



**Análise da variabilidade climática e eventos extremos de precipitação sazonal
com o modelo climático RegCM-4.6.1 sobre o sudeste do Brasil.**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Vitor Hugo de Almeida Marrafon (Universidade Federal de Itajubá, Bolsista
PIBIC/CNPq)

vitorhmarrafon@gmail.com

Dr. Lincoln Muniz Alves (CCST/INPE, Orientador)

lincoln.alves@inpe.br

Julho de 2018



AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Lincoln Muniz Alves, pelo seu suporte, paciência, pelas suas correções e incentivos.

Ao CNPq, pela oportunidade de realizar a pesquisa e seu financiamento.



LISTA DE FIGURAS

Pág

Figura 1: Precipitação média anual (1981-2010) em mm/ano.	11
Figura 2: Contribuição percentual da Precipitação média sazonal (1981-2010)	12
Figura 3: Climatologia sazonal do índice R95p (mm).....	1 Error!
Bookmark not defined.	
Figura 4: Frequência relativa de dias com precipitação acima do valor climatológico do R95p (%)	14
Figura 5: Tendência da precipitação acumulada (mm/ano).....	15
Figura 6: Tendência do índice R95p (mm/década)	15
Figura 7: Climatologia sazonal do índice Rx5Day (mm).....	16
Figura 8: Tendência do índice Rx5Day (mm/década)	17
Figura 9: Climatologia sazonal do índice CDD (dias).....	18
Figura 10: Tendência do índice CDD (dias/década)	18
Figura 11: Frequência relativa de dias com precipitação em diferentes (mm/dia).....	19
Figura 12: Viés de precipitação (mm/dia) para a simulação Reg25km.....	20
Figura 13: Viés de precipitação (mm/dia) para a simulação Reg5km.....	21
Figura 14: Viés de temperatura (°C) para a simulação Reg25km	22
Figura 15: Viés de temperatura (°C) para a simulação Reg5km.....	22
Figura 16: Ciclo anual de precipitação média acumulada (mm) para RMSP.....	2 Error!
Bookmark not defined.	
Figura 17: Ciclo anual de temperatura média do ar (°C) para RMSP	24
Figura 18: Frequência relativa de precipitação observada, Reg25km e Reg5km.....	25
Figura 19: Comparação entre a precipitação observada, Reg25km e Reg5km para a RMSP.....	26
Figura 20: Comparação entre o Rx5Day observada, Reg25km e Reg5km para a RMSP.....	27
Figura 21: Comparação entre o CDD observada, Reg25km e Reg5km para a RMSP.....	28



SUMÁRIO

	<u>Pág</u>
AGRADECIMENTOS	2
LISTA DE FIGURAS	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	5
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
4. DADOS E METODOLOGIA	8
4.1. Dados observados.....	8
4.2. <i>Downscaling</i> com o RegCM-4.6.1.....	9
4.3. Avaliação do RegCM-4.6.1.....	10
5. RESULTADOS	10
5.1. Climatologia e frequência de eventos extremos.....	10
5.2. Frequência e tendências de eventos extremos.....	12
5.3. <i>Downscaling</i> com o RegCM-4.6.1 e teste de sensibilidade.....	19
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. INTRODUÇÃO

Os resultados do quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) indicam a ocorrência inequívoca do aquecimento global e uma probabilidade de aumento na frequência dos eventos extremos como secas, enchentes, ondas de calor e de frio e tempestades com potencial de produzir enormes perdas econômicas (exemplo, em safras agrícolas) e de vidas (Magrin et al. 2014). Eventos extremos isolados não podem ser diretamente atribuídos a mudanças climáticas antropogênicas, no entanto, uma determinada tendência de aumento ou diminuição de eventos extremos ao longo de décadas pode estar associado à mudanças climáticas. Portanto, a análise de eventos climáticos extremos para uma dada região é de suma importância.

Para um bom entendimento da ocorrência de eventos climáticos extremos é necessário uma boa compreensão da atmosfera como um todo. Esse entendimento aumentou nos últimos anos com o desenvolvimento computacional, a partir das melhorias nas medições das variáveis atmosféricas e o uso de modelagem numérica. Inúmeros estudos sugerem que o *downscaling* (regionalização), técnica que consiste no uso de um modelo regional aninhado a um modelo global, proporciona uma representação significativamente verossímil do clima local, uma vez que considera fatores como: proximidade do oceano, topografia acentuada, solo, cobertura da superfície, etc (De Souza et al., 2016). Diferente dos modelos globais, os modelos regionais tem uma resolução horizontal na ordem de quilômetros e dezenas de quilômetros, enquanto os modelos globais tem resolução na ordem de 100 a 300 km (Marengo et al., 2011). Estes fatores são de suma importância para representação das condições de tempo e clima, uma vez que a eles são adicionados fatores de grande escala (modulação dos oceanos e circulação geral da atmosfera) obtidos pelos modelos globais (Ambrizzi et al., 2007). Neste sentido, torna-se uma importante ferramenta para analisar um grande número de processos físicos e dinâmicos de maneira interativa e simultânea, tais como estudos de eventos extremos climáticos (Carter et al., 1999).

Neste trabalho os eventos extremos serão analisados sobre a região sudeste do Brasil, em particular a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A RMSP é sede do aglomerado urbano com o mais elevado Produto Interno Bruto (PIB) do país, sendo de grande importância um

conhecimento da variabilidade climática relacionada a extremos de precipitação nesta região visto que atualmente a região sofreu no verão de 2014 e 2015 umas das maiores secas de sua história provocando diversos danos socioeconômicos (Coelho et al., 2016).

2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Muitas são as especulações sobre as causas da seca que ocorreu no verão de 2014 e 2015, entre elas: a variabilidade natural do clima, desmatamento da Amazônia, mudanças climáticas globais, entre outras. Em geral, pode-se dizer que a crise hídrica foi gerada por uma conjunção de fatores que incluíram a falta de gerenciamento dos recursos hídricos e a deficiência de chuvas durante o verão de 2014 e 2015 (Coelho et al. 2016; Nobre et al., 2015).

Embora seja difícil estabelecer uma relação direta de causa e efeito entre os fatores climáticos e a crise hídrica na Região Sudeste, ou uma atribuição de causa dessa seca (variabilidade natural e/ou influência humana), a motivação desta pesquisa é responder às seguintes questões:

- A seca do verão 2014 e 2015 considerada como um evento extremo histórico pode ser um indicativo de uma possível mudança na variabilidade climática e na frequência dos eventos extremos tanto chuvoso quanto seco no Sudeste do Brasil?

- Qual a destreza do modelo climático regional RegCM-4.6.1 em reproduzir a variabilidade espacial e temporal da precipitação no clima presente em diferentes resoluções espaciais e quais os erros sistemáticos nas simulações, já que o conhecimento desses erros possibilitam atribuir um grau de incerteza às projeções do clima futuro;

Procurando responder a estas questões, este estudo justifica-se na ampliação do conhecimento dos extremos climáticos sobre o Sudeste do Brasil baseando-se em dados históricos e simulações climáticas provenientes de modelos climáticos regionais e que permita os tomadores de decisão compreenderem variabilidade climática relacionada a eventos extremos sobre a Região Sudeste do Brasil e planejarem medidas de adaptação e mitigação.

A importância deste trabalho se dá ao grau da informação na qual diversas atividades econômicas e sociais, a exemplo do planejamento de atividades agrícolas e gerenciamento dos recursos hídricos, demandam quanto ao melhor entendimento e visualização das variabilidades climáticas observadas no passado recente, presente e cenários futuros.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Eventos extremos tais como redução no número de dias frios, aumento da duração das ondas de calor, aumento na frequência de chuvas intensas ou de secas severas, causam expressivos impactos na sociedade e nos ecossistemas (Karl et al., 1997). Estimativas feitas pela Cruz Vermelha mostram que no final do século XX eventos de enchentes afetaram mais que 1,5

bilhões de pessoas, entre as quais mais de 318.000 morreram e mais de 80 milhões ficaram sem moradia (Pilke e Downton, 2000).

Nas últimas décadas uma das questões mais relevantes com relação ao clima, refere-se ao provável aumento na ocorrência e intensidade de eventos extremos de precipitação em função das mudanças climáticas. 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 (Karl et al., 1999; Peterson et al., 2001). Mudanças na frequência e intensidade de extremos climáticos foram identificadas por Frich et al. (2002) com o uso de 10 índices de extremos climáticos de temperatura e precipitação definidos pelo ETCCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*). Song et al. (2011) sugeriu que mudanças no padrão de precipitação ocorre de várias formas, como mudanças na quantidade de dias úmidos, dias secos ou dias com precipitação intensa. O uso de índices já se tornou um consenso para identificação de extremos (Sillmann et al., 2013a-b).

Segundo Torres et al.(2012), o Brasil destaca-se como o país em que os padrões de mudanças climáticas podem ser mais proeminentes, comparativamente ao restante da continente sul-americano, projeções do IPCC para o final deste século indicam um aumento na intensidade de eventos extremos de precipitação intensa e dias secos consecutivos para praticamente todo o continente (IPCC, 2014; Sillmann et al. 2013b).

Bryant (1991) e Albala-Bertrand (1993), ressaltam que um aspecto fundamental para o entendimento de eventos climáticos é a compreensão do fluxo de energia em um determinado local. Esses fluxos são representados por equações não-lineares que tentam descrever a dinâmica atmosférica através da conservação de massa, momento e energia, e são resolvidas através de métodos numéricos resolvidos por computadores (modelos climáticos), entretanto uma medição precisa das condições da atmosfera é necessário para a definição das condições iniciais utilizadas para resolver as equações.

Os modelos climáticos são as principais ferramentas para fazer projeções do clima futuro. Em um modelo climático, o mundo é dividido em uma grade com células que abrangem toda a superfície do planeta, a atmosfera e os oceanos. Nessa grade, o modelo faz cálculos matemáticos com base em leis da física bem estabelecidas que descrevem o movimento do ar, mudanças na pressão atmosférica, temperatura e a formação de chuva. Em outras palavras: o tempo e o clima. Paralelamente à melhora no desempenho computacional, os modelos climáticos foram se tornando cada vez mais complexos ao longo dos anos, à medida que mais e mais componentes foram sendo acrescentados, como a dinâmica dos oceanos, as trocas na superfície da terra e os aerossóis. Apesar disso, não é possível representar todos os detalhes que existem no mundo real e, portanto, determinados processos têm de ser incluídos no modelo por meio de aproximações baseadas em conhecimento especializado.

Dado essa complexidade, modelos globais não representam bem o sistema climático em escalas regionais e mesoescala. Para uma melhor compreensão dos processos nessa escala é utilizado a técnica de redução de escala ou *downscaling* por meio de modelos climáticos regionais (Marengo et al., 2011). É consenso na comunidade científica de que o uso destes modelos regionais é uma das ferramentas mais adequadas para o estudo do clima atual e futuros (PBMC, 2013).

Vários estudos já analisaram indicadores climáticos com dados observados e simulados sobre diferentes regiões do Brasil e América do Sul, utilizando modelos climáticos globais e regionais (Cavalcanti et al., 2015; Silva, 2014; Marengo, 2007; Obregón e Marengo, 2007; Rusticucci et al., 2010; Skansi et al., 2013). Valverde e Marengo (2014) utilizaram simulações do modelo climático regional ETA/CPTEC para avaliar eventos extremos de precipitação sobre as maiores bacias brasileiras para o período de 1979 a 2005, onde a destreza do modelo em representar extremos foi avaliada utilizando dados do CPC. De forma geral, o modelo tende a superestimar índices de chuva extrema e dias secas para todas as bacias avaliadas (São Francisco, Paraná, Tocantins e Amazonas).

Atualmente, o modelo climático regional RegCM tem sido utilizado em diversos estudos climatológicos para o presente e futuro em todo o mundo. Para o Brasil o modelo se mostrou eficaz em representar a variação sazonal e anual da precipitação e o ciclo diurno da convecção sobre a região Sudeste do Brasil incluindo o regime de verão associado à ZCAS (Cuadra e Rocha, 2006; Seth et al., 2007; Reboita et al., 2010a; Da Rocha et al., 2012). Fernandez et al. (2006) verificou que o RegCM3 subestima a intensidade da Alta da Bolívia e o fluxo de umidade da Amazônia para o Sul/Sudeste do Brasil, em contrapartida o cavado do Nordeste (que surge como uma resposta a Alta da Bolívia) foi bem representado pelo modelo. De forma geral, as variabilidades climáticas e anuais foram bem representadas pelo modelo, justificando o uso do modelo RegCM-4.6.1 nessa pesquisa.

4.DADOS E METODOLOGIA

4.1 Dados observados

Para a realização deste trabalho utilizou-se dados diários de precipitação provenientes do sistema de análise de dados observacionais do *Climate Prediction Center* (CPC, NOAA-USA) para o período de 1981-2017. Essa base de dados apresenta consistência e correspondência alta com dados derivados de estações convencionais e estimativas por satélites (Chen et al., 2008). Também foram utilizados dados de temperatura média mensal (°C) provenientes do *Climatic Research Unit* (CRU), para o período de 2005 a 2015. Ambos os dados possuem uma resolução de 0.5° x 0.5° e as análises foram centradas para o domínio definido entre 25°S e 20°S de latitude e 50°W e 40°W de longitude, correspondendo ao sudeste do Brasil e as estações dezembro-fevereiro (DJF), março-maio (MAM), junho-agosto (JJA) e setembro-novembro (SON).



O domínio definido está localizado sobre a Região Sudeste do Brasil. Nesta área estão presentes importantes cadeias montanhosas como a Serra da Mantiqueira e Serra do Mar. Tais aspectos topográficos são fundamentais para a composição climática dessa região, uma vez que a topografia influencia diretamente em características como temperatura, precipitação e vento.

Para definir o clima de uma região é recomendado um período de 30 anos consecutivos de dados, nesse panorama foi utilizado o período de 1981 a 2010 para calcular o valor climatológico dos índices de extremos e da precipitação (WMO, 2008).

Foram calculadas climatologias sazonais dos índices de precipitação propostos por Frich et al. (2002), conforme descritos a seguir:

Dias secos consecutivos (CDD, sigla em inglês) que representa o número máximo de dias secos consecutivos, sendo um dia seco considerado aquele com precipitação abaixo de 1 mm por dia; *Dias muito úmidos* (R95p) que representa o valor de precipitação sazonal correspondente ao 95º percentil; *Quantidade máxima de precipitação em 5 dias* (Rx5Day); *Precipitação total* (PRTOT) acumulado sazonalmente.

Em seguida, os índices foram avaliados para a RMSP representado pelo sub-domínio limitado entre 45.60°W e 47.30°W e 23.15°S e 24.10°S. Para as análises foram feitas a média espacial sobre a região.

Adicionalmente foram calculados a frequência relativa de dias com eventos de precipitação acima do R95p (Equação 1), a frequência relativa de dias com precipitação em diferentes limiares (menor que 1 mm, entre 1 e 10 mm, 10 – 20 mm, 20 – 30 mm, 30 – 50 mm e acima de 50 mm) (Equação 2) e a tendência linear para os 4 índices de precipitação através do método dos mínimos quadrados (Equação 3).

$$(1) \quad fr = \frac{n_{95}}{N} * 100$$

$$(2) \quad Se \ p < \text{prec} < \ p', \text{freq} = \frac{1}{N} \sum NDay$$

$$(3) \quad Tend = (a \sum \text{ano} * x - \sum x \sum \text{ano}) / (a \sum (\text{ano})^2 - (\sum x)^2)$$

Em que, n_{95} é o número de dias com precipitação acima do percentil 95, N é o número de dias de determinada estação para o período de 30 anos, x o valor sazonal do índice, p o limiar inferior de precipitação, p' o limiar superior, $prec$ a precipitação em mm.dia⁻¹, ' a ' é o número de anos, na equação 3.

4.2 Downscaling com o RegCM-4.6.1.

Nesse trabalho foram realizadas simulações do RegCM-4.6.1 acoplado ao modelo de superfície CLM4.5. O RegCM4 é um modelo climático regional de código livre desenvolvido e distribuído pelo *International Center for Theoretical Physics* (ICTP). O RegCM-4.6.1

parametriza diversos processos físicos, por exemplo, processos radiativos, precipitação convectiva, microfísica de nuvens e descrição da superfície (modelo de superfície). Maiores detalhes acerca do RegCM-4.6.1 podem ser obtidos no sítio <https://www.ictp.it/research/esp/models/RegCM4.aspx>.

A destreza do modelo regional RegCM-4.6.1 em simular a variabilidade climática do sudeste do Brasil foi avaliada através do *downscaling* dinâmico do modelo regional aninhado às reanálises ERA-Interim para o clima presente, para o período de 2004 a 2015, sendo o primeiro ano de integração considerado período de spin-up do modelo. As simulações foram realizadas com duas versões do modelo, a hidrostática (25 km de resolução horizontal) e não hidrostática (5 km de resolução horizontal), sobre o domínio configurado entre 25°S e 20°S de latitude e 50° W e 40° W de longitude com projeção mercator, e 23 níveis verticais. Para a simulação de 5 km foi utilizado como condições iniciais os resultados da rodada de 25 km. Em ambas as simulações foi utilizada a parametrização de Emmanuel para convecção *cumulus* profundo para o continente e oceano (Emmanuel e Zivkovic-Rothman, 1999).

4.3 Avaliação do RegCM-4.6.1.

Foi analisada a destreza do modelo nas duas simulações descritas no item anterior, com resoluções de 25 km e 5 km, denominadas Reg25km e Reg5km, respectivamente. Para avaliar a destreza do RegCM-4.6.1 em simular a precipitação, as simulações foram comparadas com os dados observados do CPC para um período de 2005 a 2015. A partir dos resultados da simulação foram calculados: Os índices CDD, Rx5Day e PRTOT, o viés climatológico (Equação 4) e o ciclo médio mensal. Além da precipitação, também foi avaliada a destreza do RegCM-4.6.1 em representar a temperatura comparando com os dados observados - CRU.

$$(4) \quad \text{Viés} = \overline{E_i} - \overline{O_i}$$

Em que, $\overline{E_i}$ é o valor médio climatológico da variável simulada e $\overline{O_i}$ o valor médio climatológico da variável observada.

Pacotes e *softwares* como o GrADS (*The Grid Analysis and Display System*), CDO (*Climate data operators*) e Origin 8.0 foram utilizados para processamento, manipulação e visualização dos dados em todas as etapas do trabalho.

5.RESULTADOS

5.1. Climatologia e frequência de eventos extremos.

Esta seção apresenta uma breve análise das características climatológicas da precipitação sobre a região Sudeste do Brasil. Uma característica marcante desta região é a considerável heterogeneidade espacial e sazonal da precipitação, que define pelo menos dois regimes de precipitação, uma estação seca durante o inverno (JJA) e uma chuvosa no verão (DJF) (Figura

2). Apesar desta classificação, a região apresenta uma grande variabilidade anual e interanual da precipitação, causada pela interação entre a atmosfera, os oceanos Pacífico e Atlântico, a topográfica e a cobertura vegetal. Os totais pluviométricos anuais variam entre 800 mm/ano no oeste e nordeste da região e maior pluviosidade no litoral com valores superiores a 1600 mm/ano (Figura 1).

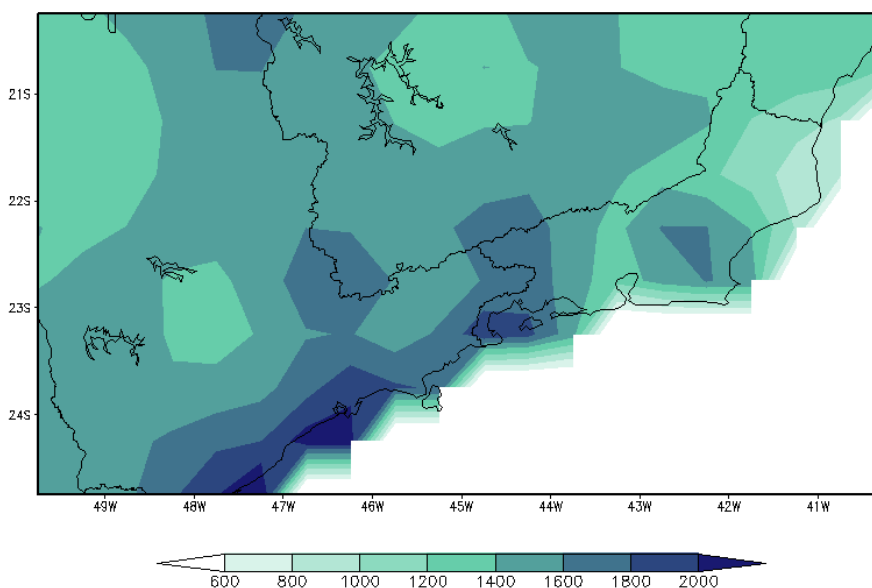


Figura 1: Precipitação média anual (1981-2010) em mm/ano. Fonte dos dados: NOAA/CPC.

A distribuição de precipitação tem uma alta variabilidade sazonal. Na Figura 2 observamos a contribuição (em porcentagem) de cada época do ano para o acumulado anual total de precipitação. Verifica-se que a maior contribuição é durante verão, com contribuição acima de 40% em quase toda região e ultrapassando os 50% na porção Norte, e desta forma caracterizando-se como a estação chuvosa. Durante essa época do ano devido a formação do sistema de monções da América do Sul (Vera et al., 2006b), uma grande zona de convergência se forma devido a um fluxo intenso de umidade conectando a Amazônia até a costa da região sudeste do Brasil, esse sistema é denominado Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A estação seca corresponde ao inverno, com valores abaixo dos 20% nas regiões litorâneas e abaixo de 10% nas áreas mais continentais, esses baixos pluviométricos estão relacionados a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), um sistema de alta pressão que inibe a ascensão do ar e conseqüentemente a ocorrência de precipitação (Reboita, 2010b). O outono e a primavera são classificadas como estações de transição e suas contribuições variam entre 10 e 30%, ambas apresentam uma distribuição espacial semelhante e homogênea para a maior praticamente todo o domínio.

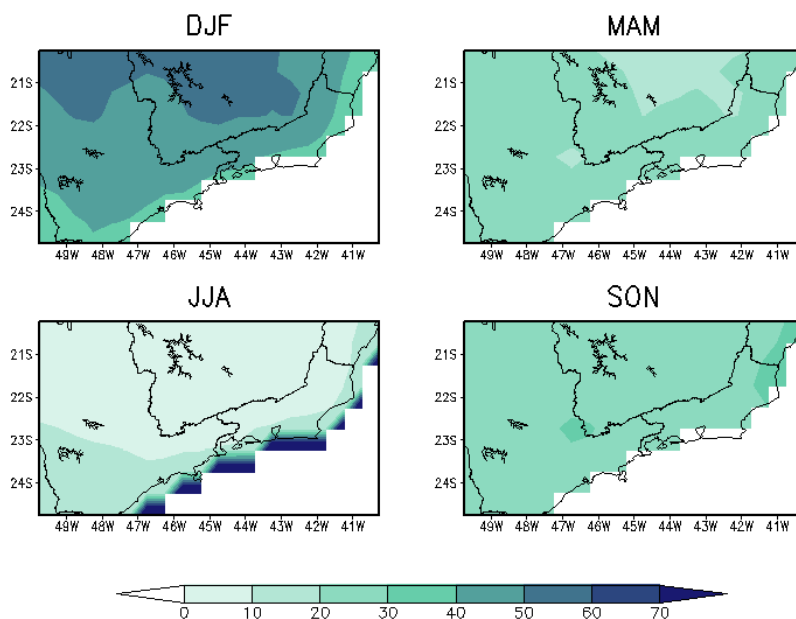


Figura 2: Contribuição percentual da Precipitação média sazonal (1981-2010). As siglas DJF, MAM, JJA e SON correspondem ao verão, outono, inverno e a primavera, respectivamente. Fonte dos dados: NOAA/CPC.

5.2. Frequência e tendências de eventos extremos.

Nesta seção serão avaliados os índices observados dos extremos de precipitação e suas tendências. A Figura 3 apresenta o índice R95p, que define um dia como extremamente úmido (precipitação acima do percentil 95). Como esperado os maiores valores se encontram no período de DJF com picos no litoral de SP e no setor nordeste com valores acima de 35 mm/dia. Os menores valores são encontrados no período de JJA com destaque no setor leste (10 - 15 mm/dia). O setor oeste principalmente a região sul de SP apresenta valores próximos aos encontrados nas estações de transição MAM e SON. Em geral, os valores ficam em torno dos 25 e 30 mm/dia. As características da superfície como uso do solo e a topografia podem estar diretamente relacionadas a ocorrência de chuvas intensas (Nunes et al., 1989).

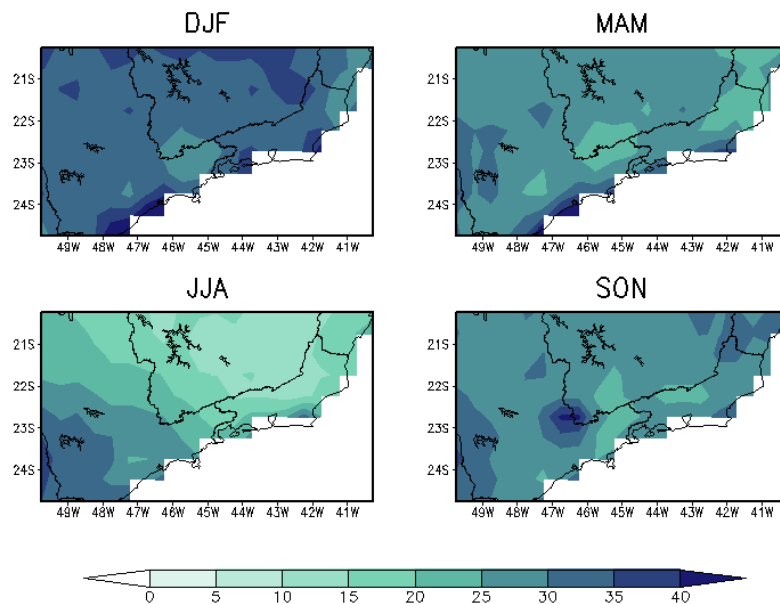


Figura 3: Climatologia sazonal do índice R95p (mm). As siglas idem figura 2. Fonte dos dados: NOAA/CPC.

A figura 4 mostra a frequência relativa de dias em que a precipitação foi acima do valor climatológico do R95p (figura 3). Partindo da definição de Frich et al. (2002) o R95p é o valor do 95º percentil na distribuição de precipitação para o período de 1981-2010. A maior frequência ocorre no período de JJA, valor muito próximo aos das estações de transição, os menores valores se concentram em DJF, isso ocorre pois apesar do verão ser a estação chuvosa neste período do ano o valor do R95p é mais alto, dificultando a ocorrência destes eventos extremos. Além disso, dias com chuva extrema em muitos casos estão associados a entrada de frentes frias (Berezuk, 2009; Andrade et al., 2015) que são mais frequentes no inverno e nas estações de transição (Cavalcanti e Kousky, 2003; Oliveira, 1986).

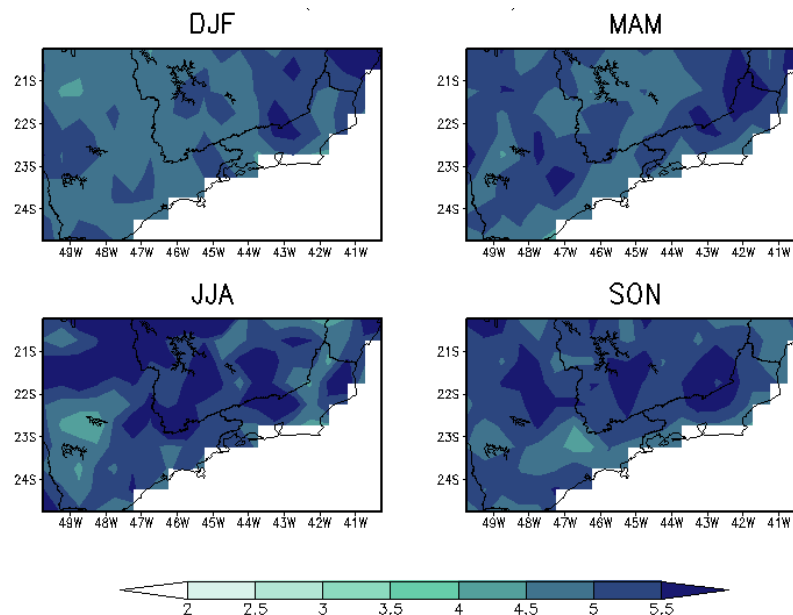


Figura 4: Frequência relativa de dias com precipitação acima do valor climatológico do R95p (%) para o domínio estudado. As siglas idem figura 2.

A figura 5 mostra a tendência para a precipitação acumulada (PRTOT) sazonal. Uma tendência positiva, ou seja, aumento de precipitação total, foi observado no verão, no setor leste do domínio (4 a 6 mm/ano) e no centro de SP (1 a 4 mm/ano). Uma tendência de aumento também foi observado na primavera, próximo a região da serra da mantiqueira no centro do domínio (2 a 6 mm/ano) e entre o Rio de Janeiro e Minas Gerais (1 a 4 mm/ano). Nos demais períodos e regiões é identificado uma tendência negativa, ou seja, diminuição da precipitação acumulada, com destaque no litoral paulista durante o outono com uma queda superior a 8 mm/ano.

Na figura 6, observamos que mesmo em regiões e estações onde a tendência da precipitação é negativa foram encontrados tendências positivas para o índice R95p, logo, essas áreas apresentam uma tendência de queda no total de precipitação e um aumento no valor do R95p, o implica que o percentil 95 da distribuição de precipitação está aumentando. Desta forma, nota-se uma tendência de aumento na ocorrência de dias com precipitação intensa o que potencialmente pode causar perdas sócio-econômicas associadas à ocorrência de enchentes, inundações e deslizamento de terra (ZHANG et al., 2011).

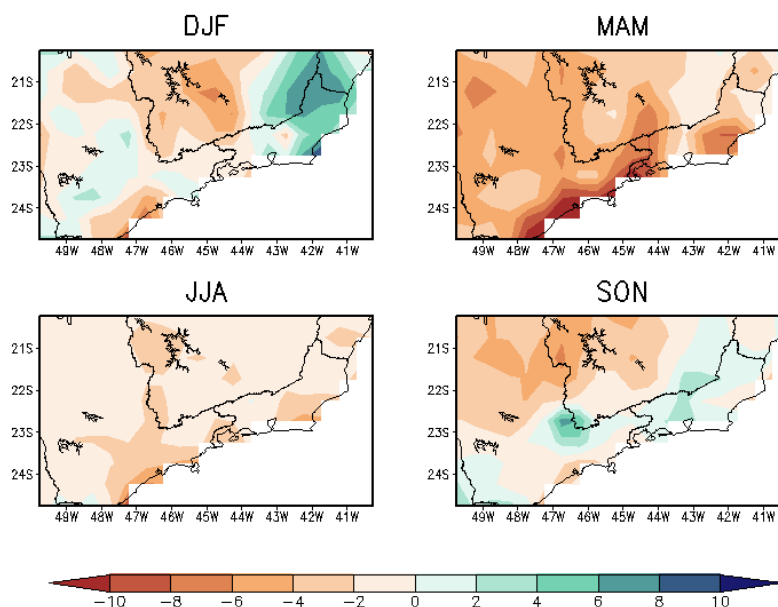


Figura 5: Tendência da precipitação acumulada (mm/ano) para o domínio estudado, valores negativos, cores laranjas, (positivos, cores verdes) representam tendência negativa (positiva). As siglas idem figura 2.

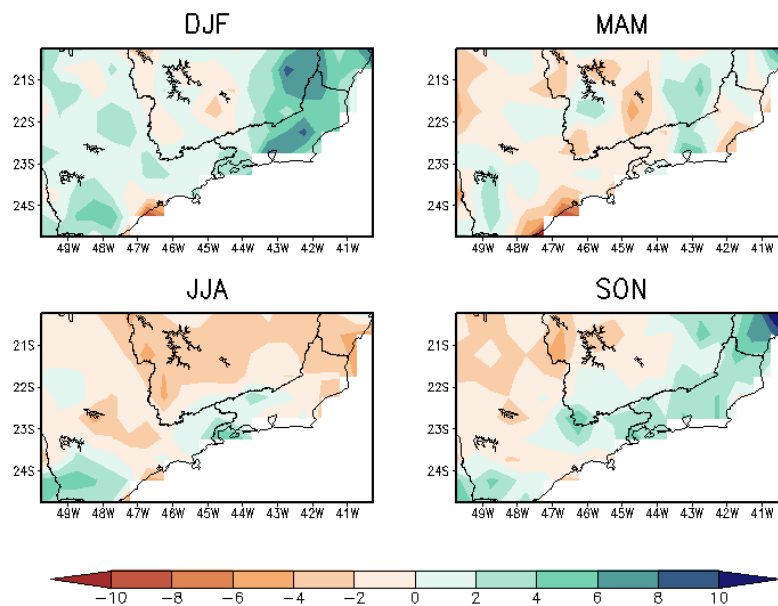


Figura 6: Tendência do índice R95p (mm/década) para o domínio estudado, valores negativos, cores laranjas, (positivos, cores verdes) representam tendência negativa (positiva). As siglas idem figura 2.

A Figura 7 mostra a climatologia do índice Rx5Day, indicando a máxima precipitação acumulada em 5 dias consecutivos. Os maiores valores se concentram na estação chuvosa, com valores entre 40 e 60 mm na região continental e ultrapassando 70 mm no litoral de SP e sul do

RJ. O período de MAM apresenta máximo no litoral de São Paulo e Rio de Janeiro com valores entre 60 e 70 mm. O restante do domínio apresenta valores entre 30 e 40 mm. Os menores valores estão na estação seca, principalmente no norte com valores inferiores à 20 mm. O valor aumenta no sentido sul chegando à 30 – 40 mm no extremo sul de SP. O padrão encontrado em SON é semelhante ao de MAM, porém, os picos na região litorânea são mais amenos. Esses padrões são semelhantes aos encontrados na figura 3 que representa a climatologia sazonal do índice R95p, uma vez que o Rx5Day também está relacionado, à topografia, proximidade do oceano e uso do solo da região estudada. Resultado semelhante são encontrados em Sillmann et al. (2013a).

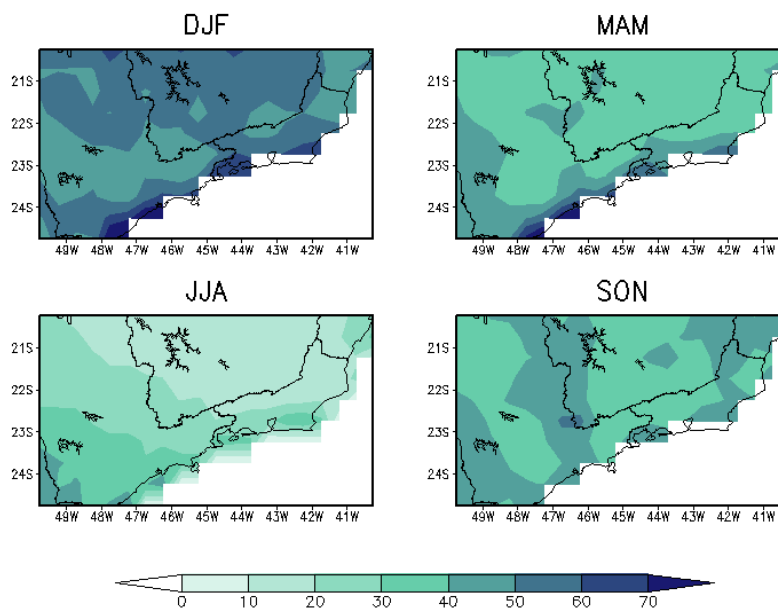


Figura 7: Climatologia sazonal do índice Rx5Day (mm).

A tendência para o índice Rx5Day tem padrão espacial muito semelhante ao R95p (Figura 6), porém, a magnitude é consideravelmente maior (em torno de 4mm/década). Isso implica em um aumento na quantidade de precipitação em um único dia e um aumento ainda maior na precipitação para um pequeno intervalo de dias (5 dias, no caso). O aumento tanto do R95p quanto do Rx5Day em regiões com tendência negativa para o PRTOT indicam uma tendência de diminuição na precipitação acumulada e um aumento da intensidade de chuvas extremas. Ambos eventos podem provocar significativas perdas sócio-econômicas.

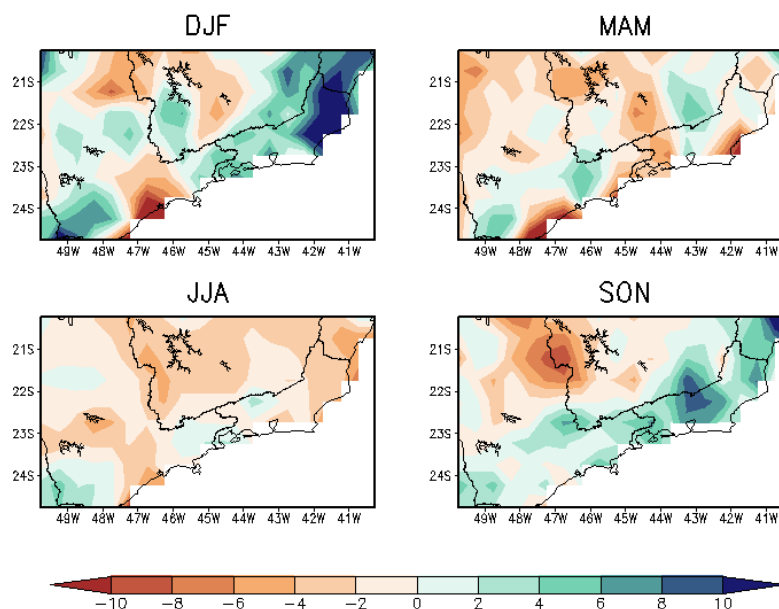


Figura 8: Tendência do índice Rx5Day (mm/década) para o domínio estudado, valores negativos, cores laranjas, (positivos, cores verdes) representam tendência negativa (positiva). As siglas idem figura 2.

A Figura 9 mostra a climatologia do índice CDD, que representa o número máximo de dias secos consecutivos em 1 ano. Os menores valores são encontrados na estação chuvosa, com valores abaixo dos 10 dias. Este valor é homogêneo em praticamente toda a região com exceção no norte do Rio de Janeiro. Os maiores valores são encontrados no período de JJA, com os máximos no setor norte do domínio (> 40 dias). O valor diminui gradativamente na direção sul, chegando a valores abaixo dos 20 dias. Tal característica pode estar associada a dificuldade da entrada de frentes frias (responsáveis pela chuva nesta época do ano) nas áreas mais ao norte do domínio devido a presença da ASAS nessa região durante o inverno. As estações de transição apresentam padrões semelhantes com valores entre 10 e 20 dias.

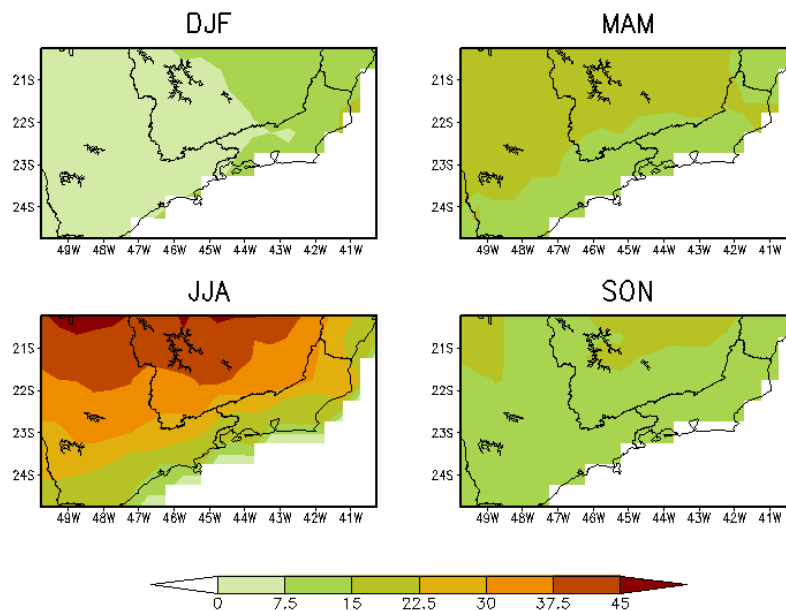


Figura 9: Climatologia sazonal do índice CDD (dias).

A figura 10 mostra a tendência do índice CDD. Nota-se que os menores valores de tendência quando comparado aos demais índices são coerentes com o obtido por Marengo et. al. (2013) para a RMSP. De forma geral, predomina uma tendência de diminuição para DJF e SON e tendência de aumento em SON. Para JJA observa-se uma tendência de aumento no setor centro-sul e nordeste do domínio e uma tendência de diminuição com destaque no setor oeste.

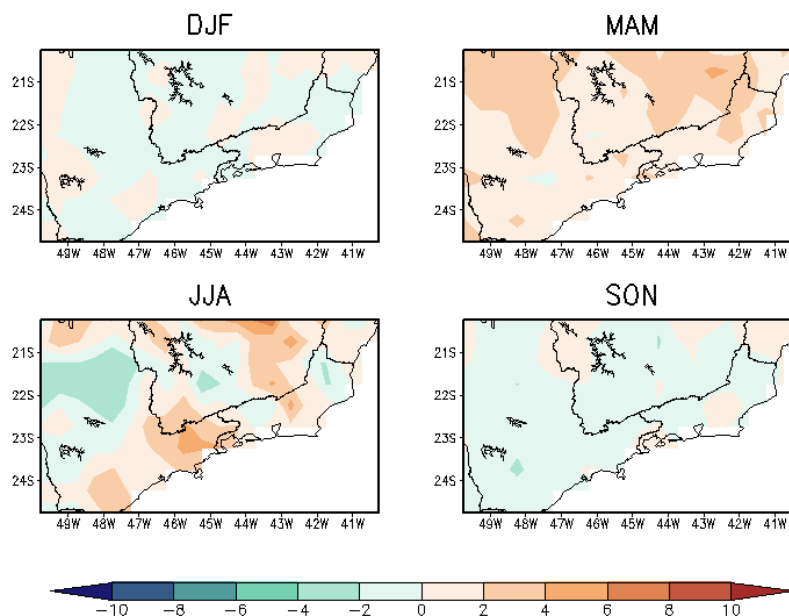


Figura 10: Tendência do índice CDD (dias/década) para o domínio estudado, valores negativos, cores verdes, (positivos, cores laranjas) representam tendência negativa (positiva). As siglas idem figura 2.

A figura 11 mostra a frequência relativa de dias com precipitação em diferentes limiares. Essa análise é focada na RMSP, uma vez que essa região possui o maior aglomerado urbano do País, sendo assim vulnerável a eventos extremos. Como esperado, dias secos (< 1 mm) são mais frequentes na estação seca (JJA) enquanto os outros limiares ficam abaixo dos 15%. Na estação chuvosa (DJF) a frequência de dias secos é menor se comparada às outras estações e os outros limiares possui os maiores valores se comparado as outras estações. As estações de transição (MAM e SON) possuem frequências relativas semelhantes e as distribuições corroboram com os resultados de Sansigolo (2008).

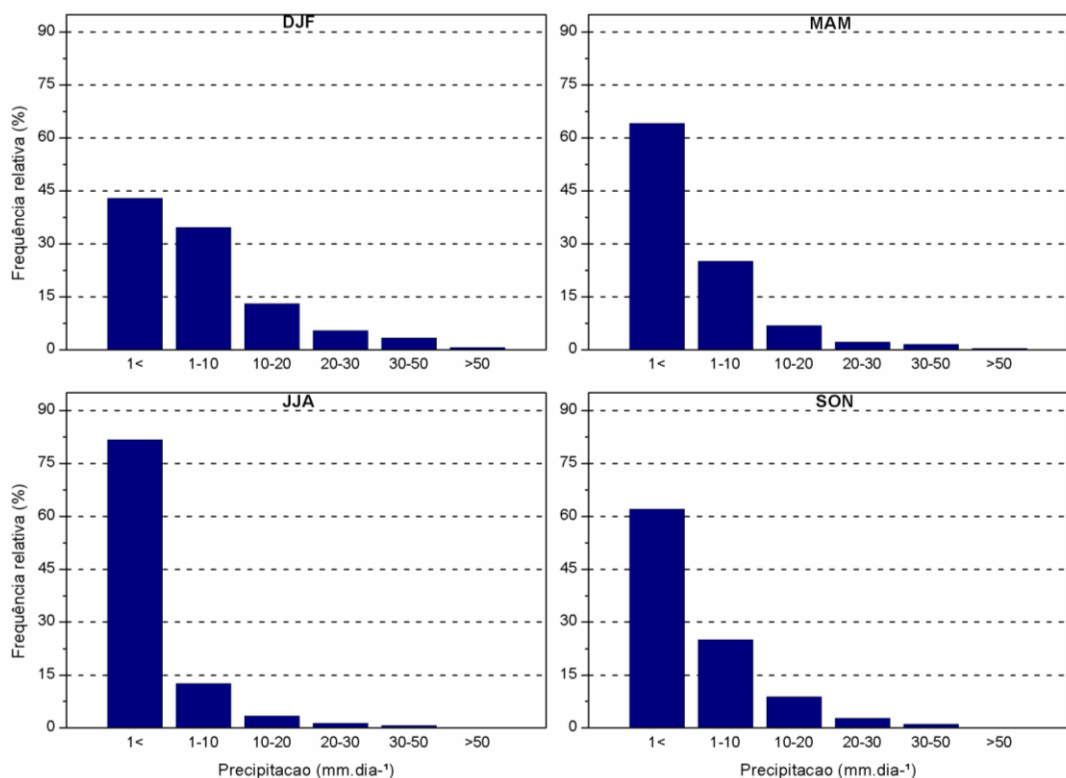


Figura 11: Frequência relativa de dias com precipitação em diferentes (mm/dia).

5.3. Downscaling com o RegCM-4.6.1 e teste de sensibilidade.

Esta seção inicia avaliando a destreza do modelo regional RegCM-4.6.1 em simular a precipitação e temperatura sobre a região Sudeste do Brasil. As Figuras 12 e 13 mostram o viés de precipitação para os dois experimentos, Reg25km e Reg5km, respectivamente. De forma geral, em ambos experimentos o modelo tende a superestimar a precipitação (com exceção de alguns pontos isolados, como o leste de Minas Gerais para DJF e MAM e o oeste de São Paulo

para JJA e SON). Resultado similar foi encontrado por Natividade et. al. (2017) para sul de MG, para a simulação do modelo no modo não-hidrostático. Segundo os autores a superestimativa pode ser explicada pelo fato de que nesse modo as equações a serem resolvidas se tornam mais complexas (Elguindi et al., 2014) aumentando as incertezas na simulação. O conhecimento incompleto do estado inicial da atmosfera (usado como condições de fronteira para o modelo), o uso de parametrizações para representar processos relacionados ao sistema climático e a própria natureza caótica da atmosfera são fatores associados à incerteza encontrada em simulações climáticas (Gettelman e Rood, 2016).

Vale ressaltar que, de forma geral, a superestimativa é maior para regiões com topografia complexa (por exemplo, a região da serra da mantiqueira). Fernandez et al. (2006) e Rennsen et al. (2001) identificaram a representação da precipitação orográfica como um ponto fraco em modelos regionais. Uma simulação com maior resolução pode melhorar significativamente a simulação em algumas regiões, como foi encontrado no leste da Ásia, entretanto essa melhora não é atribuída somente à topografia melhorada (Gao et al., 2006b).

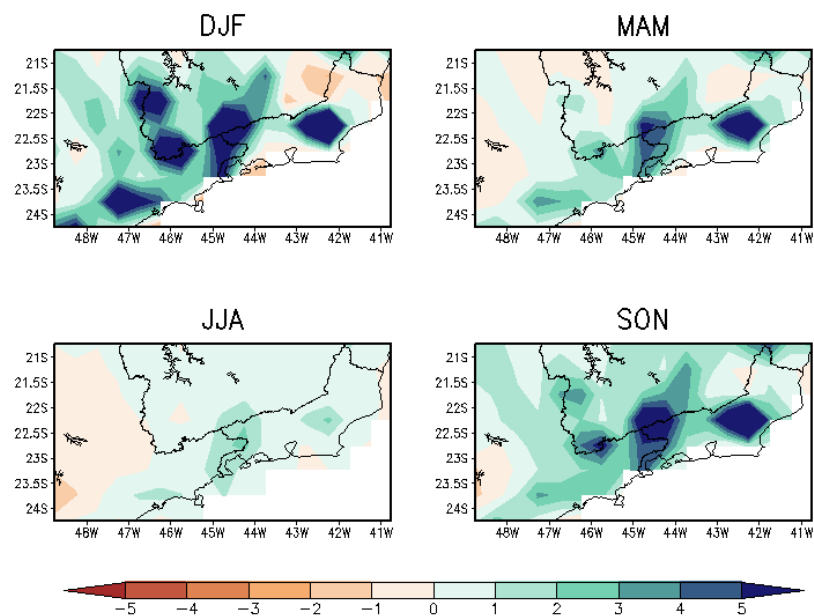


Figura 12: Viés de precipitação (mm/dia) para a simulação Reg25km e para período de 2005 a 2015, valores negativos, cores laranjas, (positivos, cores verdes) representam viés negativo (positiva). As siglas idem figura 2.

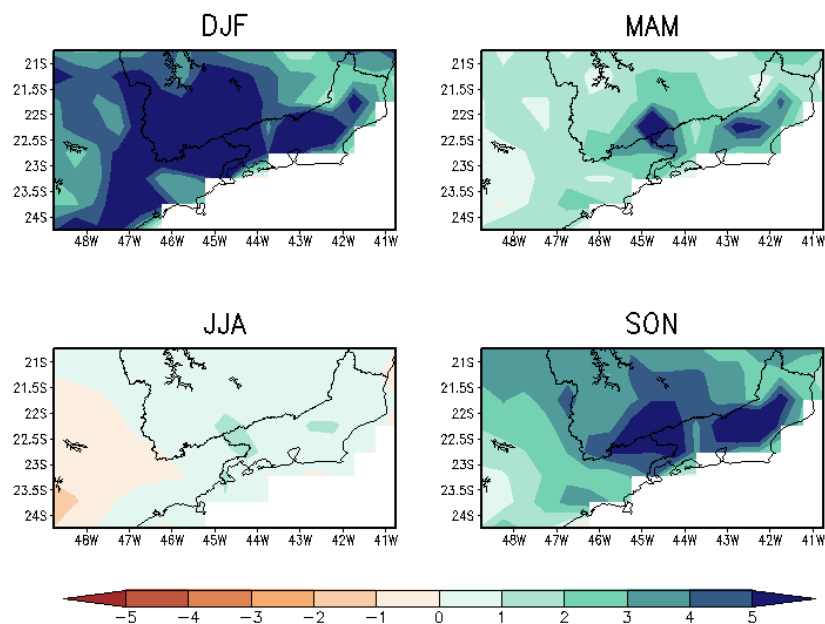


Figura 13: Viés de precipitação (mm.dia^{-1}) para a simulação Reg5km e para o período de 2005 a 2015, valores negativos, cores laranjas, (positivos, cores verdes) representam viés negativo (positiva). As siglas idem figura 2.

As Figuras 14 e 15 mostram o viés de temperatura média a 2 metros de altura para os dois experimentos, Reg25km e Reg5km, respectivamente. Em geral o viés para temperatura é em torno de ± 1 e ± 2 °C. Uma vez que a temperatura não é uma variável parametrizada (Elguindi et al., 2014), ela é melhor representada pelo modelo. Os resultados estão coerentes com os encontrados na literatura (por exemplo, Natividade et al., 2017; Fernandez et al., 2006b). De forma geral, o experimento Reg25km representa melhor a temperatura em DJF e MAM e o Reg5km em JJA e SON, ainda assim a diferença entre os dois experimentos é pequena (na ordem de 1°C).

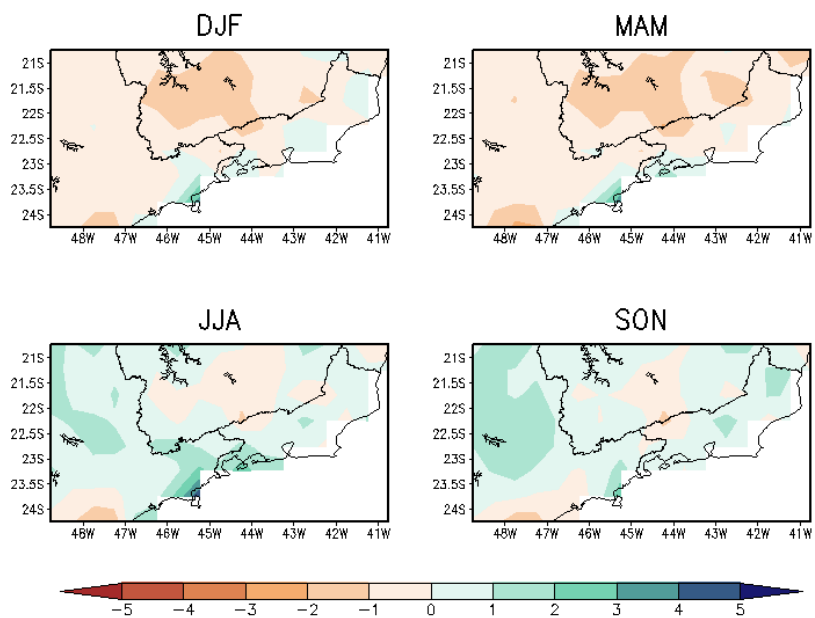


Figura 14: Viés de temperatura (°C) para a simulação Reg25km, período de 2005 a 2015, valores negativos, cores laranjas, (positivos, cores verdes) representam viés negativo (positiva). As siglas idem figura 2.

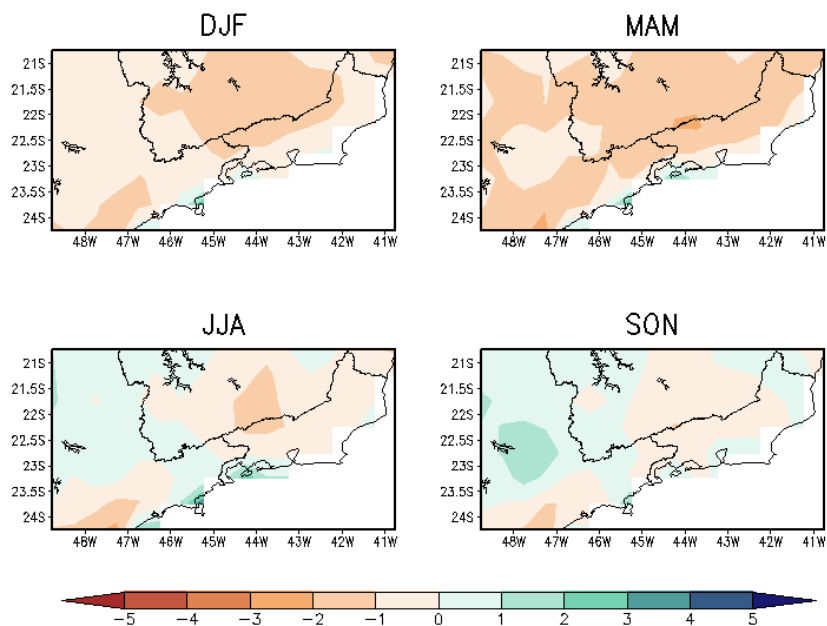


Figura 15: Viés de temperatura (°C) para a simulação Reg5km, período de 2005 a 2015, valores negativos, cores laranjas, (positivos, cores verdes) representam viés negativo (positiva). As siglas idem figura 2.

O ciclo anual da precipitação sobre a RMSR é apresentado na Figura 16. Observa-se em ambos experimentos uma superestimativa no valor da precipitação, principalmente na estação chuvosa. Na estação seca o ciclo anual é bem representado principalmente pelo Reg5km, com

comportamento e valores muito próximo ao observado. De forma geral, o RegCM-4.6.1 representa bem a variabilidade mensal da precipitação, mas subestima a precipitação acumulada, principalmente nos meses chuvosos onde a atmosfera se apresenta muito instável (Reboita, 2010b).

A Figura 17 mostra o ciclo para a temperatura, sobre a RMSP. Em geral, a simulação Reg25km representou melhor o ciclo anual entre os meses de outubro e abril. Nos demais meses a simulação Reg5km se mostrou mais adequada. De forma geral, ambos experimentos representaram bem o ciclo anual de temperatura, e a diferença entre os valores observados e simulados são entre 1 e 2 °C.

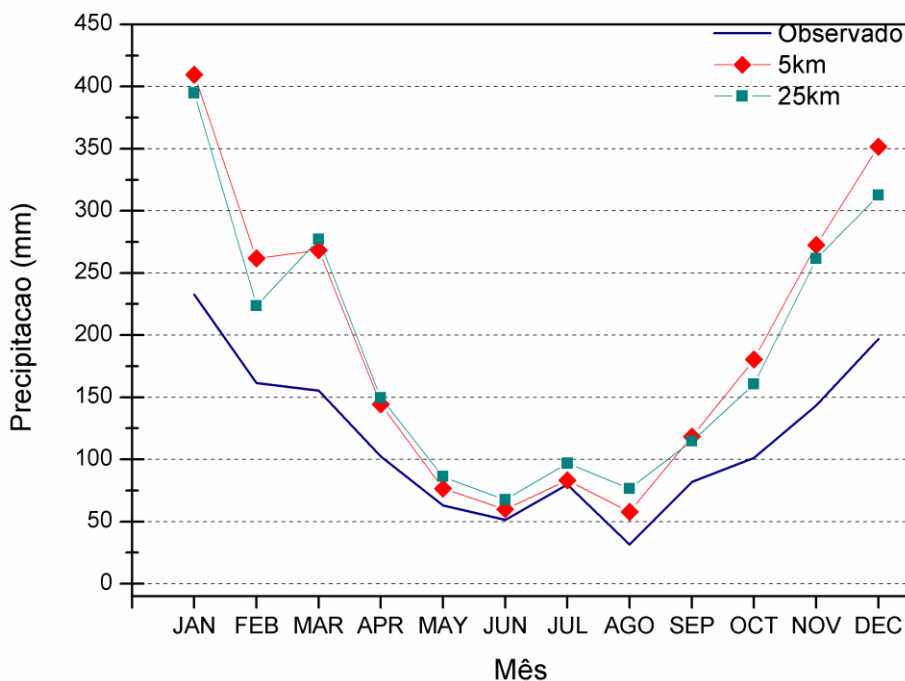


Figura 16: Ciclo anual de precipitação média acumulada (mm) para RMSP.

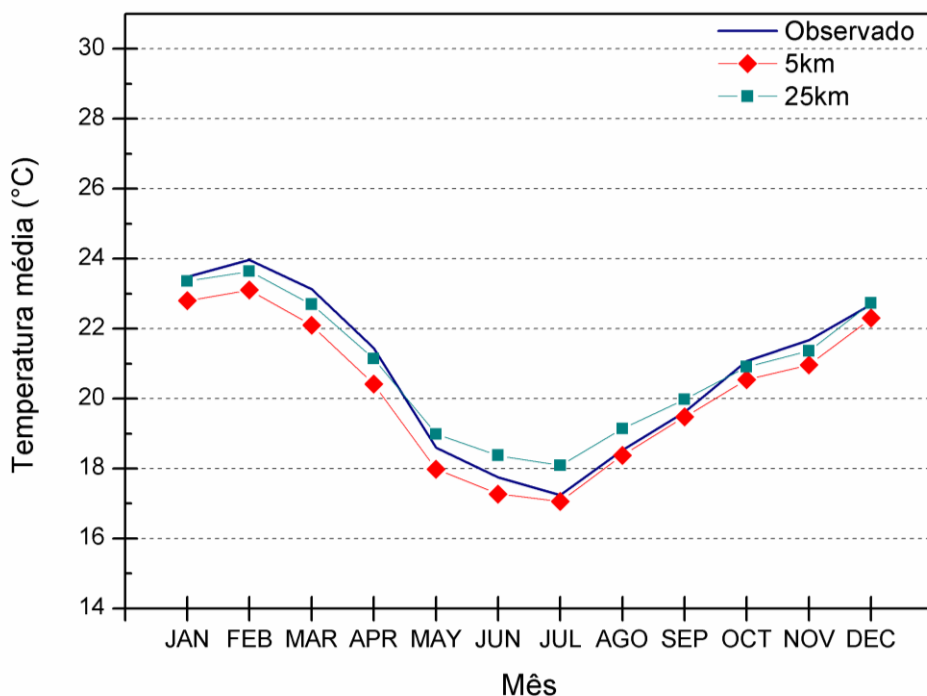


Figura 17: Ciclo anual de temperatura média do ar (°C) para RMSP.

Para verificar a destreza do modelo em simular os extremos de precipitação a Figura 18 ilustra a frequência relativa de dias com precipitação em diferentes limiares para a RMSP e para as duas simulações. O modelo tende a subestimar a frequência de dias secos e superestimar a frequência de dias úmidos principalmente para os valores entre 1-10 mm/dia onde a discrepância entre o resultado observado e as simulações foi mais significativo. Para valores acima de 10 mm/dia os resultados são menos divergentes. Ambos experimentos representam bem a frequência relativa de dias com chuva extrema. Os resultados estão de acordo com o encontrado por Fernandez et al. (2006), que a partir do RegCM3 simulou o regime de circulações quase estacionários que surgem sobre a América do Sul no verão. Os autores encontraram que o modelo foi capaz de representar as principais características do verão, entretanto há áreas que precisam de melhorias, indicando que o modelo deve ser ajustado adequadamente para cada região do País.

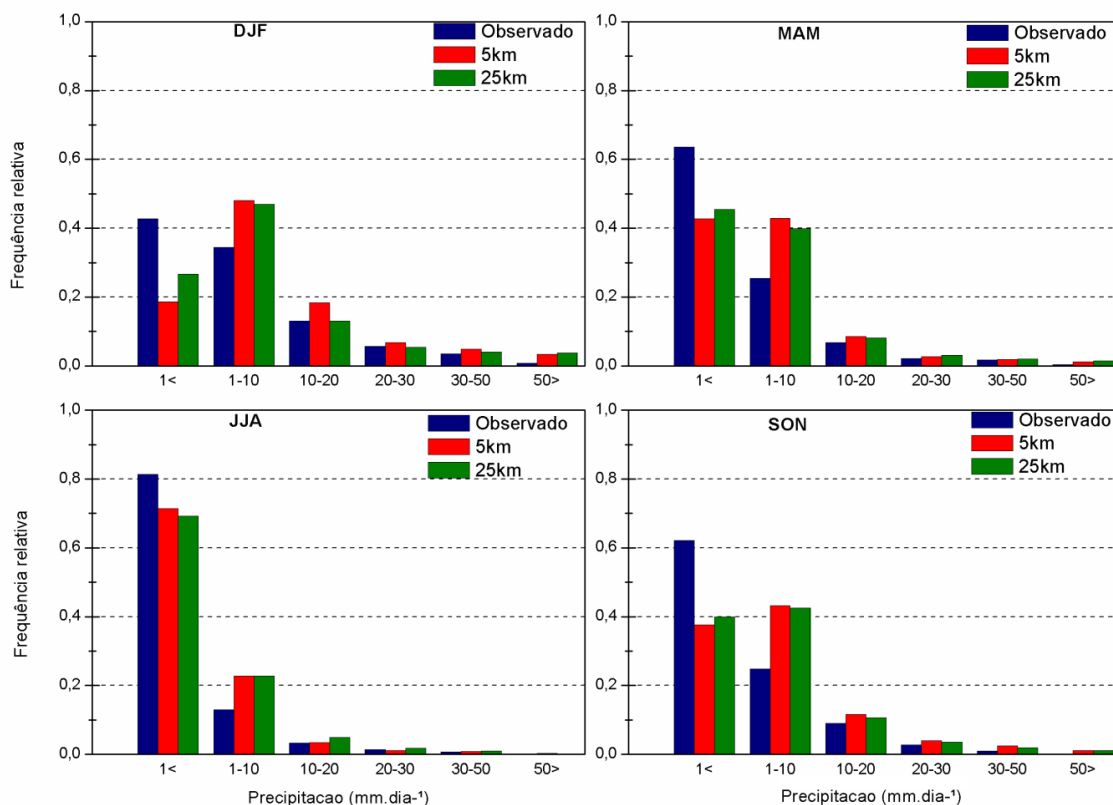


Figura 18: Frequência relativa de precipitação observada, Reg25km e Reg5km, considerando o valor de precipitação médio para a RMSP e o período de 2005-2015.

A figura 19 mostra a variabilidade interanual de precipitação acumulada. Para os períodos de MAM e JJA os valores simulados foram bem próximos do observado e a variabilidade interanual bem representada por ambos experimentos. Para os períodos de SON e DJF, de forma geral, o modelo superestima a precipitação com valores acima de 100 mm salvo algumas exceções, como foi o caso do ano de 2008, onde em ambos períodos o modelo simulou a precipitação com muita precisão. O padrão encontrado para os dados observados está de acordo com os resultados de Marengo et al. (2013) através de simulações com o ETA/CPTEC para a RMSP. As simulações foram para o período de 1961-1990 e foram validadas com dados provenientes da estação meteorológica da Universidade Federal de São Paulo (USP). Foram encontrados tendências de aumento de precipitação extrema e diminuição de precipitação leve. O modelo não conseguiu simular razoavelmente a precipitação em uma pequena escala, entretanto, esses erros não devem ser considerados permanentes uma vez que o modelo vem passando por melhorias contínuas.

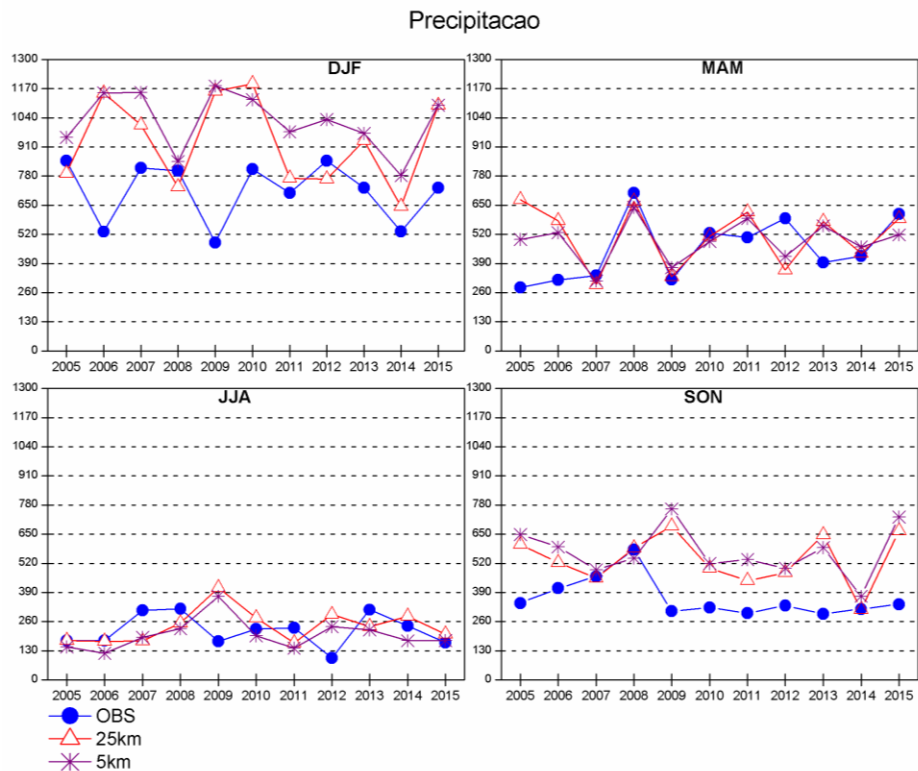


Figura 19: Comparação entre a precipitação observada, Reg25km e Reg5km para a RMS e o período de 2005-2015.

Na figura 20 observamos que o modelo representa bem o índice CDD, principalmente no mês do verão. O padrão das demais estações é bem representado com exceção de alguns anos (por exemplo, JJA de 2012). Como apresentado na figura 18 para a RMS o modelo subestima a frequência de dias com precipitação abaixo de 1 mm, uma vez que esse limiar define dias secos (Frich et al.,2002) sua subestimativa justifica o resultado apresentado na figura 20.

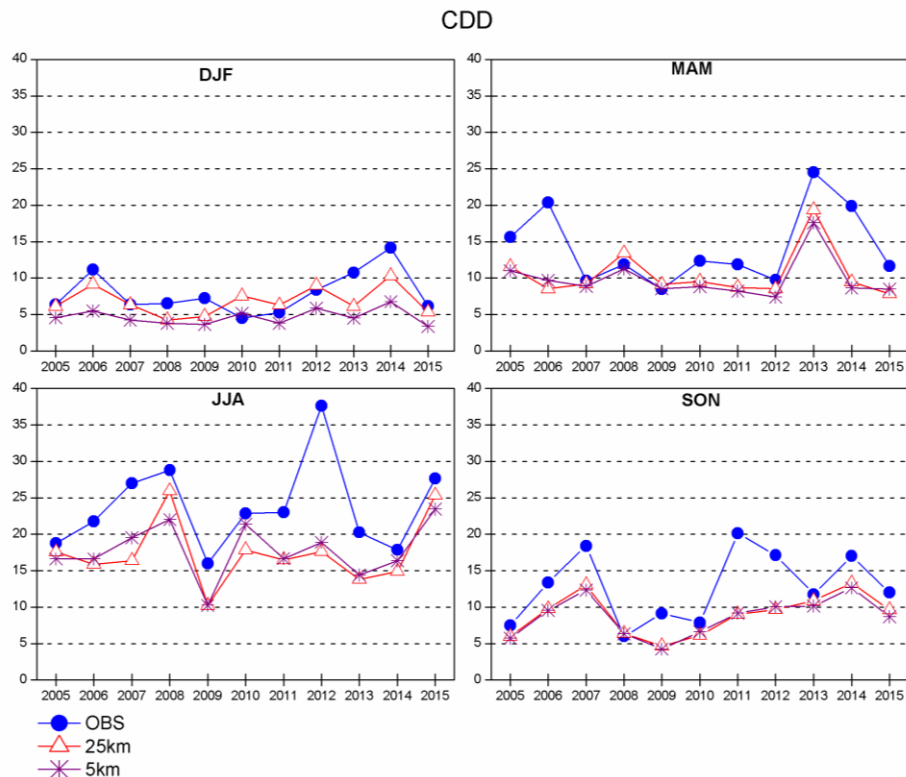


Figura 20: Comparação entre o CDD observado, Reg25km e Reg5km para a RMSP e o período de 2005-2015.

A figura 21 apresenta os resultados para o índice Rx5Day. Esse índice foi melhor representado pelo modelo em JJA e SON. Nesse período a variabilidade é semelhante e os valores se encontram bem próximos, com exceção a alguns anos individualmente. O modelo é deficiente em representar o índice em DJF. Já para MAM o modelo tem uma melhor destreza em particular para os anos entre 2009 e 2012.

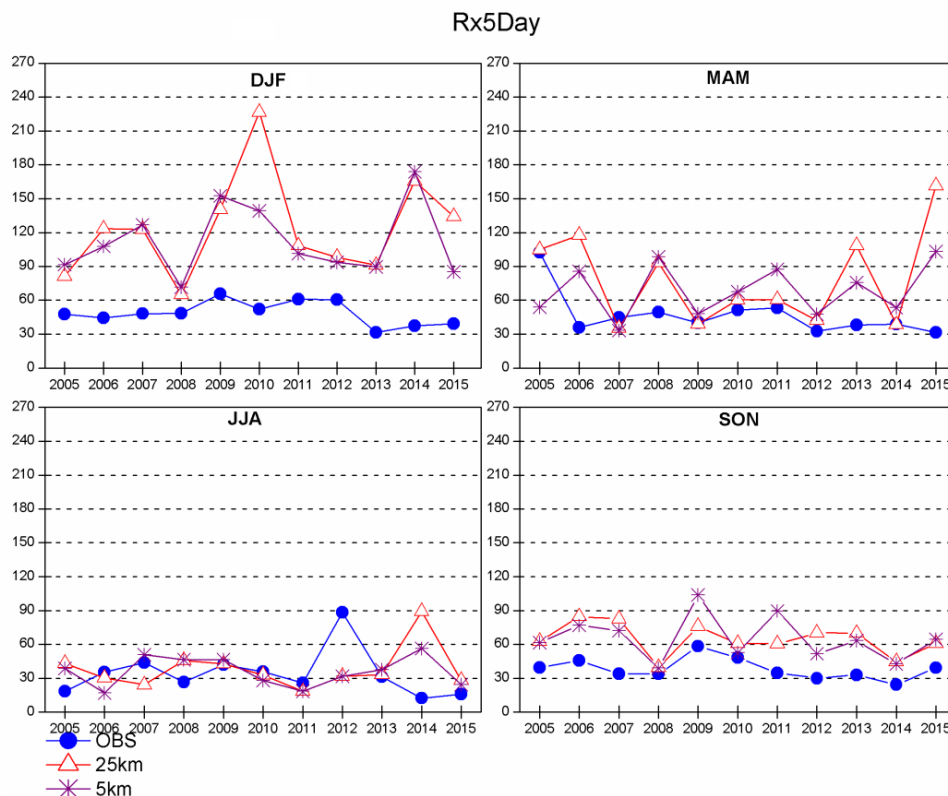


Figura 21: Comparação entre o RX5Day observado, Reg25km e Reg5km para a RMSP e o período de 2005-2015.

De forma geral, os resultados obtidos pelo Reg25km e Reg5km foram bem próximos tanto nas análises do viés climatológico quanto na análise da variabilidade de eventos extremos. Nota-se que os experimentos têm uma discrepância maior no verão, nesse período o experimento Reg25km teve maior destreza em simular os aspectos climatológicos (representado pelo viés) e a variabilidade interanual da Precipitação, já o Reg5km foi mais eficaz em representar a variabilidade do índice Rx5Day nesse período. O índice CDD os dois experimentos tiveram resultados muito próximos. Apesar da possibilidade de realizar simulações em alta resolução (5 km), ressalta-se a necessidade de ajustes dos parâmetros do RegCM-4.6.1 em particular sobre a RMSP e a região sudeste.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Eventos extremos de precipitação provoca diversas perdas sócio-econômicas, e é fundamental um melhor entendimento desses eventos sob o Sudeste do Brasil e a RMSP, uma vez que essas regiões concentram o maior PIB e densidade demográfica no país (IBGE). Utilizando os dados provenientes do CPC foi possível estabelecer uma climatologia de precipitação e índices de extremos climáticos para as regiões de interesse.

Em geral, os índices de extremos para precipitação apresentam pequenas tendências conforme observado por Sillmann et al. (2013a) e Valverde e Marengo (2014). As análises dos dados observados relevaram uma tendência de diminuição da precipitação acumulada e uma tendência de aumento dos índices R95p e Rx5Day principalmente no verão e na primavera.

Eventos extremos isolados não devem ser diretamente relacionados à mudanças climáticas, é necessário observações por um longo período de tempo para constatar alguma mudança na variabilidade natural do clima, sendo assim a seca de 2014 e 2015 como evento isolado não indica uma mudança na variabilidade climática, porém, um aumento na frequência de secas dessa magnitude pode indicar mudanças no clima (Torres e Marengo, 2014).

Com resultados obtidos através das simulações no modelo RegCM-4.6.1/CLM4.5, foi possível avaliar como o modelo representa os padrões de precipitação e temperatura para a região Sudeste com enfoque na RMSP. De forma geral, o modelo representa bem os padrões de temperatura e tende a superestimar a precipitação, principalmente no período chuvoso.

Além disso, os resultados mostraram que a destreza do modelo varia pouco reduzindo a escala espacial de 25 km para 5 km, porém, pode variar bruscamente dependendo do ano simulado. Isso pode ser devido a complexidade em simular o sistema climático, sendo desta forma necessário uma calibração dos parâmetros do modelo com o objetivo de melhorar a representação dos aspectos climáticos da região.

Neste sentido, sugere-se como trabalhos futuros estudos envolvendo modelos regionais com diferentes escalas espaciais e parâmetros a fim de buscar uma melhor descrição dos padrões climáticos e uma melhor compreensão dos mesmos. Além disso, é necessário uma melhora na observação e assimilação dos dados observados, a fim de aumentar a veracidade dos dados e a confiança dos resultados, como consequência isso pode trazer uma melhora no *Downscaling*, uma vez que as condições iniciais dos modelos estariam mais próximas da realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBALA-BERTRAND, J.M. Political economy of large natural disasters: with a special reference to developing countries. New York: Oxford University Press, 1993. 259 p.

AMBRIZZI, T., DA ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; et al. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3, Ministério do Meio Ambiente - MMA, Brasília, 2007. p. 108.

ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A.H.C.; LEIVAS, J.F.; NOGUEIRA, S.F.; VICTORIA, S.F.; VICENTE, L.E.; BOLFE, E.L. Indicativo de pastagens plantadas em processo de degradação no bioma Cerrado. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa/PB, p.1-6, 2015.



BEREZUK, A. G. Eventos extremos: estudo da chuva de granizo de 21 de Abril de 2008 na cidade de Maringá-PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.5, p. 152-157, 2009.

BRYANT, E. A. Natural hazards. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 294 p.

CARTER, R.; HULME, M.; LAL, M. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment v1. In: **Intergovernmental Panel on Climate Change**, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, p.66, 1999.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Wellington, New Zealand, **New Zealand: American Meteorological Society**, 2003.

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.

CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; co-authors. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. 41, 2008.

COELHO, C.S., OLIVEIRA, C., AMBRIZZI, T., REBOITA, M., CARPENEDO, C., CAMPOS, J., TOMAZIELLO, A., PAMPUCH, L., CUSTODIO, M.S., DUTRA, L., DA ROCHA, R. AND REHBEIN, A. The 2014 Southeast Brazil Austral Summer Drought: Regional Scale Mechanisms and Teleconnections. **Climate Dynamics**, p.1-16, 2016.

CUADRA, S.V., R.P. ROCHA. Simulação numérica do clima de verão sobre o Brasil e sua variabilidade. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 21(2): 271-282, 2006.

DA ROCHA, RP ; CUADRA, SV ; REBOITA, MS ; KRUGER, LF ; AMBRIZZI, T ; KRUSCHE, N.. Effects of RegCM3 parameterizations on simulated rainy season over South America. **Climate Research**, v. 52, p. 253-265, 2012.

DE SOUZA, Everaldo Barreiros et al. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia legal Brasileira: Clima atual e projeções futuras usando o modelo REGCM-4.6.1. **Revista Brasileira de Climatologia**, Belém/PA, v.18, p. 295-305, jul. 2016. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/43711>. Acesso em: 29 jan. 2018.

ELGUINDI, Nellie et al. **Regional Climate Model RegCM Reference Manual Version 4.5**, Trieste, Italy. International Centre For Theoretical Physics, 2014. Disponível em: <https://gforge.ictp.it/gf/project/regcm/frs/> . Acesso em: 25 jan. 2018.

EMANUEL, K.A.; ZIVKOVIC-ROTHMAN, M. Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 56, p. 1766–1782, 1999.



FERNANDEZ, J. P. R., S. H. FRANCHITO, V. B. RAO, Simulation of the summer circulation over South America by two regional climate models. Part I: Mean climatology., *Theor. Appl. Climatol.*, 86, 247–260, 2006.

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.

GAO X, Xu Y, Zhao Z, Pal JS, Giorgi F. On the role of resolution and topography in the simulation of East Asia precipitation. **Theoretical and Applied Climatology** 86: 173–185, 2006b.

GAO, Xue-Jie et al. Comparison of convective parameterizations in RegCM-4.6.1 experiments over China with CLM as the land surface model. **Atmospheric and Oceanic science letters**. Beijing, China, v. 9, n. 4, p. 250-254, mar. 2016.

GETTELMAN, A.; ROOD, R. B. **Demystifying Climate Models, a user guide to Earth System Models**. v.2 , 282 p.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

KARL, T.; NICHOLLS, N.; GREGORY, J. The Coming Climate. *Scientific American*, v. 276, p. 54–59, 1997.

KARL, T.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A. CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7.

MAGRIN, G.O., J.A. Marengo, J.-P. Boulanger, M.S. Buckeridge, E. Castellanos, G. Poveda, F.R. Scarano, and S. Vicuña, 2014: Central and South America. *In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.

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 20/06/2018.

MARENGO, J.A; BETTS, R.; NOBRE, C.A.; CHON, S.C.; KAY, G.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L.M.; OBREGÓN, G.O.; SOARES, W.R. Riscos de mudanças climáticas no Brasil, análise conjunta Brasil - Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. Centro de Ciência do Sistema Terrestre – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Met Office Hadley Centre, 2011, 56 p. Disponível em:



http://www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/relatorio/Mudancas_Climaticas_no_Brasil_relatorio.pdf. Acesso em 9 em Julho de 2018.

MARENGO, J.A.; VALVERDE, M.C.; OBREGON, G.O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. Cachoeira Paulista/SP. **Climate Research**, v.57, p. 61-72, 2013.

NATIVIDADE, U. A. ; GARCIA, S. R. ; TORRES, R. R. . Tendência dos indicadores de extremos climáticos observados e projetados no estado de minas gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 600-614, 2017.

NOBRE C.A., Marengo, J.A., Seluchi, M.E., Cuartas, L.A. and Alves, L.M. (2016) Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, 8, 252-262.

NUNES, L.H.; MODESTO, R.P.; ALMEIDA, M.C. DE; OGURA, A.T. 1989 Estudo de episódios pluviais associados a escorregamentos - Município do Guarujá SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 2, Florianópolis: UFSC, v.1, n.1, p.402-408.

OBREGÓN, G.; MARENGO, J.A. Caracterização do Clima no Século XX no Brasil: Tendências de Chuvas e Temperaturas Médias Extremas. Relatório nº 2. Brasília: MMA, 2007. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/pro_d_probio/Relatorio_2.pdf. Acesso em 06/06/2018.

OLIVEIRA, A. S. Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE-4008-TDL/239, 134 p., 1986.

PBMC -Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo –Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. PBMC, Rio de Janeiro, v. 1, 2013. 24 p.

REBOITA, M. S. da Rocha, R. P.; AMBRIZZI, T.; SUGAHARA, S. South Atlantic Ocean climatology simulated by regional climate model (RegCM3). **Climate Dynamics**, v. 35, p. 1331-1347, 2010a.

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**, v.25, n.2, p. 185-204, 2010b.

Renssen H, Isarin RFB, Jacob D, Podzun R, Vandenberghe J. Simulation of the Younger Dryas climate in Europe using a regional climate model nested in an AGCM: preliminary results. **Global and Planetary Change** 30: 41–57, 2001.

RUSTICUCCI, M.; MARENGO, J.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of model-simulated 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.



SANSIGOLO, C.A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em piracicaba, sp (1917-2006). CPTEC/INPE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, p.341-346, 2008.

SETH, A., S.A. RAUSCHER, S.J.CAMARGO, J-H QIAN, J.S. PAL.RegCM3 regional climatologies for South America using reanalysis and ECHAM global model driving fields. **Climate Dynamics**, v. 28, p. 461–480, 2007.

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.

SILLMANN, J.; KHARIN, V. V.; ZHANG, X.; ZWIERS, F. W.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. **Journal of Geophysical Research**, v. 118, p. 1-18, 2013a.

SILLMANN, J.; KHARIN, V. V.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X.; BRONAUGH, D. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. **Journal of Geophysical Research**, v. 118, p. 2473–2493, 2013b.

SILVA, W.L.; DEREZYNSKI, 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.

SONG Y.; ACHBERGER, C.; LINDERHOLM, H.W. Rain-season trends in precipitation and their effect in different climate regions of China during 1961–2008. *Environ Res Lett* 6: 034025,2011 doi: 10.1088/1748-9326/6/3/034025

TORRES, R. R.; LAPOLA, D. M.; MARENGO, J. A.; LOMBARDO, M. A. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, p. 597-609, 2012.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: from CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 117, p. 579-587, 2014.

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.

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMBRIZZI, T.; AMADOR, J.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE, SILVA DIAS, P. L; ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4977-5000, 2006b.

VIRGI, H., 1981. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud wins. *Mon. Weather Rev.*, 109, 549-610.



XAVIER, T. M. B. S E A. F. S. XAVIER, 1987. Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos Para a Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia**. Vol 5, 2: 7 – 30.

XAVIER, T. M.; XAVIER, A. F. S.; ALVES, J. M. B. Quantis e Eventos Extremos – Aplicações em Ciências da Terra e Ambientais. RDS Editora, Livrarias Livro Técnico, p. 278, 2007

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.1, 2011.

PILKE JR, R.A.; DOWNTON, M.W. Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932- 97. **American Meteorological Society**, [s.v.], [s.n], p.3625-3637, oct. 2000