



Avaliação das Parametrizações Cumulus Emanuel e Grell do Modelo Climático Regional RegCM4: Simulando a Precipitação e Temperatura a Superfície sobre o Nordeste Brasileiro durante o Outono Austral

Evaluation of Cumulus Parametrizations Emanuel and Grell of Regional Climate Model RegCM4: Simulating Precipitation and Surface Temperature over Northeastern of Brazil during the Southern Autumn

Glícia Ruth Garcia de Araújo¹; Cláudio Moisés Santos e Silva² & Aline Gomes da Silva³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Rodovia Presidente Dutra, km 40, Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas (DCAC). Lagoa Nova, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Centro, São Gonçalo do Amarante, Rio Grande do Norte, Brasil

E-mails: glícia.garcia@inpe.br; claudiom8@gmail.com; aline.gomes@ifrn.edu.br

Recebido em: 23/11/2018 Aprovado em: 20/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_231_240

Resumo

O resultado de simulações com modelos dinâmicos regionais apresentam erros sistemáticos em diferentes regiões do mundo. Na região tropical, tais erros são geralmente associados às incertezas nas parametrizações físicas, por exemplo, convecção profunda ou a microfísica de nuvens. Assim, o objetivo foi avaliar a precipitação e temperatura de simulações realizadas com o modelo RegCM4, com base em diferentes parametrizações (Grell e Emanuel). A área de estudo foi o Nordeste do Brasil (NEB) durante o outono (Março-Abril-Maio) de 1998 a 2008. Para avaliar a precipitação utilizaram-se dados do produto 3B42_V6 a partir de medidas do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). A temperatura à superfície foi avaliada por meio dos resultados de reanálises do ERA-Interim. A metodologia foi composta pela análise de cluster através de método hierárquico de variância mínima de Ward, correlação de Pearson, análise de variância (ANOVA) e teste de diferenças entre médias (t-Student) com nível de significância de 0,05. Além disso, calcularam-se os índices de exatidão: Erro Absoluto Médio (MAE) e a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE). Para realização das análises estatísticas utilizou-se o software R versão 3.4.3. Concluiu-se que ambas as simulações subestimam a precipitação estimada pelo TRMM. A simulação com a parametrização de Emanuel apresentou os menores erros nos clusters 1, 3 e 4. Em relação à temperatura simulada pelo RegCM4, as parametrizações obtiveram resultados melhores na simulação desta variável em todos os clusters.

Palavras-chave: RegCM4; Análise de cluster; Avaliação

Abstract

The result of simulations with regional dynamic models presents systematic errors in different regions of the world. In the tropical region, such errors are usually associated with the uncertainties in the physical parameterizations, for example, deep convection or the cloud microphysics. Thus, the objective was to evaluate precipitation and temperature of simulations performed with the RegCM4 model, based on different parameterizations (Grell and Emanuel). The study area was the Northeast of Brazil (NEB) during the southern autumns (March-April-May) from 1998 to 2008. For evaluate the precipitation used 3B42_V6 algorithm data from the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite (TRMM). The surface temperature was evaluated through the results reanalysis of ERA-Interim. The methodology was composed by cluster analysis per Ward's minimal variance hierarchical method, Pearson correlation, analysis of variance (ANOVA) and test of differences between averages (t-Student) with significance level of 0.05. Moreover, the accuracy indices were calculated: Mean Absolute Error (MAE) and the Root Mean Squared Error (RMSE). For realization the statistical analysis used the R software version 3.4.3. It was concluded that both simulations underestimate precipitation estimated by TRMM. The simulation with parameterization of Emanuel presented minor errors in clusters 1, 3 and 4. In relation the temperature simulated by the RegCM4, the best results were obtained in simulation of this variable in all clusters.

Keywords: RegCM4; Cluster Analysis; Evaluation

1 Introdução

O Nordeste Brasileiro (NEB) possui elevada variabilidade climática, com precipitação acumulada anual menor em regiões semiáridas de aproximadamente 500 mm, enquanto em regiões costeiras e noroeste (que contempla parte do Estado do Maranhão) o acumulado anual de precipitação pode ser superior a 1.500 mm. Sob o ponto de vista meteorológico e climatológico, essa variabilidade é decorrência da atuação de vários sistemas na região NEB, notadamente a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), as Linhas de Instabilidade Costeiras e Continentais (LI), os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os sistemas frontais que atuam mais na região Sul da Bahia (Reboita *et al.*, 2012; Oliveira, 2014; Silva *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2017).

No período do verão e outono austral, a ZCIT tem forte influência na precipitação da maior parte do Norte do NEB, especificamente o período do outono é aquele em que se observam os maiores valores médio de precipitação na maior parte do Nordeste, caracterizando o período chuvoso da região (Souza *et al.*, 2009). Assim, esse período é de suma importância para se avaliar a capacidade dos Modelos Climáticos Regionais (MCR) em representar de maneira adequada a atividade convectiva na região (Silva & Santos e Silva, 2014). Ao mesmo tempo, a temperatura à superfície é uma variável de interesse, visto que está diretamente associada a mecanismos físicos na interface solo-vegetação-atmosfera.

A variabilidade climática na região do NEB é resultado de complexas interações entre os fenômenos atmosféricos e a topografia, além da influência da vegetação. Essas interações, em geral, não são bem captadas pelos modelos globais. Assim, modelos regionais são apropriados, pois podem ser usados em melhor resolução, sendo capazes de simular de maneira mais apropriada a distribuição espacial das variáveis meteorológicas e sua intensidade (Silva, 2016).

O modelo utilizado no presente estudo foi o Modelo Climático Regional (sigla em inglês – Re-

gCM, versão 4.2). Originalmente, este modelo foi criado no final da década de 80. O RegCM foi desenvolvido pelo *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) e possui várias versões, por exemplo, RegCM1, RegCM2, RegCM2.5, RegCM3, RegCM4 até a versão mais recente não hidrostática o RegCM4.6. O RegCM4 é um modelo de área limitada com discretização horizontal de acordo com a grade B de Arakawa, possui coordenada sigma-p na vertical, e para um fluido compressível e hidrostático (Grell, 1993).

Apesar dos progressos obtidos na área de modelagem em previsão climática no decorrer dos últimos anos, os modelos regionais apresentam erros sistemáticos em diferentes regiões, principalmente na região Tropical, devido, entre outros fatores, à falta de ajustes nas parametrizações físicas, inclusive nas parametrizações de cumulus e de precipitação estratiforme (Giorgi *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 2009). Com isso, os MCR precisam ser avaliados a fim de que possam ser aperfeiçoados, para que possa haver um melhoramento substancial nas simulações.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a precipitação e a temperatura (medida a 2m em relação à superfície) de simulações realizadas com o modelo RegCM4.2 com diferentes parametrizações de convecção, Grell e Emanuel, na região do NEB durante os meses do outono austral. Com isso, pretende-se identificar a simulação que apresenta os melhores desempenhos para a região.

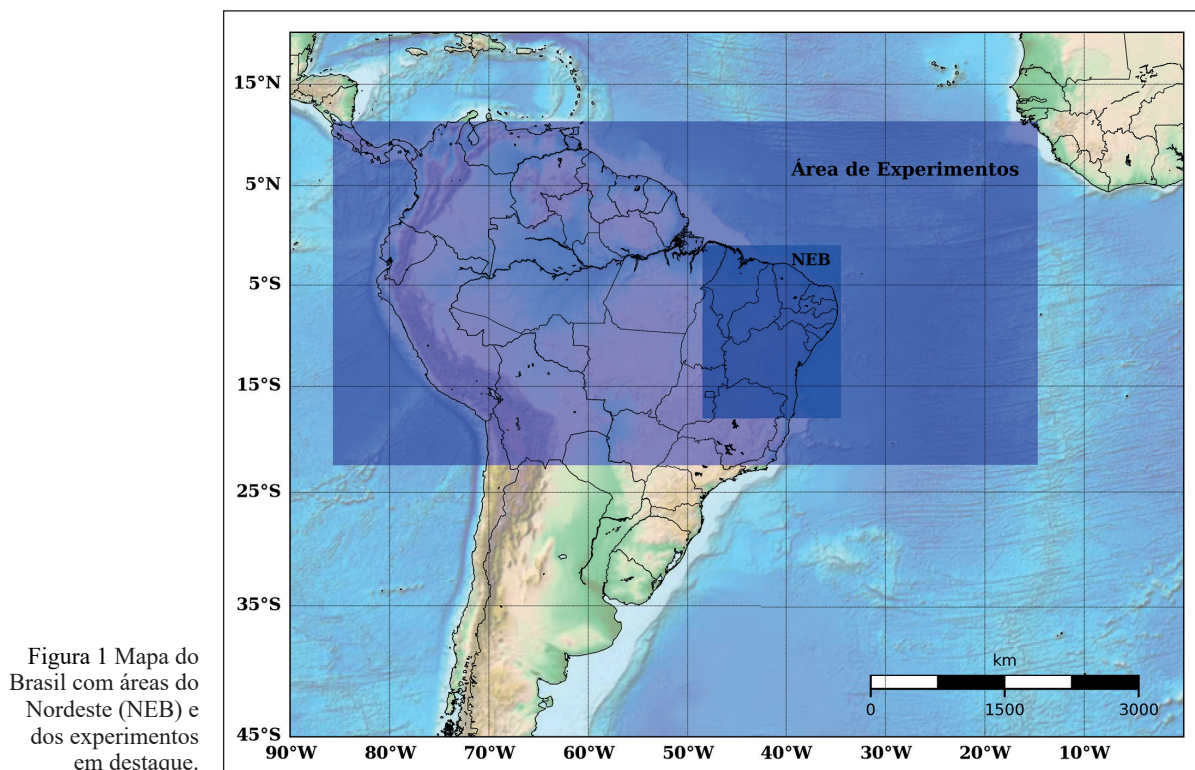
2 Metodologia

2.1 Área de Estudo

A região de análise das simulações é o NEB, que tem uma área de 1.558.000 km², com uma população de 53,59 milhões de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística - IBGE (IBGE, 2009), e constituído por nove estados. E está situado entre as latitudes de 1°S/18°S e longitudes de 48°W/34°W (Figura 1).

2.2 Dados

Foram usadas duas fontes de dados para a avaliação das simulações. A primeira, de precipi-



tação diária, sendo obtida pelo produto 3B42_V6 do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), cujo espaçamento de grade é de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. O segundo conjunto de dados foi da temperatura a 2m em relação à superfície, para isso utilizou-se as informações das reanálise do *European Centre for Medium-range Weather Forecasting* (ECMWF; ERA-Interim). Esses dados foram interpolados para uma grade regular de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. As análises cobriram o período do outono (Março, Abril e Maio) de 1998 a 2008.

O período do outono foi escolhido por se tratar de um período de transição entre o verão e inverno. Comumente, os modelos dinâmicos apresentam dificuldades em simular períodos de transição. Não obstante, segundo a Hastenrath (2006) as chuvas se concentram nos meses de Março, Abril e Maio em grande parte da região Nordeste.

O satélite TRMM é um projeto feito pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em parceria com a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). Trata-se de um satélite de órbita equatorial, com altitude de 350 km, tendo

como objetivo principal monitorar a precipitação na região intertropical. O TRMM foi lançado em 27 de Novembro de 1997, iniciando suas medições em Janeiro de 1998 e terminando sua missão em Dezembro de 2014. Os instrumentos a bordo do TRMM são o Imageador de Microondas (TMI), Radar de Precipitação (PR), Radiômetro no Visível e no Infravermelho (VIRS), Sistema de Energia Radiante da Terra e das Nuvens (CERES), e Sensor para Imageamento de Relâmpagos (LIS) (Simpson *et al.*, 1988; Kummerow *et al.*, 1997; Liu *et al.*, 2012; Melo *et al.*, 2015).

O TRMM gera várias estimativas através da combinação de instrumentos. O produto 3B42_V6, utilizado neste trabalho, combina a precipitação estimada pelo TMI com o perfil de precipitação do PR, no final este produto gera estimativas de precipitação a cada 3 horas, com espaçamento de grade horizontal de $0,25^\circ$ cobrindo a faixa entre 50°S e 50°N (Collischonn *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2012; Melo *et al.*, 2015). Este produto foi avaliado para as regiões do Brasil por Melo *et al.*, (2015), onde obteve resultados satisfatórios para região do NEB com erros menores que 5 mm/dia e concordância de 0,79.

O ERA-Interim é uma atualização do Era-40, sendo um conjunto de informações do sistema climático obtido através de um modelo dinâmico do *European Centre for Medium-range Weather Forecasting* com o método 4dvar de assimilação de dados globais. Originalmente, os produtos do ERA-Interim são dispostos em uma grade regular de $0,75^\circ$ de espaçamento, contudo, é possível obter diferentes resoluções. Assim, os dados usados tem o espaçamento de $0,25^\circ$ com frequência de 6 horas (00h, 06h, 12h e 18h *Universal Time Coordinated* - UTC) e cobre o período desde 1 de Janeiro de 1998 até os dias atuais. As observações disponíveis são combinadas com simulações do modelo global e isso envolve a análise de diferentes variáveis na atmosfera (temperatura, vento, umidade, ozônio, pressão). Essa análise é usada inicialmente para previsão a curto prazo, que fornece uma estimativa do estado da atmosfera para o próximo ciclo (Dee *et al.*, 2011).

2.3 Características das Simulações

Foram realizadas diferentes simulações com o modelo RegCM4.2 sobre a área que compreende as latitudes de $11,4^\circ\text{N}$ a $22,5^\circ\text{S}$ e longitudes de $85,07^\circ\text{W}$ a $14,4^\circ\text{W}$ (Figura 1). O espaçamento de grade foi de $0,50^\circ \times 0,50^\circ$. As diferenças fundamentais entre as simulações foram os tipos de parametrizações usadas para representar a convecção profunda. No experimento com a parametrização de Emanuel (MIT), utilizou-se também o Subex (Pall *et al.*, 2007) Seco (EM_SD), ou seja, com Umidade Relativa Mínima (RHmin) de 65%. A simulação com a parametrização de Grell foi usada com Subex úmido (GR_PW_SW), ou seja, PEF (*Precipitation Efficient*) entre 0,25 e 0,50, e RHmin de 90% com o fechamento de Arakawa & Schubert (1974). Esses dois experimentos foram escolhidos por serem configurações previamente testadas (Silva & Santos e Silva, 2014) tanto para a bacia Amazônica, quanto para o NEB.

A parametrização MIT – Emanuel representa o fluxo convectivo usando um modelo idealizado de correntes ascendentes e descendentes de escala de sub-núvens. Esta simulação oferece vários diferenciais em comparação a outros esquemas convectivos disponíveis no RegCM4.2, por exemplo, uma para-

metrização de autoconversão de vapor em água de chuva que é dependente da temperatura. A parametrização Grell é do tipo fluxo de massa e considera a nuvem como o resultado de uma circulação fechada associada a uma corrente ascendente e outra descendente. A interação com a atmosfera ocorre somente na base e no topo da nuvem, sendo que o fluxo de massa é constante com a altura. O fechamento de Arakawa & Schubert (1974), utilizado no presente trabalho, assume que nuvens convectivas estabilizam o ambiente tão rápido quanto os processos não convectivos (Grell, 1993).

2.4 Análises

Primeiramente foi delimitada a área para análises, que compreende a região entre 48°W a 34°W de longitude e 18°S a 1°S de latitude. Para a análise estatística de comparação dos dados das parametrizações do modelo com o satélite TRMM e o ERA-Interim foi realizada uma interpolação bilinear através do programa Climate Data Operators (CDO), onde todos os dados foram interpolados para grade de $0,25^\circ$ do satélite TRMM. Apenas as informações do período de estudo foram analisadas. A unidade da precipitação foi em mm/dia e a temperatura em $^\circ\text{C}$. Em seguida, extraíram-se dados de diferentes regiões para a análise estatística. As técnicas estatísticas usadas foram: i) análise de cluster, para verificar regiões com homogeneidade no campo de precipitação e temperatura utilizando-se da distância euclidiana como medida de dissimilaridade e método hierárquico da variância mínima de Ward, que é aglomerativo, também foram estimados os índices de *Silhouette* para analisar a quantidade e a qualidade dos clusters definidos; ii) análise de variância (ANOVA); iii) teste de diferenças entre médias (t-Student). Os testes estatísticos utilizados neste trabalho, como o teste t-student ou teste das médias possui as seguintes hipóteses: Nula (H_0 : As médias são iguais); Alternativa (H_1 : As médias são diferentes). Para a ANOVA, têm as seguintes hipóteses (H_0 : As médias amostrais são iguais e H_1 : As médias amostrais não são iguais, ou seja, pelo menos uma das médias difere das outras). Neste estudo foi considerado o nível de significância de 5% para rejeição da hipótese nula, ou seja, se o p-valor dos testes citados acima for menor ou igual a 0,05, rejeita-se H_0 . Para realização das análises estatísticas utilizou-se o software R versão 3.4.3.

Para obtenção da quantidade de clusters foi utilizado o Índice *Silhuete* (SI), que foi desenvolvido por Rousseeuw (1987). Este índice avalia a semelhança das observações inseridas em um determinado grupo comparando-as a outros grupos formados. Varia de -1 a 1, sendo que valores próximos a -1 indicam uma atribuição inadequada; próximos a 0 indica que o elemento está próximo do limite entre dois grupos, portanto, não pertence a grupo algum; finalmente, valores próximo a 1 indica que a observação está no cluster correto.

Adicionalmente, calcularam-se o Erro Absoluto Médio (MAE) e Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) a fim de se quantificar as estimativas de erros.

3 Resultados e Discussão

O gráfico *Silhouette* da precipitação dos dados de satélite TRMM via produto 3B42_V6, obteve melhor resultado com 4 clusters. Ambos possuem uma média de silhueta de 0,29, sendo que o menor valor obtido foi do cluster 4 (vermelho) com 0,25 (Figura 2C). Os clusters espacializados de precipitação no período de estudo (Figura 2A), mostrou que o cluster 1 (azul) se estende desde o estado da Bahia, sul do Piauí, Maranhão, parte de Pernambuco e Paraíba, até o Rio Grande do Norte. O cluster 2 (amarelo) compreende os estados do Ceará, Piauí e centro do Maranhão. O cluster 3 (cinza) se estende no noroeste e centro do Maranhão até o norte do Piauí. O cluster 4 (vermelho) se encontra sobre o litoral do Maranhão. Esta configuração no agrupamento está relacionada à atuação dos sistemas meteorológicos, topografias, e consequentemente, aos regimes de chuvas na região. O Cluster 1 por compreender grande parte do NEB (litoral leste e semiárido), os sistemas que configuram este grupo são: DOL, VCAN (dependendo do seu posicionamento pode inibir ou intensificar as chuvas em determinado local), sistemas frontais, ZCAS e ZCIT, além da topografia da região (Planalto da Borborema), que devido a predominância dos ventos alísios há levantamento de ar à barlavento da formação geológica provocando chuvas orográficas, e causando subsidência de ar à sotavento. Clusters 2 e 3 são influenciados pela ZCIT, LI, VCAN e SCM. O Cluster 4 é caracterizado pelos grandes volumes de chuva devido a atuação da ZCIT, LI e SCM.

A distribuição de regiões homogêneas aqui verificadas diferem da análise realizada por Oliveira *et*

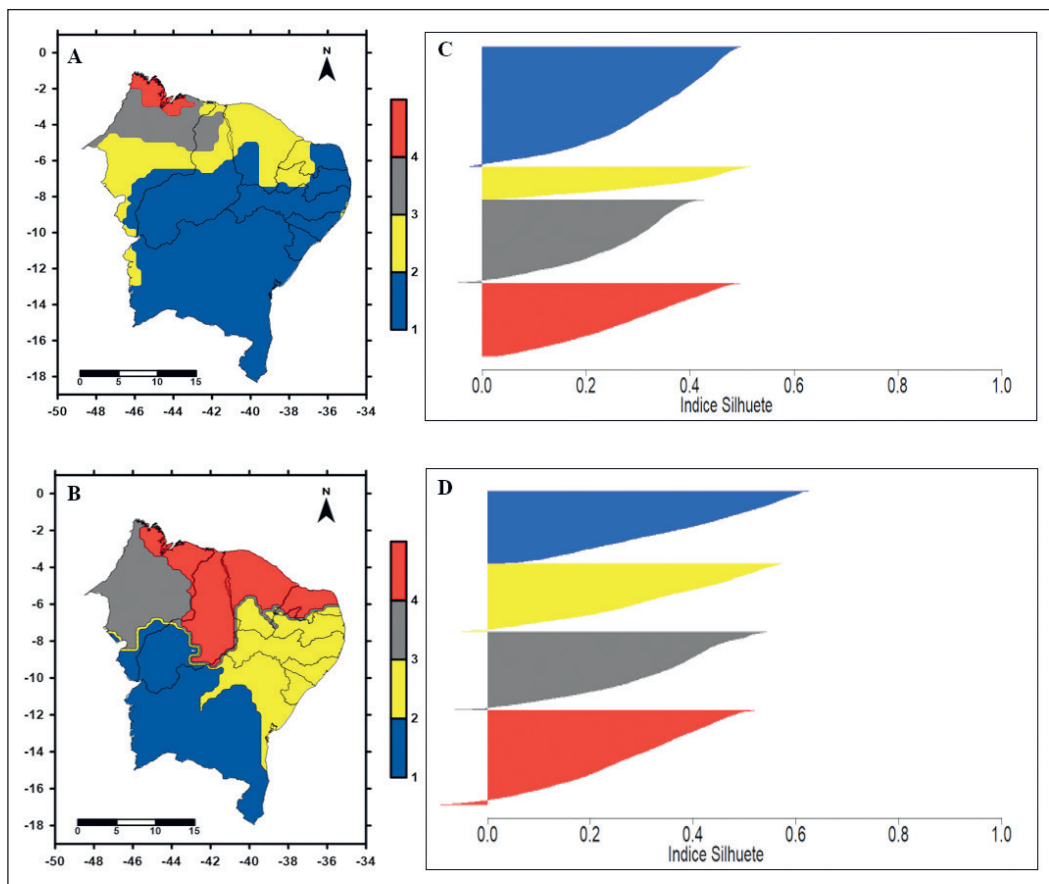
al. (2017), que ao usar dados de 148 estações meteorológicas identificou cinco áreas homogêneas dentre estas, às denominou de Costa Nordeste (NC), Costa Sudeste (SC), Nordeste do Semiárido (NS), Sudeste do Semiárido (SS) e Noroeste (NW). Contudo, ressalta-se que esses autores analisaram um período de 31 anos (1972-2002) e o agrupamento foi feito para a climatologia anual da precipitação, que contempla a variabilidade das outras estações sazonais.

Para a temperatura (Figura 2D) obteve-se uma média de Silhueta de 0,33, sendo o cluster 1 com o menor valor (0,22). A análise de cluster da temperatura (Figura 2B) difere um pouco da precipitação, cujo cluster 1 se estende desde o sul da Bahia até o sudeste do Piauí. O cluster 2 compreende o leste da Bahia, parte do semiárido até Pernambuco. O cluster 3 se estende na costa norte do NEB, e o cluster 4 se encontra no estado do Maranhão.

As séries temporais de precipitação representam a média de cada cluster no período de estudo, onde os resultados são apresentados na Figura 3. Verifica-se que ambas simulações subestimam a precipitação do TRMM em todos os clusters. A subestimativa é evidente na parametrização Grell. Por se tratar de uma parametrização que depende do fluxo de massa, a simulação com Grell no modelo RegCM4.2 tende a subestimar a precipitação em regiões tropicais conforme descrito por Giorgi *et al.* (2012). Resultados similares foram encontrados para simulações com maior resolução sobre o NEB conforme foi apontado por Santos e Silva *et al.* (2014). Por outro lado, a parametrização de Emanuel, que é fortemente dependente do aquecimento diabático a superfície, de forma geral, superestima a chuva em regiões continentais quentes e úmidas com elevados fluxos de superfície, embora capte de maneira adequada a distribuição espacial da chuva (Giorgi *et al.*, 2012; Santos e Silva *et al.*, 2014).

Assim, os resultados obtidos da simulação com a parametrização de Emanuel discordam com parte da literatura (Giorgi *et al.*, 2012; Santos e Silva *et al.*, 2014), pois houve uma subestimativa nesse experimento; entretanto, isso pode ser atribuído à proximidade da região com o oceano, que tem forte influência da confluência dos ventos alísios. Além disso, o NEB, sob o ponto de vista climatológico é localizado em uma região de relativa alta pressão à

Figura 2 Análise de cluster espacializada da precipitação acumulada do produto 3B42_V6 do satélite TRMM (a) e da temperatura média do ar da reanálise ERA-Interim (b) no período do outono austral de 1998 a 2008. Gráfico silhueta para determinação da quantidade de clusters (método de Ward hierárquico) da variável precipitação (c) e temperatura do ar (d); (azul - cluster 1, amarelo - cluster 2, cinza - cluster 3 e vermelho - cluster 4).



superfície, o que subestima o mecanismo de convecção local. Esses dois fatores podem influenciar de forma significativa no total de chuva simulada no experimento de Emanuel.

No geral, as simulações acompanham a variabilidade interanual das observações nos quatro clusters. Vale ressaltar que o modelo, embora consiga acompanhar a variabilidade, apresenta maiores diferenças em anos atípicos; por exemplo, em 2006, em que a chuva observada foi elevada em todas as áreas do NEB. No ano 2000, as parametrizações Emanuel e Grell superestimaram a precipitação do satélite nos clusters 1 (Figura 3A) e 2 (Figura 3B), respectivamente. Além disto, observou-se que nos clusters 1, 3 e 4 (Figura 3A,C,D) a parametrização Emanuel possui valores que chegam próximos dos estimados pelo produto 3B42_V6 do satélite TRMM, com exceção do cluster 2, onde ambas as parametrizações obtiveram valores aproximados, sendo que a melhor simu-

lação que representa a série temporal da precipitação acumulada no período do outono é a Emanuel.

Na análise temporal de temperatura média de cada outono (Figura 4), nota-se que a parametrização Grell (linha verde pontilhada) superestima a temperatura nas regiões dos clusters 1 e 3 (Figura 4A,C) em relação ao dados do Era-Interim, com diferença de aproximadamente 5°C. Já a parametrização Emanuel (linha vermelha tracejada) superestima também, mas tem os seus valores simulados próximos dos dados do ERA-Interim (linha azul contínua). Nos clusters 2 e 4 (Figura 4B,D), a parametrização Grell subestima os valores do ERA-Interim em aproximadamente 2°C, o contrário ocorre na simulação Emanuel, superestimando a temperatura. Em todos os clusters é observado que as simulações Emanuel e Grell representam melhor a temperatura temporalmente do que a precipitação, isto pode ser explicado pelo fato de que a temperatura varia menos espacialmente em relação a precipitação.

As correlações variam de ano para ano em todas as áreas para ambas as variáveis (Figura 5). Na análise de correlação da precipitação acumulada observa-se que o cluster 1 obteve correlações

altas em relação ao satélite TRMM (Figura 5A,B). Sendo a parametrização Emanuel a obter maiores correlações entre 20% e 60% (Figura 5A), aproximadamente. Como visto anteriormente na Figura 4,

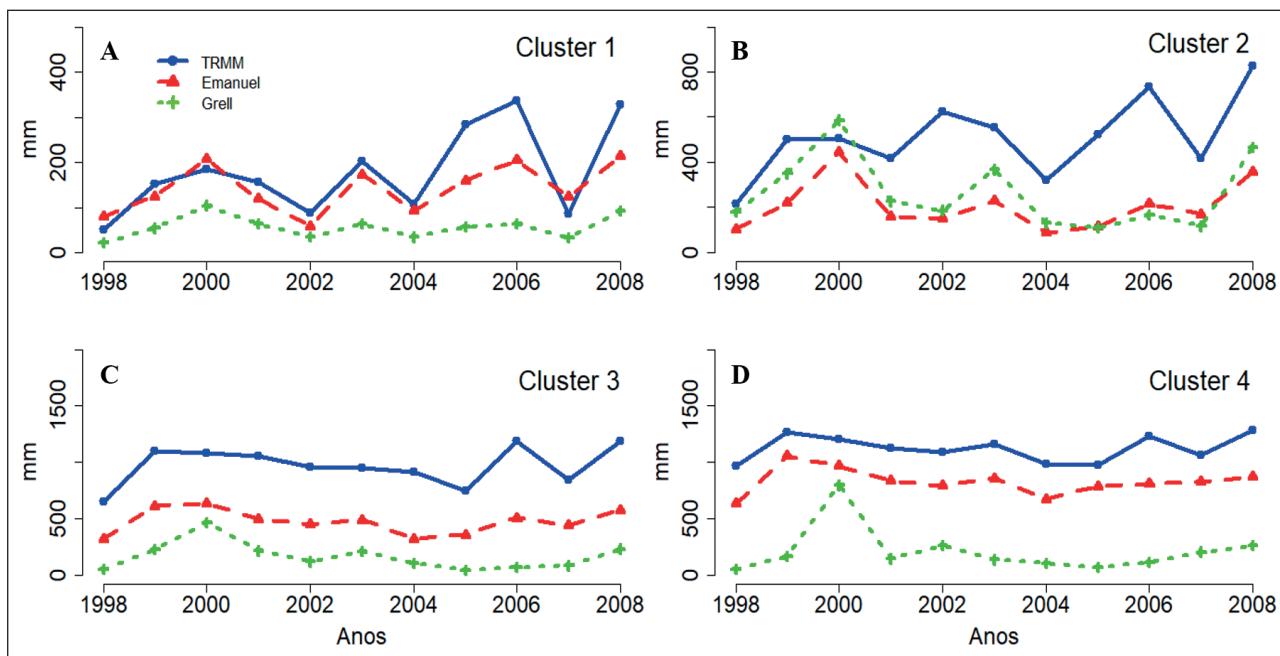


Figura 3 Precipitação total (mm) do outono austral da análise de cluster no período de 1998-2008. Dados do produto 3B42_V6 do satélite TRMM em linha contínua azul, parametrização Emanuel em linha tracejada vermelha e parametrização Grell em linha pontilhada verde.

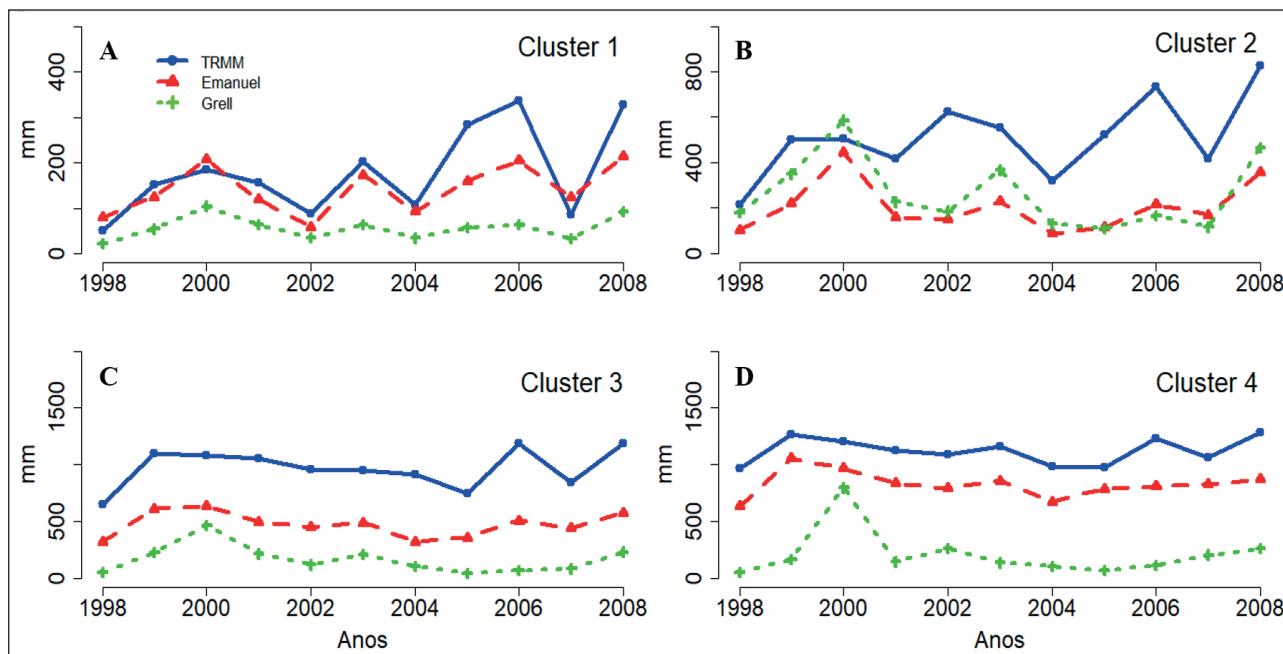


Figura 4 Temperatura média (°C) do outono austral das regiões definidas pela análise de cluster no período de 1998-2008. Dados de reanálise do ERA-Interim em linha contínua azul, parametrização Emanuel em linha tracejada vermelha e parametrização Grell em linha pontilhada verde.

esta correlação alta pode ser explicada devido que a parametrização Emanuel representa melhor a série temporal da precipitação. Ao mesmo tempo, a área do cluster 1 é maior em relação às demais. Na análise da temperatura média diária no outono obtiveram uma alta correlação com o ERA-Interim (Figura 5C,D) comparado a precipitação, sendo a simulação Emanuel a obter maior correlação com os dados de reanálise entre aproximadamente 50% e 70%.

Rocha *et al.* (2014) investigaram o sinal da precipitação do *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) durante a primavera austral sobre a América do Sul por meio de *ensemble* médio com o RegCM4, com isto, encontraram correlações acima de 80% para a variável precipitação. Este resultado difere do encontrado nesta pesquisa, pois o mesmo foi adquirido apenas para um ponto de grade específico, ou seja, dentro da área de subdomínio (designados de Sudeste e Tropical), e para um período de 31 anos (1975-2005). Llopart *et al.*, (2017) avaliaram duas parametrizações de superfície terrestre contidas no

RegCM4, BATS (*Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme*) e CLM (*Community Land Model*) sobre a América do Sul, onde estas foram utilizadas em combinação com a convecção de cumulus de Emanuel, simulando a precipitação, temperatura do ar e a circulação em baixos níveis climatologicamente (1979-2008). As correlações temporais obtidas pelos autores foram entre 69% e 77% para a temperatura do ar e precipitação para ambos esquemas de superfície. Os resultados tornam-se similares aos encontrados neste estudo, pois como visto anteriormente nas análises de correlações temporais, a parametrização de Emanuel se destaca em ambas variáveis.

Na ANOVA, os clusters 3 e 4 na parametrização Grell, e ambas simulações no cluster 2 não rejeitou-se a hipótese H_0 de que as médias amostrais são iguais. No teste das médias (t-Student), o p-valor da maioria dos clusters foi menor do que 0,05, rejeitando-se a hipótese nula de que as médias são iguais, com exceção do cluster 1, onde a parametrização Emanuel obteve p-valor de 0,06, não rejeitando a hipótese H_0 . Com relação a RMSE e MAE mostra-

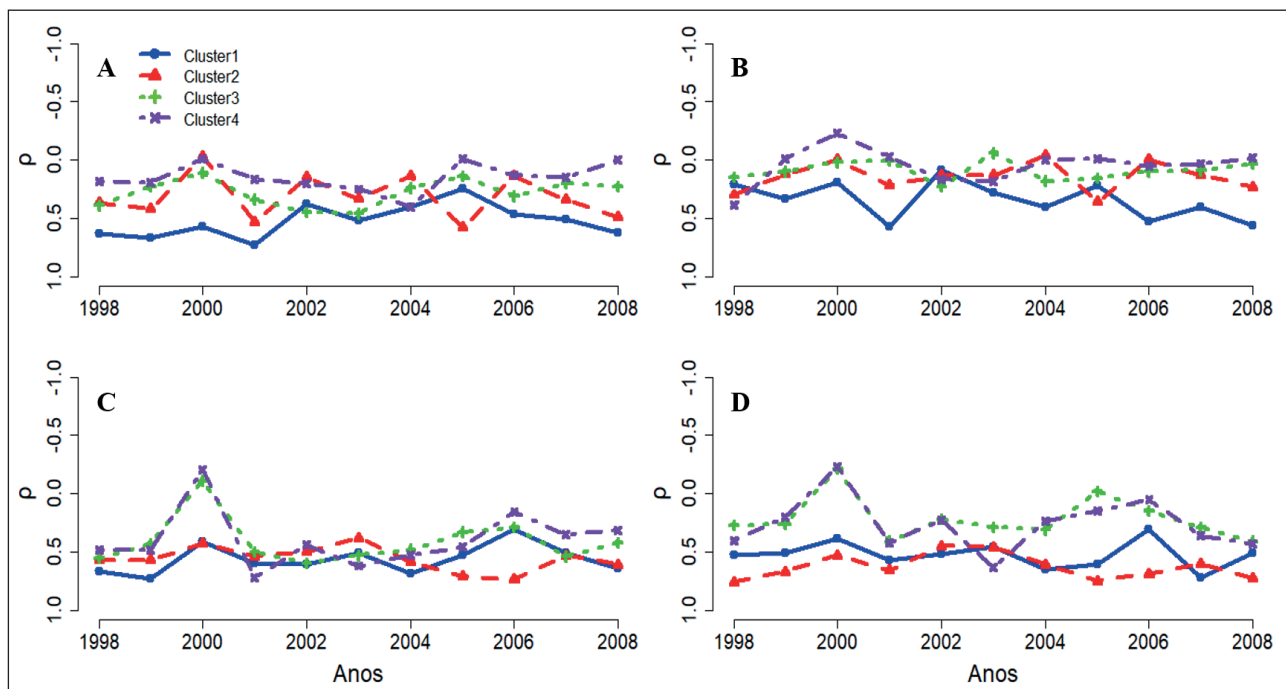


Figura 5 Correlação entre a precipitação diária acumulada do produto 3B42_V6 do satélite TRMM e da simulação Emanuel (a) e Grell (b), entre a temperatura média diária do ERA-Interim e a simulação Emanuel (c) e Grell (d) dos clusters no período do outono de 1998-2008. Dados do cluster 1 em linha contínua azul, cluster 2 em linha tracejada vermelha, cluster 3 em linha pontilhada verde e cluster 4 em linha pontilhada roxa.

ram que a parametrização Emanuel na maioria dos clusters simulando a precipitação foi a que obteve menor erro em relação aos demais (Tabela 1), principalmente no cluster 1 com valores de 69,04 mm e 54,22 mm, respectivamente. Os erros obtidos nesta simulação podem ser explicados devido a aproximação dos valores simulados com os dados do satélite TRMM, como visto anteriormente nas figuras de série temporal dos outonos.

O teste de variância da simulação da temperatura (Tabela 2), mostrou que apenas a parametrização Grell no cluster 2 obteve o p-valor igual a 0,12 maior que o nível de significância de 5%, não rejeitando a H_0 , ou seja, as médias amostrais são iguais. Nos demais clusters o p-valor foi menor que 5%, rejeitando-se a hipótese nula, ou seja, as médias amostrais não são iguais, ou pelo menos uma difere

Precipitação		RMSE	MAE	ANOVA (p-valor)	Teste t (p-valor)
Cluster 1	Emanuel	69,04	54,22	0,0009	0,06
	Grell	146,62	122,88	0,02	0,0006
Cluster 2	Emanuel	339,01	308,30	0,08	4,11e-05
	Grell	307,79	265,01	0,26	0,0012
Cluster 3	Emanuel	506,68	496,76	0,0023	2,19e-08
	Grell	816,50	804,30	0,08	5,72e-09
Cluster 4	Emanuel	293,19	301,59	0,0031	1,26e-07
	Grell	930,42	911,79	0,24	2,45e-08

Tabela 1 Análise estatística da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e do Erro Absoluto Médio (MAE), ANOVA e teste t-Student da precipitação no período do outono austral entre o produto 3B42_V6 do satélite TRMM e as parametrizações Emanuel e Grell do modelo RegCM4.2.

das outras. No teste das médias todos os p-valores obtiveram valores menores que 0,05, rejeitando-se a hipótese nula de que as médias são iguais, ou seja, todas as médias diferem uma das outras. Já o RMSE e o MAE, obtiveram valores menores na parametrização Emanuel nos clusters 1, 2 e 3, com valores de 0,65°C, 0,76°C e 0,88°C, respectivamente. Sendo que apenas o cluster 4 obteve menor valor dos erros na parametrização Grell, com valor de aproximadamente 0,30°C.

4 Conclusões

Diante do exposto, conclui-se que ambas as parametrizações subestimam a precipitação observada pelo TRMM para as quatro regiões analisadas; porém, a parametrização de Emanuel captou de forma mais adequada a variação temporal da precipi-

Temperatura		RMSE	MAE	ANOVA (p-valor)	Teste t (p-valor)
Cluster 1	Emanuel	1,88	1,79	0,0003	1,46e-03
	Grell	4,23	4,16	0,005	9,87e-06
Cluster 2	Emanuel	0,76	0,72	0,001	1,43e-02
	Grell	0,86	0,78	0,12	4,28e-02
Cluster 3	Emanuel	0,88	0,83	0,0001	0,0001
	Grell	3,35	3,26	0,0002	8,19e-05
Cluster 4	Emanuel	0,65	0,62	1,43e-02	1,61e-06
	Grell	0,39	0,33	0,0002	0,001

Tabela 2 Análise estatística da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e do Erro Absoluto Médio (MAE), ANOVA e teste t-Student da temperatura no período do outono austral entre os dados de reanálise do ERA-Interim e as parametrizações Emanuel e Grell do modelo RegCM4.2.

tação comparado ao experimento com Grell, principalmente no cluster 1 que abrange grande parte do NEB. A parametrização Emanuel simulando a precipitação foi a que obteve menores erros nos clusters 1, 3 e 4.

Em relação à temperatura simulada pelo RegCM4, as parametrizações obtiveram resultados melhores na simulação desta variável em todos os clusters, sendo que a temperatura é uma variável mais fácil de simular, pois os modelos em geral simulam melhor esta variável, devido que a mesma está inclusa implicitamente dentro do núcleo dinâmico do modelo, além de variar menos espacialmente do que a precipitação. Logo, a parametrização Emanuel obteve menores erros nos clusters 1, 2 e 3.

5 Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo apoio e concessão de bolsa de Iniciação Científica durante o período de Julho de 2015 a Janeiro de 2018, quando foi aluna de graduação em Meteorologia na Universida-

de Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e pela concessão de bolsa de Produtividade em Pesquisa (PQ-02) processo 303061/2014-6.

6 Referências

- Arakawa, A. & Schubert, W.H. 1974. Interaction of a Cumulus Cloud Ensemble with the Large-Scale Environment, Part I. *Journal of Atmospheric Science*, 31(3): 674-701.
- Collischonn, B.; Allasia, D.; Collischonn W. & Tucci, C.E.M. 2007. Desempenho do Satélite TRMM na Estimativa de Precipitação sobre a Bacia do Paraguai Superior. *Revista Brasileira de Cartografia*, 59(1): 93-99.
- Dec, D.P.; Uppala, S.M.; Simmons, A.J.; Berrisford, P.; Poli, P.; Kobayashi, S.; Andrae, U.; Balmaseda, M.A.; Balsamo, G.; Bauer, P.; Bechtold, P.; Beljaars, A.C.M.; Van de Berg, L.; Bidlot, J.; Bormann, N.; Delsol, C.; Dragani, R.; Fuentes, M.; Geer, A.J.; Haimberger, L.; Healy, S.B.; Hersbach, H.; Hólm, E.V.; Isaksen, I.; Kallberg, P.; Kohler, M.; Matricardi, M.; McNally, A.P.; Monge-Sanz, B.M.; Morcrette, J.J.; Park, B.-K.; Peubey, C.; Rosnay, P.; Tavolato, C.; Thépaut, J.N. & Vitart, F. 2011. The ERA-Interim Reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System. *Royal Meteorological Society*, 137(1): 553-597.
- Giorgi, F.; Coppola, E.; Solmon, F.; Mariotti, L.; Sylla, M.B.; Bi, X.; Elguindi, N.; Diro, G.T.; Nair, V.; Giuliani, G.; Turuncoglu, U.U.; Cozzini, S.; Guttler, I.; O'Brien, T.A.; Tawfik, A.B.; Shalaby, A.; Zakey, A.S.; Steiner, A.L.; Stordal, F.; Sloan, L.C. & Brankovic, C. 2012. RegCM4: Model Description and Preliminary Tests over Multiple CORDEX Domains. *Climate Research*, 52(1): 7-29.
- Giorgi, F.; Bi, X. & Pal, J.S. 2004. Mean, Interannual Variability and Trends in a Regional Climate Change Experiment over Europe. I. Present-Day Climate (1961–1990). *Climate Dynamics*, 23(1): 733-756.
- Grell, G.A. 1993. Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. *Monthly Weather Review*, 121(3): 764-787.
- Hastenrath, S. 2006. Circulation and Teleconnection Mechanisms of Northeast Brazil Droughts. *Progress in Oceanography*, 70(2-4): 407-415.
- Kummerow, C.; Barnes, W.; Kozu, T.; Shiue, J. & Simpson, J. 1998. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15(3): 809-817.
- Liu, Z.; Ostrenga, D.; Teng, W. & Kempler, S. 2012. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Data and Services for Research and Applications. *Bulletin American Meteorological Society*, 93(9): 1317-1325.
- Llopart, M.; Rocha, R.P.; Reboita, M. & Cuadra, S. 2017. Sensitivity of Simulated South America Climate to the Land Surface Schemes in RegCM4. *Climate Dynamics*, 49(11-12): 3975-3987.
- Melo, D.C.D.; Xavier, A.C.; Bianchi, T.; Oliveira, P.T.S.; Scanlon, B.R.; Lucas, M.C. & Wendland, E. 2015. Performance Evaluation of Rainfall Estimates by TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis 3B42V6 and V7 over Brazil. *Journal of Geophysical Research*, 18(120): 9426-9436.
- Oliveira, P.T.; Santos e Silva, C.M. & Lima, K.C. 2014. Linear Trend of Occurrence and Intensity of Heavy Rainfall Events on Northeast Brazil. *Atmospheric Science Letters*, 15(3): 172-177.
- Oliveira, P.T.; Santos e Silva, C.M. & Lima, K.C. 2017. Climatology and Trend Analysis of Extreme Precipitation in Subregions of Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 130: 77-90.
- Pal, J.S.; Giorgi, F.; Bi, X.; Elguindi, N.; Solmon, F.; Gao, X.; Rauscher, S.A.; Francisco, R.; Zakey, A.; Winter, J.; Ashfaq, M.; Syed, F.S.; Bell, J.L.; Diffenbaugh, N.S.; Karmacharya, J.; Konaré, A.; Martinez, D.; Rocha, R.P.; Sloan, L.C. & Steiner, A.L. 2007. Regional Climate Modeling for the Developing World: The ICTP RegCM3 and RegCNET. *American Meteorological Society*, 88(9): 1395-1409.
- Reboita, M.S.; Krusche, N.; Ambrizzi, T. & Rocha, R.P. 2012. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. *Terra e Didática*, 8(1): 34-50.
- Rocha, R.P.; Reboita, M.S.; Dutra, L.M.M.; 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(1): 95-109.
- Rousseeuw, P.J. 1987. Silhouettes: A Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20(1): 53-65.
- Santos e Silva, C.M.; Silva, A.; Oliveira, P. & Lima, K.C. 2014. Dynamical Downscaling of the Precipitation in Northeast Brazil with a Regional Climate Model During Contrasting Years. *Atmospheric Science Letters*, 15(1): 50-57.
- Silva, A.G. & Santos e Silva, C.M. 2014. Improving Regional Dynamic Downscaling with Multiple Linear Regression Model Using Components Principal Analysis: Precipitation over Amazon and Northeast Brazil. *Advances In Meteorology*, 2014(1): 1-9.
- Silva, B.B.; Braga, C.C.; Montenegro, S.M.G.L.; Silva, V.P.R.; Oliveira, L.M.M. & Sousa, F.A.S. 2014. A Probabilistic Model for Predicting Seasonal Rainfall in Semi-Arid Lands of Northeast Brazil. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 364: 182-187.
- Silva, A.G. 2016. *Estudo sobre a Precipitação Simulada no Outono na Região Tropical da América do Sul através de Downscaling Dinâmico e Previsão por Conjunto*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Tese de Doutorado, 125p.
- Simpson, J.; Adler, R.F. & North, G.R. 1988. A Proposed Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Satellite. *American Meteorological Society*, 69(3): 278-295.
- Souza, E.B.; Lopes, M.N.; Rocha, E.G.; Souza, J.R.S.; Cunha, A.C.; Silva, R.R.; Ferreira, D.B.S.; Santos, D.M.; Carmo, A.M.C.; Souza, J.R.A.; Guimarães, P.L.; Mota, M.A.S.; Marino, M.; Senna, R.C.; Souza, A.M.L.; Mota, G.V.; Kuhn, P.A.F.; Souza, P.F.S. & Vitorino, M.I. 2009. Precipitação Sazonal sobre Amazônia Oriental no Período Chuvoso: Observações e Simulações Regionais com o RegCM3. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(2): 111-124.