Gerais, mas mantêm os valores entre 10 e 11% como se vê na observação (Figura 9).

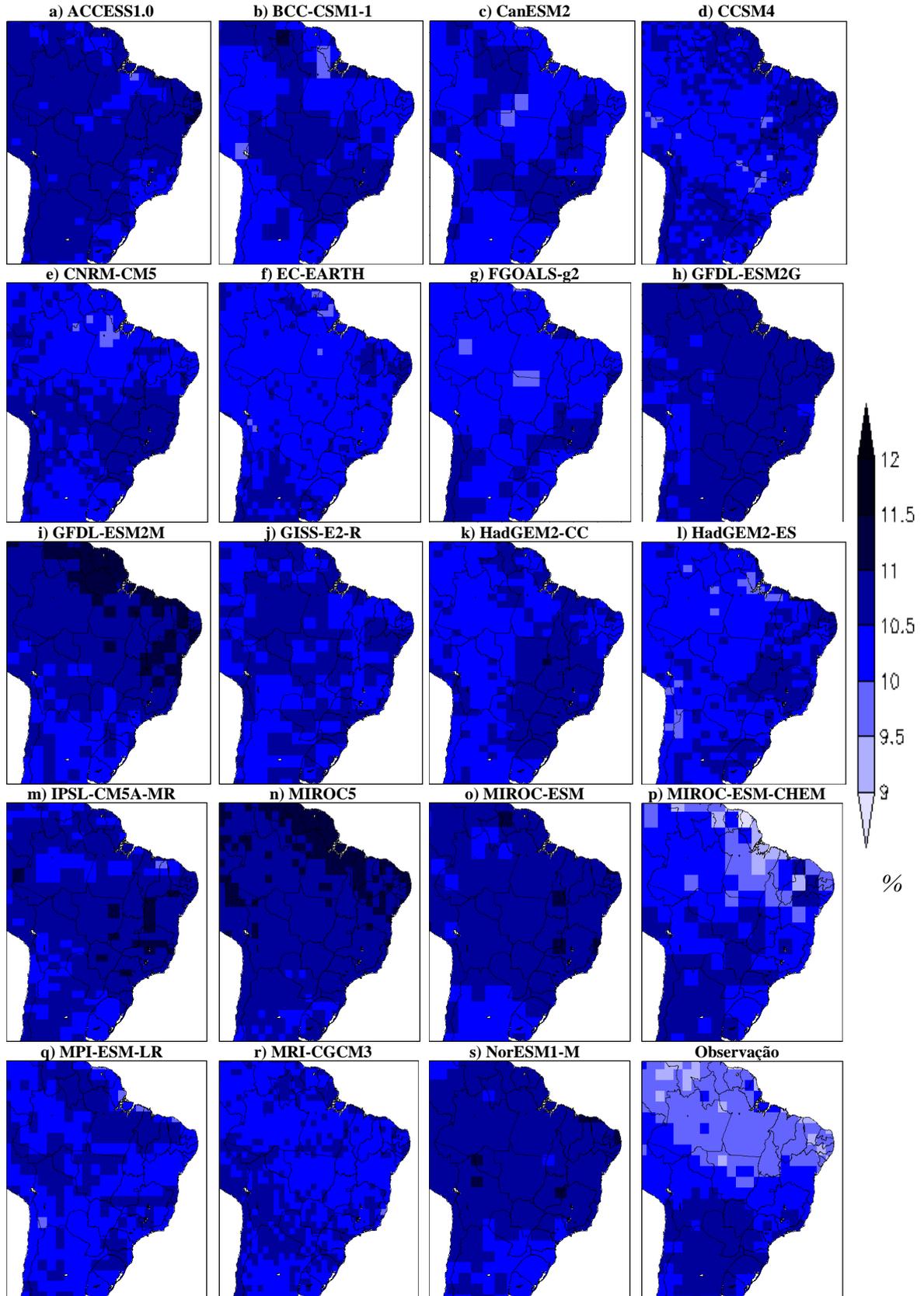


Figura 9 - Simulação com os 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice TN10p.

Na Figura 10 é apresentado o índice extremo denominado noites quentes (TN90p), o qual indica a porcentagem de dias com temperatura mínima acima do percentil 90 para a observação e simulações no período de 1961-1990. Com relação às observações (Figura 9.observação), pode-se notar que a porcentagem de noites quentes em todo o Brasil varia muito pouco e se mantém entre 9 e 11%. Os estados do Norte, principalmente Amazonas, Amapá e Pará, apresentam os menores valores, entre 9 e 10%, de TN90p se comparados às outras regiões do país. Áreas sobre as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil apresentam as porcentagens mais altas de noites quentes, entre 10,5 e 11%.

Com relação às simulações de TN90p, pode-se observar que os modelos representam razoavelmente bem as magnitudes e padrões espaciais observados. Os modelos simulam este índice com variações pequenas, de forma que GFDL-ESM2M, GISS-E2-R, MIROC5, MRI-CGCM3 apontam porcentagens menores de noites quentes ao norte e maiores ao sul assim como a observação. O modelo GFDL-ESM2M, em especial, tem os resultados mais baixos no Nordeste e no Norte do Brasil o que se assemelha a MIROC5. Os modelos ACCESS1.0 e IPSL-CM5A-MR simulam as maiores porcentagens de TN90p ao norte. Enquanto os modelos BCC-CSM1-1, CanESM2, CCSM4, CNRM-CM5, EC-EARTH, FGOALS-g2, HadGEM2-ES, MIROC-ESM-CHEM e MPI-ESM-LR não apresentam áreas muito distintas umas das outras no que diz respeito aos valores de TN90p. Assim como os modelos GFDL-ESM2G, HadGEM2-CC e MIROC-ESM apontam para o Centro-Oeste como região com menores porcentagens de noites quentes enquanto NorESM1-M aponta para o oposto.

Sobre Minas Gerais, nas simulações e observação, a quantidade de noites quentes foi maior que 10% com destaque para áreas do Centro e Norte de Minas onde os valores de TN90p foram um pouco mais elevados. Os modelos apresentam magnitudes entre 9,5 e 11,5%, de tal forma que a maioria dos modelos superestima seus resultados com o modelo MIROC-ESM-CHEM atingindo os valores mais elevados sobre os vales do Rio Doce e Jequitinhonha com porcentagem acima dos 11%. Somente o modelo GFDL-ESM2M alcançou valores menores que os observados sobre as regiões do Centro, Norte e Noroeste de Minas, entre 9,5 e 10%.

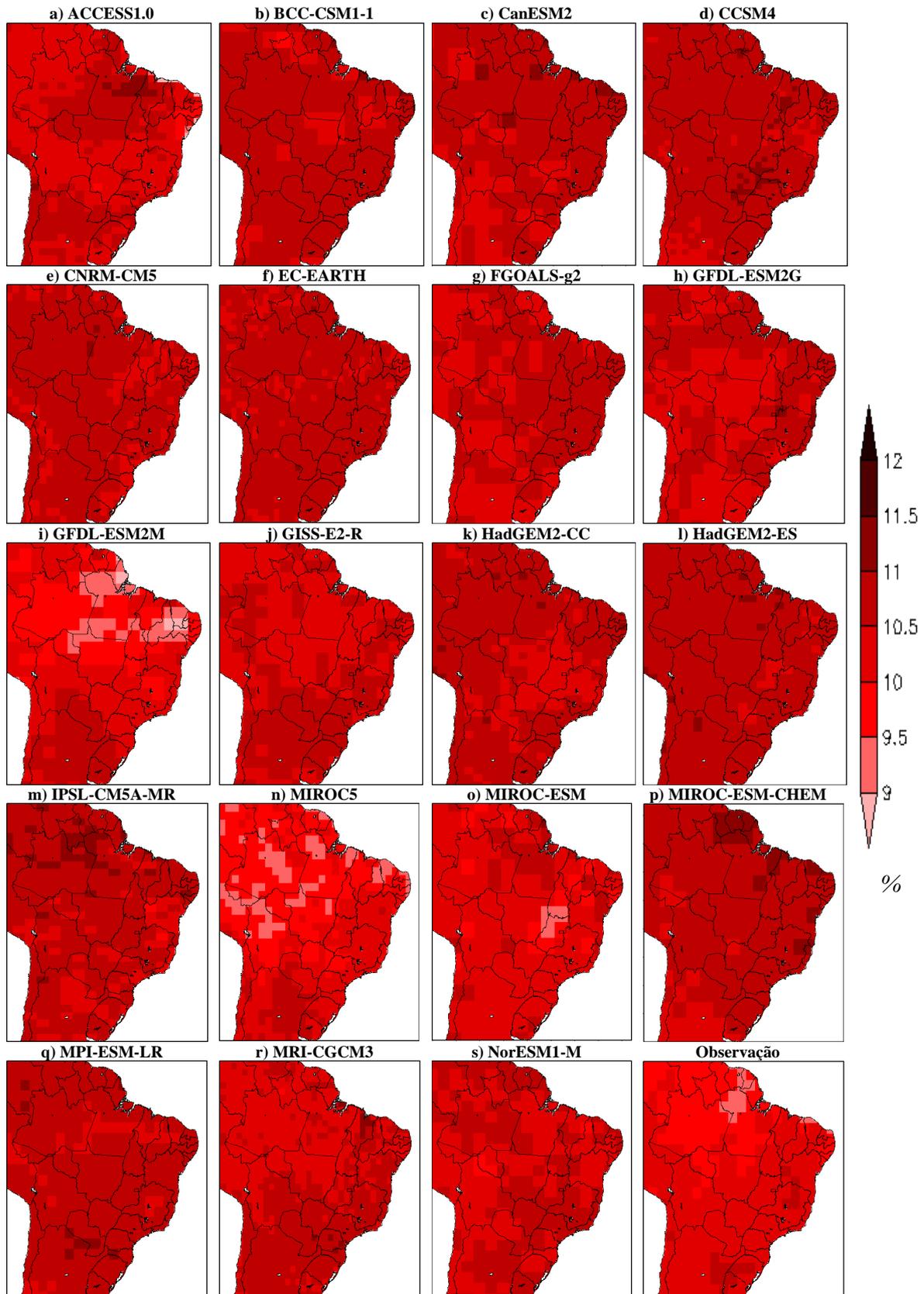


Figura 10 - Simulação com os 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice TN90p.

O índice dias quentes (TX10p) que indica a porcentagem de dias com temperatura máxima abaixo do percentil 10 pode ser visto na Figura 11. Constata-se que os padrões espaciais apresentados por ele são bastante análogos àqueles vistos no índice noites frias (TN10p), apresentando um gradiente norte/sul bem definido, com os menores valores ao Norte e maiores ao Sul. Contudo a maior porcentagem de dias frios foi observada sobre grandes áreas do Centro-Oeste (ao norte do Mato Grosso do Sul e sul do Mato Grosso) seguido por estados do Sul, Sudeste e Nordeste. Praticamente toda a região Norte e norte da região Nordeste apresentam as menores porcentagens de dias frios (abaixo de 9,5%) no período de 1961-1990.

Assim como para o índice TN10p, os modelos não conseguiram simular claramente o gradiente norte/sul observado do índice TX10p. O modelo ACCESS1.0 apresenta os menores valores sobre estados do Nordeste abrangendo áreas do Norte enquanto os maiores valores estão sobre Sul, Sudeste, Centro-Oeste e o norte da região Norte. De forma geral todos os modelos superestimam os resultados para o Norte do Brasil. ACCESS1.0, BCC-CSM1-1, CanESM2, CNRM-CM5, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, GISS-E2-R, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, MIROC5, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, MPI-ESM-LR e NorESM1-M superestimam os resultados sobre o Sudeste, Nordeste e parte do Centro-Oeste. Os modelos BCC-CSM1-1, CanESM2, GISS-E2-R, MIROC5, MIROC-ESM e MPI-ESM-LR apontam para TX10p mais altos do Centro-Oeste para o Norte e Nordeste opondo-se a observação. Os modelos CCSM4, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES e GFDL-ESM2M simulam maior porcentagem ao Nordeste, enquanto os modelos FGOALS-g2, CNRM-CM5 e MRI-CGCM3 apresentam sinais mais expressivos sobre o Sudeste ou parte das regiões adjacentes. Enquanto GFDL-ESM2G e IPSL-CM5A-MR mostram quase todo território brasileiro com a mesma alta porcentagem de TX10p.

Sobre Minas Gerais a observação indica valores de TX10p entre 10 e 11%, mas em uma pequena região ao Norte de Minas a porcentagem é maior que no resto do estado. A maioria dos modelos mostra a mesma amplitude encontrada nos dados de Reanálise, porém tendem a estender os maiores resultados sobre todo Estado. Isto só não acontece no modelo CCSM4, com valores abaixo de 10,5% sobre todas as regiões de Minas Gerais. Notam-se valores elevados, acima de 11%, ao Norte de Minas apenas nos CanESM2, GFDL-ESM2M e HadGEM2-CC. Já os modelos BCC-CSM1-1, CNRM-CM5, IPSL-CM5A-MR, MIROC-ESM e MPI-ESM-LR apresentam o mesmo valor, entre 10,5 e 11%, sobre todo o estado. ACCESS1.0 só não apresenta os mesmos valores, entre 10,5 e 11% em todo estado, devido ao Sul com valores mais baixos e CanESM2 devido ao Norte com valores mais altos.

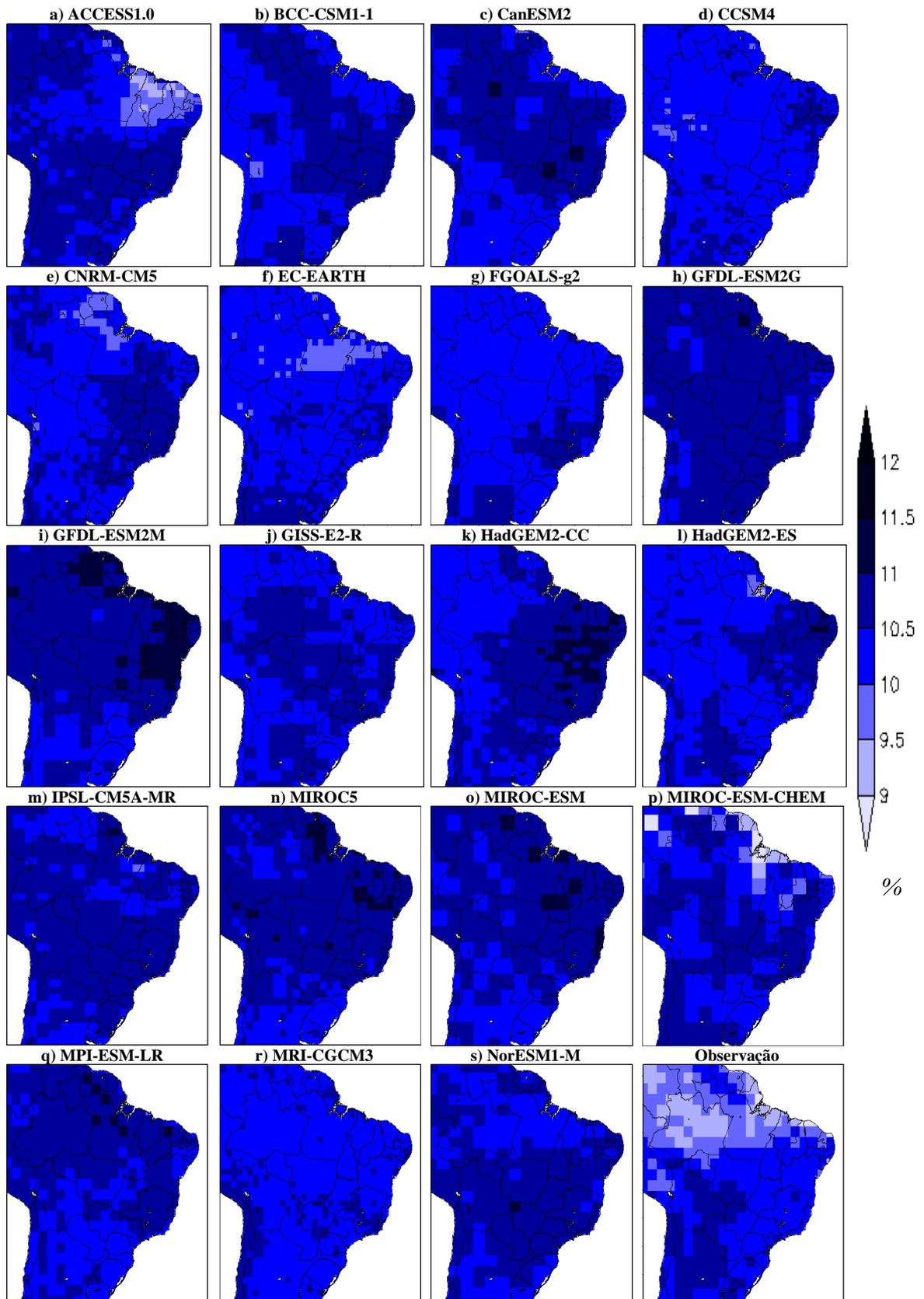


Figura 11 - Simulação com os 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice TX10p.

Os resultados para o índice dias quentes (TX90p), que indica a porcentagem de dias com temperatura máxima acima do percentil 90 se encontram na Figura 12. Nota-se que a menor porcentagem de dias quentes (entre 9,5 e 10%) ocorre, pela observação de acordo com dados de Reanálise, em praticamente toda as regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, enquanto a maior porcentagem (entre 10,5 e 11%) ocorre de forma mais acentuada sobre as regiões Nordeste, Sudeste, e partes da região Sul. De qualquer forma a amplitude entre o menor e o maior sinal neste índice também é pequena em todo país como ocorre com os outros índices baseados em temperatura averiguados neste estudo, com valores entre 9,5 e 11%.

As simulações, que também apresentam uma pequena variação entre os sinais mais altos e mais baixos, indicam, nos modelos ACCESS1.0, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR e MIROC-ESM-CHEM sinais mais expressivos sobre o Brasil central, parte do Nordeste e Norte. Já os modelos BCC-CSM1-1, CanESM2, CCSM4, CNRM-CM5, EC-EARTH e GFDL-ESM2G têm praticamente o mesmo valor de TX90p em todo o Brasil com pequenas áreas do mapa com sinais mais altos, tais como algumas localidades na região Norte (BCC-CSM1-1 e CNRM-CM5), no Sudeste e Centro-Oeste (CCSM4 e EC-EARTH), no Nordeste (CanESM2) e no Nordeste e Sudeste (GFDL-ESM2G). O modelo MIROC-ESM apresenta uma grande variação na distribuição espacial de TX90p sobre o território brasileiro com destaque para valores máximos sobre o Norte do Brasil. FGOALS-g2 aponta para o Norte (no Acre, Amazonas e Pará) com menor valor e parte de Minas Gerais e Bahia com maior porcentagem de dias quentes. Os modelos GISS-E2-R e MRI-CGCM3 apresentam o Norte do Brasil e grande parte do Centro-Oeste com menor magnitude que nas regiões do Sudeste, Sul e sul do Centro-Oeste. MPI-ESM-LR apresenta valores muito baixos ao Norte e muito altos no Centro-oeste e HadGEM2-CC apresenta TX90p máximos ao norte da região Norte e Litoral Nordestino e mínimos ao Centro-Oeste e Sudeste. Por fim, NorESM1-M simula os menores valores sobre o leste da região Norte e maiores no Triângulo Mineiro (região Sudeste).

Praticamente toda a região de Minas Gerais apresentou, para o período de 1961-1990, valores de TX90p entre 10,5 e 11%. A simulação realizada pelos modelos não se diferenciou muito do resultado da Reanálise, no que diz respeito à amplitude dos valores. Contudo alguns modelos superestimam os resultados da observação em áreas maiores ou menores, tais como CCSM4, EC-EARTH, FGOAL-g2, GFDL-ESM2G, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR e NorESM1-M ou subestimam, da mesma maneira, como ACCESS1.0, CNRM-CM5, GFDL-ESM2M, GISS-E2-R, HadGEM2-CC, MIROC5, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM e MRI-CGCM3.

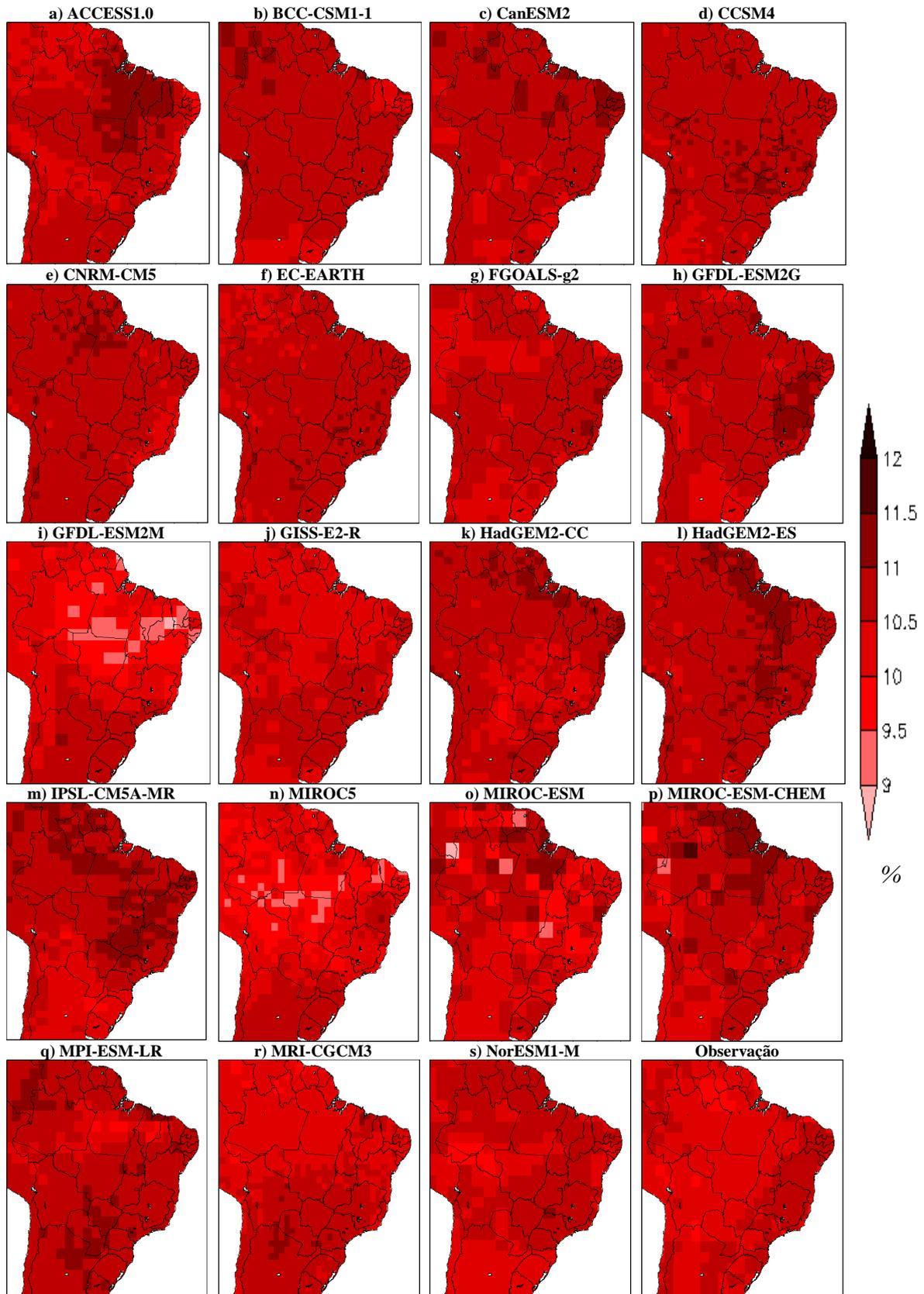


Figura 12 - Simulação com os 19 modelos globais utilizados e observação para o período 1961-1990 do índice TX90p.

4.2 Projeções Climáticas

As Figuras 13 a 20 apresentam as projeções de mudanças para os oito índices extremos de todos os modelos avaliados, tanto com relação aos extremos de precipitação (Figuras 13, 14, 15 e 16) quanto aos extremos de temperatura (Figuras 17, 18, 19 e 20). Esses campos são analisados através da diferença da projeção (média do período 2071-2100) pela simulação do clima presente (período 1961-1990). Assim, valores positivos (negativos) mostram aumento (diminuição) dos valores dos índices no clima futuro comparado ao clima presente.

4.2.1 Índices extremos de precipitação

A diferença das projeções pelas simulações de mudanças do índice extremo dias secos consecutivos (CDD) para o final do século é apresentada na Figura 13. De maneira geral, há um aumento no número de CDD em diversas áreas no Brasil na maioria dos modelos, que podem chegar a 50 dias (adicionais) para o final do século XXI, coerente com o trabalho de Sillmann *et al.* (2013b) que também apontam para aumento deste índice no futuro, porém bem menor, próximo de 7 dias ao final deste século. Nesse sentido, destacam-se as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste com valores mais elevados em vários modelos. Entretanto, os padrões espaciais de mudanças apresentados diferem entre os diversos modelos. Os modelos CanESM2, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM são aqueles que projetam os maiores aumentos de CDD para o final do século, tanto em magnitude quanto em extensão territorial, abrangendo toda a bacia Amazônica e as regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste, além do norte da região Sul. Por outro lado, alguns poucos modelos indicam um pequeno aumento no Noroeste do Brasil (IPSL-CM5A-MR e MIROC-ESM-CHEM), na região Centro-Oeste (GISS-E2-R e MIROC5) e nos estados de São Paulo e Paraná (NorESM1-M, GISS-E2-R e MIROC5).

No caso de Minas Gerais, pode-se observar que a maioria dos modelos projeta aumento de CDD para a maior parte do estado, o que pode ser indicativo de intensificação da estação seca na região. Uma vez que, por estar situado na zona de atuação do SMAS, o estado de Minas Gerais apresenta inverno praticamente sem chuva. Entretanto, tem-se como exceção o modelo ACCESS1.0 que aponta para um decréscimo sobre o Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste assim como o modelo IPSL-CM5A-MR que projeta diminuição sobre o Norte e Noroeste apesar do aumento sobre o Triângulo, Centro e Centro-Oeste mineiros.

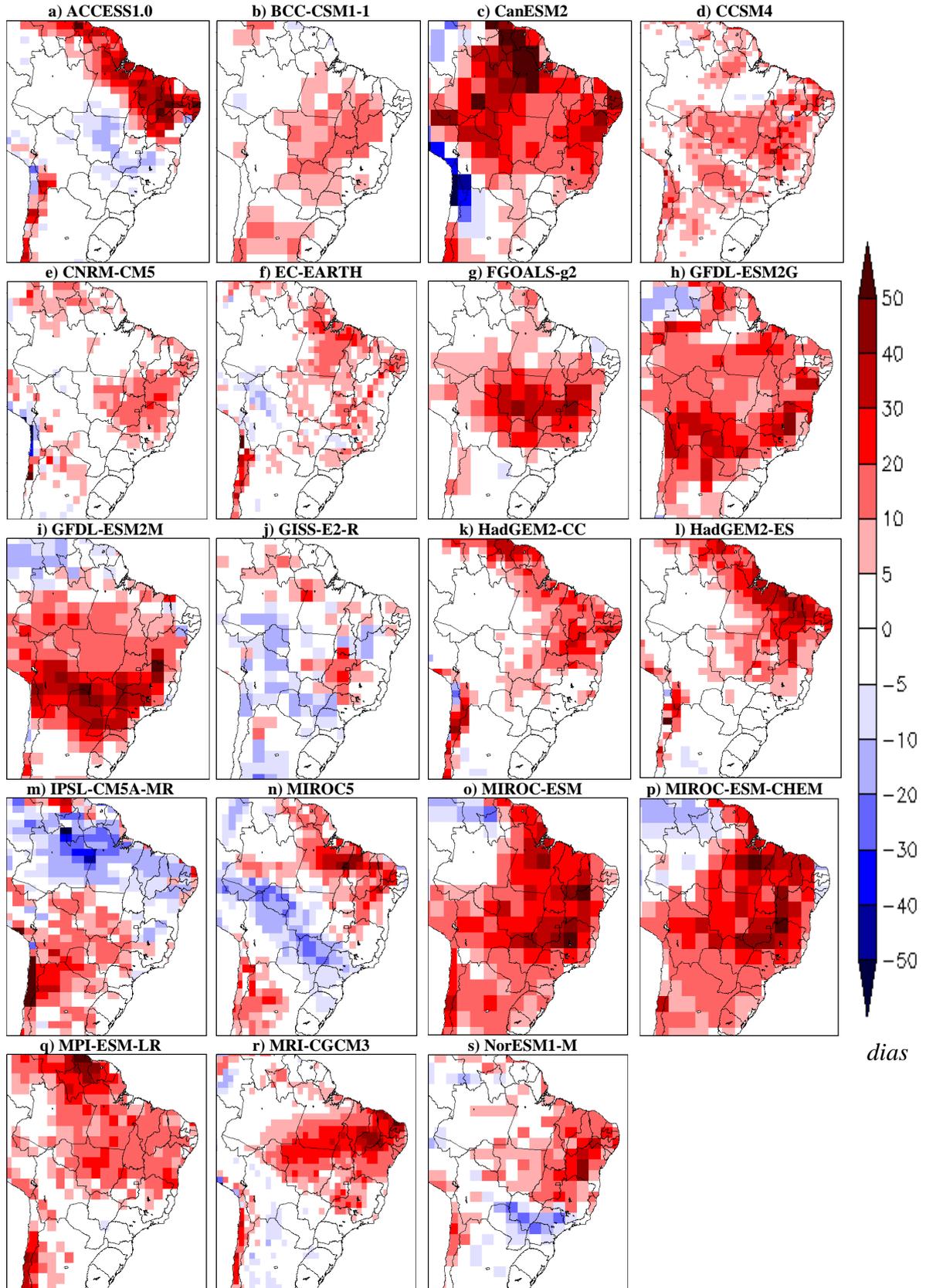


Figura 13 – Diferença entre Simulação e Projeção para o período futuro (2071-2100) do índice CDD com os 19 modelos globais estudados comparados com o período presente (1961-1990). Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.

Coerentemente ao índice CDD, tem-se que a maioria dos modelos indica uma diminuição do número de dias úmidos consecutivos (CWD) em ampla área do Brasil (Figura 14), exceto para os modelos EC-EARTH e GISS-E2-R, que projetam um aumento de CWD em boa parte da região Amazônica (EC-EARTH) e norte do Nordeste do Brasil (EC-EARTH e GISS-E2-R). Nesse sentido, a região Noroeste da América do Sul é aquela em que a maioria dos modelos projetam uma redução no índice CWD, podendo chegar a reduções entre 30 a 50 dias segundo alguns modelos, tais como ACCESS1.0, CanESM2, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, e NorESM1-M. Para os estados do Sul a maioria quase absoluta dos modelos não projeta mudanças consideráveis em CWD. Além disso, alguns modelos praticamente não apresentam, no Brasil inteiro, áreas de sinal positivo ou negativo de mudança, tais como BCC-CSM1-1, FGOALS-g2, MPI-ESM-LR e MRI-CGCM3. Estes resultados remetem aos encontrados por Sillmann *et al.* (2013b) que aponta para o final do século XXI resultados com valores próximos de zero para regiões tropicais da América do Sul.

Grande parte dos modelos não identifica diferenças expressivas entre aumento e diminuição de CWD sobre Minas Gerais para o final do século XXI, o que vale para BCC-CSM1-1, CCSM4, FGOALS-g2, IPSL-CM5A-MR, MIROC-ESM, MPI-ESM-LR e NorESM1-M. Contudo aqueles que apontam para a possibilidade de mudança só indicam diminuição. Esta diminuição pode ocorrer sobre o Noroeste e Alto Paranaíba como pode ser visto nos modelos ACCESS1.0, CanESM2 e GFDL-ESM2M; sobre o Norte e Vale do Jequitinhonha como mostram os modelos CanESM2 e GFDL-ESM2G, ao Sul e Zona da Mata como apontam CanESM2, EC-EARTH, GFDL-ESM2M e HadGEM2-CC. Outros modelos também apontam áreas menores de aumento sobre o Triângulo (MRI-CGCM3), Norte e Noroeste (MIROC-ESM-CHEM), Centro-Oeste (MIROC5), Vale do Jequitinhonha e Rio Doce (GISS-E2-R), parte do triângulo, Alto Paranaíba e Sul (HadGEM2-ES) ou pontos do Centro, Jequitinhonha e Triângulo (CNRM-CM5).

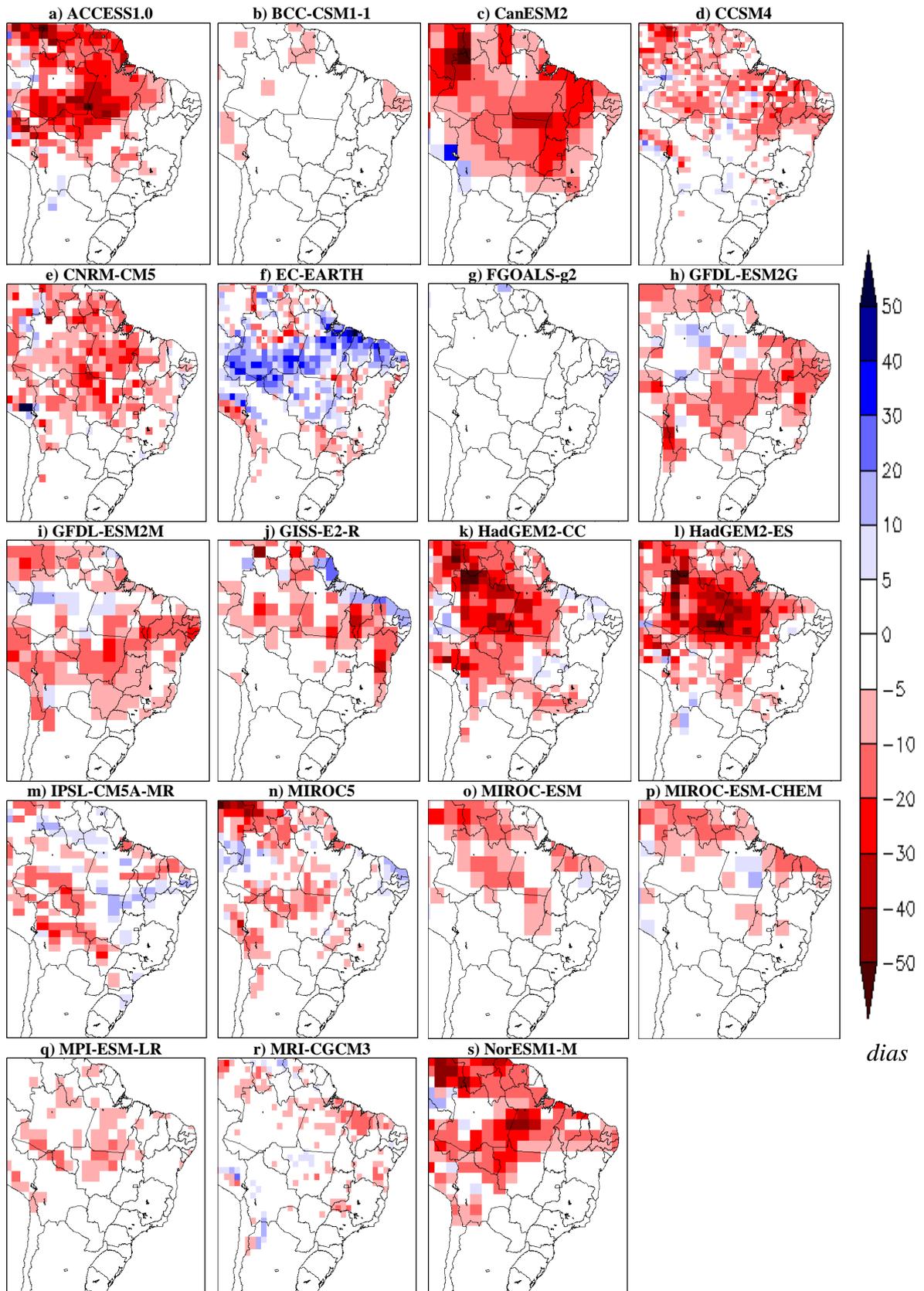


Figura 14 – Diferença entre Simulação e Projeção para o período futuro (2071-2100) do índice CWD com os 19 modelos globais estudados comparados com o período presente (1961-1990). Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.

Nota-se maior divergência entre os modelos para a quantidade de precipitação acima do percentil 95 (índice R95p), apresentando sinais positivos e negativos em todo o Brasil, o que justifica uma análise mais minuciosa diante dos aspectos peculiares a cada região (Figura 15). Contudo é importante salientar que 16 dos 19 modelos utilizados neste estudo projetam aumento expressivo de dias muito úmidos, sendo exceção CanESM2 que projeta redução de R95p para praticamente todo Brasil e aumento apenas em estados do Sul e alguns pontos sobre Minas Gerais e região Nordeste, além de MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM que projetam diminuição sobre parte do Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste. A maior parte da região Norte do país também aparece como área em que se projeta o aumento em R95p em muitos modelos, com exceção do ACCESS1.0, BCC-CSM1-1, CanESM2 e CNMR-CM5.

Grande parte dos modelos também projeta aumento de R95p com muita intensidade no Sul e Sudeste do Brasil, tais como ACCESS1.0, CNRM-CM5, EC-EARTH, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, MIROC5, MPI-ESM-LR e MRI-CGCM3 ou com menor intensidade como CCSM4, FGOALS-g2, GFDL-ESM2M e GISS-E2-R. Por outro lado, projeta-se aumento deste índice sobre praticamente todo Centro-Oeste nos modelos BCC-CSM1-1, CCSM4, CNRM-CM5, EC-EARTH, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, HadGEM2-CC, IPSL-CM5A-MR, MIROC5, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3 e NorESM1-M e parcialmente nos modelos ACCESS1.0, FGOALS-g2, GISS-E2-R, HadGEM2-ES, MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM. Sinais de diminuição aparecem de forma discreta em alguns modelos, tais como ao leste da região Norte (ACCESS1.0 e CNMR-CM5), nordeste da região Norte, leste da região Nordeste e Sudeste juntas (CCSM4 e NorESM1-M), Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste ao mesmo tempo com maior ou menor intensidade (GISS-E2-R, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, GFDL-ESM2G e GFDL-ESM2M). Queda em R95p também é projetada ao leste do Amazonas em MRI-CGCM3.

Para Minas Gerais, ocorrem projeções de aumento ou diminuição de R95p, dependendo da região ou modelo avaliado. No entanto, há um predomínio de regiões com tendência de aumento de precipitação intensa, tanto espacialmente quanto em número de modelos, assim como indicados pelos modelos ACCESS1.0, BCC-CSM1-1, CCSM4, CNRM-CM5, EC-EARTH, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR, MIROC5, MPI-ESM-LR e MRI-CGCM3. Por outro lado, os modelos GFDL-ESM2G, MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM projetam uma redução no índice R95p, enquanto que nos modelos CanESM2, FGOALS-g2, GFDL-ESM2M, GISS-E2-R e NorESM1-M as tendências são pouco expressivas, ou com tendências de aumento e diminuição em iguais proporções sobre o estado.

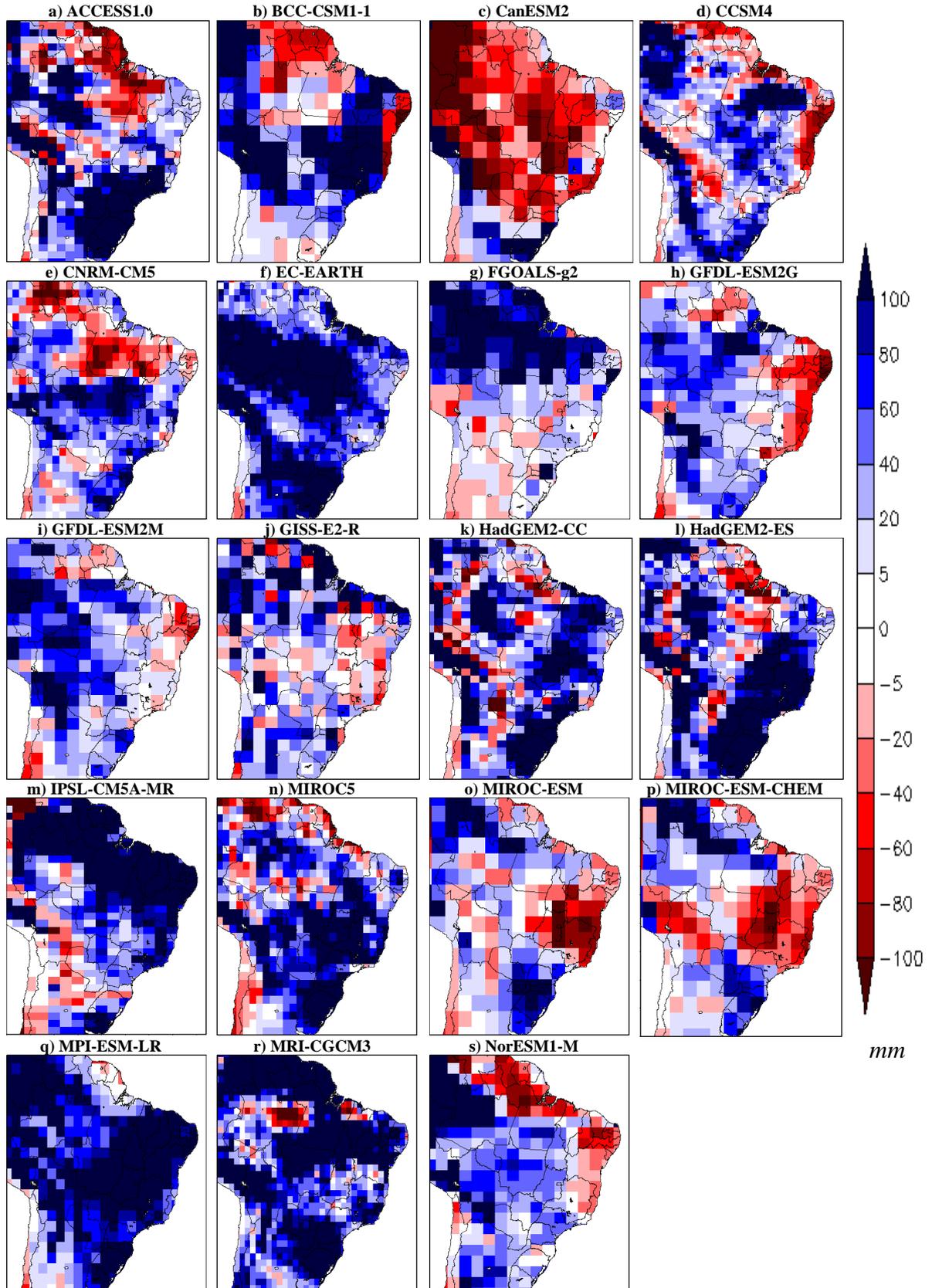


Figura 15 – Diferença entre Simulação e Projeção para o período futuro (2071-2100) do índice **R95p** com os 19 modelos globais estudados comparados com o período presente (1961-1990). Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.

Avaliando conjuntamente o índice Rx5day (Figura 16), relativo à precipitação máxima em 5 dias consecutivos e o índice R95p (Figura 15), percebe-se uma similaridade, uma vez que as áreas com tendências positivas e negativas são coincidentes entre ambos. Entretanto, as magnitudes envolvidas nas projeções de mudança do índice Rx5day são bem menores do que o R95p, cujos valores não excedem $\pm 20\text{mm}$ em praticamente todo território brasileiro e na grande maioria dos modelos avaliados. Contudo, pode-se observar uma tendência em se projetar aumento de Rx5day para o Sul do Brasil em muitos modelos. Ressalta-se que o sinal de aumento é mais intenso ao Sul nos modelos ACCESS1.0, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, e MRI-CGCM3 e menos intenso em FGOALS-g2, GFDL-ESM2G, GISS-E2-R e NorESM1-M, os quais apresentam áreas sem sinais de mudança ou áreas com sinais de diminuição de Rx5day. Projeta-se aumento mais intenso para o Sudeste nos modelos BCC-CSM1-1, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR, MPI-ESM-LR e MRI-CGCM3 e menos intensos em ACCESS1.0, CanESM2, CCSM4, CNRM-CM5, EC-EARTH, MIROC5 e NorESM1-M. Enquanto GFDL-ESM2G, MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM projetam apenas diminuição de Rx5day em quase toda região Sudeste e GISS-E2-R e FGOALS-g2 apontam para menor diferença entre os períodos estudados.

A projeção de aumento para este índice na região Centro-Oeste é mais expressiva nos modelos BCC-CSM1-1, CNRM-CM5, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, MIROC5, MPI-ESM-LR e MRI-CGCM3, mas também é sinalizada em outros modelos de forma parcial ou mais fraca. Contudo, alguns modelos não captam mudanças em Rx5day durante os períodos comparados em grande parte da região Centro-Oeste. Para áreas da região Norte projeta-se aumento mais expressivo em MRI-CGCM3 e IPSL-CM5A-MR enquanto os modelos CNRM-CM5, ACCESS1.0, GFDL-ESM2G e CanESM2 apontam para diminuição, com destaque para o último que projeta aumento sobre toda a região Norte. Para o Nordeste tem-se diminuição em vários modelos, com maior destaque para CanESM2, GFDL-ESM2G, MIROC-ESM-CHEM, e NorESM1-M onde os sinais se apresentam por áreas mais extensas. Adicionalmente, sobre praticamente toda região Nordeste projeta-se um aumento nos modelos ACCESS1.0, BCC-CSM1-1, EC-EARTH, FGOALS-g2, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR, MIROC5, MPI-ESM-LR e MRI-CGCM3. Assim, levando-se em conta todos os modelos, o que se vislumbra sobre o estado de Minas Gerais é um cenário de incertezas já que estes não concordam nem na distribuição espacial e nem nas projeções de aumento ou diminuição dos valores de Rx5day. O que se relaciona a observação de um grande número de modelos.

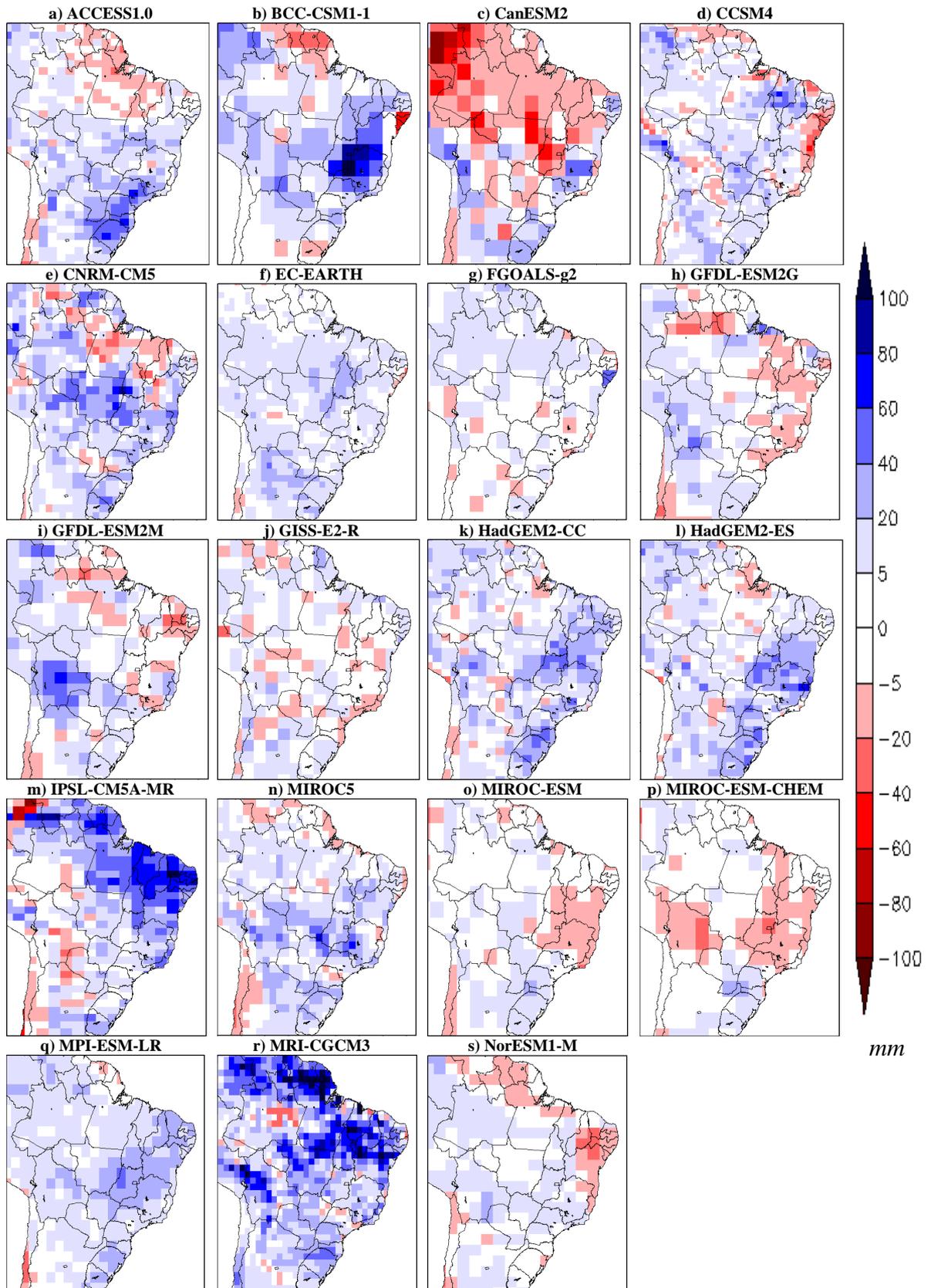


Figura 16 – Diferença entre Simulação e Projeção para o período futuro (2071-2100) do índice **Rx5day** com os 19 modelos globais estudados comparados com o período presente (1961-1990). Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.

4.2.2 Índices extremos de temperatura

As Figuras 17 a 20 apresentam as projeções de mudanças nos índices de extremos climáticos relativos à variável temperatura. De modo geral, uma das principais características desses índices é que, diferentemente de precipitação, todos os modelos projetam a mesma tendência, coerentes com um padrão de aumento de temperatura. No entanto, notam-se diferenças espaciais entre as localizações dos máximos e mínimos valores entre os diversos modelos.

Com relação ao índice noites frias (TN10p), tem-se que todos os modelos projetam, para todo Brasil e regiões adjacentes, queda na porcentagem de noites frias (Figura 17) e verifica-se uma variação norte/sul na magnitude dessas mudanças, onde a região norte apresenta as maiores magnitudes de redução (>10%) e a região sul os menores valores (entre 2 e 4%). Os sinais mais intensos de mudanças (reduções >12%) estão nas regiões Norte e Nordeste em IPSL-CM5A-MR, MIROC5 e MIROC-ESM. Já, ACCESS1.0, BCC-CSM1-1, CanESM2, CCSM4, CNRM-CM5, EC-EARTH, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, GISS-E2-R, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR, MRI-CGCM3 e NorESM1-M têm valores mais elevados sobre apenas partes destas regiões. Assim alguns modelos têm sinais máximos bastante deslocados para o norte (BCC-CSM1-1, GISS-E2-R e MRI-CGCM3) ou mais para leste (CNRM-CM5 e HadGEM2-ES). Pode-se notar que muitos dos modelos projetam sinais menos expressivos de queda sobre o oeste do Amazonas, o Acre e Rondônia, tais como MRI-CGCM3, MPI-ESM-LR, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, GISS-E2-R, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, CCSM4, CNRM-CM5 e BCC-CSM1-1. Os sinais mais fortes de queda aparecem de forma mais intensa sobre o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil em GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR, MIROC5, MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM. Dentre os modelos que se diferem do padrão mais comum tem-se FGOALS-g2 que possui sinais mais suaves de diminuição sobre todo o Brasil e MIROC-ESM-CHEM que mostra o leste e sudeste da região Nordeste, toda porção leste e sul do Centro-Oeste do Brasil além de grande parte de Minas Gerais com sinais mais fracos de diminuição.

Em Minas Gerais, a queda no índice TN10p pode ficar entre 4 e 12%, sendo que o Sul de Minas pode apresentar a menor diminuição (entre 4 e 6%) como em GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M e GISS-E2-R. Tal fato é claramente oposto aos modelos MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM que projetam para o futuro, sobre a mesma região, queda muito maior (entre 10 e 12%). De forma geral a tendência é de que a porção norte de Minas tenha os maiores valores de diminuição no número de noites frias enquanto a porção sul apresente os menores valores.

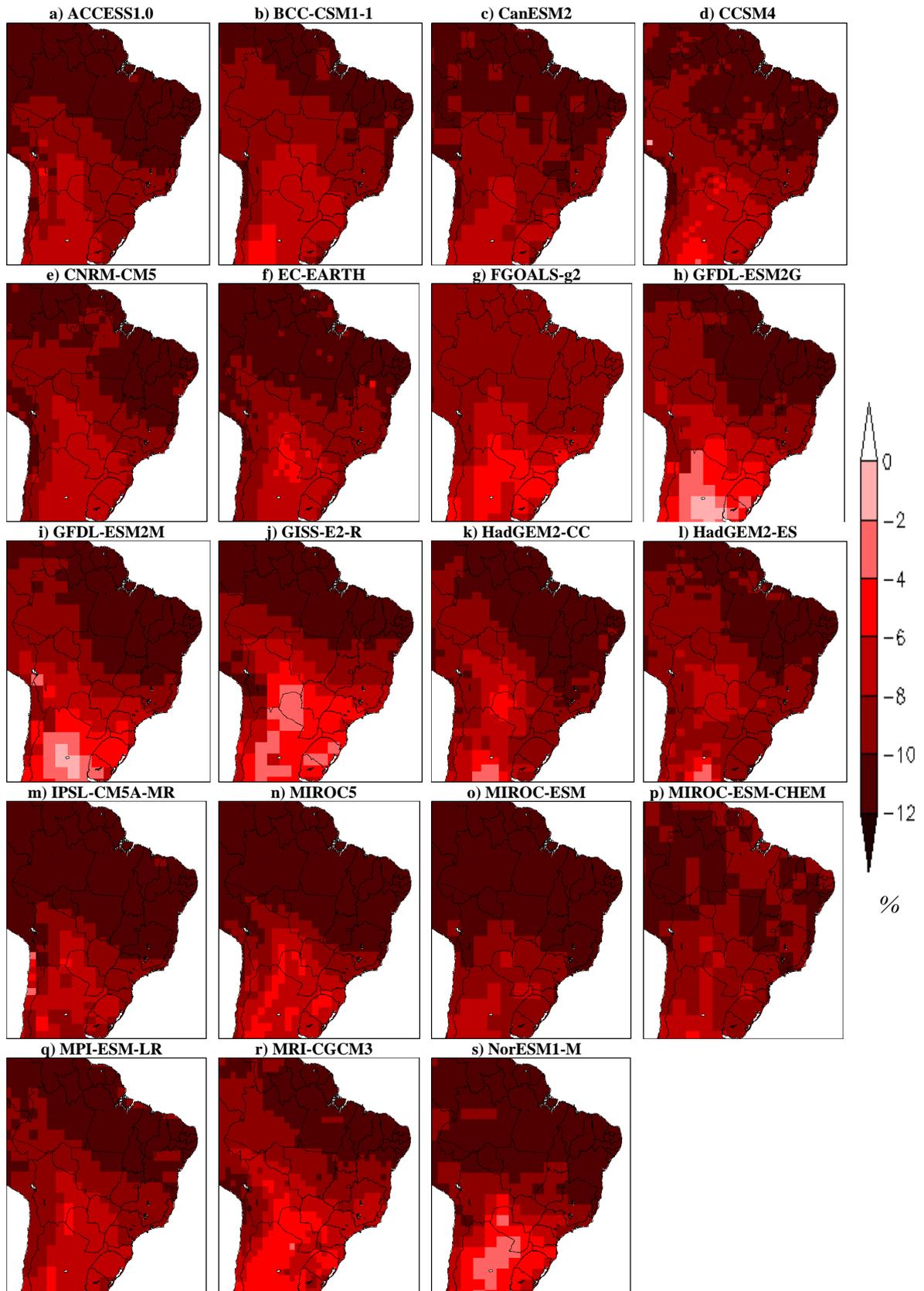


Figura 17 – Diferença entre Simulação e Projeção para o período futuro (2071-2100) do índice **TN10p** com os 19 modelos globais estudados comparados com o período presente (1961-1990). Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.

Consistentemente ao índice TN10p projetado, tem-se que, para todo Brasil, é observado um aumento na porcentagem de noites quentes (índice TN90p) segundo o projetado em todos os modelos para o final do século XXI (Figura 18). A maioria dos modelos indica que o maior aumento deve acontecer ao norte do país e o menor ao sul, variando a distribuição espacial dos sinais de máximos e mínimos em cada modelo. Os modelos ACCESS1.0, EC-EARTH, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR, MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM projetam uma porcentagem muito alta (acima de 80%) de aumento de noites quentes nos estados da região Norte com sinais que se estendem a algumas partes do Nordeste.

A região Sudeste apresenta valores intermediários de aumento (entre 10 e 70%) em relação ao resto do Brasil em todos os modelos, podendo ocorrer mudanças menos expressivas, com valores entre 10 e 40% assim como projetados nos modelos FGOALS-g2, GFDL-ESM2M e GISS-E2-R ou muito expressivos com valores que alcançam 70% como nos modelos MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM. Junto com a região Sudeste, a região Centro-Oeste é aquela que apresenta grande variedade de projeções nos diversos modelos estudados; assim apresentando valores de aumento em TN90p que vão de 10%, mais ao sul, até mais de 80% ao norte, em alguns modelos. No Centro-Oeste os maiores valores ocorrem, na porção norte, nos modelos ACCESS1.0, EC-EARTH, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, IPSL-CM5-MR, MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM enquanto os menores valores são projetados nos modelos FGOALS-g2 e GISS-E2-R ao sul.

As porcentagens mais baixas de aumento projetado de TN90p estão localizadas na região Sul, especificamente nos modelos GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, GISS-E2-R e MIROC5 (abaixo de 10%) e as mais altas se apresentam nos modelos ACCESS1.0, CanESM2, CCSM4, EC-EARTH, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-MR, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM e MPI-ESM-LR (acima de 50%).

Para Minas Gerais projeta-se um aumento em TN90p, que pode variar entre 10 e 70% de acordo com a região e o modelo considerado. De qualquer forma os modelos não concordam, entre si, ao apontar uma região em que deve ocorrer maior mudança. De tal maneira que o triângulo mineiro pode ter maiores valores nos modelos ACCESS1.0, BCC-CSM1-1, CanESM2, GFDL-ESM2M, HadGEM2-CC, IPSL-CM5A-MR e MRI-CGCM3. A porção norte de Minas pode apresentar maiores valores para GFDL-ESM2G, GISS-E2-R, MIROC5 e MRI-CGCM3 enquanto os outros modelos se alternam com distribuição espacial variada.

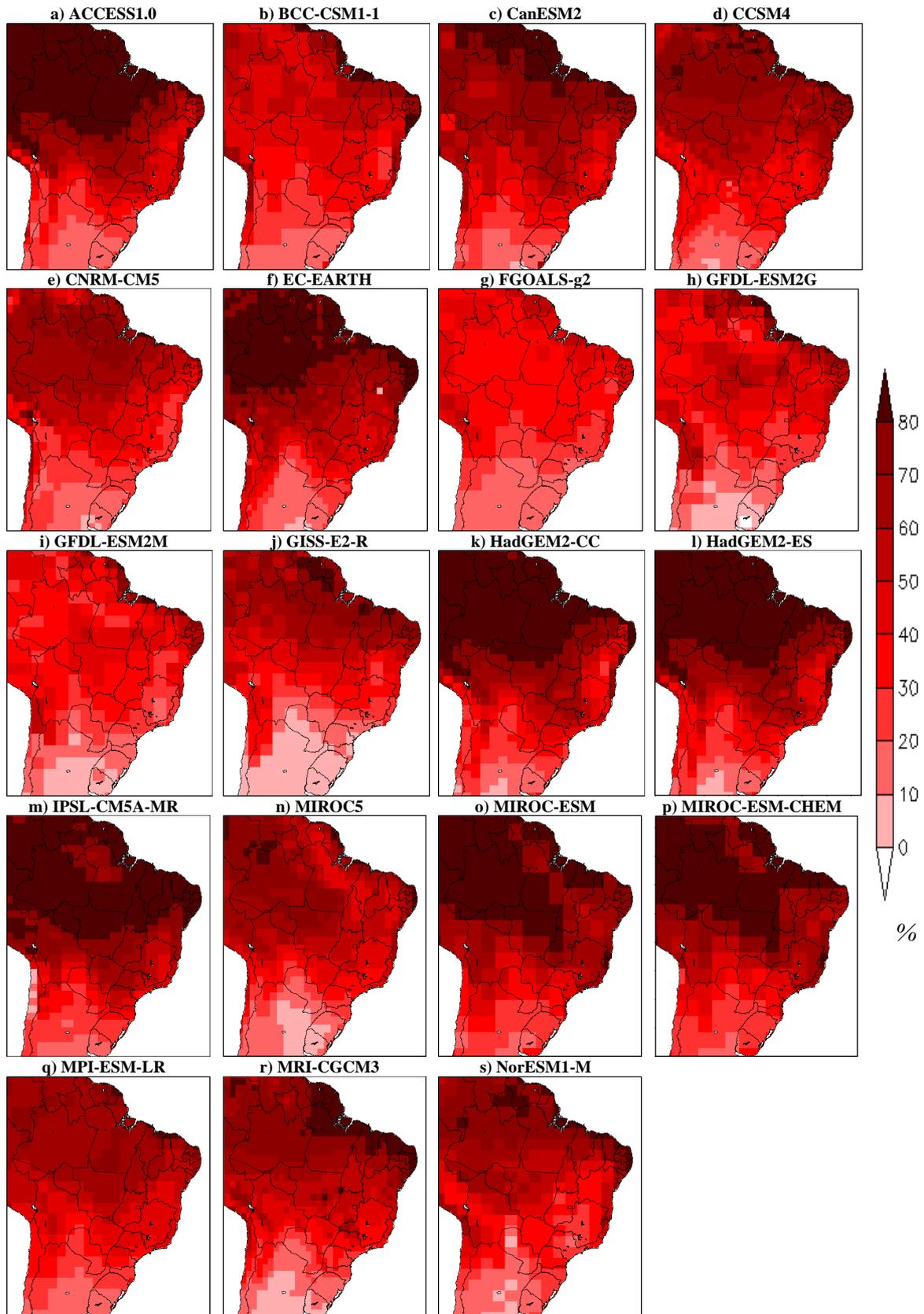


Figura 18 – Diferença entre Simulação e Projeção para o período futuro (2071-2100) do índice **TN90p** com os 19 modelos globais estudados comparados com o período presente (1961-1990). Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.

Na Figura 19 são apresentadas as projeções do índice extremo dias frios (TX10p). Todos os modelos apontam uma queda representativa no número de dias frios em todo território brasileiro, o que é indicado pelos valores negativos da diferença de tal índice entre os períodos estudados (2071-2100 menos 1961-1990). Novamente os modelos apontam maior queda ao Norte e menor queda ao Sul, e com distribuição espacial dos sinais com maior magnitude bem variada. Modelos como ACCESS1.0, CanESM2, MIROC-ESM, HadGEM2-CC e HadGEM2-ES são aqueles que projetam diminuição muito expressiva em grandes áreas da região Norte, podendo se estender até o Nordeste (HadGEM2-ES e MIROC-ESM) ou Centro-Oeste (MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM). Os sinais com valores mais baixos de declínio em TX10p aparecem, ao Sul, nos modelos GISS-E2-R, MIROC5 e MRI-CGCM3. Enquanto o modelo GISS-E2-R é aquele com a maior amplitude nos sinais entre o sul e o norte, partindo de -2% e podendo alcançar os -12%, alguns modelos variam menos, como é o caso de CCSM4 que vai de -8 a -12%.

Dentre os modelos com projeção de redução maior que 10% em TX10p estão os modelos ACCESS1.0, EC-EARTH e MPI-ESM-LR abrangendo áreas da região Norte apenas, os modelos GFDL-ESM2G, GISS-ER-LR, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES e NorESM1-M nas áreas das regiões Norte e Nordeste, os modelos IPSL-CM5A-MR, MIROC5, MIROC-ESM e MIROC-ESM cobrindo áreas do Norte e Centro-Oeste e o modelo CanESM2 que abrange áreas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Enquanto que queda menor que 6% aparecem nos modelos GFDL-ESM2G e GFDL-ESM2M apenas em estados do Sul do Brasil, nos modelos BCC-CSM1-1 e NorESM1-M abrangendo áreas do Sul e Centro-Oeste, nos modelos CNRM-CM5, GISS-E2-R, MIROC5, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM e MRI-CGCM3 cobrindo áreas do Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

Sobre Minas Gerais a distribuição espacial das mudanças varia bastante de acordo com os modelos, assim como variam as magnitudes de TX10p (entre -2 e -12%). Modelos como CanESM2, MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM projetam os valores de queda mais expressivos (acima de 10%) sobre as regiões Noroeste, Norte e Vale do Jequitinhonha enquanto CNRM-CM5, FGOALS-g2, GISS-E2-R, MIROC5 e MRI-CGCM3 projetam valores de queda em TX10p menores (menos de 6%) sobre as regiões da Zona da Mata, Sul de Minas, Centro, Centro-Oeste, Triângulo e Vale do rio Doce. As mudanças devem ser mais uniformes para os modelos BCC-CSM1-1 e CNRM-CM5 e mais variadas para o modelo MIROC5.

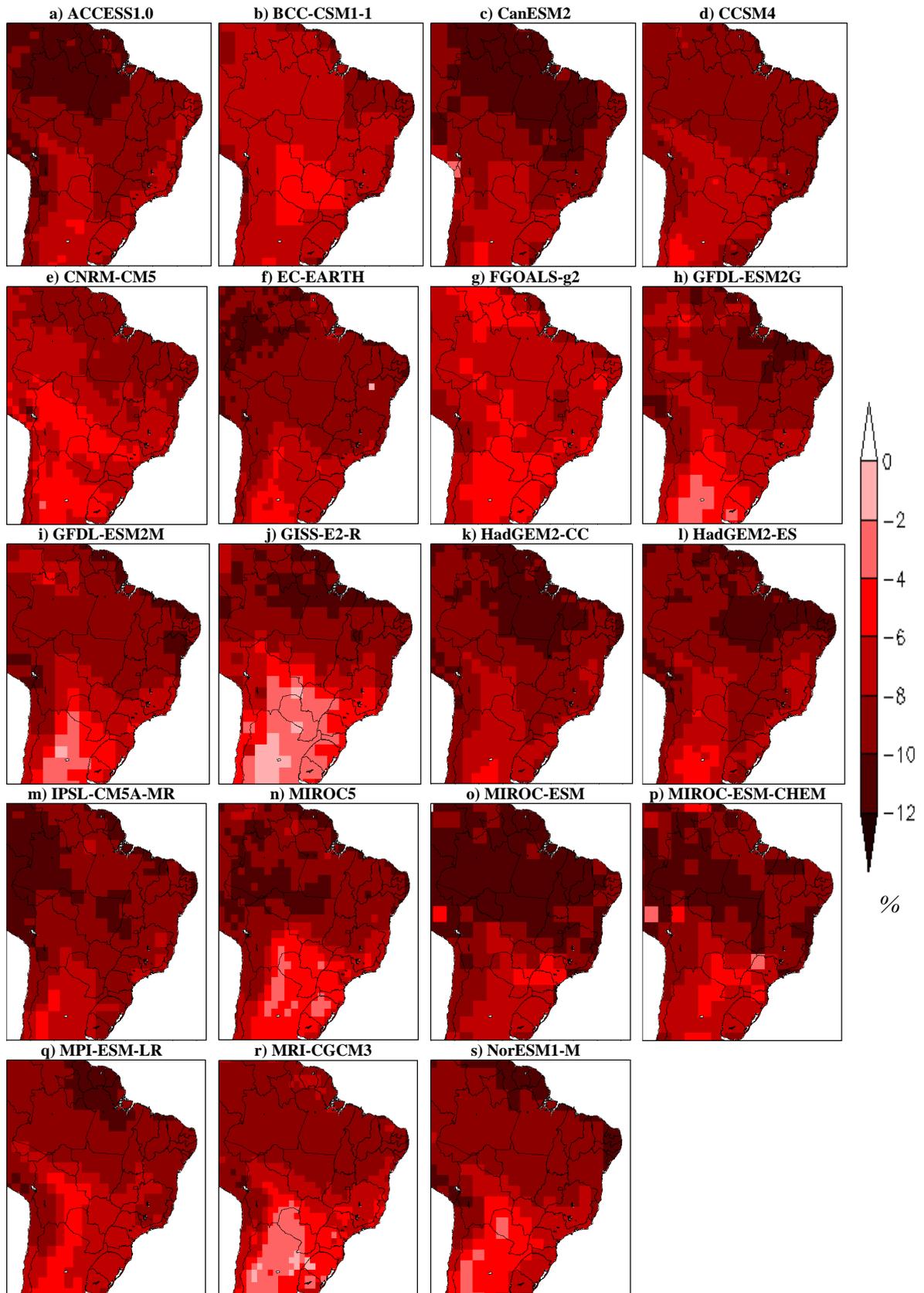


Figura 19 – Diferença entre Simulação e Projeção para o período futuro (2071-2100) do índice **TX10p** com os 19 modelos globais estudados comparados com o período presente (1961-1990). Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.

A projeção de mudança no índice extremo dias quentes (TX90p) para o final do século XXI é apresentado na Figura 20. É possível notar que todos os modelos projetam um aumento no número de dias quentes em todo os território brasileiro e regiões circunvizinhas. Além disso, as projeções indicam um maior aumento em latitudes mais baixas, principalmente sobre a região Amazônica, em comparação com a região Sul, a qual apresenta os valores mais baixos de mudança.

Os modelos ACCESS1.0, CanESM2, HadGEM2-CC e HadGEM2-ES são os que mostram maior aumento de TX90p (ultrapassando 80%) para parte da região Norte, que pode ser a oeste nesta região, sobre o estado do Amazonas (ACCESS1.0 e HadGEM2-CC), ao norte, sobre uma porção do Amazonas, do Pará e de Roraima (CanESM2) ou com extensão maior sobre todo Amazonas, leste do Pará e partes do Acre, Rondônia e Roraima (HadGEM2-ES). Por outro lado, FGOALS-g2 e MRI-CGCM3 são os que apresentam menores aumentos (abaixo de 50%) no Norte e em todas as outras regiões.

Em vários modelos ainda é possível observar áreas com aumento expressivo de dias quentes sobre a região Centro-Oeste, tais como CanESM2 e HadGEM2-CC (ao norte do Mato Grosso), HadGEM2-ES e IPSL-CM5A-MR (todo Mato Grosso e parte de Goiás e Mato Grosso do Sul), e MIROC-ESM. Para o Sudeste ocorrem as mais distintas variações com relação aos modelos já que alguns mostram menor aumento sobre grande parte de São Paulo e de Minas Gerais (BCC-CSM1-1, FGOALS-g2 e GISS-E2-R), outros mostram o norte de Minas gerais com aumento maior que o sul deste mesmo estado (GISS-E2-R, MIROC5, MIROC-ESM e NorESM1-M) ou apontam para o leste da região Sudeste como aquela que deve apresentar menor aumento (GFDL-ESM2G e GFDL-ESM2M).

Especificamente sobre Minas Gerais, alguns modelos projetam aumentos relativamente menores, entre 0 e 30% (FGOALS-g2 e NorESM-1-M), e outros projetam aumentos maiores que 50% para algumas áreas do estado (MIROC-ESM e MIROC-ESM-CHEM). Regiões do Noroeste e Norte de Minas aparecem muitas vezes como aquelas em que se projetam maiores aumentos enquanto o Sul e a Zona da Mata são as que devem ter menor aumento de TX90p.

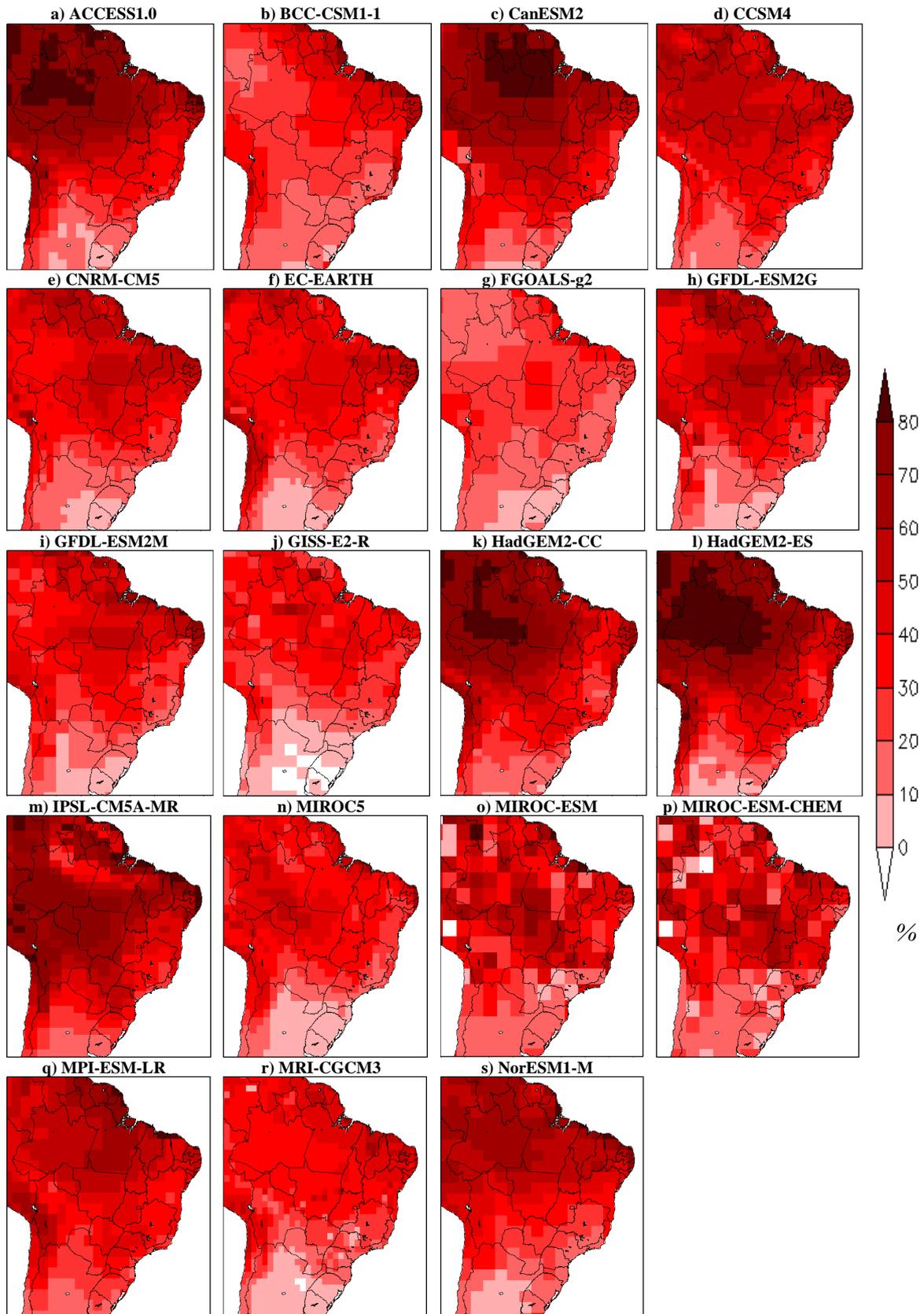


Figura 20 – Diferença entre Simulação e Projeção para o período futuro (2071-2100) do índice **TX90p** com os 19 modelos globais estudados comparados com o período presente (1961-1990). Os valores positivos (negativos) indicam aumento (diminuição) com relação ao período presente.

4.3 Séries Temporais

Nessa etapa do trabalho, séries temporais das simulações multimodelo e dos dados da Reanálise também foram calculadas para análise de possíveis tendências nos índices estudados. Como alguns resultados da análise das projeções (seção 4.2) foram diferentes para região Norte e região Sul de Minas Gerais (NMG e SMG, respectivamente), o Estado foi dividido em duas regiões que representam tal separação para a presente análise, como mostrado na Figura 4. Assim, o valor do coeficiente angular da reta de tendência foi utilizado como parâmetro para fornecer a taxa de aumento ou diminuição, com relação ao tempo, dos índices climáticos analisados (Quadro 4, para os índices baseados em precipitação e Quadro 5, para os índices baseados em temperatura). Para facilitar a discussão, os valores do coeficiente angular foram multiplicados por 10 para a análise ser em dias/década (CDD e CWD; Quadro 4), mm/década (R95p e Rx5day; Quadro 4) e %/década (TN10p, TN90p, TX10p e TX90p; Quadro 5).

4.3.1 Índices extremos de precipitação

Na Figura 21 são apresentadas as séries temporais observadas, simuladas e projetadas do índice extremo dias secos consecutivos (CDD). Observa-se que, em geral, a média da simulação multimodelo superestima os dados observados de CDD em muitos períodos, tanto na região SMG quanto na região NMG. No entanto, as observações não extrapolam o espalhamento (cinza) promovido pelos membros individuais do conjunto. Por outro lado, a média do conjunto subestima a variabilidade interanual observada, ou seja, simulando uma menor variabilidade interanual. Adicionalmente, observa-se que a variabilidade interanual da região NMG é consideravelmente maior do que a da região SMG.

No que se refere à análise de tendência, tem-se que, na NMG, a tendência é de um ligeiro aumento no número de CDD para as simulações no período de 1961-1990 (0,34 dias/década), enquanto que no período de 1948-2005 essa tendência é um pouco maior (0,71 dias/década). Por outro lado, para a média dos modelos, tem-se que as projeções indicam uma tendência nula de aumento (ou seja, nenhuma tendência) para 2071-2100 em CDD (0,00 dias/década). Já na região SMG, entre 2011 e 2040 existe a tendência muito pequena de diminuição (-0,42 dias/década) do número de CDD, enquanto que para todos os outros períodos as simulações mostram o oposto. É importante salientar que enquanto a observação possui tendência negativa para as séries históricas (1948-2005 e 1961-1990) escolhidas no NMG (-19,74 e -4,53 dias/década) e SMG (-7,06 e -0,62 dias/década) é bem evidente no gráfico uma constante

elevação nos picos de CDD após a década de 1980, o que suaviza a estatística se for tomado para estudo o período de 1948-2005, por exemplo. Assim torna-se explícito o fato de que a descrição da ocorrência de mudança climática deve levar em conta todos os aspectos da variabilidade, sazonal e interanual, do clima.

Nesta situação, pode-se esperar que a população da região Norte de MG, vale do Jequitinhonha e Mucuri, que já sofrem com a seca prolongada (GIANASI *et al.*, 2014), venham a ter no futuro maiores problemas relacionados à falta de água, aumentando a duração ou a intensidade da estação seca. Já na Zona da Mata, Centro-Oeste e Sul de Minas tem-se que os maiores problemas podem estar relacionados com a produção agrícola e o ecoturismo (ROQUE e ALENCAR, 2001), podendo sofrer com a escassez de recursos hídricos como já foi observado no período 2013-2015. Outra preocupação importante está ligada ao abastecimento das populações em grandes cidades e região metropolitana em torno da capital que se soma a necessidade de utilização de água para produção de energia (GIATTI, 2007).

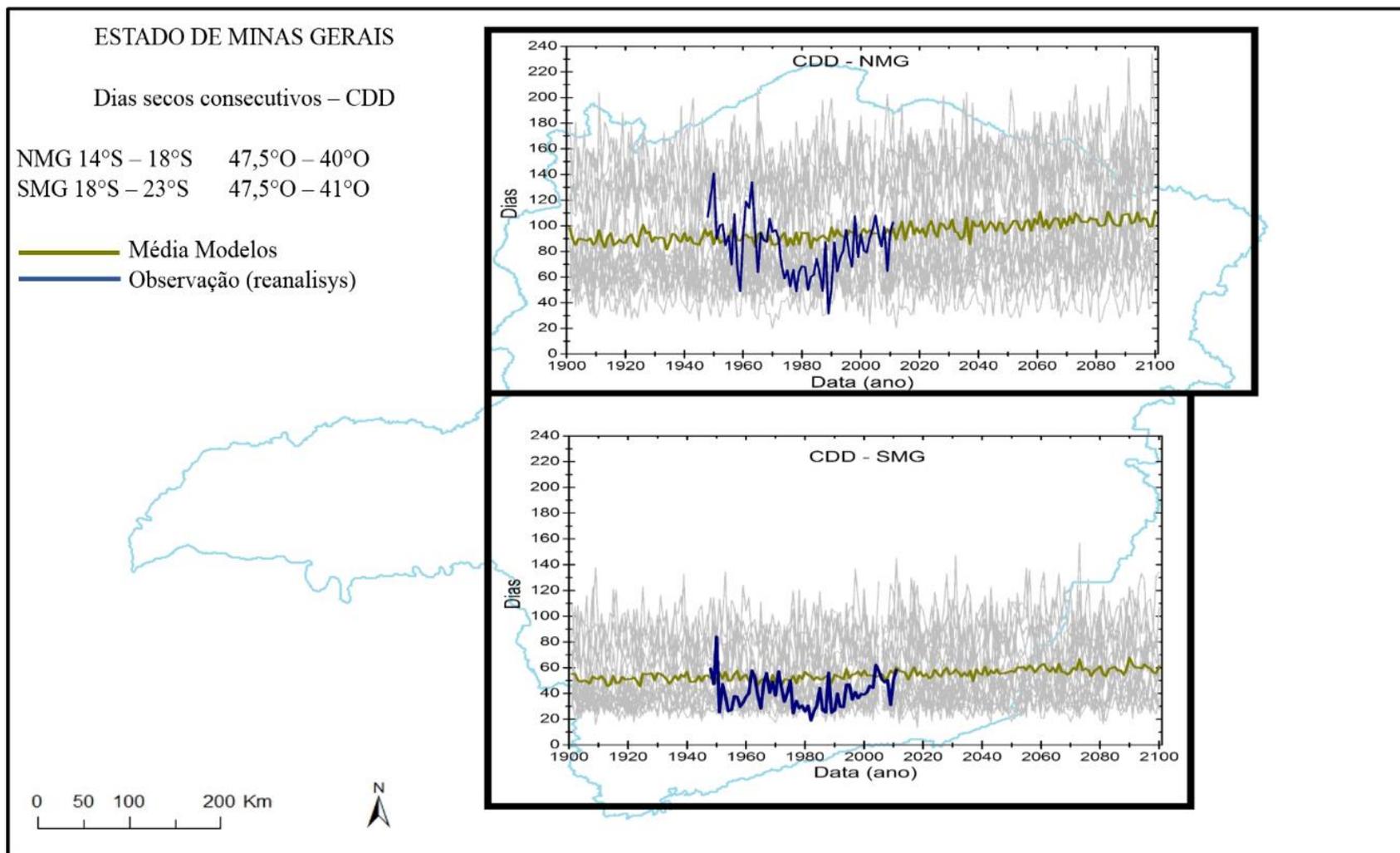


Figura 21 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **CDD** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.

Na Figura 22 observa-se que a média da simulação subestima os dados de observação de dias úmidos consecutivos (CWD). De fato, os resultados de praticamente todos os modelos individuais apontam para a incidência muito baixa em relação ao número de CWD observados (Reanálise), tanto na região NMG quanto SMG. Além disso, a média do conjunto de modelos subestima bastante a variabilidade interanual observada de CWD para ambas as regiões, e as observações muitas vezes extrapolam o espalhamento do conjunto multimodelo, principalmente para SMG. Contudo, os resultados dos modelos concordam na tendência de uma leve diminuição de CWD a longo prazo até o final do século XXI no cenário escolhido RCP 4.5, tanto para NMG (-0,33 dias /década) quanto para SMG (-0,42 dias/década), coerentemente com as tendências ligeiramente positivas, portanto de aumento de CDD, em ambas as regiões analisadas anteriormente.

Minas Gerais é um estado muito dependente de seu regime de chuvas no que diz respeito à produção de alimentos (RIBEIRO e GALIZONI, 2003) (por exemplo, o café no Alto Paranaíba e batatas no Sul de Minas) e geração de energia (Bacias do Rio Grande e do Paranaíba) além de contribuir para a economia do Brasil, sendo chamado até hoje de caixa d'água do país, tamanho a relevância de suas bacias hidrográficas. Nota-se, portanto, que a diminuição dos dias úmidos no clima futuro sobre as regiões estudadas pode vir a comprometer a qualidade de vida e econômica nos municípios deste estado e de estados vizinhos que dependem de seus rios para abastecimento da população e para produção de energia elétrica.

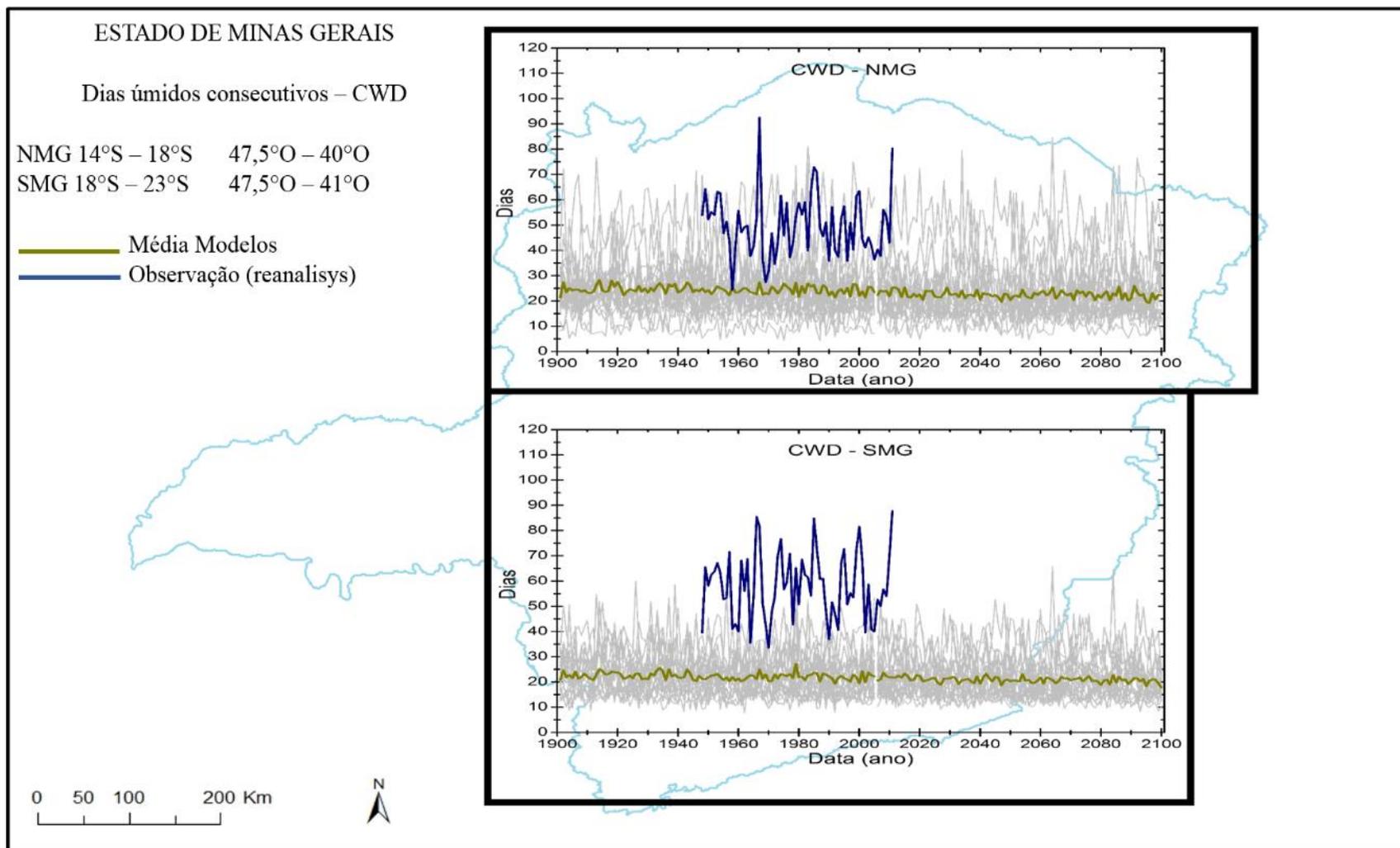


Figura 22 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice CWD para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.

Na Figura 23 observa-se que o total anual de precipitação em dias que a chuva excedeu o 95º percentil (R95p) em relação à média do período 1961-1990 apresenta ligeira tendência de aumento para todos os períodos analisados em ambas as regiões consideradas neste estudo, exceto para o final do século XXI (2071-2100), em que tanto para NMG (-6,15 mm/década) quanto para SMG (-6,25 mm/década) a tendência é de diminuição. A média do conjunto de modelos superestima os dados de observação no período de 1961-1990, mas a tendência de aumento é mais explícita na observação que na simulação, tanto ao NMG (66,70 e 2,11 mm/década, respectivamente) quanto ao SMG (67,43 e 2,58 mm/década, respectivamente), sendo que no SMG a tendência de aumento é ligeiramente mais acentuada. Adicionalmente, é possível notar que após 1980, as observações e simulações apresentam maior concordância do que os anos anteriores. Entretanto, assim como nos índices CDD e CWD, a média do conjunto de modelos não é capaz de simular corretamente a variabilidade interanual de R95p notada na observação.

Deve-se levar em conta que este índice é relacionado a chuvas intensas que podem colaborar com a ocorrência de enchentes, inundações e deslizamento de terra (ZHANG *et al.*, 2011), e as populações em situação de risco nas encostas ou margens de rios serão as mais afetadas em caso de uma elevação. Vários estudos e levantamentos feitos por diversas entidades mostram que populações em regiões metropolitanas, assim como em pequenas cidades distribuídas por muitas regiões de Minas Gerais vivem em áreas de risco de inundações (RIBEIRO, 2010; KOVATS e LLOYD, 2010; FREITAS *et al.*, 2012). Nos últimos 5 anos este estado sofreu com a ocorrência de muitas catástrofes ligadas a chuva intensa tais como as enchentes e alagamentos em municípios da Zona da Mata, Sul de Minas, Vale do Rio Doce e região Central, o que acarretou em milhões de reais em prejuízos, sendo que algumas das cidades envolvidas ainda não se recuperaram até hoje.

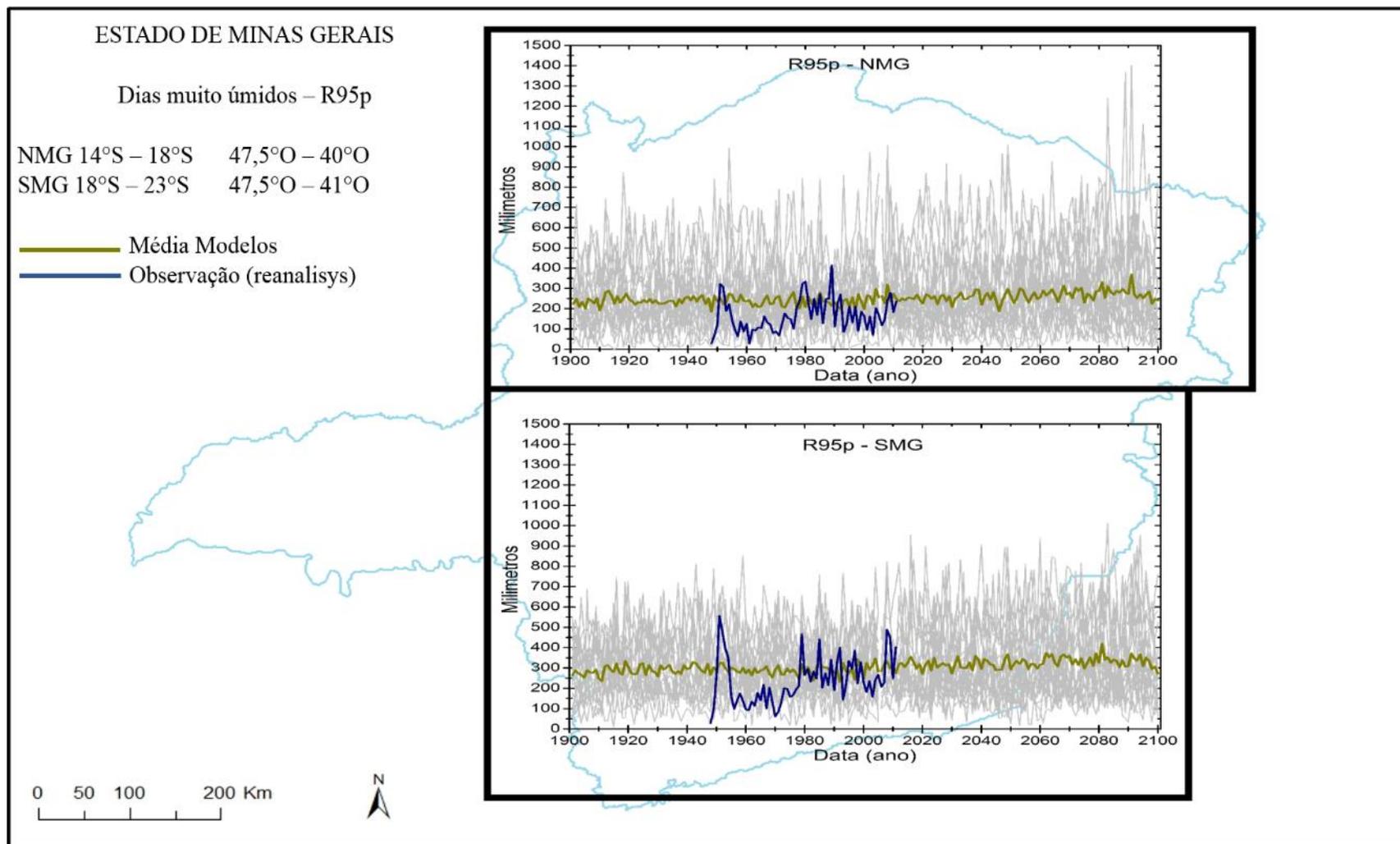


Figura 23 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **R95p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.

Na Figura 24 tem-se outro índice de evento extremo (Rx5day) que pode colaborar com a ocorrência de enchentes, pois é uma medida de intensidade de precipitação a curto prazo que indica a maior quantidade de chuva acumulada em 5 dias dentro de um período estipulado (no caso anual). Percebe-se que os dados de simulação superestimam a observação, fazendo com que os dados observados fiquem no limite inferior do espalhamento dos resultados dos modelos individuais, e que a média do conjunto de modelos superestima a variabilidade interanual, em relação a observação. Ainda assim no período base de 1961-1990 existe concordância entre simulação e observações na tendência de ligeiro aumento para NMG (observação 11,69 mm/década, simulação 1,17 mm/década) e para SMG (observação 9,40 mm/década, simulação 1,81 mm/década). Porém, na região NMG para o período de 1948-2005 a média dos modelos apresenta uma leve tendência de queda (-0,02 mm/década). Adicionalmente tem-se ao final do século XXI tendência negativa para o NMG (- 3,02 mm/década) assim como SMG (-1,49 mm/década).

Portanto, fazendo um resumo geral sobre as observações, simulações, e projeções dos índices extremos para a variável precipitação, pode-se constatar que os modelos apresentam deficiências em relação à representação das magnitudes e variabilidade interanual dos índices de precipitação. Para todos os índices, ligeiras tendências de aumento ou diminuição foram constatadas nas simulações e projeções, mas todas elas não foram muito representativas, exceto para o aumento de CDD no norte de Minas Gerais. Entretanto, acredita-se que o aumento de temperatura associado ao aquecimento global e ondas de calor possam promover o aumento da ocorrência de eventos extremos de precipitação de curto prazo, e como já se sabe há algum tempo, já se detecta o constante aumento da temperatura média do planeta. Soma-se a isto o crescimento das cidades e aumento da produção de gases que promovem ilhas de calor urbano capazes de interferir no ciclo de chuvas no entorno de grandes cidades. Desta forma torna-se importante mencionar a possibilidade, mesmo com a diminuição de chuvas regulares, eventos de chuva intensa possam vir a se desencadear com maior frequência. Isto traria problemas àquela parcela da população que já se encontra em condições precárias de habitação.

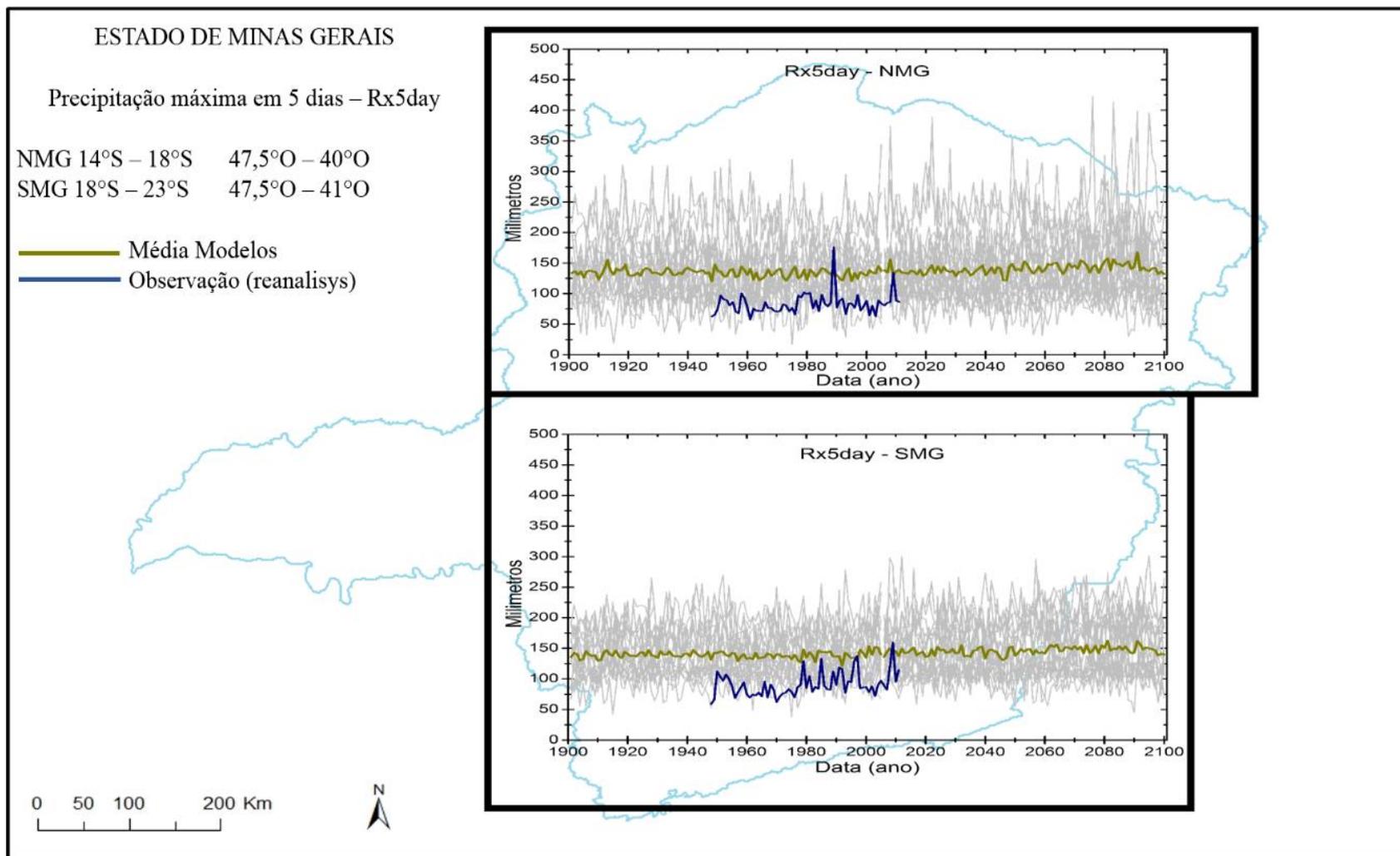


Figura 24 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **Rx5day** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.

Quadro 4 – Coeficiente angular da reta de tendência das observações e simulações dos períodos indicados para as regiões NMG e SMG dos índices de precipitação.

			1961 – 1990	1948 - 2005	2011 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100
CDD	NMG Dias/ década	Observação	-19,74	-4,53	-	-	-
		Modelo	0,34	0,71	0,56	1,47	0,00
	SMG Dias/ década	Observação	-7,06	-0,62	-	-	-
		Modelo	0,61	0,36	-0,42	0,45	0,32
CWD	NMG Dias/ década	Observação	2,79	-0,69	-	-	-
		Modelo	0,20	-0,01	-0,50	0,40	-0,33
	SMG Dias/ década	Observação	-0,15	-0,16	-	-	-
		Modelo	0,39	0,04	-0,61	-0,15	-0,42
R95p	NMG mm/ década	Observação	66,70	10,38	-	-	-
		Modelo	2,11	0,29	5,20	9,45	-6,15
	SMG mm/ década	Observação	67,43	14,58	-	-	-
		Modelo	2,58	0,91	1,75	12,08	-6,25
Rx5day	NMG mm/ década	Observação	11,69	1,48	-	-	-
		Modelo	1,17	-0,02	0,60	2,94	-3,02
	SMG mm/ década	Observação	9,40	2,87	-	-	-
		Modelo	1,81	0,65	0,38	3,48	-1,49

4.3.2 Índices extremos de temperatura

A série temporal do índice extremo noites frias (TN10p) é apresentado na Figura 25. Nota-se que os dados de observação apresentam razoável similaridade à média gerada pelo conjunto dos modelos, e a tendência de diminuição de TN10p é evidente tanto no período de observação/simulação quanto de projeção. Outra característica notável nos dados é a tendência de redução da variabilidade interanual de TN10p, tanto para as observações e simulações, quanto para as projeções. Para o NMG, a observação apresenta tendência de queda, tanto no período de 1948-2005 (-1,95 %/década) quanto para 1961-1990 (-2,98 %/década) enquanto a média dos modelos apresenta tendência de queda para todos os períodos simulados assim como para o período projetado, incluindo até o final do século XXI (-0,86, -0,24 e -0,04 %/década para 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, respectivamente). Para o SMG a observação mostra tendência de queda no período de 1948-2005 (-1,65 %/década) assim como no período de 1961-1990 (-2,50 %/década) e todos os valores do coeficiente angular para os períodos futuros simulados pelos modelos apresentam tendência de diminuição até para o período de 2071-2100 (-0,88, -0,35 e -0,03 %/década para 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, respectivamente).

Como se sabe, é comum que a temperatura mais alta de um dia ocorra durante o início da tarde e a mais baixa durante o início da manhã. A diminuição neste índice pode indicar um número menor de noites frias durante o ano, o que significa, na prática, noites mais quentes que o normal até então para cada região. Mudanças drásticas e contínuas podem, também, significar a mudança na floração de algumas culturas que demandam um número específico de manhãs frias durante o ano ou causar distúrbio de sono nas populações mais vulneráveis.

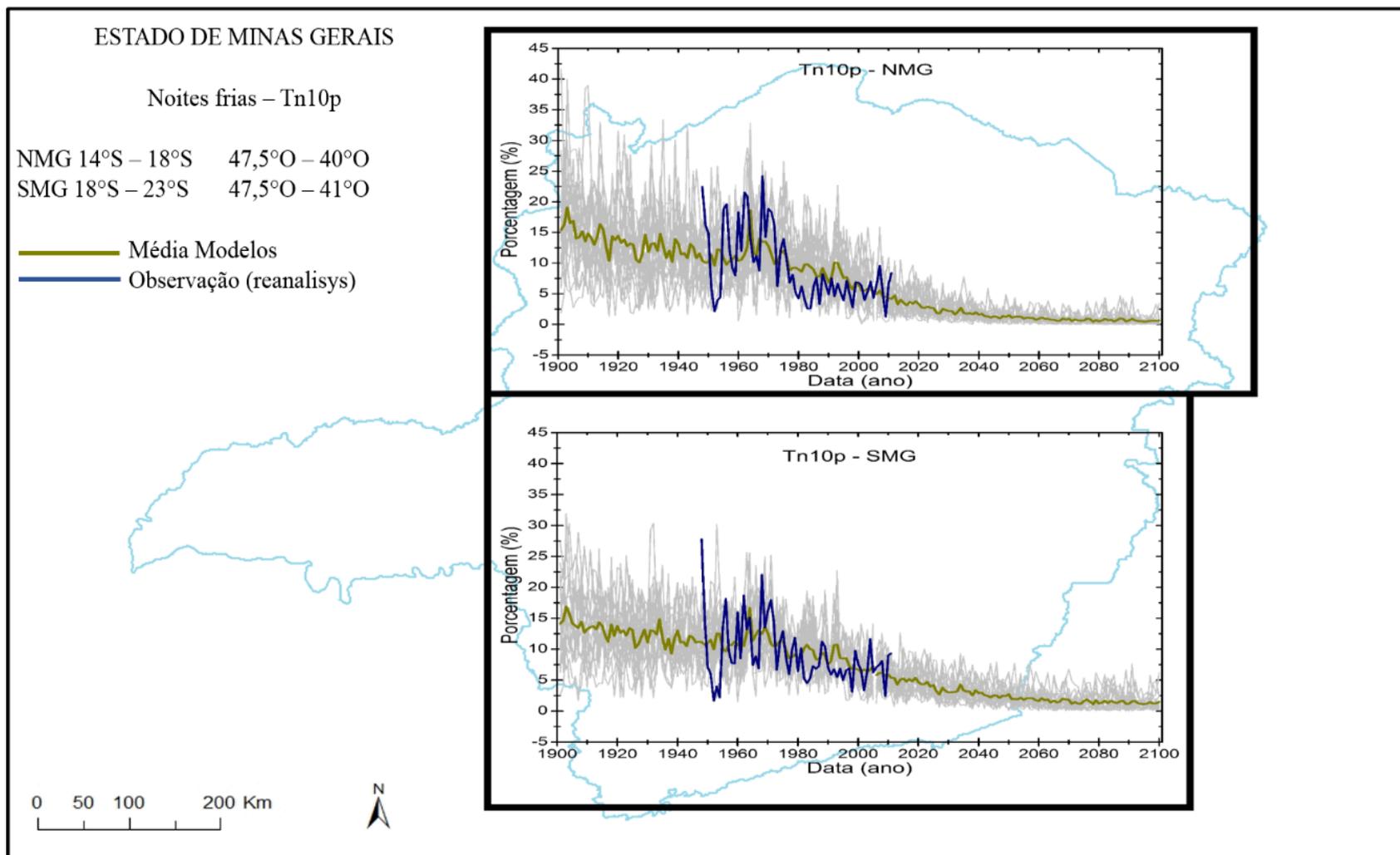


Figura 25 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **TN10p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.

Com relação ao índice noites quentes (TN90p; Figura 26), nota-se que os dados de observação são bastante similares à média gerada pelo conjunto dos modelos, assim como os modelos individuais, e a tendência de aumento de TN90p é evidente, em concordância com as projeções de TN10p. Para o NMG, a observação apresenta tendência de aumento tanto no período de 1948-2005 (3,04 %/década) quanto para 1961-1990 (5,78 %/década) enquanto a média dos modelos apresenta tendência de aumento para todos os períodos simulados assim como para toda projeção, no período recente de 2011-2040 (6,52 %/década) ou até o final do século XXI (1,40 %/década). Já para o SMG a observação também mostra tendência de aumento no período de 1948-2005 (2,47 %/década) assim como no período de 1961-1990 (4,52 %/década) e todos os valores de coeficiente angular para os períodos futuros simulados pelos modelos tendem ao aumento (5,55, 4,19 e 1,50 %/década para 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, respectivamente). Cabe ressaltar também que a tendência das projeções para todos os períodos de aumento das noites quentes, TN90p, é mais acentuada que a diminuição das noites frias, TN10p (Quadro 5).

Como existe um cenário de aumento de temperatura já mostrado pelo IPCC (2013), tem-se que este aumento no número de noites quentes parece bastante coerente, uma vez que se é detectado aumento na média das temperaturas durante todo o ano. Assim estes resultados apontam para verões mais quentes e invernos menos frios em Minas Gerais. Outro agravante associado a este resultado está relacionado com epidemias de dengue, febre amarela e outras doenças transmitidas por vetores que se propagam ou se alimentam com maior intensidade em períodos mais quentes (CONFALONIERI *et al.*, 2009; TIBÚRCIO e CORRÊA, 2012). Minas Gerais ainda possui localidades em que insetos vetores de determinadas enfermidades não ocorrem, mas esta situação se vê comprometida conforme estas tendências têm se confirmado, por exemplo, ao Sul de Minas ou regiões de grande altitude (Serra do Cipó e Mantiqueira).

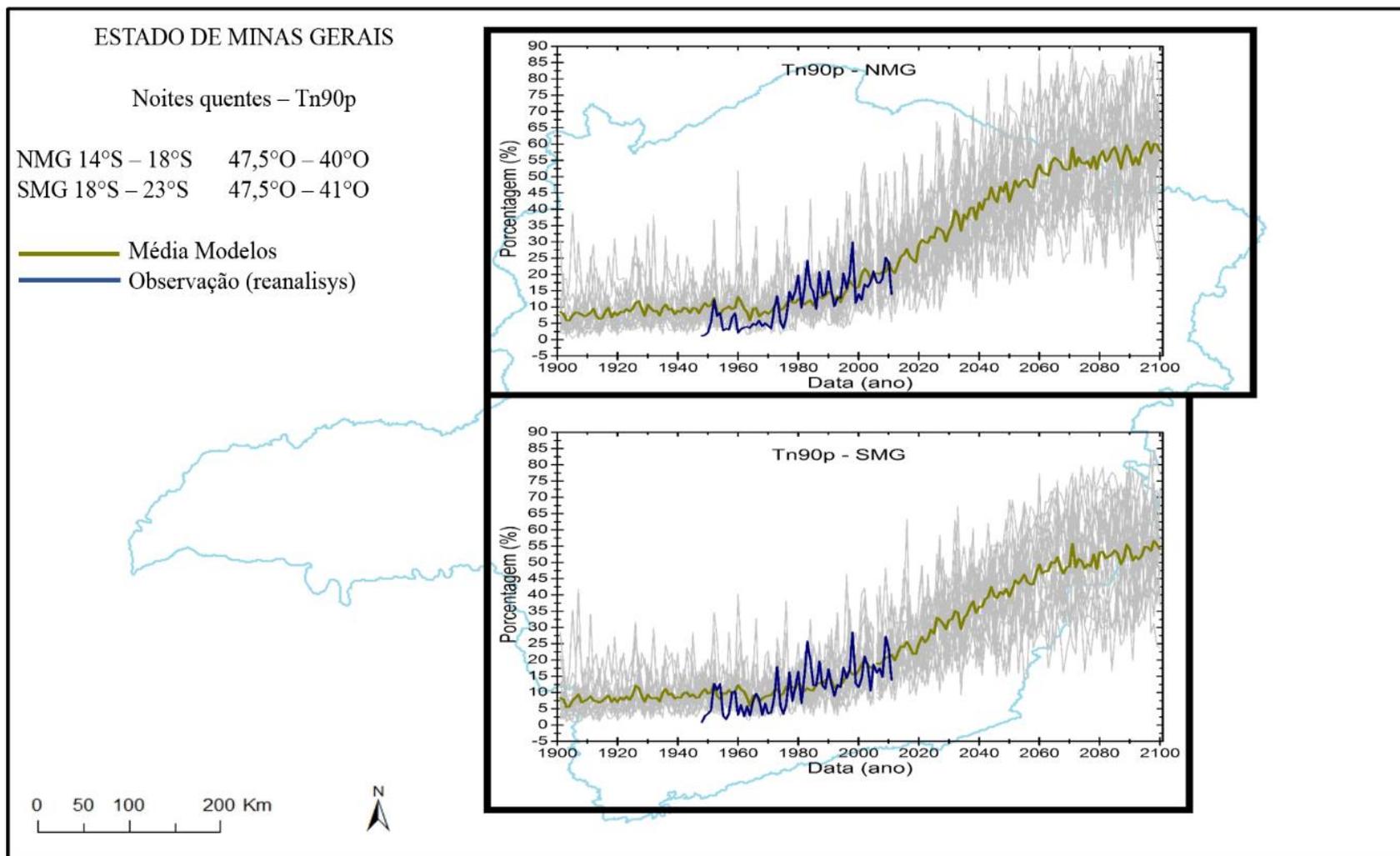


Figura 26 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **TN90p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.

Para o índice relacionado a dias frios (TX10p; Figura 27), o qual mostra a porcentagem do ano em que a temperatura diária máxima é menor que o percentil 10 da média para o período base 1961-1990, tem-se que os dados de observação e simulação (média do conjunto de modelos) apresentam a mesma tendência de queda para o período observado assim como para as projeções futuras. Para o NMG a observação apresenta tendência de queda durante o período de 1948-2005 (-1,50 %/década), mas ligeiro aumento quando se analisar apenas o período 1961-1990 (0,39 %/década) enquanto a média dos modelos apresenta tendência de queda para todos os períodos simulados no período histórico ou para o futuro, incluindo até o final do século XXI (-0,16 %/década). Para o SMG a observação também mostra tendência de queda nos valores de TX10p no período de 1948-2005 (-1,00%/década) porém para o período de 1961-1990 a tendência é de ligeiro aumento (0,04 %/década) e todos os valores de coeficiente angular para os períodos futuros simulados pelos modelos tendem à diminuição de tal índice (-0,87, -0,43 e -0,13 %/década para 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, respectivamente). Estas mudanças apontam ainda mais para um cenário de aquecimento que pode contribuir para o desconforto daqueles que trabalham em situações de calor intenso e que não poderiam mudar suas condições de trabalho, por exemplo.

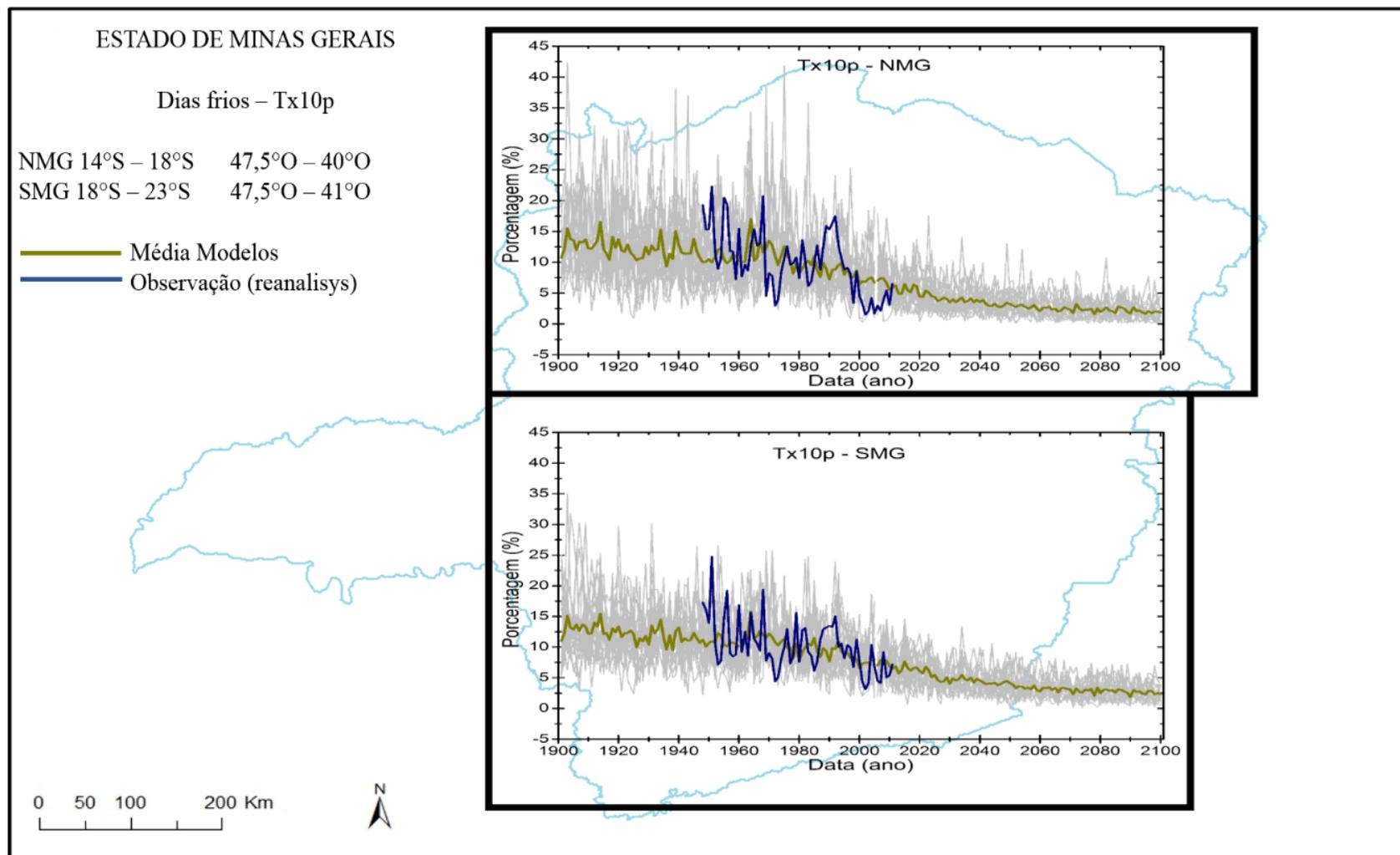


Figura 27 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **TX10p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.

Na Figura 28 são apresentadas as simulações, observações e projeções relativas ao índice extremo dias quentes (TX90p). Nota-se que as simulações e observações concordam na tendência de aumento da porcentagem do ano em que a temperatura diária máxima é maior que o percentil 90, tanto na observação quanto para a simulação, em todos os períodos comparados. As simulações para os períodos futuros em curto, médio e longo prazo também apresentam uma tendência de aumento, a qual deve ser maior ao Norte e menor ao Sul, mas pode-se notar que a tendência de aumento de TX90p é evidente. Para o NMG a observação apresenta tendência de aumento tanto no período de 1948-2005 (2,53 %/década) quanto para 1961-1990 (0,34 %/década) enquanto a média dos modelos apresenta tendência de aumento para todos os períodos simulados assim como para toda projeção, no período recente de 2011-2040 (4,61 %/década) ou até o final do século XXI (1,92 %/década). Já para o SMG a observação mostra tendência de aumento no período de 1948-2005 (2,11 %/década) assim como no período de 1961-1990 (1,50 %/década) e para os períodos futuros projetados pelos modelos existe a tendência de aumento até para o período de 2071-2100 (1,55 %/década).

De forma geral, os índices extremos relacionados à temperatura apresentam tendências mais expressivas do que aquelas apresentadas para os índices de precipitação. Além disso, muitos dos modelos apresentam melhor desempenho em simular os padrões observados. Segundo as tendências observadas e projetadas, nota-se uma clara tendência de aumento de dias e noites quentes, e uma redução acentuada de dias e noites frias.

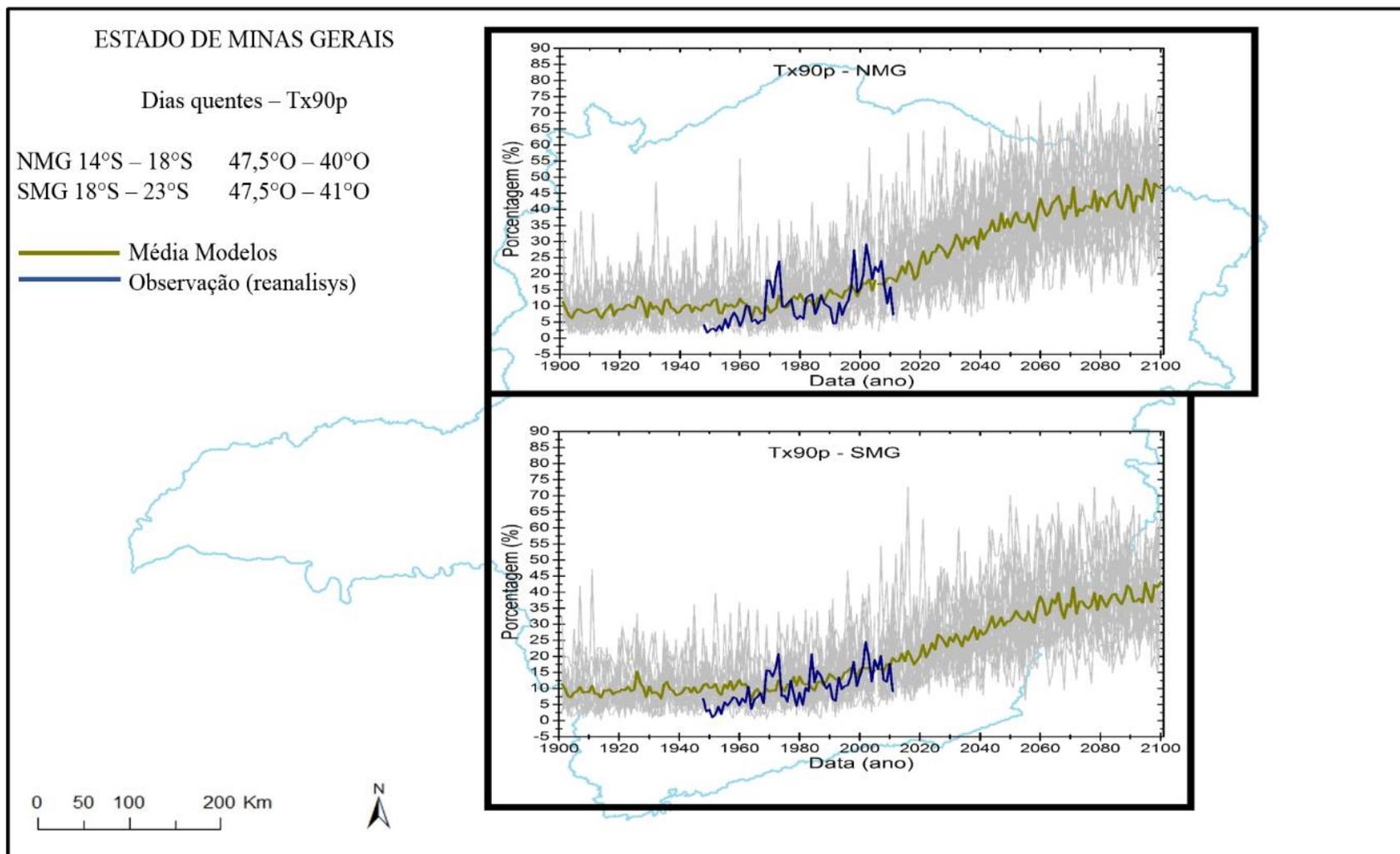


Figura 28 - Análise espaço-temporal da simulação do conjunto de modelos (1901-2100; cinza) comparados à observação (1948-2005; azul) do índice **TX90p** para a região norte (superior) e sul (inferior) de MG. Em verde tem-se a média dos modelos.

Quadro 5 – Idem ao Quadro 4, mas para os índices de temperatura.

			1961 - 1990	1948 – 2005	2011 - 2040	2041 - 2070	2071 - 2100
TN10p	NMG %/ década	Observação	-2,98	-1,95	-	-	-
		Modelo	-2,04	-1,06	-0,86	-0,24	-0,04
	SMG %/ década	Observação	-2,50	-1,13	-	-	-
		Modelo	-1,65	-0,90	-0,88	-0,35	-0,03
TN90p	NMG %/ década	Observação	5,78	3,04	-	-	-
		Modelo	1,79	1,59	6,52	4,30	1,40
	SMG %/ década	Observação	4,52	2,47	-	-	-
		Modelo	1,75	1,42	5,55	4,19	1,50
TX10p	NMG %/ década	Observação	0,39	-1,50	-	-	-
		Modelo	-1,51	-0,77	-0,86	-0,36	-0,16
	SMG %/ década	Observação	0,04	-1,00	-	-	-
		Modelo	-1,22	-0,67	-0,87	-0,43	-0,13
TX90p	NMG %/ década	Observação	0,34	2,53	-	-	-
		Modelo	1,55	1,24	4,61	3,01	1,92
	SMG %/ década	Observação	1,50	2,11	-	-	-
		Modelo	1,20	1,03	3,27	2,78	1,55

5. CONCLUSÕES

Vários trabalhos estão sendo feitos para estabelecer novas formas de constatar e avaliar as mudanças climáticas, principalmente no que se refere ao aumento de temperatura global. Dentre as metodologias está a análise de extremos climáticos, a qual mostra a intensidade e frequência de ocorrência de um evento extremo. Assim, os trabalhos mais recentes observados vêm confirmando que as mudanças climáticas são um fato científico (IPCC, 2014). Os modelos globais de clima projetam para o futuro possíveis mudanças em extremos climáticos, tais como ondas de calor, chuvas intensas, secas ou inundações.

Nesse contexto, o presente trabalho vem contribuir na análise de tais eventos extremos relacionados à variável temperatura e à precipitação, focando em todo o Brasil, mas principalmente no estado de Minas Gerais. Assim, o mesmo também encontra mudanças na ocorrência histórica de eventos extremos de precipitação e temperatura sobre tais regiões, assim como nas simulações de 19 Modelos de Circulação Geral (MCGs) utilizados pertencentes ao CMIP5 e nas projeções para o período futuro de tais modelos.

De forma geral, os índices baseados em temperatura são mais bem simulados que os baseados em precipitação. De fato, para os índices de precipitação, é mais comum que a simulação superestime os resultados com relação à observação, além de apresentar distribuição espacial um pouco heterogênea entre eles, principalmente nos índices R95p e Rx5day. Para simulação do índice CDD os melhores modelos são CCSM4, MRI-CGCM3 e CNRM-CM5 e os piores são GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M e IPSL-CM5A-MR, os quais superestimam a magnitude dos sinais e ampliam as áreas de distribuição espacial. Quanto ao índice CWD, para o qual as simulações tendem a subestimar os resultados, os melhores modelos são NorESM1-M, EC-EARTH e CCSM4 e os piores são MPI-ESM-LR, BCC-CSM1-1 e FGOAL-g2. No índice R95p, em que é comum superestimar os resultados da observação além de apresentar heterogeneidade espacial, os melhores modelos são Nor-ESM1-M, GFDL-ESM2M e CCSM4, os quais, apesar de superestimarem as magnitudes, possuem distribuição espacial semelhante ao observado; enquanto MRI-CGCM3, BCC-CSM1-1 e CanESM2 são os piores. Para Rx5day, os modelos dificilmente são coerentes com a distribuição espacial e com os valores da observação, sendo os melhores NorESM1-1M e GFDL-ESM2G e os piores BCC-CSM1-1 e MRI-CGCM3. Importante salientar que o modelo BCC-CSM1-1 aparece muitas vezes como um modelo que subestima os resultados em relação a observação, caracterizando-se como pouco confiável na simulação de eventos extremos de precipitação.

Quanto aos índices de temperatura, tem-se que, para a simulação do índice TN10p os melhores modelos são MIROC-ESM-CHEM, CNRM-CM5 e HadGEM2-ES e os piores são MIROC5, GFDL-ESM2M e GFDL-ESM2G. No que diz respeito ao índice TN90p os melhores modelos são MIROC5, GFDL-ESM2M e MRI-CGCM3 que mostram a diferença Norte/Sul para a distribuição espacial enquanto os piores são CanESM2, MIROC-ESM-CHEM e IPSL-CM5A-MR. Para o índice TX10p os melhores modelos são EC-EARTH, NorESM1-M e MRI-CGCM3, já os piores são GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M e MPI-ESM-LR. Para o índice TX90p os melhores modelos são GISS-E2-R, MRI-CGCM3 e FGOALS-g2 enquanto os piores são ACCESS1.0, HadGEM2-ES e IPSL-CM5A-MR. Para todos os casos de simulação de índices baseados em temperatura tem-se os valores muito próximos da observação, porém a distribuição espacial pode variar de acordo com o modelo.

Quanto às projeções climáticas, tem-se que os índices baseados em precipitação indicam para um pequeno aumento de CDD e pequena diminuição de CWD. A maior parte dos modelos é consistente com valores superiores a 10 dias ao ano, sendo mais observados no Nordeste. Concomitantemente, deve haver uma diminuição, com valores que podem ultrapassar os 20 dias/ano, de CWD de acordo com a maior parte dos modelos, principalmente ao Norte e Nordeste. Já para R95p a tendência é de aumento até o final do século XXI assim como para Rx5day o que pode significar aumento nos casos de enchentes e deslizamento de terra. Os modelos também apontam, de forma mais expressiva, para aumento de R95p na maior parte do Brasil, contudo não há nenhuma tendência clara no que diz respeito à distribuição espacial. Para Rx5day também é mais comum a projeção de aumento, sutil entre 5 e 40 mm/ano, com mais frequência sobre áreas do Centro-Sul brasileiro.

Assim como já se sabe, no Brasil a temperatura média vem aumentando ano após ano e isto pôde ser observado a partir da constatação do aumento dos índices extremos de temperatura, como dias quentes (TX90p) e noites quentes (TN90p) enquanto ocorre a diminuição dos índices de extremos de temperatura mínima, como dias frios (TX10p) e noites frias (TN10p). De acordo com os resultados baseados em temperatura pode-se dizer que existe, em Minas Gerais a tendência de aumento dos índices de TN90p e TX90p enquanto há tendência de diminuição de TN10p e TX10p, sendo que os modelos são coerentes entre si, tanto na distribuição quanto nos valores, para a projeção ao final do século XXI. Quanto ao índice TN10p, tem-se queda acima de 10% no número de noites frias ao ano, maior ao Norte e Nordeste e pouco menor ao Sul do Brasil; o índice TN90p indica aumento de noites quentes em todo Brasil, o que pode superar 70% ao ano ao Norte. O número de dias frios (TX10p) deve diminuir em mais de 80% ao ano,

de acordo com a maior parte dos modelos, principalmente ao Norte e Nordeste, enquanto que o número de dias quentes (TX90p) deve aumentar em todo Brasil, de forma mais expressiva ao Norte, pelo menos 30% ao ano, e menos ao Sul.

Quanto à análise de tendência dos índices, tem-se que a observação mostra diminuição de CDD nos períodos analisados no NMG e no SMG, enquanto a média dos modelos não ilustra tendência de aumento ou diminuição, sendo superestimada com relação à observação. A projeção de CDD, para o final do século XXI é de pouco ou nenhum aumento para ambas as regiões. Para CWD, a observação mostra aumento (diminuição) para o NMG (SMG) em 1961-1990 e diminuição nas duas regiões para 1948-2005, enquanto os modelos também apontam para diminuição até o final do século XXI. Cabe ressaltar que os modelos subestimam os resultados, o que é mais evidente para o SMG e que o espalhamento dos modelos no NMG assim como para SMG deixa os dados de observação em seu limite inferior (praticamente fora).

Não há grande diferença entre a observação no NMG e SMG para o índice R95p, apenas os maiores valores de R95p no SMG, o que corrobora com as características climatológicas do estado, com SMG mais chuvoso e NMG mais seco, onde se encontra o vale do Jequitinhonha, região conhecida por sofrer com as secas constantes. Ambas as regiões apresentam tendência de aumento, mais evidente no período de 1961-1990 e isto também é visto na média dos modelos. Quanto à projeção, os modelos mostram diminuição de R95p para o final do século XXI. Para o Rx5day, percebe-se que a média multimodelo superestima os resultados da observação, mas ambos apontam para aumento desse índice no SMG e NMG; quanto ao período futuro, os modelos projetam diminuição em ambas as regiões.

Para o índice TN10p as tendências de diminuição no número de noites frias estão presentes no NMG e no SMG, tanto na observação quanto nas simulações. Já para TN90p, as tendências de aumento são notadas em ambas as regiões, coerente ao índice TN10p. Cabe ressaltar que o aumento do número de noites quentes é maior no SMG. Os modelos simulam aumento de forma semelhante para as duas regiões aqui estudadas e projetam aumento de TN90p até o final do século XXI. Para TX10p, observa-se tendência de aumento no período 1961-1990, o que é diferente do período 1948-2005 e das simulações, já que são notados valores negativos. Tendência de aumento no NMG e SMG pode ser vista para o índice TX90p, sendo que, no SMG, o aumento foi maior em 1961-1990 que no NMG. Porém, se levado em conta a série histórica entre 1948-2005, o NMG apresenta aumento sutilmente maior. A tendência para o futuro é de aumento de TN90p nas duas regiões observadas sobre o estado.

Assim, com a realização deste trabalho espera-se ter contribuído frente à sociedade científica, principalmente para o Brasil, especificamente em Minas Gerais, com uma maior compreensão e detalhamento das alterações de índices climáticos extremos relacionados à temperatura do ar e precipitação, seja no período observado, seja no período futuro em termos de projeções climáticas.

5.1 – Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, seria importante uma melhor avaliação da eficiência dos modelos atuais sobre a climatologia no estado de Minas Gerais a partir da comparação com dados obtidos de estações meteorológicas disponíveis na região. Além disso, sugere-se uma avaliação dos padrões de extremos projetados segundo critérios de confiabilidade dos modelos em representar o clima presente.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. Chuvas em Minas Gerais já deixam 18 mortos; maioria vítima de deslizamentos. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 26 dez. 2013. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2013/12/26/interna_gerais,482485/>. Acesso em: 27 dez. 2013.
- ALVES, L. M., MARENGO, J. A., JÚNIOR, H. C., & CASTRO, C. Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil: Parte 1-Estudos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**. V. 20, n. 3, p. 385-394, 2005.
- AYOADE, J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. Tradução de Maria Juraci dos Santos. 10ª. ed., Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2004.
- AYRES, M. P.; LOMBARDEIRO, M. J. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. **Science of the Total Environment**, Washington, D.C., v. 262, n. 3, p. 263-286, 2000.
- BARROS, V., DOYLE, M., GONZÁLEZ, M., CAMILLONI, I., BEJARÁN, R., & CAFFERA, R. M. Climate variability over subtropical South America and the South American monsoon: a review. **Meteorologica**, v. 27, n. 1-2, p. 33-57, 2002.
- BRASIL. Análise da população brasileira aos impactos sanitários das mudanças climáticas. Ministério de Ciência e Tecnologia. Brasília, p. 201. 2005.
- BRASIL. Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/home/estatística/população/>>. Acesso em: 20 jan. 2014.
- CLARKE, L. E.; EDMONDS, J. A.; JACOBY, H. D.; PITCHER, H. M.; REILLY, J. M.; RICHELIS, R. G. CCSP synthesis and assessment product 2.1, Part A: scenarios of greenhouse gas emissions and atmospheric concentrations. **U. S. Government Printing Office**, Washington, DC, 2007.
- CONFALONIERI, U. E. C.; MARINHO, D. P.; RODRIGUEZ, R. E. Public health vulnerability to climate change in Brazil. **Climate Research**, Londres, v. 40, p. 175-186, 2009.
- DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, Boston, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.
- FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Revista do Instituto de Estudos avançados da USP**, v. 19 (53), p. 167-185, 2005
- FREITAS, C. D., CARVALHO, M. D., XIMENES, E. F., ARRAES, E. F., & GOMES, J. O. Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1577-1586, 2012.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, Londres, v.19, n.3, p.193-212, 2002.

GAN, M.A.; KOUSKY, V.E.; ROPELEWSKI, C.F. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, Boston, v. 17, p. 47-66, 2004.

GAN, M.A.; RAO, V. B.; MOSCATI, M.C.L. South American monsoon indices. **Atmospheric Science Letters**, v. 6, n. 4, p. 219-223, 2005.

GARCIA, S. R. **Variabilidade do Sistema de Monção da América do Sul: Relações com a Oscilação Decadal do Pacífico**. 2006. 33 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Determination of the onset dates of the rainy season in central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation. **Theoretical and Applied Climatology** v. 97, p. 361-372, 2009.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Some considerations on onset dates of the rainy season in Western-Central Brazil with antisymmetric outgoing longwave radiation relative to the equator. **International Journal of Climatology** v. 33, p. 188-198, 2013.

GARREAUD, R. D.; VUILLE, M.; COMPAGNUCCI, R.; MARENGO, J. Present-day South American climate. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 281, n. 3, p. 180-195, 2009.

GIATTI, L. L. Reflexões sobre Água de Abastecimento e Saúde. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 134-144, 2007.

GIORGI, F. Climate change hot-spots. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 8, 2006.

GREGORY, K.; GRUBLER, A.; JUNG, T. Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E. L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHRL, A.; ROGNER, H. H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. Special report on emissions scenarios, **Cambridge University Press**, UK, 2000.

GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v. 22, n. 2-3, p. 123-138, 2004.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, Boston, v. 16, p. 263–280, 2003.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of climate**, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T. Sudeste do Brasil: uma região de transição no impacto de eventos extremos da Oscilação Sul. Parte I: El Niño. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VII Congresso da FLISMET. Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia.

1998. Disponível em <<http://www.cbmet.com/cbm-files/13-00c6b871c86cce431d050e2b.pdf>> Acesso em: 14 de março de 2014.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of climate**, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998.

GRIMM, E. C.; JACOBSON, G. L. Jr.; WATTS, W. A.; HANSEN, B. C. S.; MAASCH, K. A. A 50,000-Year Record of Climate Oscillations from Florida and its Temporal Correlation. **Science**, v. 61, p. 9, 1993.

HASTENRATH, S. Climate Dynamics of the Tropics. **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, Netherlands, 488 p., 1991.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, Boston, v.2, p. 1388-1403, 1989

IPCC, 2007: PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSON, C. E.; Eds., Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, **Cambridge University Press**, Cambridge, UK, 976 pp., 2007.

IPCC, 2007: Summary for policymakers. In: SOLOMON, S.; QIN D.; MAMMING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds) 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 University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPCC, 2013: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX A, V.; MIDGLEY, P.M. (eds.) Summary for Policymakers. In: 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 University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014: FIELD, C.B., BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J.; MASTRANDREA, M.D.; BILIR, T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K.L.; ESTRADA, Y.O.; GENOVA, R.C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A.N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P.R.; WHITE, L.L. (EDS.) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

JONES, C.; Horel, J. D. A circulação da alta da bolivia e a atividade convectiva sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**; Salt Lake City, v. 5(1), 379-387, 1990.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL M.; SASHA S.; WHITE G.; WOOLLEN J.; ZHU Y.; CHELLIAH M.; EBISUZAKI W.; HIGGINS W.; JANOWIAK J.; MO K.C.; ROPELEWSKI C.; WANG J. LEETMAA A.; REYNOLDS R.; JENNE R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American meteorological Society**, v.77, n.3, p.437-471, 1996.

KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; MOURA, A. D. Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two contrasting years. **Journal of Climatology**, v. 8, p. 477-488, 1988.

KISTLER, R.; KALNAY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; KANAMITSU, M.; KOUSKY, V.; VAN DEN DOOL, H. JENNE, R.; FIORINO, M. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. **Bulletin of the American Meteorological society**, v.82, n.2, p.247-267, 2001.

KOUSKY, E. V. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, p.488-498, 1980.

KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. Extremes in the Southern Oscillation and their Relationship to Precipitation Anomalies with Emphasis on the South American Region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, v. 4, n. 2, p. 351-363, 1989.

KOVATS, Sari; LLOYD, Simon. Health effects of climate change: a review of impact studies. Climate Cost project. **London School of Hygiene and Tropical Medicine**, London, 2010.

LEWIS, S. L., BRANDO, P. M., PHILLIPS, O. L., VAN DER HEIJDEN, G. M., NEPSTAD, D. The 2010 amazon drought. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 554-554. 2011.

MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and applied climatology**, v. 78, n. 1-3, p. 79-96, 2004.

MARENGO, J. A. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current state-of-the-art. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1-19, 2006.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2008a.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p. 83-96, 2008b.

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V. E.; FILIZOLA, N. P.; WAINER, I. C. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. **Journal of Climate**, Boston v. 14, p. 833–852, 2001.

McTAGGART-COWAN, R.; BOSART, L. F.; DAVIS, C. A.; ATALLAH, E. H.; GYAKUM, J. R. EMANUEL, K. A. **Analysis of Hurricane Catarina (2004)**. Monthly Weather Review, Washington, v. 134, p. 3029-3053

MELLO, C. R.; ALVARENGA, C. C.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciências Agro técnicas**, Lavras, v.32, n.5, p. 532-539, 2008.

MOLION, L. C. B. Climatologia da Região Amazônica: Mecanismos de Precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 107-117, 1987.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p 1-10, 2002.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILLBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, p. 747-756, 2010.

MUZA, M. N., CARVALHO, L. M., JONES, C., LIEBMANN, B. Intraseasonal and interannual variability of extreme dry and wet events over southeastern South America and the subtropical Atlantic during austral summer. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, 1682-1699, 2009.

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GIANASI, Lussandra Martins; COSTA, Pedro Carvalho; DOS SANTOS TUBALDINI, Maria Aparecida. A contribuição da geografia agrária em pesquisa-ação e a produção de alimentos agroecológicos em comunidades rurais e quilombolas do vale do jequitinhonha. **Revista GeoNordeste**, Sergipe, n. 2, p. 155-172, 2014.

NASCIMENTO, D. M. C.; DOMINGUEZ, J. M. L. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v.39(3), p.395-408, 2009.

NOBRE, P.; MARENGO, J. A.; CAVALCANTI, I. F. A.; OBREGON, G. Seasonal to decadal predictability and prediction of South American climate. **Journal of Climate**, Boston, v. 19, p. 5988–6004, 2006.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.11, p.615-622, 2007.

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D21, p. 26, (539) - 26, (551), 1996.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p. 81–92, 1990.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, M. S.; IWABE, C. M. N.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Análise de um ciclone semi-estacionário na costa sul do Brasil associado a bloqueio atmosférico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.4, p. 407 - 422, 2009

RIBEIRO, E. M.; GALIZONI, F. M. Água, população rural e políticas de gestão: o caso do vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 129-146, 2003.

RIBEIRO, Wagner Costa. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 297-322, 2010.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly weather review**, Boston, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. **Journal of climate**, Boston, v. 2, n. 3, p. 268-284, 1989.

ROQUE, A. M.; ALENCAR, E. Turismo no espaço rural: um estudo multicaso nas regiões sul e sudoeste de Minas Gerais. 2001. Tese de Doutorado. UFPA.

SANT'ANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

SILLMANN, J. e ROECKNER, E. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. Received: **Climatic Change**, Princeton, v. 86, p. 83-103, 2007

SILLMANN, J., KHARIN, V. V.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 1: Model evaluation in the present climate. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 2013b.

SILLMANN, J., KHARIN, V. V.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 2: Future climate projections. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 2013a.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo a Curto Prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 133-150, 1987.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Washington D.C., v. 93, n. 4, p. 485-498, 2012.

THOMSON, A. M.; CALVIN, K. V.; SMITH, S. J.; KYLE, G. P.; VOLKE, A.; PATEL, P.; DELGADO-ARIAS, S.; BOND-LAMBERTY, B.; WISE, M. A.; CLARKE, L. E.; EDMONDSET, J. A. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. **Climatic Change**, New York, v. 109, n. 1-2, p. 77-94, 2011.

TIBÚRCIO, L. H.; CORRÊA, M. P. Análise da vulnerabilidade da microrregião de Itajubá por meio do IVG com vistas à mitigação dos impactos causados pelas mudanças climáticas. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. XV, n. 3, p. 123-139, 2012.

TORRES, R. R.; LAPOLA, D. M.; MARENGO, J. A.; LOMBARDO, M. A. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic change**, New York, v. 115, n. 3-4, p. 597-609, 2012.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G. C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J. F.; MASUI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S. J.; ROSE, S. K. The representative concentration pathways: an overview. **Climatic Change**, New York, v. 109, p. 5 - 31, 2011.

ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, G. C.; JONES, P.; TANK, A. K.; PETERSON, T. C.; TREWIN, B.; ZWIERS, F. W. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, New York, v. 2, n. 6, p. 851-870, 2011.

ZHANG, X.; HEGERL, G.; ZWIERS, F. W.; KENYON, J. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. **Journal of Climate**, Boston, v. 18, n. 11, p. 1641-1651, 2005.

ZHOU, J.; LAU, K.-M. Does a monsoon climate exist over South America? **Journal of Climate**, v. 11, p. 1020–1040, 1998: