

Utilização de imagens orbitais de radiação de onda longa para identificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul

Eliana Bertol Rosa¹
Mário Franciso Leal de Quadro²
Luciano Ponzi Pezzi¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
eliana.rosa@inpe.br, luciano@dsr.inpe

² Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC
Av. Mauro Ramos, 950 - 88020-300 - Florianópolis - SC, Brasil
mquadro95@gmail.com

Abstract. The South Atlantic Convergence Zone (SACZ) directly influence the pluviometric indices in the Amazon, midwest and southeast regions of Brasil, supporting economical activities like agriculture and energy production by hydroelectric. When anomalous conditions affect the SACZ formation, it can be responsible for natural disasters like floods and landslides, as well as drought conditions. For these reasons it is extremely important understand and predict this meteorological system. In this sense, the present work intends to use outgoing longwave radiation orbital images as an indicative of the presence of the SACZ. An classification algorithm was developed and the results show that the agreement with the observational database is about 56%. Also, the average atmospheric fields reveals that, preferably, more intense cases are detected by the algorithm. Classification errors occur in both methodologies, subjective and objective, with can mask the results. For future studies it is suggested that dynamic and/or thermodynamic variables are inserted in the algorithm.

Palavras-chave: Zona de Convergência do Atlântico Sul, classificação de imagens, radiação de onda longa.

1. Introdução

A estrutura econômica de uma sociedade é definida em partes pelo regime climático local. Atividades como a agricultura e produção de energia elétrica são bastante dependentes da precipitação. O verão austral é a estação chuvosa da América do Sul Tropical (AST) devido a atuação do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS; GAN et al., 2004, REBOITA et al., 2010), que tem relação direta com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (KODAMA, 1992; 1993). O SMAS e a ZCAS modulam o ciclo sazonal da precipitação sobre a AST em distintas estações seca e chuvosa durante o período de maior atividade convectiva. Combinados, estes sistemas são responsáveis por grande parte da precipitação sobre a Amazônia, centro oeste e sudeste brasileiro.

Estudos tem mostrado que a ZCAS está associada a extremos positivos de precipitação (CARVALHO et al., 2002), podendo causar danos sociais e econômicos através, por exemplo, de deslisamentos e enchentes. Por outro lado, a não formação é associada com deficiência de precipitação, como ocorreu no verão de 2014, uma das secas mais severas já registradas no sudeste brasileiro. Segundo Coelho et al. (2015), processos anômalos de interação oceano-atmosfera em escala global foram responsáveis pela escassa formação da ZCAS em 2014.

A ZCAS tem sido comumente definida como uma banda de nebulosidade em sentido NO-SE alongando-se desde a Amazônia até o oceano Atlântico Sudoeste, que permanece estacionária por um mínimos de quatro dias e é responsável por grande parte dos índices pluviométricos registrados nesta área (PEZZI et al., 2015; QUADRO et al., 2016; GARCIA 2010). O único banco de dados de longo período que identifica e descreve a ZCAS é o Boletim Climanálise (BC). A partir do Vol. 4, N^o 2 a técnica utilizada para identificação das regiões de maior atividade convectiva sobre a América do Sul (AS) consiste na transformação de imagens orbitais do satélite GOES-8 em imagens pentadais de temperatura de brilho em graus Kelvin, as quais indicam, em geral, que a

atividade convectiva ocorre sobre baixos valores de temperatura. A contaminação por nuvens cirriformes é removida pela análise subjetiva através do conhecimento prévio a respeito dos sistemas meteorológicos que ocorrem na região (http://climanalise.cptec.inpe.br/%7Erclimanl/boletim/notas_0114.shtml).

É de extrema importância que uma técnica de identificação objetiva da ZCAS seja definida. Diversos estudos se propõem a estudar os processos de formação, variabilidade espacial e temporal da ZCAS (JORGETTI et al., 2014; CARVALHO et al., 2002; ROBERTSON e MECHOSO, 2000), se utilizando de diferentes metodologias para a identificação da mesma. As metodologias mais comumente empregadas utilizam técnicas de Funções Ortogonais Empíricas (FOE), padrões espaciais da banda de nebulosidade e estudos de casos isolados. Neste sentido, não existe consenso na literatura a respeito das datas de ocorrência dos eventos. Esta é uma lacuna de conhecimento que deve ser preenchida, uma vez que os processos de variabilidade temporal da ZCAS em escalas maiores que a intrasazonal são fortemente afetados pelas datas de ocorrências dos eventos, podendo levar a falsas conclusões. Alguns estudos já tem apontado a importância de se compreender melhor os processos que levam à formação e variabilidade da ZCAS (QUADRO et al., 2016; PEZZI et al., 2015).

Sendo assim, o presente trabalho propõe que as imagens orbitais de Radiação de Onda Longa emergente no topo da atmosfera podem ser utilizadas para a identificação objetiva da ZCAS, através da análise do formato e da permanência temporal dos pixels cujo padrão espacial se assemelha ao da banda de nebulosidade associada à ZCAS.

2. Metodologia

O algoritmo desenvolvido analisa no campo diário de ROL ($W m^{-2}$) a forma (mínimo de ROL com orientação de NO para SE na região da ZCAS) e a permanência por no mínimo quatro dias deste padrão, com base na segmentação e classificação de imagens orbitais.

O dado de ROL utilizado é o *Daily Outgoing Longwave Radiation Climate Data Record* (Daily OLR CDR), versão v01r02 da *National Oceanic-Atmospheric Administration* (NOAA). A resolução temporal é diária e a espacial de 1° de latitude por 1° de longitude ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$). Neste produto, Lee et al. (2004) combinou a acurácia do *High Resolution Infrared Radiation Sounder* (HIRS) com a resolução temporal do Imageador, a bordo dos satélites *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES). O desvio da estimativa da ROL ao longo do dia obtida pelo Imageador é removido com base nos dois valores de ROL obtidos pelo HIRS no mesmo dia.

Para análise dos campos atmosféricos foram utilizados dados da reanálise *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) versões 1 (1996 à 2010) e 2 (2010 à 2015). Os dados tem resolução temporal de 6 horas, das quais calculou-se a média diária, e espacial de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$.

A série temporal utilizada no presente trabalho abrange os meses do verão austral, novembro-dezembro-janeiro-fevereiro-março (NDJFM) entre 1996 e 2015, totalizando uma amostragem $n=3025$ dias. Nestas datas a técnica utilizada para identificação da ZCAS pelo BC é a mesma descrita na introdução deste trabalho.

Os dados observacionais foram retirados das edições do BC que estão disponíveis *online* (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>). Todas as edições foram acessadas para construção de um vetor binário, $Io_{(j=1,2)}$, onde 1 (0) são dias de ocorrência (não ocorrência) de ZCAS. Sendo assim, $Io_{(j=1)}$ ($Io_{(j=2)}$) é o conjunto de dias, ou classe, em que a ZCAS está ativa (inativa), chamados a partir de agora de dias Observados (NZCAS), segundo o método subjetivo. Ressalta-se que a classificação subjetiva de imagens orbitais pode conter erros relacionados ao treinamento do analista, da qualidade das imagens interpretadas e da sistemática utilizada para identificação de alvos. Sendo assim, os dias Observados serão tratados com ressalva, utilizados como meio de comparação entre os métodos, mas não como verdade absoluta.

Da mesma forma os dias classificados pelo algoritmo são colocados em um vetor binário $Id_{(j=1,2)}$ onde 1 (0) são os dias de ocorrência (não ocorrência) da ZCAS. Portanto, $Id_{(j=1)}$ é o conjunto, ou classe, em que a ZCAS está ativa (inativa), chamados a partir de agora de dias Detectados

(NZCAS), segundo o método objetivo. O algoritmo é dividido em três partes. Na primeira etapa a imagem é recortada para a área de ocorrência da ZCAS (Fig. 1 a) e visa eliminar a influência de outros sistemas convectivos que possam interferir no processo de classificação, como a Baixa do Chaco e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Na segunda etapa são definidos os limiares que definirão à qual classe a imagem pertence ($Id_{(j=1)}$ ou $Id_{(j=2)}$). Por último é analisada a permanência temporal da classe $Id_{(j=1)}$.

Para que um dia seja considerado de ZCAS ele deve obedecer às seguintes condicionais: (1) LSR - Limite Superior de ROL, define que pixels acima de 230 W m^{-2} serão excluídos; (2) SEG - tamanho mínimo do segmento. Após a exclusão dos pixels em (1) ocorre a segmentação da imagem. Os segmentos poderão se formar da seguinte forma: (i) um pixel isolado ou (ii) um conjunto de pixels adjacentes em pelo menos uma das oito extremidades do entorno do pixel central. Todos os segmentos terão como característica comum que o valor dos pixels adjacentes é inferior à 230 W m^{-2} . Os segmentos com tamanho inferior a 70 pixels serão excluídos, se restar apenas um SEG o dia pertence à $Id_{(j=1)}$; (3) LiC - Linha de Costa, o SEG deve cruzar a linha de costa em pelo menos 5 pixels; (4) EXC – Excentricidade, é a medida relacionada ao formato do SEG. O SEG é rotacionado na direção de menor variância e calcula-se a razão entre a distância máxima dos pixels na vertical em três posições (Y1, Y2 e Y3) e a distância máxima na horizontal (X; Fig. 1 b). Considerando o comprimento total do SEG, X igual a um, as posições são definidas por: $Y1 = X/2 - X/4$; $Y2 = X/2$; e $Y3 = X/2 + X/4$. Considerando que $EXC = Y/X$, quanto maior o valor, mais o formato do SEG aproxima-se de um círculo na posição $Y_{(1,2,3)}$. Esta condicional é, portanto, um vetor da forma $[EXC_{(Y=1)}, EXC_{(Y=2)}, EXC_{(Y=3)}]$, onde $EXC_{(Y=1,3)}$ devem ser menores que 0,4 e $EXC_{(Y=2)}$ maior que 0,7; (5) EFF – Elimina Frentes Frias, define que o número de pixels inferiores a 230 W m^{-2} ao sul de 27°S e entre 55 e 45°O deve ser inferior a 24 pixels.

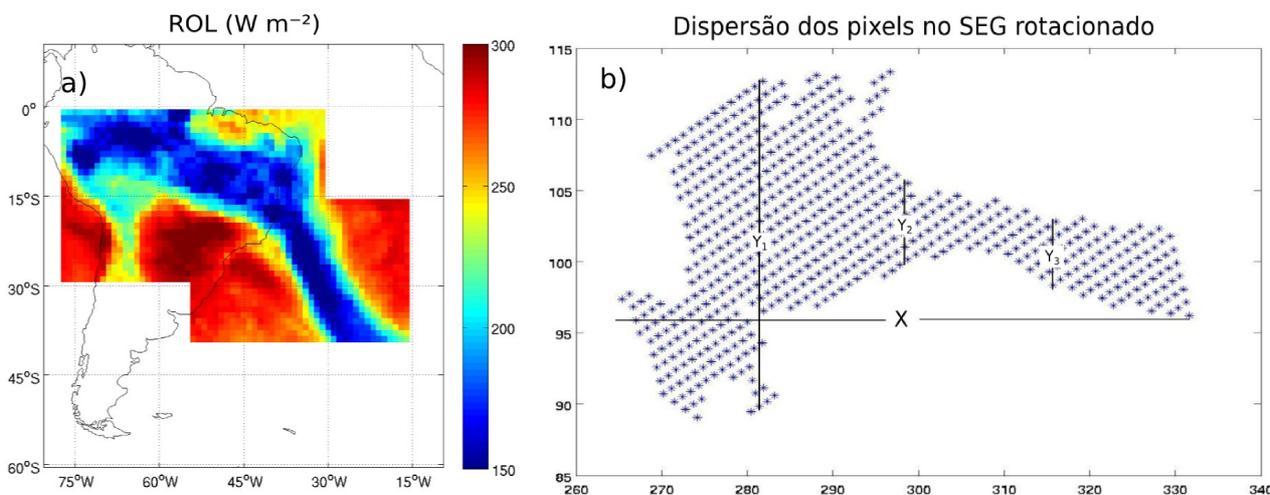


Figura 1: (a) Área de ocorrência da ZCAS e (b) dispersão dos pixels que formam o SEG após a rotação na direção de menor variância, onde X é comprimento total do SEG, Y1, Y2 e Y3 são as alturas consideradas para o cálculo da EXC.

Por definição a ZCAS deve permanecer por quatro dias consecutivos ou mais (QUADRO, 1994). Desta forma, se $Id_{(n,j=1)}$ ocorre em apenas um, dois ou três dias consecutivos, estes são reclassificados e passam a pertencer a $Id_{(n,j=2)}$ (NZCAS). A partir de agora os dias que pertencem a $Id_{(j=1)}$ podem ser separados em eventos de ZCAS. Um evento começa no primeiro dia em que $Id_{(n,j=1)}$ até o último dia consecutivo em que $Id_{(n,j=1)}$.

Para avaliar o resultado da classificação foram calculados os coeficientes de sensibilidade (SEN) e especificidade (ESP), definidos pelas equações (1) e (2), respectivamente.

$$SEN = \left(\frac{a}{a + c} \right) \quad (1)$$

$$ESP = \left(\frac{d}{b + d} \right) \quad (2)$$

Onde a são dias Detectados e Observados ao mesmo tempo ($I_{d(j=1)}$ e $I_{o(j=1)}$), c são os dias Observados, porém não Detectados ($I_{o(j=1)}$ e $I_{d(j=2)}$), d são os dias que não foram nem Detectados, nem Observados ($I_{d(j=2)}$ e $I_{o(j=2)}$) e b são os dias Detectados, porém não Observados ($I_{d(j=1)}$ e $I_{o(j=2)}$). Desta forma a SEN representa a frequência relativa em que os dias Detectados foram corretamente classificados, comparando-se aos dados observacionais, chamados Verdadeiros Positivos (VP). Quanto maior o valor da SEN, mais VPs ocorrem. A ESP é a frequência relativa em que os dias Detectados foram erroneamente classificados, ou seja, quando comparados aos dados observacionais, deveriam pertencer a classe $I_{d(j=2)}$. O complementar da especificidade (1-ESP) indica que quanto menor seu valor, menos FPs há na classificação objetiva.

Para avaliar as diferenças nos campos atmosféricos associados aos dias Observados e Detectados utilizou-se a metodologia de compostos seguida da aplicação do teste-t de Student espacial (pixel à pixel). Ela consiste na realização da média tanto dos dias da classes $I_{o(j=1)}$ como da classe $I_{d(j=1)}$. Desta forma é possível analisar o padrão médio da ZCAS segundo a metodologia subjetiva e objetiva, respectivamente. As diferenças significativas entre os métodos foram encontrada aplicando-se o teste-t de Student para a diferença de duas amostras (Observados menos Detectados), onde as diferenças significativas com nível de confiança acima de 99% são destacadas em contornos na cor preta (Figs. 1 e 2 b, d).

Os campos atmosféricos analisados foram: (1) ROL; (2) Temperatura Potencial Equivalente (Theta-e) em 500 hPa; (3) Divergência de Umidade (DU) e Linha de Corrente (LC) em 850 hPa e; (4) Divergência de Massa (DM) e LC em 200 hPa.

3. Resultados e Discussão

A ROL é comumente utilizada como indicativo de convecção e considera-se que quanto menor seu valor, menor a quantidade de radiação de onda longa está sendo emitida para o espaço e, conseqüentemente, maior a atividade convectiva em determinada região (Carvalho et al., 2002; Chaves e Satyamurty, 2006). No campo médio da ROL para a ZCAS Observada este padrão alongado da banda de convecção é aparece com valores abaixo de 235 W m^{-2} (Fig. 2 a), sendo coerente com o valor definido no algoritmo.

As condicionais do algoritmo foram determinadas de acordo com as definições da dinâmica da ZCAS que podem ser identificadas nos campos de ROL. Áreas convectivas pequenas não podem ser relacionadas a atuação da ZCAS (tamanho e número dos SEG's), por que a convecção é extensa, da Amazônia ao Atlântico Sudoeste, e organizada, ou seja, contínua. O SEG deve cruzar a LiC para que a convecção se estenda ao oceano Atlântico Sudoeste. Nas imagens satelitais de temperatura de brilho a ZCAS aparece como uma banda de nuvens alongada, o que pode ser inferido pela EXC, que visa eliminar sistemas convectivos cujo formato não se assemelha ao da ZCAS. Os sistemas frontais que avançam das médias e altas latitudes para a região tropical ocorrem em sua maioria no verão austral (SIQUEIRA e MACHADO, 2004). Estes também são sistemas convectivos, que podem ser confundidos com a ZCAS no processo de classificação de imagens. A fim de eliminá-los o critério EFF foi inserido.

Entre NDJFM de 1996 à 2015 a classificação de imagens resultou em 795 dias Detectados (ZCAS ativa), dos quais 504 foram Observados (VP's) e 291 não Observados (FP's). Do total de 887 dias Observados, 383 não foram Detectados. Sendo assim, o coeficiente de SEN para a classificação de imagens foi de 0,568 e o complementar da ESP (1-ESP) foi de 0,135. Isto significa que aproximadamente 56% dos dias Detectados correspondem à dias Observados, e aproximadamente 13% dos dias Detectados são FP's, ou seja, não deveriam pertencer à classe $I_{d(j=1)}$.

Para elucidar os motivos da incoerência entre métodos foi realizada a análise visual dos verões de 1997-98 e 2006-07 (não mostrado) pelo campos diário de ROL e das variáveis atmosféricas mencionadas na seção 2. Estes anos foram escolhidos pois estão entre os que apresentam as maiores

super e sub estimativas dos dias Detectados em relação aos Observados, respectivamente. As principais diferenças se deram devido a: (1) incoerências nas datas iniciais e finais dos eventos; (2) confusão do algoritmo com outros sistemas frontais, mesmo após a inserção do critério EFF. Este é o caso dos eventos entre 15-18/12/1997 e 07-10/01/1998; (3) quebra de uma ou mais das condicionais impostas pelo algoritmo. O caso Observado de 14-19/12/1997 não foi Detectado devido a chegada da convecção ao sul de 27 °S em mais de 24 pixels no dia 17, infringindo a condição EFF. Os dias 14-15-16 e 18-19 não foram Detectados devido a permanência inferior a quatro dias. Situação semelhante ocorreu no caso de 26/11-02/12/2006, porém devido a chegada de um sistema frontal que se associou à ZCAS. Devido a quebra da convecção em dois ou mais SEG's os casos de 10-14/11/2006 e 19-23/03/2007 não foram Detectados. Situações mistas ocorreram em outros eventos; (4) Erros de classificação nos dados Observados, que se dividem entre os dias que deveriam ter sido Observados, mas não foram, e os dias que não deveriam ter sido Observados, mas foram. Em relação ao segundo tipo de erro, ele ocorre especialmente em casos Observados muito longos, como o de 27/12/2006 à 16/01/2007, de 21 dias de duração. Pela análise visual dos campos de ROL, Theta-e, DU e LC em 850 hPa e DM e LC em 200 hPa, propõe-se que os casos de 16-21/01/1998 e 02-05/03/1998 deveriam ter sido Observados e os dias 3-5 e 11-12/02/2007, não deveriam ter sido nem Observados nem Detectados.

Tendo em vista que ambas as técnicas de detecção da ZCAS apresentam erros inerentes aos processo de classificação (subjetiva e objetiva), analisou-se o campo médio dos padrões atmosféricos. Pela análise da diferença significativa entre os dias Observados e Detectados no campo de ROL (Fig. 2 b) observa-se que os dias Detectados apresentaram, em média, valores de ROL menores que os dias Observados na região continental da ZCAS e acima ao sul da mesma. Isto significa que casos de ZCAS mais intensos na zona costeira (com maior atividade convectiva) foram classificados pelo algoritmo, em restrição aos casos pouco intensos. Uma vez que o algoritmo é um método objetivo, este resultado é esperado, pois casos onde a convecção não é estritamente contínua com valores abaixo de 230 W m^{-2} e que cruza, necessariamente, a LiC, são eliminados. Em contrapartida, no método subjetivo (dias Observados), a convecção pode apresentar valores não contínuos, ou que não cruzem a LiC, cujo o conhecimento prévio do analista é capaz de ponderar se representam, ainda assim, uma situação de ZCAS ou não. Ressalta-se que a ZCAS apresenta alta variabilidade espacial e temporal (KODAMA 1992; QUADRO 1994; CARVALHO et al., 2002), tornando a análise objetiva restrita às condicionais impostas pelo algoritmo, onde casos atípicos podem ser perdidos no processo de classificação.

Em termos da dinâmica e termodinâmica, Kodama (1992; 1993) e Quadro (1994) foram os pioneiros em propor que as condições atmosféricas associadas à ocorrência da ZCAS são: (1) convergência de umidade em 850 hPa na região da ZCAS com dois fluxos predominantes na porção subtropical, o flanco sudoeste da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), e ventos de oeste que fluem ao longo da ZCAS nas médias latitudes; (2) cavado em 500 hPa na costa leste da América do Sul com orientação NO-SE, associado a movimento vertical ascendente na média troposfera; (3) 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 (4) vortacidade relativa positiva (anti horária) em 200 hPa na região da ZCAS.

No campo de Theta-e em 500 hPa dos dias Observados é possível identificar a crista que separa as massas de ar quente e fria vindas dos trópicos e subtropicais, respectivamente. As diferenças significativas mostram que os dias Detectados apresentam maiores valores de Theta-e na porção oceânica da ZCAS e ao sul da mesma. A Theta-e, quando analisada em um nível vertical específico, é um indicativo de que quanto maior o valor, maior a quantidade de vapor d'água (Bolton 1980). Sendo assim, os casos Detectados apresentam menor conteúdo de vapor d'água ao norte da porção oceânica da ZCAS do que os dias Observados, coerente com os menores vares de ROL no dias Observados nesta mesma região, mesmo que as diferenças não sejam significativas. O mesmo ocorre na região ao sul da ZCAS, onde as diferenças são significativas tanto para a ROL quanto para a Theta-e. Uma vez que o algoritmo restringe os casos de ZCAS Detectados à posição climatológica da mesma, espera-se que casos deslocados para sul e norte sejam perdidos. Desta

forma o movimento convectivo nas adjacências da posição climatológica é menor nos casos Detectados do que nos Observados, sinal que também aparece no campo de Theta-e e pode ser visto pelo padrão tripolo, de sinais opostos, nas regiões sul, central e norte da ZCAS.

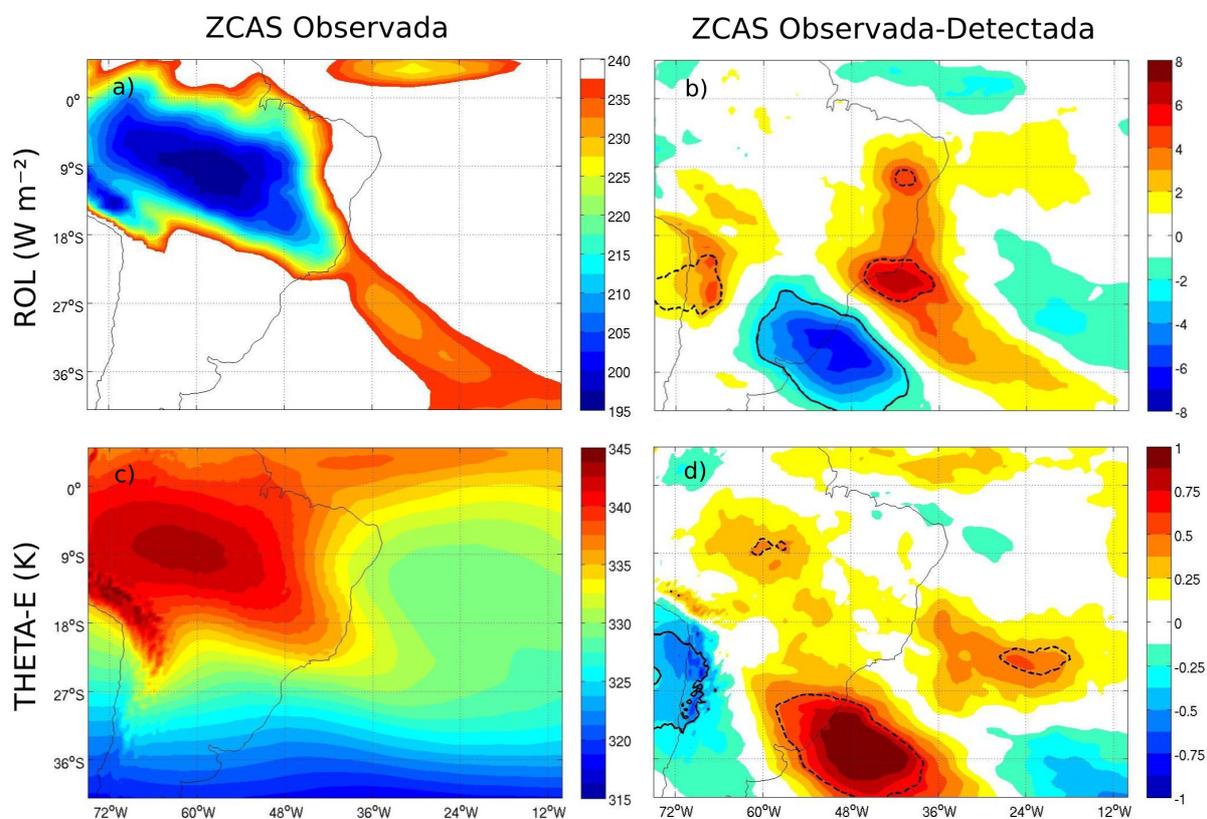


Figura 2: Compostos de radiação de onda longa (a) e temperatura potencial equivalente em 500 hPa (c) para a classe $I_{o(j=1)}$ e teste-t de Student para diferença da média das classes $I_{o(j=1)}$ e $I_{d(j=1)}$ (c-d). Diferenças significativas acima do nível de confiança de 99% para valores positivos e negativos, em contornos pretos contínuos e pontilhados, respectivamente, são mostrados para os campos de ROL (b) e Theta-e (d).

Nos campos de DU e DM em 850 e 200 hPa, respectivamente, as diferenças significativas aparecem em pequenas áreas ao sul da ZCAS, indicando que, em média, os dias Observados e Detectados apresentam o mesmo padrão na região da ZCAS. Em relação às características dinâmicas em baixos níveis troposféricos (LC na Fig. 3 a,c), observa-se que os dias Detectados possuem tendência anticiclônica sobre o Uruguai e norte da Argentina mais intensa do que os dias Observados, coerente com a menor atividade convectiva sobre a região, assim como a tendência ciclônica à leste do mesmo é maior. Como proposto por Kodama (1992), a convergência do fluxo de umidade na porção oceânica da ZCAS se dá pelo encontro de dois escoamentos, o flanco sudoeste da ASAS e o fluxo de oeste nos subtrópicos.

Em altos níveis troposféricos as características dinâmicas da ZCAS estão bem definidas pelos dias Observados, com a presença da Alta da Bolívia, Cavado no Nordeste e Cavado à leste dos Andes (QUADRO 1994). Embora não tenham ocorrido diferenças significativas acima de 99%, os dias Detectados apresentam, em média, divergência de massa superior aos Observados da ordem de 2 s^{-1} na porção oceânica da ZCAS e convergência de -2 s^{-1} ao sul dela. Ainda, as características do escoamento em 200 hPa indicam que o cavado à leste dos Andes e o Cavado do Nordeste também estão intensificados nos dias Detectados.

O sinal da ZCAS esteve presente em todos os campos atmosféricos analisados, para ambas as metodologias. Porém, as diferenças significativas indicam que, em média, os casos Detectados são mais intensos do que os casos Observados.

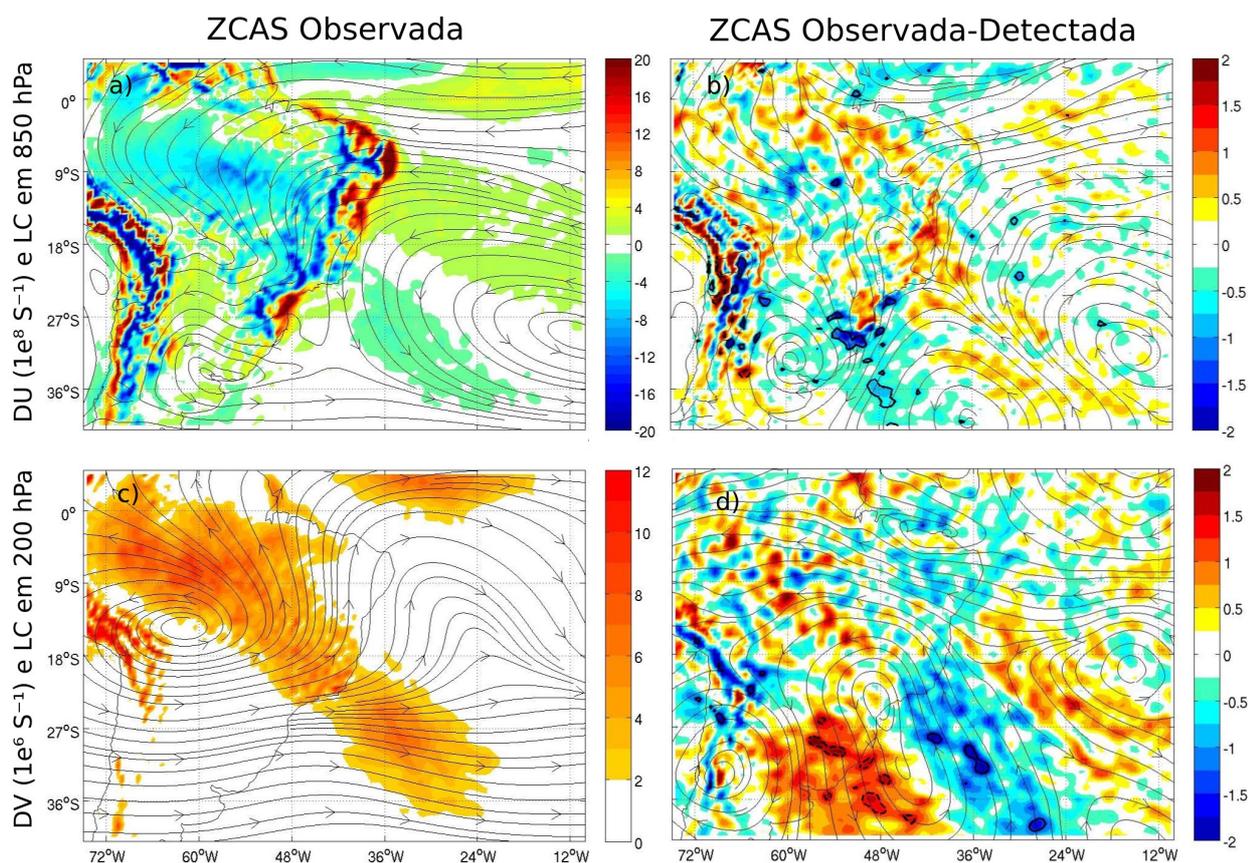


Figura 3: Como na Fig. 2, porém para os campos de divergência do fluxo de umidade em 850 hPa (cores em a) e divergência de massa em 200 hPa (cores em c). As linhas de corrente estão sobrepostas.

Conclusões

Apenas 13% dos dias Detectados foram Falsos Positivos e 56% foram Verdadeiros Positivos. Considerando que o método subjetivo apresenta erros de classificação, conforme mostrado na análise visual dos verões de 1997/98 e 2006/2007, as porcentagens de FP's e VP's podem estar sendo influenciadas pelos erros nos dados Observados. Sendo assim este resultado é bastante satisfatório e indica que o método tem potencial para ser utilizado na detecção das datas de ocorrência da ZCAS. Ressalta-se que, até o presente momento, nenhuma metodologia de identificação objetiva da ZCAS foi desenvolvida e comparada aos dados observacionais de forma quantitativa.

As características dinâmicas e termodinâmicas da ZCAS foram bem reproduzidas pelo método objetivo e apresentaram situações mais intensas, em média, do que os dados Observados em todos os campos atmosféricos analisados. Isto se deve ao fato de o algoritmo de classificação ser determinístico, fazendo com que, em sua maioria, casos de ZCAS bem definidos sejam Detectados, em detrimento aos casos atípicos.

Nos verões de 1997/98 e 2006/2007 a principal fonte de erros do algoritmo foi a confusão entre sistemas frontais vindos das médias e altas latitudes que adentram na região da ZCAS e movem-se em direção ao norte em um período médio de 3-5 dias (SIQUEIRA e MACHADO, 2004). Como o algoritmo não possui nenhuma variável dinâmica que permita a identificação do deslocamento do sistema, estes acabam sendo confundidos com a ZCAS, que é um sistema estacionário. Portanto, propõe-se que em trabalhos futuros o algoritmo seja aprimorado com a inserção de variáveis dinâmicas e/ou termodinâmicas, a fim de melhorar a qualidade da classificação, no sentido de que casos menos intensos e/ou atípicos também sejam classificados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e à Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela oportunidade do desenvolvimento desta pesquisa. Esta é uma contribuição do projeto “Estudos Avançados em Oceanografia de Médias e Altas Latitudes” do Edital CAPES Ciências do Mar II nº 43/2013, AUXPE 1992/2014.

Referências Bibliográficas

BOLTON, D. The Computation of Equivalent Potential Temperature. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 1046-1053, 1980.

CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeaster South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 15, p. 2377-2394, 2002.

ELLINGSON, G. R., YANUK, J. D., LEE, H-T., GRUBER, A. A Technique for Estimating Outgoing Longwave Radiation from HIRS Radiance Observations. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 6, p. 706-711, 1989.

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.

GARCIA, S. R. **Sistema de Monção da América do Sul: Início e fim da estação chuvosa e sua relação com a Zona de Convergência Intertropical do Atlântico**. 2010. 232 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

GRIMM, A. M. Clima da Região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A., FERREIRA, J. N., DA SILVA, M. G. A. J., DIAS, M. A. F. S. (Autora). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 259-275, 2009.

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.

KODOMA, Y. Large-scale common features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and SACZ). Part I: characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 70, n. 4, p. 813-835, 1992.

KODOMA, Y. Large-scale common features of Sub-tropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and SACZ). Part II: conditions of the circulation for generating the STCZs. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 71, n. 5, p. 581-610, 1993.

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.

PEZZI L. P., SOUZA, R. B., QUADRO, M. F. L. Uma Revisão dos Processos de Interação Oceano-Atmosfera em Regiões de Intenso Gradiente Termal do Oceano Atlântico Sul Baseada em Dados Observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631231420150032>, 2015.

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.

QUADRO, M. F. L., PEZZI, L. P., ROSA, E. B. **O Climanálise e o monitoramento da ZCAS nos últimos 30 anos**. Climanálise – Edição Especial de 30 Anos. <http://climanalise.cptec.inpe.br/%7Erclimanl/revista/pdf/30anos/quadroetal.pdf>. Ano 04 – Número 01 – ISSN 1679-9747, p. 19-25, 2016.

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.

SIQUEIRA, J. R., MACHADO, L. A. T. Influence of the Frontal Systems on the Day-to-Day Convection Variability over South America. **Journal of Climate**, v. 17, p. 1754-1765, 2004.