

Artigo

Tendência dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais

Ulisses Antônio Natividade, Sâmia Regina Garcia, Roger Rodrigues Torres

¹Instituto de Recursos Naturais; Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.

Recebido em 7 de Dezembro de 2015 – Aceito em 31 de Agosto de 2016.

Resumo

Indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação sobre Minas Gerais são analisados usando 19 Modelos de Circulação Geral pertencentes ao CMIP5 no período 1948-2005 e nos períodos de 2041-2070 e 2071-2100. Os dados de Reanálise (NCEP/NCAR) também são utilizados para o período 1948-2005 para comparação com as simulações dos modelos, assim como dados de estações convencionais para o período de 1961-2014. A análise da tendência dos índices utilizados é feita através do teste estatístico de Mann-Kendall e do Estimador da Inclinação de Sen para médias espaciais dos índices em duas áreas de estudo: no Norte e no Sul de Minas Gerais (NMG e SMG, respectivamente). Os índices relacionados à temperatura mostram claramente tendências de aumento dos extremos de tal variável, sendo a maioria significativa e mostrando aumento de dias e noites quentes (TX90p e TN90p) e uma redução de dias e noites frias (TX10p e TN10p) no estado de MG (tanto para o período presente quanto para o período futuro). Para os índices relacionados a precipitação, a tendência não é nítida e existem poucos valores significativos, podendo-se observar um aumento das condições secas no NMG (aumento do CDD no período presente e em 2041-2070 e diminuição do Rx5day e R95p em 2071-2100) e das condições úmidas no SMG (aumento do Rx5day e R95p em 2041-2070), intensificando as diferenças já existentes no estado. Portanto, esses resultados podem ter implicações importantes em estudos de extremos climáticos e atividades de monitoramento das características extremas de temperatura e precipitação em Minas Gerais.

Palavras-chave: variabilidade climática, eventos climáticos extremos, modelos de circulação geral, projeções climáticas, Minas Gerais.

Trend of Observed and Projected Extreme Climate Indices in Minas Gerais State

Abstract

Climate extreme indices of temperature and precipitation over Minas Gerais are analyzed by using 19 General Circulation Models belonging to the CMIP5 in 1948-2005 period and during the periods of 2041-2070 and 2071-2100. The Reanalysis (NCEP / NCAR) data is also used for the 1948-2005 period for comparison with simulations models, as well as, conventional meteorological station data for the 1961-2014 period. Trend analysis of these indices is made through the statistical Mann-Kendall and Sen's Slope estimator for spatial means of the indexes in two study areas: north and south of Minas Gerais (NMG and SMG, respectively). Generally, the temperature-related indices have higher tendencies of values than the precipitation rates, are significant in most and show an increase of hot days and nights and a reduction of cold days and nights in Minas Gerais. Regarding to precipitation, even with few significant amounts, one can observe an increase in dry conditions in the NMG region and humid conditions in the SMG, intensifying the existing differences in the state. Therefore, these results may have important implications for studies of climatic extremes and monitoring activities of the extreme features of temperature and rainfall in Minas Gerais.

Keywords: climate variability, extreme weather events, general circulation models, climate projections, Minas Gerais.

1. Introdução

Eventos extremos de clima têm se tornado cada vez mais comuns em diferentes regiões da América do Sul. Como exemplo, na Amazônia, pode-se citar as grandes secas de 2005 e 2010 (Lewis *et al.*, 2011) e as grandes inundações de 2008/2009 (Marengo *et al.*, 2012), 2012 (Marengo *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2013) e 2014 (Espinoza *et al.*, 2014), assim como a estiagem no Sudeste Brasileiro em 2014/2015 (Coelho *et al.*, 2015). Tais eventos motivam a comunidade acadêmica a buscar explicações mais contundentes acerca de fenômenos que ocorrem hoje e podem ocorrer no futuro em função das mudanças nas características climáticas no Brasil e no mundo.

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), publicado em 2013. Segundo o relatório, pode-se afirmar que alterações climáticas vêm sendo observadas em todo planeta, como o aumento no nível médio do mar, redução das coberturas de gelo e neve, aumento da temperatura do ar e dos oceanos, sendo muitas das mudanças observadas desde 1950 sem precedentes através das décadas (IPCC, 2013; 2014). Ademais, modificações nos padrões de precipitação merecem grande destaque entre as mudanças climáticas observadas, tendo em vista que podem vir a modificar a disponibilidade de chuvas em uma ou outra região (Marengo, 2008), alterando, assim, as condições de abastecimento e irrigação em propriedades produtoras ou mananciais importantes, como foi observado no decorrer dos anos de 2013 a 2015 em regiões do Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Para constatação dessas mudanças, indicadores de extremos climáticos podem ser utilizados, os quais apontam a intensidade e a frequência de tais eventos extremos em todo o globo (Sillmann *et al.*, 2013a; 2013b).

Nesse contexto, observa-se que o estado de Minas Gerais, localizado na região Sudeste do Brasil, é integrante do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS), o que faz com que o mesmo possua um ciclo anual de precipitação e temperatura bem definido, com inverno frio e seco e verão quente e chuvoso (Zhou e Lau, 1998; Marengo *et al.*, 2001; Gan *et al.*, 2004; Garcia e Kayano, 2009; 2013; Santos e Garcia, 2016; Garcia *et al.*, 2015). Como o estado é um expressivo produtor de alimentos, conta com rios importantes na geração de energia elétrica e possui um importante potencial turístico, nota-se que tais atividades são vulneráveis a eventos extremos. Além disso, esse estado, assim como todo o Brasil, sofre com a desigualdade social e o mau gerenciamento de problemas socioambientais que podem colocar uma significativa parcela de sua população em risco. Essa 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. Essa situação aliada a políticas públicas pouco efetivas e crescimento

desordenado das cidades justificam as pesquisas acerca dos eventos climáticos extremos e suas consequências na região.

Mudanças em extremos climáticos foram identificadas por Frich *et al.* (2002) a partir de dados observados de 10 índices de extremos climáticos de temperatura e precipitação, sendo alguns eventos extremos muito localizados enquanto outros são de escala global. Os autores constataram que a maioria dos resultados baseados na temperatura do ar mostra um aquecimento no Hemisfério Norte e na 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). Os pesquisadores ainda notaram o aumento em todos os índices de eventos de precipitação intensa no Sul da África, Oeste da Rússia, partes da Europa e leste dos Estados Unidos.

Além disso, constata-se que alguns índices gerados a partir dos dados dos Modelos de Circulação Geral (MCG) integrantes do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) foram analisados por Sillmann *et al.* (2013a; 2013b). 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.

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 utilizando 6 modelos do CMIP5 no cenário RCP 8.5. A maioria das projeções mostra mudanças na estação chuvosa como aumento da amplitude, início adiantado, final atrasado e, conseqüentemente, aumento na 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.

Além desse aspecto, verifica-se que indicadores de mudanças climáticas são construídos com o foco de monitorar onde e como essas mudanças ocorrem, sendo que, tais estudos, tentam explicar por que a frequência e/ou severidade dos eventos extremos de tempo e clima vieram mu-

dando nas últimas décadas do século XX (Frich *et al.*, 2002).

Diversos estudos já analisaram as tendências observadas e projetadas de indicadores climáticos sobre diferentes regiões do Brasil e América do Sul como um todo, utilizando modelos climáticos globais e regionais (por exemplo: Cavalcanti *et al.*, 2015; Silva, 2014, 2015; Marengo *et al.*, 2009, 2010, 2013; Marengo, 2007; Obregón e Marengo, 2007; Rusticucci *et al.*, 2010; Skansi *et al.*, 2013; Valverde e Marengo, 2014). No entanto, nenhum desses estudos avaliaram especificamente o estado de Minas Gerais e utilizaram uma ampla gama de modelos climáticos provenientes do CMIP5. Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar a tendência de eventos climáticos extremos de temperatura e precipitação, tanto observados, como simulados e projetados por 19 modelos climáticos integrantes do 5º Relatório do IPCC, na região do estado de Minas Gerais até o final do século XXI. A grande importância deste estudo se dá pelo fato de que as áreas de maior vulnerabilidade socioclimática no Brasil são mais numerosas no Sudeste e Nordeste do país (Torres *et al.*, 2012), com destaque para a região Sudeste, que é a mais populosa (IBGE, 2010).

2. Material e métodos

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) a partir de 19 MCGs listados na Tabela 1 pertencentes ao CMIP5 (Taylor *et al.*, 2012) e a partir dos dados de Reanálise do *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR). Além dos dados de Reanálise, também são utilizados para avaliação índices de extremos climáticos calculados a partir de dados diários de precipitação e temperatura máxima e mínima provenientes de estações meteorológicas convencionais disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, abrangendo o período de 1961-2014. Para o cálculo de tais índices foi utilizado o *RclimDex*, um código em linguagem R disponibilizado pelo *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI). Esses dados estão disponíveis nos endereços eletrônicos do INMET e do ETCCDI.

Com relação aos dados das estações convencionais, inicialmente pretendia-se utilizar dados de 41 estações. No entanto, para o cálculo dos índices é necessário que as estações tenham no mínimo 75% de dados válidos, o que reduziu o número de estações para apenas 9 (Aimorés, Araçuaí, Araxá, Belo Horizonte, Bom Despacho, Carbonita, Espinosa, Salinas e Unai), ressaltando assim a dificuldade da obtenção de dados observados de indicadores de extremos climáticos. Adicionalmente, das 9 estações restantes (Tabela 2), cinco delas estão localizadas na área norte de Minas Gerais e quatro na área sul do estado. Tais áreas serão especificadas a seguir.

Os dados anuais de extremos climáticos de temperatura e de precipitação para cada modelo (resolução espacial

Tabela 1 - Modelos de Circulação Geral do CMIP5 utilizados, com as respectivas instituições responsáveis e resoluções espaciais.

Modelo	Instituição de origem	Resolução espacial
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), Estados Unidos da América (EUA)	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, EUA	2,0° x 2,5°
GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, EUA	2,0° x 2,5°
GISS-E2-R	NASA / Goddard Institute for Space Studies, EUA	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°

Tabela 2 - Estações convencionais utilizadas nos cálculos dos índices.

Município	Código	Latitude (graus)	Longitude (graus)	Altitude (m)
Aimorés	83595	-19,53°	-41,09°	83
Araçuaí	83442	-16,83°	-42,05°	289
Araxá	83579	-19,60°	-46,94°	1024
Belo Horizonte	83587	-19,93°	-43,95°	915
Bom Despacho	83533	-19,71°	-45,36°	695
Carbonita	83485	-17,53°	-43,00°	736
Espinosa	83338	-14,91°	-42,28°	570
Salinas	83441	-16,15°	-42,28°	471
Unaí	83428	-16,36°	-46,88°	460

Fonte: INMET.

conforme Tabela 1) e da Reanálise (resolução espacial 2,5° x 2,5°) podem ser obtidos através do endereço eletrônico do Centro Canadense para Modelagem e Análise Climática (CCCma).

As simulações e projeções dos MCGs 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). Nesse cenário, as projeções são para um futuro onde a forçante radiativa total se estabiliza em 4,5 W/m² antes de 2100. Maiores detalhes acerca dos cenários RCPs podem ser encontrados em Moss *et al.* (2010), e van Vuuren *et al.* (2011).

Para o presente estudo, os índices escolhidos são divididos em duas categorias: índices de Temperatura (TN10p, TX10p, TN90p e TX90p) e índices de Precipitação (CDD, CWD, R95p e RX5day). A descrição dos mesmos encontra-se na Tabela 3. Tais indicadores foram primeiramente calculados para cada ponto de grade de cada modelo individual, e depois foram realizadas as médias espaciais descritas a seguir.

Para análise da tendência linear dos índices utilizados no presente trabalho foram calculadas médias espaciais dos mesmos para os períodos de 1948-2005 (para os dados de Reanálise), 1901-2005 (para as simulações dos modelos) e 2005-2100 (para as projeções dos modelos), em duas áreas do estado de Minas Gerais: no Norte de MG (NMG), limitada por 18° S, 14° S, 47,5° O e 40° O e no Sul de MG (SMG), limitada por 23° S, 18° S, 47,5° O e 41° O. As análises de tendência dos índices não foram feitas com os dados de estação pela grande descontinuidade da série. A escolha da divisão nessas áreas foi feita com base no trabalho de Torres *et al.* (2012), tendo em vista que existe uma separação aproximada norte/sul de Minas Gerais dos sinais do índice regional de mudanças climáticas definido pelos autores nessas áreas. As médias espaciais foram calculadas, pois o enfoque foi analisar as diferenças temporais mais do que as diferenças espaciais. Em seguida, elaborou-se, ainda, uma tabela com os valores das tendências lineares relativas à Reanálise (1948-2005) e para três períodos dos

Tabela 3 - Índices anuais utilizados e suas respectivas descrições. Todos os percentis são determinados com relação ao período 1961-1990.

Índice (unidade)	Definição
TN10p (%) <i>Noites frias</i>	Percentagem de dias no ano com temperatura mínima abaixo do percentil 10
TN90p (%) <i>Noites quentes</i>	Percentagem de dias no ano com temperatura mínima acima do percentil 90
TX10p (%) <i>Dias frios</i>	Percentagem de dias no ano com temperatura máxima abaixo do percentil 10
TX90p (%) <i>Dias quentes</i>	Percentagem de dias no ano com temperatura máxima acima do percentil 90
CDD (dias) <i>Dias secos consecutivos</i>	Número máximo de dias no ano consecutivos com precipitação abaixo de 1 mm
CWD (dias) <i>Dias úmidos consecutivos</i>	Número máximo de dias no ano 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 anual de precipitação em 5 dias consecutivos

Referência: Adaptado de Sillmann *et al.* (2013a).

dados dos Modelos (1948-2005, 2041-2070 e 2071-2100) até o fim do século XXI, tendo em vista que alguns índices possuem diferentes tendências dependendo do período analisado.

Para análise estatística da tendência linear das séries estudadas, dois métodos não paramétricos são utilizados: o teste de Mann-Kendall e o estimador da inclinação de Sen. Cabe ressaltar que a análise da tendência e de sua significância em séries temporais hidrometeorológicas tem sido feita em vários trabalhos através do teste de Mann-Kendall (p.e., Douglas *et al.*, 2000; Yue *et al.*, 2002) e do estimador da inclinação de Sen (p.e., Yue e Hashino, 2003; Yunling e Yiping, 2005).

No teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), o valor de S é calculado da seguinte maneira:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sin(x_j - x_i) \quad (1)$$

em que n é a quantidade de pontos da série, x_i e x_j são os valores dos dados nas séries temporais i e j ($j > i$), respectivamente, e $\sin(x_j - x_i)$ é a função sinal, definida como:

$$\sin(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, (x_j - x_i) > 0 \\ 0, (x_j - x_i) = 0 \\ -1, (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Assim, a variância de S é calculada pela fórmula:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

em que t_i é o número de dados com valores iguais em certo grupo e m é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo i . Assim, o teste de Mann Kendall é dado pela Eq. (4):

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, (S > 0) \\ 0, (S = 0) \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, (S < 0) \end{cases} \quad (4)$$

Logo, valores positivos (negativos) de Z_S indicam tendência de aumento (diminuição) da variável analisada. Como os testes de tendência são feitos em um nível de significância α , a hipótese nula é rejeitada quando $|Z_S| > Z_{1-\alpha/2}$ (com o valor de $Z_{1-\alpha/2}$ obtido da tabela de distribuição normal padrão) e, assim, uma tendência significativa existe na série temporal. Os níveis de significância utilizados na presente análise foram $\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$ e $\alpha = 0,001$.

Quanto ao estimador da inclinação de Sen, apresenta-se o seguinte cálculo para estimar a inclinação da tendência de n pares de dados:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (5)$$

em que $i = 1, \dots, n$, x_j e x_k são os valores das séries nos tempos j e k ($j > k$), respectivamente. Assim, os n valores de Q_i são ordenados do menor para o maior e a mediana da inclinação (que é o estimador da inclinação de Sen) é calculada por $Q_{med} = Q_{[(n+1)/2]}$ se n é ímpar e por $Q_{med} = \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}$ se n é par.

3. Resultados e Discussão

A análise a seguir ilustra as séries temporais dos índices utilizados no presente trabalho e a discussão sobre a tendência das mesmas, a qual é utilizada como parâmetro para fornecer a taxa de aumento ou diminuição, com relação ao tempo, dos índices analisados (Tabela 4, para TN10p, TN90p, TX10p e TX90p e Tabela 5, para CDD, CWD, R95p e RX5day).

Tabela 4 - Teste de Mann-Kendall e Estimador da inclinação de Sen da observação, simulação e projeção nos períodos indicados para as regiões NMG e SMG dos índices de temperatura.

	Teste	Reanálise		Modelos		
		1948-2005	1948-2005	2041-2070	2071-2100	
TN10p	NMG	Z_S	-4,23***	-6,40***	-4,96***	-1,39
		Q_{med}	-0,192***	-0,106***	-0,024***	-0,004
	SMG	Z_S	-3,01**	-6,25***	-4,89***	-0,54
		Q_{med}	-0,092**	-0,091***	-0,036***	-0,003
TN90p	NMG	Z_S	6,52***	6,56***	5,28***	2,85**
		Q_{med}	0,283***	0,155***	0,430***	0,157**
	SMG	Z_S	5,5***	6,59***	5,67***	3,14**
		Q_{med}	0,237***	0,141***	0,419***	0,173**
TX10p	NMG	Z_S	-3,51***	-5,66***	-4,50***	-2,00*
		Q_{med}	-0,149***	-0,071***	-0,034***	-0,018*
	SMG	Z_S	-2,55*	-5,82***	-4,53***	-2,07*
		Q_{med}	-0,083*	-0,065***	-0,042***	-0,017*
TX90p	NMG	Z_S	5,82***	6,12***	4,46***	3,00**
		Q_{med}	0,227***	0,128***	0,298***	0,230**
	SMG	Z_S	5,81***	5,66***	4,46***	2,71**
		Q_{med}	0,203***	0,109***	0,280***	0,176**

Z_S : Teste Mann-Kendall; Q_{med} : Estimador da inclinação de Sen.

* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 5%.

** Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 1%.

*** Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 0,1%.

Tabela 5 - Idem a Tabela 4, mas para os índices de precipitação.

		Teste	Reanálise		Modelos	
			1948-2005	1948-2005	2041-2070	2071-2100
CDD	NMG	Z_S	-2,08*	2,32*	1,86 ⁺	-0,14
		Q_{med}	-0,427*	0,075*	0,140 ⁺	-0,023
	SMG	Z_S	-0,09	1,49	1,14	0,86
		Q_{med}	-0,007	0,037	0,051	0,050
CWD	NMG	Z_S	-1,02	-0,23	1,07	-1,28
		Q_{med}	-0,082	-0,004	0,030	-0,041
	SMG	Z_S	-0,28	0,76	-0,50	-1,39
		Q_{med}	-0,028	0,008	-0,010	-0,034
R95p	NMG	Z_S	1,95 ⁺	-0,21	1,57	-1,82 ⁺
		Q_{med}	1,204 ⁺	-0,036	0,941	-0,963 ⁺
	SMG	Z_S	3,06**	0,28	2,14*	-0,96
		Q_{med}	2,556**	0,055	1,026*	-0,440
RX5day	NMG	Z_S	1,07	0,07	1,61	-2,28*
		Q_{med}	0,100	0,003	0,249	-0,407*
	SMG	Z_S	2,25*	0,97	2,53*	-1,28
		Q_{med}	0,304*	0,050	0,331*	-0,185

Z_S : Teste Mann-Kendall; Q_{med} : Estimador da inclinação de Sem.

+ Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 10%.

* Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 5%.

** Tendência estatisticamente significativa no nível de significância de 1%.

3.1. Índices de extremos de temperatura

As séries temporais dos índices de extremos de temperatura TN10p, TN90p, TX10p e TX90p são apresentadas nas Figs. 1 a 4, respectivamente.

Quanto ao índice TN10p, nota-se que a observação e Reanálise se apresenta similar à média gerada pelo conjunto dos modelos, e a tendência de diminuição de noites frias é evidente tanto no período de observação/simulação quanto de projeção (Fig. 1). Para o NMG, a Reanálise apresenta tendência de queda das noites frias no período de 1948-2005, com valor de -0,19%/ano, enquanto a média dos modelos também apresenta tendência de diminuição para esse período de -0,10%/ano, ambos com nível de significância de 0,1% (Tabela 4). Para o período projetado, a média dos modelos também apresenta tendência de diminuição de TN10p, mas com valor significativo apenas no período 2041-2070, sendo de -0,02%/ano, com o mesmo nível de significância (Tabela 4). Para o SMG, o comportamento é bastante similar ao NMG, com tendência de diminuição das noites frias na série da Reanálise (-0,09%/ano, com nível de significância de 1%). Quanto à média dos modelos, também se observa tendência de diminuição de TN10p, tanto na série simulada (com o valor de -0,09%/ano), quanto na série projetada no período 2041-2070 (-0,03%/ano), ambas com nível de significância de 0,1% (Tabela 4). Assim como para o NMG, não há tendên-

cia significativa de TN10p no SMG no período projetado de 2071-2100.

Cabe ressaltar, ainda, que a variabilidade interanual de TN10p é menor nas séries representadas pelas médias dos modelos, tanto para simulações, quando comparadas com a observação e Reanálise, quanto para as projeções (Fig. 1).

Com relação ao índice noites quentes (TN90p), vê-se que os dados de observação e Reanálise são similares à média gerada pelo conjunto dos modelos, tanto quanto à variabilidade, assim como quanto à tendência (Fig. 2). Além disso, observa-se uma tendência acentuada de aumento dessa variável, coerentemente à tendência observada de diminuição de noites frias (TN10p; Fig. 1). Para esse índice, vê-se que os valores de tendência são muito próximos para as duas regiões de estudo, NMG e SMG. Para o período 1948-2005, a tendência de aumento das noites quentes foi, para o NMG (SMG), de 0,28%/ano (0,23%/ano) nos dados de Reanálise e de 0,15%/ano (0,14%/ano) nos dados simulados; nos dados projetados, a tendência foi de 0,43%/ano (0,41%/ano) para o período 2041-2070, todos com o nível de significância de 0,1%, conforme pode ser visto na Tabela 4. A tendência de aumento de noites quentes também pode ser observada no período 2071-2100 nos dados projetados, com valores de 0,15%/ano e de 0,17%/ano para o NMG e SMG, respectivamente, sendo essa tendência significativa ao nível de signifi-

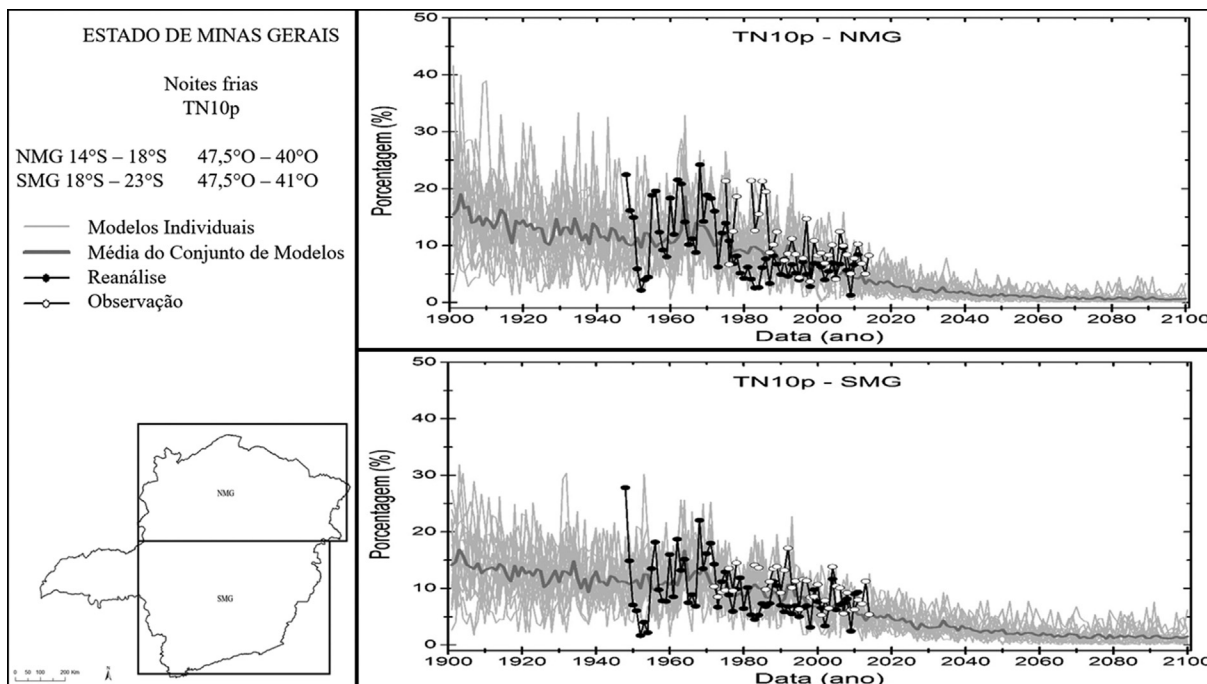


Figura 1 - Série temporal da simulação pelo conjunto de modelos (1901-2100; cinza claro) comparados à observação (1961-2014; negrito com círculo aberto) e Reanálise (1948-2005; negrito com círculo fechado) para o índice TN10p (noites frias) para a região NMG (superior) e SMG (inferior). Em cinza escuro tem-se a média dos modelos.

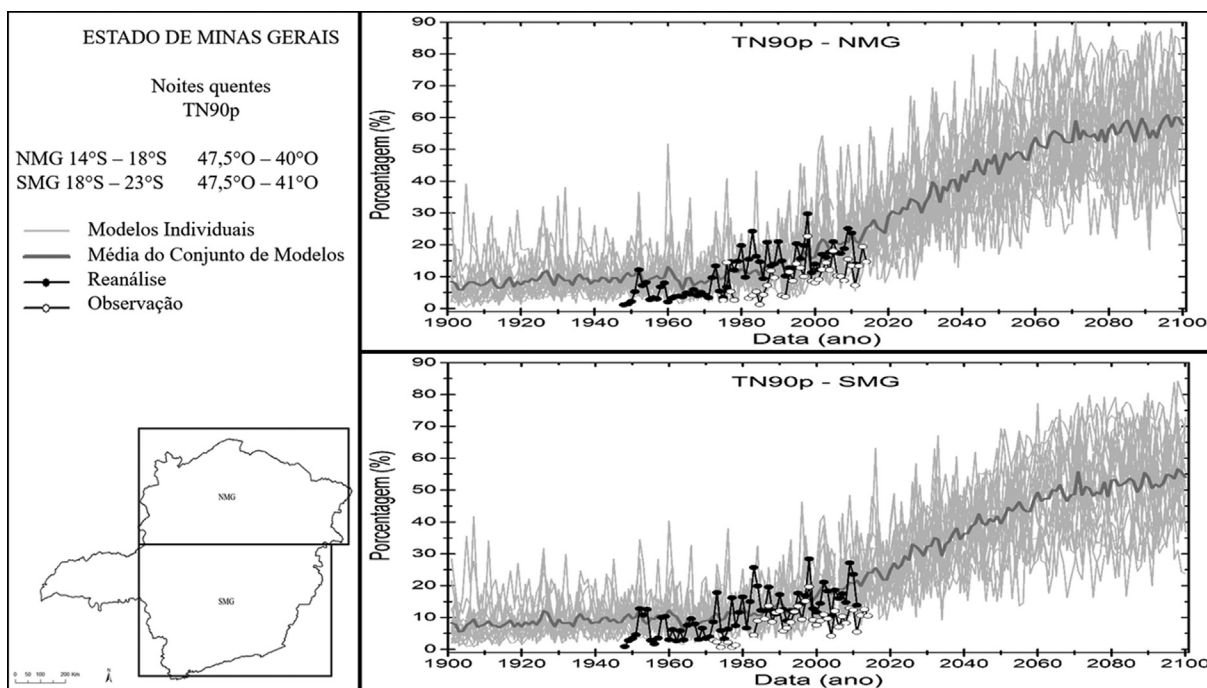


Figura 2 - Idem a Fig. 1, mas para o índice TN90p (noites quentes).

ficância de 1% (Fig. 2 e Tabela 4). Assim, cabe ressaltar que a tendência das projeções para os dois períodos de aumento das noites quentes (TN90p) é mais acentuada que a diminuição das noites frias (TN10p), principalmente no que se refere ao período de 2041-2070.

O índice TX10p (dias frios) apresenta tendência significativa de diminuição para todas as séries e períodos analisados (Fig. 3; Tabela 4). Para os dados de Reanálise no período 1948-2005, observa-se que as regiões NMG e SMG apresentam intensidades diferentes de tal diminuição,

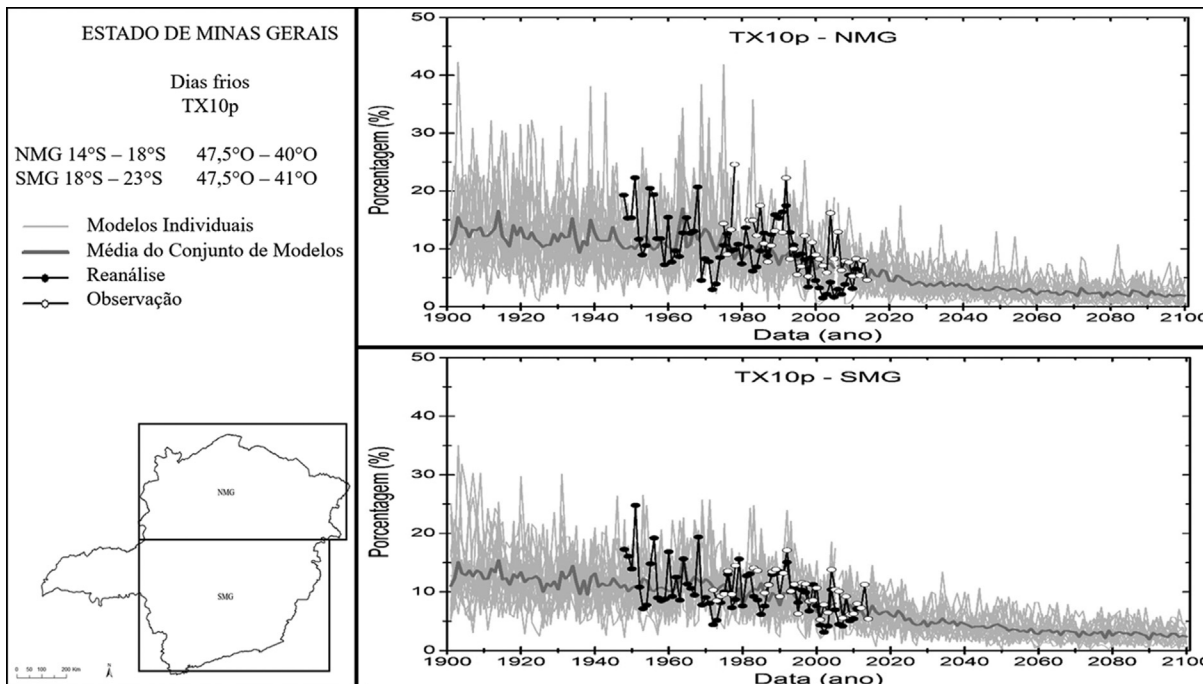


Figura 3 - Idem a Fig. 1, mas para o índice TX10p (dias frios).

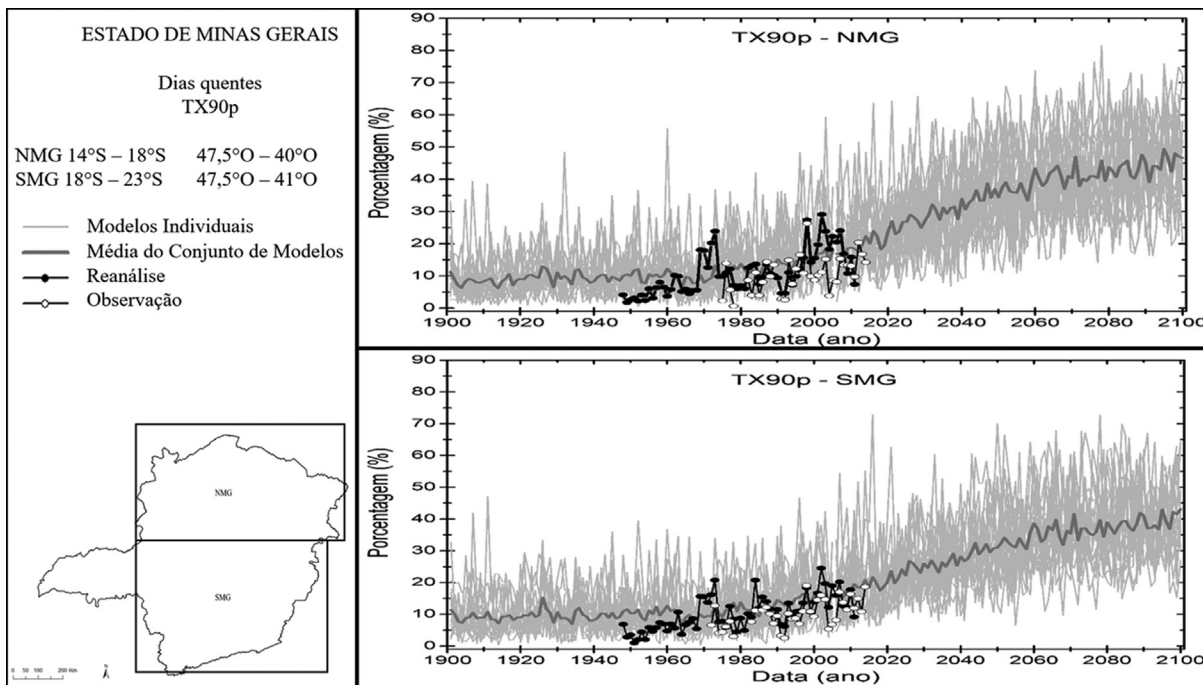


Figura 4 - Idem a Fig. 1, mas para o índice TX90p (dias quentes).

com o valor mais acentuado de $-0,14\%/ano$ no NMG (com nível de significância de $0,1\%$) e menos acentuado de $-0,08\%/ano$ no SMG (com nível de significância de 5%). Esse resultado indica uma tendência de maior aquecimento (redução de dias frios) na região NMG que já é climatologicamente mais quente. Quanto ao comportamento das

séries da média dos modelos, nota-se que, para NMG e SMG, a tendência de diminuição do índice TX10p é de $-0,07\%/ano$ e $-0,06\%/ano$, respectivamente, na simulação do período 1948-2005, e de $-0,03\%/ano$ e $-0,04\%/ano$, respectivamente, no período projetado 2041-2070, sendo todos os valores significativos ao nível de significância de

0,1%. Quanto ao último período projetado (2071-2100), percebe-se que os valores de tendência são de -0,01%/ano, tanto para NMG quanto para SMG, com nível de significância de 5% (Fig. 3; Tabela 4). Assim como para os índices anteriores, o comportamento do TX10p também está indicando um cenário de aumento de temperatura para ambas as regiões NMG e SMG, tanto para observação quanto para simulação e projeção.

Na Fig. 4 são apresentadas as séries de observação, simulação e projeção do índice TX90p (dias quentes) para as regiões NMG e SMG, na qual, novamente, pode ser observada uma coerência entre a observação, Reanálise e a simulação no período 1948-2005. Quanto à tendência, constata-se que os valores positivos da mesma são consistentes aos aspectos de aquecimento observados nos três índices anteriores (aumento de noites quentes e diminuição de dias e noites frias; Figs. 1 a 3). Assim como para o TN90p (Fig. 2), verifica-se que os valores de tendência são muito próximos para as duas regiões de estudo, NMG e SMG, sendo a maior diferença para a projeção do período 2071-2100. Com o nível de significância de 0,1%, podem-se observar, para o NMG (SMG), as tendências positivas estatisticamente significativas de: 0,22%/ano (0,20%/ano) nos dados de Reanálise do período 1948-2005; 0,12%/ano (0,10%/ano) nos dados simulados também do período 1948-2005 e de 0,29%/ano (0,28%/ano) nos dados projetados para o período 2041-2070. Quanto ao período projetado de 2071-2100, a tendência foi de 0,23%/ano e 0,17%/ano para NMG e SMG, respectivamente, ambos com nível de significância de 1% (Fig. 4 e Tabela 4). Novamente, cabe ressaltar que a tendência das projeções para os dois perío-

dos de aumento dos dias quentes (TX90p; Fig. 4) é mais acentuada que a diminuição de dias frios (TX10p; Fig. 3), mas ainda é menor que o aumento de noites quentes (TN90p; Fig. 2), sendo esse último índice o que apresentou os maiores valores de tendência.

Como existe um cenário de aumento de temperatura já mostrado pelo IPCC (2013), vê-se que esses resultados referentes aos índices de extremos de temperatura do ar para o estado de MG são bastante coerentes, tendo em vista que foram encontradas tendências de aumento de dias e noites quentes e diminuição de dias e noites frias, indicando uma tendência de aquecimento no estado como um todo.

3.2. Índices de extremos de precipitação

As Figs. 5 a 8 ilustram as séries temporais observadas, simuladas e projetadas dos índices de extremos de precipitação CDD, CWD, R95p e RX5day, respectivamente. De uma maneira geral, os índices de precipitação apresentam pequenos valores de tendência e, além disso, são observadas poucas tendências significativas, conforme já encontrado por Marengo *et al.* (2010, 2013), Donat *et al.* (2013), Sillmann *et al.* (2013a) e Valverde e Marengo (2014).

Na Fig. 5 pode ser observado que, na maior parte dos anos, a média da simulação multimodelo superestima os dados de Reanálise e observados de CDD, tanto na região SMG quanto na região NMG; no entanto, a observação e Reanálise não extrapolam o espalhamento promovido pelos membros individuais do conjunto. No que se refere à variabilidade interanual da observação de CDD, apresenta-se que tal variabilidade na região NMG é consideravelmente maior do que a da região SMG e, quanto à simulação da

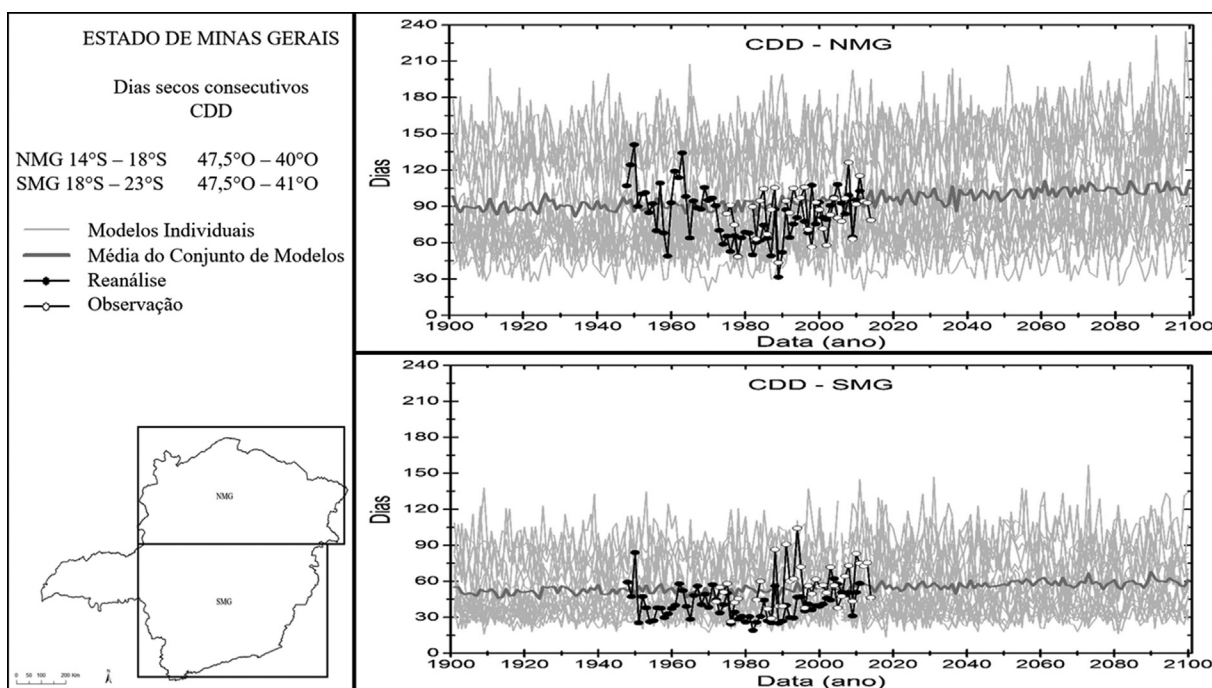


Figura 5 - Idem a Fig. 1, mas para o índice CDD (dias secos consecutivos).

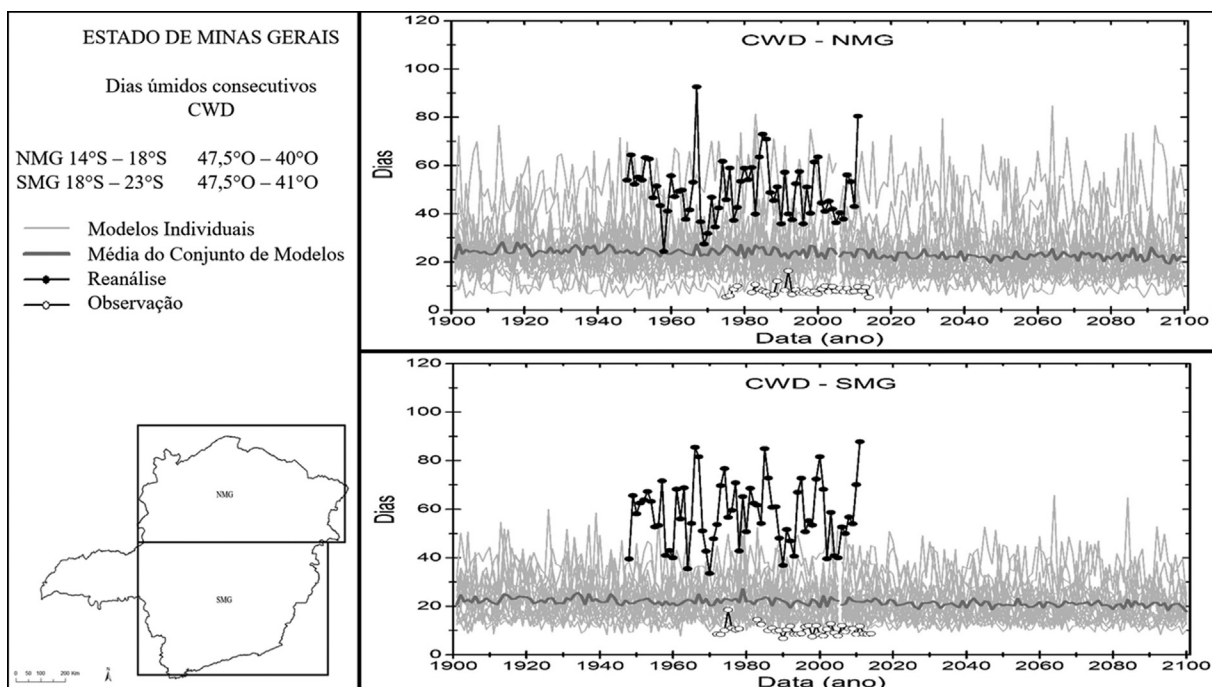


Figura 6 - Idem a Fig. 1, mas para o índice CWD (dias úmidos consecutivos).

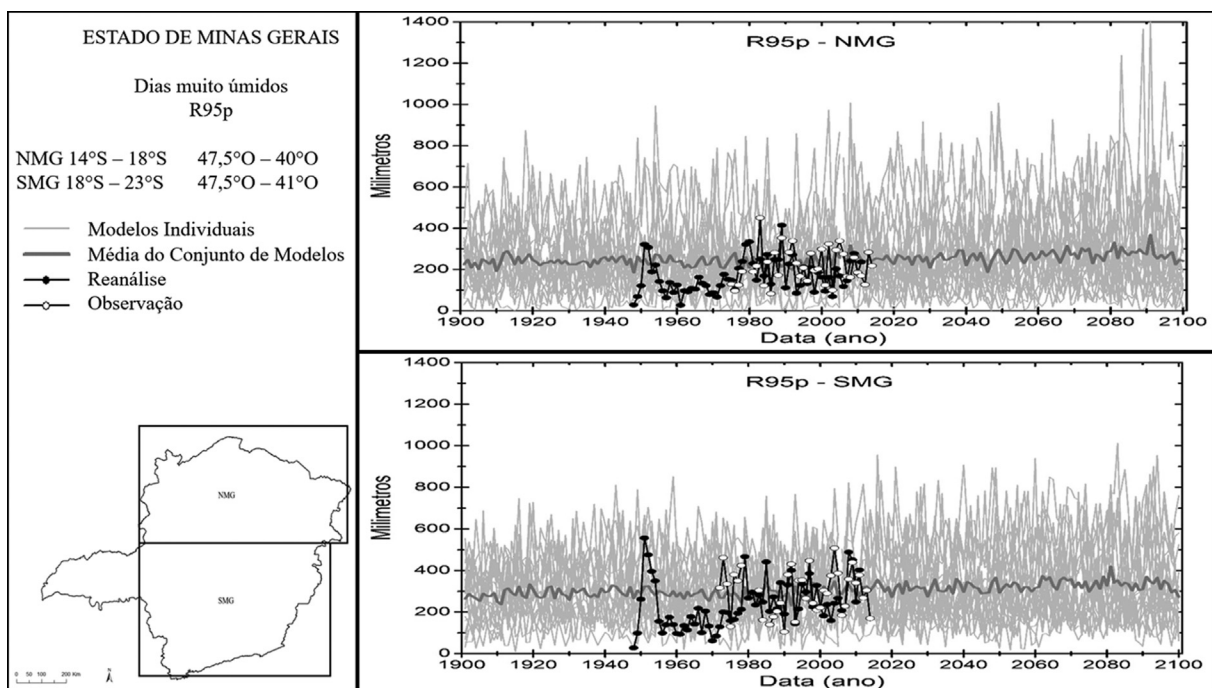


Figura 7 - Idem a Fig. 1, mas para o índice R95p (dias muito úmidos).

média do conjunto, constata-se que a mesma subestima a variabilidade interanual observada, ou seja, simulando menos variação de dias secos consecutivos entre os anos (Fig. 5). No que se refere à análise de tendência, observa-se que, no NMG, a Reanálise apresenta tendência de queda de dias secos consecutivos no período de 1948-2005, com

valor de $-0,42\%/ano$, enquanto a média dos modelos apresenta tendência de aumento para esse período de $0,07\%/ano$, ambos com nível de significância de 5% (Tabela 5). Cabe ressaltar que a tendência de $-0,42\%/ano$ da Reanálise não seria encontrada se a análise fosse feita no período 1970-2010, por exemplo, já que existe uma ten-

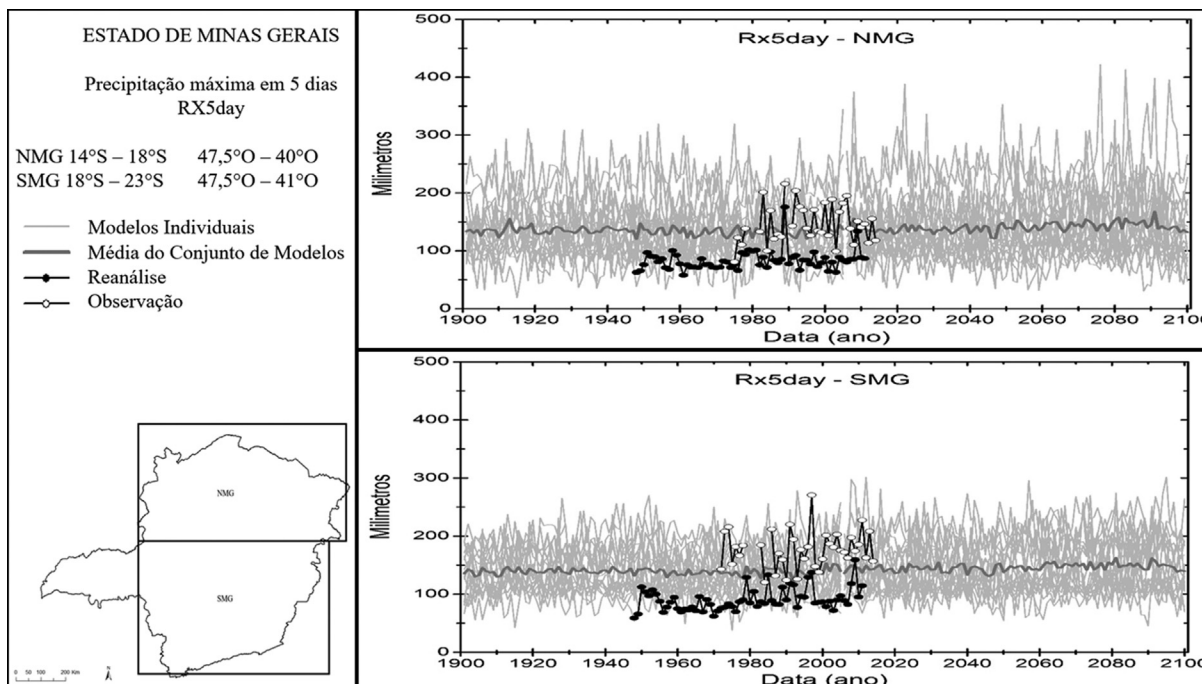


Figura 8 - Idem a Fig. 1, mas para o índice RX5day (precipitação máxima em 5 dias).

dência clara de aumento do número de CDD. Para o período projetado de 2041-2070, a média dos modelos apresenta tendência de aumento de CDD de 0,14%/ano no NMG com nível de significância de 10% (Fig. 5 e Tabela 5). Para o SMG, apesar de ser notada tendência negativa (positiva) de dias secos consecutivos na Reanálise no período 1948-2005 (média dos modelos nos três períodos analisados), não há valores significativos de tendência de CDD em nenhum período ou série analisada (Fig. 5 e Tabela 5).

Nessa situação, apesar de uma pequena tendência de aumento de CDD, 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.

No que se refere ao índice CWD, verifica-se que o mesmo é o mais inconsistente quando se compara observação, Reanálise e modelo, pois, tanto para o NMG quanto para o SMG, a média dos modelos é superestimada (subestimada) com relação à observação (Reanálise) e, para o SMG, os dados de Reanálise extrapolam o espalhamento do conjunto multimodelo, além da variabilidade interanual de CWD ser bastante reduzida nas séries das médias dos modelos em ambas as regiões comparadas às respectivas observações e Reanálise (Fig. 6). Quanto à tendência linear das séries, tem-se que não são observados valores significativos nos períodos analisados e em nenhuma das duas regiões; além disso, os valores intercalam-se entre os períodos em negativos e positivos, mas todos sendo bem próximos a zero (Fig. 6 e Tabela 5).

As séries temporais referentes ao índice de precipitação total anual em dias com chuva acima do percentil 95 (R95p) podem ser observadas na Fig. 7. Para esse índice, nota-se que a Reanálise apresenta tendência de aumento no período 1948-2005 de 1,2%/ano (2,55%/ano) para a região NMG (SMG) ao nível de significância de 10% (1%), como pode ser visto na Tabela 5. Adicionalmente, é possível notar que após 1980, os dados de Reanálise e simulações apresentam maior concordância do que nos 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 nas observações e Reanálise, além de não apresentar tendência significativa no período observado (Fig. 7 e Tabela 5). Para o período projetado, a média dos modelos apresenta tendência negativa (positiva) significativa de -0,96%/ano (1,02%/ano) para o período 2071-2100 (2041-2070) no NMG (SMG) ao nível de significância de 10% (5%), como pode ser notado na Fig. 7 e Tabela 5. Vale destacar que a tendência também é negativa (positiva) para 2071-2100 (2041-2070) no SMG (NMG), o que mostra a concordância entre as duas regiões de estudo; entretanto, os valores das tendências não são estatisticamente significativos.

Deve-se levar em conta que o índice R95p 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 mostraram 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 esse 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 prejuízos, sendo que algumas das cidades envolvidas ainda não se recuperaram até hoje.

Quanto ao outro índice mostrado na Fig. 8 (RX5day), constata-se que o mesmo também pode colaborar com a ocorrência de enchentes, pois é uma medida de intensidade de precipitação em curto prazo que indica a maior quantidade de chuva acumulada em 5 dias em um determinado ano. Mais do que para o R95p, pode-se notar que os dados simulados de RX5day superestimam os dados de Reanálise em praticamente todo o período 1948-2005. No entanto, os dados simulados aproximam-se razoavelmente bem dos valores observados, principalmente na região NMG. Quanto à tendência referente a 1948-2005, apenas os valores da Reanálise na região SMG apresenta tendência significativa de aumento de 0,30%/ano a 5% de nível de significância (Fig. 8 e Tabela 5). Para o período projetado, o comportamento é similar ao índice R95p: a média dos modelos apresenta tendência negativa (positiva) significativa de -0,40%/ano (0,33%/ano) para o período 2071-2100 (2041-2070) no NMG (SMG), ambos ao nível de significância de 5%, como pode ser notado na Fig. 8 e na Tabela 4. Vale destacar que a tendência também é negativa (positiva) para 2071-2100 (2041-2070) no SMG (NMG), o que mostra a concordância entre as duas regiões de estudo, entretanto, os valores das tendências não são estatisticamente significativos.

De uma maneira geral, pode-se constatar que os modelos apresentam deficiências em relação à representação das magnitudes e variabilidade interanual dos índices de precipitação, mais do que observado nos índices de temperatura. Para todos os índices de precipitação, poucas ocorrências de tendências significativas de aumento ou diminuição foram constatadas nas simulações e projeções. Contudo percebe-se que esse resultado corrobora com os trabalhos de Sillmann *et al.* (2013b) onde já se registra menores mudanças nos índices de precipitação para a América do Sul. De qualquer maneira, 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. 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. Dessa forma torna-se importante mencionar a possibilidade, mesmo com a diminuição de chuvas regulares, de que eventos de chuva intensa possam vir a acontecer com maior frequência. Isto traria problemas àquela parcela da população que já se encontra em condições precárias de habitação.

4. Conclusões

Nas últimas décadas, os inúmeros trabalhos encontrados na literatura vêm confirmando que as mudanças climáticas são um fato científico, com a maioria dos modelos climáticos projetando para o futuro possíveis mudanças nos extremos climáticos, tais como ondas de calor, chuvas intensas, secas ou inundações (IPCC, 2014). Assim, esse trabalho contribui nessa temática através da análise de indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação sobre o estado de Minas Gerais (MG), fazendo a análise da tendência de índices, tanto no período presente (1948-2005), com a análise dos dados observados e Reanálise NCEP/NCAR e das simulações de 19 MCGs pertencentes ao CMIP5, quanto para os períodos futuros 2041-2070 e 2071-2100 de projeção de tais modelos. A análise da tendência dos mesmos foi feita através do teste estatístico de Mann-Kendall e do Estimador da Inclinação de Sen para médias espaciais dos índices em duas áreas de estudo: no norte e no sul de MG (NMG e SMG, respectivamente).

Os índices utilizados foram TN10p (noites frias), TN90p (noites quentes), TX10p (dias frios), TX90p (dias quentes), CDD (dias secos consecutivos), CWD (dias úmidos consecutivos), R95p (dias muito úmidos) e RX5day (precipitação máxima em 5 dias). Assim, comparando observação, Reanálise e simulação no período 1948-2005, pode-se notar que as séries dos índices de temperatura (precipitação) são mais (menos) concordantes entre si, sendo que, para os índices de precipitação, a simulação geralmente superestima a observação/Reanálise, exceto para o índice CWD, no qual a simulação subestima a Reanálise e superestima a observação. Tanto para os índices de temperatura quanto para os índices de precipitação, percebe-se que a variabilidade interanual observada não é bem simulada pela média dos modelos, sendo tal variabilidade bastante suavizada.

Quanto à análise de tendência dos índices de temperatura, configura-se que, de uma maneira geral, os resultados são convergentes no sentido do aumento de temperatura, pois se pode notar, tanto para NMG quanto para o SMG, tendência significativa de diminuição de noites frias (TN10p) e dias frios (TX10p) para o período de Reanálise/simulação (1948-2005) e de projeção (2041-2070). No período projetado de 2071-2100, as tendências de tais índices também são negativas em ambas as regiões, mas apenas para TX10p tem-se tendência significativa. Cabe ressaltar que os valores de tendência encontrados são maiores no NMG quando comparados ao SMG, o que indica uma tendência de maior aquecimento (redução de noites e dias frios) na região NMG que já é climatologicamente mais quente.

Coerentemente a esses índices, pode-se notar a tendência de aumento de noites quentes (TN90p) e dias quentes (TX90p), sendo os valores encontrados muito próximos para ambas as regiões de estudo, NMG e SMG. Para esses

dois índices, é possível observar que os valores positivos de tendência encontrados para todos os períodos de estudo, presente e futuro (1948-2005, 2041-2070 e 2071-2100) são estatisticamente significativos. Assim, cabe ressaltar que a tendência das projeções, principalmente para o período 2041-2070, de aumento dos dias quentes (TX90p) é mais acentuada que a diminuição de dias frios (TX10p) e noites frias (TN10p), mas ainda é menor que o aumento de noites quentes (TN90p), sendo esse último índice o que apresentou os maiores valores de tendência.

No que se refere aos índices de precipitação, vê-se que os mesmos apresentam pequenos valores de tendência, além de poucos dentre eles serem significativos estatisticamente. Assim, pode-se observar tendência negativa (positiva) significativa de dias secos consecutivos no NMG na Reanálise (simulação e projeção para 2041-2070); para o SMG, os sinais das tendências são os mesmos que no NMG, mas os valores não são estatisticamente significativos. Cabe ressaltar que a tendência de queda do número de CDD não seria encontrada se a análise fosse feita no período 1970-2010, por exemplo, já que existe uma tendência clara de aumento do número de dias secos consecutivos nesse período e, assim, Reanálise e simulação seriam consistentes. Quanto à tendência das séries do índice CWD, percebe-se que não são observados valores significativos nos períodos analisados em nenhuma das duas regiões; além disso, os valores intercalam-se entre os períodos em negativos e positivos, mas todos sendo bem próximos à zero.

Os dados de Reanálise do índice de dias muito úmidos (R95p) apresentam tendência significativa de aumento no período analisado (1948-2005) para as regiões NMG e SMG, sendo maior nessa última região. Para o período projetado, a média dos modelos apresenta tendência negativa (positiva) significativa para o período 2071-2100 (2041-2070) no NMG (SMG), apesar de a tendência também ser negativa (positiva) para 2071-2100 (2041-2070) no SMG (NMG), mostrando a concordância entre as duas regiões de estudo, entretanto, os valores das tendências não são estatisticamente significativos. Quanto ao índice RX5day, de precipitação máxima em 5 dias, verifica-se que o sinal da tendência do mesmo é coerente ao do R95p, com valores positivos significativos encontrados nos dados de Reanálise na região SMG e, na média dos modelos para o período projetado 2071-2100 (2041-2070) no NMG (SMG), com tendência de diminuição (aumento) de RX5day. Assim como para o índice R95p, a tendência também é negativa (positiva) para 2071-2100 (2041-2070) no SMG (NMG), o que mostra a concordância entre as duas regiões de estudo, entretanto, os valores das tendências não são estatisticamente significativos.

De forma geral, os índices relacionados à temperatura, sendo a maioria significativa e mostrando aumento de dias e noites quentes e uma redução de dias e noites frias no estado de MG, claramente mostram tendências de au-

mento, enquanto que para os índices relacionados a precipitação, a tendência não é nítida. Quanto à precipitação, mesmo com os poucos valores significativos de tendência, pode-se observar um aumento das condições secas no NMG e das condições úmidas no SMG, intensificando as diferenças que já existem no estado de MG. Assim, com a realização deste trabalho espera-se ter contribuído frente à sociedade científica, principalmente para o Brasil, especificamente em MG, com uma maior compreensão e detalhamento das tendências de indicadores climáticos extremos relacionados a essas duas importantes variáveis meteorológicas.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado. O segundo e o terceiro autor agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento referente ao projeto APQ-01088-14.

Referências

- CAVALCANTI, I.F.A.; CARRIL, A.F.; PENALBA, O.C.; GRIMM, A.M.; MENÉNDEZ, C.G.; SANCHEZ, E.; CHERCHI, A.; SORENSON, A.; ROBLEDO, F.; RIVERA, J.; PÁNTANO, V.; BETTOLLI L.M.; ZANINELLI, P.; ZAMBONI, L.; TEDESCHI, R.G.; DOMINGUEZ M.; RUSCICA, M.R.; FLACH, R. Precipitation extremes over La Plata Basin—Review and new results from observations and climate simulations. *Journal of Hydrology*, v. 523, p. 211-230, 2015.
- COELHO, C.A.S.; CARDOSO, D.H.F.; FIRPO, M.A.F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 125, n. 3-4, p. 769-784, 2016.
- DONAT, M.G.; ALEXANDER, L.V.; YANG, H.; DURRE, I.; VOSE, R.; DUNN, R.J.H.; WILLETT, K.M.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; CAESAR, J.; HEWITSON, B.; JACK, C.; KLEIN TANK, A.M.G.; KRUGER, A.C.; MARENGO, J.; PETERSON, T.C.; RENOM, M.; ORIA ROJAS, C.; RUSTICUCCI, M.; SALINGER, J.; ELRAYAH, A.S.; SEKELE, S.S.; SRIVASTAVA, A.K.; TREWIN, B.; VILLARROEL, C.; VINCENT, L. A.; ZHAI, P.; Zhang, X.; Kitching S. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 118, n. 5, p. 2098-2118, 2013.
- DOUGLAS, E.M.; VOGEL, R.M.; KROLL, C.N. **Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation.** *Journal of hydrology*, v. 240, n. 1, p. 90-105, 2000.
- ESPINOZA, J.C.; RONCHAIL, J.; FRAPPART, F.; LAVADO, W.; SANTINI, W.; GUYOT, J.L. The major floods in the Amazonas river and tributaries (Western Amazon basin) during the 1970–2012 period: a focus on the 2012 flood. *Journal of Hydrometeorology*, v. 14, n. 3, p. 1000-1008, 2013.

- ESPINOZA, J.C.; MARENGO, J.A.; RONCHAIL, J.; CARPIO, J.M.; FLORES, L.N.; GUYOT, J.L. The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 12, p. 1-9, 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, p. 1-32, 2014.
- FREITAS, C.D.; CARVALHO, M.D.; XIMENES, E.F.; ARRARES, 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 & 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**, 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**, v. 17, n. 1, p. 47-66, 2004.
- 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, n. 3-4, 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, n. 1, p. 188-198, 2013.
- GARCIA, S.R.; CALHEIROS, A.J.P.; KAYANO, M.T. Revised method to detect the onset and demise dates of the rainy season in the South American Monsoon areas. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 126, n. 3-4, p. 481-491, 2015.
- GIANASI, L.M.; COSTA, P.C.; TUBALDINI, M.A.S. A contribuição da geografia agrária em pesquisa-ação e a produção de alimentos agroecológicos em comunidades rurais e quilombolas do vale do Jequitinhonha (The contribution of agrarian geography in action-research and the ecological food production). **Revista GeoNordeste**, n. 2, p. 155-172, 2014.
- IBGE (2010) Censo 2010. Disponível em www.ibge.gov.br/censo2010. Acesso em 08/08/2016.
- JONES, C.; CARVALHO, L.M.V. Climate change in the South American monsoon system: present climate and CMIP5 projections. **Journal of Climate**, v. 26, n. 17, p. 6660-6678, 2013.
- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4.ed. London: Charles Griffin, p. 196, 1975.
- KOVATS, S.; LLOYD, S. **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.
- MANN, H.B. Non-parametric test against trend. **Econometrika**, v.13, p.245-259, 1945.
- 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.
- MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC, 2007**. Relatório n° 2. Brasília: MMA, 2007. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_1.pdf. Acesso em 06/08/2016.
- MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.
- MARENGO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 15, p. 2241-2255, 2009.
- MARENGO J.A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 509-529, 2010.
- MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; SOARES, W.R.; ALVES, L.M.; NOBRE, C.A. Extreme climatic events in the Amazon basin climatological and hydrological context of recent floods. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, n. 1-2, p. 73-85, 2012.
- MARENGO J.A.; VALVERDE, MC.; OBREGON, G.O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. **Climate Research**, v. 57, p. 61-72, 2013.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; SOARES, W.R.; RODRIGUEZ, D.A.; CAMARGO, H.; PAREDES RIVEROS, M.; DIAZ PABLÓ, A. Two contrasting seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 26, n. 22, p. 9137-9154, 2013.
- 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.
- OBREGÓN, G.; MARENGO, J.A. **Caracterização do Clima no Século XX no Brasil: Tendências de Chuvas e Temperaturas Médias Extremas**. Relatório n° 2. Brasília: MMA, 2007. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_2.pdf. Acesso em 06/08/2016.

- RIBEIRO, W.C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 297-322, 2010.
- RUSTICUCCI, M.; MARENGO, J.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Part 1: mean values and variability. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 493-508, 2010.
- SANTOS, L.F.; GARCIA, S.R. Início e Fim da Estação Chuvosa no estado de Minas Gerais: comparação de duas metodologias diferentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 92-104, 2016.
- 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**, v. 118, n. 4, p. 1716-1733, 2013a.
- 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**, v. 118, n. 6, p. 2473-2493, 2013b.
- SILVA, W.L.; DERECZYNSKI, C.; CHOU, S.C.; CAVALCANTI, I. Future Changes in Temperature and Precipitation Extremes in the State of Rio de Janeiro (Brazil). **American Journal of Climate Change**, v. 3, n. 4, p. 353, 2014.
- SILVA, W.L.; DERECZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B.J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 181-194, 2015.
- SKANSI, M.M.; BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E.; GROENING, J.A.A.; BENTANCUR, O.J.; GEIER, Y.R.C.; AMAYA, R.L.C.; JÁCOME, H.; RAMOS, A.M.; ROJAS, C.O.; PASTEN, A.M.; MITRO, S.S.; JIMÉNEZ, C.V.; MARTÍNEZ, R.; ALEXANDER, L.V.; JONES, P.D. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 295-307, 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, 2013.
- TAYLOR, K.E.; STOUFFER, R.J.; MEEHL, G.A. An overview of CMIP5 and the experiment design. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 4, p. 485-498, 2012.
- TORRES, R.R.; LAPOLA, D.M.; MARENGO, J.A.; LOMBARDO, M.A. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, n. 3-4, p. 597-609, 2012.
- VALVERDE, M.C.; MARENGO, J.A. Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil. **Open Journal of Modern Hydrology**, v. 4, n. 1, p. 10, 2014.
- 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**, v. 109, n. 1-2, p. 5, 2011.
- YUE, S.; HASHINO, M. Temperature trends in Japan: 1900-1996. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 75, n. 1, p. 15-27, 2003.
- YUE, S.; PILON, P.; PHINNEY, B.; CAVADIAS, G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. **Hydrological Processes**, v. 16, n. 9, p. 1807-1829, 2002.
- YUNLING, H.; YIPING, Z. Climate change from 1960 to 2000 in the Lancang River Valley, China. **Mountain Research and Development**, v. 25, n. 4, p. 341-348, 2005.
- 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, v. 2, n. 6, p. 851-870, 2011.
- ZHOU, J.; LAU, K.M. Does a monsoon climate exist over South America? **Journal of climate**, v. 11, n. 5, p. 1020-1040, 1998.

Endereços de Internet

- INMET <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>.
 ETCCDI <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>.
 CCCMA <ftp://ftp.cccma.ec.gc.ca/data/climdex>.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.