

# ESTUDO CLIMATOLÓGICO DE VÓRTICES CICLÔNICOS DE MESOESCALA ASSOCIADOS À ZCAS

Mário F. L. de QUADRO<sup>1</sup>, Maria A. F. SILVA DIAS<sup>2</sup>, Dirceu L. HERDIES<sup>3</sup>, Luis G. G. de Gonçalves<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IFSC – Florianópolis/SC – [mquadro95@gmail.com](mailto:mquadro95@gmail.com)

<sup>2</sup>IAG/USP – São Paulo/SP

<sup>3</sup>CPTEC/INPE - Cachoeira Paulista - São Paulo/SP

**RESUMO:** Vórtices ciclônicos de Mesoescala (VCMs), embebidos na banda de nebulosidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), são selecionados através de um critério objetivo de detecção, baseado na vorticidade e circulação do sistema, aplicado nos dados da reanálise do CFSR durante o período de 2000 a 2009. Um total de 300 VCMs úmidos foram detectados na baixa troposfera, enquanto que na média e alta troposfera foram detectados 277 VCMs. Na baixa troposfera a maioria dos VCMs se localiza mais para SW na região continental costeira (ZCC) da ZCAS e, possivelmente estão relacionados a efeitos topográficos e de instabilidade local gerada por sistemas transientes que penetram na região da ZCAS. Verifica-se também uma concordância entre os vórtices destas regiões de máxima vorticidade ciclônica e os extremos de precipitação.

**ABSTRACT:** The Mesoscale Cyclonic Vortex embedded within the South Atlantic Convergence Zone cloud band are selected through an objective detection criteria based on the vorticity and circulation of the system, performed from 2000 to 2009. A total of 300 moist MCVs were detected in the lower troposphere whereas in the medium and high troposphere 277 were detected. Most of the MCVs in the lower troposphere were located in the Southwestern region of the continental coastal line of the SACZ and are possibly associated to topographic effects and local instability caused by incursion of transient systems into the SACZ region. Moreover, the vortices in this region match very well the regions of maximum cyclonic vorticity and maximum precipitation intensity.

## 1 – INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os VCMs têm sido profundamente analisados por pesquisadores, devido a sua influência na organização e evolução da convecção profunda e úmida. James e Johnson (2010) analisaram as características destes vórtices que se formaram sobre o Estado de Oklahoma (EUA) no período de quatro anos, durante a primavera e o verão. Através de algoritmo de detecção baseado na vorticidade do sistema, os VCMs detectados têm uma ampla gama de tamanhos e intensidades, e sua longevidade varia entre uma e 54 h. Seu raio médio é de cerca de 200 km, e sua vorticidade relativa média é de  $1,2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . Além disso, não parece haver uma relação significativa entre a longevidade e a intensidade do VCM. Sobre as Grandes Planícies (EUA) a formação dos vórtices está intimamente relacionada com o ciclo diurno da convecção.

Geralmente os VCM se configuram no início da manhã, perto da hora do limite máximo de intensificação dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs). Características relacionadas ao SCM associado, como divergência nos altos níveis, convergência nos níveis inferiores e a presença de um jato de baixos níveis, são observadas no estágio inicial. Mas a característica mais significativa no final do ciclo de vida do VCM é um cavado de mesoescala persistente na média troposfera.

A tabela 1, adaptada de James e Johnson (2010), mostra uma comparação entre vários estudos que desenvolveram métodos de detecção de VCMs que se formam nos EUA. Apesar de haver diferenças entres os algoritmos tanto na região de estudo como na frequência das análises, é possível observar que com o aprimoramento dos métodos, um maior número de casos são detectados. Além disso, os algoritmos mais recentes, que possuem um critério objetivo para a detecção dos vórtices de mesoescala, mostram que uma pequena porcentagem (aproximadamente 20%) é de origem convectiva. Os casos restantes são gerados a partir da efeitos topográficos ou pela instabilidade local.

**TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE VCMs ENCONTRADOS EM ESTUDOS ANTERIORES. NÚMERO ENTRE PARENTESES INDICAM O NÚMERO TOTAL DE VÓRTICES DETECTADOS PELO ALGORITMO DE DAVIS ET AL. (2002)**

<b>Estudo</b>	<b>Período de Tempo</b>	<b>Número de VCMs</b>
Bartel e Maddox	1 Jan 1981 – 30 Set 1988	24
Trier et al.	15 Mai – 15 Set 1998	16
Davis et al.	1 Mai – 31 Ago 1999	43(203)
James e Johnson	1 Mai – 31 Ago 2002	20 (113)
James e Johnson	1 Mai – 31 Ago 2003	21 (134)
James e Johnson	1 Mai – 31 Ago 2004	39 (136)
James e Johnson	1 Mai – 31 Ago 2005	15 (59)

Este trabalho tem por objetivo principal identificar as características básicas da formação dos VCMs. Tais vórtices, embebidos na banda de nebulosidade da ZCAS, são selecionados através de um critério objetivo de detecção aplicado ao período de 2000 a 2009. Pretende-se também, para casos específicos, avaliar características da atuação deste sistema meteorológico nas regiões afetadas, em termos de variabilidade da posição, intensidade e frequência destes sistemas.

## **2 – DADOS E METODOLOGIA**

Com o objetivo de desenvolver um algoritmo de detecção de VCMs embebidos na ZCAS, foi elaborado um critério objetivo para encontrar estes sistemas meteorológicos e avaliar o impacto nas regiões afetadas. Para tal, são utilizados dados da reanálise *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) fornecidos pelo NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) (Saha et al., 2010). O trabalho de Quadro et al. (2012) faz uma descrição desta reanálise e

mostra que a precipitação dessa reanálise é sensivelmente melhor que a de outros conjuntos similares e será usada aqui como parte do processo de identificação dos VCM.

Para a análise dos vórtices embebidos na ZCAS, o trabalho é desenvolvido em quatro etapas, descritas a seguir: (i) Para identificação dos vórtices ciclônicos embebidos na ZCAS, foram selecionados episódios de ZCAS, entre os anos de 2000 e 2009. Os episódios de ZCAS foram selecionados durante os meses de verão austral (Dez-Jan-Fev), com duração de quatro dias ou mais. Ressalta-se que estes casos foram selecionados baseados nas análises do Boletim Climanalise (Climanalise, 2008); (ii) Com base nos dados da reanálise do NCEP CFSR foi desenvolvido um sistema de detecção da formação dos vórtices ciclônicos embebidos na ZCAS, nos dias de ocorrência dos episódios de ZCAS, selecionando os VCMs a partir do: mínimo de vorticidade relativa ( $\delta$ ) em determinado nível de pressão na região da banda de nebulosidade associada à ZCAS, circulação do vento no sentido horário em torno do ponto central de mínimo de  $\delta$  e presença de nebulosidade na região de formação do vórtice; (iii) Análise estatística dos casos selecionados nas regiões das ZCAS denominadas de ZCAS Continental Amazônica (ZCA), ZCAS Continental Costeira (ZCC) e ZCAS Oceânica (ZCO), visando encontrar um padrão espaço-temporal na formação desses sistemas; (iv) análise dos padrões dinâmicos e termodinâmicos associados à configuração dos vórtices;

### 3 – RESULTADOS

A figura 1 mostra um exemplo de três VCMs detectados em cada uma das regiões analisadas (ZCA, ZCC e ZOC). Interessante observar que os vórtices estão embebidos na região de confluência (linha tracejada) e movimento ascendente do ar ao longo da ZCAS.

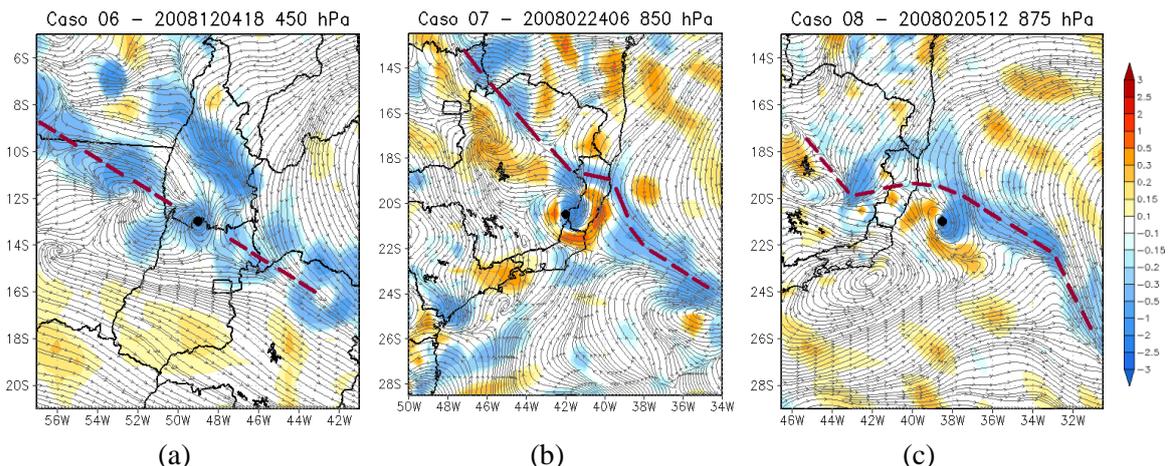


Figura 1 - Mapas de linhas de corrente e velocidade vertical  $\Omega$  ( $\text{Pa s}^{-1}$ ) (sombreado) que indicam os vórtices ciclônicos de mesoescala detectados nas sub-regiões ZCA as 6Z de 01/02/2007 em 825 hPa (a), ZCC as 6UTC de 24/02/2008 em 850 hPa (b) e ZOC as 12UTC de 05/02/2008 em 875 hPa (c).

Analisando o mecanismo de intensificação dos vórtices, a figura 1 indica que a ZCAS contribui, em uma escala espacial maior, com a convergência de umidade em baixos níveis ao longo da sua região de atuação, favorecendo a intensificação deste sistema embebido na zona de convergência. Em direção ao centro do vórtice onde é possível observar a confluência do ar, acelerando o movimento ascendente, transportando ar quente e úmido para os altos níveis e, conseqüentemente, instabilizando a atmosfera.

A figura 2 apresenta a localização dos VCMs denominados de úmidos (localizados na baixa troposfera até 700 hPa) encontrados pelo sistema de detecção e associados à presença da ZCAS, além dos perfis verticais médios de vorticidade relativa e divergência de massa no ponto central do sistema. Com relação à localização dos mesovórtices (Fig. 2a) o diâmetro dos círculos está relacionado com a profundidade do sistema, sendo que o VCM mais profundo (círculo preto) foi detectado em seis níveis de pressão consecutivos, na região ZCC. Nos 10 anos de estudo, um total de 300 VCMs úmidos foram detectados na baixa troposfera (Fig. 2a), enquanto que na média e alta troposfera foram detectados 277 VCMs (Figura não mostrada). É importante ressaltar que, como o sistema de detecção não identifica a evolução temporal de um determinado vórtice, é possível que este sistema seja detectado mais de uma vez. Com isso, não é possível determinar computacionalmente quantos VCMs efetivamente atuaram nos 10 anos de estudo. Os perfis verticais de vorticidade relativa e anomalia da temperatura potencial são apresentados nas figuras 2b e 2c. Vórtices úmidos continentais caracterizam-se pela vorticidade ciclônica até a média troposfera, com máximos entre 875 e 850 hPa (Fig. 2b). A estrutura térmica destes vórtices concorda com a dos vórtices encontrados no trabalho de James e Johnson (2010), que mostra um núcleo frio abaixo do máximo de vorticidade e uma taxa de aquecimento em direção à média e alta troposfera (Fig. 2c). Sobre o oceano, os vórtices úmidos apresentam valores de vorticidade relativa e anomalia de temperatura potencial aproximadamente uma ordem de grandeza menor que os vórtices continentais.

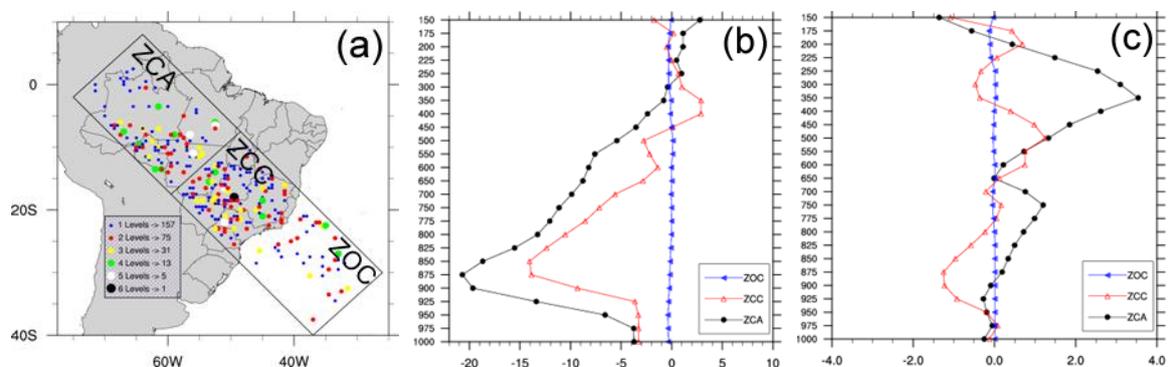


Fig. 2 – Localização do VCMs úmidos (a) detectados pelo sistema de detecção na região da ZCAS e perfil médio de vorticidade relativa ( $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) (b) e anomalia de temperatura potencial (K) (c) em torno do ponto central destes sistemas, entre os anos de 2000 a 2009. A legenda na figura 2a representa o total de vórtices selecionados em níveis contíguos de pressão.

#### 4 – CONCLUSÃO

Este trabalho mostra a importância da atuação dos vórtices ciclônicos de mesoscala embudados na ZCAS, através do desenvolvimento de um sistema de detecção e da análise de sua estrutura tri-dimensional. Na baixa troposfera a maioria dos VCMs se localiza na região ZCC e mais para SW na região continental, possivelmente relacionados a efeitos topográficos e de instabilidade local gerada por sistemas transientes que penetram na região da ZCAS. Outras características marcantes dos VCMs são que uma pequena parte do total pluviométrico associada a estes sistemas é de origem convectiva e os vórtices mais intensos (maior taxa de rotação ciclônica) se localizam na baixa troposfera. Com relação à frequência de atuação dos vórtices, pode-se observar que nas três regiões os vórtices mais intensos se localizam acima da Camada Limite Planetária (CLP) até aproximadamente 700 hPa. Verifica-se uma concordância entre os vórtices destas regiões de máxima vorticidade ciclônica e os extremos de precipitação (Figura não mostrada). Com relação à precipitação, estes sistemas podem estar associados tanto a chuvas fracas como intensas independentes da região de atuação. Os máximos de precipitação total (em torno de 200 e 300 mm.dia<sup>-1</sup>) e convectiva (em torno de 60 e 80 mm.dia<sup>-1</sup>) encontram-se entre a baixa e média troposfera, reduzindo os valores próximos a superfície e em altos níveis. Neste período de estudo foram encontrados valores extremos acima de 400 mm.dia<sup>-1</sup> na região ZCC. Na ZCO os vórtices mais intensos se formam entre 775 e 700 hPa, onde verifica-se uma redução do calor latente, que volta a aumentar com a altitude. O fluxo de calor sensível torna-se positivo na presença dos VCMs, indicando que estes sistemas têm menor duração que sobre o continente.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLIMANÁLISE, 2008: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Disponível em <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>. Acesso em 20/11/2008.
- JAMES, E. P. AND R. H. JOHNSON, 2010: Patterns of precipitation and mesoscale evolution in midlatitude mesoscale convective vortices. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 909–931.
- QUADRO, M. F. L., SILVA DIAS, M. A. F., HERDIES, D. L., GONCALVES, L. G. G. Análise Climatológica da Precipitação e do Transporte de Umidade na Região da ZCAS Através da Nova Geração de Reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, p.152 - 162, 2012.
- SAHA, S. et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **Submitted to the Bulletin of the American Meteorological Society**. Revised: March 25, 2010