



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Influência da variabilidade intrassazonal das ondas equatoriais e da Oscilação Madden-Julian no desenvolvimento de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis ocorrido em fevereiro de 2020

Matheus José Arruda Lyra¹, Hugo Alves Braga²

¹Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Campina Grande, PB. matheuslyraa@gmail.com

² Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, SP. hugo.braga@iag.usp.br

Artigo recebido em 03/10/2022 e aceito em 25/03/2023

RESUMO

Neste trabalho foi avaliada a propagação de uma onda equatorial com origem na Oceania, através da Oscilação Madden-Julian (OMJ) e sua influência sobre o desenvolvimento de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) na região Nordeste do Brasil (NEB) que afetou parte do estado de Alagoas, provocando chuvas acima da média para o mês de fevereiro em menos de 12 horas. A identificação e análise do deslocamento da onda equatorial foi feita através do campo de supressão e convecção com relação a velocidade potencial (CHI), e também pelo diagrama de Hovmöller. O acompanhamento da progressão para leste da OMJ foi observado através diagrama de fases do Real Multivariate OMJ index (RMM). Através da análise do diagrama de fases da OMJ, observou-se a mesma ativa na transição entre as fases 6 e 8, e a mesma perdeu sua intensidade da mesma maneira em que o VCAN se dissipou. No período entre os dias 19 a 23 de fevereiro houve o sinal do evento extremo ocorrido, também havendo indício de uma propagação para oeste vinculada ao mesmo fenômeno atmosférico com uma característica de onda equatorial de mais alta frequência. A OMJ pode não ter sido o principal distúrbio de propagação equatorial que provocou o evento extremo ocorrido no estado de Alagoas nos dias 20 e 21 de fevereiro decorrente do vórtice. Porém ficou evidente a predominância de uma propagação de oeste no domínio equatorial que favorecera a intensificação do VCAN ocorrido no NEB.

Influence of intra-seasonal variability of equatorial waves and Madden-Julian Oscillation in the Upper Tropospheric Cyclonic Vortex development occurred in february 2020

ABSTRACT

In this work, the propagation of an equatorial wave originating in Oceania was evaluated through the Madden-Julian Oscillation (MJO) and its influence on the Upper Tropospheric Cyclonic Vortex (UTCV) development in the Northeast Brazil (NEB), that affected part of Alagoas state, provoking high intense rainfall for February in less than 12 hours. The identification and analysis of the equatorial wave displacement was performed through the suppression and convection field with respect to potential velocity (CHI), and through the Hovmöller diagram. The MJO westward progression was observed through the phase diagram of the Real Multivariate MJO index (RMM). Through the analysis of the MJO phase diagram, it was active in the transition between phases 6 and 8, and it lost intensity in the same way that the UTCV dissipated. There was the signal of the extreme event that occurred between February 19 and 23, also indicating a westward propagation linked to the same atmospheric phenomenon with a higher frequency equatorial wave characteristic. The MJO may not have been the main disturbance of equatorial propagation that provoked the extreme event occurred in the Alagoas state on February 20 and 21 due to the vortex. However, the predominance of a westward propagation in the equatorial domain was evident, which favored the UTCV intensification that occurred in the NEB.

Introdução

A Oscilação Madden-Julian (OMJ) é a principal forçante de variabilidade intrassazonal na região tropical do Brasil, especificamente na Amazônia e na região Nordeste (NEB) do país (Valadão et al., 2017; Mayta et al., 2018). Acordo com De Souza e Ambrizzi (2006), esta oscilação é compreendida a partir da propagação de ondas equatoriais longas de número 1 ou 2 com propagação para leste em um período de 30 a 60 dias até que se complete seu ciclo intrassazonal, onde o compreendemos em 8 fases. A OMJ é uma resposta anômala tanto da célula de Walker como da célula de Hadley, contribuindo com sinais de baixa frequência para supressão ou convecção de sistemas atmosféricos tropicais (Jiang et al., 2020). Shimizu et. al (2016) destacam que durante anos neutros (aqueles em que o oceano pacífico central não é forçado pela variabilidade interanual do ENOS), a OMJ representa a maior quantidade de eventos extremos úmidos no NEB durante suas fases 7, 8 e 2. Durante eventos de El Niño tem-se mais eventos secos e para os eventos de La Niña um padrão semelhante ao padrão Neutro é identificado com relação aos extremos de precipitação (Kayano e Andreoli, 2006). Durante verões de La Niña, as atividades das ondas atmosféricas relacionadas a OMJ tendem a ser mais fortes, devido a um aumento em seu componente durante a fase 2 (Ma et al., 2020). Ambrizzi et al. (1995) definiram regiões propícias para teleconexões atmosféricas durante o inverno austral, sendo que ondas na escala de 10 a 30 dias marcam guias de propagação de energia sobre o Hemisfério Sul. Posteriormente, Vasconcelos Junior et al. (2021) documentou a influência e as características da atuação da OMJ sobre eventos extremos de precipitação em intensidade e em área no norte do NEB durante o período da pré-estação e estação chuvosa, onde há principalmente a influência da Zona de Convergência Intertropical (Uvo e Nobre, 1989; Muanza et al., 2022) e dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN; Lyra et al., 2022) sobre a região.

Os VCAN têm papel crucial no regime pluviométrico do NEB, principalmente durante os meses da pré-estação chuvosa da região (dezembro-fevereiro). O estudo dos vórtices tem sido discutido ao longo dos anos por Kousky e Gan (1981); Rao e Bonatti (1987); Mishra et al. (2001); Fedorova et al. (2018); Lyra e Arraut (2020); Repinaldo et al. (2020); Reis et al. (2021) devido a sua importância para a região, visto que os VCAN atingem com maior intensidade o Sertão da região nordeste do Brasil. Onde este setor possui baixos totais pluviométricos anuais (entre 200-500 mm/ano), decorrentes de movimentos subsidentes na região ao longo de todo o ano (Hastenrath e Heller, 1977; Molion e Bernardo, 2002; Reboita et al., 2010; Ferreira et al., 2019).

A região metropolitana de Maceió/AL e a costa leste do estado de Alagoas apresentaram um acumulado de precipitação de aproximadamente 100 mm do dia 19 a 21 de fevereiro decorrentes da convecção provocada pelo vórtice em análise. Neste estudo pretende-se compreender o impacto da variabilidade intrassazonal da OMJ e sua influência de escala global no desenvolvimento do VCAN que atingiu o NEB, visto que impactos da baixa frequência atmosférica nos vórtices de altos níveis da faixa tropical ainda é um tema pouco explorado na literatura.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo compreende os paralelos 40° S a 30° N e os meridianos 0 a 100° W, tendo como foco o estado de Alagoas, situado no Nordeste do Brasil (Figura 1). O estado de Alagoas situa-se à leste do NEB, aproximadamente entre as latitudes 10,5° S - 8,82° S e longitudes 38,21° W - 35,16° W. O estado possui área total de 27.768 km² e é dividido em três mesorregiões: Zona da Mata, Agreste e Sertão, possuindo dois tipos de classificação climática: semiárido e tropical úmido. A análise dos sistemas de escala global estendeu-se por toda a faixa tropical do globo (30° S – 30° N).

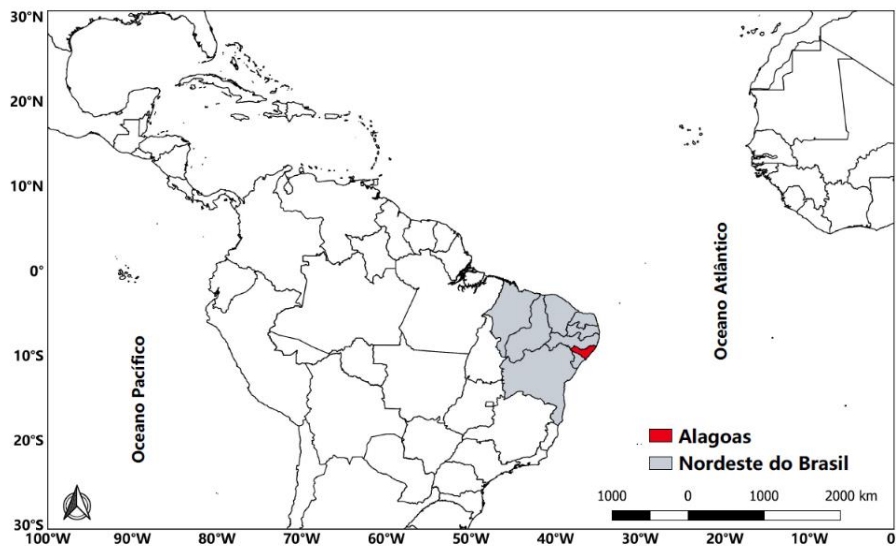


Figura 1. Mapa da região de estudo.

Produtos de Satélite

A identificação do VCAN foi realizada através de imagens do satélite *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES-16), no canal Infravermelho (IR; 11.2μ) em intervalos de 1 hora utilizando a metodologia empregada por Kousky e Gan (1981) e Ramirez (1997) através da análise conjunta com o campo de vorticidade. Estas imagens foram disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

Dados de reanálise

A análise sinótica do VCAN foi realizada através dos dados de reanálise global do ERA5 fornecidos pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) com resolução de $0,25^\circ$ de latitude por $0,25^\circ$ de longitude. Com o auxílio do software *Open Grid and Analysis Display System* (OpenGrADS), estes dados foram utilizados para a plotagem dos campos de direção e magnitude do vento ($m \cdot s^{-1}$) de baixos a altos níveis da atmosfera (925, 850, 500 e 300 hPa) para os quatro horários sinóticos (00, 06, 12, 18 UTC). Na análise da variabilidade intrassazonal foi utilizada a variável CHI no nível de 300 hPa que descreve a função da velocidade potencial ($10^6 m^2 \cdot s^{-1}$) em razão das componentes divergentes e convergentes do vento.

Dados de precipitação

No presente estudo duas fontes distintas de dados foram empregadas ao longo da análise com o intuito de avaliar o impacto de sistemas de escala global e local (sobre o estado de Alagoas).

Os dados diários de precipitação estimada foram oriundos do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) com resolução de $2,5^\circ$ de latitude por $2,5^\circ$ de longitude. A representação desses dados foi feita através de imagens diárias (mm/24h) e através das médias semanais de precipitação do mês de fevereiro de 2020.

As informações referentes às precipitações sobre o estado de Alagoas foram fornecidas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH-AL) através dos dados diários de 126 estações automáticas e convencionais situadas sobre o estado.

Resultados e discussão

A formação do VCAN (Figura 2) teve início no dia 18 de fevereiro, desenvolvendo-se através da interação entre um cavado em altos níveis e a Alta da Bolívia, correspondendo ao tipo de desenvolvimento descrito por Kousky e Gan (1981). Seu desenvolvimento total durou aproximadamente 5 dias, onde sua dissipação ocorreu no dia 23 de fevereiro. O vórtice apresentou características de um sistema estacionário, de acordo com os critérios estabelecidos por Ramirez et al. (1999), onde o núcleo do vórtice manteve-se fixado sobre o estado da Bahia entre os dias 19 e 20 devido a um bloqueio em altos níveis provocado pela Alta Bolívia. Após o enfraquecimento desse bloqueio, o vórtice deslocou-se para Noroeste. De acordo com Reis et al. (2021) as regiões preferenciais de ocorrência de VCAN no NEB são a região central de Pernambuco; o litoral na divisa entre Pernambuco e Paraíba; litoral norte da Bahia; região central e sul da Bahia.

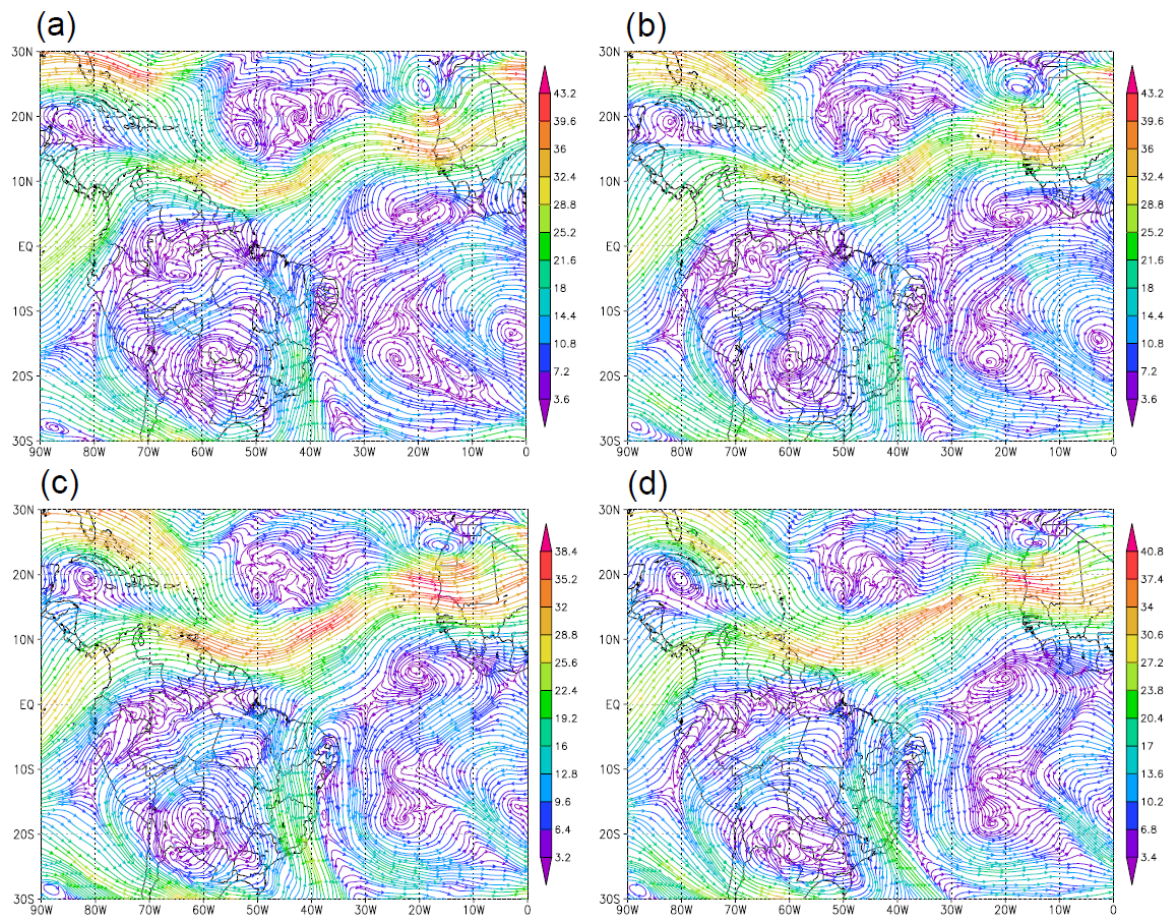


Figura 2. Linhas de corrente ($m.s^{-1}$) em 300 hPa para o dia 18 de fevereiro de 2020 às 00UTC (a); 06UTC (b); 12UTC (c) e 18UTC (d).

As fortes chuvas que atingiram parte do estado de Alagoas ocorreram no dia 20 de fevereiro, onde observando os campos de linhas de corrente pôde-se identificar a periferia Nordeste do VCAN atingindo todo o estado. Segundo Kousky e Gan (1981), os movimentos convectivos associados aos vórtices ocorrem nas suas periferias leste e oeste, onde nesta última há uma maior atividade convectiva. Uma análise recente de Lyra e Arraut (2020) apresentou um estudo de caso onde a periferia leste do vórtice foi caracterizada por forte inibição convectiva. Sendo este elevado valor pluviométrico provocado nesta seção do VCAN (Nordeste) caracterizado por uma baixa frequência, segundo a literatura. (Silva, 2005; Silva et al., 2006; Germano et al., 2016; Repinaldo et al., 2020).

A análise vertical da atmosfera iniciou-se através da análise das linhas de corrente em baixos,

médios e altos níveis da troposfera (Figura 3) para as 00 UTC do dia 20 de fevereiro. Em 925 hPa (a) a costa leste do NEB esteve sob influência dos ventos alísios, decorrentes do anticiclone subtropical (centro observado aproximadamente em 33° S e 5° W), enquanto a Zona de Convergência Intertropical concentrava-se próxima à linha do Equador. Em 850 hPa (b) foi identificado um escoamento de Leste, com a presença de um cavado atingindo o estado de Sergipe e o norte da Bahia. No nível de 500 hPa (c) o estado de Alagoas localizava-se na interseção de dois sistemas ciclônicos de médios níveis (um de escoamento ciclônico à oeste e outro anticiclônico, à leste). Por fim, em 300 hPa (d) a influência do VCAN sobre grande parte do NEB foi perceptível, onde parte da sua periferia nordeste foi observada influenciando o aumento de convecção sobre o estado de Alagoas.

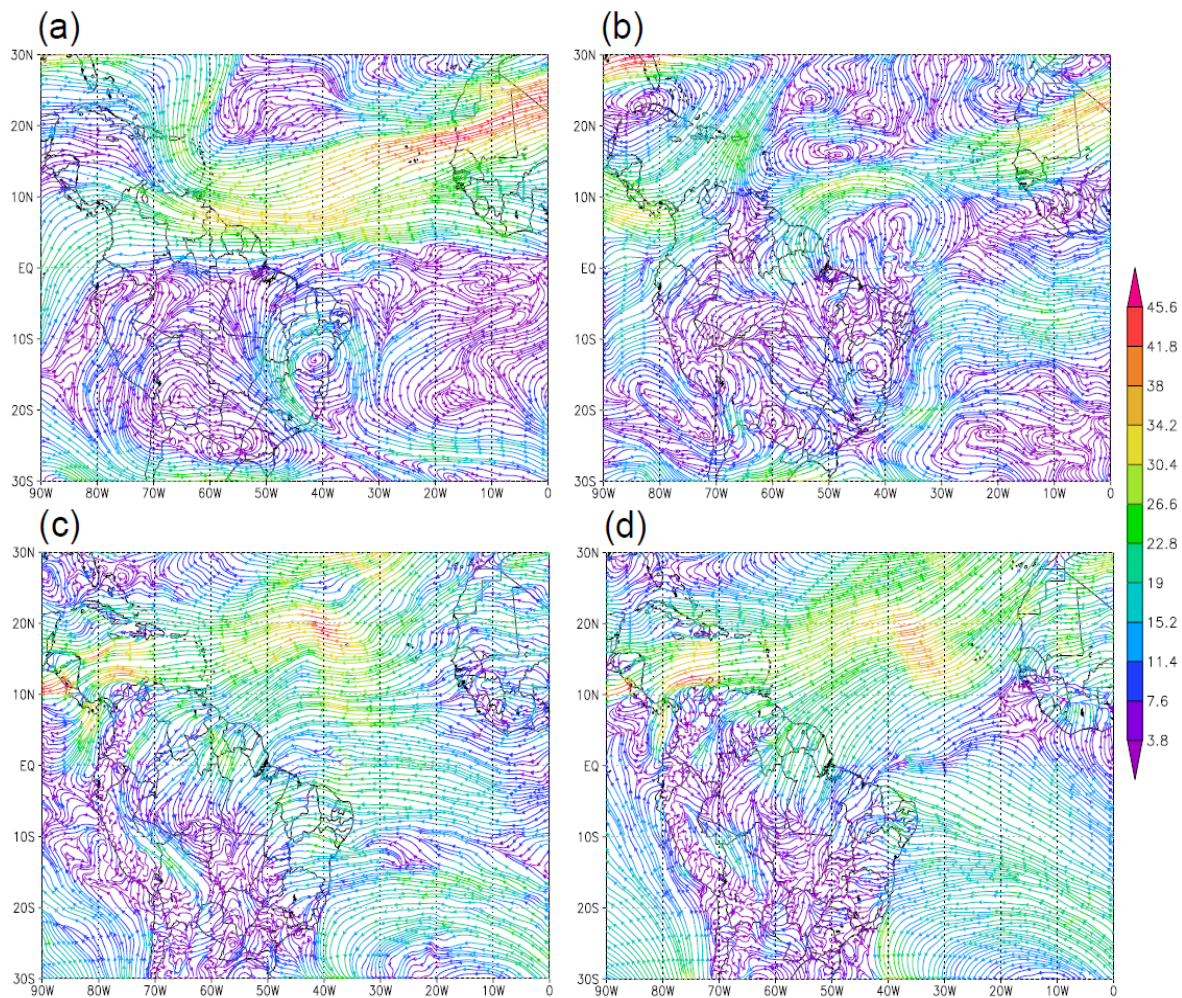


Figura 3. Linhas de corrente (m/s) para o dia 20 de fevereiro das 2020 às 00 UTC para níveis de 925 hPa (a); 850 hPa (b); 500 hPa (c) e 300 hPa (d).

Nas análises dos compostos referentes aos dias que antecederam a formação do VCAN, ficou clara a contribuição da variabilidade intrassazonal na sua intensificação, nos compostos referente ao CHI (Figura 4), a qual é uma variável que representa a supressão e convecção com relação a velocidade potencial, fica evidente uma progressão de oeste para leste justamente entre as fases 5 e 8 do diagrama de fase Real Multivariate OMJ index (RMM) do Bureau of Meteorology (BOM) do governo australiano, onde no dia 19 observou-se uma OMJ ativa na fase 6 e ao deslocar-se à fase 8, a mesma foi perdendo sua intensidade da mesma maneira em que o VCAN se dissipou. Assim indicando uma intensificação convectiva na região do VCAN por meio da variabilidade de baixa frequência.

Para o verão austral, Ambrizzi e Hoskins (1997); Braga et al. (2022) mostraram que a região entre o Pacífico Sul e América do Sul é uma rota propícia à propagação de energia.

Mayta et al. (2018), Mayta et al. (2019) e Mayta et al. (2021) destacaram os efeitos da propagação de oeste para leste das ondas confinadas equatoriais, que propagam-se sobre o Oceano Pacífico, no favorecimento da convecção na região amazônica, demonstrando os efeitos da OMJ tanto na porção equatorial da América do Sul, quanto nos subtrópicos via ondas de Rossby barotrópicas extratropicais, excitadas por modos baroclínicos. Com base nisto, influências semelhantes também são esperadas sobre o NEB, sendo destacadas nas figuras 4, 5 e 7 a partir da propagação de leste de um trem de ondas longo, semelhante ao sinal característico de propagação da OMJ.

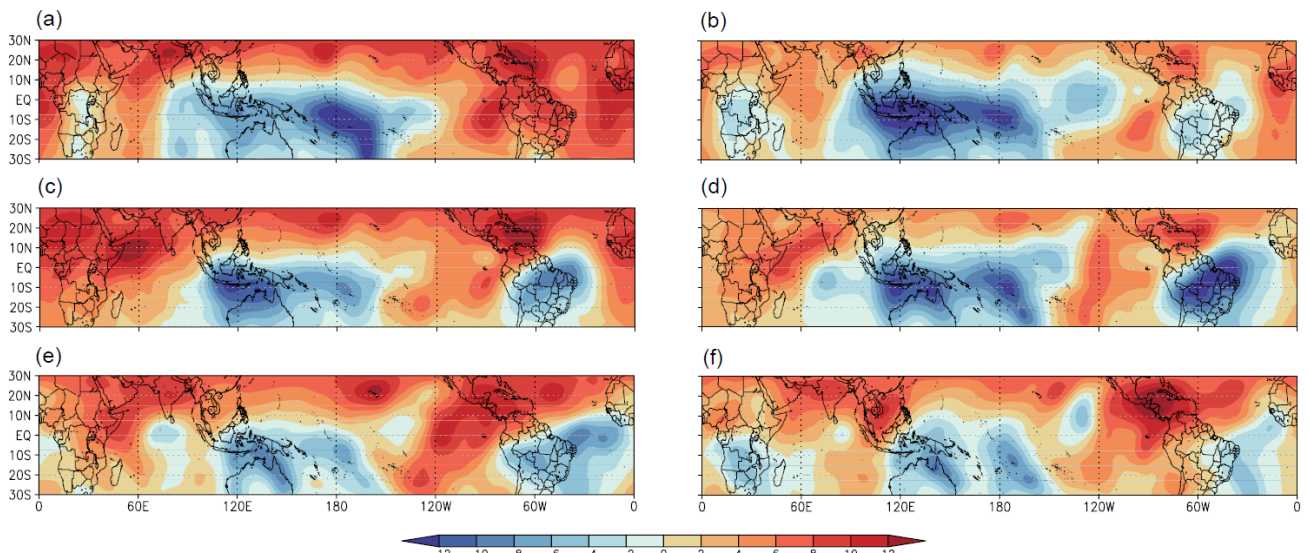


Figura 4. Campo de compostos de CHI ($10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) para os dias 18 (a); 19 (b); 20 (c); 21 (d); 22 (e) e 23 (f) de fevereiro de 2020.

Ao observar o diagrama de Hovmoller da Figura 5, fixado na latitude de 13°S , é evidente a propagação de oeste para leste da nebulosidade no período de 30 dias propagando sobre o oceano pacífico sul tropical. Durante o período de 19 a 23 de fevereiro há o sinal do evento extremo ocorrido, na mesma rota dos sinais de convecção mais profundos, identificados pela velocidade potencial (CHI), característicos de uma propagação de oeste.

Também há indícios de uma propagação para oeste vinculada ao mesmo fenômeno atmosférico com uma característica de onda equatorial de mais alta frequência, semelhante ao sinal dinâmico das ondas de Rossby equatoriais. O que demonstra que o VCAN ocorrido no dia 20 de fevereiro pôde ser considerado como um sistema atípico e anômalo, com influência da variabilidade intrassazonal e de baixa frequência.

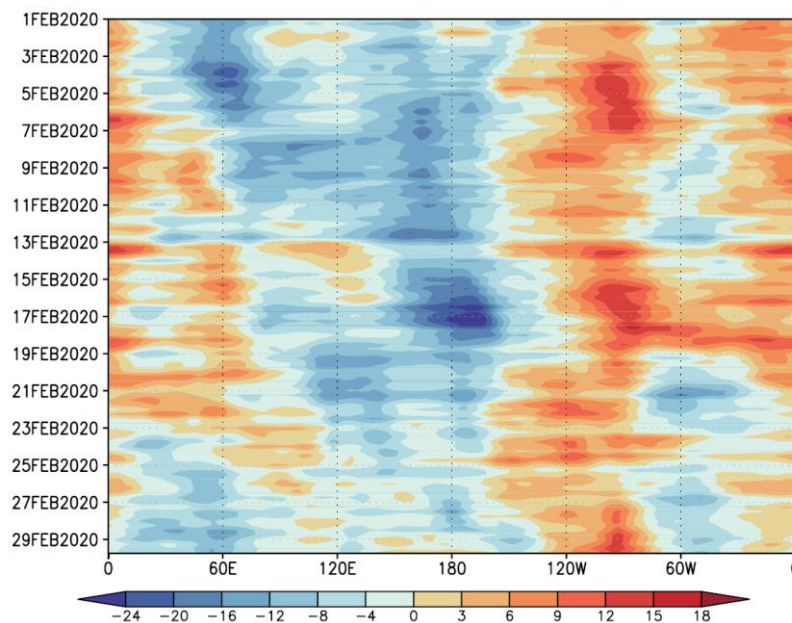


Figura 5. Diagrama de Hovmoller de CHI ($10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) no período de 01 a 29 de fevereiro de 2020 para a latitude de 10°S .

De acordo com as informações relativas aos valores pluviométricos das estações meteorológicas fornecidas pela SEMARH-AL, a precipitação gerada pelo VCAN atingiu com

grande intensidade a capital (Maceió), além de todo o setor leste do estado. (Figura 6). Na cidade de Maceió, foram registrados aproximadamente 120 mm/dia, sendo 68 mm em apenas 12 horas. As

fortes chuvas provocaram fortes deslizamentos de terra e diversos alagamentos (ver e.g., G1, 2020). De acordo com Molion e Bernardo (2002); Silva et al. (2012); Lyra et al. (2018), o período de maior precipitação sobre o estado de Alagoas estende-se entre os meses de abril e julho, onde a média mensal de precipitação em fevereiro fica em torno de 90 mm/mês. Segundo Germano et al. (2016), os vórtices foram responsáveis, no período entre 2011

e 2015, por cerca de 50% dos eventos de precipitação extrema na cidade de Maceió, onde os casos mais duradouros ocorreram entre dezembro e fevereiro. Porém, para estes casos analisados, apenas análises sinóticas locais foram abordadas, sem a observação de fenômenos atmosféricos de escala intrassazonal, o que reforça a importância da análise realizada ao longo desse estudo.

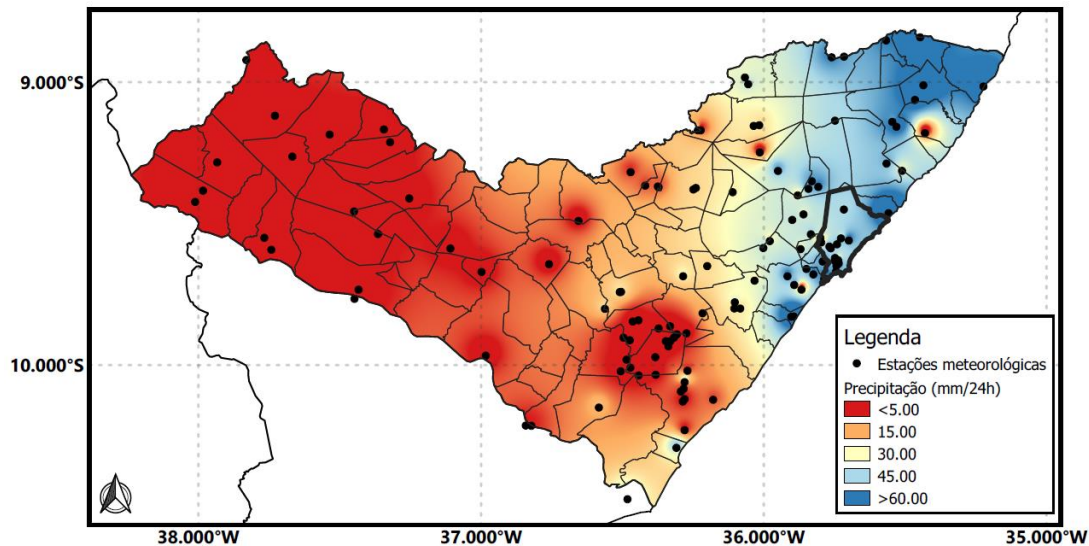


Figura 6. Dados pluviométricos (mm/24h) das estações meteorológicas do estado de Alagoas.

Segundo Liebmann et al. (2011) a OMJ é um mecanismo gerador para eventos de extremos severos de precipitação no NEB, principalmente pelo fato dos padrões de precipitação e circulação na região estarem associados às anomalias de TSM dos oceanos adjacentes. Ao analisar a precipitação no domínio subtropical global do dia 18 a 23 de fevereiro de 2020, referentes a Figura 7, ficou

evidente o desenvolvimento dos acumulados de precipitação em fase com o observado pelo CHI na Figura 4. Onde é claro o favorecimento da convecção a partir de uma propagação de oeste para leste na região equatorial, resultando em um evento extremo de precipitação atípico para o mês de fevereiro no oeste do estado de Alagoas.

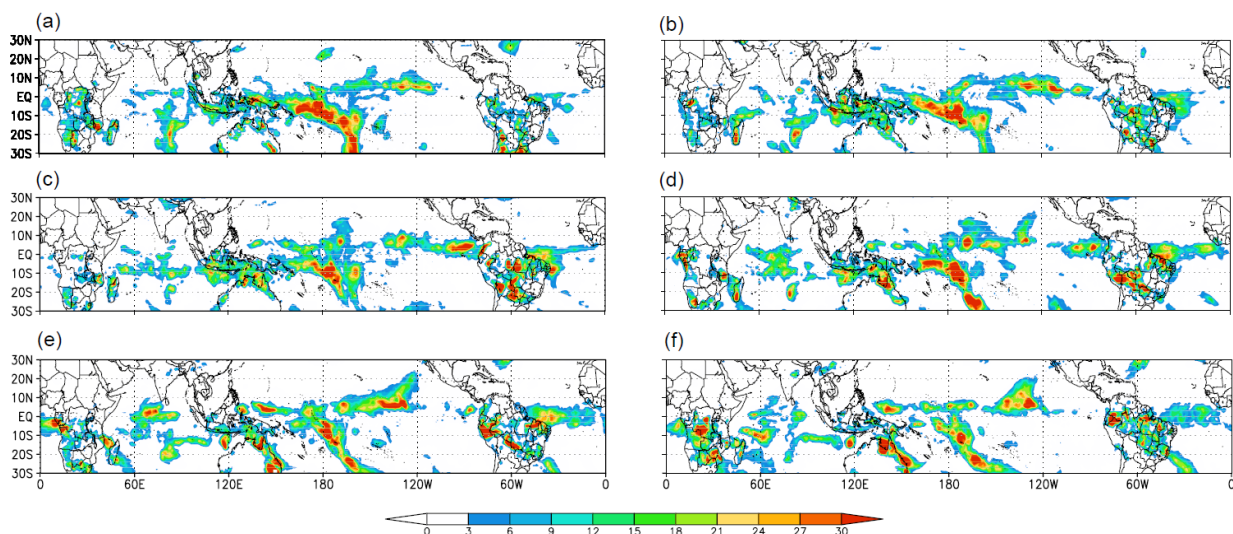


Figura 7. Acumulados pluviométricos (mm/dia) para os dias 18 (a); 19 (b); 20 (c); 21 (d); 22 (e) e 23 (f) de fevereiro de 2020.

A análise do diagrama de Hovmoller (semelhante ao campo de CHI da Figura 5) foi realizado também para precipitação e os resultados são semelhantes. A propagação para leste é clara em quase todo o desenvolvimento da precipitação durante o mês de fevereiro no domínio do oceano pacífico sul. Nas longitudes referentes ao Brasil de 80° W a 35° W têm-se uma intensificação da

precipitação a partir de um núcleo de acumulado de precipitação representativo no dia 21 de fevereiro e um sinal de precipitação para leste mais próxima das longitudes referentes ao NEB de 50° W a 35° W, podendo ser um sinal característico de uma onda equatorial de alta frequência representativo de ondas de Rossby equatoriais.

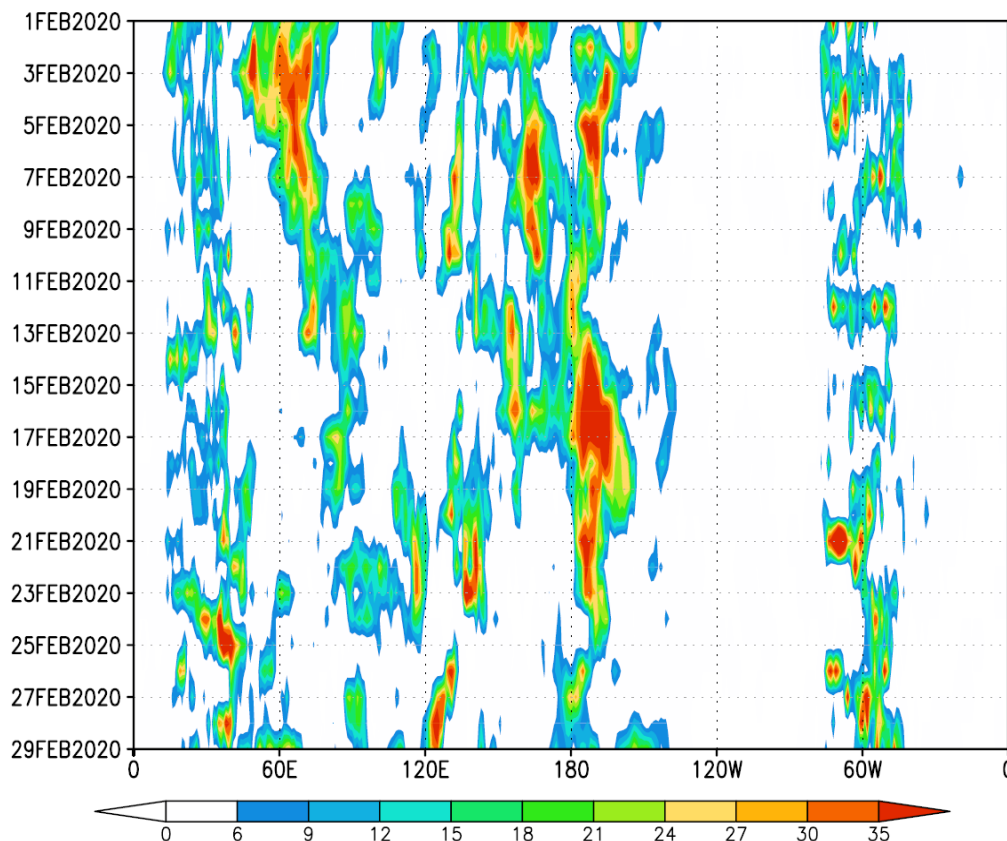


Figura 8. Diagrama de Hovmoller de precipitação (mm/dia) no período de 01 a 29 de fevereiro de 2020 para a latitude de 10° S.

Na Figura 9 é apresentado o diagrama de fase da OMJ RMM1 e RMM2, ainda que não apresente um sinal coerente ou ativo, mesmo migrando das fases 6 para 8, da região oeste do Pacífico à América do Sul é possível identificar uma propagação para oeste tanto nos diagramas Hovmoller das Figuras 5 e 8 tanto nos desenvolvimentos diários da precipitação e do

CHI. A OMJ pode não ter sido o principal sistema de baixa frequência ou o distúrbio principal de propagação equatorial de causa para o evento extremo ocorrido no estado de Alagoas nos dias 20 e 21 de fevereiro. Porém, é evidente que uma propagação de oeste no domínio equatorial favoreceu a intensificação de sistemas convectivos poucos dias antes da formação do VCAN no NEB.

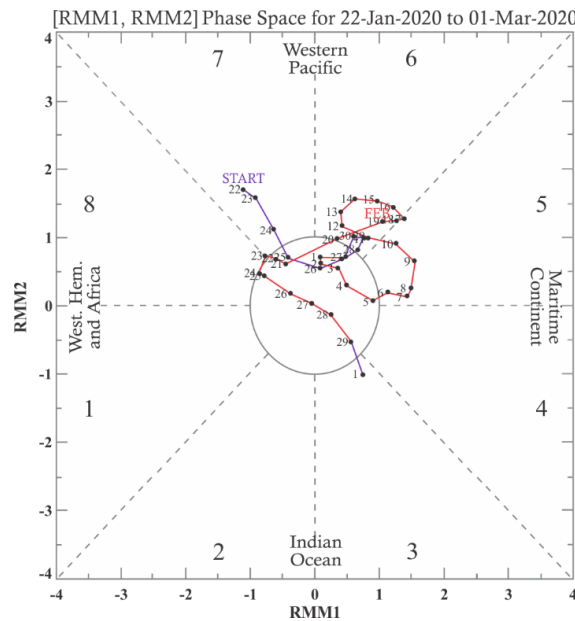


Figura 9. Diagrama de fase da oscilação Madden-Julian durante 22 de janeiro a 01 de março de 2020. Os eixos (RMM1 e RMM2) representam valores diários dos componentes principais dos dois modos principais. Os pontos são para cada dia. A distância da origem é proporcional à intensidade de OMJ.

Conclusões

A gênese do VCAN teve início no dia 18 de fevereiro, através da interação entre um cavado em altos níveis e a Alta da Bolívia, corroborando com a formação desses sistemas descritos na literatura. O desenvolvimento total do vórtice durou aproximadamente 5 dias, onde sua dissipação ocorreu no dia 23 de fevereiro, apresentando um curto período de vida em relação aos sistemas que comumente desenvolvem-se durante esse período.

O campo de CHI indicou uma progressão para oeste justamente entre as fases 5 e 8 do diagrama de fases da OMJ, indicando uma intensificação convectiva na região de atuação do VCAN por meio da variabilidade de baixa frequência.

O diagrama de Hovmöller evidenciou a propagação para oeste da nebulosidade no período de 30 dias, deslocando-se pelo oceano pacífico sul tropical, onde no período de 19 a 23 de fevereiro houve o sinal do evento extremo ocorrido no NEB.

A intensificação do evento extremo de precipitação provocado pela convecção do VCAN foi favorecida a partir da propagação de oeste na região equatorial, causando um evento bastante atípico para o mês de fevereiro no estado de Alagoas.

Referências

- Ambrizzi, T.; Hoskins, B.J. 1997. Stationary rossby-wave propagation in a baroclinic atmosphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 123, 919-928. <https://doi.org/10.1002/qj.49712354007>.
- Ambrizzi, T.; Hoskins, B.J.; Hsu, H.-H. 1995. Rossby wave propagation and teleconnection patterns in the austral winter. *Journal of the Atmospheric Sciences* 52, 3661–3672.
- Braga, H.A., Ambrizzi, T., Hall, N M. J. 2022. Relationship between interhemispheric Rossby wave propagation and South Atlantic convergence zone during La Niña years, *International Journal of Climatology* 10, 1-13. <https://doi.org/10.1002/joc.7755>.
- De Souza, E.B. e Ambrizzi, T. 2006. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden–Julian oscillation. *International Journal of Climatology* 26, 1759-1776. <https://doi.org/10.1002/joc.133>.
- Fedorova, N., V. Levit, and A.M. V. 2018. Campos. Brazilian northeast jet stream: association synoptic-scale systems. *Meteorological Applications* 25, 261-268. <https://doi.org/10.1002/met.1693>.
- Ferreira, L.G.C., Kemenes, A. 2019. A influência dos eventos climáticos extremos sobre reservatórios do nordeste. *Revista Brasileira de Climatologia* 15, 182-203.

- G1, <https://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2020/02/20/choveu-nesta-quinta-em-maceio-80percent-da-chuva-prevista-para-o-mes-de-fevereiro-aponta-meteorologia.ghtml>, acessado em 27/07/2022.
- Germano, A.S.; Amorim, R.F.C.; Delgado, J.R.; Santos, J.B. 2016. Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis que provocaram precipitações extremas nas cidades de Recife, Maceió e Aracaju no período de 2011 a 2015. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 2377-2389. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20160170>.
- Hastenrath, S. Heller, L. 1977. Dynamics of climate hazards in northeast Brazil. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 103, 77-92. <https://doi.org/10.1002/qj.49710343505>.
- Jiang, X., Adames, Á. F., Kim, D., Maloney, E. D., Lin, H., & Kim, H., et al. 2020. Fifty years of research on the Madden-Julian Oscillation: Recent progress, challenges, and perspectives. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 125, 1-64. <https://doi.org/10.1029/2019JD030911>.
- Kousky, V.E., Gan, M.A. 1981. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus* 33, 538-551. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1981.tb01780.x>.
- Liebmann, B.; Kiladis, G.N.; Allured, D.; Vera, C.D.; Jones, C.; Carvalho, L.M.V.; Bladé, I.; Gonzáles, P. L. M. 2011. Mechanisms Associated with Large Daily Rainfall Events in Northeast Brazil. *Journal of Climate* 24, 376-396. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3457.1>
- Lyra, M.J.A.; Arraut, J. 2020. Thermodynamic Analysis of an Upper-Tropospheric Cyclonic Vortex over Northeastern Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências* 43, 302-309. https://doi.org/10.11137/2020_4_302_309.
- Lyra, M., Arraut, J., and Braga, H. 2022. The Upper Tropospheric Cyclonic Vortex Influence over Moisture Convergence and Precipitation on Brazilian Northeastern , EGU General Assembly, Vienna. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-2851>.
- Ma, J., Chen, W., Nath, D., Lan, X. 2020. Modulation by ENSO of the relationship between stratospheric sudden warming and the Madden-Julian oscillation. *Geophysical Research Letters* 47, 1-10. <https://doi.org/10.1029/2020GL088894>.
- Mayta, V. C. 2019. Impactos de la oscilación de Madden-Julian en la variabilidad de la lluvia intraestacional del Amazonas. *Boletín técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño*. Instituto Geofísico del Perú 6 (10), 5-8.
- Mayta, V.C., Ambrizzi, T., Espinoza, J.C., Silva Dias, P.L. 2019. The role of the Madden-Julian oscillation on the Amazon Basin intraseasonal rainfall variability. *International Journal of Climatology* 39, 343-360. <https://doi.org/10.1002/joc.5810>.
- Mayta, V.C., Silva, N.P., Ambrizzi, T. et al. 2020. Assessing the skill of all-season diverse Madden-Julian oscillation indices for the intraseasonal Amazon precipitation. *Climate Dynamics* 54, 3729-3749. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05202-9>
- Mishra, S. K.; Rao, V.B.; Gan, M.A. 2001. Structure and evolution of the large-scale flow of an embedded upper-tropospheric cyclonic vortex over Northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 129, 1673-1688. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129%3C1673:SAEOTL%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129%3C1673:SAEOTL%3E2.0.CO;2).
- Molion, L.C.B., Bernardo, S.O. 2002. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.
- Muanza, G.A. ; Fedorova, N.; Levit, V. 2022. Ligação da extremidade frontal com zona de convergência intertropical (zcit) e análise de fenômenos associados. *Revista de Geociências do Nordeste* 8, 231-243.
- Rao, V. B. and Bonatti, J.P. 1987. On the origin of upper tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic Ocean and adjoint Brazil during the summer. *Meteorology and Atmospheric Physics* 37, 11-16.
- Reboita, M.S.; Gan, M.A.; Rocha, R.P.; Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação da América do Sul: Uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 185-204.
- Reis, J.S.; Gonçalves, W.A.; Mendes, D. 2021. Climatology of the dynamic and thermodynamic features of upper tropospheric cyclonic vortices in Northeast Brazil. *Climate Dynamics* 57, 3413-3431. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05873-y>.
- Repinaldo, H.F.B. Fedorova, N.; Levit, V.; Repinaldo, C.R.R. 2020. Tropospheric Cyclonic Vortex and Brazilian Northeast Jet Stream over Alagoas State: Circulation Patterns and Rainfall. *Revista Brasileira de Meteorologia* 35, 745-754. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786355000003>.
- Shimizu, M. H., Ambrizzi, T., Liebmann, B. 2016. Extreme precipitation events and their

- relationship with ENSO and MJO phases over northern South America. *International Journal of Climatology* 37, 1-13. <https://doi.org/10.1002/joc.4893>.
- Silva, B.F.P.D., Fedorova, N., Levit, V., Peresetsky, A.; Brito, B.M.D. 2012. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 323-338.
- Uvo, C.R.B.; Nobre, C.A. 1989. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. *Climanálise* 4, 34-40.
- Valadão, C.E.A., Carvalho, L.M.V., Lucio, P.S. and Chaves, R.R. 2017. Impacts of the Madden-Julian oscillation on intraseasonal precipitation over Northeast Brazil. *International Journal of Climatology* 37, 1859-1884. <https://doi.org/10.1002/joc.4818>.
- Vasconcelos Junior, F.C, Jones, C, Gandu, A.W, Martins, E.S.P.R. 2021. Impacts of the Madden-Julian Oscillation on the intensity and spatial extent of heavy precipitation events in northern Northeast Brazil. *International Journal of Climatology* 41, 3628-363. <https://doi.org/10.1002/joc.7039>.