

Artigo

A Variabilidade Intrassazonal e Interanual do Acoplamento entre a Zona de Convergência do Atlântico Sul e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

Hugo A. Braga¹ , Tercio Ambrizzi¹ 

¹*Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.*

Recebido em: 29 de Junho de 2022 - Aceito em: 15 de Agosto de 2022

Resumo

A relação entre a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) foi analisada durante 34 verões austrais, de acordo com as fases positivas, negativas e neutras do El Niño Oscilação Sul (ENOS). Anomalias das componentes zonais e meridionais do vento, foram calculadas com base na climatologia de 1979-2013 no nível de 200 hPa, e submetidos ao filtro de Lanczos nas bandas temporais de 20-90 dias e 200 dias passa baixa, com a intenção de destacar as variabilidades intrassazonal e interanual, através da análise observacional de três composições médias de ZCAS referentes às fases positiva, negativa e neutra do ENOS. As composições filtradas nas bandas intrassazonal e interanual revelam a intensificação do VCAN tanto para os casos de ZCAS-El Niño e de ZCAS-Neutras, enquanto que a variabilidade interanual durante eventos de ZCAS sob anos de La Niña inibem a ação do VCAN próximo do continente a partir de uma circulação anticiclônica na região.

Palavras-chave: ZCAS, VCAN, La Niña.

The Intraseasonal and Interannual Variability of The Coupling Between the South Atlantic Convergence Zone and the Upper Tropospheric Cyclonic Vortex

Abstract

The relationship between the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and the Upper Tropospheric Cyclonic Vortex (UTCV) was analyzed over 34 summers, with positive, negative and neutral phases of El Niño Southern Oscillation. Zonal and meridional wind components anomalies, calculated based on climatology between 1979-2013 at the level of 200 hPa, were submitted to the Lanczos filter for 20-90 days and 200 days low pass bands, with the intention of highlighting intraseasonal and interannual variability, ensuring three mean compositions of SACZ referring to the positive, negative and neutral phases of ENSO. The compositions for the intraseasonal and interannual band reveal the intensification of the UTCV for both SACZ-El Niño and SACZ-Neutral, while the interannual variability during SACZ events under La Niña activity inhibit the formation of the UTCV near the continent due to anticyclonic circulation in the area.

Keywords: SACZ, UTCV, La Niña.

1. Introdução

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é uma banda de nebulosidade subtropical característica do verão austral na América do Sul, facilmente identificada nos compostos climatológicos de precipitação e Radiação de Onda Longa (ROLE), devido a sua persistência e influência no clima local. Esta banda de nebulosidade é res-

ponsável por muitos impactos na variabilidade de água no Brasil, seja para consumo humano, irrigação na agricultura, reservatórios de água e produção de energia hidrelétrica que é responsável por aproximadamente 65% da matriz energética brasileira (Balanço de Energia Brasileiro - 2020), sendo a região Sudeste a que concentra a maior quantidade, e também a mais impactada pelas variações da ZCAS.

A ZCAS é uma das principais perturbações atmosféricas responsável pela precipitação na região Sudeste do Brasil durante os meses de primavera e verão austral, com aproximadamente 10 mm/dia, a partir de uma banda de nebulosidade diagonal persistente com no mínimo 4 dias consecutivos e orientação noroeste-sudeste, que se estende da Amazônia até o Sudoeste do Oceano Atlântico Sul (Kodama, 1992, 1993; Carvalho *et al.*, 2002, 2004; Ambrizzi e Ferraz, 2015; Nielsen *et al.*, 2019; Rosa *et al.*, 2020). Estruturas semelhantes a ZCAS são encontradas no Pacífico Sul e Índico Sul, embora a Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS) não seja tão marcante quanto a ZCAS e a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS). A ZCAS é observada através do canal de infravermelho dos produtos gerados por satélites, sendo uma banda frontal situada sobre a região Sudeste do Brasil, e parte do Oceano Atlântico Sul, durante um período de 4 a 20 dias (Figueroa *et al.*, 1995; Carvalho *et al.*, 2002; Ninomiya, 2007). Para estabelecer este sistema atmosférico o seguinte critério deve ser observado: 1) convergência de umidade em 850 hPa com permanência mínima de 4 dias; 2) cavado em 500 hPa a oeste da região de convergência em superfície; 3) faixa uniforme no campo de ômega em 500 hPa, com movimentos ascendentes e na mesma posição da ZCAS; 4) presença da alta da Bolívia em altos níveis, de um cavado sobre a região Nordeste do Brasil, e, em algumas situações, a presença de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) ; 5) nebulosidade persistente e semi-estacionária em imagens de satélite (Ambrizzi e Ferraz, 2015).

Além da ZCAS a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) também é uma zona de nebulosidade persistente, localizada na região equatorial e marcada por ser uma das perturbações atmosféricas mais evidentes dos trópicos (Ninomiya, 2007). A dinâmica desta perturbação é associada a um cavado equatorial e localizada na zona de confluência dos alísios. O posicionamento e a intensidade da ZCIT são de fundamental importância para estação chuvosa do Nordeste Brasileiro, e em seu deslocamento anual sobre o Oceano Atlântico, esta zona de convergência alcança sua posição mais ao norte (10° N) durante o inverno boreal e mais ao sul (5° S) durante os meses de Março-Abril (Uvo e Nobre, 1989; Vianello, 2000). Toma-ziello *et al.* (2016) ao analisar a variabilidade intrassazonal destacou que os trens de ondas associados à ZCAS podem impactar a região equatorial e modular a ZCIT.

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) possui uma grande influência na dinâmica do posicionamento da ZCAS de acordo com alguns estudos. Carvalho *et al.* (2004) observou que durante a fase quente há uma ZCAS com características e nebulosidade oceânica, enquanto que na fase fria se observa uma maior presença de nebulosidade continental, Ferreira *et al.* (2004) também corroborou com estes resultados, e foi um pouco adiante ao verificar que eventos de ZCAS em anos de La Niña tem uma correlação

maior com a presença da ZCIT, enquanto que o mesmo não é verificado para os casos de El Niño.

Assim como a ZCAS, o VCAN tem sido discutido há anos a partir de sua influência no regime de precipitação na região nordeste do Brasil (Kousky e Gan, 1981; Gan e Kousky, 1986; Rao e Bonatti, 1987; Mishra *et al.*, 2001; Fedorova *et al.*, 2018; Lyra e Arraut, 2020). O VCAN ocorre durante os meses de primavera e verão sobre o Atlântico Sul, sendo semelhante ao VCAN que ocorre no Hemisfério Norte, nas regiões do Pacífico e Atlântico Norte (Palmer, 1951; Kousky e Gan, 1981). Este sistema atmosférico característico de um ciclone em altos níveis troposféricos pode ter efeitos combinados da região Sudeste ao Nordeste do Brasil, intensificando sistemas convectivos a partir do padrão ZCAS-VCAN (Valverde Ramírez, 1996; Valverde Ramírez *et al.*, 1999). Figueroa (1997) discute o acoplamento entre a ZCAS, a Alta da Bolívia e o VCAN, destacando uma cadeia de dependência entre eles, onde: (a) o VCAN depende da ZCAS; (b) a Alta da Bolívia depende da convecção tropical e da convecção da ZCAS; (c) a ZCAS depende da convecção Amazônica e dos transientes das médias latitudes; e (d) a convecção tropical ou amazônica depende dos transientes de grande escala.

Segundo Kousky e Gan (1981) o VCAN sobre o Atlântico Sul próximo a região Nordeste do Brasil é formado a partir do deslocamento equatorial das frentes frias, causando uma intensificação da crista em altos níveis, sendo assim indiretamente responsável pela formação e fortalecimento do VCAN. Valverde Ramírez *et al.* (1999) identificou uma relação entre o VCAN e a ZCAS, notando que a divergência em altos níveis da ZCAS, causada pela liberação de calor latente intensifica a circulação anticiclônica na camada superior da troposfera, onde devido a conservação de vorticidade o centro do ciclone tende a se desenvolver próximo a costa do Nordeste do Brasil.

Muitos trabalhos discutem os efeitos remotos da ZCAS, porém pouco ou nada é mencionado da interação entre a ZCAS e o VCAN sob diferentes variabilidades de baixa frequência. Neste estudo pretendemos compreender o padrão ZCAS-VCAN a partir de uma breve análise climatológica dos compostos médios do escoamento em 200 hPa nas escalas temporais intrassazonal e interanual sob as diferentes fases do ENOS.

2. Dados e Metodologia

Foram utilizados os conjuntos de dados diários de reanálise do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), ERA-Interim durante o período de 1979 a 2013, no espaçamento de grade de 2.5° x 2.5° (Dee *et al.*, 2011), das componentes meridional e zonal do vento (m/s) no nível atmosférico 200 hPa. Os dados interpolados diários de ROLE dos satélites do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), durante o período

de 1979 a 2013, com resolução de 2.5° de latitude por 2.5° de longitude (Liebmann e Smith, 1996), foram utilizados como proxy para convecção e nebulosidade.

Semelhante a metodologia aplicada por Van Der Wiel *et al.* (2015) para caracterizar objetivamente a ZCPS e a ZCAS, a partir das anomalias de ROLE em uma caixa nas regiões de atividade convectiva da ZCPS e da ZCAS, aqui também foi utilizado a Empirical Orthogonal Function (EOF), como um método de estatística multivariada espacial a partir da análise das componentes principais. A técnica foi aplicada com base no trabalho de Ambrizzi e Ferraz (2015) que caracterizaram objetivamente a ZCAS a partir da primeira componente principal da EOF, baseada na climatologia dos dados de precipitação da climatologia do verão austral. Com base nisto, foi realizada a seguinte caracterização objetiva a partir dos dados de anomalia de ROLE não filtrados em relação à climatologia da série estudada, onde os eventos de ZCAS foram caracterizados de acordo com o seguinte critério:

$$PC1 \geq 1.0\sigma$$

e persistente por no mínimo 4 dias (1)

Na caracterização objetiva da ZCAS, primeiro foi aplicado a EOF nos dados de anomalia de ROLE durante o período de 1979 a 2013 dos meses de novembro a março, na região de atuação da ZCAS que compreende sua porção continental e oceânica, semelhante a descrita por Carvalho *et al.* (2004), (25° S-10° S e 70° W-30° W), com o intuito de destacar e separar o principal padrão de nebulosidade durante este período e nesta região. Foi encontrado pelo primeiro modo da função uma variância de 19,52% que pode ser observada pela Fig. 1. A partir desta caracterização foram analisados 497 dias de ZCAS, destes, 173 dias ocorreram durante anos de El Niño, 138 dias sob atuação de La Niña e 186 dias durante anos neutros. Os eventos de ENOS foram determinados de acordo com o índice ONI (Oceanic Niño Index) da região do Niño 3.4,

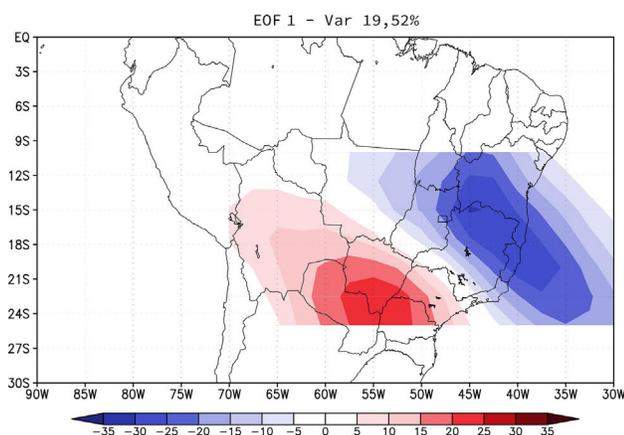


Figura 1 - Primeiro Modo da EOF das anomalias de ROLE (Wm^2), durante o período de novembro a março de 1979 a 2013

onde eventos de El Niño são caracterizados por uma anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) superior a 0,5 °C, e os eventos de La Niña com anomalias de TSM inferior a - 0,5 °C e persistente por um período de cinco meses ou mais.

As análises feitas foram baseadas em compostos anômalos de ZCAS extraídas durante os anos de El Niño, La Niña e Neutros utilizando a climatologia de 1979-2013. Para separar a variabilidade intrassazonal e interanual, da série de dados foi aplicado o filtro Lanczos (Duchon, 1979) em duas faixas de tempo: 20-90 dias (intrassazonal) e > 200 dias (passa-baixa) para toda a série de ROLE, vento meridional e zonal.

3. Resultados e Discussão

Nesta sessão serão discutidas as diferentes composições de ZCAS sob a atuação de El Niño, La Niña e Neutros na alta troposfera, através de uma análise observacional subjetiva com foco na comparação entre as composições médias não filtradas e as composições filtradas nas variabilidades intrassazonal e interanual.

Os resultados dos compostos de ZCAS durante anos de Neutros, El Niño e La Niña em 200 hPa são representados pela Fig. 2.a.b.c, e as diferenças entre os padrões de ZCAS são notáveis. Da composição anômala dos episódios de ZCAS durante anos Neutros (Fig. 2.a) pode ser identificado nos altos níveis atmosféricos um anticiclone na vanguarda da ZCAS, e um ciclone na região Sul do Brasil com uma estrutura ondulatória na sua retaguarda, no sul da América do Sul e na região do Pacífico Sul mais próximo do continente Sul Americano.

Dos episódios de ZCAS durante anos de El Niño é possível notar alguma diferença com relação às composições de ZCAS das Fig. 2.a e 2.c. Como já destacado por Ferreira *et al.* (2004) quando a ZCAS se forma em uma configuração da atmosfera perturbada por um El Niño existe uma menor interação com a ZCIT, além de precipitação mais intensa localizada próxima da costa litorânea e com menor nebulosidade na região Amazônica, mesmo que de uma forma mais suavizada se comparada com os compostos Neutros e de La Niña. Na Fig. 2.b é evidente o enfraquecimento da ZCIT durante eventos de ZCAS-El Niño, a partir da anomalia positiva de ROLE na região equatorial. A intensificação do VCAN também é bastante clara quando comparado com os padrões de ZCAS Neutros (Fig. 2.a) e de La Niña (Fig. 2.c).

Os episódios de ZCAS durante os anos de La Niña são aqueles em que a nebulosidade é mais prolongada no continente e isso é evidente a partir da composição anômala na Fig. 2.c. Nesta figura as anomalias de ROLE se estendem a partir da região Amazônica e tem maior interação com a ZCIT, se comparado com as composições das Fig. 2.a.b. Além da maior interação com a ZCIT, os compostos de ZCAS durante anos de La Niña aparentam

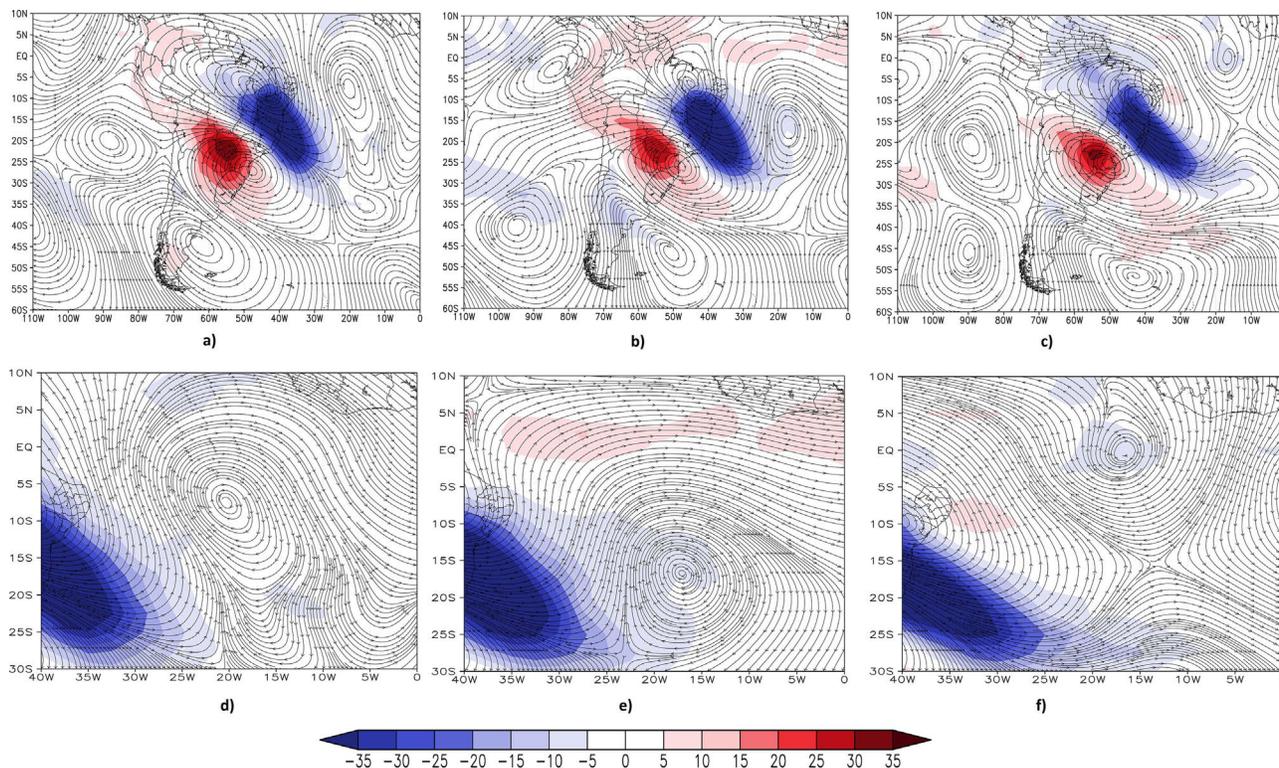


Figura 2 - Composição média da anomalia de ROLE ($W.m^2$) e das componentes zonal e meridional do vento (m/s) em linhas correntes no nível de 200 hPa dos episódios de ZCAS que ocorreram durante anos de ; a) Neutro, b) El Niño, c) La Niña. Mesmas composições mas no domínio ($10^\circ N-30^\circ S$ e $40^\circ W-0^\circ W$); d) Neutros, e) El Niño, f) La Niña.

enfraquecer a ação do VCAN ou do Cavado do Nordeste, na Fig. 2.c na região do VCAN têm-se um anticiclone anômalo de altos níveis, indicando um enfraquecimento da circulação ciclônica nesta região.

Ainda sobre a Fig. 2, a região de atuação do VCAN durante eventos de ZCAS é destacada no domínio entre ($10^\circ N-30^\circ S$ e $40^\circ W-0^\circ W$) sob o Oceano Atlântico Sul (Fig. 2.d.e.f). Como já mencionado, o que mais chama atenção é a circulação anticiclônica na região do VCAN durante os anos de La Niña (Fig. 2.c.f) sendo exatamente a circulação oposta à observada nas composições de El Niño (Fig. 2.a.d) e dos anos Neutros (Fig. 2.b.c). Também é notável o deslocamento do núcleo deste ciclone anômalo, onde durante anos de El Niño fica próximo dos $15^\circ S$, e dos $5^\circ S$ para os anos Neutros, enquanto que para os eventos de La Niña o núcleo do anticiclone é na região equatorial próximo do 0° . Ao analisar a circulação zonal próximo da latitude de $5^\circ S$ é notável que para os compostos de El Niño e Neutros temos um escoamento anômalo de Oeste (Fig. 2.d.e) enquanto que para os eventos de ZCAS durante anos de La Niña têm-se um escoamento anômalo de Leste (Fig. 2.f).

Com relação a literatura da ZCAS é a primeira vez que a interação entre a ZCAS e o VCAN é mencionado, e para melhor avaliar esta relação iremos analisar os compostos de ZCAS filtrados na alta troposfera, com o intuito

de compreender em qual frequência temporal o VCAN ou cavado do nordeste é enfraquecido durante eventos de ZCAS.

Na figura 3 são analisadas as composições de ZCAS filtradas na banda intrassazonal (20-90 dias). Para as composições de ZCAS-Neutras (Fig. 3.a.d) têm-se o sinal característico do VCAN, a partir de um ciclone anômalo, e nesta banda temporal tanto para as composições de ZCAS-El Niño (Fig. 3.b.e) quanto para de ZCAS-La Niña (Fig. 3.c.f) há o cavado do nordeste, mesmo que ainda mais intenso nos casos em que há El Niño. Diferente do observado na Fig. 3.c.f, quando a série é filtrada na banda intrassazonal a configuração clássica de ZCAS se mantém mesmo quando há La Niña, sugerindo que alguma outra variabilidade de mais baixa frequência possa ser responsável pelo enfraquecimento do cavado do nordeste a partir da circulação anticiclônica anômala na região nas composições não filtradas (Fig. 2.c.f).

A banda temporal 200 dias passa-baixa representa os sinais de mais baixa frequência da série de novembro a março analisada por este estudo, onde esta banda temporal é considerada característica da variabilidade interanual, e os sinais do ENOS ou de alguma variabilidade de mais baixa frequência são enfatizados de forma mais clara durante as composições. Na figura 4 nas composições de ZCAS-Neutras (Fig. 4.a.c) ainda há o sinal do cavado do

nordeste, enquanto que nas composição de El Niño (Fig. 4.b.e) é possível observar um ciclone anômalo e uma

circulação de Oeste intensa próxima da região do cavado do nordeste e do VCAN. Nesta figura também chama

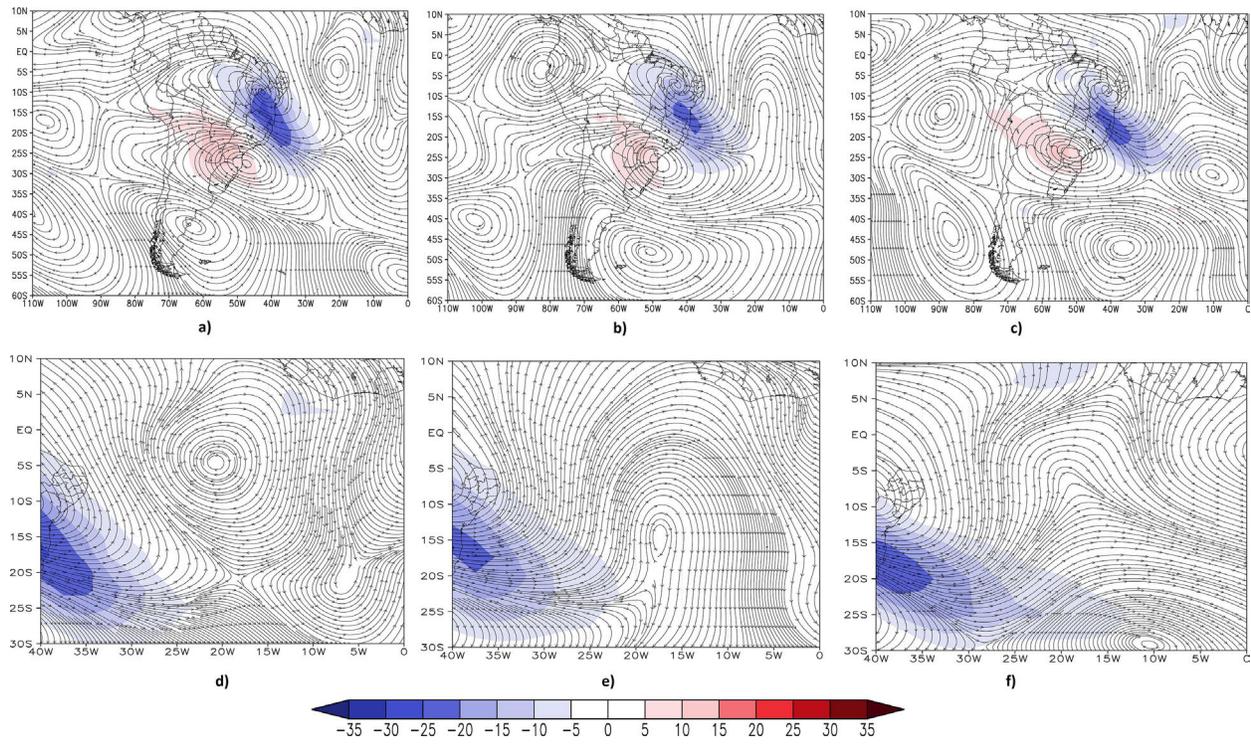


Figura 3 - Iguala Fig. 2, mas filtrado na banda 20-90 dias.

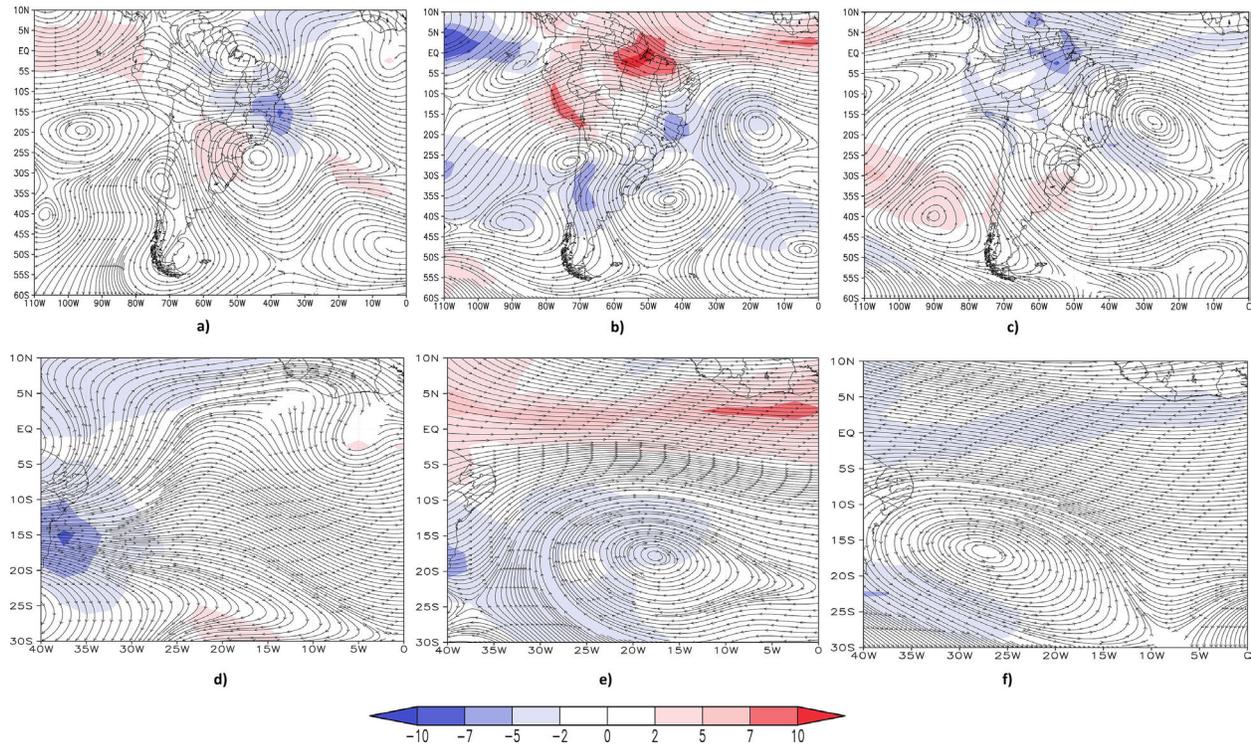


Figura 4 - Iguala Fig. 2, mas filtrado na banda 200 dias passa-baixa.

atenção as anomalias negativas de ROLE em toda faixa da ZCIT, indicando um desfavorecimento da convecção durante eventos de ZCAS-El Niño, a partir da variabilidade interanual do El Niño. Para a composição de ZCAS-La Niña (Fig. 4.c.f) têm-se o oposto do observado durante as composições de ZCAS-El Niño, a partir de um anticiclone anômalo e de escoamentos de leste na região equatorial, esta análise sugere que o enfraquecimento do cavado do nordeste e o sinal do anticiclone anômalo na Fig. 2.c.f são uma ação da variabilidade interanual da La Niña sob os altos níveis troposféricos no Oceano Atlântico Sul.

4. Considerações Finais

Os resultados apresentados neste estudo evidenciam o enfraquecimento do cavado do nordeste durante eventos de ZCAS para os anos de La Niña, e a intensificação para os anos de El Niño. Estes resultados foram pouco explorados na literatura, enfatizando a interação ZCAS-VCAN.

Na região climatológica de atuação do VCAN as composições de ZCAS-El Niño e ZCAS-La Niña possuem circulações opostas, com base nas análises observacionais das composições filtradas nas bandas intrassazonal e interanual, sendo evidente a ação da variabilidade interanual na intensificação do VCAN a partir de um ciclone anômalo na região do Cavado do Nordeste durante os anos de El Niño e o enfraquecimento a partir de um anticiclone anômalo durante os anos de La Niña. Além disso outra diferença marcante na circulação é o escoamento de oeste anômalo sob a região equatorial do Oceano Atlântico Sul durante as composições de ZCAS-El Niño, enquanto que durante os dias de ZCAS-La Niña a circulação é oposta, característica do escoamento de leste anômalo. Com isso a variabilidade interanual do El Niño atua por meio de uma intensificação do VCAN ou do cavado do nordeste enquanto que a variabilidade interanual da La Niña enfraquece o cavado.

Nas análises aqui realizadas não observamos as variações de TSM do Oceano Atlântico Equatorial e Sul, que também podem influenciar no escoamento da alta troposfera. Combinações entre episódios de ZCAS considerando as oscilações do ENOS e do Oceano Atlântico Equatorial podem esclarecer ainda mais os processos dinâmicos entre a ZCAS e o VCAN, sendo este um estudo que será mostrado posteriormente.

Agradecimentos

Este projeto foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) da Bolsa “Edital Universal” número 142501/2018-2. T.A foi apoiado pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas Fase 2 com Bolsa CNPq 465501/2014-1, Bolsas FAPESP 2014/50848-9 e 2017/09659-6. TA também reconhece especificamente o apoio

do CNPq no âmbito das Bolsas 304298/2014-0 e 301397/2019-8. Agradecemos aos dois anônimos revisores cujos comentários contribuíram muito para melhorar o manuscrito.

Referências

- AMBRIZZI, T.; FERRAZ, S. An objective criterion for determining the south atlantic convergence zone. **Frontiers in Environmental Science**, v. 3, n. 5, p. 1-9, 2015.
- CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern south america and large scale convective patterns in the south atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.
- CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The south atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004.
- DEE, D.P.; UPPALA, S.M.; SIMMONS, A.J.; BERRISFORD, P.; POLI, P. *et al.* The era-interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, n. 656, p. 553-597, 2011.
- DUCHON, C.E. Lanczos filtering in one and two dimensions. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 18, n. 8, p. 1016-1022, 1979.
- FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; CAMPOS, A.M.V. Brazilian northeast jet stream: Association with synoptic-scale systems. **Meteorological Applications**, v. 25, n. 2, p. 261-268, 2018.
- FERREIRA, N.J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M.A.F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Rev. Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.
- FIGUEROA, S.N. **Estudo dos Sistemas e Circulação de Verão Sobre a América do Sul e Sua Simulação Com Modelos Numéricos**. Ph.D. Thesis, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.
- FIGUEROA, S.N.; SATYAMURTY, P.; DIAS, P.L.D.S. Simulations of the summer circulation over the south american region with an eta coordinate model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 52, n. 10, p. 1573-1584, 1995.
- GAN, M.A.; KOUSKY, V.E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano atlântico sul. **Rev. Brasileira de Meteorologia**, v. 1, n. 1, p. 19-28, 1986.
- KODAMA, Y.-M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the baiu frontal zone, the spcz, and the sacz) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II**, v. 70, n. 4, p. 813-836, 1992.
- KODAMA, Y.-M. Large-scale common features of sub-tropical convergence zones (the baiu frontal zone, the spcz, and the sacz) Part II : Conditions of the circulations for generating the STCZS. **Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II**, v. 71, n. 5, p. 581-610, 1993.
- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical south atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

- LIEBMANN, B.; SMITH, C.A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 6, p. 1275-1277, 1996.
- LYRA, M.J.A.; ARRAUT, J.M. Análise termodinâmica de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 43, n. 4, p. 302-309, 2020.
- MISHRA, S.K.; RAO, V.B.; GAN, M.A. Structure and evolution of the large-scale flow and an embedded upper-tropospheric cyclonic vortex over northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 129, n. 7, p. 1673-1688, 2001.
- NIELSEN, D.; BELÉM, A.; MARTON, E.; CATALDI, M. Dynamics-based regression models for the south Atlantic convergence zone. **Clim Dyn**, v. 52, p. 5527-5553, 2019.
- NINOMIYA, K. Similarity and difference between the south Atlantic convergence zone and the Baiu frontal zone simulated by an AGCM. **Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II**, v. 85 n. 3, p. 277-299, 2008.
- PALMER, C.E. On high-level cyclones originating in the tropics. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 32, n. 5, p. 683-696, 2007.
- RAO, V.B.; BONATTI, J.P. On the origin of upper tropospheric cyclonic vortices in the south Atlantic ocean and adjoining Brazil during the summer. **Meteor. Atmos. Phys**, v. 37, p. 11-16, 1987.
- ROSA, E.B.; PEZZI, L.; QUADRO, M.; BRUNSELL, N. Automated detection algorithm for SACZ, oceanic SACZ, and their climatological features. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 1-15, 2020.
- TOMAZIELLO, A.; CARVALHO, L.; GANDU, A. Intraseasonal variability of the Atlantic intertropical convergence zone during austral summer and winter. **Clim Dyn.**, v. 47, p. 1717-1733, 2016.
- UVO, C.; NOBRE, C. 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**, v. 4, n. 10, p. 34-40, 1989.
- VALVERDE RAMÍREZ, M.C. **Padrões Climáticos dos Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis no Nordeste do Brasil**. Ph.D. Thesis, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.
- VALVERDE RAMÍREZ, M.C.; KAYANO, M.T.; FERREIRA, N.J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989. **Atmosfera**, v. 12, p. 75-88, 1999.
- VAN DER WIEL, K.; MATTHEWS, A.J.; STEVENS, D.P.; JOSHI, M.M. A dynamical framework for the origin of the diagonal South Pacific and South Atlantic convergence zones. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 141, n. 691, p. 1997-2010, 2015.
- VIANELLO, R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (type CC-BY), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original article is properly cited.