

PROJEÇÕES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS NAS REGIÕES METROPOLITANAS DE SÃO PAULO E RIO DE JANEIRO PARA O FINAL DO SÉCULO XXI

Roger Rodrigues Torres¹, Jose Antônio Marengo², Maria Cleofe Valverde²

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista - SP, Brasil. ²Centro de Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista - SP, Brasil.

RESUMO: Neste trabalho são avaliadas as tendências dos extremos de temperatura e precipitação nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro (RMRJ) e São Paulo (RMSP) no final do século XXI. Para isso foram utilizadas as simulações de dois modelos regionais climáticos usados no projeto CREAS: RegCM3 e HadRM3P. As simulações foram realizadas para o período de 1961-1990 e para 2071-2100, no cenário futuro A2 de emissão de gases de efeito estufa do IPCC. Os modelos regionais indicam para a região de estudo um aumento da temperatura média anual que pode chegar a 2-3 °C segundo o modelo RegCM3 e 3-4 °C segundo o HadRM3P. Os índices extremos de precipitação para a RMRJ indicam um aumento no número de dias secos consecutivos e uma redução no número de dias no ano com precipitação acima de 10 mm. Para essa mesma região, os modelos prevêm um aumento no máximo anual de precipitação acumulada em cinco dias consecutivos e que poderia ocasionar enchentes. As tendências nos índices extremos de temperatura, tanto para RMRJ quanto RMSP, indicam um aumento no número de dias e noites quentes e uma diminuição em dias e noites frias. Esses resultados são consistentes com um clima mais seco que o atual, com altas temperaturas diurnas e noturnas e com chuvas intensas concentradas em períodos curtos.

ABSTRACT: This study evaluates the tendency of the temperature and precipitation extremes events in the Rio de Janeiro and São Paulo Metropolitan Region (RMRJ and RMSP, respectively) by the end of the XXI century. For that were used the simulations of two regional climate models used in the CREAS project: RegCM3 and HadRM3P. The simulations were run for the period 1961-1990 and for the IPCC future scenario A2 for 2071-2100. The regional models indicate for the studied region an increase in the annual mean temperature, which can reach 2-3 °C according to the RegCM3 model and 3-4 °C according to the HadRM3P. The precipitation extremes indexes for the RMRJ indicate an increase in the number of consecutive dry days and a decrease in the number of days with precipitation higher than 10mm. For this same region, models predict an increase in the annual maximum consecutive five-day precipitation total that could lead to flooding. The tendencies in the temperature extremes indexes for both RMRJ and RMSP indicate an increase in the number of hot days and nights and a decrease in the cold days and nights. These results are consistent with a dryer climate, with high daytime and nocturnal temperatures and heavy rainfall concentrated in short periods.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas, extremos climáticos, regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo, climate change, climate extremes, Rio de Janeiro and São Paulo metropolitan region.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é vulnerável às mudanças climáticas vigentes e poderá ser profundamente impactado pelas mudanças projetadas para o futuro. Desigualdades sociais e regionais colocam inúmeros setores da população vulneráveis às essas mudanças. Assim como as grandes cidades dos países em desenvolvimento, as grandes cidades brasileiras, em particular, as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, apresentam inúmeros problemas sócio-ambientais associados aos padrões de desenvolvimento e transformações do espaço, que poderão ser agravados num clima mais quente.

Uma das principais preocupações da sociedade contemporânea referente às projeções futuras do clima diz respeito às possíveis mudanças na frequência e intensidade dos eventos extremos de curta duração. Ondas de calor e de frio, intensa precipitação, enchentes, secas, entre outros extremos climáticos tem sido motivo de grande interesse dos pesquisadores por causa de seu enorme impacto na população, ocasionando altos custos monetários e em alguns casos, perdas humanas.

A frequência e intensidade de eventos de precipitação intensa e temperatura tem aumentado em várias regiões do país nos últimos 50 anos. Dias frios, noites frias e geadas tem se tornado menos frequente, enquanto dias quentes, noites quentes, e ondas de calor tem aumentado o número de ocorrências (Marengo et

al. 2009c). Tais mudanças nos eventos extremos produzem severos impactos nas atividades humanas tais como na agricultura, saúde, desenvolvimento e planejamento urbano e gerenciamento de recursos hídricos.

Um dos eventos extremos mais destrutivos para a sociedade diz respeito àqueles relacionados à precipitação intensa ou extrema. Principalmente as regiões metropolitanas brasileiras como as do Rio de Janeiro (RMRJ) e São Paulo (RMSP), que nas últimas estimativas concentram mais de 30 milhões de habitantes, ou aproximadamente 16% da população do país, sofrem constantemente com os extremos de precipitação, que causam enchentes, deslizamentos de terra e perdas de vida.

O Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Universidade de São Paulo (USP), juntos, processaram recentemente modelos regionais climáticos para prover cenários de mudanças climáticas em alta resolução espacial para a América do Sul, como parte do projeto intitulado CREAS (Cenários **RE**gionalizados de Clima Futuro da **AM**érica do Sul). Neste projeto foram utilizados três modelos regionais climáticos com as condições de fronteira do modelo climático global HadAM3P: Eta para estudos de mudanças climáticas (Eta CCS), RegCM3 e HadRM3P. Para maiores detalhes dos modelos regionais empregados, e dos resultados obtidos nesse estudo, consultar Marengo et al. (2009a e 2009b). Os seis relatórios derivados deste projeto, assim como o atlas de cenários climáticos futuros estão disponíveis no sítio: www.cptec.inpe.br/mudancas-climaticas.

A partir das projeções climáticas fornecidas pelos modelos regionais RegCM3 e HadRM3P utilizados no projeto CREAS, este estudo tem como objetivo analisar as tendências dos extremos de temperatura e precipitação nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro (RMRJ) e São Paulo (RMSP) para o final do século XXI, no cenário futuro de emissão de gases de efeito estufa IPCC SRES A2. A seção 2 deste trabalho apresenta a metodologia utilizada nas análises, assim como os modelos regionais e os índices utilizados. A seção 3 apresenta os resultados obtidos e, finalmente, na seção 4 são apresentadas as conclusões.

2. METODOLOGIA

Neste estudo foram utilizadas as simulações de dois modelos regionais climáticos processadas no projeto CREAS: RegCM3 e HadRM3P. Ambos os modelos utilizaram como condição inicial e de fronteira o modelo climático global HadAM3P. As simulações foram realizadas para um período de referência (1961-1990) estabelecido como o clima atual e para um período futuro (2071-2100), este último sendo projetado sobre um ponto de vista pessimista com relação às futuras emissões de gases de efeito estufa (IPCC SRES A2). Maiores detalhes dos modelos regionais empregados podem ser encontrados em Marengo et al. (2009a e 2009b).

Os índices usados para calcular os extremos climáticos são os mesmos utilizados por Frich et al. (2002), e foram contabilizados para o período de 1961-1990 e 2071-2100. São eles:

- Noites muito frias (TN10p): Número de dias no ano em que a temperatura mínima está abaixo do 10º percentil da distribuição de temperatura diária do período 1961-1990;
- Noites muito quentes (TN90p): Número de dias no ano em que a temperatura mínima está acima do 90º percentil da distribuição de temperatura diária do período 1961-1990;
- Dias muito frios (TX10p): Número de dias no ano em que a temperatura máxima está abaixo do 10º percentil da distribuição de temperatura diária do período 1961-1990;
- Dias muito quentes (TX90p): Número de dias no ano em que a temperatura máxima está acima do 90º percentil da distribuição de temperatura diária do período 1961-1990;
- Dias secos consecutivos (CDD): O número máximo de dias consecutivos no ano em que a precipitação diária é menor do que 1mm;
- Precipitação máxima em 5 dias (R5xDay): Precipitação total máxima acumulada em 5 dias consecutivos;
- Precipitação Extrema (R95p): Precipitação anual total acima do 95º percentil da distribuição de precipitação diária do período 1961-1990;
- Dias úmidos (R10mm): Número de dias no ano com precipitação acima de 10mm.

3. RESULTADOS

A Figura 1 apresenta as anomalias de precipitação anual (%) e temperatura média anual (°C) projetada pelos modelos regionais climáticos HadRM3P e RegCM3, para o período 2071–2100 com relação a 1961-1990, no cenário pessimista SRES A2. As regiões em destaque indicam a RMSP e RMRJ.

Analisando os campos de precipitação anual observamos que o modelo HadRM3P projeta uma redução de precipitação em todo o domínio analisado, ficando em cerca de 10 a 20% na RMSP e RMRJ, enquanto que o modelo RegCM3 projeta um pequeno aumento na região das megacidades de aproximadamente 5-10%, principalmente sobre a RMRJ. Os campos de temperatura média anual projetados no cenário pessimista para o final deste século indicam um aumento de 2-4 °C em todo o domínio analisado, sendo que para as regiões de estudo esses valores ficam entre 2 e 3 °C para o modelo RegCM3 e 3-4 °C para o modelo HadRM3P.

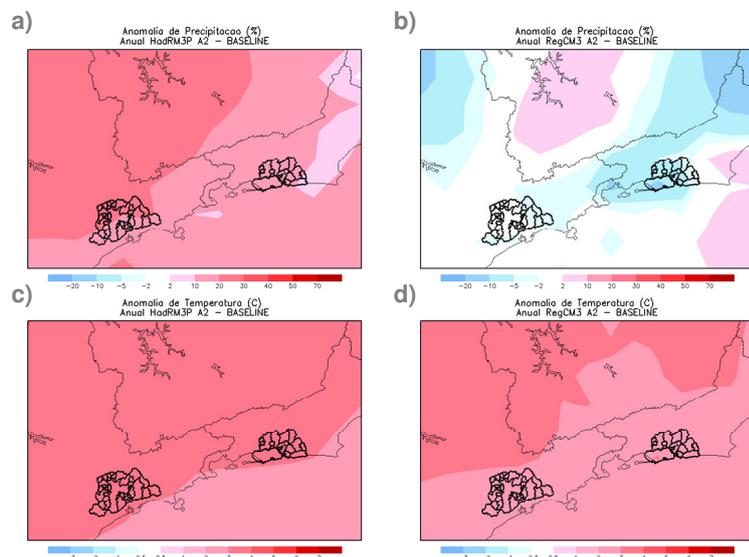


Figura 1: Anomalias de precipitação anual (%) (a e b) e temperatura média anual (°C) (c e d) projetadas pelos modelos regionais climáticos HadRM3P (esquerda) e RegCM3 (direita), para o período 2071–2100 com relação a 1961-1990, no cenário pessimista SRES A2. As regiões em destaque indicam a RMSP e RMRJ.

Na Figura 2 são apresentadas as tendências dos extremos de precipitação. As figuras da direita representam a concordância entre as projeções dos modelos: o valor 2 indica que os dois modelos concordam com um aumento da variável analisada, 0 indica que os modelos divergem e -2 indica que os modelos concordam com um decréscimo da variável analisada. Avaliando as projeções dos extremos de precipitação para a RMRJ, os modelos concordam com um aumento no número de dias secos consecutivos e uma redução no número de dias no ano com precipitação acima de 10 mm, assim como um aumento no máximo anual de precipitação acumulada em cinco dias consecutivos. Para a RMSP os resultados dos modelos divergem para os índices R10mm, R95p e Rx5day, mas concordam com uma pequena redução no número de dias secos consecutivos (CDD).

As tendências nos extremos de temperatura para o final do século na RMRJ, RMSP e adjacências são apresentadas na Figura 3. Diferentemente dos extremos de precipitação, os modelos concordam em todas as tendências projetadas, sendo elas: aumento no número de dias quentes, diminuição no número de dias frios, aumento no número de noites quentes e diminuição no número de noites frias.

As tendências dos extremos climáticos observados e simulados no período de 1961-1990 pelos modelos regionais utilizados são apresentadas na Figura 4. Como podemos observar os índices extremos relacionados diretamente com a variável temperatura apresentam uma alta confiabilidade, pois os modelos conseguem simular satisfatoriamente os padrões observados. No entanto, a confiabilidade dos modelos em simular os índices extremos relacionados à precipitação se demonstra bastante baixa, pois os padrões observados não são bem representados. As divergências dos modelos regionais com relação à variável precipitação se justificam pelo fato de que apesar dos avanços científicos no entendimento dos diversos sistemas atmosféricos que atuam na América do Sul, a previsão e simulação de chuvas, principalmente àquelas muito intensas ou extremas, continuam sendo um grande desafio para os meteorologistas. Embora o aperfeiçoamento dos modelos numéricos com o tempo trouxe reduções substanciais nos erros de variáveis como vento, temperatura, pressão ao nível médio do mar e altura geopotencial, melhorias na previsão de precipitação tem sido pequenas. A dificuldade para um aperfeiçoamento significativo dessa variável deve-se a três fatores: primeiro, o entendimento dos processos que envolvem a precipitação ainda são bastante limitados; segundo, dados deficientes muitas vezes reduzem a acurácia das condições iniciais dos modelos; e por último, a representação dos processos precipitantes resolvidos pela grade e por aqueles sub-grade em um modelo de mesoescala continuam sendo muito difíceis de serem solucionadas.

4. CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar as tendências dos extremos de temperatura e precipitação nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo no final do século XXI, este estudo analisa as projeções climáticas provenientes de dois modelos regionais utilizados no projeto CREAS, que tiveram como condição inicial e de fronteira o modelo climático global HadAM3P: RegCM3 e HadRM3P. As simulações foram realizadas para o período de referência 1961-1990, e para o período futuro de 2071-2100, num cenário pessimista com relação às futuras emissões de gases de efeito estufa (IPCC SRES A2). Analisando os resultados dos modelos regionais, ambos indicam para a RMSP e RMRJ um aumento da temperatura média anual que pode chegar a 2-3 °C segundo o modelo RegCM3 e 3-4 °C segundo o HadRM3P. As projeções dos índices extremos de precipitação para a RMRJ indicam um aumento no número de dias secos consecutivos e uma redução no número de dias no ano com precipitação acima de 10 mm. Para essa mesma região, os modelos prevêem um aumento no valor do índice extremo Rx5day, que nos fornece a tendência da precipitação total máxima acumulada em cinco dias e que pode ocasionar enchentes. As tendências nos índices extremos de temperatura, tanto para RMRJ quanto RMSP, indicam um aumento no número de dias e noites quentes e uma diminuição em dias e noites frias. A Tabela 1 apresenta um sumário das projeções climáticas derivadas dos modelos regionais. A confiabilidade definida nesta tabela é baseada na análise qualitativa dos modelos. Em resumo, os resultados encontrados neste trabalho são consistentes com um clima mais seco que o atual na região de estudo, com altas temperaturas diurnas e noturnas e com chuvas intensas concentradas em períodos curtos. Assim como várias cidades brasileiras, as regiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro se demonstram vulneráveis aos eventos extremos atuais, fator esse que deverá ser agravado no clima futuro. Isso revela que ações mitigadoras e adaptativas tornam-se imprescindíveis e ganham novas dimensões em termos de segurança humana e do desenvolvimento do país.

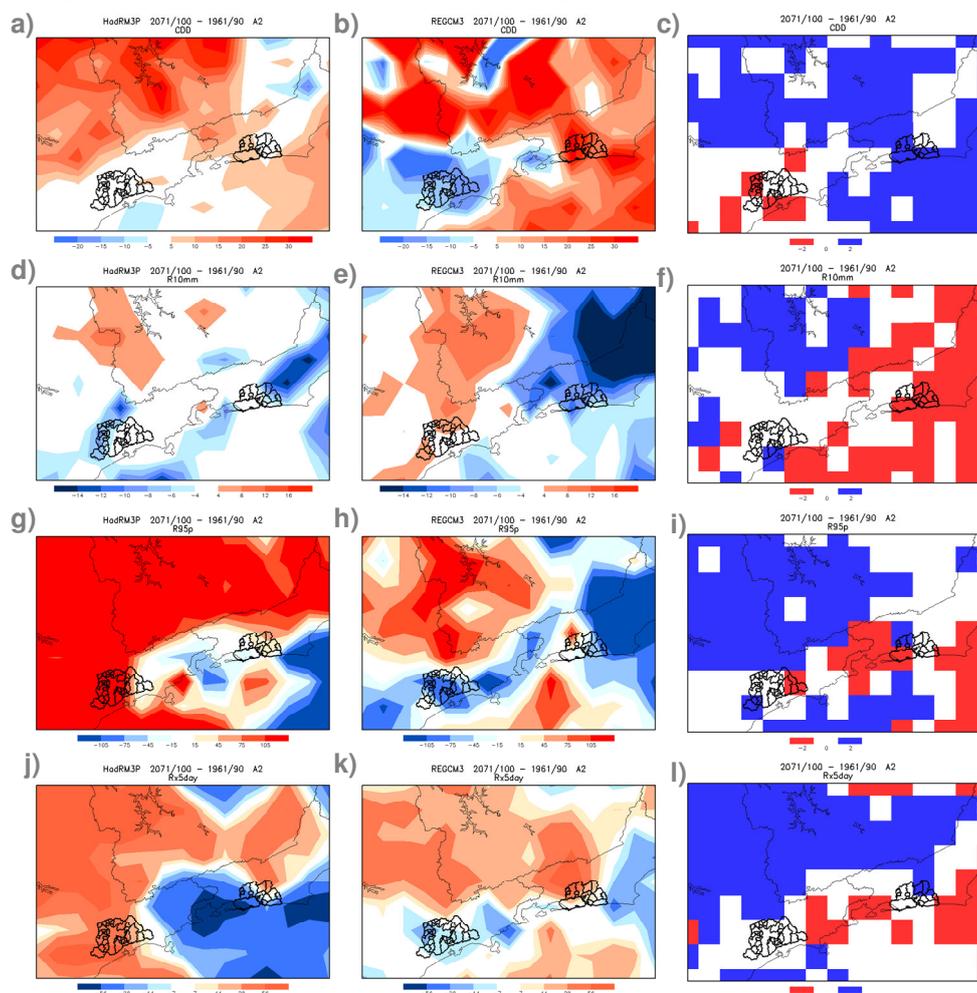


Figura 2: Diferença entre as tendências projetadas pelos modelos regionais HadRM3P (esquerda) e RegCM3 (centro) nos períodos 2071–2100 e 1961-1990, cenário SRES A2, para os índices extremos: CDD (a-c), R10mm (d-f), R95p (g-i) e RX5day (j-l). As figuras da direita representam a concordância entre as projeções dos modelos: o valor 2 indica que os dois modelos concordam com um aumento da variável analisada, 0 indica que os modelos divergem e -2 indica que os modelos concordam com um decréscimo da variável analisada. As regiões em destaque representam a RMSP e RMRJ.

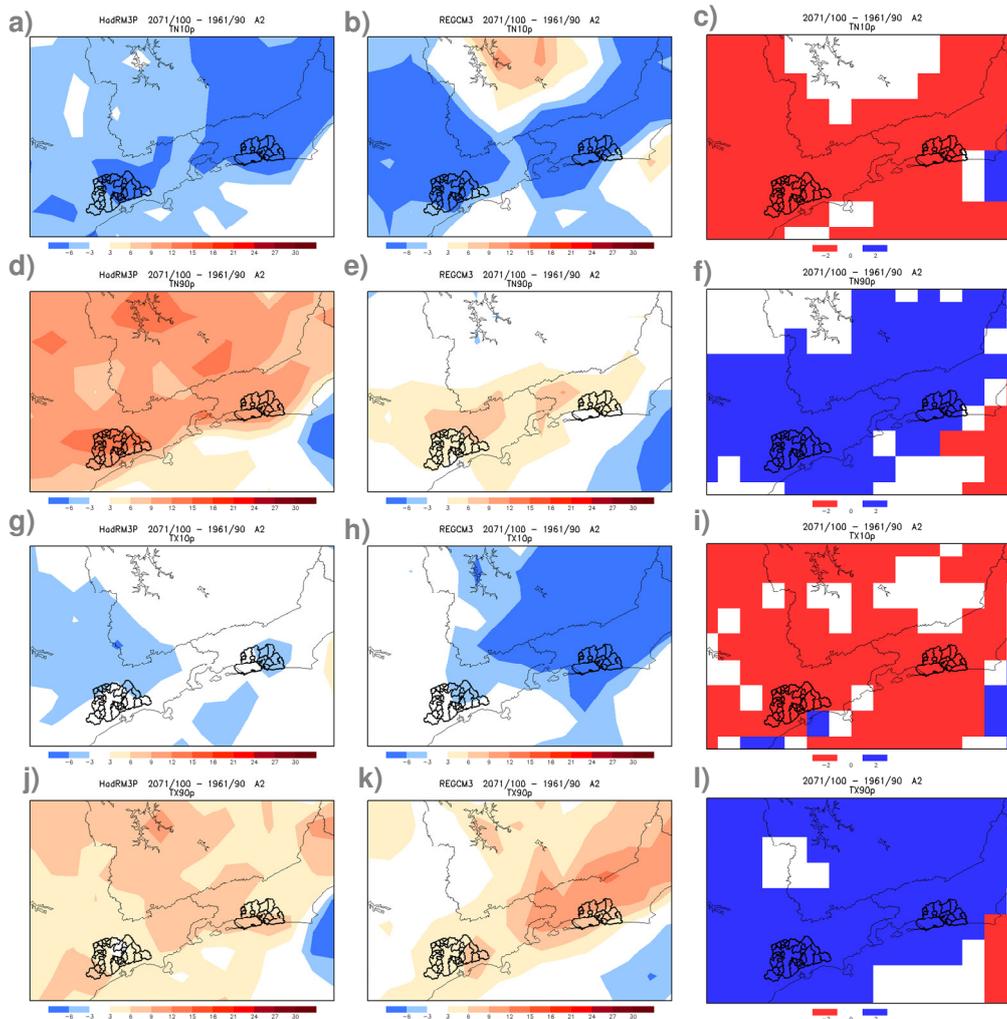


Figura 3: Mesmo que Figura 2, exceto para os índices TN90p (a-c), TN10p (d-f), TX10p (h-i) e TX90p (j-l).

AGRADECIMENTOS: Os autores gostariam de agradecer o Hadley Centre por fornecer o modelo HadRM3P. CREAS é financiado pelo MMA/BIRD/GEF/CNPq, o Plano Nacional de Mudanças Climáticas do Ministério de Ciência e Tecnologia, o Global Opportunity Fund-GOF do Reino Unido através do projeto “Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South America”, e GOF-Dangerous Climate Change.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FRICH, P., ALEXANDER, L.V., DELLA-MARTA, P., GLEASON, B., HAYLOCK, M., KLEIN TANK, A.M.G., PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 9, 193-212, 2002.
- MARENGO, J.A., AMBRIZZI, T., ROCHA, R.P., ALVES, L.M., CUADRA, S.V., VALVERDE, M., FERRAZ, S.E.T., TORRES, R.R., SANTOS, D.C. Future change of climate in South America in the late XXI century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. Submitted to *Clim Dyn.*, 2009a.
- MARENGO, J.A., JONES, R., ALVES, L.M., VALVERDE M. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int J Climatol*, In press, 2009b.
- 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. Submitted to *Climatic Change*, 2009c.

6. ANEXO

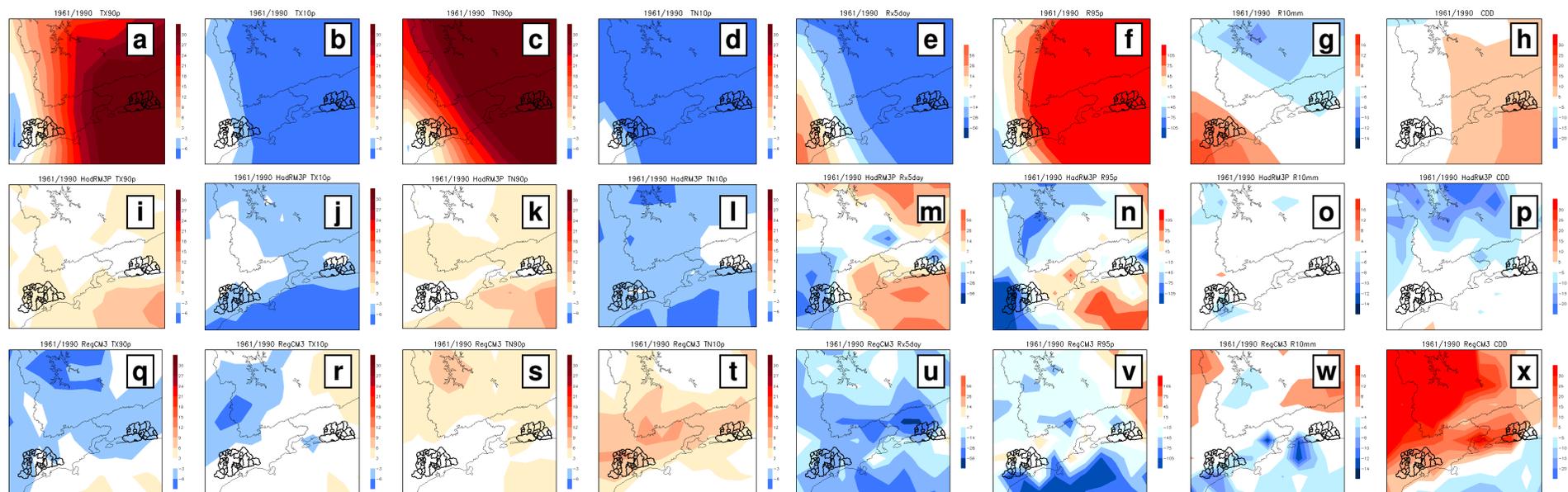


Figura 4: Tendências observadas (a-h) e simuladas pelos modelos regionais HadRM3P (i-p) e RegCM3 (q-x) no período de 1961 - 1990, para os índices extremos: TX90p (a,i,q), TX10p (b,j,r), TN90p (c,k,s), TN10p (d,l,t), Rx5day (e,m,u), R95p (f,n,v), R10mm(g,o,w) e CDD (h,p,x). As regiões em destaque representam a RMRJ e RMRJ.

Tabela 1: Sumário das projeções climáticas derivadas dos modelos regionais HadRM3P e RegCM3. A confiabilidade é definida na análise qualitativa das fontes.

	Observado (1961-1990)		Simulado (1961-1990)		Cenário A2 (2071-2100)		Tendência (2071-2100)		Confiabilidade	
	RMRJ	RMSP	RMRJ	RMSP	RMRJ	RMSP	RMRJ	RMSP	RMRJ	RMSP
Temperatura	aumento	aumento	aumento	aumento	aumento	aumento	aumento	aumento	alta	alta
Extremos de Temperatura	aumento	aumento	aumento	aumento	aumento	aumento	aumento	aumento	alta	alta
Precipitação	estável	estável	estável	estável	aumento	aumento	aumento	aumento	baixa	baixa
Extremos de Precipitação	aumento	aumento	redução	redução	aumento	aumento	aumento	aumento	muito baixa	muito baixa