



**Avaliação do Modelo OLAMv.3.3 na Simulação da Precipitação  
sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro**

**OLAMv.3.3 Model Performance Evaluation at Simulation  
of Precipitation over Brazilian Northern Northeast**

Maria Leidinice da Silva<sup>1</sup>; Kellen Carla Lima<sup>1</sup>; Cristiano Prestrelo de Oliveira<sup>1</sup>;  
Augusto Cesar Barros Barbosa<sup>2</sup> & Antônio Carlos Santana dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas, Natal, RN, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Ceará, Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, Fortaleza, CE, Brasil

E-mails: leidinicesilva@gmail.com, kellenarla@gmail.com,

prestrelcristiano@gmail.com, barbosaia@gmail.com, carlos.santana@uece.br

Recebido em: 06/07/2020 Aprovado em: 28/07/2020

DOI: [http://doi.org/10.11137/2020\\_3\\_475\\_487](http://doi.org/10.11137/2020_3_475_487)

## Resumo

O modelo global de previsão numérica de tempo e clima, *Ocean Land Atmosphere Model*, atualmente é considerado como o novo estado-da-arte em modelagem numérica devido a sua capacidade de representar fenômenos de escalas global e regional simultaneamente. Deste modo, a pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho deste modelo em relação ao melhor esquema de radiação (*Chen* ou *Harrington*) para representar a precipitação na área Setentrional do Nordeste do Brasil. Assim, o modelo foi configurado com uma grade global e outra grade mais refinada e centrada na América do Sul. A condição atmosférica inicial ocorreu para o dia 01 de janeiro de 1982 às 06 UTC, proveniente da Reanálise II do *National Center for Environmental Prediction*. O modelo foi integrado até 31 de dezembro de 2012 às 18 UTC. Para as condições de contorno inferior foram utilizados dados de Temperatura da Superfície do Mar obtidos da segunda versão do *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature*. Os resultados das simulações, para os dois diferentes tipos de parametrizações de radiação, foram comparados com os dados de precipitação do *Climate Research Unit Time-Series Version 3.22* para o período de 1982 a 2012. Os resultados das simulações mostraram que o modelo, para as duas parametrizações, conseguiu acompanhar a climatologia da precipitação ao longo do ciclo anual, mas subestimando as médias observadas. No trimestre junho-julho-agosto, o experimento com parametrização *Harrington* obteve melhor correlação (0,855). Por outro lado, para o trimestre março-abril-maio, o experimento com parametrização *Chen* apresentou maior correlação (0,842). Quanto aos erros de vieses, ambos os experimentos subestimaram a precipitação nos trimestres março-abril-maio e junho-julho-agosto, em maior grau o experimento *Chen*, o qual superestimou os trimestres setembro-outubro-novembro e dezembro-janeiro-fevereiro. De acordo com o índice de eficiência, nenhum dos experimentos obteve boa precisão em comparação ao dado observacional. Em geral, os experimentos representaram os aspectos de grande escala, porém para obter melhorias significativas na estimativa de precipitação, faz-se necessário adotar grades de maior resolução espacial.

**Palavras-chave:** Simulação global; Desempenho; Esquemas de radiação

**Abstract**

The global model of numerical forecasting of weather and climate, Ocean Land Atmosphere Model, is currently considered as the new state-of-the-art in numerical modeling due to its ability to represent phenomena of global and regional scales simultaneously. Thus, the research aims to evaluate the performance of this model about the best radiation scheme (Chen or Harrington) to represent precipitation in the Northern area of Northeast Brazil. Thus, the model was configured with a global grid and another grid more refined and centered in South America. The initial atmospheric condition, originating from Reanalysis II of the National Center for Environmental Prediction, was January 1, 1982, at 06 UTC, and the model was integrated until December 31, 2012, at 18 UTC. For the bottom boundary conditions, Sea Surface Temperature data obtained from the second version of the Optimum Interpolation Sea Surface Temperature was used. The model results for the two different types of radiation parameterization were compared with the precipitation data from the Climate Research Unit Time-Series Version 3.22 for the period 1982-2012. The results of the simulations showed that the model, for the two parameters, managed to follow the climatology of precipitation throughout the annual cycle, but underestimating the observed averages. In the June-July-August quarter, the experiment with Harrington parameterization obtained a better correlation (0.855). In contrast, the March-April-May quarter, the experiment with parameterization Chen showed a higher correlation (0.842). As for bias errors, both experiments underestimated precipitation in the March-April-May and June-July-August quarters, to a greater extent the Chen experiment, which overestimated the September-October-November and December-January-February quarters. According to the efficiency index, none of the experiments obtained good accuracy compared to the observational data. In general, the experiments represented the large-scale aspects, but to obtain significant improvements in the precipitation estimate, it is necessary to adopt grids with higher spatial resolution.

**Keywords:** *Global simulation; Performance; Radiation schemes*

**1 Introdução**

A região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta grande variabilidade de eventos meteorológicos causadores de precipitação nas escalas sazonal e intrassazonal. Exemplos podem ser citados, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), o Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL), a Linha de Instabilidade Tropical (LI), o Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), o Sistema de Brisa (Kousky & Gan, 1981; Uvo, 1989; Cohen *et al.*, 1995; Ferreira & Mello, 2005; Costa *et al.*, 2019) e a Oscilação de Madden-Julian (OMJ, Madden & Julian, 1994), respectivamente.

Apesar de diversos sistemas meteorológicos atuarem no NEB, Palharini & Vila (2017), observaram que a maior frequência de eventos causadores de chuvas ao longo do ano é resultado de processos convectivos do tipo raso. Além disso, estudos mostraram que o NEB é influenciado pela variabilidade climática de anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos Oceanos Pacífico e Atlântico (Uvo *et al.*, 1998).

A compreensão precisa de processos e fenômenos meteorológicos são de extrema importância para o desenvolvimento de futuros projetos pelos tomadores de decisão para diversas esferas da sociedade. Uma alternativa para o conhecimento, mapeamento e monitoramento de sistemas meteorológicos nas diversas escalas é a utilização da modelagem numérica, que pode vir a contribuir para o entendimento mais realista do tempo e clima nas mais diversas regiões do globo terrestre.

Dessa forma, o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) *Ocean Land Atmosphere Model* (OLAM) é um novo modelo de simulação numérica baseado no *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS). O RAMS é um modelo de área limitada, projetado para simular

processos de mesoescala e escala de nuvens para estudos científicos e previsão numérica de tempo e clima (Pielke *et al.*, 1992; Cotton *et al.*, 2003). Estudos de Ramos da Silva *et al.* (2009) mostraram em testes de simulações para previsão climática sazonal que, no NEB, o OLAM configurado para duas grades (200 km e 100 km), conseguiu representar bem as áreas de estiagem, mas não simulou satisfatoriamente os centros de maior precipitação. Todavia, uma melhora da resolução espacial com células de grade de, aproximadamente 50 km, proporcionou uma sensível melhora na representação das áreas de maior acumulado de chuva, principalmente nas regiões de topografia mais elevada no leste do NEB. As parametrizações físicas adotadas no OLAM são, em sua grande maioria, advindas do modelo de mesoescala RAMS (Sales *et al.*, 2015) no qual utiliza-se das leis de conservação de massa, momento e energia interna.

A parametrização de radiação desenvolvida por Harrington & Olsson (2001) (de forma simplificada tipo *Harr*), foi projetada especificamente para o RAMS, mas esse esquema é adaptável a qualquer modelo. Os métodos do cálculo dessa parametrização são precisos, eficientes e correspondem aos detalhes da microfísica das nuvens. Por outro lado, a parametrização de radiação de Chen & Cotton (1987) (de forma simplificada tipo *Chen*), consegue representar as interações entre a turbulência, a radiação de onda longa, a radiação de onda curta e os processos de condensação dentro de subgrades.

Dado o contexto acima, a partir da comparação entre duas parametrizações de radiação (*Chen e Harr*), o presente trabalho, objetiva avaliar tais esquemas com intuito de buscar a que melhor representa a variável precipitação simulada pelo modelo OLAM em sua versão 3.3 (OLAMv.3.3) no NEB Setentrional para o período de 1982 a 2012 (31 anos).

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

Na Figura 1 apresenta-se a localização espacial da grade que engloba a região de estudo (NEB em destaque), a parte Setentrional está compreendida entre as coordenadas 0° a 10°S de latitude e 33°W a 44°W de longitude. O clima semiárido corresponde a 60% de sua área total, com precipitação média variando entre 500 mm/ano a 2000 mm/ano em algumas localidades (Oliveira *et al.*, 2017). Essa região possui um ciclo anual de chuva bem definido, onde

predominam duas estações distintas: o período chuvoso e o período seco.

Os meses com maiores acumulados de chuva distribuem-se entre dezembro e julho, onde os principais sistemas atuantes são: VCAN, ZCIT (destacando-se como o principal sistema causador de chuva do setor norte do NEB), LI, CCM, Sistema de Brisas e os DOL (atua principalmente sobre o setor leste do NEB). Nos meses menos secos (agosto a novembro), há predomínio de altas pressões atmosféricas e quase total ausência de sistemas atmosféricos causadores de chuva, caracterizando a estação seca do NEB com os menores totais pluviométricos do ano (Cavalcanti *et al.*, 2009).

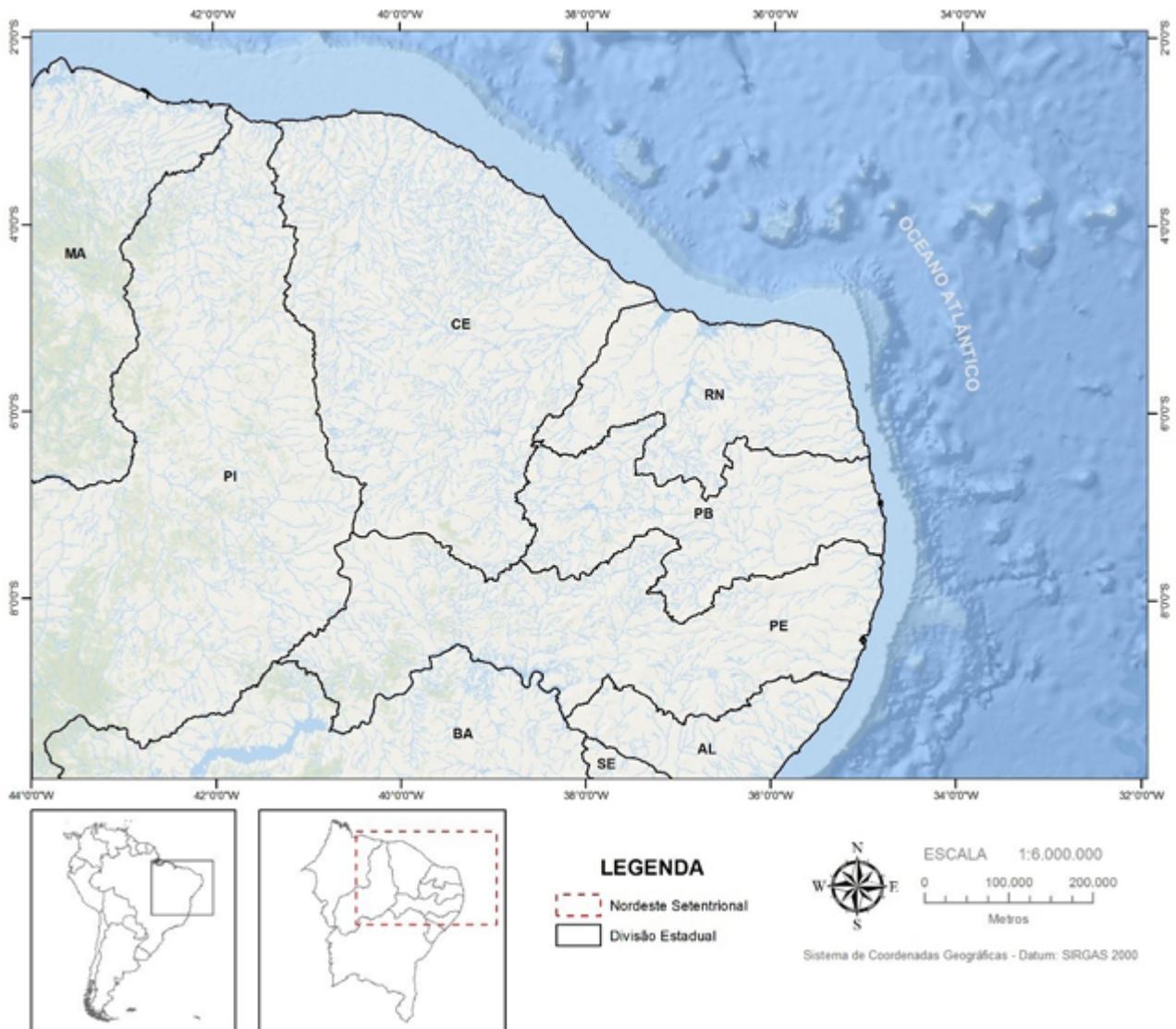


Figura 1 Área de estudo localizada no Nordeste Setentrional Brasileiro.

## 2.2 Dados

Com o intuito de avaliar o desempenho do modelo OLAMv.3.3 com relação à climatologia da precipitação no NEB a partir de duas parametrizações de radiação, foram utilizados os dados provenientes do *Climate Research Unit* (CRU) (New *et al.*, 2001), esse conjunto de dados já foi utilizado para avaliar a destreza dos modelos do *Intergovernmental Panel on Climate Change*, como realizado por Silveira *et al.* (2013) que utilizou os dados do CRU em estudos sobre o NEB Setentrional.

O conjunto de dados do CRU está disponibilizado com espaçamento de grade de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (latitude e longitude) e compreende uma série de variáveis (precipitação, temperatura, entre outras) sobre todas as áreas terrestres, incluindo ilhas oceânicas, excluindo-se apenas a Antártida. Para a construção do banco de dados dessas variáveis em pontos de grade, foram utilizados em torno de 20.000 normais climatológicas de estações de diversas agências meteorológicas ao redor do mundo. Maiores detalhes a respeito desses dados e da versão utilizada neste trabalho, podem ser encontrados em Harris *et al.* (2014).

A base de dados observacional corresponde ao período de 1982 a 2012, referente ao mesmo período das simulações do modelo OLAMv.3.3. Para a análise estatística de comparação dos experimentos com os dados de referência, foi realizada uma interpolação bilinear por meio do programa *Climate Data Operators* (CDO), onde todos os dados foram interpolados para grade de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  em latitude e longitude, respectivamente.

## 2.3 Configurações do OLAMv.3.3

O MCGA OLAMv.3.3 tem como característica principal a representação de fenômenos de escalas global e regional por meio do seu refinamento de grades em alta resolução. Sendo assim, essa capacidade possibilita uma melhor representação dos processos físicos de pequena escala, os quais são inerentes aos sistemas convectivos que atuam sobre o NEB (Barbosa, 2012). Desenvolvido na Universidade Duke nos Estados Unidos, o OLAMv.3.3 é considerado como o novo estado-da-arte em modelagem numérica de tempo e clima devido a sua capacidade de refinamento. Por intermédio do aninhamento de grades triangulares ou hexagonais, o modelo pode ser usado em simulações com escala de tempo, que variam desde previsões de curto prazo até projeções de mudanças climáticas (Walko & Avissar, 2006).

O OLAMv.3.3 utiliza uma grade não estruturada que se distribui sobre a esfera do globo terrestre, assim possibilitando um aumento da resolução espacial por meio

do refinamento de grade. O modelo considera as Leis de Conservação de Massa, Momento e Energia Interna. Além disso, são consideradas as Equações de Conservação de Momento nas direções horizontal e vertical, Continuidade de Massa, Conservação de Energia e Equação de Estado. Estudos recentes com o OLAM apresentaram resultados satisfatórios quanto às variáveis climáticas regionais para diversas regiões do globo (Alves *et al.*, 2018), o que pode indicar a viabilidade para seu uso na região do NEB.

Neste estudo, o modelo foi configurado para apenas duas grades, uma global com espaçamento horizontal da ordem de, aproximadamente, 280 km (Grade 1 – G1) e a segunda grade com espaçamento horizontal na ordem de 140 km (Grade 2 – G2), aninhada e centrada na América do Sul (AS). Como pode ser visto, a Figura 2, exemplifica a capacidade de refinamento do OLAM com um refinamento de cinco grades com G5 igual 17,5 km, mas devido ao tempo de simulação, optou-se para este trabalho, executar o modelo com apenas duas grades.

Nas simulações numéricas foram utilizados 17 níveis verticais, variando entre 100 m próximo à superfície e 33.000 km próximo ao topo do modelo. A inicialização da atmosfera aconteceu para o primeiro dia do ano de 1982, às 06 UTC (*Coordinated Universal Time*).

Para as condições iniciais da atmosfera o modelo foi “alimentado” com a temperatura do ar, as componentes zonal e meridional do vento, a umidade relativa do ar, a pressão atmosférica e a altura geopotencial obtidos do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) (Kanamitsu *et al.*, 2002). Ainda para inicializar o modelo, utilizou-se a TSM diária de  $0,25^\circ$  de latitude  $\times$   $0,25^\circ$  de longitude de resolução espacial como principal forçante atmosférica, os dados foram obtidos do *Optimal Interpolation Sea Surface Temperature – version 2* (OISST-v2) (Reynolds *et al.*, 2007).

A Tabela 1 resume os detalhes técnicos dos experimentos realizados, incluindo o período, níveis, grades do modelo e parametrizações.

As diferenças fundamentais entre as simulações foram os tipos de parametrizações usadas para representar os fluxos de radiação de ondas longa e curta. Com relação aos esquemas de radiação adotados no estudo, pode-se apontar diferenças entre eles. A parametrização do tipo *Chen* é um esquema baseado em emissividade e o efeito das nuvens sobre a radiação é considerado tanto para ondas curtas e longas, considera vapor de água e gotas de nuvem, mas ignora as outras formas de condensação (Chen & Cotton, 1987). Enquanto a parametrização do tipo *Harr* é a mais completa ao levar em consideração todas as formas de condensação tais como: chuva, granizo, neve, fase de gelo, particulados atmosféricos, entre outras (Harrington & Olsson, 2001).

**Avaliação do Modelo OLAMv.3.3 na Simulação da Precipitação sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro**

Maria Leidinice da Silva; Kellen Carla Lima; Cristiano Prestrelo de Oliveira; Augusto Cesar Barros Barbosa & Antônio Carlos Santana dos Santos

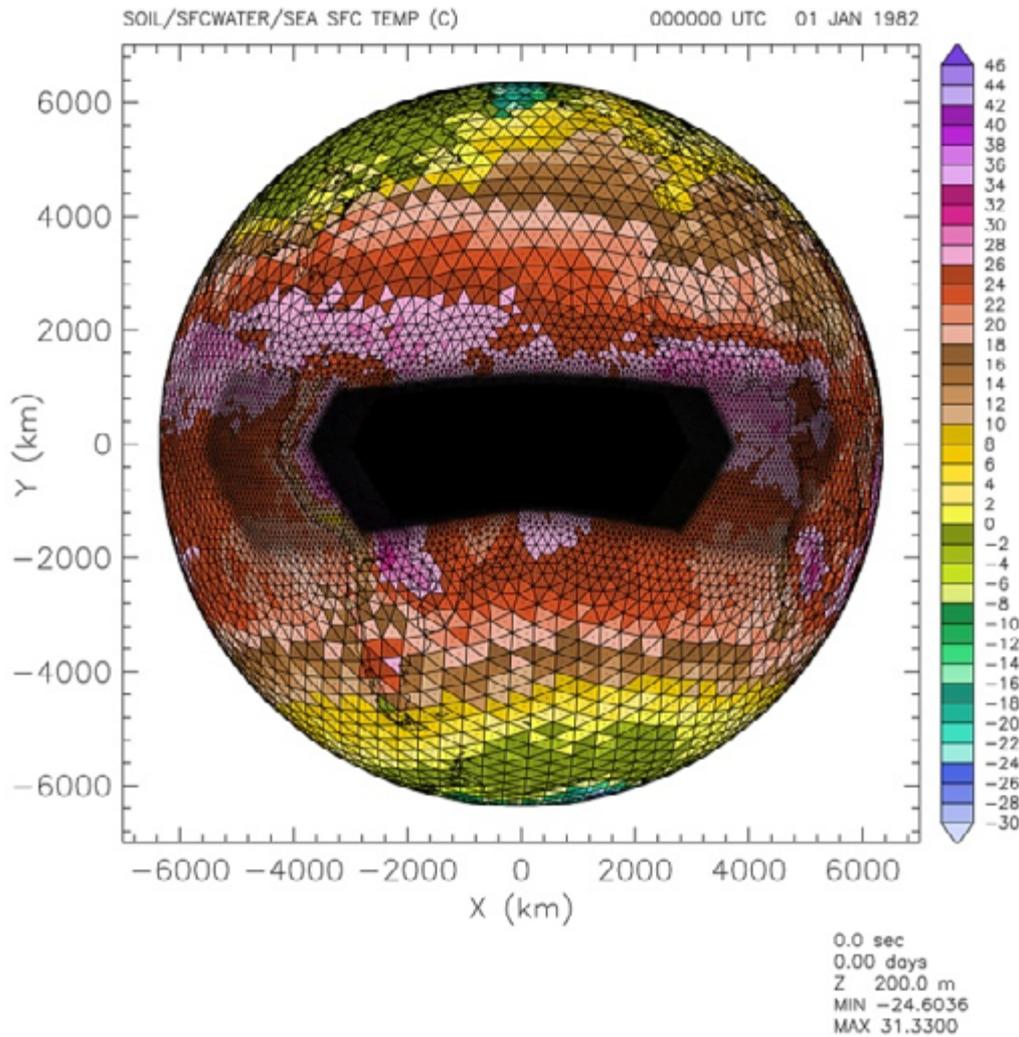


Figura 2 Temperatura próxima à superfície (°C) e domínio da simulação com refinamento de cinco grades aninhadas sobre a AS (ênfatisando a ZCIT) utilizando o modelo OLAMv.3.3, onde: G1=280 km; G2=140 km; G3=70 km; G4=35 km e G5=17,5 km.

Período da Simulação	1982-2012 (31 anos)
Níveis na Vertical	17
Altitude	33.736,89 m (Topo do modelo)
Resolução Espacial	280 km (G1) 140 km (G2)
Esquema de Radiação (Exp1)	Chen & Cotton (1987)
Esquema de Radiação (Exp2)	Harrington & Olsson (2001)
Esquema de Convecção Cumulus	Tremback (1990)
Esquema de Transporte Turbulento	Mellor & Yamada (1982)
Esquema de Microfísica de Nuvens	Meyers <i>et al.</i> (1997) Walko <i>et al.</i> (1995)
Modelo de Solo-Vegetação	Avissar & Pielke (1989)
Nome do Experimento 1	Chen
Nome do Experimento 2	Harr

Tabela 1 Configuração dos experimentos numéricos realizados com OLAMv.3.3.

## 2.4 Métricas Estatísticas

Diversas são as formas de verificar e caracterizar o desempenho de modelos numéricos com base em dados observacionais para cada período. Dentre elas, pode-se destacar a comparação direta entre os dados da simulação numérica computacional com os dados observados das estações meteorológicas ou de reanálises disponíveis em centros meteorológicos, por intermédio do cálculo de índices estatísticos. Nesse sentido, aqui, utilizaram-se as

seguintes métricas: *Percentage Bias* ( $PC_{BIAS}$ ), *Mean Bias Error* (MBE), *Mean Absolute Error* (MAE), *Root Mean Square Error* (RMSE), *Pearson Correlation Coefficient* ( $r$ ) e *Nash-Sutcliffe Efficient Coefficient* (NSE) (Nash & Sutcliffe, 1970), cujas equações são discriminadas na Tabela 2.

Nas equações,  $s_i$  e  $o_i$  representam os valores das variáveis para cada passo de tempo (um mês, por exemplo) da simulação e do dado observado, respectivamente,  $n$  é número total de passos de tempo (os 12 meses do ano, por exemplo) e  $\sigma$  é o desvio padrão.

Índice	Equação	Valor Ideal
<i>Percentage Bias</i>	$PC_{BIAS} = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{s_i - o_i}{o_i} \right) \right] * 100$	0
<i>Mean Bias Error</i>	$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - o_i)$	0
<i>Mean Absolute Error</i>	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  s_i - o_i $	0
<i>Root Mean Square Error</i>	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - o_i)^2}$	0
<i>Pearson Correlation Coefficient</i>	$r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{COV(o_i, s_i)}{\sigma_o \sigma_s}$	1
<i>Nash-Sutcliffe Efficient Coefficient</i>	$NSE = \frac{\sum_{n=1}^n (s_i - o_i)^2}{\sum_{n=1}^n (o_i - o_i)^2}$	1

Tabela 2 Índices estatísticos avaliados na simulação da precipitação do modelo OLAMv.3.3.

## 3 Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta a climatologia simulada pelo modelo numérico OLAMv.3.3 para cada tipo de parametrização de radiação (*Chen* e *Harr*) respectivamente, para a simulação com duas grades aninhadas (G2) sobre a AS e a climatologia observada a partir dos dados do CRU no período de 1982 a 2012, para o NEB Setentrional, conforme indicado na Figura 1.

De maneira geral, percebe-se que o modelo consegue representar o comportamento climatológico da precipitação em ambos os esquemas de parametrizações, porém subestimando os meses mais chuvosos (dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio).

No entanto, quando utilizado o esquema de parametrização *Chen*, o modelo superestima as chuvas na região nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro. Isso ocorre devido à capacidade desta parametrização em representar adequadamente a camada de nuvens principalmente do tipo *stratocumulus* (Chen & Cotton, 1983). Dessa forma, podendo provocar chuvisco com maior frequência a partir de setembro, no entanto, não é suficiente para configurar o início do período chuvoso na região de estudo.

As chuvas na região do NEB são ocasionadas, principalmente, por convecção rasa (Palharini & Vila, 2017), sendo assim quando o período mais chuvoso se configura entre os meses de março, abril e maio, o modelo

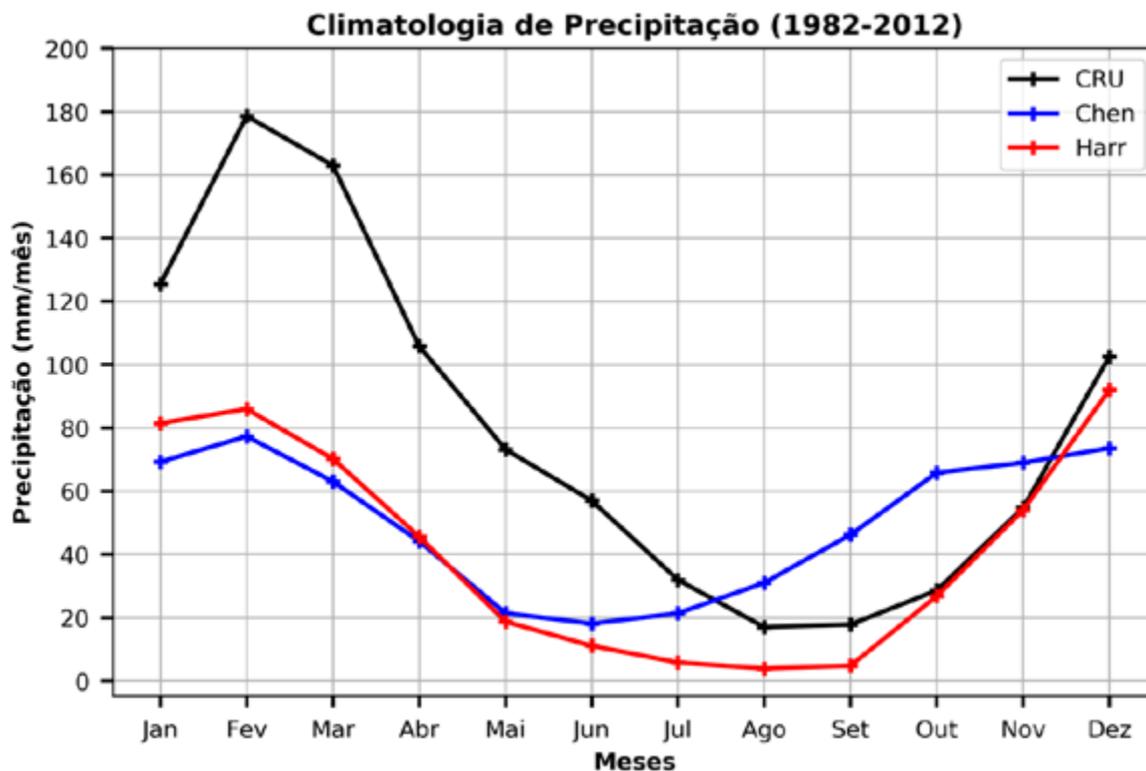


Figura 3 Climatologia da precipitação mensal (mm/mês) do experimento *Chen* e *Harr* em comparação com os dados do CRU, para o período de 1982 a 2012 na região do NEB Setentrional.

subestima a precipitação, principalmente pela atuação da ZCIT, sistema caracterizado por nuvens de convecção profunda e alimentado pela evaporação na região tropical do Atlântico. No entanto, a variabilidade na frequência da precipitação no NEB em determinadas épocas do ano, associa-se com a propagação de LI, que são aglomerados convectivos profundos, fazendo que esses experimentos com baixa resolução espacial não consiga representar valores totais de precipitação.

Nos resultados, utilizando a parametrização do tipo *Harr*, observa-se que o modelo apesar de subestimar a climatologia da precipitação durante a estação chuvosa, ainda assim, apresenta melhor desempenho na representação do ciclo anual de chuva em comparação com parametrização do tipo *Chen* – isso ocorre devido à parametrização de *Harr* representar de forma mais acurada todas as formas de condensação de nuvens.

As diversas fases de estado da nuvem (diferenciando água líquida e gelo, incluindo a espessura do gelo e o tamanho das gotículas) afeta diretamente os efeitos físicos no balanço radiativo na modelagem numérica. Portanto, com o esquema de parametrização do tipo *Harr*, o modelo utilizado conseguiu melhorar o desempenho em representar a estimativa do acumulado de precipitação no NEB Setentrional.

A Figura 4 apresenta os campos médios sazonais de precipitação para os dados do CRU e as simulações realizadas com o modelo OLAMv.3.3, nos trimestres DJF (dezembro-janeiro-fevereiro), MAM (março-abril-maio), JJA (junho-julho-agosto) e SON (setembro-outubro-novembro), respectivamente, sobre o NEB Setentrional. O CRU apresenta sua variabilidade temporal e espacial, onde no verão (Figura 4A) é observado um acumulado aproximado de 200 mm/mês na parte oeste do NEB Setentrional, enquanto as simulações reduzem a precipitação na região central da área de estudo para aproximadamente 100 mm/mês.

No outono (Figura 4B), o CRU apresenta os maiores acumulados de chuva no ano, em especial no setor norte do NEB Setentrional, assumindo valores acima de 200 mm/mês. Nota-se que para as duas simulações, o modelo subestima a precipitação para todo o NEB Setentrional, especialmente o experimento utilizando a parametrização do tipo *Chen*, não apresentando precipitação acima de 80 mm/mês.

No inverno (Figura 4C), os dois experimentos simulam uma área menor de precipitação do que o observado, sendo abaixo de 20 mm/mês, não capturando a precipitação na costa leste do NEB (acima de 150 mm/mês), causada principalmente pelos DOL, principal

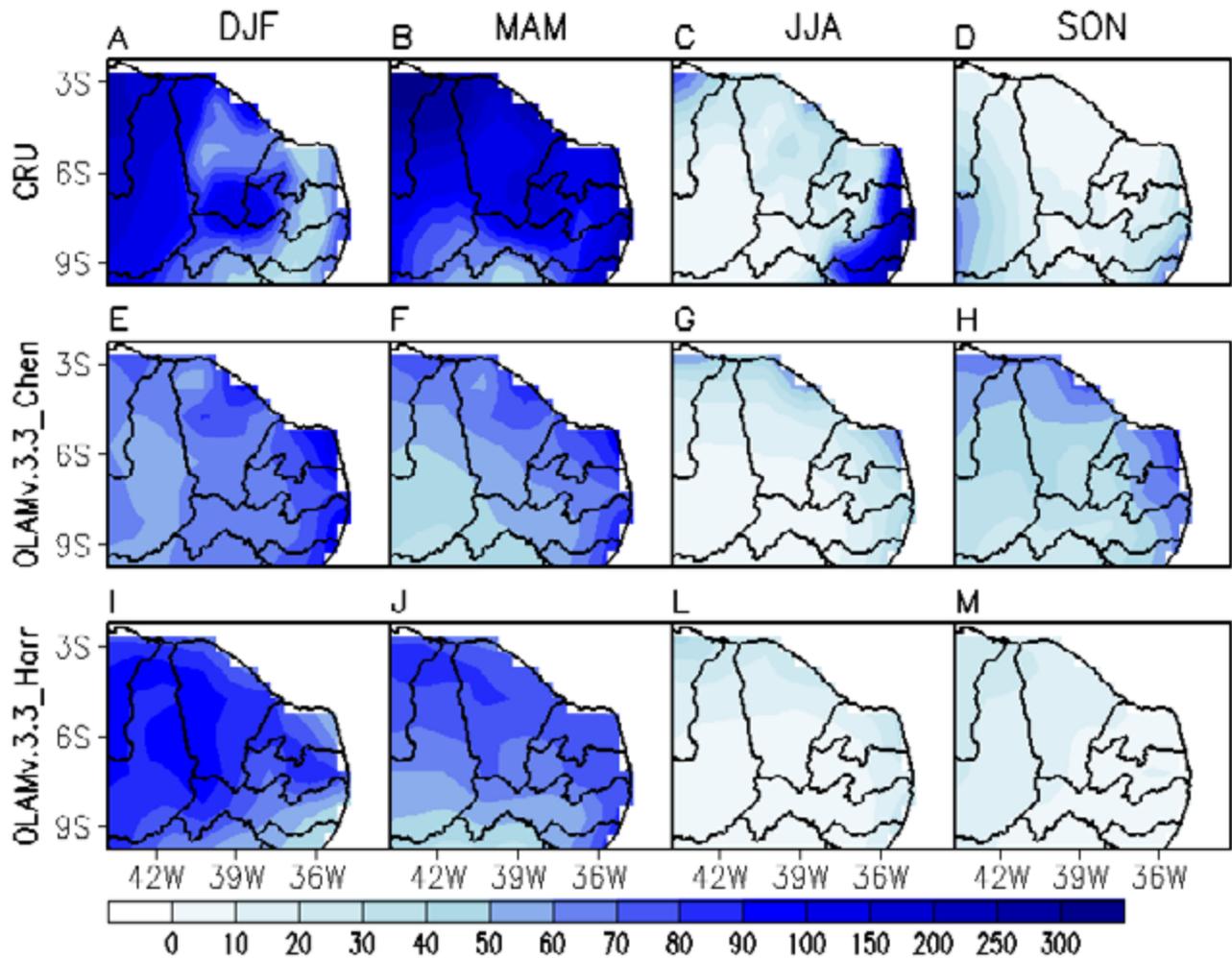


Figura 4 Mapas dos campos de precipitação (mm/mês) dos dados do CRU (A. DJF; B. MAM; C. JJA; D. SON), *Chen* (E. DJF; F. MAM; G. JJA; H. SON) e *Harr* (I. DJF; J. MAM; L. JJA; M. SON).

sistema gerador de chuva nessa região. Finalmente, na primavera (Figura 4D), percebe-se que o experimento *Chen* superestima a precipitação, principalmente na costa norte do NEB Setentrional, enquanto o esquema do tipo *Harr* tem melhor representatividade mais ao sul da região.

A Figura 5 apresenta as medidas numéricas descritivas da precipitação anual acumulada para os dados do CRU e as simulações do modelo OLAMv.3.3 com as parametrizações de *Chen* e de *Harr*. A partir da análise realizada em um *box plot* é possível visualizar se no conjunto de dados existe ou não equivalência, por meio dos quartis e da distribuição/dispersão desses dados.

O CRU mostra que o mínimo e o máximo de precipitação são 460 mm/ano e 1300 mm/ano, respectivamente. Por outro lado, um comparativo mostra que os resultados numéricos com a radiação do tipo *Chen* (*Harr*) tem o valor máximo de precipitação anual em média aproximada de 650 (560) mm/ano e valor

mínimo em torno de 550 (360) mm/ano. Conclui-se, dessa forma, que ambos os experimentos não conseguiram representar de forma acurada a distribuição espacial da chuva, logo não capturando a variabilidade interanual de anos mais secos e de anos mais chuvosos – em resumo, a melhor representatividade foi alcançada utilizando-se a parametrização do tipo *Harr*.

Os valores de média e mediana são destacados na Figura 5, acima de cada caixa do seu respectivo conjunto de dados. O experimento *Chen* tem valores de média e mediana 600,7 e 601,2 mm/ano, respectivamente. O experimento *Harr* tem valores de média e mediana 500,2 e 515,1 mm/ano, respectivamente. Ressalta-se ainda, que o alto valor de média e mediana do experimento *Chen* comparado ao experimento *Harr* se dá pela compensação de erros da simulação, ao superestimar a precipitação no trimestre SON.

Sabe-se que a variabilidade interanual da precipitação no NEB está relacionada com padrões de

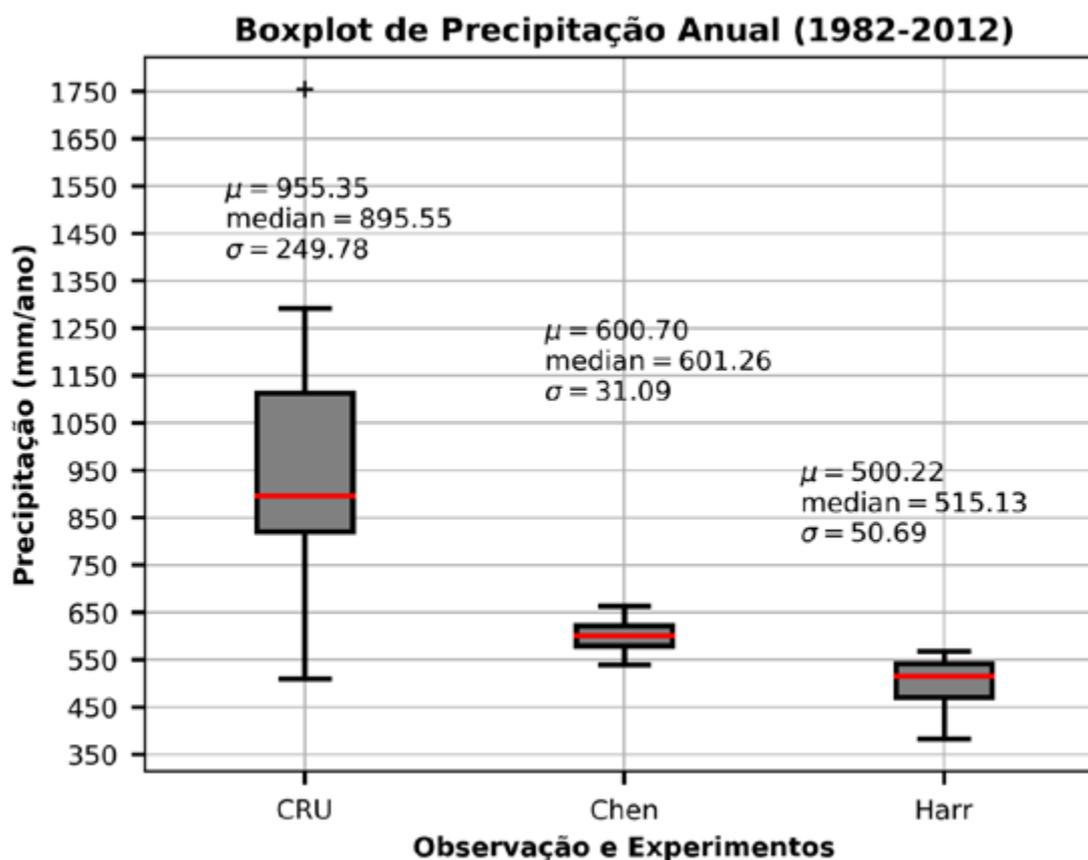


Figura 5 Medidas numéricas descritivas da precipitação anual (mm/ano) para os dados do CRU e os experimentos *Chen* e *Harr* no NEB Setentrional durante o período de 1982 a 2012.

circulação atmosférica de grande escala. Tal fenômeno é resultado da interação da atmosfera com os campos de TSM, tanto no pacífico (principalmente durante eventos de *El Niño* Oscilação Sul – Timmermann *et al.*, 2018) quanto no atlântico (gradiente inter-hemisférico da bacia norte e sul tropical – Ferreira & Melo, 2005). Essas variações modulam o posicionamento e intensidade dos sistemas, especialmente na ZCIT, que é o principal responsável pelas chuvas no litoral norte do NEB (Reboita *et al.*, 2010). Outros estudos também mostraram que a precipitação no NEB está diretamente relacionada com a variabilidade das anomalias de TSM (Reboita & Santos, 2014).

Ressalta-se que devido ao fato de utilizar dados diários de TSM, com uma resolução espacial da ordem de 0,25 grau como condição de contorno (forçante atmosférica) no modelo, isso pode ter impactado na obtenção de melhores resultados pelos dois conjuntos de parametrizações utilizadas em detrimento a uma baixa resolução de grade utilizada sobre a região de estudo. Logo, percebe-se que, mesmo com a capacidade do OLAM em representar os fenômenos de escalas global e regional simultaneamente, a parametrização por si, mesmo que desenvolvida especificamente para o

RAMS, necessita de condições iniciais adequadas a fim de obter melhores resultados em representar a escala mensal e sazonal.

Na Figura 6 mostra-se a frequência da precipitação acumulada mensal do CRU (Figura 6A) e os experimentos utilizando-se as parametrizações do tipo *Chen* e *Harr* (Figuras 6B e 6C, respectivamente) sobrepostos pela curva da Função de Distribuição Cumulativa (do Inglês, CDF), mostrando ainda informações de três parâmetros estatísticos básicos, sejam eles: média, mediana e desvio-padrão.

Em geral, a análise exploratória do histograma revela que as séries de precipitações dos experimentos do OLAM se apresentam de forma diferenciada aos dados do CRU, no que diz respeito à variação da distribuição espacial e frequência. É possível constatar que, em termos de CDF, o experimento *Harr* se aproxima a curva da CDF de precipitações observadas do CRU. Por outro lado, o experimento *Chen* apresenta CDF mais inclinada, indicando uma maior ocorrência de precipitações mensais menos intensas que a realidade observada.

A Tabela 3 apresenta os índices estatísticos da avaliação das simulações com as parametrizações de

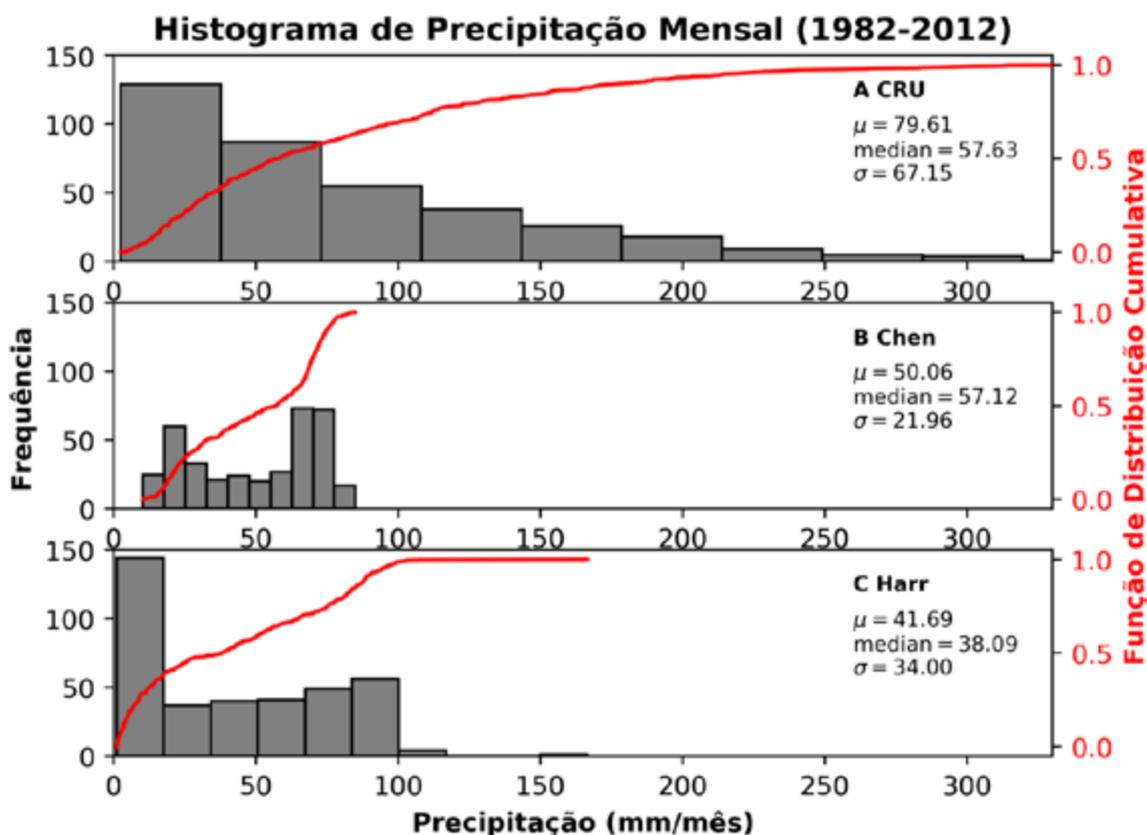


Figura 6 Histograma com CDF e a estatística descritiva dos dados de precipitação mensal (mm/mês); A. CRU; B. *Chen*; C. *Harr*, para o período de 1982 a 2012 no NEB Setentrional.

Experimento <i>Chen</i>				
Índice/Trimestre	DJF	MAM	JJA	SON
<b>PC<sub>BIAS</sub></b>	<b>24,921</b>	-57,143	-71,023	78,667
<b>MBE</b>	13,767	-103,225	-52,641	<b>13,714</b>
<b>MAE</b>	30,728	103,891	52,881	<b>15,809</b>
<b>RMSE</b>	38,557	120,131	62,029	<b>17,571</b>
<b>r</b>	0,365	<b>0,842</b>	0,432	0,438
<b>NSE</b>	<b>-0,120</b>	-2,831	-2,789	-1,743
Experimento <i>Harr</i>				
Índice/Trimestre	DJF	MAM	JJA	SON
<b>PC<sub>BIAS</sub></b>	<b>-1,807</b>	-52,504	-74,618	-43,86
<b>MBE</b>	<b>-0,998</b>	-94,846	-55,305	-13,635
<b>MAE</b>	23,755	95,505	55,305	<b>14,137</b>
<b>RMSE</b>	34,261	112,602	64,172	<b>17,791</b>
<b>r</b>	0,461	0,517	<b>0,855</b>	0,659
<b>NSE</b>	<b>0,115</b>	-2,366	-3,055	-1,718

Tabela 3 Índices estatísticos entre os valores observados e simulados da variável precipitação (mm/mês) pelo modelo OLAMv.3.3, com esquema de radiação do tipo *Chen* e *Harr*, no NEB Setentrional. Os valores em negrito são os mais próximos do valor ideal de cada índice amostral.

*Chen e Harr* para a região do NEB Setentrional, em negrito apresenta-se os melhores resultados. Quanto à avaliação trimestral, para as simulações configuradas com parametrização de radiação do tipo *Chen e Harr*, respectivamente, o modelo obteve correlações entre fraca e moderada em ambas as simulações. Para os resultados obtidos com o coeficiente de correlação de *Pearson*, valores encontrados para  $r$  são em sua grande maioria inferiores a 0,6, não representando adequadamente os padrões de variação nessa escala, especificamente no trimestre DJF. Os índices MBE e  $PC_{BIAS}$  tiveram valores negativos indicando um modelo seco, em praticamente todos os trimestres (para ambas as simulações), em especial no período chuvoso, mostrando dificuldades em representar os sistemas de grande e mesoescala, para a configuração proposta nesse trabalho.

Os trimestres MAM e SON foram os que apresentaram os maiores resultados de correlações em comparação com os outros trimestres, com valores variando de 0,84 a 0,43, assim classificando a correlação entre essas médias trimestrais como ótima e fraca, para o experimento com a radiação de *Chen*, respectivamente. O trimestre SON apresentou os melhores valores de MBE, MAE e RMSE, ainda assim esses valores são considerados altos, haja vista que o valor ideal para esses índices é 0. O índice  $PC_{BIAS}$  também mostrou altos valores negativos e positivos, principalmente, para a parametrização do tipo *Chen*, indicando o maior valor de subestimação do modelo no trimestre JJA (-71 mm/mês) e superestimação no trimestre SON (78 mm/mês). Para o Coeficiente de Eficiência (NSE) calculado para qualificar a sensibilidade do modelo, foram apresentados valores negativos para todos os trimestres da simulação com a radiação do tipo *Chen*, não podendo, desta forma, ser considerada uma simulação eficiente de acordo com sua classificação.

A partir das análises estatísticas observa-se, em geral, que as correlações são maiores para os trimestres JJA e SON, apresentando valores 0,85 (correlação forte) e 0,65 (correlação média) para o experimento com a parametrização do tipo *Harr*. Com relação ao  $PC_{BIAS}$  MBE, MAE e RMSE, em geral, obtiveram menores valores na simulação com parametrização *Harr* nos trimestres SON e DJF. Para a classificação da simulação em relação ao índice NSE em nenhum dos períodos obteve valores com eficiência de 1 (NSE = 1) que, corresponde a uma combinação perfeita entre a modelagem e os dados observados, chegando ao melhor desempenho no trimestre de DJF com 0,115 para a simulação com esquema de radiação do tipo *Harr*.

## 4 Conclusões

Neste estudo foram analisadas simulações climáticas com dois esquemas de radiação de ondas longa e curta para o

período de 1982-2012 (31 anos). Esses experimentos foram realizados com modelo OLAMv.3.3 para investigar seu desempenho em representar o ciclo anual de precipitação na região Setentrional do NEB. A correlação dos dados simulados pelo modelo em relação aos dados observados, salvo raras exceções, demonstrou que o modelo não conseguiu representar com eficiência a tendência dos dados observados nos meses mais chuvosos. Além disso, notou-se forte subestimava da precipitação simulada, principalmente, no esquema de parametrização de radiação do tipo *Chen*. Os valores de RMSE, que indicam a dispersão dos desvios, apontaram novamente os piores desempenhos no esquema de parametrização de radiação do tipo *Chen*, principalmente durante o período chuvoso. Os valores de RMSE foram baixos, porque o modelo sempre subestima a convecção independente da condição de chuva observada.

Apesar dos erros sistemáticos do OLAMv.3.3 nos dois esquemas de radiação utilizados, concluiu-se que o esquema *Harr* se mostrou razoavelmente melhor que o *Chen* em muitos aspectos. Os resultados mostraram que existe uma necessidade de melhoria na resolução espacial, principalmente para melhorar a representação dos processos meteorológicos de mesoescala. Para estudos futuros, pretende-se investigar quais as alterações nas parametrizações físicas devem ser realizadas a fim de aprimorar o desempenho do modelo OLAMv.3.3 para o período chuvoso na região de interesse, levando-se em conta o tipo de parametrização de cúmulos e a parametrização de água rasa.

## 5 Agradecimentos

Aos revisores anônimos do Anuário do IGEO pelas contribuições. Os autores foram parcialmente financiados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## 6 Referências

- Alves, J.M.B.; Barbosa A.C.B.; Silva, E.M.; Junior, F.C.V.; Silva, M.L.; Santos, A.C.S.; Lira, M.A.T. & Sombra, S.S. 2018. **Oscilações Intrassazonais Convectivas entre as regiões** Indico-Pacífico e o Nordeste do Brasil: Algumas Características Observacionais e de Modelagem. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 33(1): 193-206.
- Avissar, R. & Pielke, R.A. 1989. Parameterization of heterogeneous land surfaces for atmospheric numerical-models and its impact on regional meteorology. *Monthly Weather Review*, 117(10): 2113-2136.
- Barbosa, A.C.B. 2012. Oscilações Intrassazonais no INDI-PAC e na Zona de Convergência do Atlântico Sul: Estudo observacional e numérico. Doutorado em Meteorologia, IAG, USP, São Paulo.

- Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.F.; Justi da Silva, M.G.A & Silva Dias, M.A.F. 2009. *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo, Oficina de textos, 464p.
- Chen, C. & Cotton, W.R. 1983. A one-dimensional simulation of the stratocumulus-capped mixed layer. *Boundary-layer Meteorology*, 25: 289-321.
- Chen, C. & Cotton, W.R. 1987. The physics of the marine stratocumulus-capped mixed layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 44(20): 2951-2977.
- Cohen, J.C.P.; Silva Dias, M.A.F. & Nobre, C. 1995. Environmental conditions associated with amazonian squall lines: A case study. *Monthly Weather Review*, 123: 3163-3174.
- Costa, M.S.; Lima, K.C.; Andrade, M.M. & Gonçalves, W.A. 2019. Sistemas Convectivos de Mesoescala Associados a Eventos Extremos de Precipitação Sobre o Semiárido do Nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42(Edição?): 317-328.
- Cotton, W.R.; Pielke, R.A.S.R.; Walko, R.L.; Liston, G.E.; Tremback, C.J.; Jiang, H.; Mcanally, R.L.; Harrington, J.Y.; Nicholls, M.E.; Carrio, G.G. & Mcfadden, L.P. 2003. RAMS: Current Status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 82: 5-29.
- Ferreira, A.G. & Mello, N.G.S. 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, 1(1): 15-28.
- Harrington, J.Y. & Olsson, P.Q. 2001. A method for the parameterization of cloud optical properties in bulk and bin microphysical models. Implications for arctic cloudy boundary layers. *Atmospheric Research*, 57(1): 51-80.
- Harris, I.; Jones, P.D.; Osborn, T.J. & Lister, D.H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3): 623-642.
- Kanamitsu, M.; Ebisuzaki, W.; Woollen, J.; Yang, S-K.; Hnilo, J.J.; Fiorino, M. & Potter, G.L. 2002. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(11): 1631-1644.
- Kousky, V.E. & Gan, M.A. 1981. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 36(6): 538-551.
- Madden, A.R. & Julian, P.R. 1994. Observations of the 40-50-day tropical oscillation - A review. *Monthly Weather Review*, 22: 814-837.
- Mellor, G.L. & Yamada, T. 1982. Development of a turbulence closure-model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysics*, 20(4): 851-875.
- Meyers, M.P.; Walko, R.L.; Harrington, J.Y. & Cotton, W.R. 1997. New RAMS cloud microphysics parameterization 2. The two-moment scheme. *Atmosphere Research*, 45: 3-39.
- Nash, J.E. & Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 3: 282-290.
- New, M.; Lister, D.; Hulme, M. & Makin, I. 2001. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, 21: 1-25.
- Oliveira, P.T.; Silva, C.S. & Lima, K.C. 2017. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(2): 77-90.
- Palharini, R.S.A. & Vila, D.A. 2017. Climatological Behavior of Precipitating Clouds in the Northeast Region of Brazil. *Advances in Meteorology*, 2017: 1-12.
- Pielke, R.A.; Cotton, W.R.; Walko, R.L.; Tremback, C.J.; Lyons, W.A.; Grasso, L.D.; Nicholls, M.E.; Moran, M.D.; Wesley, D.A.; Lee, T.J. & Copeland, J.H. 1992. A comprehensive meteorological modeling system-RAM. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 49: 69-91.
- Ramos Da Silva, R.; Dias, P.L.S.; Moreira, D.S. & Souza, E.B. 2009. Modelo Olam (Ocean-Land-Atmosphere-Model): Descrição, Aplicações e Perspectivas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(2): 144-157.
- Reboita, M.S.; Gan, M.A.; 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. & Santos, I.Z. 2014. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 15: 28-48.
- Reynolds, R.W.; Smith, T.M.; Liu, C.; Chelton, D.B.; Casey, K.S. & Schlax, M.G. 2007. Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature. *Journal of Climate*, 20: 5473-5496.
- Sales, D.C.; Costa, A.A.; Silva, E.M.; Vasconcelos Júnior, F.C.; Guimarães, S.O.; Araújo Junior, L.M.; Pereira, J.M.R.; Cavalcante, A.M.B.; Medeiros, S.S. & Marin, A.M.P. 2015. Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no Nordeste Brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30(4): 435-456.
- Silveira, C.S.; Souza Filho, F.A.; Costa, A.A. & Cabral, S.L. 2013. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(3): 317-330.
- Timmermann, A.; An, S-I.; Kug, J-S.; Jin, F-F.; Cai, W.; Capotondi, A.; Cobb, K.; Lengaigne, M.; McPhaden, M.J.; Stuecker, M.F.; Stein, K.; Wittenberg, A.T.; Yun, K-S.; Bayr, T.; Chen, H-C.; Chikamoto, Y.; Dewitte, B.; Dommengat, D.; Grothe, P.; Guilyardi, E.; Ham, Y-G.; Hayashi, M.; Ineson, S.; Kang, D.; Kim, S.; Kim, W.; Lee, J-Y.; Li, T.; Luo, J-J.; McGregor, S.; Planton, Y.; Power, S.; Rashid, H.; Ren, H-L.; Santoso, A.; Takahashi, K.; Todd, A.; Wang, G.; Wang, G.; Xie, R.; Yang, W-H.; Yeh, S-W.; Yoon, J.; Zeller, E. & Zhang, X. 2018. El Niño-Southern Oscillation complexity. *Nature*, 559(7715): 535-545.
- Tremback, C.J. 1990. Numerical simulation of a mesoscale convective complex: Model development and numerical results. Ph.D. Dissertation, USA, 217p.

### **Avaliação do Modelo OLAMv.3.3 na Simulação da Precipitação sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro**

Maria Leidinice da Silva; Kellen Carla Lima; Cristiano Prestrelo de Oliveira; Augusto Cesar Barros Barbosa & Antônio Carlos Santana dos Santos

- Uvo, C.R.B. & Nobre, C.A. 1989. A ZCIT e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT No Atlântico Equatorial. *Climanálise*, 4(7): 34-34.
- Uvo, C.R.B.; Repelli, C.A.; Zebiak, S.E. & Kushnir, Y. 1998. The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of Climate*, 11: 551-562.
- Walko, R.L. & Avissar, R. 2006. Predicting hurricane landfall location and timing with the Ocean-Land-Atmosphere Model (OLAM). *Geophysical Research Abstracts*, 8: 4344.
- Walko, R.L.; Cotton, W.R.; Meyers, M.P. & Harrington, J.Y. 1995. New RAMS cloud microphysics parameterization 1. The single-moment scheme. *Atmospheric Research*, 38: 29-62.