



Verificação da Convergência de Umidade como Suporte na Previsão de Tempo no Nordeste do Brasil: Estudo de Caso

Moisture Convergence Verification as Support for the
Weather Forecast in Northeast of Brazil: a Case Study

Maytê Duarte Leal Coutinho¹; Kellen Carla Lima²;
Meiry Sayuri Sakamoto³ & Michelyne Duarte Coutinho de Morais⁴

^{1,3}Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Av. Rui Barbosa, 1246, 60115-221 Fortaleza, Ceará, Brasil

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Avenida Senador Salgado Filho 3000, 59078-970, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

⁴Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010 São José dos Campos, SP, Brasil

Emails: mayte.coutinho@funceme.br; kellenkarla@gmail.com; meiry@funceme.br; michelyne_duarte@yahoo.com.br

Recebido em: 12/07/2018 Aprovado em: 23/08/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_742_757

Resumo

Os modelos regionais ou globais apresentam deficiência em simular a variável precipitação. Esta dificuldade geralmente está associada às parametrizações dos modelos e também aos processos físicos e dinâmicos, uma vez que, a variável precipitação não é contínua no tempo e no espaço. No entanto, para as variáveis de vento (u , v) e umidade específica (q) que são variáveis necessárias para o cálculo da convergência de umidade, os modelos conseguem ter um melhor desempenho. Assim, objetiva-se nesta pesquisa analisar a convergência de umidade como suporte na previsão do tempo quando há atuação de sistemas meteorológicos. No dia 04 de janeiro de 2015, o Nordeste do Brasil (NEB) esteve sob atuação de sistemas meteorológicos que provocaram fortes chuvas, principalmente em Fortaleza/CE. Os principais resultados mostraram que a precipitação simulada pelo *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) não representou satisfatoriamente as chuvas observadas. Em contrapartida, o RAMS identificou núcleos de convergência de umidade associado aos núcleos intensos de precipitação. Apesar de ser um estudo de caso, os resultados apresentados são pertinentes e indicam que analisar a convergência e os fluxos de umidade pode dar suporte ao previsor, não descartando obviamente outras variáveis cabíveis para uma previsão de tempo.

Palavras-chave: Simulações; fluxos de umidade; precipitação; RAMS

Abstract

Regional or global models are deficient in simulating the precipitation variable. This difficulty is usually associated with parametrization of the models and also with physical and dynamic processes, since a precipitation variable is not continuous without time and space. However, for the wind (u , v) and specific moisture (q) variables that are variable for the programming of the moisture convergence, the models resulted in better performance. Thus, it is aimed at the research in a convergence of humidity as support in the forecast of the time when performance of meteorological systems occurs. On January 4, 2015, the Northeast of Brazil (NEB) was under the action of meteorological systems that caused heavy rains, mainly in Fortaleza/CE. The main Atmospheric Modeling Systems (RAMS) do not represent satisfactorily as observed rains. In contrast, the RAMS identified cores of moisture convergence associated with intense precipitation cores. In spite of a case study, the presented results are important and indicate that they analyze the convergence and the moisture flows can support the predictor, obviously not ruling out other variables for a forecast of time.

Keywords: Simulations; moisture flows; precipitation; RAMS

1 Introdução

O transporte de umidade para América do Sul (AS) é proveniente do Oceano Atlântico Tropical, devido os ventos alísios e pelo Atlântico Sul por meio da Alta Subtropical do Atlântico Sul (Rao et al., 1996; Marengo, 2006). Segundo (Coutinho et al., 2013; Coutinho et al., 2016), o Atlântico Tropical Sul e Norte são igualmente importantes em transportar umidade para o interior da região Nordeste do Brasil (NEB).

Alguns estudos têm relacionado o balanço de umidade com a precipitação na AS (Cavalcanti et al., 2002; Coutinho et al., 2017). Cuadra & Rocha (2006) verificaram que os principais mecanismos de controle da precipitação sobre do Sudeste do Brasil é a convergência de umidade e a evaporação. Coutinho et al., (2017) realizaram um estudo de caso de um evento extremo que ocorreu no estado do Ceará. Como resultado, encontraram núcleos de convergência de umidade associado à intensa chuvas nas regiões cearenses. Os autores observaram que a componente leste e nordeste, fez com que os fluxos de umidade chegassem até o estado do Ceará.

O NEB, foco do nosso estudo, é caracterizada por três diferentes climas: clima equatorial úmido, clima litorâneo úmido e clima tropical semiárido (Menegheti, 2009). Do ponto de vista climático, o NEB é considerado semiárido por apresentar substanciais variações temporal e espacial da precipitação pluviométrica, e elevadas temperaturas ao longo do ano (Azevedo et al., 1998; Bernardo & Molion 2002).

No que diz respeito à umidade, apresenta papel fundamental em vários aspectos da vida humana, como por exemplo, o suprimento de água para necessidades diárias, agricultura, geração de energia, entre outros, principalmente através da precipitação. De maneira geral, sabe-se que os modelos atmosféricos dificilmente conseguem localizar corretamente no tempo e no espaço áreas de intensa precipitação. Isto posto, Piva & Anabor (2008) afirmam que quando há atuação de sistemas meteorológicos, há convecção em mesoescala e, a intensa precipitação é gerada por células convectivas de pequena escala horizontal.

Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo verificar a convergência de umidade como suporte

na previsão do tempo quando há atuação de sistemas meteorológicos. Para isso, é feito um estudo de caso. No dia 04 de Janeiro de 2015, o NEB esteve sob atuação de dois sistemas meteorológicos: um típico da pré-estação chuvosa chamado de Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e um outro considerado raro nesta época do ano, chamado Distúrbio ondulatório de leste (DOL). Alguns municípios sofreram prejuízos devido a intensa precipitação provocada pelo VCAN, em especial, a cidade de Fortaleza/CE com 132 mm registrados em 24h, com vários pontos de alagamentos e deslizamentos segundo a defesa civil do município. Para o dia em questão, foi identificado áreas de fortes fluxos e convergência de umidade associados à intensa precipitação em alguns municípios do NEB. A Seção 2 trata dos dados e metodologia empregados, a Seção 3 apresenta os resultados e a discussão. Na Seção 4 apresentam-se as conclusões.

2 Dados e Metodologia

2.1 Região de Estudo

Definiu-se como região de estudo o NEB que foi dividido em três diferentes áreas: Leste do Nordeste (LNE) que apresenta latitudes entre -10,5 a -4°S e longitudes de -37,4 e 34,6°W, Norte do Nordeste (NNE) tem latitudes entre -9,7 a -3°S e longitudes de -46 e 37,7°W, e Sul do Nordeste (SNE) possui latitudes entre -16 a -10°S e longitudes de -46 e 37,7°W como mostra a Figura 1.

A escolha destas áreas foi em razão dos diversos sistemas meteorológicos que atuam no NEB em diferentes épocas e áreas. No NNE, por exemplo, há atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) entre fevereiro e maio (Moura & Shukla, 1981; Wang, 2002) que é o maior responsável pelas chuvas nesta área. No LNE, tem a atuação dos DOL entre junho e julho (Mota, 1997; Coutinho & Fish, 2007; Gomes et al., 2015) e na área SNE, normalmente sofre influência dos Sistemas Frontais (SF) que geralmente chegam enfraquecidas, mas mesmo assim modificam o tempo local, onde o efeito principal está ligado à precipitação (Kousky, 1979). E ainda, sofre influência da ZCAS. O que faz com que o período chuvoso dessa região ocorra no meio do verão (Cavalcanti et al. 2009). Vale ressaltar, que um dos principais sistemas meteorológicos que provoca alterações no tempo do

NEB é o VCAN, e atua nas estações de primavera, verão e outono, com máxima frequência no mês de janeiro (Gan & Kousky 1986; Coutinho et al., 2010; Fedorova et al., 2017).

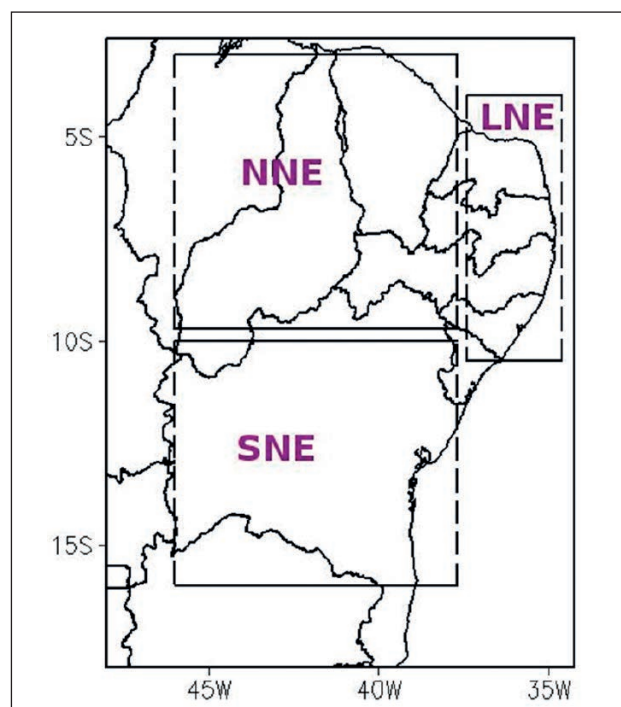


Figura 1 Ilustração das áreas de estudo sobre o NEB. Três diferentes áreas foram selecionadas para o estudo: LNE, NNE e SNE.

2.1.1 Dados

i. Precipitação

As estimativas de precipitação do Climate Prediction Centre (CPC) Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation foram utilizadas, no intuito de avaliar a precipitação associada a núcleos de convergência de umidade simulado pelos modelos no dia em questão. Esses dados são provenientes do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), ANEEL (Agência Nacional de energia Elétrica), ANA (Agência Nacional de Águas) além dos outros centros estaduais de meteorologia e tem resolução de 0.5° de longitude \times 0.5° de latitude. Na geração desta base de dados, é feito um controle de qualidade e métodos de interpolação espacial descritos em (Shi et al., 2000; Chen et al., 2008), sendo que alguns resultados sobre a consistência destes dados foram reportados em (Silva et al., 2005).

Também fez-se uso da precipitação observada pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), disponível no site diariamente para todo o estado do Ceará. O acumulado é de 24h das 7-7h local. Os dados são provenientes de vários postos pluviométricos distribuídos por todo o estado.

ii. Regional Atmospheric Modeling System (RAMS)

Foram utilizados as saídas do modelo RAMS com intuito de simular o comportamento do fluxos e convergência de umidade associados a intensa precipitação no dia em questão. O RAMS é um modelo prognóstico desenvolvido na Universidade do Estado do Colorado (Pielke et al., 1999). As simulações foram inicializadas com dados de grande escala do modelo global Global Forecast System (GFS). Os esquemas de convecção usados no RAMS são os propostos por Kain e Fritsch (1993), baseado no fluxo de massa na base das nuvens. O RAMS utiliza valores estáticos da topografia, albedo, categoria do solo, cobertura vegetal, dentre outros, retirados das bases de dados do USGS (United States Geological Survey), porém este modelo assimila também, a temperatura da superfície do mar (TSM) de estimativas de satélites fornecidas por Remote Sensing Systems (RSS). Modelos regionais podem simular qualquer situação de escoamento (da microescala até a escala sinótica) e é utilizado por pesquisadores em diferentes aplicações (Carvalho et al., 2004). Neste estudo, as seguintes variáveis meteorológicas serão utilizadas afim de calcular o fluxo de umidade integrado verticalmente: umidade específica, ventos meridional e zonal para os níveis padrão de pressão (1000, 925, 850, 700, 500, 400 e 300 hPa) e também a precipitação e pressão ao nível médio do mar com espaçamento da grade horizontal de 0.25° de latitude \times 0.25° de longitude, executado duas vezes ao dia na FUNCEME: 00 e 12 UTC.

iii. ERAInterim

O ERAInterim é uma das mais recentes reanálises de observações meteorológicas produzidas pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Estes produto cobre o período

1979 até o presente e é amplamente discutido em (Dee et al., 2011).

Estes produto foi utilizado no intuito de avaliar a confiabilidade dos valores simulados pelo RAMS dos fluxos de umidade e sua convergência. As variáveis meteorológicas utilizadas foram: umidade específica, ventos meridional e zonal para os níveis normais de pressão (1000, 925, 850, 700, 500, 400 e 300 hPa) e pressão ao nível médio do mar, com espaçamento da grade horizontal de 0.75° de latitude × 0.75° de longitude.

Com intenção de analisar os sistemas meteorológicos que estavam atuando no dia em questão, elaborou-se campos de linhas de corrente e vorticidade relativa em 200 hPa para identificar o VCAN, como também linhas de corrente em 700 hPa para identificação dos DOL nos quatro horários sinóticos: 00, 06, 12, 18 UTC.

iv. Imagens de Satélite

Os satélites meteorológicos são utilizados principalmente para o monitoramento na previsão de tempo. As imagens de satélites são úteis na identificação de nuvens e dos sistemas de tempo que atuam numa determinada região. A identificação destas, pode ser feita utilizando-se diferentes canais (Ferreira, 2002). Neste estudo, utilizaram-se dois diferentes canais: infravermelho e vapor d'água. Para melhor entendimento, no canal infravermelho, a temperatura do topo das nuvens estão associadas com a altura e tipos de nuvens. Por outro lado, o canal de vapor d'água está associado à emissão de energia devido ao vapor d'água presente na média/alta troposfera. Vale lembrar, que essas informações também são úteis para monitorar os movimentos horizontais e verticais dos ventos (Ferreira, 2002).

2.1.2 Metodologia

i. Transporte de Vapor d'Água

As três áreas retangulares selecionadas na Figura 1 foram consideradas para estudar o transporte de vapor d'água para dentro e fora de cada área. Valores dos fluxos de umidade integrados verticalmente ao longo das fronteiras foram calculados entre 1000- 300 hPa.

A convergência média dos fluxos de umidade sobre cada área será obtida pela adição quando o transporte é para o interior da área e subtração quando é para fora (ver Tabela 1). A integração vertical dos fluxos de umidade foi realizada utilizando a metodologia de Rao et al., (1998), uma vez que, esta formulação tem sido utilizada com sucesso em vários estudos (Lima et al., 2010; Satyamurty et al., 2013a; Coutinho et al., 2013; Coutinho et al., 2016). Sendo dado pelas seguintes equações:

$$Q_v = \frac{1}{g} \int_{p_i}^{p_o} qvdp \quad (1)$$

$$Q_u = \frac{1}{g} \int_{p_i}^{p_o} qudp \quad (2)$$

Em que Q_v e Q_u representam o fluxo de umidade meridional e zonal, respectivamente; g é aceleração devido à gravidade; q é a umidade específica; u e v são as componentes do vento meridional e zonal, respectivamente; e p_t representa a pressão na parte superior do domínio de integração (300 hPa) e p_0 é a pressão à superfície (hPa). A unidade desses fluxos é em kg/s.

Por outro lado, os fluxos de umidade ao longo das fronteiras leste, oeste, norte e sul são calculados da seguinte maneira:

$$Q_{EW} = \int_{\phi_1}^{\phi_2} Q_i dy \quad (3)$$

$$Q_{NS} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_i dx \quad (4)$$

Ou seja, a integração será realizada fixando-se a latitude ou longitude entre os limites das fronteiras de cada área, conforme os índices definidos anteriormente nas equações, que são:

O índice EW da equação (3) define a longitude para fixar as fronteiras leste ou oeste, e a integração é feita na direção y , ϕ_1 é o valor da latitude na borda sul e ϕ_2 é o valor da latitude na borda norte;

O índice NS da equação (4) define a latitude para fixar as fronteiras norte ou sul, neste caso, a integração é feita na direção x, λ_1 é o valor da longitude na borda oeste e λ_2 é o valor da longitude na borda leste.

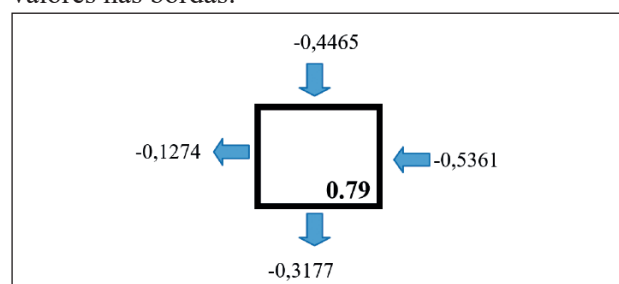
O índice i em ambas as equações define o fluxo de umidade meridional, zonal ou total já integrado verticalmente.

Nota-se que o transporte de umidade para dentro da região é positivo quando o seu valor é negativo sobre os limites do norte e leste. Caso contrário, é positivo nas fronteiras oeste e sul (Satyamurty et al., 2013a). A Tabela 1 indica a convenção de sinais utilizados na convergência do fluxo de umidade. A soma dos quatro transportes laterais, respeitando os sinais, nos dá convergência de umidade total líquida sobre a área alvo, CW.

NORTE E LESTE	SUL E OESTE
(+) Saídas ou perda de fluxo; subtrair	(+) Entrada ou ganho de fluxo; somar
(-) Entrada ou ganho de fluxo; somar	(-) Saídas ou perda de fluxo; subtrair

Tabela 1 Balanço de sinais para o cálculo da convergência de umidade.

Para exemplificar o cálculo da convergência total líquida (CW), suponha uma área com os seguintes valores nas bordas:



Portanto, como nas bordas norte e leste os fluxos são negativos, então se deve somar estes valores aos demais. Desta forma, o mesmo raciocínio pode ser seguido para as bordas sul e oeste, que são negativos, portanto deve-se subtrair estes valores das outras bordas. Assim, a convergência de umidade total líquida seguindo a (tabela 1) na área alvo é:

$$(0,4465 + 0,5361) + (0,1274 - 0,3177) = 0,79 \times 107 \text{kg/s}$$

ii. Contribuição da Umidade

O cálculo da contribuição da convergência de umidade para a precipitação nas áreas da Figura 1 é realizado com base nos estudos de (Satyamurty et al., 2013a, Satyamurty et al., 2013b) a partir da seguinte equação:

$$P = \frac{CW}{A} \quad (5)$$

Em que CW é a convergência total líquida de cada área; A refere-se às diferentes áreas (LNE, NNE e SNE).

iii. Avaliação do RAMS

A quantificação do viés médio de precipitação nas diferentes áreas do NEB (Figura 1) foi realizada para avaliar o desempenho do modelo de acordo com a equação:

$$BIAS = X_{RAMS} - X_{obs} \quad (6)$$

A equação 6 representa a diferença entre um valor (X) de previsão e o valor observado no mesmo local e tempo.

3 Resultado e Discussão

3.1 Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

Na Figura 2, observa-se condições simuladas para o dia do evento em altos níveis (200hPa). Analisando as linhas de corrente e vorticidade relativa em 200hPa (Figura 2A-D), nota-se dois centros, um com vorticidade anticiclônica (Alta da Bolívia - AB) e outro, com vorticidade ciclônica (VCAN). É interessante verificar, que no decorrer do dia, a AB teve um deslocamento mais para sudoeste. Enquanto, o centro do VCAN inicialmente localizava-se mais ao sul da Bahia, deslocou-se para norte ao longo do dia.

Com relação a nebulosidade e precipitação, é comumente observada nos setores norte, oeste e sudoeste da periferia do VCAN, com céu claro no seu centro, embora possa ocorrer convecção no centro durante o processo de dissipação (Kousky & Gan, 1981).

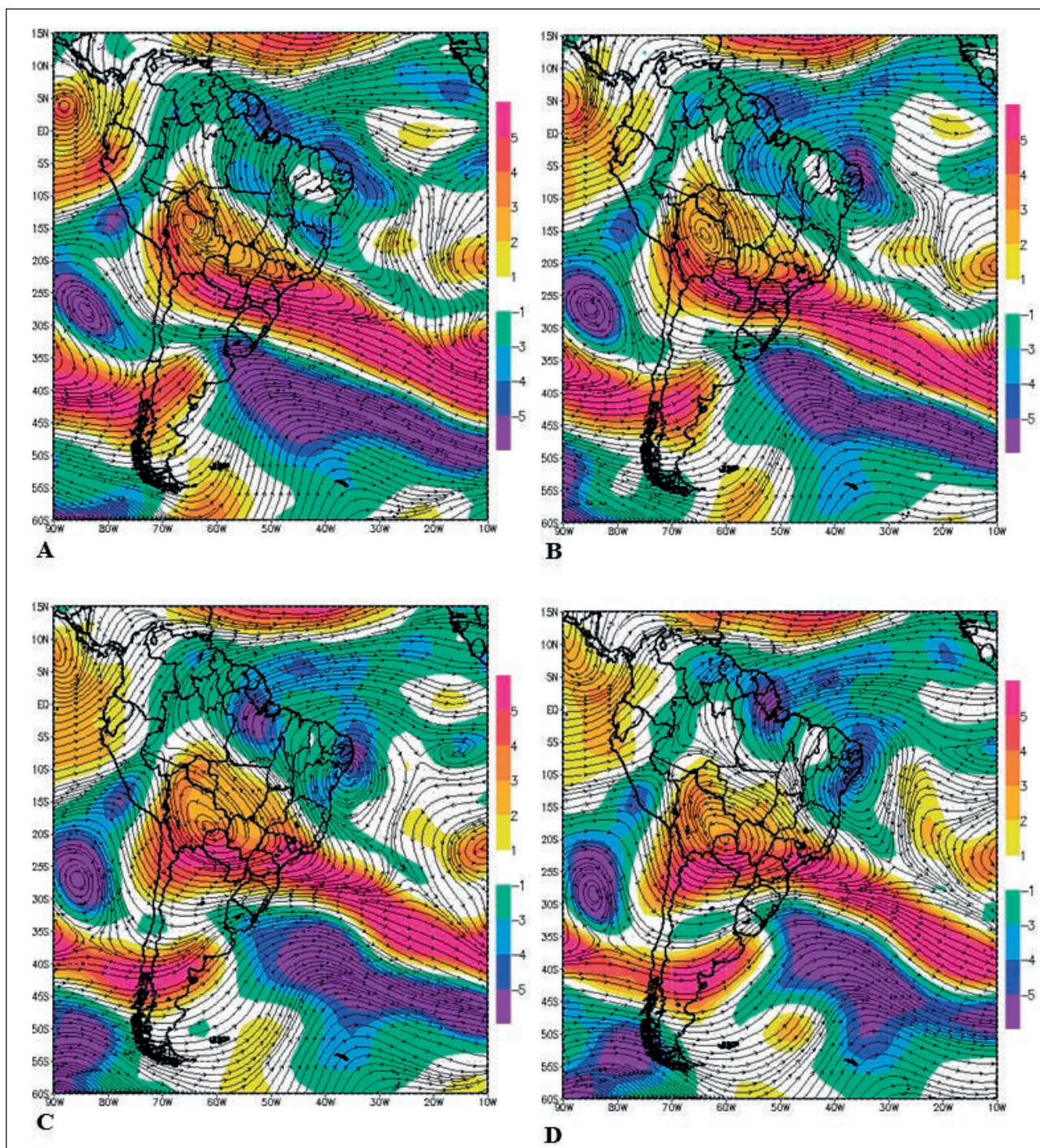


Figura 2 Linhas de corrente e vorticidade com reanálises do ERAInterim ($\times 10^{-5} \cdot s^{-1}$) em 200 hPa no dia 04 de Janeiro, nos respectivos horários sinóticos: A. 00UTC; B. 06UTC; C. 12UTC e D. 18UTC.

Desta forma, condições favoráveis à ocorrência de chuva foram percebidas durante o decorrer do dia, visto que, a borda oeste do VCAN influenciou ainda mais o estado do Ceará (Figura 2).

A posição da AB favorece o posicionamento do centro do VCAN mais para norte, contribuindo assim, que sua borda convectiva permanecesse sobre o NEB, gerando um aumento das chuvas na região.

3.2 Distúrbios Ondulatórios de Leste

No que diz respeito a este sistema (Figura 3), elaborou-se mapas de linhas de correntes em 700hPa, nível em que os DOL apresentam sua máxima amplitude e intensidade (Espinoza, 1996; Gomes et al., 2015).

Os DOL se melhor configuram em níveis baixos (~850-700 hPa), onde apresentam cavados, e sua nebulosidade é caracterizada por nuvens geralmente

convectivas, que se deslocam de leste para oeste sobre os oceanos tropicais, atingindo áreas continentais, como o leste do NEB (Varejao-Silva, 2005). No Hemisfério Sul, é caracterizado sinoticamente por um cavado sobre o Oceano Atlântico que se desloca para a costa do NEB e na dianteira do cavado é comumente observada uma crista.

Na Figura 3, tem-se condições simuladas a partir da reanálise no nível de 700hPa, para o dia em questão. A princípio, a atuação de uma crista é observada apenas

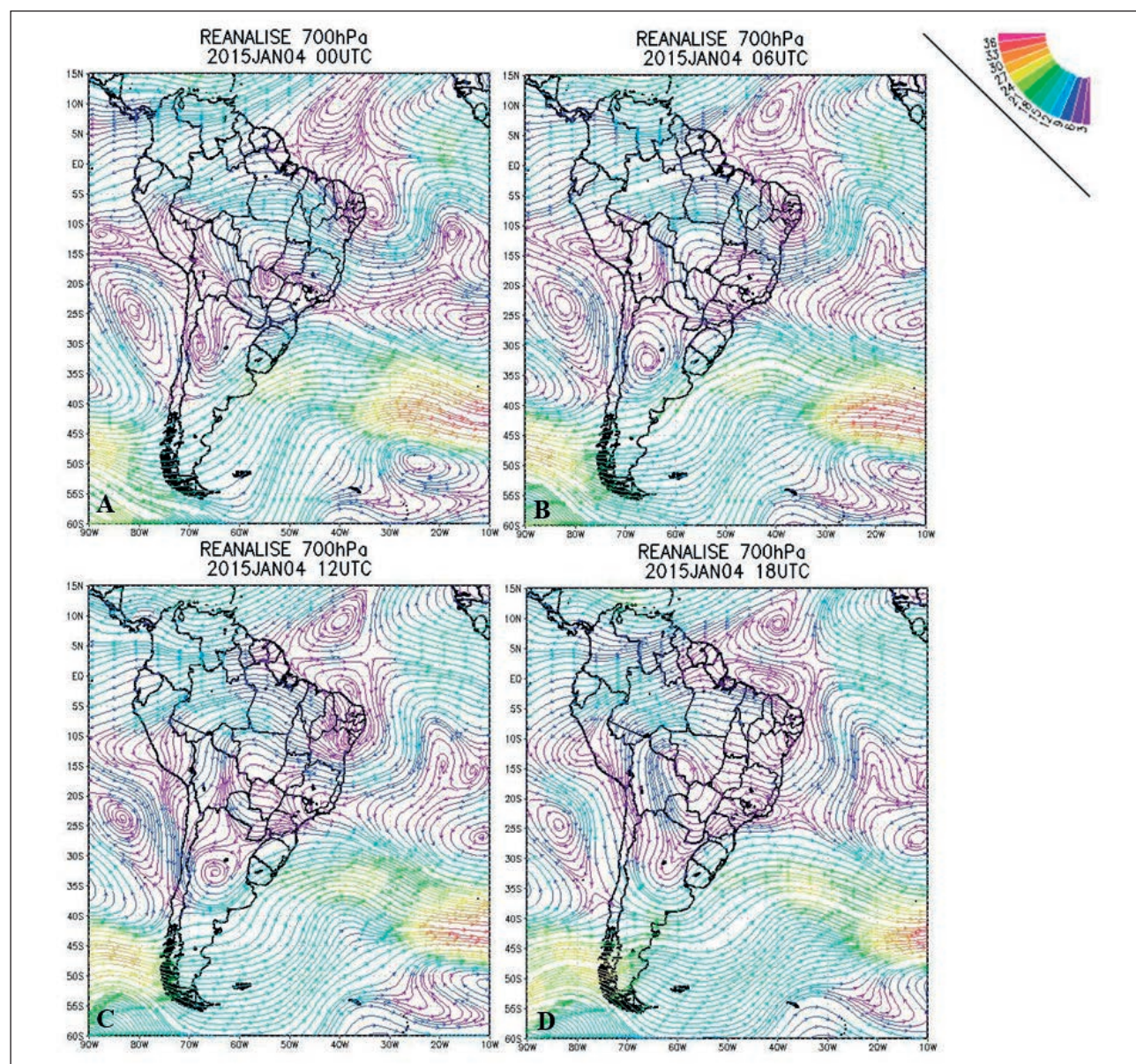


Figura 3 Linhas de corrente com reanálises do ERAInterim, em 700 hPa para o dia 04 de Janeiro, nos respectivos horários sinóticos: A. 00UTC; B. 06UTC; C. 12UTC; D. 18UTC.

as 00 UTC (Figura 3A), próximo da costa do NEB sobre o Oceano Atlântico, com deslocamento (leste-oeste) para o interior do continente. Esse deslocamento é intensificado no decorrer do dia com maior inclinação e extensão até as 18 UTC (Figura 3D).

3.3 Circulação Atmosférica em Baixos Níveis

As linhas de correntes em baixos níveis (Figura 4) foram analisadas a fim de compreender

o comportamento dos ventos no dia em questão. A região do NEB tem padrão de ventos normalmente de leste-nordeste nesta época. É possível observar que às 00UTC, tem-se ventos de leste e há convergência dos ventos mais acentuada à noroeste do estado do Ceará (Figura 10A).

É importante ressaltar, que em uma análise climática no NEB, a variação sazonal dos ventos na costa está relacionada com a posição da ASAS. Tal

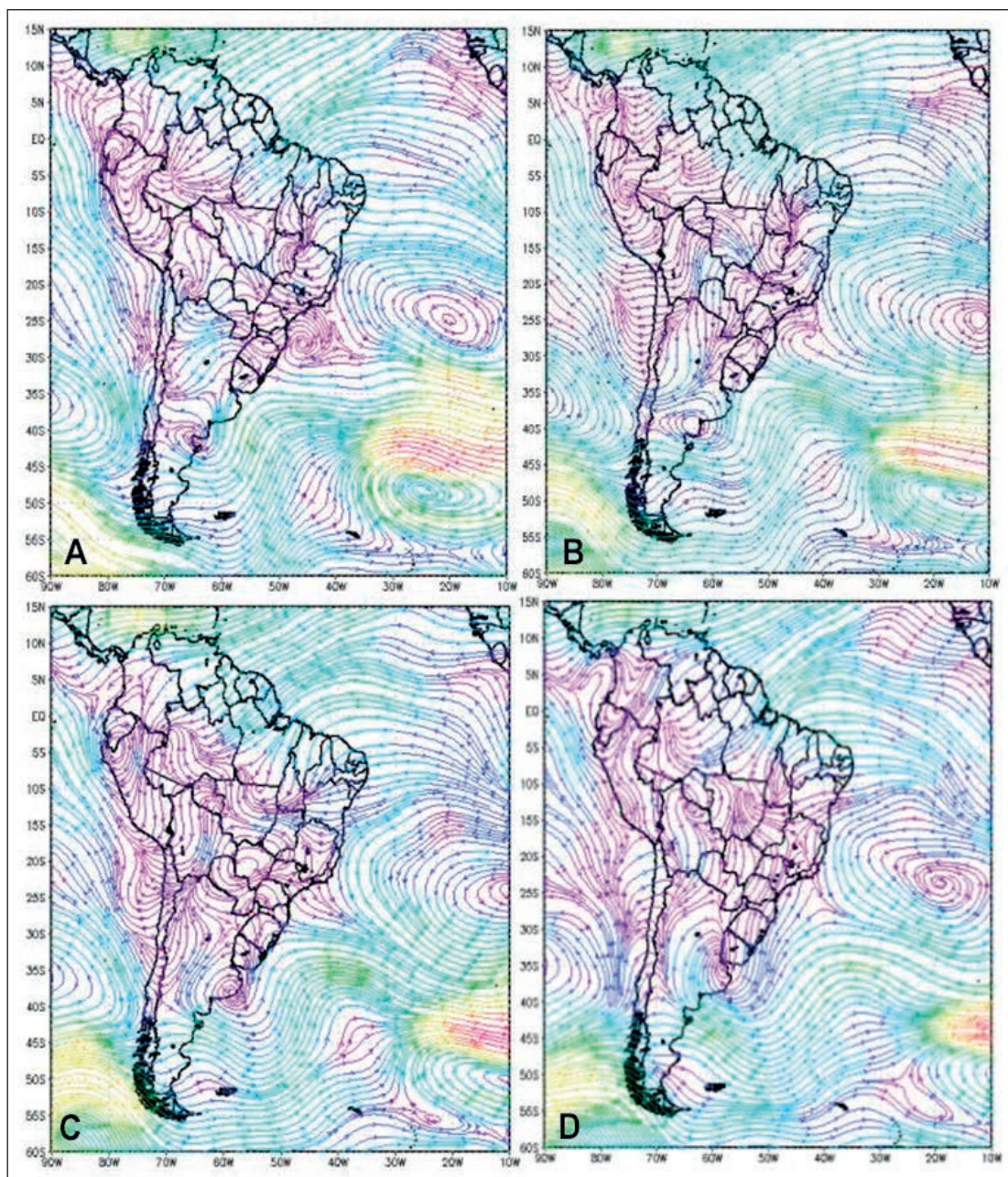


Figura 4 Linhas de corrente com a Reanálise do NCEP, em 925 hPa para o dia 04 de Janeiro, nos respectivos horários sinóticos:
A. 00UTC;
B. 06UTC;
C. 12UTC;
D. 18UTC.

sistema começa a se intensificar nas estações frias, alcançando o máximo em julho. A observação dos ventos sobre o Atlântico Sul no início do ano indica a ocorrência de uma predominância de leste-nordeste ao longo da costa do NEB. No período de abril a julho, a predominância passa a ser de sudeste, o que coincide com a época chuvosa no leste do NEB. Por conseguinte, durante a estação chuvosa de outono/inverno sobre o leste da região, os ventos sopram perpendicularmente à linha de costa, assumindo a direção sudeste (Reboita et al., 2009).

3.4 Imagens de Satélite

É possível visualizar nas (Figuras 5A-D), imagens do satélite GOES no canal de vapor d'água, que permitem a verificação de locais onde existem, aproximadamente, zonas úmidas e secas, do sistema atuante. Na sequência das imagens de satélite, verifica-se atuação de um VCAN, com o seu núcleo no centro do estado da Bahia. Nota-se ainda, bastante nebulosidade e forte atividade convectiva no setor norte da região do NEB, além de atividade convectiva a oeste da circulação ciclônica que se estende ao longo da ZCAS, e na região central da Amazônia, onde se localiza a AB. Este sistema possui uma formação climatológica ligada aos meses de verão. Percebe-se que, durante a atuação do VCAN, as regiões da borda oeste e norte do vórtice apresentavam áreas de umidade, que são características de nuvens verticalmente extensas.

Nas Figuras 5E-H mostra imagens do satélite GOES, no canal infravermelho realçado com foco na região do NEB no dia do evento, onde se pode observar com mais clareza, o comportamento da convecção. Percebe-se ainda, o desenvolvimento de nuvens com topo de nuvens frios, em torno de -40 a -30°C no Oceano Atlântico próximo da costa do Rio Grande do Norte, equivalente à aproximação de um DOL com deslocamento para o continente, corroborando as análises feitas anteriormente da linha de corrente no nível de 700hPa. A atuação dos DOL nessa época do ano é considerada rara, visto que, para esta região, os meses de mais frequente atuação deste sistema estão entre junho e agosto (Ferreira & Mello, 2005). Nota-se que a presença deste, foi responsável pela intensificação das precipitações, principalmente na Região Metropolitana de Fortaleza. A partir da Figura

5E, verifica-se a formação do sistema e posteriormente, a intensificação que perdurou até às 18Z (Figura 5H).

3.5 Simulações

A distribuição espacial da precipitação do CPC e simulada pelo RAMS no NEB é apresentada na Figura 6. A partir das estimativas do CPC, observa-se intensos núcleos de precipitação sobre o estado do Ceará (CE) com chuva entre 20 e 70 mm, e maior concentração sobre a região metropolitana de Fortaleza (Figura 6A). No que diz respeito a simulação do RAMS, verifica-se um sinal de precipitação muito fraco sobre o estado, indicando chuva apenas no litoral leste do CE e proximidades (Figura 6B) com valores que variam entre 5 e 20 mm. Isto só fortalece a ideia que os modelos não conseguem localizar corretamente no tempo e no espaço áreas de intensa precipitação, quando há atuação de sistemas meteorológicos.

No que diz respeito a quantificação do viés médio da precipitação nas diferentes áreas do NEB, fica claro que, o NNE é onde o RAMS mais subestima a precipitação do CPC (Figura 7). Justamente a região mais atingida pelo sistema meteorológico. Para a região SNE, menos atingida pelo sistema meteorológico, apresenta um viés quase zero (0.16 mm).

Uma análise mais detalhada sobre as chuvas observadas no estado do CE é apresentada na Figura 8, em que é vista a distribuição espacial da precipitação e também, aos dez maiores registros de chuvas cedidas pela FUNCEME.

É possível perceber intensa precipitação, principalmente na faixa litorânea com registro de 132 mm em Fortaleza, seguido de 115 mm em Berberibe (Litoral de Fortaleza) e menor registro de chuva em Aracoiaba (Maciço de Baturité) de 70 mm. Coincidindo com os intensos núcleos de convergência de umidade encontrado na Figura 3.

Segundo dados da FUNCEME, a chuva em Fortaleza superou a média histórica para o mês de janeiro, que atingiu 132 mm. Mas que eram esperados 122 mm até o fim do mês. Outras 29 cidades cearenses de regiões, também tiveram precipitação acima da média (Fonte: G1).

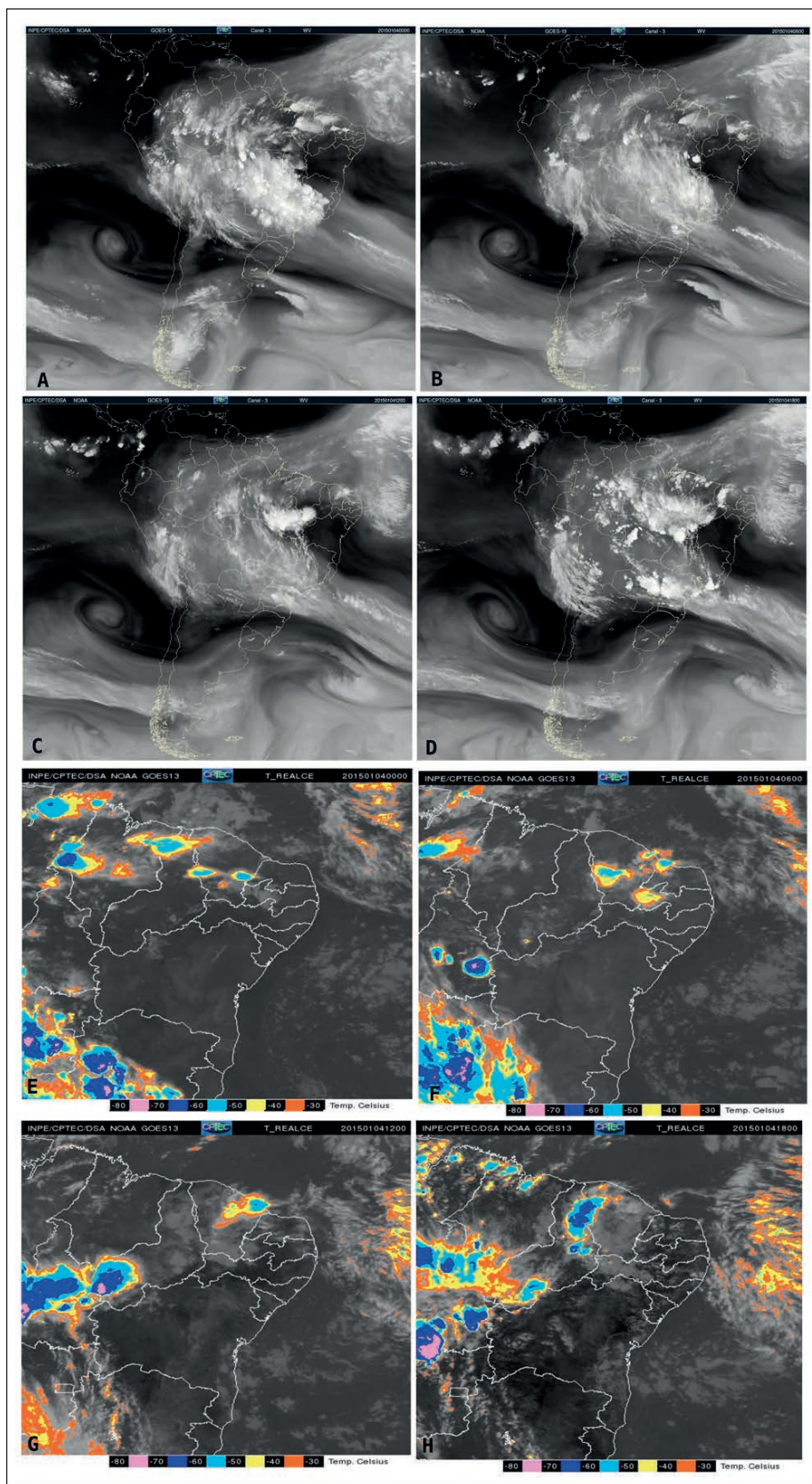


Figura 5 Imagem do satélite GOES do produto vapor d'água e canal infravermelho realçado, para os horários sinóticos, no dia dia 4 às 00Z (A,E), 06Z (B,F), 12Z (C,G), 18Z (D,H) sobre a América do Sul e Nordeste do Brasil respectivamente, cedidas pelo CPTEC/INPE.

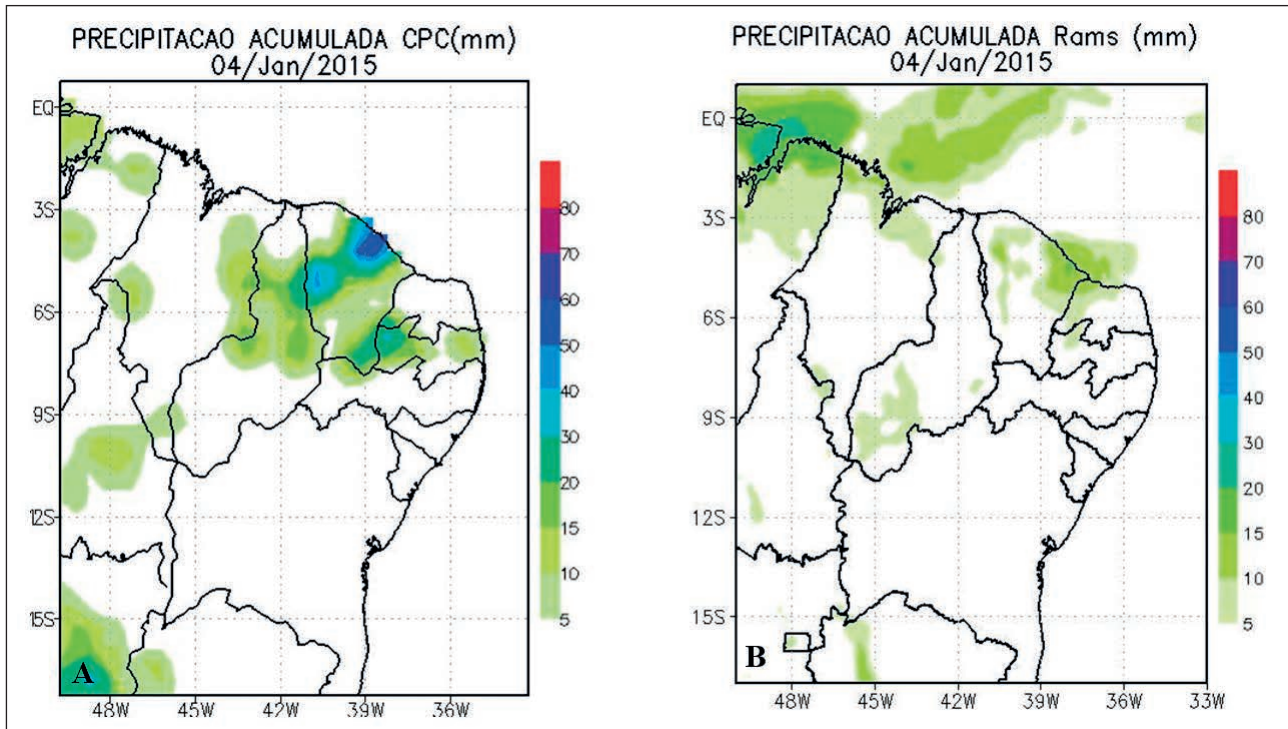


Figura 6 Distribuição da precipitação acumulada do CPC (A), simulada pelo RAMS (B) no dia 04 de Janeiro de 2015.

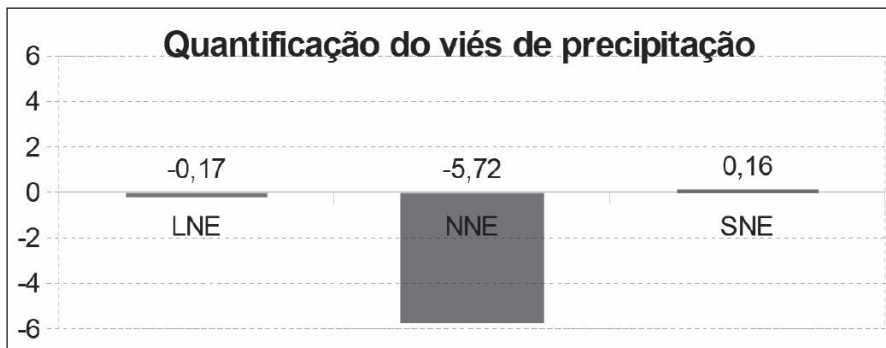


Figura 7 Quantificação do viés de precipitação para diferentes áreas do Nordeste do Brasil no dia 04 de Janeiro de 2015.

3.6 Fluxos Laterais

Os fluxos laterais médio simulados a partir da saída do RAMS e reanálises do ERAInterim são mostrados na Figura 9 para cada área selecionada anteriormente (Figura 1) no dia do evento. Percebe-se de maneira geral, a entrada de umidade (maior contribuição) na borda leste nas diferentes áreas. Isto se deve a entrada dos fluxos de umidade proveniente do Atlântico Tropical, importante em transportar umidade para o continente (Figura 9). Os estudos de (Coutinho et al., 2013; Coutinho et al., 2016) corroboram com os resultados encontrados neste estudo.

Comparando-se os resultados do ERAInterim e o RAMS, é possível observar que, o RAMS consegue quantificar adequadamente os fluxos laterais na borda leste das diferentes áreas, simulando valores iguais ou bem próximos à reanálise. Verifica-se ainda, que o modelo representa bem o sentido da entrada/saída dos fluxos de umidade em praticamente todas as áreas, exceto na borda norte da área LNE e borda sul das áreas LNE e NNE (Figura 9).

Analisando as simulações do RAMS (Figura 9), nota-se que o NNE e LNE apresenta convergência de umidade líquida (canto inferior direito) maiores do

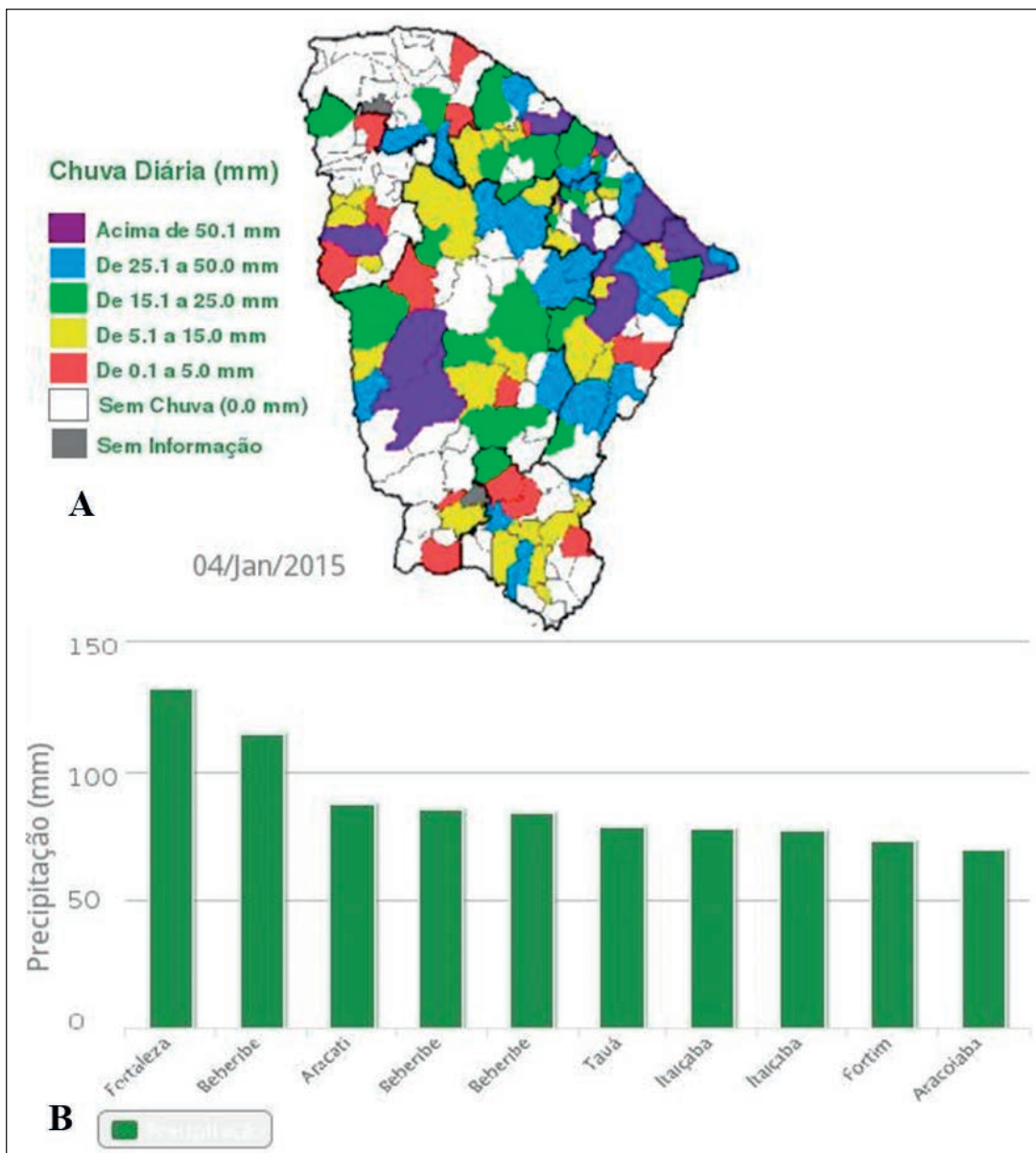


Figura 8
 Distribuição espacial da precipitação observada (A) e, os dez maiores registros de chuvas por município (B), cedidas pela FUNCEME no dia 04/01/2015.

que o SNE, isso pode estar associado a influência do VCAN nessas áreas e que contribui para ocorrência da precipitação e os menores valores de convergência no SNE, provavelmente associado à área onde o centro do VCAN está posicionado (Figura 5). Ao comparar a convergência líquida simulado pelo RAMS e ERAInterim, observa-se que o modelo subestima a convergência nas áreas NNE e SNE e superestima a convergência no LNE. A seguir, será mostrado o que reflete essa superestimação/subestimação na precipitação.

3.7 Fluxos de Umidade Integrados Verticalmente

A Figura 10 mostra os fluxos de umidade integrados verticalmente simulados a partir das saídas do RAMS e do ERAInterim, no intuito de identificar espacialmente, a possível convergência de umidade associada a precipitação (Figura 6 A).

Verifica-se intensos núcleos de convergência de umidade, principalmente nos estados do Ceará (CE) e Rio Grande do Norte (RN), com ventos de leste (ERAInterim) e leve tendência de nordeste (RAMS)

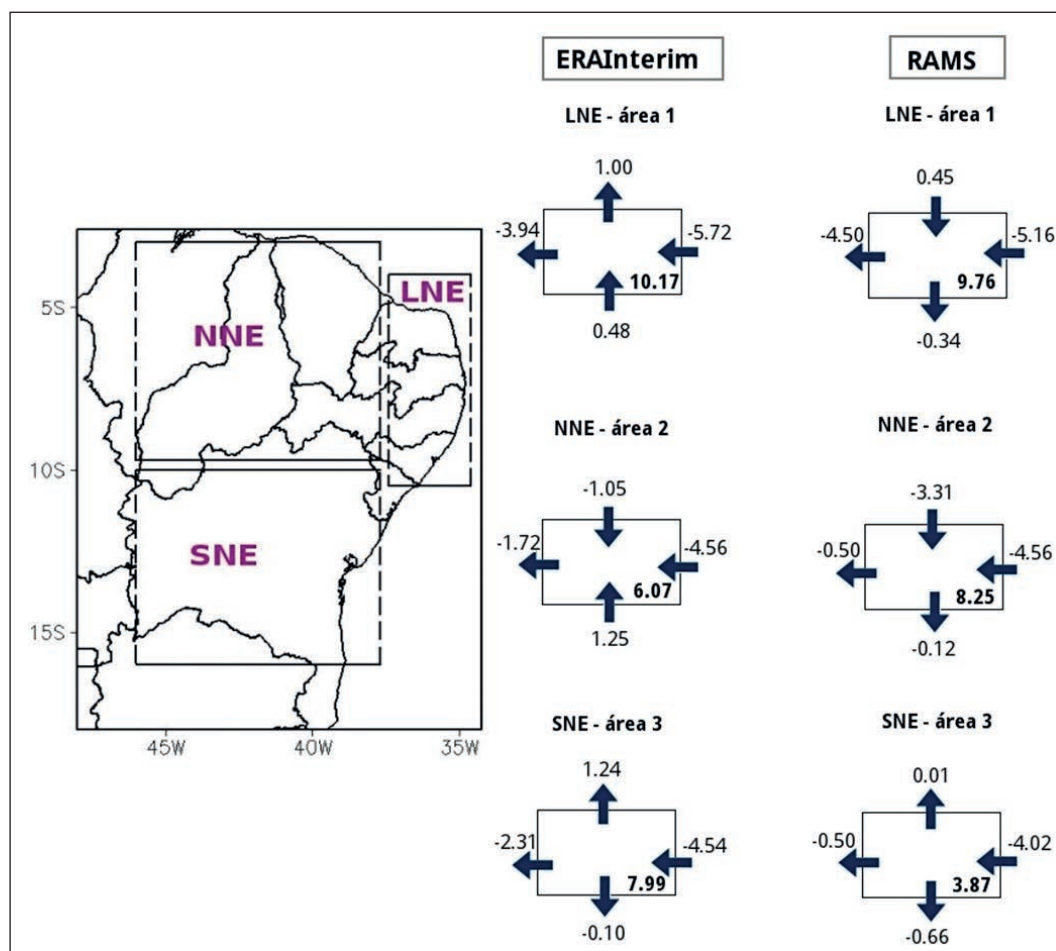


Figura 9 Fluxos de umidade integrados verticalmente de (1000-300) hPa para as três diferentes áreas do NEB simulados pelo ERAInterim e RAMS no dia 04 de Janeiro de 2015. Os valores em negrito no canto direito representa a convergência líquida total da área. Unidade: 10⁷kg/s.

adentrando nas áreas LNE e NNE (Figura 10). Isto se deve a importante contribuição de umidade do Oceano Atlântico Norte e Sul, como também, um provável posicionamento favorável do VCAN (ver Figuras 5A-E). Nota-se que o RAMS capta núcleos de convergência de umidade rente à costa dos estados do RN e CE (Figura 10), no qual estão associados à precipitação nas áreas NNE e LNE (Tabela 2) mostrados a seguir.

É possível observar que o modelo quantifica satisfatoriamente a contribuição da umidade para precipitação no LNE, com valores próximos da reanálise (Tabela 2). Verifica-se ainda, que a contribuição para maior volume de precipitação chega a 38,29 mm (RAMS) e 39,90 mm (ERAInterim) nessa área (Tabela 2), devido o intenso núcleo de umidade entre os estados do CE e RN (Figura 3). Em contrapartida, no NNE e SNE o RAMS apresenta um contribuição inferior chegando a 50% da reanálise no SNE.

	LNE	NNE	SNE
ERAInterim	39,90 mm	7,79 mm	11,46 mm
RAMS	38,29 mm	10,59 mm	5,55 mm

Tabela 2 Contribuição da umidade para precipitação nas três diferentes áreas do NEB simulados pelo RAMS e ERAInterim no dia 04 de Janeiro de 2015.

Comparando o posicionamento dos núcleos de convergência de umidade (Figura 10 A,B) com a precipitação observada (Figura 6A), percebe-se que maior conteúdo de umidade é vista nas áreas do LNE e NNE, corroborando com os resultados encontrados anteriormente nas Figuras 6 e 7. É importante ressaltar, que as estimativas do CPC (Figura 6A), subestimam os valores observados (Figura 8A) pela FUNCEME, mas que representam bem as áreas atingidas pelos sistemas meteorológicos, com núcleos intensos de precipitação no município de Fortaleza.

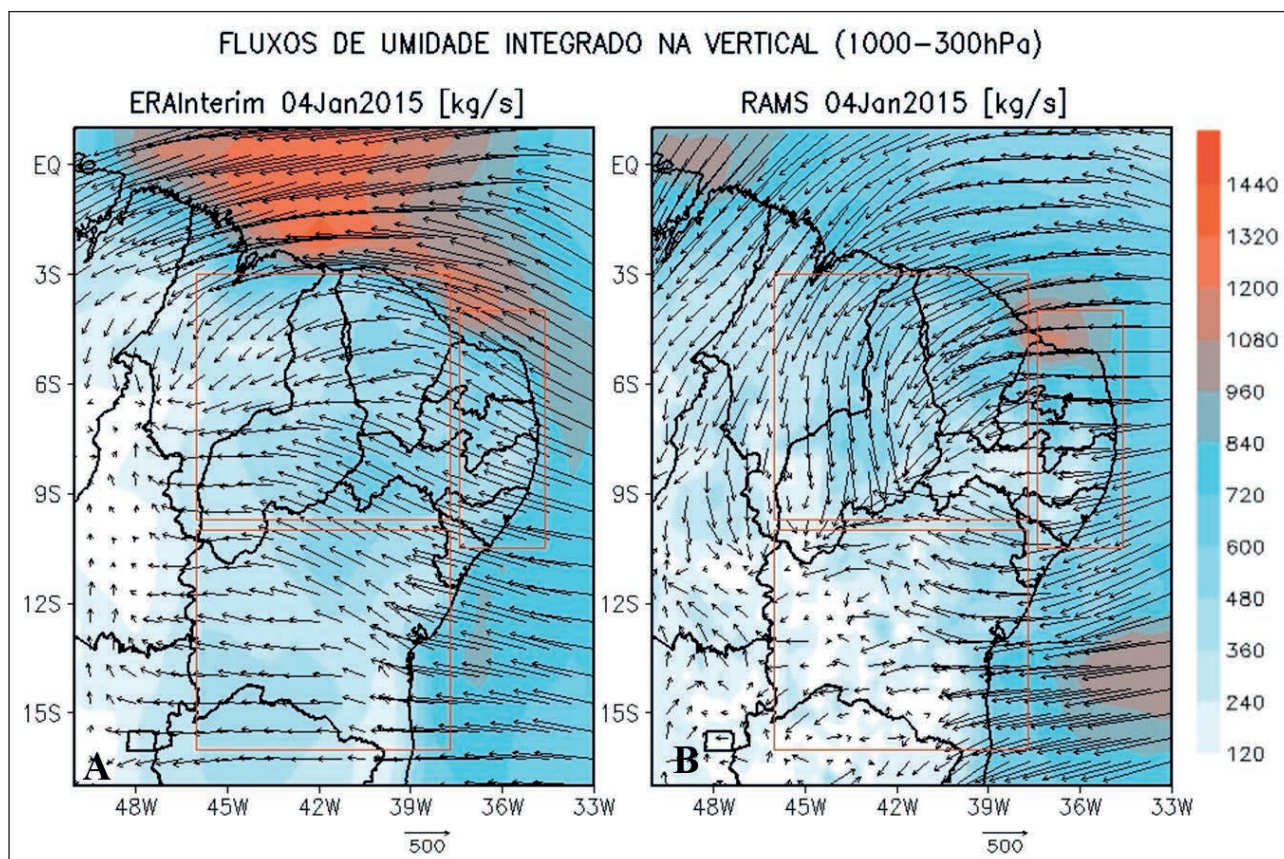


Figura 10 Fluxos de umidade integrados de (1000-300) hPa para as três diferentes áreas do NEB simulados pelo ERA-Interim (A) e RAMS (B), para o dia 04 de Janeiro de 2015. Valores alaranjado representa forte convergência de umidade.

4 Conclusão

O principal objetivo deste trabalho foi investigar a convergência de umidade como apoio na previsão do tempo, quando há atuação de sistemas meteorológicos no NEB a partir de um estudo de caso. Realizou-se então, uma análise sinótica do dia 04 de janeiro de 2015 a fim de comprovar a atuação de sistemas meteorológicos que provocaram chuvas intensas na região. Sabe-se que, modelos atmosféricos têm dificuldades em representar a chuva associada aos sistemas e por este motivo, foi utilizado a saída do RAMS para investigar a simulação da convergência dos fluxos de umidade.

Os principais resultados mostraram que o VCAN e os DOLs foram os sistemas responsáveis por fortes chuvas na região, sendo que a precipitação simulada pelo RAMS não representou satisfatoriamente as chuvas observadas.

Em contrapartida, as análises dos fluxos de umidade mostraram que o RAMS identificou núcleos intensos de convergência de umidade associado à precipitação. Sendo assim, este tipo de análise é interessante, pois a partir desta variável, o modelo obteve bom desempenho, e possibilitou quantificar a contribuição da umidade para precipitação, uma vez que, os valores simulados ficaram próximos da reanálise nas duas principais áreas onde ocorreu intensas chuvas.

Conclui-se então, que mesmo sendo um caso de estudo, os resultados apresentados são pertinentes e indicam que analisar a convergência e os fluxos de umidade pode sim dar suporte ao previsor, não descartando obviamente outras variáveis cabíveis para uma previsão de tempo. Inclusive a precipitação simulada por modelos numéricos, uma vez que, este estudo indica que em casos de atuação de sistemas atmosféricos é interessante também analisar os fluxos de umidade.

5 Referências

- Azevedo, P.V.; Silva, B.B. & Rodrigues, M.F.G. 1998. Previsão estatística das chuvas de outono no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 13(1): 19-30.
- Bernardo, S. & Molion, L.C.B. 2002. Comparação entre totais de precipitação observados e os estimados pelas reanálises do CDC/NCEP para o litoral do nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, Foz do Iguaçu, 2002. *Resumos expandidos*, Foz do Iguaçu, UFAL, p.1-6.
- Carvalho, J.C.; Degrazia, G.A.; Anfossi, D. & Trini Castelli, S. 2004. Study of the transport and diffusion processes in the pbl using the RAMS and spray models: application to the tract experiment. In: GRYNING, S.E. & SCHIERMEIER, F.A. (eds.). *Air Pollution Modeling and Its Application XIV*. Springer, p. 135-143.
- Cavalcanti, E.P.; Gandu, A.W. & Azevedo. 2002. Transporte e balanço de vapor d'água atmosférico sobre o Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17(2): 207-217.
- Coutinho, E.D.C & Fisch, G. 2007. Distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara-MA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22(2): 193-203.
- Coutinho, M.D.L.; Gan, M.A. & Rao, V.B. 2010. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região Tropical Sul: validação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(3): 311-323.
- Coutinho, M.D.L.; Lima, K.C.; Santos & C.M.S. 2013. Moisture transport to weather present, past and future of South America. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(4): 945-958.
- Coutinho, M.D.L.; Lima, K.C.; Santos & C.M.S. 2016. Regional climate simulations of the changes in the components of the moisture budget over South America. *International Journal of Climatology*, 36(3): 1170-1183.
- Coutinho, M.D.L.; Costa, M.S.; Gomes, A.C.S.; Moraes, M.D.C.; Jacinto, L.V.; Lima, K.C. & Sakamoto, M.S. 2017. Estudo de caso: evento meteorológico no Nordeste do Brasil entre os dias 03 e 04 de Janeiro de 2015. *Revista Brasileira de Climatologia*, 20: 182-198.
- Chen, M.; Shi, W.; Xie, P.; Silva, V. B. S.; Kousky V.E., Wayne Higgins, Y.R. & Janowiak, J.E. 2008. Assessing objective techniques for gauge - based analyses of global daily precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 113: D04110.
- Cuadra, S.V. & Rocha, R.P. 2006. Simulação numérica do clima de verão sobre o Brasil e sua variabilidade. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(2): 271-282.
- Dee, 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.; Kållberg, P.; Köhler, M.; Matricardi, M.; McNally, A.P.; Monge-Sanz, B.M.; Morcrette, J.J.; Park, B.K.; Peubey, C.; De Rosnay, P.; Tavolato, C.; Thépaut, J.N. & Vitart, F. 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137: 553-597. doi:10.1002/qj.828.
- Espinoza, E.S. 1996. *Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico Tropical*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 149 p.
- Fedorova, N.; Dos Santos, D.M.B.; Segundo, M.M.L & Levit, V. 2017. Middle Tropospheric Cyclonic Vortex in Northeastern Brazil and the Tropical Atlantic. *Pure and Applied Geophysics*, 174(1): 397-411.
- Ferreira, N.J. 2002. Utilização de imagens transmitidas por satélites meteorológicos. Publicado no livro: Terceira escola de espaço. p. 30, capítulo 10.
- 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.
- Gan, M.A. & Kousky, V.E. 1986. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 1 : 19-28.
- Giorgi F. & Shields, C. 1999. Tests of precipitation parameterizations available in latest version of NCAR regional climate model (RegCM) over continental United States. *Journal of Geophysical Research*, 104(D6): 6353-6375.
- Giorgi, F. & Mearns, L.O. 1999. Introduction to special section: Regional climate modeling revisited. *Journal of Geophysical Research*, 104(D6): 6335-6352.
- Gomes, H.B.; Ambrizzi, T.; Herdies, D.L.; Hodges, K. & Silva, B.F.P. 2015. Easterly Wave Disturbances over Northeast Brazil: An Observational Analysis. *Advances in Meteorology*, (2015). doi:10.1155/2015/176238.
- Kousky, V.E. 1979. Frontal Influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107(9): 1140 - 1153.
- Kousky, V.E. & Gan, M.A. 1981. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, 33: 538-551.
- Lima, K.C.; Satyamurty, P. & Fernández, J.P.R. 2010. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 101(1-2): 121-135.
- Marengo, J. A. 2006. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3): 1-19.
- Meneghetti, G.T. & Ferreira, N.J. 2009. Variabilidade sazonal e interanual da precipitação no Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal. *Resumos expandidos*, Natal, Anais, p.1685-1689.
- Misha, V.; Dirmeyer, P.A. & Kirtman, B.P. 2003. Dynamic downscaling of seasonal simulation over South American. *Journal of Climate*, 16(1): 103-117.
- Mota, G.V. 1997. *Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste Brasileiro*. Instituto Astronômico e Geofísico, Programa de Pós Graduação em Meteorologia. Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 92p.
- Moura, A.D & Shukla, J. 1981. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Science*, 38(7): 2653-2675.
- Nicolini, M.; Salio, P.; Katzfey, J.J. & Mcgregor, J.L. 2002. January and July regional climate simulation over South

- American. *Journal of Geophysical Research*, 107: 4637.
- Pielke, R.A.; Liston, G.E.; Eastman, J.L.; Lu, L. & Coughenour M. 1999. Seasonal weather prediction as an initial value problem, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(19): 19463–19479.
- Piva, E.D. & Anabor, V. 2007. Avaliação do Modelo BRAMS na Formação de Nevoeiro de Radiação com Forte Resfriamento Noturno. Parte II: Impacto de Diferentes Parâmetros e Parametrizações. *Ciência e Natura*, 1: 333-336.
- Piva, E. Dal & Anabor, V. 2008. Avaliação do modelo BRAMS na formação de nevoeiro de radiação em ambiente com turbulência pouco desenvolvida. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23: 417 – 430.
- Quian, J.H.; Seth, A. & Zebiak, S. 2003. Reinitialized versus continuous imulations for regional climate downscaling. *Monthly Weather Review*, 131(11): 2857-2874.
- Rao, V. B.; Cavalcanti, I. F. A. & Hada, K. 1996. Annual Variation of Rainfall Over Brazil and Water Vapor characteristics over South America. *Journal Geophysical Research*, 101(D21): 26539-26551.
- Rao, V. B.; Chapa, S.R. & Cavalcanti, I.F.A. 1998. Moisture budget in the tropics and the Walker circulation. *Journal Geophysical Research*, 103(D12): 13713-13728.
- Rauscher, S.A.; Seth, A.; Quian, J.H. & Camargo, S.J. 2006. Domain choice in an experimental nested modeling prediction system for South America. *Theoretical and Applied Climatology*, 86(1-4): 229-246.
- Reboita, M.S.; Da Rocha, R.P.; Ambrizzi, T. & Sugahara, S. 2009. South Atlantic Ocean Cyclogenesis Climatology Simulated by Regional Climate Model (RegCM3). *Climate Dynamics*, 35(7-8): 1331–1347, doi:10.1007/s00382-009-0668-7.
- Satyamurty, P.; Costa, C.P. de W. & Manzi, A.O. 2013a. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(1-2): 195-209.
- Satyamurty, P.; Costa, C.P DE W.; Manzi, A.O.; Antonio, O. & Candido, L.A. 2013b . A quick look at the 2012 record flood in the Amazon Basin. *Geophysical Research Letters*, 40: 1-6.
- Silva, V.; Kousky, V.; Shi, W. & Higgins, W. 2005. Improved CPC gridded Historical Daily precipitation Analyses Over Brazil. In: ANNUAL CLIMATE DIAGNOSTICS & PREDICTION WORKSHOP, 30, The Pennsylvania State University – USA, October 24-28, p. 3-16.
- Shi, W.; Higgins, R.W.; Yarosh,, E. & Kousky, V.E. 2000. The annual cycle and variability of precipitation in Brazil. Ncep/Climate Prediction Center. Disponível em <http://www.cpc.noaa.gov/products/outreach/research_papers/ncep_cpc_atlas/9>.
- Wang C. 2002. Atlantic climate variability and its associated atmospheric circulation cells. *Journal of Climate*, 15: 1516-1536.