

O Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos

Mario Francisco Leal de Quadro¹, Luciano Ponzi Pezzi², Eliana Bertol Rosa²

¹ Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brazil, ² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brazil,

mquadro95@gmail.com

Resumo

O Boletim Climanálise, nestes últimos 30 anos, tem trazido uma contribuição importante para os setores operacional e de pesquisa, da área de meteorologia, no sentido de disponibilizar uma seção de suas publicações mensais que descreve sucintamente as principais características termodinâmicas, assim como os impactos nos totais pluviométricos acumulados, dos episódios de ZCAS que se formam entre os meses de novembro e março. Este artigo, além de apresentar os avanços no estudo da ZCAS nos últimos anos, apresenta também uma análise dos eventos de ZCAS determinados entre os anos de 1996 e 2013. Ressalta-se que as composições foram realizadas apenas através dos episódios selecionados nos boletins mensais e não foi definido nenhum outro critério ou avaliação adicional para determinação dos casos de ZCAS.

Palavras Chave: ZCAS, Climanálise, monitoramento

1. Introdução

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um sistema meteorológico que tem sido estudado nos últimos 40 anos pela comunidade científica nacional e internacional. De uma forma geral, a ZCAS é um fenômeno atmosférico que ocorre no verão da América do Sul e é caracterizado pela persistência de uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE) associada a uma acentuada região de convergência, em baixos níveis. Ela se estende desde o centro sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Estado do Paraná e alongando-se em direção ao Oceano Atlântico Sudoeste (Ferreira et al., 2004). Como principal consequência, a atuação deste sistema meteorológico impacta diretamente no regime pluviométrico no final da primavera e nos meses de verão austral, sobre grande parte do Brasil e países adjacentes, sendo responsável por intensos e persistentes períodos de precipitação em determinadas regiões, assim como redução significativa das chuvas nas adjacências (Nogués-Paele e Mo, 1997; Satyamurty et al., 1998; Carvalho et al., 2004; Grimm, 2011; Quadro et al., 2012).

Climatologicamente o período de atuação da ZCAS está diretamente relacionado com a configuração do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS), que tem papel importante para o transporte de umidade para a região Central da América do Sul (Gan et al., 2004; Reboita et al., 2010; Grimm, 2011). O trabalho de Nogués-Paele et al. (2002) mostra que o SMAS, e consequentemente a ZCAS, desenvolvem-se durante a primavera (setembro-novembro) austral, associado à migração da convecção para a região central da Amazônia, atinge seu pico máximo durante o verão austral, quando ocorre um máximo de precipitação sobre a região central da Amazônia e a Região SE do Brasil e tem sua fase de dissipação no início do outono, em torno do mês de março, quando o máximo da convecção retorna para o extremo norte da AS. O regime pluviométrico associado a estes dois sistemas meteorológicos é tão importante que trabalhos como o de Gan et al. (2004) mostram que 50% da precipitação anual sobre a América do Sul tropical e subtropical ocorre nos meses de verão austral (dezembro a fevereiro) e cerca de 90% durante os meses de outubro a abril.

Com relação às propriedades termodinâmicas do sistema, Kodama (1992) e Quadro (1994) definem que a ZCAS é estabelecida quando as seguintes condições são satisfeitas por pelo menos quatro dias: convergência de umidade em 850 hPa na região da ZCAS; presença de um cavado em 500 hPa na costa leste da América do Sul com orientação NW-SE e associado a movimento vertical ascendente na média troposfera; presença de uma crista de temperatura potencial equivalente em 500 hPa na região da ZCAS e intenso gradiente, que separa a

massa de ar quente e úmida vinda dos trópicos do ar frio e seco vindo do sul e vorticidade relativa positiva (anti-horária) em 200 hPa. Na segunda seção é apresentado um histórico dos principais trabalhos realizados sobre a ZCAS nos últimos anos. Na última seção apresenta-se uma análise da composição dos eventos de ZCAS determinados entre os anos de 1996 e 2013. Esta composição é realizada através dos dados de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE), versão v01r02, disponibilizados pelo *National Climate Data Center* (NCDC) da *National Oceanic-Atmospheric Administration* (NOAA) (Lee et al., 2004) e dados troposféricos da reanálise *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) (Saha et al., 2010).

2. Histórico de estudos sobre a ZCAS

Os primeiros estudos que fazem referência a uma banda de nebulosidade convectiva sobre a América do Sul foram realizados nos anos 1970. Taljaard (1972), Streten (1973) e Yassunari (1977) observaram a persistência de uma banda de nebulosidade de natureza convectiva na América do Sul. Krishnamurty et al. (1973), através de estudo sobre uma onda quasi-estacionária na América do Sul, mostrou a importância dessa banda no transporte de momentum, calor e umidade dos trópicos. Na década de 1980 e início dos anos 1990, os estudos concentraram-se no diagnóstico do sistema, através de sua caracterização física, buscando uma assinatura do fenômeno (Calheiros e Silva Dias, 1988; Satyamurti e Rao, 1988; Silva Dias et al., 1991). Na época os trabalhos já apontavam a ZCAS ligada a fatores como: a interação de vórtices ciclônicos de altos níveis de escala subsinótica com sistemas frontais na região da ZCAS (Nobre, 1988), uma resposta a passagens de perturbações atmosféricas moduladas pela Oscilação de 30/60 dias (Casarin e Kousky, 1986) e explosões convectivas sobre o Brasil Central e sul da Amazônia, responsáveis pela geração da Zona de Convergência em baixos níveis (Figueroa e Nobre, 1990). Ainda nesta década Silva Dias et al. (1987) realizaram as primeiras simulações físicas para tentar representar a atuação da ZCAS sobre a América do Sul. Além dos processos termodinâmicos supracitados, Kalnay et al. (1986) observaram que, em um caso de ZCAS, as anomalias negativas de TSM no Atlântico Sul foram forçadas pela atmosfera, através da vorticidade ciclônica em baixos níveis, que induz o movimento vertical ascendente no oceano subjacente (bombeamento de *Ekman*), trazendo águas frias do fundo para a superfície.

Década de 1990

Nos anos 1990, Kodama (1992 e 1993) realizou uma descrição comparativa entre as três Zonas de Convergência, ao redor do planeta, com características semelhantes: a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), a ZCAS e a Zona Frontal Baía, que atua na costa leste do continente asiático. A partir de uma técnica de composição de variáveis, Kodama (1992) diagnosticou diversas características atmosféricas e oceânicas da ZCAS. Entre elas, verificou-se o transporte de umidade em baixos níveis, a manutenção da convecção pela convergência de umidade na baixa e na média troposfera, e o alto contraste de umidade. Quadro (1994), através da análise de 10 anos de episódios de ZCAS nos meses de verão do Hemisfério Sul (HS), ratificou o estudo de Kodama, analisando os padrões meteorológicos que caracterizavam um episódio de ZCAS desde os baixos até os altos níveis da troposfera. Sanches (2002) adaptou a técnica de composição proposta por Kodama para analisar padrões atmosféricos numa situação de ZCAS, e a variação diurna no Planalto Central do Brasil. Entretanto, o período analisado era relativamente curto, restringindo desta forma a validade dos resultados obtidos.

Com relação à modelagem numérica, Grimm e Silva Dias (1995a, b) analisaram a presença da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) nos casos em que a ZCAS estava ativa, indicando a conexão entre essas duas bandas de convecção. Figueroa (1995) concluiu que, para a formação e manutenção da ZCAS, é importante a interação entre a convecção tropical sobre a AS e as ondas transientes de números de onda zonal 5 e 6 com períodos de 8 a 10 dias, sendo os Andes, a ZCIT e a convecção da África fatores secundários. Gandu e Silva Dias (1998) mostraram que a fonte tropical de calor da Amazônia e a ZCAS mostravam-se acopladas com outras fontes tropicais de calor, de tal forma que perturbações geradas por uma delas afetam a outra em uma escala de tempo intrasazonal. Por outro lado, Lenters e Cook (1995) propuseram que o contraste entre terra e mar, sem a presença de topografia e gradiente meridional de TSM, é a principal causa da formação. A convergência dos ventos de baixos níveis e a advecção de umidade seriam os principais contribuintes para a precipitação nesta região. Cavalcanti e Rowntree (1998) através de uma integração de 101 anos (de 1897 a 1997) realizada pelo *Hadley Centre* (U.K.) mostraram uma configuração da ZCAS entre duas regiões secas, além da relação da ZCAS com o deslocamento de zonas frontais que interagem com a convecção sobre o continente. Cavalcanti et. al. (2000) elaboraram uma simulação de 10 anos usando o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/COLA), utilizando o esquema de parametrização de convecção do tipo Kuo, e mostraram que a precipitação associada à ZCAS é superestimada na parte sul e

subestimada na parte tropical. Um experimento com dois esquemas de convecção (Kuo e RAS) mostrou que a precipitação nessa região é sensível à aplicação de diferentes esquemas (Pezzi e Cavalcanti, 2001).

Nesse período, também foram sugeridas possíveis influências remotas através de fenômenos meteorológicos ou oceânicos. Segundo Liebmann et al. (1999), o sinal da convecção associada com a ZCAS surge devido a ondas de Rossby nas latitudes médias a oeste da América do Sul. Esse resultado é consistente com outros estudos que identificam conexões entre a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e a ZCAS (Grimm e Silva Dias, 1995; Jones and Horel, 1990). Marton (2000) notou uma relação quase em fase na oscilação do campo de radiação de onda longa nas regiões destas zonas de convergência. Nogués-Paegle e Mo (1997), analisando a variabilidade temporal da ZCAS, sugerem que, na escala intrasazonal, o Jato de Baixos Níveis (JBN) da América do Sul exerce papel crucial na intensidade e localização deste sistema através da gangorra de precipitação, que ocorre quando há atenuação (intensificação) do JBN e intensificação (atenuação) da ZCAS.

Anos 2000 até o presente

Nesse período foram aprofundados estudos sobre a variabilidade da ZCAS, que apresenta variações desde a escala submensal até interdecadal. Robertson e Mechoso (2000) encontraram que a variabilidade interanual da ZCAS está relacionada com um vórtice estacionário em 200 hPa, onde anomalias ciclônicas (anticiclônicas) estão associadas a eventos intensos (não intensos) e maior (menor) subsidência do ar em direção ao sudoeste. Associada ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), Barreiro (2002), Ferreira et al. (2004) e Carvalho et al. (2004) mostraram que a variabilidade interanual da ZCAS parece ser modulada pela fase positiva do ENOS, sendo que os eventos quentes (frios) aumentam (diminuem) a atividade convectiva na região da ZCAS. Jones e Carvalho (2002) mostraram que variações intrasazonais nos ventos de baixos níveis sobre Amazônia modulam o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) e que os casos mais intensos de ZCAS estão relacionados a regimes de ventos de oeste, associados à fase ativa do SMAS. Carvalho et al. (2004) demonstraram que a modulação da variabilidade intrasazonal é diferente para cada tipo de evento. As principais diferenças são: (1) nos casos intensos, sem considerar a porção oceânica, a variabilidade é modulada pelo regime de ventos de oeste sobre a América do Sul (SMAS ativo); (2) eventos fracos ocorrem em regime de ventos de leste (SMAS inativo) e o padrão gangorra é estabelecido; (3) em ZCAS oceânicas a modulação seria por propagação de ondas de Rossby de médias latitudes e o padrão gangorra também é estabelecido e (4) a ZCAS continental é modulada por ondas de Rossby, exceto com sinal oposto ao da oceânica e ausência do padrão gangorra de precipitação. Herdies et al. (2002), analisando o transporte de umidade entre os trópicos e subtropicais, associado ao padrão bimodal de ZCAS-NZCAS (Não ZCAS), concluíram que este transporte ocorre por dois caminhos principais, um associado à presença da ZCAS e outro ao JBN. Em escala intrasazonal a ZCAS atua como um modulador da ocorrência do JBN e, conseqüentemente, na ocorrência de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) na região da bacia do Prata. Cunningham e Cavalcanti (2006), mostraram que a posição da ZCAS mais ao sul pode estar sob influência do padrão de teleconexão *Pacific South America* (PSA), por outro lado, durante eventos onde a ZCAS se encontra mais ao norte, podem ser influenciados pela OMJ, podendo engatilhar um trem de ondas sobre os Oceanos Atlântico Sul e Índico. Ainda sugere-se que quando os sistemas de alta frequência (sistemas frontais) e de frequência intrasazonal (PSA e OMJ) estão em fase, eles são capazes de estabelecer condições apropriadas para o desenvolvimento de um episódio de ZCAS.

Com relação ao papel da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico Sudoeste na formação/intensificação da ZCAS, onde o acoplamento oceano-atmosfera se dá principalmente devido às trocas de calor, momentum e vapor de água na interface destes sistemas (Pezzi et al., 2016), Barreiro e Chang (2002) sugeriram que aproximadamente 60% da variabilidade da precipitação associada da ZCAS é explicada pela variabilidade interna da atmosfera, enquanto a TSM estaria relacionada à variabilidade remanescente. Outros estudos indicam que a formação do sistema é independente da TSM, mas que a posição e a intensidade são afetadas por ela (Chaves e Satyamurty, 2006). Chaves e Nobre (2004) e Almeida et al. (2009) sugeriram que a ocorrência de anomalia negativa de TSM abaixo da ZCAS é resultado de uma retroalimentação negativa entre ZCAS-nuvem-TSM, com a atmosfera forçando o oceano. A convecção sobre o Atlântico Sudoeste aumenta a quantidade de nuvens. Estas, por sua vez, impedem a radiação solar de atingir a superfície oceânica, resfriando-a. A convecção sobre águas frias tende a cessar, dissipando a porção oceânica da ZCAS. Ao mesmo tempo, Jorgetti et al. (2014) sugeriram que em alguns casos existe uma forçante do oceano para a atmosfera que favorece a formação e a manutenção da convecção, enquanto em outros casos a forçante é da atmosfera para o oceano. Nobre et al. (2012) sugeriram que o fato de diversos modelos atmosféricos subestimarem a convecção intensa sobre águas frias é resultado da resposta hidrostática destes modelos, que considera a diminuição de pressão (e aumento da convecção) sobre a água quente. Além disso, Venegas et al. (1997) sugerem que o Dipolo do

Atlântico Sul (DAS), principal modo de variabilidade de TSM do Atlântico Sul, apresenta correlação com a ZCAS. Bombardi et al. (2014) sugere que, durante a fase negativa do DAS o JBN é enfraquecido e anomalias positivas de precipitação ocorrem sobre a região da ZCAS. A situação é inversa para o DAS positivo.

Com relação ao período de atuação, segundo Jorgetti et al. (2014) a ZCAS pode se formar concomitantemente, ou não, ao SMAS. Quando ocorre em conjunto com ventos anômalos de oeste (leste) sobre a América do Sul Tropical, o SMAS está ativo (inativo) e a ZCAS é dita ativa (inativa). Diversos estudos consideram apenas os meses de Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF) para analisar a ZCAS (Carvalho et al., 2002, 2004; Jorgetti et al., 2014; Barros et al., 2000). Porém, Ambrizzi e Ferraz (2015) mostraram que dos 48 eventos classificados pelo CPTEC entre 1995 e 2005, 30% ocorreram em novembro (14%) e março (16%), mostrando que uma parcela significativa dos casos é perdida quando se consideram apenas os meses de DJF.

Recentemente o trabalho de Coelho et al. (2015) mostrou que uma situação desfavorável à formação da ZCAS está relacionada a anomalias de circulação atmosférica e TSM no Atlântico Sudoeste, geradas remotamente. Anomalias positivas de TSM próximas à Austrália teriam forçado o movimento convectivo, que se propagou zonalmente via célula de Walker e meridionalmente via célula de Hadley. Em altos níveis, a convergência e subsidência associadas à anomalia na célula de Hadley formaram uma teleconexão trópico/extra-trópico entre o Pacífico sudeste e o Atlântico, via propagação de ondas Rossby. Um centro de alta pressão barotrópico se estabeleceu sobre o Atlântico sudoeste desencadeando: (1) bloqueio da migração para norte dos sistemas convectivos causadores de chuva (frentes frias); (2) anomalia positiva de TSM no Atlântico sudoeste; (3) entrada de ar quente e seco no sudeste brasileiro e (4) intensificação do fluxo de ar úmido da Amazônia em direção ao sul brasileiro.

3. Composições de episódios de ZCAS

Nesta seção é apresentada uma análise das composições dos episódios de ZCAS selecionados, entre os anos de 1996 e 2013, pelo grupo de estudos climáticos, responsável pela editoração mensal do Boletim Climanálise. A figura 1 mostra o número de dias em que foram selecionados episódios de ZCAS para cada estação de verão austral, que compreende os meses de novembro do ano anterior a março do ano seguinte. Entre os meses de novembro e março dos anos analisados foram observados 804 dias onde a ZCAS esteve configurada. Em média são observados 44,66 dias a cada ano (29,8%), indicando que a ZCAS esteve presente aproximadamente a cada três dias da estação. No entanto, percebe-se claramente um aumento dessa frequência a partir de 2006, mas não há uma evidência clara que explique esse aumento de casos detectados neste período recente.

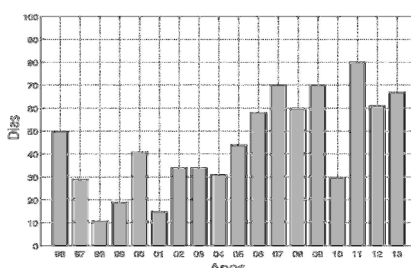


Figura 1 – Série temporal anual do número de dias dos episódios de ZCAS selecionados pelo Boletim Climanálise entre os anos de 1996 e 2013.

A Figura 2 ilustra o padrão médio de ZCAS observado no campo de ROLE (Fig. 2a), que caracteriza o padrão médio da banda de nebulosidade associada à ZCAS, orientada de NW-SE, através dos valores inferiores a 230 W/m^2 . Nesta mesma figura, observam-se também valores mínimos de ROLE sobre a região tropical da América do Sul, associados à atividade convectiva proveniente da Amazônia. Na média troposfera (Fig. 2b) é possível identificar no padrão médio a presença do cavado a leste dos Andes, assim como a faixa de movimento ascendente do ar com a mesma orientação da ZCAS, a leste do cavado em 500 hPa. A figura 3 caracteriza o padrão médio da ZCAS observado em baixos e altos níveis da troposfera. Em baixos níveis (Fig. 3a) configura-se uma circulação ciclônica associada à região de máxima convergência de umidade e de movimento vertical ascendente (Fig. 2b). Em altos níveis (Fig. 3b), observa-se a faixa de divergência de massa, também com orientação de NW-SE, posicionada entre a Alta da Bolívia (a oeste) e o cavado (a leste) sobre o oceano Atlântico. De acordo com Jorgetti (2008) este padrão troposférico favorece a manutenção da banda de nebulosidade associada à ZCAS. A ZCAS apresenta alta variabilidade espacial, podendo se estender ou não em direção ao oceano (ZCAS oceânica e continental, respectivamente), também pode ser intensa ou fraca, dependendo da magnitude da convecção.

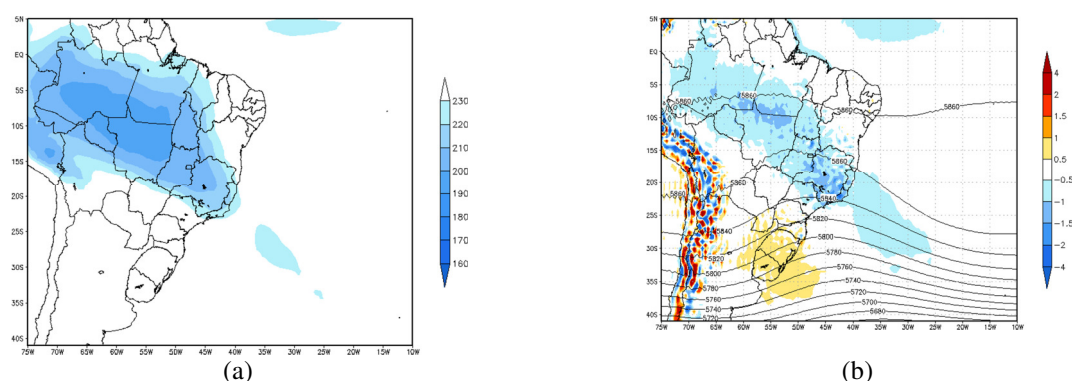


Figura 2 – Padrão médio dos campos de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) (a) e Velocidade Vertical Omega ($\cdot 10$ hPa/s) e Altura Geopotencial (m) em 500 hPa (b) dos episódios de ZCAS selecionados pelo Boletim Climanálise entre os anos de 1996 e 2013.

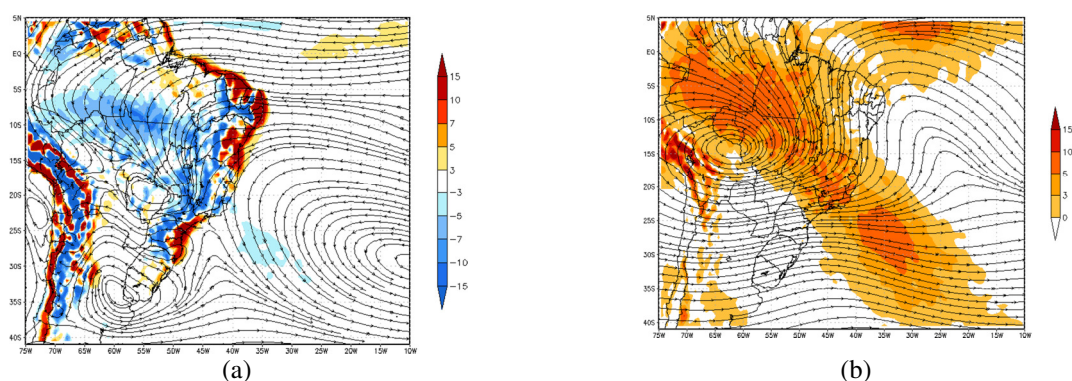


Figura 3 – Padrão médio dos campos de Divergência de Umidade ($\cdot 10^7$ s $^{-1}$) e linhas de corrente em 850 hPa (a) e Divergência de Massa ($\cdot 10^7$ s $^{-1}$) e linhas de corrente em 200 hPa (b) dos episódios de ZCAS selecionados pelo Boletim Climanálise entre os anos de 1996 e 2013.

4. Considerações finais

Nos últimos 30 anos o Boletim Climanálise tem contribuído tanto para a descrição dos episódios de ZCAS que se formam no verão austral, como também para a compreensão deste sistema meteorológico através da análise de seus parâmetros troposféricos. Mas ainda é preciso evoluir no conceito da ZCAS, identificando as propriedades termodinâmicas durante os diversos estágios de seu ciclo de vida, assim como todas as suas escalas espaciais e temporais. Ainda hoje, estudos feitos com modelos numéricos resultam em simulações que divergem da situação real observada (Jorgetti et al., 2008; Tomaziello e Gandu, 2013), indicando que devemos aprofundar ainda mais estudos para melhorar a previsibilidade da ZCAS.

5. Referências

- ALMEIDA, A. F. R., NOBRE, P., HAARSMA, J. R., CAMPOS, J. D. E. Negative ocean-atmosphere feedback in the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters**, v. 34, L18809, 2009.
- AMBRIZZI, T., FERRAZ, S. E. T. An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. **Frontiers in Environmental Science**, v. 3, article 23, 2015.
- BARREIRO, M., CHANG, P. Variability of the South Atlantic Convergence Zone Simulated by an Atmospheric General Circulation Model. **Journal of Climate**, v. 15, p. 745-763, 2002.
- BOMBARDI, R. J. CARVALHO, L. M. V., JONES, C., REBOITA, M. S. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. **Climate Dynamics**, v. 42, p. 1553-1568, 2014.
- CALHEIROS, R. V.; SILVA DIAS, P. L. Como prever melhor. **Climanálise**, v. 3, p. 31-32, 1988.
- CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeast South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 15, p. 2377-2394, 2002.

- CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal and Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004.
- CASARIN, D. P.; KOUSKY, V.E. Precipitation anomalies in the southern part of Brazil and variations of the atmospheric circulation, **Revista Brasileira de Meteorologia**, 1, pp. 83-90, 1986.
- CAVALCANTI, I.F.A.; MARENGO, J. A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.; TROSNIKOV, I.; CAMARGO, H.; CASTRO, C.; SANCHES, M.; SAMPAIO, G. Características Climatológicas Sobre A América Do Sul Nos Resultados De Uma Simulação De 10 Anos Com O Mcga Cptec/Cola Na Versão T62l28. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Rio de Janeiro, 2000.
- CAVALCANTI, I. F. A.; ROWNTREE, P. A zona de convergência do Atlântico Sul no modelo climático do Hadley Centre. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Brasília, 1998.
- CHAVES, R. R., NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters**, v. 31. L03204, 2004.
- CHAVES, R. R., SATYAMURTY, P. Estudo das condições regionais associadas a um evento de forte ZCAS em janeiro de 2003. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n.1, p. 134-140, 2006.
- COELHO, C. A. S., OLIVEIRA, C. P., AMBRIZZI, T., REBOITA, M. S., CARPENEDO, C. B., CAMPOS, L. P. S., TOMAZIELLO, A. C. N., PAMPUCH, L. A., CUSTÓDIO, M. S., DUTRA, L. M. M., ROCHA, R. P., REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, DOI: 10.1007/s00382-015-2800-1, p. 1-16, 2015.
- CUNNINGHAM, C. C.; CAVALCANTI, I. F. A.: Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1165-1180, 2006.
- 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. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, 89-98, 2004.
- GANDU, A. W., SILVA DIAS, P. L. Impact of tropical heat sources on the South American tropospheric upper circulation and subsidence, **J. Geophys. Res.**, 103(D6), 6001–6015, doi:10.1029/97JD03114, 1998.
- FIGUEROA, S. N., SATYAMURTY, P., DIAS, P. L. S. Simulations of the Summer Circulations over the South American Region with an Eta Coordinate Model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 52, n. 10, p. 1573-1584, 1995.
- FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v. 5, p. 36-45, jun. 1990.
- GAN, A. M., KOUSKY, E. V., ROPELEWSKI, F. C. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. **American Meteorological Society**, v. 17, p. 47-66, 2004.
- GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, n. 4, p. 537-554, DOI: 10.1007/s00477-010-0420-1, 2011.
- GRIMM, A. M.; SILVA DIAS, P. L. Analysis of tropical – extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 52, n. 20, p. 3538-3555, 1995.
- GRIMM, A. M.; SILVA DIAS, P. L. Use of barotropic models on the study of the extratropical response to tropical heat source. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 73, n. 4, p. 765-780, 1995.
- HERDIES, D. L.; DA SILVA A.; SILVA DIAS M.A.F.; FERREIRA R.N. The moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America. **Journal of Geophysical Research**, Washington-DC, v. 107, n. D20, p. 42-1-42-10, 2002.
- JONES, C., CARVALHO, L. M. V. Active and Break Phases in the South American Monsoon System. **American Meteorological Society**, v. 15, p. 905-9014, 2002.
- JONES, C.; HOREL, J. D. A circulação da Alta da Bolívia e a atividade convectiva sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 5, p. 379-387, 1990.
- JORGETTI, T., SILVA DIAS, P. L., FREITAS, E. D. The relationship between South Atlantic SST and SACZ intensity and positioning. **Climate Dynamics**, v. 42, p. 3077-3086, 2014.
- JORGETTI, T. **A Zona de Convergência do Atlântico Sul e os processos oceânicos do Atlântico e do Pacífico**. 2008. 169 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- KALNAY, E., MO, K. C., PEAGLE, J. Large-Amplitude, Short-Scale Stationary Rossby Waves in the Southern Hemisphere: Observations and Mechanistic Experiments to Determine their Origin. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, n. 3, p. 252-275, 1986.
- KODAMA, Y., 1992: Large-scale common features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 70, n. 4, p. 813-835.
- KODAMA, Y., 1993: Large-scale common features of Sub-tropical Convergence Zones (The Baiu Frontal Zone, The SPCZ, and the SACZ). Part II: conditions of the circulation for generating the STCZs. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 71, n. 5, p. 581-610.

- KRISHNAMURTI, T. N.; KANAMITSU, M.; KOSS, W. J.; LEE, J. D. Tropical east-west circulation during the Northern Winter. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 30, p. 780-787, 1973.
- LEE, H.-T., HEIDINGER, A., GRUBER, A., ELLINGSON, G. R. The HIRS outgoing longwave radiation product from hybrid polar and geosynchronous satellite observations. **Advanced in Space Research**, v. 33, p. 1120-1124, 2004.
- LENTERS, J. D., COOK, K. H. Simulation and Diagnosis of the Regional Summertime Precipitation Climatology of South America. **Journal of Climate**, v. 8, p. 2988-3005, 1995.
- LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. D. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1877-1891, July 1999.
- MARTON, E. **Oscilações intrasazonais associadas a Zona de Convergência do Atlântico Sul no Sudeste Brasileiro**. 2000. 203 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- NOBRE, C. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, v. 3, n. 4, p. 30-35, abr. 1988.
- NOBRE, P., DE ALMEIDA, R. A., MALAGUTTI, M., GIAROLLA, E. Coupled Ocean-Atmosphere Variations over the South Atlantic Ocean. **American Meteorological Society**, v. 25, p. 6349-6358, 2012.
- NOGUÉS-PAEGLE, J., MO, K., C. Alternating Wet and Dry Conditions over South America During Summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-291, 1997.
- PEZZI, L. P., CAVALCANTI, I. F.A. The relative importance of ENSO and Tropical Atlantic Sea Surface Temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: A numerical study. **Climate Dynamics**, v. 17, p. 205-212, 2001.
- PEZZI, L. P. P., SOUZA, R. B., QUADRO, M. F. L. A review on the ocean-atmosphere interaction processes in regions of strong sea surface temperature gradients of the South Atlantic Ocean based on observational data. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Artigo Aceito, 2016.
- QUADRO, M.F.L. **Estudo de Vórtices Ciclônicos de Mesoescala associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul**. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 141 f., São Paulo, 2012.
- QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 125 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.
- REBOITA, M. S., GAN, M. A., ROCHA, R. P., AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 185-204, 2010.
- ROBERTSON, W. A., MECHOSO, R. C. Interannual and Interdecadal Variability of the South Atlantic Convergence Zone. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 2947-2957, 2000.
- SAHA, S. and Coauthors. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, V. 91, p. 1015–1057, 2010.
- SANCHES, M. B. **Análise sinótica da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) utilizando-se a técnica de composição**. 95f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, S.P. 2002.
- SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. Tropics-South America. Chapter in Meteorology of the Southern Hemisphere. Ed. D.J.Karoly e D.G. Vincent. **Meteorological Monograph #49**, American Meteorology Society, 1998.
- SATYAMURTI, P.; RAO, V. B. Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Climanálise**, v. 3, p. 31-35, 1988.
- SILVA DIAS, P. L.; BONATTI, J. P.; KOUSKY, V. E. Diurnally forced tropical tropospheric circulation over South America. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1465-1478, 1987.
- SILVA DIAS, P. L.; ETCHICHURY, P.; SCOLAR, J.; PEREIRA FILHO, A. J.; SATYAMURTI, P.; SILVA DIAS, M. A. F.; GRAMMELSBACHER, I.; GRAMMELSBACHER, E. As chuvas de março de 1991 na região de São Paulo. **Climanálise**, v. 6, p. 44-59, 1991.
- STRETEN, N. A. Some characteristics of the satelliteobserved bands of persistent cloudiness over the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 101, n. 6, p. 486-495, 1973.
- TALJAARD, J. J. The clouds bands of the South Pacific and Atlantic Oceans. **Meteorological Monographs**, v. 13, p. 189-192, 1972.
- TOMAZIELLO, A. C. N., GANDU, A. W. Impacto da temperatura da superfície do mar na simulação da Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 291-304, 2013.
- VENEGAS, S. A., MYSAK, L. A., STRAUB, D. N. Atmosphere-Ocean coupled variability in the South Atlantic. **Journal of Climate**, v. 10, p. 2904-2920, 1997.
- YASSUNARY, T. Stationary waves in the Southern Hemisphere mid-latitude zonal revealed from average brightness charts. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 55, p. 274-285, June 1977.