



## Performance do Acoplamento RegCM4.3 e CLM3.5: Uma Análise Sobre o Sudeste do Brasil Performance of the Coupling RegCM4.3 and CLM3.5: An Analysis Over Southeastern Brazil

Marta Pereira Llopart<sup>1</sup>; Michelle Simões Reboita<sup>2</sup>;  
Rosmeri Porfírio da Rocha<sup>3</sup> & Jeferson Prietsch Machado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências / Centro de Meteorologia de Bauru (IPMet).  
Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 Vargem Limpa 17033360 - Bauru, SP - Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais. Avenida BPS, 1303 Pinheirinho 37500-903 – Itajubá, MG - Brasil

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas.

Rua do Matão, 1226 Butantã 05508-900 – São Paulo, SP - Brasil

E-mails: [marta@fc.unesp.br](mailto:marta@fc.unesp.br); [reboita@gmail.com](mailto:reboita@gmail.com); [rosmerir.rocha@iag.usp.br](mailto:rosmerir.rocha@iag.usp.br); [jeferson@fc.unesp.br](mailto:jeferson@fc.unesp.br)

Recebido em: 21/12/2017 Aprovado em: 13/09/2018

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_3\\_113\\_124](http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_113_124)

### Resumo

O presente trabalho analisou o impacto do acoplamento do modelo climático regional RegCM, versão 4.3, ao modelo de superfície CLM3.5 (RegCLM), no clima e sua variabilidade interanual, principalmente, na região Sudeste do Brasil (SDE). A análise da climatologia mostrou que o RegCLM, no verão, apresenta-se mais úmido do que o conjunto de observações utilizado, superestimando a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); fato associado à superestimação dos ventos alísios de nordeste e, por consequência, ao favorecimento no transporte de umidade do oceano Atlântico tropical para o continente através do Jato de Baixos Níveis. Para a temperatura do ar, o RegCLM é mais frio do que as observações na região SDE. Esse resultado também ocorre na análise do ciclo anual e, principalmente, no inverno, chegando a uma diferença de 1,8°C. Já, durante o verão, foram encontrados os menores erros de simulação para essa variável. Em relação à variabilidade interanual para o SDE, a precipitação simulada intensifica e inverte a fase da anomalia registrada na observação. Já para a temperatura do ar, a simulação está mais de acordo com a observação, intensificando o sinal das anomalias em alguns anos.

**Palavras-chave:** RegCM4; CLM3.5; CORDEX; variabilidade interanual; SDE

### Abstract

This work analyzed the 3.5 land surface scheme coupled in the Regional Climate Model RegCM4 (RegCLM), seeking to identify the impact of this coupling in the climatology and in the interannual variability, mainly in the Southeast of Brazil. The climatology analysis showed that the RegCLM, for DJF, is more humid than the set of observations used, overestimating the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) due to the RegCLM simulate more intense the northeast trade winds, and with this, there is a transportation of moisture from the Tropical Atlantic Ocean to the continent through the Low Level Jet (LLJ), intensifying the SACZ. For air temperature, RegCLM is colder than observations in the SDE region. This result also occurs in the analysis of the annual cycle and, especially in winter, reaching the difference of 1.8°C. During summer, lowest simulation errors were found for this variable. For the interannual variability for the SDE, the simulated precipitation presents an intensify pattern of the signal and reverse the phase of the observed anomaly. For air temperature, the simulation agrees with the observations, intensifying in some years the anomalies.

**Keywords:** RegCM4; CLM3.5; CORDEX; Interannual variability; SDE

## 1 Introdução

O clima da região sudeste do Brasil (SDE) é caracterizado por uma estação chuvosa, entre meados da primavera a meados do outono, e uma estação seca no restante do ano, o que caracteriza um clima de monção. De fato, o Brasil é influenciado pelo sistema de monção Sul-Americana (Vera *et al.*, 2006) que inclui diferentes sistemas atmosféricos. Com relação à região SDE, no verão, a precipitação está associada a vários sistemas meteorológicos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), jatos de baixos níveis (JBN) que se dirigem da região amazônica para o SDE, transporte de umidade do oceano Atlântico Sul pelos ventos do setor oeste do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), frentes frias e atuação de convecção local (Reboita *et al.*, 2010). Já no inverno, o ASAS encontra-se expandido para oeste atuando sobre o sudeste e sul do Brasil, o que dificulta os processos convectivos na atmosfera bem como a passagem de sistemas frontais. Isso contribui para a redução da precipitação durante a estação fria (Reboita *et al.*, 2010, Reboita *et al.*, 2012; da Silva *et al.*, 2014).

Uma vez que o clima na região SDE do Brasil apresenta variação sazonal e que uma dada estação do ano nem sempre apresentará condições similares (isto é, a mesma média de temperatura do ar e precipitação) devido à influência de mecanismos de teleconexões (como a temperatura da superfície do mar do oceano Atlântico tropical, por exemplo), a previsão climática sazonal torna-se de extrema importância para o planejamento das atividades socioeconômicas. A previsão climática sazonal é realizada com o auxílio de modelos numéricos e antes de qualquer divulgação da previsão, são realizados estudos que avaliam a qualidade das previsões. Prever o clima é uma tarefa mais complicada do que a de prever o tempo, devido à complexidade do sistema climático (Reboita *et al.*, 2018b). Nesse contexto, é que se faz necessário avaliar a performance de diferentes esquemas de parametrização física inseridos nos modelos climáticos (Reboita *et al.*, 2014).

Existem modelos climáticos globais e regionais. Os modelos de circulação geral (MCGs), ou modelos globais, apresentam resolução horizontal

com aproximadamente 100 km (Ambrizzi *et al.*, 2018), o que limita a representação de forçantes locais e regionais nas simulações climáticas como, por exemplo, a influência de terrenos acidentados na circulação local. Por isso, os Modelos Climáticos Regionais (MCRs; Giorgi & Mearns, 1999) aparecem como uma melhor alternativa para a previsão climática de áreas limitadas como a região SDE do Brasil. Os MCRs surgiram no final da década de 1980 e têm sido desenvolvidos na tentativa de melhorar a representação dos processos meteorológicos locais e regionais. Na América do Sul, a performance do MCR RegCM (*Regional Climate Model*; Giorgi *et al.*, 2012) tem sido avaliada em diferentes estudos (Llopart *et al.*, 2014, da Rocha *et al.*, 2014; Reboita *et al.*, 2014, Llopart *et al.*, 2017, Reboita *et al.*, 2018a).

As informações da superfície continental são as condições de fronteira inferior dos modelos climáticos. Uma representação inadequada dos processos de superfície nesses modelos pode afetar o prognóstico das variáveis climáticas, tais como: a temperatura do ar, precipitação, distribuição vertical de vapor d'água na atmosfera e a formação de nuvens (Steiner *et al.*, 2005; Llopart *et al.*, 2017). Portanto, o presente estudo tem como foco a parametrização dos processos de superfície no modelo RegCM. Uma das melhorias realizadas no RegCM foi a inclusão do *Community Land Model* (CLM3.5) (Oleson *et al.*, 2008) em alternativa ao *Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme* (BATS) (Dickinson *et al.*, 1993) para descrever os processos de superfície. O CLM é o estado-da-arte em modelagem dos processos de superfície sendo uma evolução em termos de descrição da temperatura e umidade do solo, da vegetação e dos processos hidrológicos comparado com o BATS. Estudos, como o de Reboita *et al.* (2014) e Llopart *et al.* (2017) apontam que esse acoplamento melhora a climatologia da precipitação e temperatura do ar em algumas regiões da América do Sul (AS).

Com base no exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a simulação em que foi realizado o acoplamento do CLM3.5 ao modelo climático regional RegCM4.3, com foco no Sudeste do Brasil.

## 2 Metodologia

### 2.1 RegCM4.3 e CLM3.5

No presente trabalho é utilizado o RegCM4.3 (Giorgi *et al.*, 2012). O RegCM4 é uma evolução da versão anterior, o RegCM3 (Pal *et al.*, 2007), e apresenta várias atualizações no que diz respeito à física do modelo. A lista completa das opções de parametrizações físicas disponíveis no RegCM4 é apresentada em Giorgi *et al.* (2012). Esse modelo regional tem sido usado por diversas instituições de pesquisa para as mais variadas aplicações (Giorgi & Mearns, 1999; Pal *et al.*, 2007; Giorgi *et al.*, 2012; Ambrizzi *et al.*, 2018).

De particular interesse nesse estudo é a parametrização dos processos de superfície. A parametrização de superfície do CLM3.5 incorpora em sua estrutura a representação dos processos biofísicos, biogeoquímicos, hidrológicos e dinâmica de ecossistemas de forma integrada e representa uma parametrização de superfície de última geração. É um modelo da biosfera onde a superfície da terra pode ser representada por até cinco diferentes tipos de cobertura na mesma célula de grade (sub-grade/mosaicos) como: geleiras, lagos, urbana, vegetação e culturas; cada tipo de cobertura apresenta diferentes números de colunas e cada coluna pode apresentar diferentes tipos funcionais de plantas. Dessa maneira, cada classe do uso da terra interage com a coluna da atmosfera logo acima, proporcionando a extensão ocupada por essa classe em cada célula, ou seja, a contribuição de cada classe é ponderada pela fração de cobertura de cada classe do uso da terra na célula. Os cálculos do balanço de energia e água são executados sobre cada sub-grade a cada passo de tempo, e cada sub-grade mantém suas próprias variáveis prognósticas.

### 2.2 Descrição do Experimento Numérico

Para realizar a regionalização utilizando o RegCM4.3, são necessários dados a cada 6 horas das seguintes variáveis: altura geopotencial, temperatura, componentes horizontais do vento e umidade relativa, e também dados de temperatura da superfície do mar (TSM). Na simulação, foram utilizados dados da reanálise Era-Interim (ERA-Interim) (Dee *et al.*, 2011). Essa reanálise é gerada pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*

(ECMWF) e compreende o período de janeiro de 1979 até os dias atuais. Neste estudo, a reanálise ERA-Interim foi utilizada com 1,5° x 1,5° de resolução horizontal a cada 6 horas e com 37 níveis de resolução vertical. O período da simulação se estendeu de janeiro de 1979 a dezembro de 2009, sendo que o primeiro ano foi descartado por ser considerado como período de *spin-up*.

O domínio da simulação segue as especificações do CORDEX (Giorgi *et al.* 2009), isto é, inclui toda a parte continental da América do Sul e os oceanos adjacentes, desde 65°S-25°N e 120°W-0°W como mostra a Figura 1, que inclui também a topografia. A simulação empregou ~50 km de espaçamento de grade e 18 níveis verticais sigma-pressão (topo do modelo em 50 hPa). De acordo com Reboita *et al.* (2014), o esquema de convecção cúmulos que melhor reproduz o clima da América do Sul quando o RegCM4.3 é acoplado ao esquema de superfície CLM3.5 é o de Emanuel (Emanuel & Zivkovic-Rothman, 1999). Desta forma, utilizou-se o esquema de Emanuel para parametrização da convecção cúmulos. A simulação será referida a partir daqui como RegCLM. Na Figura 1, além do subdomínio do Sudeste (SDE) do país, está destacada a localização da torre micrometeorológica (círculo) que foi utilizada para validação dos fluxos de superfície (fluxo de calor latente e sensível).

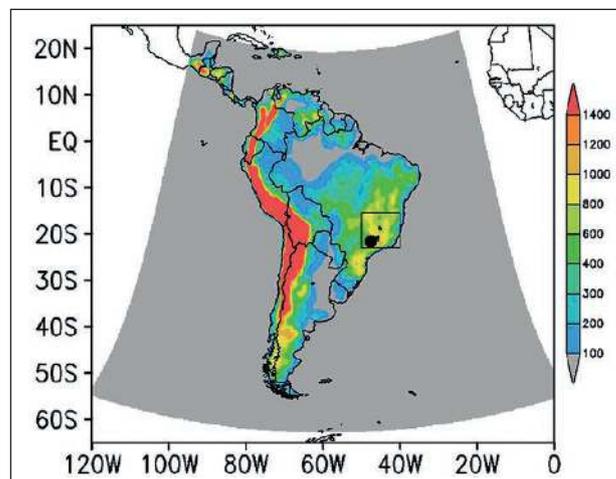


Figura 1 Domínio utilizado e topografia (m). A caixa identifica a sub-região definida para as análises objetivas (SDE). O círculo indica a localização da torre micrometeorológica.

## 2.3 Dados Observados

Para avaliar os resultados da simulação com o RegCLM para as variáveis precipitação e temperatura média do ar a 2 m de altura, foram utilizados cinco conjuntos de dados, incluindo os dados da ERAIN descritos anteriormente, sendo eles: a análise do *Climate Research Union* (CRU) da *University of East Anglia, Norwich* – Reino Unido (Mitchell & Jones, 2005) que apresenta 0,5° x 0,5° de resolução horizontal e dados no período de 1901 a 2009; a análise *Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation* (CMAP; Xie & Arkin, 1997) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) que é um produto de precipitação disponível para todo o globo, e apresenta resolução horizontal de 2,5° x 2,5°, disponível desde 1979 até os dias atuais; dados de precipitação e temperatura do ar média mensal da série histórica da *University of Delaware* (UDEL) (Legates & Willmott, 1990), que apresentam resolução horizontal de 0,5° x 0,5° e estão disponíveis entre os anos de 1979 e 2010; dados do *Climate Prediction Center* (CPC) (Silva *et al.*, 2007) que é uma análise de precipitação da NOAA e apresenta 0,5° x 0,5° de resolução horizontal, com dados disponíveis de 1979 até o presente. Vale ressaltar que o CPC, UDEL e CRU apresentam dados somente sobre o continente e o CMAP em ambos, oceano e continente. Os ventos em 850 hPa e 200 hPa foram validados através de comparações com a ERAIN.

Para validar os fluxos de superfície simulados foram utilizados dados medidos, no sítio experimental do cerrado, a partir de uma torre micrometeorológica localizada em uma reserva na cidade de Santa Rita do Passa Quatro no estado de São Paulo e indicada na Figura 1. O sítio experimental do cerrado (47°38'W; 21°37'S) possui uma torre para medidas dos fluxos de superfície que apresenta 22 m de altura, e foi implementada em janeiro de 2000. Essa estação é cercada por plantações de eucalipto, citrus e cana-de-açúcar. A reserva tem área de 1225 ha e é o maior fragmento de cerrado em área contígua do estado. Os dados utilizados foram constatados das análises de da Rocha *et al.* (2009).

Embora o foco do presente estudo seja a região SDE do Brasil, foram gerados os campos espaciais

da precipitação e temperatura do ar para toda a América do Sul (AS), durante os meses que representam a estação chuvosa (DJF), pois o SDE é influenciado por sistemas meteorológicos que também possuem origem em outras regiões geográficas.

## 2.4 Análises Realizadas

Foram gerados campos da precipitação e temperatura do ar na AS e o ciclo anual médio da simulação para a região SDE (Figura 1) a fim de validar a simulação RegCLM.

A climatologia simulada (precipitação, temperatura do ar, vento em 850 e 200 hPa e divergência do fluxo de umidade integrado na vertical juntamente com a vento em 850 hPa) para o domínio da AS foi validada somente para o verão, pois é quando ocorrem os máximos pluviométricos e se observam os maiores erros na climatologia simulada para o SDE com os modelos regionais (Reboita *et al.*, 2014; Reboita *et al.*, 2018b). O padrão espacial da precipitação durante o verão foi validado comparando com valores médios de quatro conjuntos de dados (CMAP, CPC, UDEL e CRU). Para a validação da temperatura do ar utilizou-se a média da temperatura referente a três conjuntos de dados: ERAIN, UDEL e CRU.

A validação da circulação em 850 hPa e 200 hPa foi realizada através da comparação com os dados da reanálise ERAIN. Para a validação do ciclo anual da precipitação e da temperatura do ar na região SDE também se utilizou a média do conjunto dos dados observados.

Para avaliar quantitativamente os resultados simulados do ciclo anual médio, da precipitação e temperatura do ar, foi calculado o *bias*, que indica a diferença da média entre a variável prevista e a observada, indicando se o modelo superestima ou subestima os valores médios observados. Valores mais próximos de zero representam os menores erros sistemáticos, podendo o *bias* assumir qualquer valor real.

Quando se avalia esquemas de superfície, é importante analisar a razão de Bowen ( $\beta$ ; Bowen 1926), que é a razão entre os fluxos de calor sensível

(H) e latente (LE). A razão de Bowen indica a importância do fluxo de calor sensível em relação ao fluxo de calor latente para uma determinada superfície. Quando os valores obtidos nessa razão são maiores do que 1, prevalecem os fluxos de calor sensível, significando que a maior parte da energia disponível na superfície está sendo utilizada para aquecer o ar; já quando essa razão é menor que 1, indica que uma maior parcela da energia disponível na superfície está sendo usada para os processos evaporativos.

A variabilidade interanual do clima controla a existência de anos mais secos (ou mais úmidos) e mais quentes (ou mais frios). O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) destaca-se como o principal modo de variabilidade na escala interanual (Grimm, 2009). A sua influência no regime de precipitação na AS é conhecida e bastante documentada na literatura (Grimm & Ambrizzi 2009; Pereira *et al.*, 2017). Para o SDE, na escala interanual, a maior influência na precipitação ocorre principalmente pelo dipolo do Atlântico (Nobre, 1996, Reboita & Santos, 2014), ou seja, a região é diretamente afetada por variações da TSM do oceano Atlântico. A fim de avaliar a variabilidade interanual simulada pelo RegCLM, os dados mensais de precipitação e temperatura do ar simulados foram filtrados na escala interanual, retendo-se períodos superiores a 12 meses. Para filtrar os dados utilizou-se a transformada rápida de Fourier (FFT), obtendo-se séries de anomalias mensais interanuais de precipitação e temperatura do ar para a região SDE.

A simulação filtrada foi comparada com os dados de precipitação e temperatura do ar, provenientes da análise do CRU, que também foram filtrados na escala interanual.

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Padrão Espacial da Circulação

##### Atmosférica, Precipitação e Temperatura do Ar Durante o Verão

A climatologia da precipitação, da circulação em baixos (vento em 850 hPa) e altos níveis (vento em 200hPa), durante o verão (DJF), na AS na simulação RegCLM juntamente com a média do conjunto de observações (CMAP, CRU, UDEL e CPC) são

apresentadas na Figura 2. Durante o verão (Figura 2A), a região de máxima precipitação localiza-se ao longo de uma faixa orientada de noroeste-sudeste, estendendo-se desde a região Amazônica até o oceano Atlântico. Essa banda de precipitação é a ZCAS (Kodama, 1992; Carvalho *et al.*, 2004; Reboita *et al.*, 2010). O RegCLM (Figura 2B) simula essa banda de precipitação com superestimativa sobre o continente, e ligeira subestimativa sobre o Atlântico subtropical quando comparado com as observações. Dos dados observados utilizados, somente o CMAP inclui informações sobre a região oceânica, que são provenientes de dados de satélite (sensoriamento remoto da atmosfera); como tais dados são estimativas indiretas da precipitação podendo apresentar um viés, não se pode afirmar que a simulação tenha erro sobre o Atlântico subtropical. Sobre a região SDE, nota-se que o RegCLM (Figura 2B) superestima a precipitação com relação às observações (Figura 2A).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), localizada na região equatorial, é considerada o sistema mais importante gerador de precipitação sobre o oceano Atlântico tropical. A ZCIT migra sazonalmente, de sua posição mais ao norte (em torno de 14°N), durante agosto-setembro, para sua posição mais ao sul (em torno de 2°S), durante março-abril (Vera *et al.* 2006). Durante os meses de verão (DJF), a ZCIT no RegCLM (Figura 2B) situa-se mais ao sul, em comparação com as observações (Figura 2A), e a simulação também subestima a sua intensidade nos oceanos Atlântico e Pacífico.

A circulação de baixos níveis na AS (Figura 2C), durante DJF, exhibe diferentes características (Lenters & Cook 1995; Fernandez *et al.*, 2006a). Os ventos alísios nas baixas latitudes provenientes do oceano Atlântico tropical entram no continente e são canalizados pela cordilheira dos Andes atingindo latitudes subtropicais (Fernandez *et al.*, 2006b), originando o JBN, que é uma característica bem evidente em 850 hPa e entre 10 e 20°S (Silvestri *et al.*, 2008). Nas latitudes tropicais e subtropicais, a cordilheira dos Andes atua como uma barreira ao escoamento de baixos níveis proveniente do Oceano Pacífico. Outra característica da circulação de baixos níveis na AS são os anticiclones subtropicais, o do Pacífico Sul (ASPS) e o ASAS, que são sistemas de alta pressão

localizados em torno de 30°S. Estes sistemas estão associados à célula de circulação de Hadley. Esse padrão de circulação em baixos níveis na AS durante o verão austral é observado nas análises da ERAIN (Figura 2C). O RegCLM (Figura 2D) apresenta um padrão com ventos mais intensos relacionados ao ASAS. Além disso, os ventos alísios de nordeste são mais intensos na simulação, o que contribui para o JBN ser mais intenso do que no conjunto de observações. A superestimativa na intensidade do JBN contribui para totais pluviométricos mais elevados sobre o continente do que na observação (Figura 2B), pois a circulação de baixos níveis mais intensa favorece o transporte de umidade proveniente do oceano Atlântico tropical para as latitudes mais altas. Com isso, mais umidade atinge a região típica de formação dos sistemas convectivos de mesoescala que é entre Paraguai, Argentina e Brasil. Como o calor e umidade transportados pelos JBN é um dos ingredientes desses sistemas (Silva Dias, 1987; Campos & Eichholz, 2011), logo o RegCLM também produz mais precipitação nessa região. O escoamento de oeste em altos níveis e em latitudes médias é mais intenso na simulação do que na ERAIN (Figura 2E), fato que está associado pela superestimativa de precipitação no oeste da AS.

A configuração típica da circulação de verão na AS em altos níveis (Figura 2E) mostra um anticiclone quase estacionário denominado de Alta da Bolívia (AB) localizado próximo a 20°S e 70°W. Corrente abaixo da AB encontra-se um cavado sobre a região nordeste do Brasil e cercanias denominado de cavado do Nordeste (CN). A AB está associada à intensa liberação de calor latente que ocorre na bacia amazônica, porém localiza-se deslocada para sudoeste do máximo de atividade convectiva em virtude da ocorrência de ondas no escoamento atmosférico. A AB e o CN estão associados com a precipitação sobre a bacia Amazônica, a região central dos Andes e com a ZCAS (Lenters & Cook, 1995). O RegCLM simula a AB deslocada para oeste comparada à observação (Figura 2F). Esse fato está diretamente associado com a superestimativa de precipitação na simulação em direção aos Andes na simulação.

A figura 3 apresenta a divergência do fluxo de umidade integrado na vertical juntamente com a

vento em 850 hPa, para a ERAIN (Figura 3A) e RegCLM (Figura 3B). Fica evidente por essa figura que os ventos alísios sobre a Amazônia são mais intensos na simulação (Figura 3B), fato que contribui para o JBN também ser mais intenso do que na ERAIN (Figura 3A) e para o maior transporte de umidade e convergência dessa variável sobre o continente (cor marrom principalmente na região sudeste do Brasil), favorecendo mais precipitação na simulação do que nos dados de reanálise (Figura 2A-B).

As climatologias sazonais da temperatura do ar a 2 m de altura na AS do RegCLM e do conjunto de observações (ERAIN, CRU e UDEL) são apresentadas na Figura 4, juntamente com as diferenças entre os campos de temperatura do ar simulados e observados.

O RegCLM apresenta um núcleo mais quente do que as observações (Figura 4A) no nordeste da Argentina com até 4°C de diferença, na costa leste e nordeste da AS e Amazônia (Figura 4B-C). Nas outras regiões o RegCLM é mais frio do que as observações, principalmente sobre a Bolívia, Peru e a costa leste do Brasil, desde o Rio Grande do Sul até o SDE, em que essa subestimativa pode chegar em 4°C. Sobre a região SDE o RegCLM é mais frio (Figura 4C) do que as observações, no verão, em até 2°C.

Diferenças entre as observações e a simulação eram esperadas, já que modelos climáticos são aproximações de fenômenos físicos que ocorrem na atmosfera. Uma análise mais aprofundada em relação aos fluxos de superfície simulados pelo RegCLM e que podem estar influenciando a precipitação e temperatura do ar simuladas sobre a região SDE será dada na seção 3.2.

### 3.2 Ciclo Anual Médio para SDE

O ciclo anual médio da precipitação e temperatura do ar para a região SDE é mostrado na Figura 5A-B. Esta região apresenta máximos de precipitação durante o verão e mínimos durante o inverno (Figura 5A). Os máximos pluviométricos observados são superestimados pelo RegCLM, o que indica a menor habilidade do modelo em simular a preci-

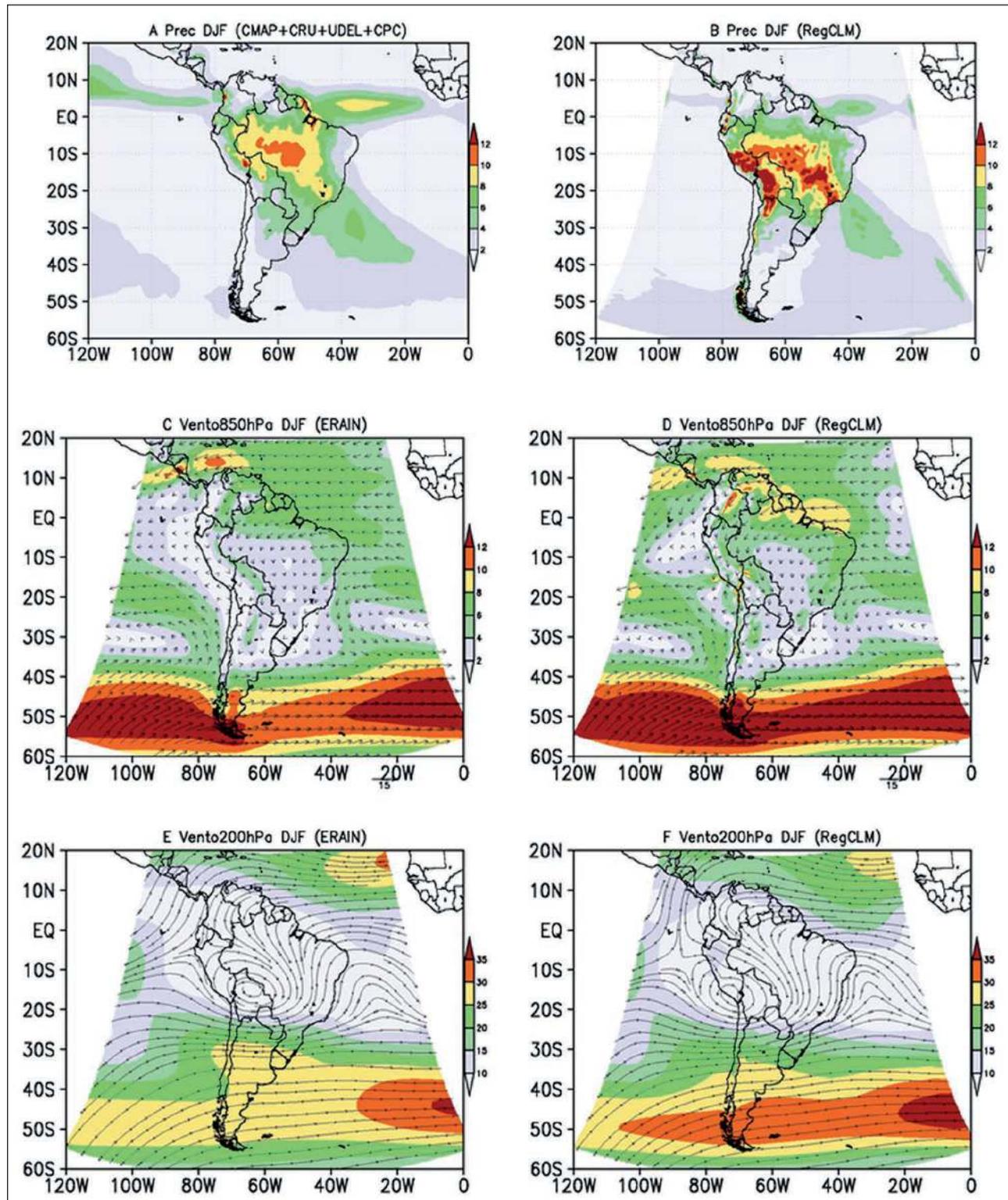


Figura 2 Climatologia (1980-2009) da precipitação (mm/dia) na AS para DJF (A) conjunto de observações (B) RegCLM. Climatologia (1980-2009) do vento em 850hPa (m/s) na AS para DJF (C) ERAIN (D) RegCLM. Climatologia (1980-2009) do vento em 200hPa (m/s) na AS para DJF (E) ERAIN (F) RegCLM.

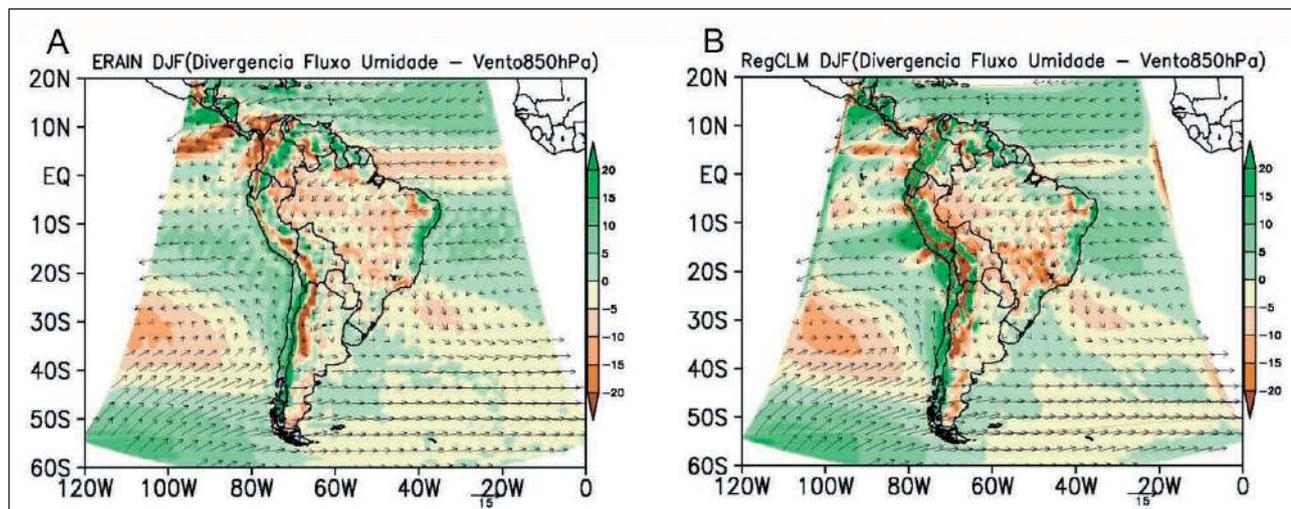


Figura 3 Climatologia (1980-2009) da divergência do fluxo de umidade (mm/dia) e vento em 850 hPa (m/s) na AS para DJF (A) ERAIN (B) RegCLM.

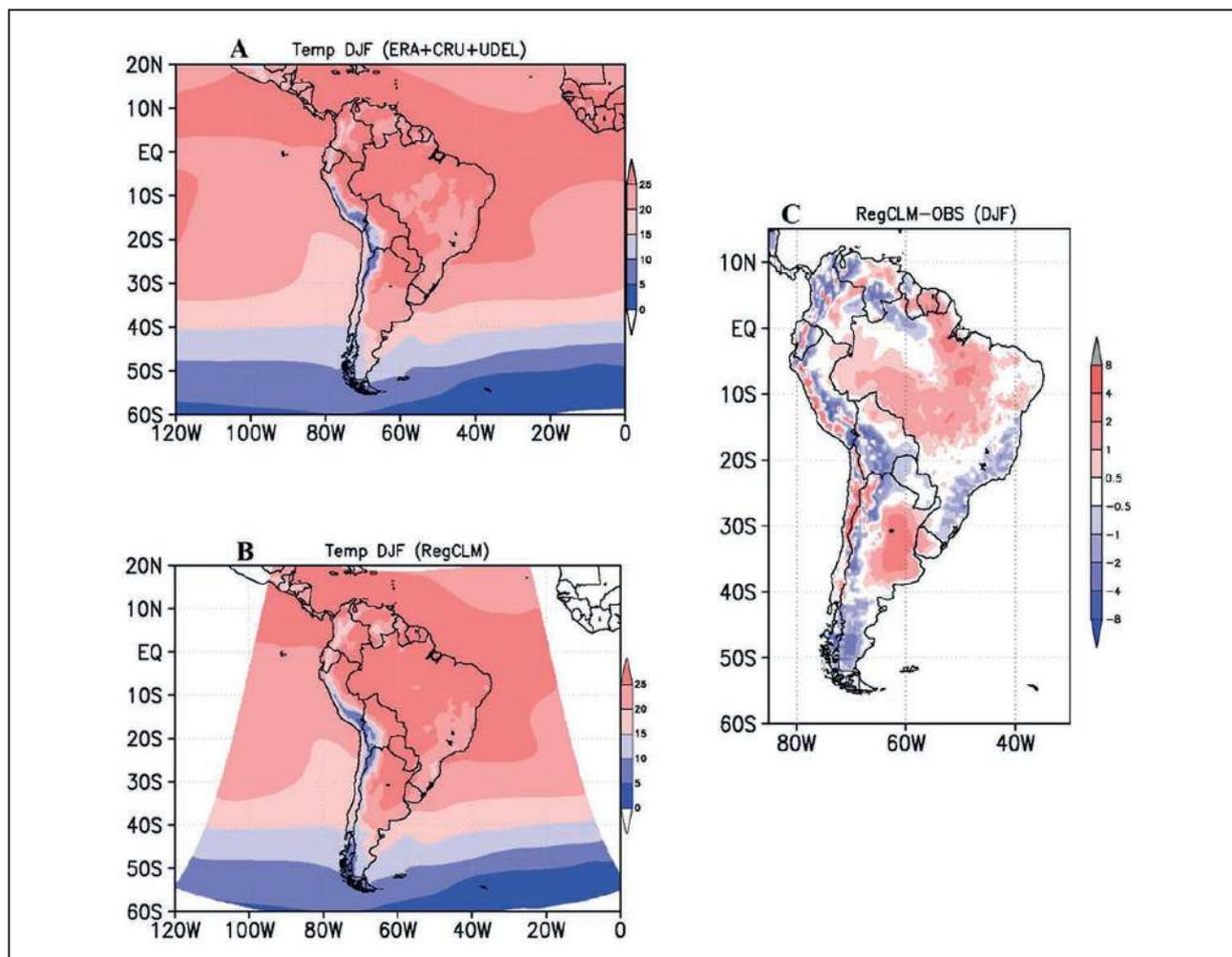


Figura 4 Climatologia (1980-2009) da temperatura (°C) na AS para DJF (A) conjunto de observações (B) RegCLM (C) Diferença entre a temperatura do ar simulada e a observada.

precipitação no período chuvoso do SDE; já os mínimos pluviométricos são simulados com boa concordância em relação ao conjunto de observações. A temperatura do ar é subestimada durante todo o ano, com maior *bias* durante os meses de inverno (Figura 5B).

Nota-se, a partir da Tabela 1, que a precipitação apresenta maior *bias* durante o verão e menor no outono e inverno. O RegCLM superestima a precipitação no verão e primavera e a subestima no inverno e outono. Em relação à temperatura do ar, o maior *bias* é encontrado durante o inverno e o menor erro durante o verão, sendo que o RegCLM subestima a temperatura do ar em todas as estações do ano.

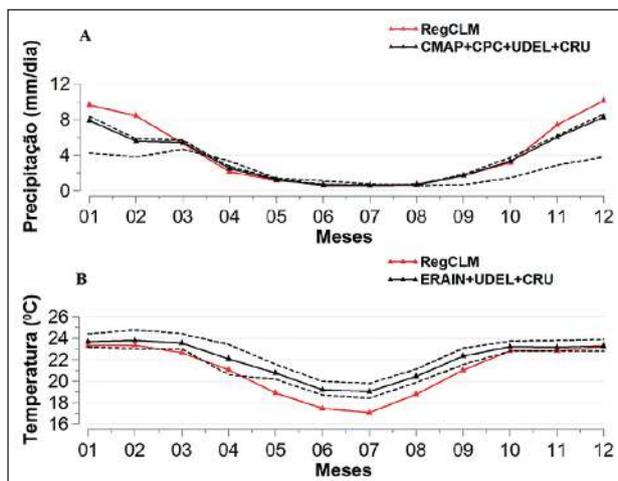


Figura 5 Ciclo anual médio para a região SDE (A) precipitação (mm/dia) – as linhas pontilhadas em preto referem-se aos valores máximos e mínimos do conjunto de dados (CMAP, CPC, UDEL e CRU) (B) temperatura do ar (°C) - as linhas pontilhadas em preto referem-se aos valores máx e mínimos do conjunto de dados (ERAIN, UDEL e CRU).

Bias		
	Precipitação	Temperatura
JJA	-0,2	-1,8
DJF	2,1	-0,3
MAM	-0,2	-1,3
SON	0,4	-0,7

Tabela 1 Índice estatístico (bias) do ciclo anual médio da precipitação para o subdomínio do SDE para as observações e RegCLM.

Na Figura 6 é apresentada a razão de Bowen simulada e observada. De julho a setembro, a razão de Bowen é subestimada pelo RegCLM, indicando menor energia disponível para

aquecer o ar e maior energia disponível para o processo de evapotranspiração (fluxo de calor latente). Isso explica a subestimativa da temperatura do ar de junho a setembro. Para os outros meses (outubro a junho), a partição de energia foi bem simulada pelo RegCLM, indicando que a subestimativa da temperatura não está diretamente ligada com os processos de superfície, podendo outros fatores, como por exemplo, de grande escala estar influenciando nesse *bias* negativo. Com relação à precipitação, de outubro a junho, a razão de Bowen indica que o fluxo de calor latente apresenta pouco impacto na precipitação, o que não explica a superestimativa da precipitação durante o verão no RegCLM em relação às observações.

Com base no exposto anteriormente, conclui-se que superestimativa de precipitação durante o verão simulada pelo RegCLM em comparação com os dados observados, pode ser explicada através da circulação em baixos níveis (Figura 2C-D) e da divergência do fluxo de umidade (Figura 3A-B), as quais mostram maior intensidade dos ventos alísios de nordeste no RegCLM do que nas observações, o que acarreta maior umidade oriunda do oceano Atlântico tropical para o continente, JBN mais intenso e, como consequência, mais chuva na região SDE relacionada com a ZCAS.

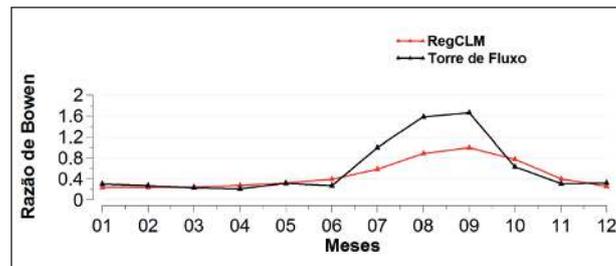


Figura 6 Razão de Bowen simulada (linha vermelha) e observada (linha preta).

### 3.3 Variabilidade Interanual Simulada e Observada para o SDE

Os valores mensais das anomalias interanuais (AI) da precipitação e da temperatura do ar, para o RegCLM, juntamente com o CRU, obtidos para a região SDE são mostradas na Figura 7. Estas séries de

anomalias interanuais resultam da filtragem da série de anomalia total na escala interanual (>365 dias).

Em relação à precipitação observada (Figura 7A – linha preta), nota-se que em praticamente todos os anos analisados existe um sinal de anomalia positiva (negativa), indicando que a precipitação durante esses anos apresentou um sinal acima (abaixo) da média climatológica. Essas variações na anomalia interanual do CRU podem ser uma resposta a variações de TSM do oceano Atlântico tropical (Bombardi *et al.*, 2014) e também devido à contribuição do ENSO, a pesar do sinal da TSM do oceano Pacífico tropical não ser tão claro no SDE como em outras regiões do Brasil como, por exemplo na região Sul (Grimm e Ambrizzi, 2009). Já o RegCLM (Figura 7A – linha vermelha) apresenta anomalias de precipitação na escala interanual de forma intensificada, isto é, com maiores valores de anomalia do que o CRU, e com a fase oposta ao que é observado. Por exemplo, no ano de 1989 enquanto o CRU apresenta anomalia negativa, o RegCLM apresenta anomalia positiva de precipitação.

Segundo Pereira *et al.* (2017), a temperatura do ar apresenta anomalias positivas no SDE quando ocorrem anos de El Niño. O CRU não apresenta um padrão bem definido em relação aos anos de El Niño (Figura 7B – linha preta), uma anomalia ligeiramente positiva pode ser verificada nos anos 1982/1983 e finais de 1987 e 1998, anos em que ocorreram o fenômeno, segundo o *Oceanic Niño Index* (ONI), corroborando com os resultados de Pereira *et al.*, (2017). O RegCLM (Figura 7B – linha vermelha) está mais de acordo com as observações no caso da temperatura, mas em alguns anos há intensificação do sinal da anomalia, por exemplo, o ano de 1998, e em outros subestimação do sinal observado, como no ano de 2003, que foi um ano praticamente neutro em relação ao ENOS.

De uma forma geral, na escala interanual o RegCLM não apresentou boa performance na simulação das anomalias de precipitação em relação aos dados do CRU. Já para temperatura do ar há mais concordância com as observações, mas em alguns anos a simulação apresenta-se fora de fase ou intensifica o sinal da anomalia de temperatura.

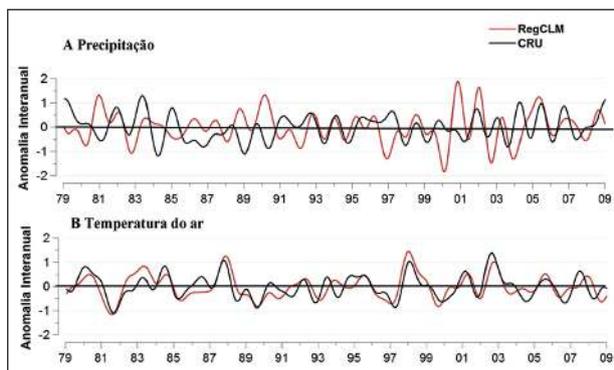


Figura 7 Anomalia Interanual (A) Precipitação (mm/dia) (B) Temperatura do ar (°C). Para o CRU (linha preta) e RegCLM (linha vermelha) para o SDE.

#### 4 Considerações Finais

O presente trabalho avaliou o desempenho do acoplamento do modelo climático regional RegCM4.3 com o modelo de superfície CLM3.5, durante o verão, com ênfase na região Sudeste do Brasil, em simular a climatologia e a variabilidade interanual. Vale ressaltar que este trabalho não teve como foco analisar possíveis melhoras/pioras desse acoplamento com o RegCM4.3 acoplado ao BATS. Este último já foi foco de outros estudos como o de Reboita *et al.* (2014) e Llopart *et al.* (2017).

A análise da climatologia mostrou que o RegCLM, no verão, apresenta-se mais úmido do que o conjunto de observações utilizado, superestimando a ZCAS e a precipitação ao longo dos Andes. Na análise do ciclo anual para o SDE fica evidente a superestimativa da simulação, e através do cálculo da razão de Bowen, conclui-se que para o verão, essa superestimativa da precipitação existe devido ao RegCLM simular os ventos alísios de nordeste mais intensos, e com isso, mais umidade oriunda do oceano Atlântico tropical é transportada para o continente, intensificando a ZCAS.

Para a temperatura do ar, o RegCLM é mais quente que as observações durante o verão na região Amazônica, Uruguai e norte da Argentina, e mais frio no Sul e Norte da AS, Bolívia, e da costa leste do Brasil, desde o Rio Grande do Sul até a região SDE. Na análise do ciclo anual para o SDE, notou-se que a simulação é mais fria principalmente nos meses de inverno, chegando a uma diferença de 1,8°C.

Já durante o verão, foi encontrado o menor *bias* para essa variável.

Em relação à variabilidade interanual para o SDE, a precipitação simulada apresenta um padrão de forma a intensificar o sinal e inverter a fase da anomalia que é observada nas observações do CRU. Já para a temperatura do ar, a simulação está mais de acordo com a observação, intensificando em alguns anos as anomalias.

Ressalta-se que estudo serve de guia para a previsão climática sazonal com foco na região SDE e para o verão. Como discutido ao longo do trabalho, existem *bias* na simulação, tanto em relação a precipitação como em relação a temperatura do ar. Isso indica que mais estudos devem ser realizados, no âmbito de previsão climática sazonal utilizando modelos climáticos. A superestimativa da precipitação simulada em comparação a observada mostra que melhorias ainda devem ser realizadas no modelo, como por exemplo, testar outras parametrizações e aumentar a resolução para considerar mais os processos locais, pois essas podem estar contribuindo para o *bias* do modelo.

## 5 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil (Procs. 155700/2010-3, 249244/2013-6 e 422063/2016-9) e a CAPES/PROEX.

## 6 Referências

Ambrizzi, T.; Reboita, M.; da Rocha, R.; Llopart, M. 2018. The state-of-the-art and fundamental aspects of Regional Climate Modeling in South America. *Annals of the New York Academy of Sciences, Special Edition: Climate Science*.

Bombardi, R.; Carvalho, L.; Jones C. & Reboita, M. 2014. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. *Climate Dynamics*, 42:1553–1568.

Bowen, I. 1926. The ratio of heat losses by conduction and evaporation from any surface. *Phys Rev* 27:779-789.

Campos, C.R.J. & Eichholz, C.W. 2011. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. *Revista Brasileira de Geofísica*, 29: 331-345.

Carvalho, L.; Jones, C. & Liebmann, B. 2004. The South Atlan-

tic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, 17:88–108.

da Rocha, H.; Manzi, A.; Cabral, O.; Miller, S.; Gouldel, M.; Saleska, S.; Coupe, N.; Wofsy, S.; Borma, L.; Artaxo, P.; Vourlitis, G.; Nogueira, J.; Cardoso, F.; Nobre, A.; Kruijt, B.; Freitas, H.; von Randow, C.; Aguiar, R. & Maia, J. 2009. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. *J. Geophys. Res.*, 114:G00B12.

da Rocha, R.P.; Reboita, M. S.; Dutra, L.; Llopart, M.P. & Coppola, E. 2014. Interannual variability associated with ENSO: present and future climate projections of RegCM4 for South America-CORDEX domain. *Climatic Change*, 125:95-109.

da Silva, L.; Reboita, M. & da Rocha, R. 2014. Relação da passagem de frentes frias na região sul de Minas Gerais (RSMG) com a precipitação e eventos de geada. *Revista Brasileira de Climatologia*, S.1., 14.

Dee, D.P.; Uppala, S.M.; Simmons, A.J.; Berrisford, O.; Poli, P.; Kobayashi, S.; Andrae, U.; Balmaseda, M.; Balsamo, G.; Bauer, B.; Bechtold, P.; Beljaars, A.; van de Berg, L.; Bidlot, J.; Bormann, N.; Delsol, C.; Dragani, R.; Fuentes, M.; Geer, A.; Haimberger, L.; Healy, S.; Hersbach, H.; Holm, E.; Isaksen, L.; Kallberg, P.; Kohler, M.; Matricardi, M.; McNally, A.; Monge-Sanz, B.; Morcrette, J.; Park, B.; Peubey, C.; de Rosnay, P.; Tavolato, C.; Thepaut, J. & Vitart, F. 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656):553-597.

Dickinson R.E.; Henderson-Sellers, A. & Kennedy P.J. 1993. Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model. Boulder, Colorado: *Technical Note NCAR/TN-387*, 72p.

Emanuel, K.A. & Zivkovic-Rothman, M. 1999. Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 56:1766–1782.

Fernandez, P.; Franchito S. & Rao V.B. 2006a. Simulation of summer circulation over South America by two regional climate models. Part I. Mean climatology. *Theor Appl Climatol*, 86:247–260.

Fernandez, P.; Franchito S. & Rao V.B. 2006b. Simulation of the summer circulation over South America by two regional climate models. Part II: A comparison between 1997/1998 El Niño and 1998/1999 La Niña events. *Theor Appl Climatol*, 86:261–270.

Giorgi, F. & Mearns, L. 1999. Introduction to special section: regional climate modeling revisited. *J Geophys Res*, 104:6335–6352.

Giorgi, F.; Jones, C. & Asrar, G. 2009. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bull*, 58:175–183.

Giorgi, F.; Coppola, E.; Solmon, F.; Mariotti, L.; Sylla, M.; Bi, X.; Elguindi, N.; Diro, G.; Nair, V.; Giuliani, G.; Turuncoglu, U.; Cozzini, S.; Güttler, I.; O'Brien, T.; Tawfik, A.; Shalaby, A.; Zakey, A.; Steiner, A.; Stordal, F.; Sloan, L. & Brankovic, C. 2012. RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*, 52:7-29.

Grimm A. & Ambrizzi, T. 2009. Teleconnections into South

- America from the tropics and extratropics on interannual and intraseasonal timescales. In: Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions: From the Last Glacial Maximum to the Holocene, *Developments in Paleoenvironmental Research*, Vimeux F, Sylvestre F, Khodri M, (coordenadores). Springer: Netherlands, 159–191.
- Grimm, A. 2009. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DIAS, M.A.F. & JUSTI, M.G.A. (Orgs.). *Tempo e Clima no Brasil*. ed. São Paulo: Oficina de textos, 1, 353-374.
- Kodama, Y.M. 1992. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 70:813–835.
- Legates, D.R. & Willmott, D.R. 1990. Mean seasonal and spatial variability in gauge corrected, global precipitation. *J Climatology*, 10:111.
- Lenters, J. & Cook K. 1995. Simulation and diagnosis of the regional summertime precipitation climatology of South America. *J. Climate*, 8:2298–3005.
- Llopart, M.; Coppola, E.; Giorgi, F.; Rocha, R.P. & Cuadra, S.V. 2014. Climate change impact on precipitation for the Amazon and La Plata basins. *Climatic Change*, 125:111-125.
- Llopart, M.; Rocha, R.P.; Reboita, M.S. & Cuadra, S. 2017. Sensitivity of simulated South America climate to the land surface schemes in RegCM4. *Climate Dynamics*, 48:1-13.
- Mitchell, T. & Jones, P.D. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int J Climatology*, 25:693-712.
- Nobre, P. 1996. Variabilidade interanual do Atlântico tropical e sua influência no clima da América do Sul. *Climanálise* - Edição Comemorativa.
- Oleson, K.; Niu, G.; Yang, Z.; Lawrence, D.; Thornton, P.; Lawrence, P.; Stockli, R.; Dickinson, R.; Bonan, G.; Levis, S.; Dai, A. & Qian, T. 2008. Improvements to the Community Land Model and their impact on the hydrologic cycle. *J Geophys Res*, 113: G01021.
- Pal, J.; Giorgi, F.; Bi, X.; Elguindi, N.; Solmon, F.; Gao, X.; Rauscher, S.; Francisco, R.; Zakey, A.; Winter, J.; Ashfaq, M.; Syed, F.; Bell, J.; Diffenbaugh, N.; Karmacharya, J.; Konare, A.; Martinez, D.; da Rocha, R.; Sloan, L. & Steiner, A. 2007. Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCM3. *Bull Am Meteorol Soc*, 88:1395–1409.
- Pereira, H.; Reboita, M.S. & Ambrizzi, T. 2017. Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(2):293-310.
- Reboita, M.S.; Gan, M.A.; da Rocha, R.P. & Ambrizzi, T. 2010. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2):185-204.
- Reboita, M. S.; Krusche, N.; Ambrizzi, T. & da Rocha, R.P. 2012. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. *Terrae Didactica* (Impresso), 8:34-50.
- Reboita, M.S.; Fernandez, J.P.R.; Llopart, M.P.; da Rocha, R.P.; Pampuch, L. & Cruz, F. 2014. Assessment of RegCM4.3 over the CORDEX South America Domain: Sensitivity Analysis to the Physicals Parameterizations. *Climate Research*, 60:215-234.
- Reboita, M.S. & Santos, I.A. 2014. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 15:28-48.
- Reboita, M.; Dias, C.; Dutra, L. & Llopart, M. 2018a. Previsto climática sazonal para o Brasil obtida através de modelos climáticos globais e regional. *Rev. Bras. Meteorol.*
- Reboita, M.; da Rocha, R.; de Souza, M & Llopart, M. 2018b. Extratropical cyclones over the Southwestern South Atlantic Ocean: HadGEM2-ES and RegCM4 projections. *Int. J. Climatol.*
- Silva Dias, M.A.F. 1987. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo a Curto Prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, p. 133 - 150, 1987
- Silva, V.B.S.; Kousky, V.E.; Shi, W. & Higgins, R.W. 2007. An improved historical daily precipitation analysis for Brazil. *J. Hydrometeorol.*, 8:847– 861.
- Silvestri G, Vera C, Jacob D, Pfeifer S, Teichmann C. 2008. A high-resolution 43-year atmospheric hindcast for South America generated with the MPI regional mode. *Climate Dynamics* 32: 693–709.
- Silvestri, G.; Vera, C.; Jacob, D.; Pfeifer, S. & Teichmann, C. 2008. A high-resolution 43-year atmospheric hindcast for South America generated with the MPI regional mode. *Climate Dynamics* 32: 693–709.
- Steiner, A.; Pal, J.S.; Giorgi, F.; Dickinson, R., E. & Chameides, W., 2005. Coupling of the Common Land Model (CLM0) to a regional climate model (RegCM). *Theor Appl Climatol*, 82(3–4):225–243.
- Vera, C.; Higgins, W.; Amador, J.; Ambrizzi, T.; Garreaud, R.; Gochis, D.; Gutzler, D.; Lettenmaier, D.; Marengo, J.; Mechoso, R.; Noguez-Paegle, J.; Silva Dias, P. & Zhang, C. 2006. Toward a unified view of the American monsoon systems. *J. Climate*, 19:4977-5000.
- Xie, P. & Arkin, P.A. 1997. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull Amer Meteor Soc*, 78:2539–2558.