



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15460-TDI/1422

MÉTODO OBJETIVO DE IDENTIFICAÇÃO DOS VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVES NA REGIÃO TROPICAL SUL: VALIDAÇÃO E CLIMATOLOGIA

Michelyne Duarte Leal Coutinho

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Manoel Alonso Gan e Vadlamudi Brahmananda Rao, aprovada em 10 de novembro de 2008

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.17.12.16>>

INPE
São José dos Campos
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:

Presidente:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15460-TDI/1422

MÉTODO OBJETIVO DE IDENTIFICAÇÃO DOS VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVES NA REGIÃO TROPICAL SUL: VALIDAÇÃO E CLIMATOLOGIA

Michelyne Duarte Leal Coutinho

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Manoel Alonso Gan e Vadlamudi Brahmananda Rao, aprovada em 10 de novembro de 2008

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.17.12.16>>

INPE
São José dos Campos
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C 837m Coutinho, Michelyne Duarte Leal.

Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região tropical sul: validação e climatologia / Michelyne Duarte Leal Coutinho. – São José dos Campos: INPE, 2008.

119p. ; (INPE-15460-TDI/1422)

Dissertação (Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

1. Vórtice ciclônico de altos níveis. 2. Método objetivo. 3. Região tropical sul. 4. Validação. 5. Climatologia. I. Título.

CDU 551.589

Copyright © 2008 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, microfílmico, reprográfico ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2008 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

**Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Meteorologia**

Dr. Nelson Jesus Ferreira



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Manoel Alonso Gan



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Ricardo de Camargo



Convidado(a) / IAG/USP / São Paulo - SP

Aluno (a): Michelyne Duarte Leal Coutinho

São José dos Campos, 10 de novembro de 2008

“Ora, a fé é o firme fundamento das coisas que se esperaram e a prova das coisas que se não vêm...”

Hebreus 11:1

“... Ora, sem fé é impossível agradar a Deus, porque é necessário que aquele que se aproxima de Deus creia que ele exista, e que é galardoador dos que o buscam.”

Hebreus 11:6

Meu Senhor e Deus da minha vida é a ti que agradeço acima de tudo por ter tido a infinita misericórdia de me ajudar a vencer mais uma luta. Luta esta com muitos espinhos e trilhas, mas que o caminho sempre esteve iluminado pela luz dos teus olhos. Nestes versículos citados busquei a minha força e o meu sustento. Encontrei porque sempre estiveste comigo e porque o teu amor é infinito. Graças te dou pela fé, saúde, dores, alegrias e tristezas. Em todos os momentos da minha vida, estiveste por perto, não por meu merecimento, mas porque teus olhos contemplam aqueles que te buscam de coração. Obrigada pela proteção sobre a minha família que mesmo estando longe, sinto tuas mãos cheias de graça e alento e porque o laço do amor entre nós permanece como fortaleza para a minha alma. Te agradeço por mais uma benção que enviaste no meu caminho: meu noivo Sandro, que entrou na minha vida porque tu preparou e, juntamente com a família completando meus dias de muita força, carinho e esperança. Obrigada pelo recebimento de todas as orações feitas por mim, porque são pessoas de coração puro, que te agradam e que eu as amo. Em todos os momentos, me ensinaste a te agradar e a esperar em ti, obrigada meu Jesus por tudo!

Dedico a mainha, painha,
meu amor Sandro,
meus irmãos: Michely
Mychellane, Maytê e Usiel pelo amor,
confiança e imensa força.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo ao meu Deus por ter contemplado a minha vida, abençoando a mim e a minha família, e por ter me concedido mais uma conquista.

A meus pais: Estela e Uziel e aos meus irmãos: Michely, Mychellane, Maytê e Uziel pelo amor, perseverança nas orações a Deus, confiança na vitória, força na fraqueza, alento na angústia, assim como me ensinaram a ter coragem para lutar.

Ao meu noivo, Sandro pelo amor, orações, paciência, carinho, compreensão, confiança, fortaleza, segurança da vitória e ensinamentos da vida. Juntamente, agradeço a sua família pelo amor, orações, força e carinho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo auxílio financeiro concedido e a Divisão de Satélites Ambientais (DSA) pelos dados fornecidos.

Aos Drs. Manoel Alonso Gan e Vladamudi Bramananda Rao pela amizade, paciência, aprendizado, proveitosas e valiosas orientações, disposição e constância em me ajudar.

À Dra. Chou Sin Chan pela amizade, paciência, confiança, aprendizado, acolhimento em sua casa antes de obter esta conquista.

Às amigas da pós-graduação em Meteorologia: Lílian, Simone e Fabiana pelo trabalho competente, carinho e disposição constante em ajudar.

Ao Marcos Yoshida pela amizade, dicas e sugestões. Ao César pela amizade e disposição e ao Felipe pela ajuda oferecida. Ao Conrado pela amizade e pela manipulação nos dados de satélite. Aos Drs. Bonatti, Clóvis Angeli, Clóvis Espírito Santo e Renata Mendonça, Paulo Kubota e Marília Shimizu pela ajuda oferecida.

Aos meus amigos Diego Souza, Marília Guedes, Sâmia Regina, Sheila Santana e Suelen porque são pessoas que me trouxeram força, perseverança e segurança.

Aos meus colegas do curso de mestrado em meteorologia: Alan, Aliana, Antônio, Cristiano, Eliude, Fernanda, Marília, Raquel, Renato, Roger, Rogério, Sérgio e Sheila pela troca de conhecimentos e momentos vividos.

RESUMO

Um Método Objetivo (MO) foi desenvolvido para identificar Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) na região Tropical Sul, baseado na vorticidade relativa e no escoamento horizontal do vento ao redor do centro dos sistemas. Esses sistemas sinóticos apresentam um movimento irregular que tornam as previsões de tempo complexas. O estudo da variabilidade interanual e intrasazonal das principais características (número de ocorrência, período de vida, intensidade e região de formação) dos vórtices foi feito através de uma climatologia de 28 anos (1979-2006) com os resultados obtidos pelo MO. O deslocamento e os mecanismos de formação foram analisados para casos selecionados. Foram identificados 886 vórtices, em que 75,3% perduraram de 2 a 4 dias. O número de vórtices diminuiu à medida que o período de vida aumentou. No verão, foi encontrado o maior número de VCAN e no inverno o menor. Dos 14 períodos avaliados da climatologia com eventos de El Niño (9 períodos) e La Niña (5 períodos), foi verificado em 5 períodos com El Niño, maior número de vórtices moderados e em 3 períodos com La Niña, maior número de vórtices fracos. A região preferencial de ocorrência do VCAN é no norte do Oceano Atlântico Sul com 603 casos dos 886 contabilizados nos 28 anos, no entanto a área continental com maior formação desse sistema é no NEB com 141 casos. A instabilidade barotrópica foi verificada como mecanismo de formação nos dois vórtices selecionados. Foi verificado também que a componente zonal do vento mais intensa na região subtropical possibilitou a formação de um maior número de VCAN na região equatorial, com contribuição do aumento do número de vórtices intensos. Este aumento contribuiu na série climatológica do número total de vórtices para uma tendência crescente e significativa a partir de 2003. O deslocamento de um VCAN foi analisado usando a equação da vorticidade. Durante os dois primeiros dias do período de vida deste, houve maior contribuição do termo de divergência horizontal, no meio deste período, observou-se contribuição significativa do termo de advecção horizontal de vorticidade relativa, já o termo de advecção horizontal de vorticidade planetária apresentou contribuição ao longo do período.

**OBJECTIVE METHOD IDENTIFICATION UPPER-TROPOSPHERIC
CYCLONIC VORTICES IN THE SOUTH TROPICAL REGION:
VALIDATION AND CLIMATOLOGY**

ABSTRACT

An Objective Method (OM) to identify Upper-Tropospheric Cyclonic Vortex (UTCV) in South Tropical region was developed based on relative vorticity and on horizontal flow of the wind round the centre of the system. As this synoptic system shows an irregular movement the weather forecasts become complex. The interannual and intrasazonal variability study of the main characteristics (occurrence number, life period, intensity and region of formation) of the UTCV was made through climatology of 28 year (1979 – 2006) with the results obtained from OM. The displacement and formation mechanisms were analyzed from the selected cases. 886 vortices were identified, in which 75,3% of the cases had duration from 2 to 4 days. The number of vortices decreased when the life period increased. In summer, a greater number of UTCV and in the winter a reduced number of cases were found. Of the 14 analyzed climatology periods of El Niño (9 periods) and La Niña (5 periods) events, a greater number of moderate vortices was verified in 5 El Niño periods and greater number of weak vortices in 3 La Niña periods. The main region of UTCV occurrence was observed over the north region of the South Atlantic Ocean with 603 cases of the 886 founded in the 28 years. The continental area with higher number of case formations was Northeastern Brazil with 141 cases. The barotropic instability was verified as a formation mechanism in 2 selected vortices. A strong zonal wind over the subtropical region that contributed with a greater number of UTCV formations and with intense vortices over the Equatorial region was also verified. The increase of number intense vortex contributed to positive significant trend of total vortices number from 2003 year. The displacement a UTCV was also analyzed using the vorticity equation. During the period of life in the first 2 days the horizontal divergence term had the highest contribution. During the middle of this period, the horizontal advection term of relative vorticity had a significant contribution. The planetary horizontal advection term, presented a contribution during the period.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
LISTA DE SÍMBOLOS	
1 INTRODUÇÃO	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Mecanismo de Manutenção	33
2.2 Estrutura Vertical.....	34
2.3 Nebulosidade e Precipitação.....	35
2.4 Deslocamento e Persistência	37
2.5 Métodos que identificam ciclones no HS	39
3 DADOS E METODOLOGIA	45
3.1 Dados	45
3.2 Metodologia.....	46
3.2.1 Descrição dos métodos subjetivos.....	46
3.2.1.1 Imagens de satélite.....	46
3.2.1.2 Análises dos campos de vento e de vorticidade relativa	47
3.2.2 Descrição do método objetivo	48
3.2.3 Avaliação das análises	55
3.2.4 Climatologia	56
3.2.4.1 Intensidade.....	57
3.2.4.1.1 Teste estatístico de Mann-Kendall	58

3.2.4.2 Região e mecanismos de formação	59
3.2.4.3 Diagrama de Hovmoller	61
4 RESULTADOS	63
4.1 Comparação entre imagens de satélite no canal do vapor d'água e os campos de vento e de vorticidade relativa.....	63
4.2 Validação do método	71
4.2.1 Comparações entre os métodos de análise	76
4.3 Aplicação do MO: climatologia de 28 anos dos VCAN	78
4.3.1 Período de vida e região de formação	78
4.3.2 Intensidade.....	84
4.3.3 Mecanismos de formação	91
4.3.3.1 Instabilidade Barotrópica.....	92
4.3.3.2 Eventos de intrusão (quebra da onda de Rossby).....	96
4.3.4 Deslocamento	100
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	109
5.1 Conclusões.....	109
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Ilustração do movimento vertical observado em um VCAN. Fonte: Kousky e Gan (1981).	34
2.2 Ilustração da nebulosidade associada ao VCAN durante o seu deslocamento. Fonte: Kousky e Gan (1986).	36
2.3 Distribuição espacial de número de dias com vorticidade relativa menor que $-2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ para o período de verão austral (dezembro-março) de 1994-2001. Fonte: Da Silva (2005).	42
3.1 Imagem do satélite Meteorological Satellite (METEOSAT) no canal do vapor d'água. VCAN formado na costa do NEB e Oceano adjacente no dia 22 de fevereiro de 1979. Fonte: Bengtsson et al. (1982).	47
3.2 Esquema da variação do escoamento horizontal em torno do centro de um VCAN (a) e de um CAN (b).	49
3.3 Fluxograma do MO que determina posição e intensidade dos VCAN que atuam na região Tropical Sul.	50
3.4 Fluxograma para determinação dos mínimos de vorticidade relativa.	52
3.5 Fluxograma da análise do escoamento horizontal do vento em torno de cada mínimo.	54
3.6 Fluxograma de seleção dos VCAN.	55
3.7 Subdivisões das regiões de formação dos VCAN.	60
4.1 Distribuição espacial dos VCAN. À esquerda: obtida pela IS; à direita: obtida pela AC, para o verão de 2002-2003. A cor indica o VCAN e a ordem numérica informa a seqüência de atuação do mesmo.	65
4.2 Campos de vento em 200 hPa às 12:00 e Imagens do satélite GOES-08 às 14:45 UTC nos dias (a) e (c) 16/02/03 e (b) e (d) 27/03/03. "C" indica o centro do VCAN.	69
4.3 Defasagem (graus) das posições dos VCAN's obtidas pela AC com relação a IS em 2003.	71
4.4 Como Figura 4.1, sendo à esquerda: obtida pelo MO, à direita: obtida pela AC.	73
4.5 Como Figura 4.4 para o verão de 2003-2004.	74

4.6	Como Figura 4.3 sendo o MO com relação a AC.	76
4.7	Distribuição de frequência da duração dos VCAN formados na região tropical sul para o período de 1979 a 2006.	79
4.8	Número de VCAN por região de formação e tempo de vida para o período de 1979 a 2006. As delimitações das regiões estão indicadas na seção 3.2.4.1.	84
4.9	Número de vórtices (regressão linear) pertencentes às categorias: I (a), II (b), III (c) e total (d).	89
4.10	Número médio mensal de VCAN do período de (a) 1979 a 1994 e (b) 1995 a 2006 por categoria. As cores em azul, vermelho e amarelo correspondem às categorias I, II, III dos vórtices, respectivamente.	91
4.11	Distribuição meridional do vento zonal médio em 200 mb durante o período de pré-vórtice na região de formação (a) 20°W – 7.5°E do VCAN moderado de 15 a 18 de março de 2003, (b) 50°W a 10°W do VCAN intenso de 15 a 18 de fevereiro de 2003.	95
4.12	Como Figura 4.11 para a vorticidade absoluta média.	96
4.13	Vento zonal médio (ms^{-1}) em 200 hPa para o quadrimestre NDJF do período de (a) 1995-2006, (b) 1979-1994.	98
4.14	Como Figura 4.13 para a vorticidade relativa média.	99
4.15	Distribuição espacial dos VCAN obtida pelo MO. A cor indica o VCAN e a ordem numérica informa seqüência de dias de atuação do mesmo.	101
4.16	Campos de vento e vorticidade relativa em 200 hPa para os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003 às 12:00 UTC.	103
4.17	Como Figura 4.17, para o período de 24 a 27 de fevereiro de 2003.	104
4.18	Termos da equação da tendência de vorticidade relativa (hachurado) mais em linhas (a) vento zonal e (c) divergência do vento horizontal. “X” indica a posição do VCAN às 12:00 UTC.	107

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Condições do vento horizontal em cada quadrante necessárias à configuração de um VCAN.....	53
3.2 - Classificação da intensidade dos vórtices conforme categorias.....	57
4.1 - Número de VCAN obtidos pelos três métodos de análises: IS, MO e AC. Os números entre parênteses indicam número de dias com VCAN.	67
4.2 - Distribuição interanual e sazonal do número de VCAN por classe (tempo de vida) para o período de 1979 a 2006.	82
4.3 - Número anual de VCAN por região de formação e intensidade (I- fraco, II - moderado, III- intenso).	85

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB: Alta da Bolívia

AC: Análise dos Campos de vento e vorticidade relativa

AHVR: Advecção Horizontal de Vorticidade Relativa

AHVP: Advecção Horizontal de Vorticidade Planetária

CAN: Cavado de Altos Níveis

CPTEC: Centro de Previsão do Tempo e Estudo Climáticos

DSA: Divisão de Satélites Ambientais

DIV: Divergência Horizontal do Vento

DHVP: Divergência Horizontal de Vorticidade Planetária

DH: Divergência Horizontal

ECMWF: European Centre for Medium Range Weather Forecasts

HS: Hemisfério Sul

HN: Hemisfério Norte

IS: Imagem de Satélite

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LIMEXP: Limite máximo de pontos de grade na matriz de análise

MO: Método Objetivo

NV: Número de mínimos válidos

NP: Números de pontos de análise de todos os quadrantes

NEB: Nordeste do Brasil

NCEP: National Centers for Environmental Prediction

NCAR: National Center for Atmosphere Research

PVA: Pontos de grade do núcleo analisado

PVE: Pontos de grade do núcleo comparado

Q : Quadrante

TVR: Tendência de Vorticidade Relativa

V: Vento Resultante

VA: Núcleo analisado

VE: Núcleo comparado

VCAN: Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

LISTA DE SÍMBOLOS

u: Componente zonal do vento

\bar{u} : Vento zonal médio

v: Componente meridional do vento

\bar{v} : Vento meridional médio

β : efeito beta

ζ : Vorticidade Relativa

$\bar{\eta}$: Vorticidade absoluta média

ω : Omega

Zeta: Vorticidade relativa

1 INTRODUÇÃO

Existe uma grande necessidade em compreender a dinâmica, a termodinâmica e a climatologia sinótica dos sistemas transientes, pois um bom conhecimento do comportamento desses sistemas implicará em uma melhora na previsão de tempo de curto prazo, favorecendo subsídios de prevenção nos diferentes âmbitos de tomada de decisão.

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) são exemplos desses sistemas, que por sua persistência e deslocamento têm um papel importante no regime de precipitação de regiões dos trópicos e extratropicais, além de contribuírem nas trocas de energia entre ambas as regiões (RAMIREZ, 1997). Os vórtices são também importantes mecanismos de intercâmbio estratosfera-troposfera, sendo essenciais para explicar valores anômalos de ozônio troposférico em latitudes médias e subtropicais (HOLTON ET AL., 1995; KENTARCHOS, 2000).

No Brasil, as regiões mais afetadas pelos VCAN são: Sul, Sudeste e Nordeste (LOURENÇO, 1996). Nesta última região, os sistemas se desenvolvem nas latitudes tropicais do Oceano Atlântico Sul (KOUSKY E GAN, 1981; MISHA ET AL., 2001) e de acordo com experiências sinóticas podem ocasionar secas em algumas regiões ou inundações em outras, dependendo da posição sobre a área afetada (SILVA, 2005) e das condições atmosféricas. Um exemplo dessas experiências pode ser visto em Gan e Kousky (1986), que observou precipitação abundante na costa norte do Nordeste do Brasil (NEB) no dia 22 de fevereiro de 1979 que esteve associada à formação de aglomerados de cumulonimbus. Próximo ao centro do VCAN, também desenvolveram-se nuvens cumulonimbus devido ao efeito da variação diurna, contribuindo para que houvesse pancadas de chuvas em algumas localidades do NEB.

Os primeiros estudos a respeito da origem dos VCAN no NEB foram feitos por Dean (1971), Aragão (1975) e Virji (1981) que observaram formação desse sistema no Atlântico Sul Tropical durante a época chuvosa da região. Kousky e Gan (1981) observaram formação de VCAN nessa mesma região e também em áreas continentais, como a costa leste brasileira. Esses vórtices formam-se de Setembro a Abril, segundo

Kousky e Gan (1981) e Gan (1983), sendo que a frequência é maior nos meses de verão, especialmente em janeiro, estação do ano em que eles mais perduram com cerca de 7,1 dias em média (RAMIREZ, 1997).

Durante o verão, Kousky e Gan (1981) notaram que a maior frequência de VCAN está associado ao padrão de circulação dos ventos em altos níveis sobre a região tropical da América do Sul, o qual é mais meridional. Esse escoamento meridional se configura quando ocorre um maior aquecimento do continente que ocasiona um aumento da convecção sobre a região da Amazônia (SILVA DIAS ET AL., 1983) e formação de um intenso anticiclone em 200 mb, conhecido como Alta da Bolívia (AB) (VIRJI, 1981). Corrente abaixo da AB, surge um cavado sobre a região NEB (CARVALHO, 1989) cuja circulação pode fechar e formar um VCAN, dependendo da intensificação desse cavado.

Além dos mecanismos para formação dos VCAN, existem outros importantes aspectos das características gerais que necessitam ser mais discutidos, como: período de vida, intensidade, região de formação e frequência de ocorrência, não só durante a estação do ano com maior frequência de ocorrência (verão), mas ao longo do ano. Kousky e Gan (1981) e Gan (1983) não puderam estudar as características dos VCAN durante o inverno porque só puderam identificar VCAN secos, já que priorizaram o uso de imagens de satélite no canal infravermelho para localização dos sistemas. Já Ramirez (1997) e Silva (2005) não consideraram a formação de vórtices durante o inverno. No entanto, a experiência sinótica mostra que é possível se formar VCAN no inverno que não estão associados à nebulosidade, mesmo que seja em menor frequência, podem apresentar características diferentes dos sistemas formados nas demais estações do ano. Assim, é importante se ter uma avaliação do comportamento das principais características já apresentadas, anualmente e sazonalmente para um período de tempo longo.

As condições de tempo associadas aos vórtices são significativas em algumas áreas da região tropical, como no NEB, além desses sistemas apresentarem um movimento errático (KOUSKY E GAN, 1981; SIMPSON, 1951) que torna a previsão de tempo

complexa. Por isso, é interessante a elaboração de um método totalmente objetiva que possa identificar e posicionar os vórtices da forma mais precisa possível, a fim de prever o tempo associado a estes sistemas nas regiões dos trópicos. No entanto, a maior parte dos métodos objetivos elaborados foi aplicada em áreas dos extratropicais, como os estudos de Sinclair (1994), Fuenzalida et al. (2005) e Campetella e Possia (2006). Silva (2005) elaborou um método que identifica os VCAN no NEB, mas não totalmente objetivo.

É prioritária a elaboração de um Método Objetivo (MO) que tenha aplicação na região tropical, bem como um estudo climatológico dos VCAN ao longo do ano com os resultados obtidos por este MO, para representar uma opção de aplicação em centros operacionais de tempo, como o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Uma boa previsão dos VCAN na região tropical trará benefícios à sociedade e à economia.

O objetivo geral do estudo é o desenvolvimento de um método objetivo que identifique os VCAN formados na região Tropical Sul e fazer uma climatologia desses sistemas ao longo do ano, com os seguintes objetivos específicos:

- 1- Identificar os VCAN de forma subjetiva usando dados de reanálises do National Centers for Environmental Prediction / National Centers for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) para 5 anos (2002 a 2006);

- 2- Verificar a destreza das estatísticas feitas no item 1 com a mesma resolução temporal através de imagens do satélite Geostationary Operational Environmental Satellite/ East (GOES/E), no canal espectral do vapor d'água;

- 3- Identificar os VCAN usando o MO desenvolvido para o mesmo período usado nas análises subjetivas dos itens 1 e 2, validando os seus resultados através de comparações com as estatísticas feitas no item 1;

- 4- Fazer uma climatologia de 28 anos (de 1979 a 2006) dos VCAN com o MO desenvolvido utilizando o conjunto de dados de reanálises do NCEP/NCAR para

estudar o comportamento da variabilidade interanual e intrasazonal dos vórtices, quanto ao seu período de vida, intensidade, número de ocorrência e região de formação. O deslocamento e os mecanismos de formação desses sistemas foram estudados para casos selecionados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O período entre o final dos anos 50 e início dos anos 70 foi marcado pelo desenvolvimento de diversos estudos sobre as características dos VCAN nos subtrópicos do Hemisfério Norte (HN). As primeiras discussões a respeito da origem e formação desses sistemas foram feitas por Palmén (1949), Palmer (1951), Simpson (1951), Ricks (1959) e Frank (1966, 1970).

Palmén (1949) observou VCAN que se originaram quando extensos cavados de ar superior associados a bolsões de ar frio se desprenderam de sua região fonte, e permaneceram confinados no lado equatorial da corrente média dos ventos de oeste. Simpson (1951) notou que as tempestades do tipo “kona” da região do Pacífico leste apresentaram as mesmas características do modelo proposto por Palmén (1949). Estes ciclones subtropicais estiveram sempre precedidos de ar frio nos altos níveis através da atuação de cavados com grande amplitude no escoamento polar de oeste, representando uma importante ligação para a troca de energia entre regiões tropicais e polares.

Características similares foram encontradas por Palmer (1951) na região tropical, quando analisava campos de linhas de corrente em duas situações de tempo (Junho de 1946 e março de 1949). Perturbações na forma de onda se estenderam ao sul de 10°N formando circulações ciclônicas fechadas na troposfera superior dos trópicos, que em algumas vezes, permaneceram estacionárias por até duas semanas. Estes sistemas foram denominados de “VCAN de origem tropical” (Palmer, 1951). Palmer sugeriu que a circulação destes sistemas, em algumas vezes, foi semelhante ao dos vórtices desprendidos de latitudes subtropicais, entretanto os vórtices tropicais se formaram por outro processo, já que não envolveram ar polar em nenhum dos seus estágios de vida (PALMÉN ET AL. (1958) citado por PÁLMEN E NEWTON, 1969).

Tomando como base os resultados obtidos por Palmén (1949) e Palmer (1951), Frank (1970) denominou os VCAN conforme a região de formação: os VCAN que se formam nos subtrópicos são tipo Palmén e aqueles cuja origem se dá na região tropical são do tipo Palmer. Frank (1970) estendeu seu estudo verificando o tempo de vida associado

aos sistemas. Alguns VCAN perduraram algumas horas, enquanto que outros até mais de uma semana, dependendo do mecanismo com que se formavam.

Quanto à termodinâmica dos sistemas, Ricks (1959) denominou como “VCAN seco” àqueles cujo centro era frio e envolvido por uma região mais úmida com movimentos ascendentes. Estes sistemas alcançaram máxima intensidade próximo ao nível de 200 hPa e se estenderam verticalmente para níveis mais baixos mantendo a circulação fechada. Frank (1970) verificou que estes vórtices apresentavam movimento descendente e seco no centro. Analisando imagens de satélite no canal espectral infravermelho, Gan (1983) observou a existência de VCAN úmidos cuja característica era apresentar alguma nebulosidade associada.

Estudos primórdios da origem dos VCAN que se formam no NEB foram feitos por Dean (1971), Aragão (1975) e Virji (1981), nos quais observaram a formação desses sistemas na região do Atlântico Sul Tropical durante a época chuvosa da região. Kousky e Gan (1981) e Gan (1983) estudaram vários aspectos relacionados à atuação dos VCAN sobre o NEB, quanto à origem, manutenção, estrutura vertical e deslocamento. Kousky e Gan (1981) propuseram um mecanismo de formação dos VCAN originados no oceano Atlântico Sul, no qual poderia estar associado à advecção de ar quente corrente acima de um sistema frontal localizado nos subtrópicos. Essa advecção de ar quente amplificaria a crista em altos níveis que como consequência intensificaria o cavado a jusante, formando então um ciclone na troposfera superior.

Segundo Ramirez (1997), dos 80 VCAN originados no Atlântico Tropical Sul e leste do Brasil no período de verão (dezembro-fevereiro) de 1980-1989, 84% se formaram pelo mecanismo proposto por Kousky e Gan (1981), enquanto que os 16% restantes formaram-se pela amplificação de cavados provenientes do HN. Neste último caso, a crista associada à Alta da Bolívia (AB) poderia ser amplificada pelos cavados provenientes do Pacífico Norte ou Atlântico Norte, compondo um alinhamento na direção NO-SE ou NE-SO com a AB. Dos 16 %, outros poucos VCAN tiveram formação associada ao escoamento de leste vindo do HN, e neste caso os sistemas surgiram de cavados invertidos que se originaram sobre o Oceano ao sul em 5°S.

Além da “formação clássica” proposta por Kousky e Gan (1981) e a “formação Alta” proposta por Ramirez et al. (1999), na qual os VCAN se originam a partir da amplificação da crista localizada no seu lado oeste-sudoeste. Através do estudo de 13 vórtices durante o verão de 1995-1996, Paixão (1999) constatou mais três padrões de formação dos VCAN na região do Atlântico Tropical. O primeiro padrão denominado de “formação Africanas I e II” que esteve relacionado à presença de centros anticiclônicos em altos níveis sobre a África e a “formação mista” que apresentou um mecanismo de formação no início e logo após a predominância de outro mecanismo. Em termos percentuais, Paixão (1999) encontrou que 46% dos VCAN estudados se formaram pelo mecanismo clássico e 54% pelos demais processos de formação.

Mishra et al. (2001) estudaram o comportamento dinâmico durante quatro dias antes (pré-vórtice) da formação de um vórtice formado sobre o NEB que perdurou 5 dias (5 a 10 de janeiro de 1993). Uma intensa região (entre 17,5°S e 7,5°S) de positivo cisalhamento horizontal do vento foi desenvolvida ao longo do período de pré-vórtice coincidindo com a região do cavado do Atlântico Sul. A região de cisalhamento horizontal do vento apresentou característica meridional (zonal) de escala de 1000 km (3000 km). Segundo Mishra et al. (2001), esta região satisfaz à condição necessária para haver instabilidade barotrópica e seu desenvolvimento está associado à intensificação da AB, intensificação do cavado do Atlântico Sul e à presença de um cavado transiente sobre o Oceano Atlântico Tropical.

Outro estudo de Mishra e Rao (2001) foi feito sobre a energética de um caso de VCAN formado no NEB durante os períodos de pré-vórtice (1-4) e de atuação (5-10 de janeiro de 1993) do sistema. Estes encontraram que o desenvolvimento de uma região de cisalhamento horizontal do vento, antes do VCAN em formação, foi um reflexo do acentuado crescimento da energia cinética zonal durante o período de pré-vórtice. O desenvolvimento de uma intensa crista a leste da AB e a presença de um cavado na região equatorial funcionaram como precursores para a formação do VCAN, e contribuíram para o acentuado crescimento da energia cinética zonal. Isto indicou que o fluxo zonal de grande escala na alta troposfera satisfaz uma condição necessária para haver instabilidade barotrópica no período de pré-vórtice. Através da análise da variação

temporal das componentes energéticas, foram verificados que: (1) o rápido decréscimo da energia cinética zonal, (2) o rápido crescimento da energia cinética da perturbação a uma mesma magnitude da anterior, (3) o repentino crescimento do transporte de momentum da perturbação de valores maiores de \bar{u} (\bar{v}) para valores menores, e (4) e o intenso aumento da conversão da energia barotrópica de energia cinética zonal para energia cinética da perturbação acompanharam a formação do VCAN, indicando a instabilidade barotrópica como um possível mecanismo de formação deste sistema. A instabilidade barotrópica é sugerida como um mecanismo de desenvolvimento de distúrbios transientes de escala sinótica sobre o oeste do Pacífico (COLTON (1973) citado por MISHRA ET AL., 2001).

Nos estudos recentes de Misha et al. (2007), a gênese de dois VCAN formados sobre o NEB com períodos de vida e intensidades diferentes foi investigada durante o período de pré-vórtice (MISHRA ET AL., 2001). Ao longo deste período, foi mostrada uma progressiva e acentuada intensificação do cisalhamento horizontal do vento, sendo de forma mais progressiva para o caso intenso. Isto indicou a importância da dinâmica barotrópica para o desenvolvimento dos VCAN.

Outro possível mecanismo de formação dos VCAN que atuam no NEB foi estudado por Barbosa (2006), quando analisava a variabilidade interanual da componente zonal do vento no nível de 200 hPa e sua relação com quebra da onda de Rossby. Foi verificado que vento zonal de oeste intenso (superior a 10 m/s próximo ao equador) propicia formação de “duto de oeste”, onde estes ventos são favoráveis à propagação da onda de Rossby (HORINOUCI ET AL., 2000) e quebra desta onda, denominado de evento de intrusão (WAUGH E POLVANI, 2000). Os resultados de Barbosa (2006) mostraram que estes eventos formaram um cavado em altos níveis sobre a região do Atlântico Sul e NEB que apresentou circulação ciclônica fechada no período de desintensificação do evento de intrusão. Os anos com maior número destes eventos apresentaram fortalecimento do ciclone em altos níveis (BARBOSA, 2006; RAO ET AL., 2007).

2.1 Mecanismo de Manutenção

Kousky e Gan (1981), usando a estabilidade estática característica dos níveis médios, propuseram que o aquecimento adiabático na região do centro do VCAN (30-60 hPa/dia) em torno de 1-3°C por dia, poderia ser compensado pelo resfriamento radiativo no centro dos VCAN, que segundo Smith et al. (1977) seria dessa ordem para os VCAN formados no Atlântico Norte. Processos baroclínicos também foram verificados nos estudos de Alves (2001) na estrutura térmica vertical de um VCAN intenso que atuou sobre o Atlântico Tropical e proximidades, no qual um aquecimento (resfriamento) na alta troposfera (baixa-média troposfera) principalmente nas áreas continentais foi observado.

Apesar de Mishra et al. (2001, 2007) concluírem que a instabilidade barotrópica pode explicar a formação dos VCAN, além de mantê-los (MISHRA E RAO, 2001), esta não explica a manutenção destes sistemas segundo os resultados obtidos por Rao e Bonatti (1987) quando calculada a taxa de crescimento das ondas mais instáveis. Estes resultados mostraram valores muito baixos de crescimento, sugerindo que outros mecanismos, como o aquecimento por condensação, a formação de centros ciclônicos corrente abaixo da Alta da Bolívia e a interação com latitudes médias, poderiam explicar a manutenção dos VCAN.

Mishra e Rao (2001) notaram que as conversões barotrópica (energia cinética zonal convertida em energia cinética da perturbação) e de energia potencial disponível da perturbação em energia cinética da perturbação manteve o VCAN. No entanto, a barotrópica apresentou predominância com relação à baroclínica. Foi verificado que a conversão de energia barotrópica ocorreu devido ao transporte de momentum da perturbação para sul (norte) de valores maiores de \bar{u} (\bar{v}) para valores menores.

2.2 Estrutura Vertical

Estudando alguns casos de VCAN formados nos trópicos, Frank (1966) notou que a maioria dos sistemas permaneceu concentrado na troposfera superior (entre 200 e 300 hPa) e apenas 10% dos casos formados sobre o Atlântico Tropical Norte se estenderam até a superfície.

Ramirez (1997) observou para o período de 1980-1989, uma porcentagem quase igual dos vórtices que permaneceram em altos níveis (200-300 hPa) e dos que se estenderam até 500 hPa. Em fevereiro foi encontrado o maior número de VCAN que permaneceram em altos níveis, em dezembro predominaram aqueles que se estenderam até 500 hPa e o número foi pequeno dos sistemas que se estenderam até 700 hPa.

O movimento vertical associado ao VCAN foi ilustrado por Kousky e Gan (1981) na Figura 2.1. Este sistema apresenta circulação termicamente direta (RAMAGE, 1962; FRANK, 1966; FRANK, 1970; KOUSKY E GAN, 1981; GAN, 1983) com energia potencial disponível do distúrbio sendo convertida em energia cinética. Teoricamente, o ar frio no centro do sistema desce por ser mais denso e, por conservação de massa, deve haver ascensão de ar mais quente na periferia, onde ocorre formação da nebulosidade.

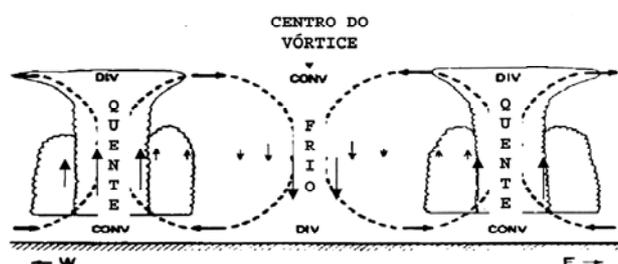


Figura 2.1 – Ilustração do movimento vertical observado em um VCAN.

Fonte: Kousky e Gan (1981).

Uma relação entre a profundidade dos sistemas e os extremos da Oscilação Sul foi encontrada por Ramirez (1997). Os VCAN formados nos verões em anos de El Niño (1982-1983, 1986-1987) foram mais profundos e persistentes do que os formados em anos de La Niña (1984-1985, 1988-1989), no qual estiveram mais confinados nos altos níveis da atmosfera. Em geral, o eixo de inclinação desses sistemas, segundo Ramirez (1997), inclinavam-se para oeste com a altura e apresentavam núcleo frio situado em 300 hPa no setor leste ou sudeste do centro do sistema.

Gan e Kousky (1986) observaram que estes sistemas apresentavam ar mais frio a Sudoeste do centro do sistema. Essa discordância dos resultados destes dois artigos pode estar relacionada com o estágio do ciclo de vida do ciclone, como observado por Paixão (1999) que verificou mudanças na inclinação vertical dos VCAN de acordo com o ciclo de vida desses sistemas. No início de formação, o eixo apresentava inclinação de oeste para leste, o qual mudava de leste para oeste ou não apresentava inclinação na fase mais madura. Nessa última fase, o VCAN se auto-sustentava e não estava sob a influência dos sistemas que o originou.

2.3 Nebulosidade e Precipitação

Frank (1966) observou que a nebulosidade associada aos VCAN estudados variava consideravelmente e dependia da intensidade e profundidade do mesmo, com tendência a ser concentrada na periferia do mesmo e apresentava características assimétricas. Kousky e Gan (1981) mostraram que a nebulosidade associada aos VCAN foi geralmente maior na direção em que estes se deslocaram como ilustra a Figura 2.2. Muitas vezes a nebulosidade do sistema se unia a de uma frente fria em superfície formando uma configuração do tipo “S”.

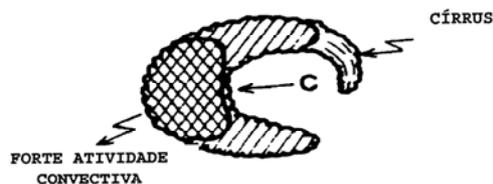


Figura 2.2 – Ilustração da nebulosidade associada ao VCAN durante o seu deslocamento. Fonte: Kousky e Gan (1981).

Gan e Kousky (1986) através de imagens de satélite no canal infravermelho observaram casos de VCAN em que a periferia foi acompanhada de bastante nebulosidade, enquanto que o centro apresentou características com céu limpo. Em outros casos, houve formação de nuvens cumulonimbus no centro, que segundo Gan e Kousky (1986), o VCAN percorreu águas quentes ou penetrou no continente, nesta última situação mostrando forte variação diurna. Os mesmos concluíram que a penetração de VCAN no NEB afeta a distribuição e intensidade da precipitação.

Silva (2005) verificou a influência da borda dos VCAN formados no NEB durante os sete verões (DJFM) estudados (1994-2001) sobre a chuva em determinadas áreas denominadas de alvo. Seus resultados mostraram que quando o sistema esteve muito longe (distância do centro a área alvo maior que 2000 km), o efeito da borda era reduzido, já quando a distância entre o centro do VCAN e a área alvo variou entre 1000 e 2000 km houve um aumento na frequência de chuvas moderadas e fortes. Através de análises estatísticas de três casos selecionados do período, Silva (2005) verificou que quando a borda oeste do VCAN está próxima ou sobre uma sub-região do interior do NEB, a precipitação mostrou um aumento.

Barbosa (2006) estudou a correlação entre a precipitação no NEB e os eventos de intrusão de vortividade potencial isentrópica que ocorreram sobre o Atlântico Sul de 1980 a 1998. A precipitação sobre o Norte do Nordeste (NNE) correlacionou-se negativamente com os eventos de intrusões; já no Sul desta região, a correlação foi positiva. No leste do Nordeste não houve relação significativa entre a precipitação e os

eventos de intrusões. Para o NNE, Barbosa (2006) observou que o número de intrusões foi relativamente alto (baixo) nos anos com desvio negativo (positivo) de precipitação para o quadrimestre FMAM. No Sul da região, ocorreu o contrário, os anos com desvio positivo de precipitação no quadrimestre JFMA apresentaram número maior de intrusões e em anos com desvio negativo, ocorreram poucos eventos ou nenhum.

Satyamurty e Seluchi (2007) buscaram explicações da precipitação que esteve associada ao VCAN formado na região subtropical da América do Sul. Estes notaram que o índice de levantamento e os valores de Energia Potencial Convectiva Disponível (CAPE), durante o estágio de maturidade do sistema, não foram suficientemente altos para explicar o total de precipitação observado. Entretanto, processos dinâmicos ocorridos na troposfera média e inferior foram estudados através do vetor Q que puderam explicar o movimento ascendente e o campo de precipitação associado.

Um artigo recente de Rao et al. (2007) mostrou uma correlação negativa entre a precipitação sobre o NEB e as variações de intrusão de alta vortacidade potencial (VP) para NDJFM de 1980 a 1998. Foi encontrada na troposfera superior a existência de maiores intrusões de VP associadas com ventos equatoriais de oeste mais intensos que acompanharam secas no NEB, enquanto que a falta de intrusão de VP com ventos equatoriais de oeste fracos facilitou a ocorrência de maiores índices de precipitação na região. Segundo Rao et al. (2007), o mecanismo físico para essas variações é que os ventos equatoriais de oeste mais intensos atuam como um “duto” acompanhando maiores intrusões de VP e assim favorecendo a formação de um vórtice ciclônico anômalo, que gera convergência na alta troposfera e divergência nos baixos níveis, isto inibe a formação de convecção e precipitação.

2.4 Deslocamento e Persistência

Simpson (1951) notou que o movimento dos VCAN no leste do Pacífico era irregular, pois os sistemas podiam se mover para leste, assim como freqüentemente para oeste. Muitos desses sistemas se moveram para regiões que continham fonte de ar frio e um ambiente favorável à frontogênese em superfície. Frank (1966) e Gan (1983) notaram que as trajetórias dos VCAN, apesar de irregulares, seguiam um padrão circular anti-

horário. Para os VCAN que atuam no NEB, Gan (1983) notou que o círculo iniciava no Oceano Atlântico Sul das latitudes subtropicais e se dissipava no continente. Em determinadas ocasiões, quando os VCAN penetraram o continente não completavam a trajetória, pois devido o aquecimento da superfície, os sistemas chegavam a dissipar (KOUSKY E GAN, 1981). Estes observaram tendência dos VCAN em se moverem de leste para oeste entre as latitudes de 10° e 20°S, e de oeste para leste ao sul de 25°S. Em alguns casos, o movimento foi irregular e os sistemas permaneceram quase estacionários por vários dias.

Ramirez (1997) encontrou tempo de vida médio de um VCAN igual a 7,1 dias, podendo ser maior durante o verão e definiu o deslocamento dos VCAN como sendo regular ou irregular. Os VCAN com deslocamento regular se direcionavam para o NEB ou para o centro do continente, podendo alcançar a costa oeste da AS. No caso dos VCAN com deslocamento irregular, Ramirez (1997) notou uma associação entre um sistema de alta pressão do HN e a Bifurcação Inter-hemisférica durante quase todo o tempo de vida do sistema. Neste caso, os cavados de latitudes médias associados a sistemas frontais influenciaram diretamente o deslocamento dos VCAN. A trajetória percorrida pelos VCAN de origem subtropical atuantes no Hemisfério Sul foi estudada por Fuenzalida et al. (2005). Nesse estudo foi observado que, em geral, a trajetória foi extremamente variável, mas a maioria dos sistemas se deslocou para leste.

Bonatti et al. (2006) investigaram a propagação para oeste do ciclone Catarina no sul do Brasil a partir do dia 23, sendo o tempo de vida de 20 a 30 de março de 2004. Este fenômeno iniciou a formação como uma frente fria intensa, seguida da formação de um sistema de mesoescala do tipo vírgula invertida. Segundo estes autores, o estudo da estrutura vertical do fenômeno mostrou que a fonte de calor associada esteve abaixo do nível de 200 hPa e o campo de vorticidade relativa apresentou características barotrópicas. O fator principal para a propagação do ciclone para oeste foi a contribuição do estiramento de vorticidade relativa e como contribuição secundária o estiramento de vorticidade planetária. A advecção de vorticidade planetária não contribuiu significativamente para esta propagação.

Quanto à persistência, Campetella e Possia (2006) observaram um tempo de vida de 2 a 3 dias para os 90 % dos VCAN desenvolvidos nas áreas oceânicas do sul da América do Sul, em concordância com Nieto et al. (2005) que encontraram VCAN na Europa, durante o verão, que também duraram de 2 a 3 dias. Segundo Campetella e Possia (2006), poucos VCAN duraram mais do que 7 dias e os eventos continentais tenderam a apresentar maior tempo de vida (de 4 a 6 dias) na faixa de latitude entre 0°e 20°S.

Singleton e Reason (2007) examinaram a variabilidade de algumas características dos VCAN sobre a região subtropical do sul da África no período de 1973 a 2002, como a duração, definida como o tempo para o qual uma isolinha de altura geopotencial se fechava por mais do que 24 horas no nível de 300 hPa, dentro da região compreendida entre 10-40°E e 20-40°S. A distribuição de frequência do número de VCAN mostrou que mais de 50% dos casos duraram de 1 a 2 dias e menos que 10% perduraram mais que 4 dias. Esse último período de duração coincidiu exatamente com a estação do ano em que houve maior ocorrência de atuação dos sistemas (junho a agosto).

2.5 Métodos que identificam ciclones no HS

Alguns métodos objetivos e/ou subjetivos foram desenvolvidos para localizar ciclones no Hemisfério Sul utilizando variáveis meteorológicas diferentes e regiões específicas do HS, como os estudos de Murray e Simmonds (1991A-B), Sinclair (1994), Hodges (1994), Hoskins e Hodges (2005), Silva (2005) e Campetella e Possia (2006). Outros foram elaborados a partir daqueles já existentes como Fuenzalida et al. (2005).

O esquema automático desenvolvido por Murray e Simmonds (1991A-B) localiza todos os centros de alta e baixa pressão existentes em uma esfera para uma determinada análise do campo de pressão em superfície digitalizada em pontos de grade. A trajetória desses sistemas foi feita a partir do fornecimento de pelo menos duas análises consecutivas. A localização dos ciclones foi feita através das posições dos centros de mínimos e máximos de um vetor. Os campos de pressão foram interpolados usando expansão da série de Taylor e ajustadas com funções analíticas polinomiais em duas dimensões. Três critérios foram explorados durante a identificação: I - cada valor de pressão foi comparado com os vizinhos ao redor; II – procura dos pontos de grade no

qual o laplaciano da pressão é maior do que o laplaciano nos 8 pontos de grade ao redor e também maior do que um valor especificado e III – procura de um mínimo local de pressão. Para identificação da trajetória dos sistemas, foi considerado um critério de um determinado raio de ação sobre cada ciclone (ou anticiclone) encontrado em determinado instante de tempo, de forma que todos os sistemas encontrados dentro deste raio na análise imediatamente posterior foram considerados escolhidos para ser a evolução do sistema inicial.

Sinclair (1994) desenvolveu um método objetivo que identifica centros de vorticidade ciclônica no Hemisfério Sul através de dados de geopotencial no nível de 1000 hPa do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) para o período de 1980 a 1986. O domínio em estudo apresentou centro no pólo sul, compreendendo toda região ao sul de 30°S e os centros de vorticidade relativa foram calculados pelo mínimo de vorticidade relativa geostrófica do local, estendendo estudos anteriores baseado na pressão mínima. Segundo Sinclair (1994), a vantagem do uso da vorticidade relativa em vez dos mínimos de pressão foi a identificação de sistemas com lentos deslocamentos ou mais intensos. O esquema automático para identificar as trajetórias dos sistemas foi semelhante ao de Murray e Simmonds (1991A-B). Com os resultados obtidos, uma climatologia dos ciclones foi feita cujas características foram relevantes aos estudos anteriores.

Um método objetivo geral foi desenvolvido por Hodges (1994) que representa fenômenos atmosféricos de escala sinótica utilizando dados de modelos numéricos e de sensoriamento remoto. A técnica faz a análise do cenário dinâmico e interliga os pontos característicos dos sistemas para formar as trajetórias dos mesmos durante um determinado período. Para isso, é preciso imagens meteorológicas adequadas ou campos (vorticidade, pressão, radiação de onda longa, etc.) que identifiquem o sistema, representado como o objeto (HODGES, 1994). Estes objetos são extraídos para uma seqüência de tempos dos campos por segmentação do cenário. A trajetória consiste na seqüência das posições dos pontos característicos, obtida pela segmentação. Hodges (1994) apresentou uma aplicação deste método utilizando vorticidade relativa no nível de 850 hPa com dados do Universities Global Atmospheric Modelling Project

(UGAMP) General Circulation Models (GCM) na região de 50°S-50°N e 0°-360° para o período de 90 dias. Os resultados mostraram coerência na representação das ondas equatoriais e suas respectivas migrações para os pólos.

A metodologia elaborada por Fuenzalida et al. (2005) para identificar VCAN que se formam no nível de 500 hPa entre as latitudes de 10°S e 60°S do Hemisfério Sul, assim como suas trajetórias foi baseada no software desenvolvido por Murray e Simmonds (1991A-B) e Simmonds e Murray (1999). A escolha do nível em estudo, segundo Fuenzalida et al. (2005), foi por este ser próximo ao cume dos Andes, onde há influência do comportamento dos VCAN em estudo, bem como permite a identificação dos sistemas de baixa pressão que se estendem até a baixa troposfera. Os dados de reanálises do NCEP/NCAR para o período de 1969 a 1999 foram usados durante a aplicação do método objetivo. Após esta aplicação, os VCAN passaram por duas etapas de seleção. A primeira se refere a apenas depressões que se moveram na região ao norte de 50°S e algumas vezes a casos onde a massa de ar frio esteve significativamente isolada da região fonte, para que depressões extratropicais pudessem ser desconsideradas. Já na segunda etapa, o comportamento característico dos vórtices foi apresentado de forma subjetiva através de campos de temperatura e geopotencial no nível de 500 hPa e isotacas no nível de 200 hPa. Por ter utilizado o nível de 500 hPa, Fuenzalida et al. (2005) não puderam identificar vórtices mais fracos, no qual permanecem confinados na troposfera superior, por outro lado, um número superior foi identificado devido ao critério da primeira etapa feita por Fuenzalida et al. (2005), na qual permitiu a localização de ciclones extratropicais em sua fase oclusa, pois apresentam o centro frio assim como um VCAN subtropical (GAN, 2008; COMUNICAÇÃO PESSOAL).

Um método detalhado para obter a trajetória percorrida por ciclones e anticiclones no Hemisfério Sul foi desenvolvido por Hoskins e Hodges (2005), os quais aplicaram modernas técnicas com dados de reanálises do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)/ERA-40 em níveis da alta e baixa troposfera para o período de 45 anos (1958-2002). As técnicas foram aplicadas a sistemas que perduram mais de dois dias e percorrem mais de 1000 km. Diversos campos foram explorados,

tais como pressão ao nível médio do mar, vorticidade potencial e superfícies de temperatura potencial, para que as características dos sistemas em diferentes escalas espaciais pudessem ser identificadas. A obtenção das trajetórias dos sistemas teve como base a aproximação de Fourier.

Um estudo sobre os VCAN que atuam no NEB foi feito por Silva (2005) através do uso de métodos objetivo e subjetivo de análises. O método objetivo foi determinar parâmetros destes sistemas como: posição em coordenadas geográficas, intensidade e área de abrangência usando dados diários das componentes horizontais do vento a partir de reanálises do NCEP/NCAR para sete verões austrais (de dezembro-março e 1994-2001). Para isso, foi preciso obter a região de localização e influência dos sistemas, conforme visto na Figura 2.3. Esta figura mostra um campo de vorticidade relativa ciclônica com valores inferiores à $-2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ que foi gerado no ambiente MatLab.

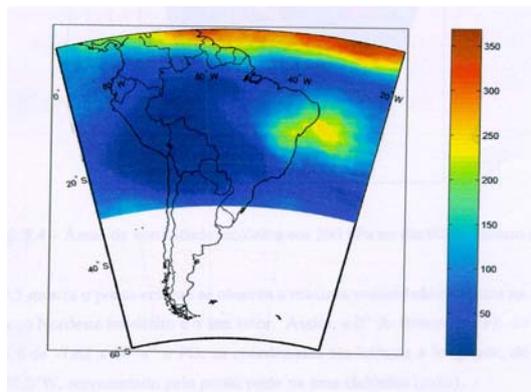


Figura 2.3 – Distribuição espacial de número de dias com vorticidade relativa menor que $-2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ para o período de verão austral (dezembro-março) de 1994-2001. Fonte: Silva (2005).

Um algoritmo foi desenvolvido por Silva (2005) para identificar os sistemas ciclônicos na região da Figura 2.3. O primeiro passo foi o cálculo a vorticidade relativa na região de 10°N - 30°S e 20°W - 90°W a partir dos dados diários, se no dia existisse vorticidade relativa com valor menor que $-2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, uma técnica subjetiva foi aplicada para diferenciar CAN de VCAN, já que segundo Silva (2005), o limiar garante a presença de

um destes sistemas. Esta técnica foi a consulta de campos de linhas de corrente e vorticidade relativa no nível de 200 hPa. Caso estes campos mostrassem linhas de corrente fechadas na região de atuação do sistema ciclônico, Silva (2005) considerava como sendo um VCAN, caso contrário, como um CAN, desta forma prosseguiria com a etapa da determinação dos parâmetros do sistema ciclônico. Silva (2005) definiu os dias com inexistência de VCAN ou CAN aqueles nos quais os pontos de grade do domínio apresentassem vorticidade relativa ciclônica maior do que o limiar proposto.

A identificação dos VCAN que atuam no sul da América do Sul (100°W-20°W e 15°S-50°S) foi feita por Campetella e Possia (2006) para o período de 1979-1988, com o uso de dados de reanálises do NCEP/NCAR. A localização destes sistemas foi submetida a duas fases de análises: uma objetiva e outra subjetiva. O método objetivo obtém os mínimos de geopotencial nos pontos de grade do domínio no nível de 250 hPa. Este nível garante que o sistema esteja na alta troposfera (CAMPETELLA E POSSIA, 2006). O ponto de grade foi considerado como mínimo quando apresentasse altura geopotencial com no mínimo 20 mgp e que fosse menor do que os oito pontos de grade ao redor durante oito passos de tempo (2 dias). Para todos os casos selecionados no passo anterior, a análise subjetiva foi impor a condição de que o vórtice apresentasse circulação fechada e centro frio na baixa (média) camada de 1000-500 hPa (500-250 hPa). Esta última análise permite a localização de ciclones extratropicais em sua fase madura como se fossem VCAN, assim como a avaliação subjetiva imposta por Fuenzalida et al. (2005) (GAN, 2008 – COMUNICAÇÃO PESSOAL).

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

No presente estudo são usados os seguintes conjuntos de dados:

(a) Reanálises do National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmosphere Research (NCEP–NCAR) com resolução espacial de $2,5^\circ$ de latitude por $2,5^\circ$ de longitude, frequência temporal de 6 horas, nível padrão de 200 hPa e período de 1979 a 2006. O conjunto de dados de reanálises está disponível desde 1948, mas este é mais confiável a partir de 1979, devido à inclusão de informações coletadas por sensores colocados a bordo de satélites (maiores detalhes podem ser obtidos em Kalnay et al., 1996). Por estas razões, este ano foi escolhido como sendo início da climatologia obtida com esse conjunto de dados. As variáveis meteorológicas utilizadas são as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento. A área de estudo está limitada entre $72,5^\circ\text{W} - 7,5^\circ\text{E}$ e $35^\circ\text{S} - 10^\circ\text{N}$.

(b) Imagens dos satélites meteorológicos geoestacionários GOES-08 (2002 até maio de 2003) e GOES-12 (de junho de 2003 a 2006) no canal espectral do vapor d'água, disponíveis em intervalos de 3 em 3 horas e área limitada entre $140^\circ\text{W}-20^\circ\text{W}$ e $60^\circ\text{S}-60^\circ\text{N}$. Estas foram adquiridas da Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do INPE.

(c) Imagens dos mesmos satélites meteorológicos, canal espectral e período do item anterior. No entanto, a área compreende a região $140^\circ\text{W}-0^\circ$ e $60^\circ\text{S}-20^\circ\text{N}$ e estas foram adquiridas no portal da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)¹ para o horário das 12:00 UTC. Alguns dias não apresentaram imagens neste horário e então foram substituídas pelas mesmas imagens no horário das 14:45 UTC. Os dados foram submetidos à leitura e visualização no software Data Visualization Solutions (IDL), de forma que foram gradeadas em graus de latitude e longitude.

¹ <http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome>, acessado em 20 de setembro de 2007.

3.2 Metodologia

3.2.1 Descrição dos métodos subjetivos

3.2.1.1 Imagens de satélite

O uso de imagens de satélite como método subjetivo para identificar VCAN que atuam no NEB foi utilizado em vários estudos, tais como em Kousky e Gan (1981), Gan (1983), Gan e Kousky (1986) e Ramirez (1997). Estes autores usaram estas imagens no canal espectral infravermelho e somente puderam identificar aqueles sistemas que apresentaram nebulosidade associada (denominado VCAN úmido). No entanto, a experiência sinótica mostra a existência de alguns casos observados em imagens de satélite no canal do vapor d'água que não estão associados à nebulosidade (denominados VCAN's secos).

Bengtsson et al. (1982) fez o primeiro estudo para identificar características associadas ao VCAN através de imagens de satélite no canal do vapor d'água. Eles estudaram um caso de VCAN intenso, que se formou na costa leste do NEB em 22 de Fevereiro de 1979, e se dissipou sobre o Brasil central no dia 28 de fevereiro. O VCAN apresentou características clássicas, tais como: centro seco e formação de nebulosidade na periferia (Figura 3.1).

Neste estudo, uma das identificações subjetivas dos VCAN foi feita utilizando as imagens do satélite GOES-08 e GOES-12 no canal espectral do vapor d'água. A vantagem do uso destas imagens neste canal é que as regiões mais secas (tonalidade escura) ou mais úmidas (tonalidade clara) ao redor do centro do sistema podem ser vistas perfeitamente, favorecendo assim ao acompanhamento do desenvolvimento do sistema desde seu estágio inicial (RAMIREZ, 1997), além da identificação de sistemas que não estão associados à nebulosidade (VCAN seco).



Figura 3.1 – Imagem do satélite Meteorological Satellite (METEOSAT) no canal do vapor d'água. VCAN formado na costa do NEB e Oceano adjacente no dia 22 de fevereiro de 1979.

Fonte: Bengtsson et al. (1982).

O procedimento aqui utilizado para identificar os vórtices foi obtido através da localização nas imagens de satélite horárias de uma pequena região seca envolvida por uma região ciclônica de ar mais úmido que poderia ou não estar associada à nebulosidade. Tais características deveriam aparecer ao longo da animação de pelo menos nove imagens consecutivas (dois dias de atuação) e sempre com característica de circulação ciclônica. A posição geográfica do VCAN foi obtida nas imagens de satélite diárias (12:00 ou 14:45 UTC) que estão gradeadas em graus de longitude e latitude.

3.2.1.2 Análises dos campos de vento e de vorticidade relativa

A segunda forma de identificação subjetiva do VCAN foi feita com campos de vento e vorticidade relativa no nível de 200 hPa para o período de 2002 a 2006, a partir de dados de reanálises do NCEP/NCAR. Neste caso, com os campos sobrepostos, os vórtices foram identificados através da localização de uma região que apresentasse circulação ciclônica ao longo de pelo menos dois dias (12 UTC) consecutivos. As posições dos sistemas foram obtidas através das coordenadas geográficas do centro da circulação do vórtice em cada dia de atuação. Foi observado que a maioria dos vórtices com intensidade inferior ao limiar proposto por Silva (2005) não conservavam a

configuração fechada ao longo de dois dias. Desta forma, este limiar foi aplicado no MO desenvolvido que está apresentado na seção seguinte.

3.2.2 Descrição do método objetivo

Neste estudo, um método objetivo foi desenvolvido para identificar VCAN que atuam na região tropical sul baseado no método elaborado por Silva (2005), já que neste foi utilizado o nível de 200 hPa e a vorticidade relativa em vez da altura geopotencial. Como normalmente é utilizado em outros métodos objetivos, o uso dessa última variável não é adequado para identificar distúrbios transientes na região tropical, porque a magnitude da amplitude do sistema tem a mesma ordem de grandeza dos erros cometidos na determinação do campo dessa variável (PALMÉN E NEWTON, 1969). A separação entre VCAN e CAN foi realizada de forma totalmente objetiva, sem a necessidade de analisar campos de linhas de corrente. Para isso, diversas etapas foram implementadas no algoritmo proposto por Silva (2005).

A idéia de identificar somente os VCAN está ilustrada na Figura 3.2, que mostra o escoamento horizontal do vento nas configurações de um VCAN e de um CAN em torno do centro de máxima circulação ciclônica. Observam-se variações semelhantes do sentido das componentes horizontais do vento em torno desse centro, até um ponto em que apenas a configuração do VCAN mostra um fechamento na circulação e as componentes horizontais do vento tornam-se negativas. Essa mudança não é observada na configuração de um CAN, pois não ocorre o fechamento da circulação e as componentes horizontais do vento permanecem quase com mesmo sentido (u positivo e v negativo).

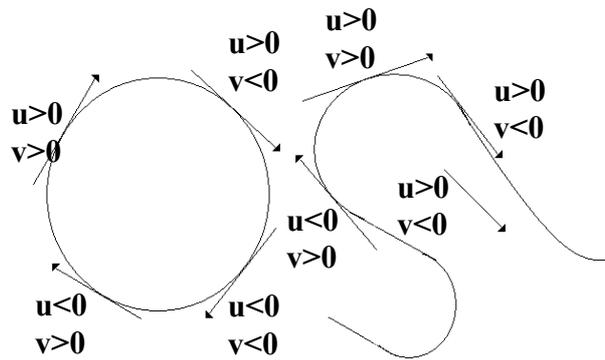


Figura 3.2 – Esquema da variação do escoamento horizontal em torno do centro de um VCAN (a) e de um CAN (b).

Baseado nestas configurações, o MO na linguagem de programação em Fortran foi elaborado, o qual obtém posição e intensidade dos VCAN que atuam na região Tropical Sul. Os símbolos gráficos nos fluxogramas apresentados nesta seção foram estruturados segundo Chapman (1998). A Figura 3.3 ilustra o primeiro fluxograma que descreve os passos para determinação dos parâmetros dos sistemas, e que está dividido em quatro etapas básicas: a primeira corresponde ao cálculo da vorticidade relativa em 200 hPa, a segunda obtém os mínimos desta variável, a próxima analisa a circulação em torno destes mínimos e a quarta etapa faz a seleção do VCAN. Esta última etapa é processada pelo MO quando existem dois mínimos de vorticidade relativa envolvidos por uma mesma circulação ciclônica. Adiante as etapas estão descritas detalhadamente.

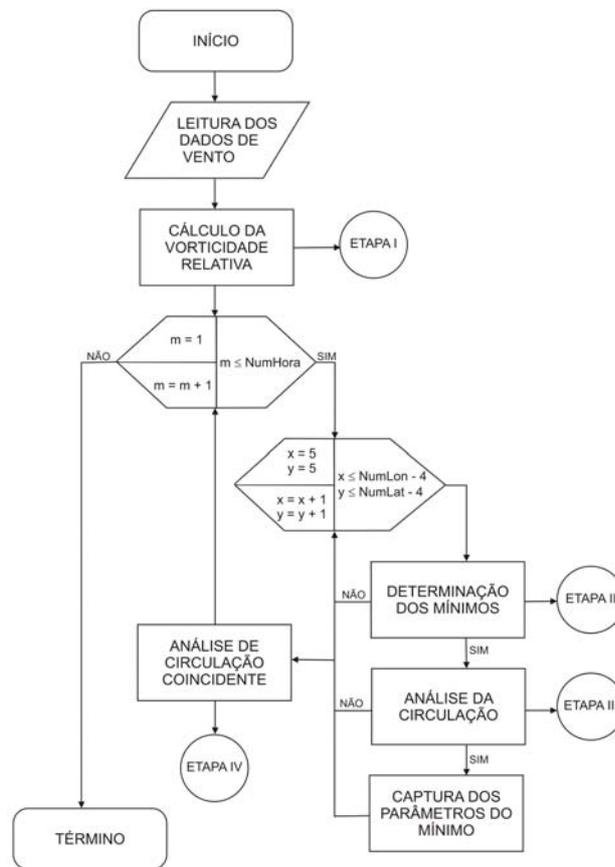


Figura 3.3 – Fluxograma do MO que determina posição e intensidade dos VCAN que atuam na região Tropical Sul.

(i) Etapa I - Cálculo da Vorticidade Relativa

Utilizando dados das componentes horizontais do vento em 200 hPa, o cálculo da vorticidade relativa é feito usando o método das diferenças finitas centradas (Equação 3.1) em cada ponto do domínio compreendido entre 72,5°W-7,5°E e 35°S-10°N.

$$\xi_{(i,j,m)} = \left(\frac{v(i+1, j, m) - v(i-1, j, m)}{2dx} - \frac{u(i, j+1, m) - u(i, j-1, m)}{2dy} \right) \quad (3.1)$$

Em que:

i - posição do ponto de grade na direção x (longitude)

j - posição do ponto de grade na direção y (latitude)

m - passo de tempo de cada grade

u - componente zonal do vento

v - componente meridional do vento

dx – distância entre dois pontos de grade na direção x

dy – distância entre dois pontos de grade na direção y

Em cada passo de tempo (m), o campo é pesquisado para encontrar os mínimos de vorticidade relativa, como mostrado na etapa II.

(ii) Etapa II - Seleção dos mínimos de vorticidade relativa

A grade usada para determinação dos mínimos compreende o domínio entre 62,5°W - 2,5°W e 25°S - 0°, entretanto quatro pontos de grade das bordas ao limite dessa área são acrescentados para verificar as condições do escoamento horizontal em torno desses mínimos. O fluxograma a seguir (Figura 3.4) mostra o processo de obtenção dos mínimos de vorticidade relativa. São considerados como pontos de grade central aqueles cujos valores de vorticidade relativa são inferiores ou iguais a $-2,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (SILVA, 2005). Esse ponto é comparado aos valores desta variável dos oito pontos de grade vizinhos para verificar se realmente é o menor (mais negativo) do local. Caso seja o mínimo do local, o mesmo é passado para a etapa posterior, caso contrário, a análise é passada para o ponto de grade seguinte.

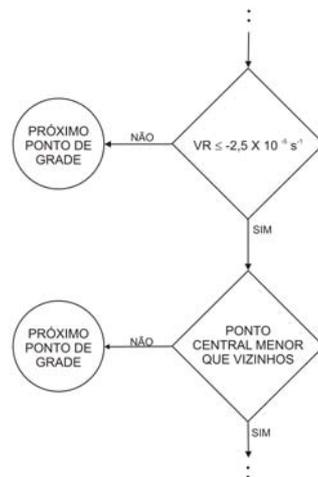


Figura 3.4 – Fluxograma para determinação dos mínimos de vorticidade relativa.

(iii) Etapa III - Avaliação da circulação do vento horizontal em torno do mínimo

Nesta etapa do MO, o mínimo é submetido à avaliação da circulação horizontal do vento ao redor do sistema (Figura 3.2), como mostra o fluxograma da Figura 3.5. Nessa análise, o mínimo de vorticidade relativa encontrado representa a intensidade do sistema, que geralmente encontra-se um pouco defasada do centro da circulação dos ventos ao redor do centro do VCAN. Desta forma, o escoamento horizontal do vento em torno desse mínimo é avaliado nos quatro quadrantes (Q), considerando os vinte e quatro pontos de grade mais próximos do mínimo, cada quadrante apresenta uma condição para a direção das componentes horizontais do vento como pode ser visto na Tabela 3.1. Em determinados casos, a Exp chamada de matriz de análise, pode ser expandida em até quatro pontos de grade (LimExp), se necessário à satisfação do quadrante. O valor do LimExp foi baseado na quantidade de pontos de grade necessários para identificação de vórtices alongados encontrados ao longo da identificação.

Tabela 3.1 – Condições do vento horizontal em cada quadrante necessárias à configuração de um VCAN.

Quadrante I	$u > 0$ e $v < 0$
Quadrante II	$u > 0$ e $v > 0$
Quadrante III	$u < 0$ e $v > 0$
Quadrante IV	$u < 0$ e $v < 0$

Ao ser satisfeita a condição em cada quadrante, é feita uma captura da posição dos pontos que constituem a matriz de análise e da contabilidade dos mesmos. Quando o mínimo finaliza a passagem por todos os quadrantes, é considerado como válido para a seleção dos VCAN (Etapa IV), e os seguintes parâmetros são armazenados: intensidade, posição geográfica em graus, soma dos números de pontos de análise de todos os quadrantes (NP) e número de mínimos válidos (NV).

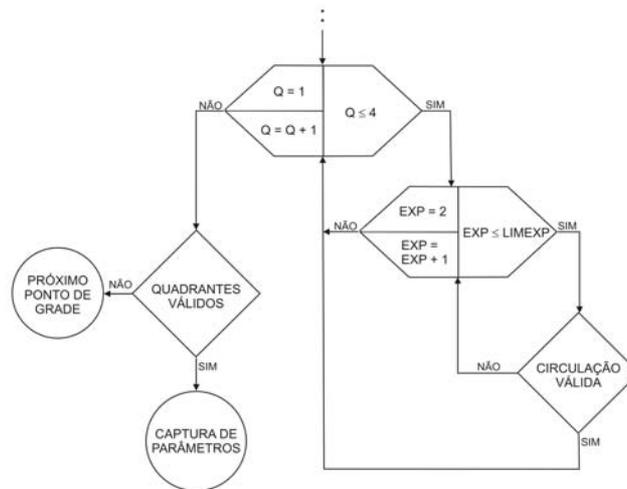


Figura 3.5 – Fluxograma da análise do escoamento horizontal do vento em torno de cada mínimo.

(iv) Etapa IV - Seleção do VCAN

A idéia desta etapa é baseada nos casos de mais de um mínimo de vorticidade ciclônica válido envolvidos por uma mesma circulação, ou seja, o sistema apresenta mais de um núcleo de vorticidade mínima. Desta forma, o pré-requisito utilizado pelo método para definir como VCAN é selecionar um desses centros através de comparações entre a posição de todos os pontos de grade usados na análise matricial de cada núcleo, como mostra o fluxograma da Figura 3.6. Esse processo é feito através de uma dupla varredura dos núcleos encontrados (mínimos válidos), definidas a do núcleo que está sendo analisado (VA) e a dos núcleos que estão sendo comparados (VE), nas quais PVA e PVE são as respectivas posições dos pontos de grade associadas. Quando pelo menos um PVA coincide com um PVE significa que os núcleos estão envolvidos por uma mesma circulação. Nestes casos é selecionado o núcleo mais intenso (vorticidade mais negativa). Nos casos em que os núcleos não estão envolvidos por uma mesma circulação, são denominados como “VCAN isolado”, visto que cada núcleo apresenta circulação independente. Após a passagem por todas as etapas do método, as posições e intensidades dos vórtices são armazenadas.

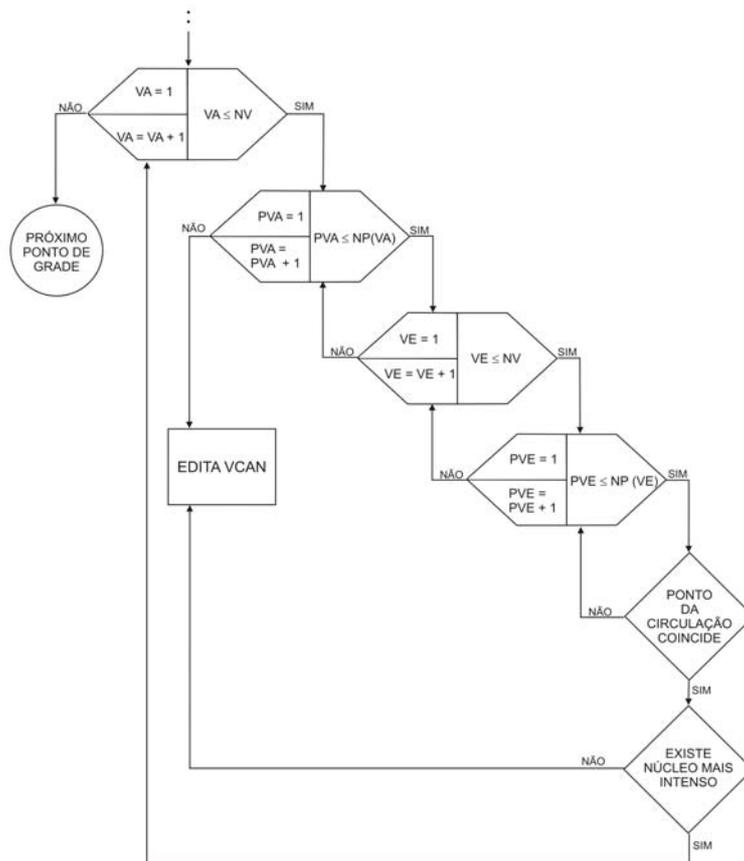


Figura 3.6 – Fluxograma de seleção dos VCAN.

3.2.3 Avaliação das análises

Duas avaliações das posições dos VCAN identificados foram feitas. Na primeira avaliação, a IS foi considerada como verdade e as posições dos vórtices obtidas foram utilizadas para avaliar as obtidas pela AC. Esta última foi considerada como verdade na segunda avaliação, em que as posições dos sistemas obtidas pela mesma foram comparadas as obtidas pelo MO. As defasagens entre as posições dos VCAN obtidas destas avaliações foram calculadas através da diferença entre a latitude (longitude) da análise avaliada pela latitude (longitude) da análise considerada como verdade. Nas comparações entre as três análises, o número de VCAN e o número de dias com atuação destes sistemas foram obtidos considerando-se apenas os vórtices formados a oeste de 20°W do domínio em estudo. Esta região foi escolhida porque o uso das imagens

horárias dos satélites GOES-8 e GOES-12, adquiridas da DSA/INPE, apresentam domínio aproximadamente nesta região.

3.2.4 Climatologia

Apesar de Kousky e Gan (1981), Gan (1983), Ramirez (1997) e Silva (2008, comunicação pessoal) terem feito uma climatologia dos VCAN que atuam no NEB, a variabilidade dos mesmos durante o período de inverno não pôde ser estudada, onde podem ser encontrados alguns casos que não estão associados à nebulosidade (VCAN seco), já que os dois primeiros estudos utilizaram imagens de satélite no canal espectral infravermelho e os outros dois assumiram que nos meses de inverno não há formação de VCAN. Discussões prévias também não mostram estudos da variabilidade de características dos sistemas conforme sua intensidade. As análises climatológicas aqui apresentadas são estudos da variabilidade interanual e intrasazonal (todas as estações do ano) dos vórtices com o objetivo de avaliar alterações que tenham ocorrido nas principais características (período de vida, região/mecanismos de formação, intensidade e trajetória) dos sistemas.

A climatologia foi determinada através das saídas do MO para cada ano, as quais fornecem posição geográfica e intensidade dos sistemas. Todas as informações foram geradas para o horário das 12:00 UTC. Um critério foi usado para definir o deslocamento dos VCAN's através da defasagem entre as posições diárias obtidas pelo MO. Quando essa defasagem era inferior ou igual a 5° de latitude e/ou longitude, definiu-se o deslocamento e o período de vida do VCAN. Caso a defasagem em algum dia apresentasse valor superior a 5° de latitude e/ou longitude com relação à posição do dia anterior, os campos de vento e vorticidade relativa foram consultados para garantir a atuação do sistema e prosseguir com a obtenção das características. Foi preciso adotar tal critério porque o MO obtém todas as informações anuais dos VCAN numa lista sem separar um VCAN de outro, isto é, não foi desenvolvido um algoritmo para determinar automaticamente o deslocamento do VCAN.

3.2.4.1 Intensidade

A intensidade do VCAN foi obtida selecionando-se o menor valor de vorticidade relativa do período de vida do sistema, prosseguindo com o critério de classificação adotado conforme categorias mostradas na Tabela 3.2. Os limiares nesta tabela foram baseados em avaliações subjetivas de alguns casos de vórtices identificados durante o período de validação do MO. As categorias dos vórtices (Tabela 3.2) foram usadas para construção das séries climatológicas do número de vórtices, ao longo do período em estudo, assim como a soma do número total desses sistemas.

Tabela 3.2 – Classificação da intensidade dos vórtices conforme categorias.

Categoria	Limiar de vorticidade relativa
Categoria I	$-2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$ a $-4,99 \times 10^{-5} s^{-1}$
Categoria II	$-5 \times 10^{-5} s^{-1}$ a $-7,49 \times 10^{-5} s^{-1}$
Categoria III	menor ou igual a $-7,5 \times 10^{-5} s^{-1}$

Também foram gerados gráficos do número anual e mensal de ocorrência dos sistemas conforme categoria para todo o período em estudo. As categorias I, II e III correspondem a VCAN fraco, moderado e intenso, respectivamente. O objetivo dessa classificação é verificar se existem diferenças em algumas características (região e mecanismos de formação, variabilidade interanual e intrasazonal) desses sistemas quando se considera a intensidade dos mesmos. A variabilidade intrasazonal foi obtida para dois períodos: de 1979 a 1994 e de 1995 a 2006. A análise visual das séries climatológicas por categorias ajudou a selecionar o primeiro período porque nele ocorreu menor número de VCAN intenso, já o período entre 1995 e 2006, pela caracterização de maior contribuição da atuação de casos intensos, pelo crescimento gradual do número total de casos até 2001 e pela permanência nos anos seguintes.

3.2.4.1.1 Teste estatístico de Mann-Kendall

Inicialmente, o teste Run foi aplicado às séries climatológicas por categorias de vórtices, assim como na série da soma da frequência destes sistemas, a fim de avaliar se estas ocorreram aleatoriamente (BACK, 2001). O número de oscilações (u) dos valores acima e abaixo da mediana é aproximado pela distribuição normal com média e variância dadas pelas Equações 3.2 e 3.3.

$$E(u) = \frac{2N_1N_2}{N_1 + N_2} + 1 \quad (3.2)$$

$$Var(u) = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1 + N_2)^2(N_1 + N_2 - 1)} \quad (3.3)$$

Em que:

N_1 é o número de valores abaixo da mediana

N_2 é o número de valores acima da mediana

A estatística z segue uma distribuição normal sendo calculada pela Equação 3.4. O nível de significância aqui usado é de 90%, assim z apresenta intervalo entre -1,28 e 1,28.

$$z = \frac{u - E(u)}{\sqrt{Var(u)}} \quad (3.4)$$

Como todas as séries ocorreram aleatoriamente pelo teste Run, o teste de Mann-Kendall (MK) foi aplicado a estas conforme categorias para avaliar o comportamento das tendências lineares. O teste de MK é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas que permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência (GOOSSENS E BERGER (1986), citado por BACK, 2001). A soma (t_n) do número de termos anterior e inferior

da série apresenta uma distribuição normal com média e variância dadas pelas Equações 3.5 e 3.6.

$$E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4} \quad (3.5)$$

$$Var(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad (3.6)$$

Em que N é o número de termos da série temporal. A estatística $u(t_n)$ segue uma distribuição normal dada pela Equação 3.7, sendo o nível de significância o mesmo utilizado no teste Run, assim $u(t_n)$ apresenta mesmo intervalo que z. Segundo o teste de MK, a seqüência de anos com valores de $u(t_n) > 1,28$ no final da série é considerada significativa. Dependendo do sinal da estatística $u(t_n)$, a tendência da série pode ser crescente ($u(t_n) > 0$) ou decrescente ($u(t_n) < 0$).

$$u(t) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{Var(t_n)}} \quad (3.7)$$

3.2.4.2 Região e mecanismos de formação

Baseado nas regiões (oceano Atlântico Sul e costa leste do NEB) de formação dos vórtices obtidas por estudos prévios (KOUSKY E GAN (1981), GAN (1983), RAMIREZ (1997)), foram feitas subdivisões das mesmas conforme mostrado na Figura 3.7.

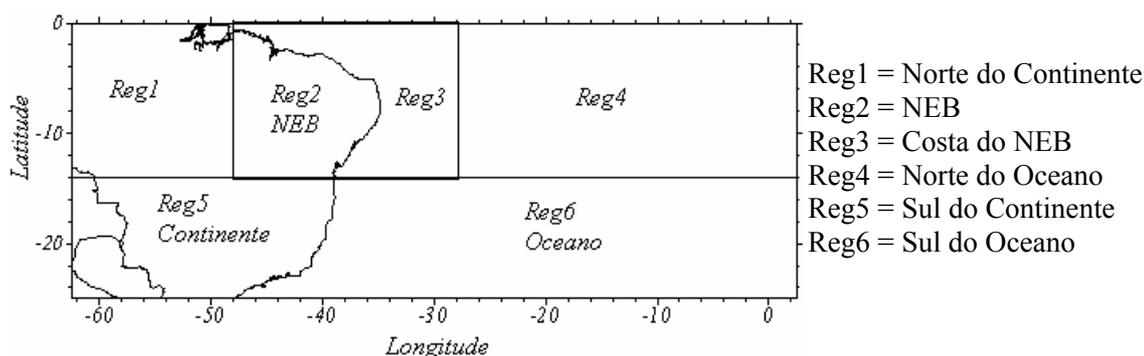


Figura 3.7 – Subdivisões das regiões preferenciais de formação do VCAN.

Com o objetivo de verificar a formação do VCAN pelos mecanismos de instabilidade barotrópica (MISHRA ET AL., 2001; MISHRA E RAO, 2001; MISHRA ET AL., 2007) e amplificação das ondas de Rossby das latitudes extratropicais para as latitudes tropicais (PÁLMEN, 1949; PÁLMEN E NEWTON, 1969), foram gerados perfis meridionais do vento zonal médio e da vorticidade absoluta média para verificar a instabilidade barotrópica, e campos médios da componente zonal do vento para verificar o segundo mecanismo como contribuinte na formação do VCAN.

Os perfis meridionais do vento zonal médio e da vorticidade absoluta média foram obtidos para dois casos selecionados da climatologia por apresentarem período de vida e intensidade diferentes. Estes perfis foram obtidos fazendo-se a média longitudinal dessas variáveis na região de formação do VCAN durante o período de quatro dias que antecedem sua formação. Este período teve como base os estudos feitos por Mishra et al. (2007), os quais obtiveram características dinâmicas de dois casos de VCAN através da determinação dos perfis diários do vento zonal médio ao longo dos quatro dias antes da formação desses sistemas.

Os campos médios da componente zonal do vento foram gerados para os mesmos períodos (1979-1994 e 1995-2006) selecionados na seção 3.2.4.1. O critério para uso destes campos teve como base os resultados obtidos por Barbosa (2006) e o modelo proposto por Pálmen (1949). Barbosa sugeriu uma relação entre os campos médios da componente zonal do vento e a quebra da onda de Rossby na região dos ventos

equatoriais de oeste. Já o modelo proposto por Pálmen (1949) sugeriu que a amplificação das ondas de Rossby das regiões extratropicais para tropicais induzia a formação de VCAN na região dos ventos equatoriais de oeste.

3.2.4.3 Diagrama de Hovmöller

Os diagramas do tipo Hovmöller dos termos da equação da tendência de vorticidade relativa foram construídos utilizando a Equação 3.8. O objetivo foi verificar a contribuição de cada termo no deslocamento para oeste de um caso de VCAN selecionado da climatologia. O período de atuação do mesmo foi de 19 a 27 de fevereiro de 2003. Os termos que dependem de Omega são tipicamente muito pequenos e foram desprezados na Equação 3.8, porque as análises são feitas no nível de 200 hPa.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\vec{V} \cdot \vec{\nabla}(\zeta) - \beta v - (f + \zeta) \vec{\nabla} \cdot \vec{V} \quad (3.8)$$

A B C D

Em que:

Termo A é a tendência de vorticidade relativa

Termo B é a advecção horizontal de vorticidade relativa

Termo C é a advecção horizontal de vorticidade planetária

Termo D é a divergência horizontal

Os termos foram calculados para os horários sinóticos com os dados de reanálises do NCEP/NCAR em toda região de estudo. A posição latitudinal do centro do VCAN (12UTC) obtida pelo MO foi fixada para cada dia de atuação.

4. RESULTADOS

Os resultados estão divididos em três seções. A primeira apresenta as comparações entre as identificações subjetivas dos VCAN obtidas usando IS no canal do vapor d'água e AC de vento e vorticidade relativa a partir de dados de reanálises do NCEP/NCAR, para o período de cinco anos (2002 a 2006). Na seção seguinte, é avaliado o desempenho MO em identificar os VCAN que atuam na região Tropical Sul, bem como verificar a destreza do mesmo em representar características associadas a estes sistemas, como deslocamento, posicionamento e região de formação. A climatologia de 28 anos (1979 a 2006) dos vórtices que atuam na região Tropical Sul é descrita na última seção. O objetivo desta climatologia é avaliar a variabilidade temporal (intrasazonal e interanual) dos sistemas quanto ao período de vida, frequência de ocorrência, intensidade e região de formação através dos resultados obtidos pelo MO. O deslocamento dos VCAN foi analisado para um caso selecionado desta climatologia; já o mecanismo de formação dos sistemas por instabilidade barotrópica foi analisado para dois casos; por fim o mecanismo de formação devido à propagação das ondas de Rossby das latitudes subtropicais para as tropicais foi analisado para dois períodos da climatologia.

4.1 Comparação entre imagens de satélite no canal do vapor d'água e os campos de vento e de vorticidade relativa

Como discutido no capítulo III, tanto a identificação usando IS quanto AC foi feita de forma subjetiva e em cada uma adotou-se um critério distinto de análise, lembrando-se que nesta seção, a IS é considerada como realidade. O objetivo das comparações entre esses métodos de identificação é verificar a destreza da AC em capturar os VCAN, já que são usadas para validar o MO na seção seguinte. O período de avaliação é de 2002 a 2006, porém esta seção apresenta parte da avaliação através das comparações da distribuição espacial dos VCAN obtidas pelas análises subjetivas para o verão (NDJF) de 2002-2003, por ser o que apresentou maior número (18) de VCAN do período. Vale lembrar que nas comparações obtidas com a IS, são contabilizados os VCAN formados a oeste de 20°W, devido a área de cobertura da IS, assim um número maior de vórtices pode ser encontrado nas comparações entre o MO e AC. Como avaliação geral, o

número de VCAN e o número de dias de atuação destes sistemas são mostrados para todo o período avaliado (Tabela 4.1). A seção finaliza mostrando a defasagem obtida entre as análises subjetivas para o ano de 2003 (Figura 4.3).

A Figura 4.1 mostra a distribuição espacial dos VCAN identificados através da AC e da IS. Observam-se semelhanças entre a distribuição dos VCAN obtidas pelas duas formas de análises, ao longo da região, que abrange a costa do NEB e oceano Atlântico Sul adjacente. No entanto, uma defasagem é observada entre as posições, visto que ambas as análises utilizam critérios e dados distintos para localização dos VCAN. Considerando o período analisado e tomando-se como exemplo a Figura 4.1, observa-se que na maioria dos meses, a AC contabiliza o mesmo número de VCAN que a IS, com exceção de alguns casos, como o caso em verde escuro e em azul da Figura 4.1h, na qual a AC identifica a mais do que a IS, e o caso em marrom (Figura 4.1g) que não é identificado pela AC. Pode ser visto na Figura 4.1d que a AC subestima o período de vida do VCAN com a cor em laranja, que foi formado em novembro próximo a costa do NEB (Figura 4.1b - cor em roxo). O VCAN deveria apresentar seis dias (Figura 4.1c) de atuação em dezembro, no entanto a AC só identificou dois dias (Figura 4.1d). Este é um dos casos identificados no período (2002-2006) que a AC mostra problema em estimar o período de vida dos VCAN, além de outros exemplos aqui apresentados como os casos nas cores em azul e vermelho da Figura 4.1d, os casos em vermelho, laranja e verde da Figura 4.1f e os casos em cinza, amarelo, verde claro e roxo da Figura 4.1h.

A Tabela 4.1 mostra o número anual e mensal de VCAN obtidos pelos métodos de análises objetivo (MO) e subjetivos (IS e AC) para todo o período avaliado, bem como o número de dias com VCAN para este número identificado. Através da avaliação anual do número de VCAN obtido pela AC, nota-se que esta superestima um número total de 17 casos, já que deveria ter identificado 118 casos (IS). A AC obteve um número mais satisfatório no ano de 2002 e 2003, apresentando uma diferença de 2 casos com relação a IS, já a maior diferença (6 casos) pode ser vista no ano de 2006. O número anual de dias com vórtice obtido pela AC, segundo esta tabela, totaliza 567 dias, correspondendo a uma diferença de 28 dias quando comparado ao número (539 dias) obtido pela IS. Fazendo uma avaliação anual, observa-se que em 2004, a AC representou mais

satisfatoriamente este número, mostrando uma diferença de 3 dias, já em 2005, esta diferença foi a maior e corresponde a 17 dias. A diferença nestes dois últimos anos foi superestimada, assim como nos demais anos, exceto em 2003 em que a AC identificou um número inferior correspondente a 9 dias com VCAN.

A avaliação da Tabela 4.1, por estação do ano, mostra que a AC identificou um número superior de VCAN em todas as estações, principalmente no verão, com uma diferença de 10 casos, já no inverno, a AC identificou um caso a mais (em JUL de 2005). Estas diferenças na primavera e no outono correspondem a 3 casos. Com relação ao número de dias com VCAN's, a AC também mostrou um número superior em todas as estações. O inverno e o outono apresentaram maiores diferenças, correspondendo a 13 e a 9 dias, respectivamente. Já o inverno e a primavera mostraram uma diferença correspondente a 3 dias.

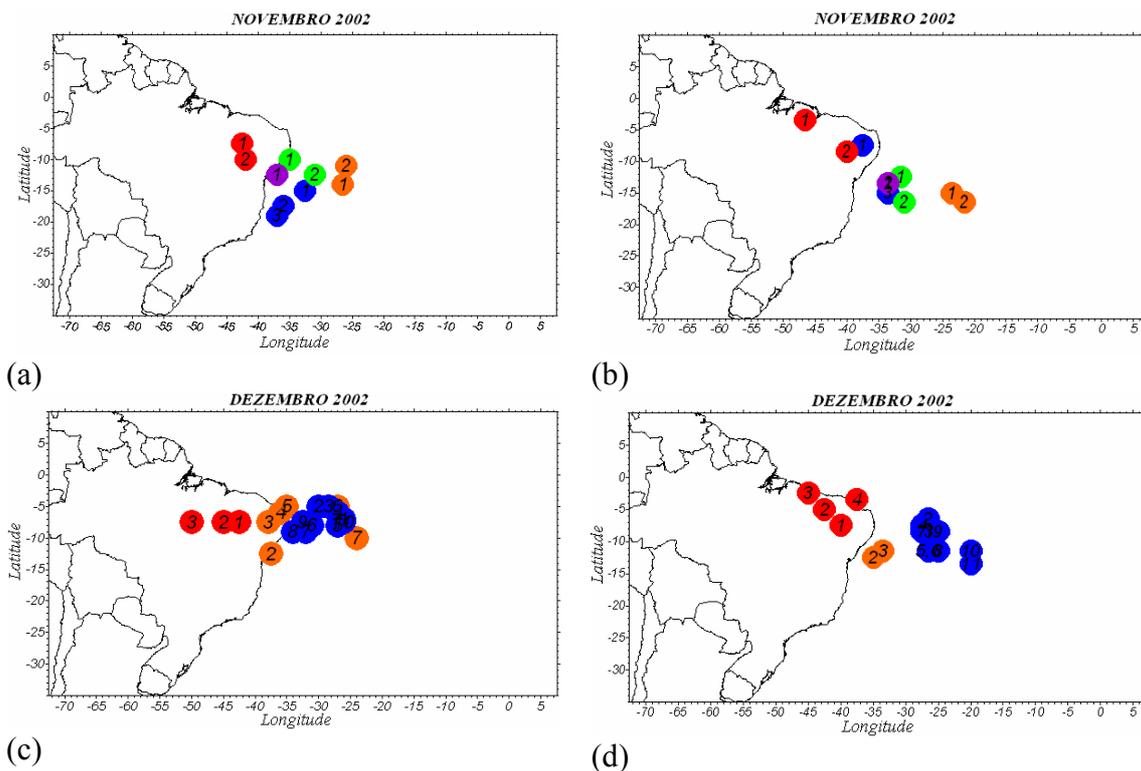
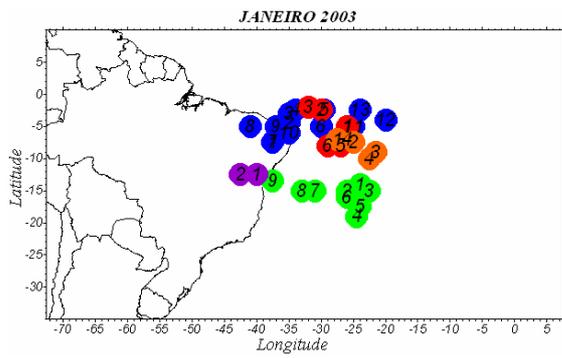
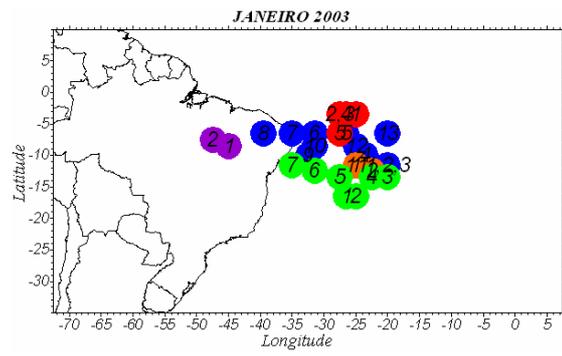


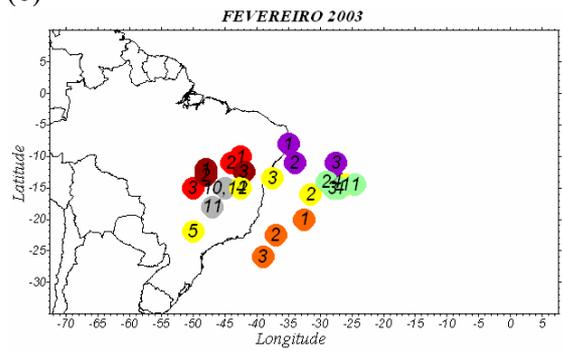
Figura 4.1 – Distribuição espacial dos VCAN. À esquerda: obtida pela IS; à direita: obtida pela AC, para o verão de 2002-2003. A cor indica o VCAN e a ordem numérica informa a seqüência de atuação do mesmo. (Continua)



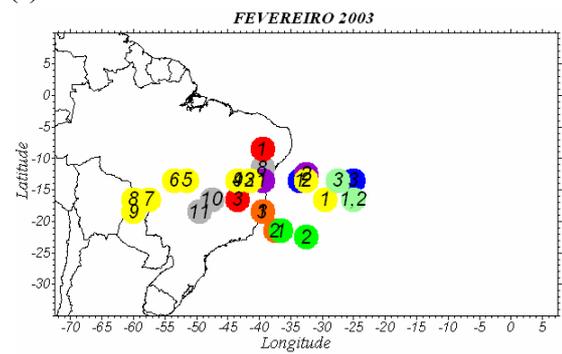
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 4.1 – Conclusão.

Tabela 4.1 – Número de VCAN obtidos pelos três métodos de análises: IS, MO e AC. Os números entre parênteses indicam número de dias com VCAN.

MÊS	2002			2003			2004			2005			2006			TOTAL		
	IS	MO	AC	IS	MO	AC	IS	MO	AC									
JAN	3(14)	2(18)	2(18)	5(34)	5(30)	5(29)	2(19)	2(20)	2(20)	4(18)	6(26)	6(27)	6(34)	8(27)	8(27)	20(119)	23(121)	23(121)
FEV	5(27)	7(28)	7(29)	6(26)	7(29)	7(29)	4(24)	4(20)	4(20)	2(8)	2(13)	2(15)	2(18)	3(19)	3(19)	19(103)	23(109)	23(112)
MAR	3(17)	4(19)	4(19)	5(16)	6(21)	6(21)	3(11)	3(7)	3(7)	2(14)	3(17)	3(18)	3(6)	3(10)	3(10)	16(64)	19(74)	19(75)
ABR	2(12)	2(12)	2(12)	4(12)	4(12)	4(12)	4(8)	5(12)	5(12)	2(6)	2(6)	2(6)	1(5)	1(2)	1(2)	13(43)	14(44)	14(44)
MAI										2(5)	1(2)	1(2)				2(5)	1(2)	1(2)
JUN	1(3)	1(3)	1(3)													1(3)	1(3)	1(3)
JUL											1(3)	1(3)					1(3)	1(3)
AGO											1(2)						1(2)	
SET	2(5)	2(5)	2(5)				3(8)	3(7)	3(7)							5(13)	5(12)	5(12)
OUT	1(6)	1(7)	1(7)	2(8)	2(5)	2(5)	3(8)	4(13)	4(13)	3(13)	5(17)	5(18)		1(3)	1(3)	9(35)	13(45)	13(46)
NOV	5(10)	5(10)	5(10)	2(8)	2(3)	2(3)	3(8)	3(7)	3(7)	3(16)	2(9)	2(9)	5(16)	5(22)	5(22)	18(58)	17(51)	17(51)
DEZ	2(21)	2(17)	2(17)	2(20)	2(16)	2(16)	3(18)	4(20)	4(21)	3(20)	3(18)	3(19)	5(17)	7(25)	7(25)	15(96)	18(96)	18(98)
ANO	24(115)	26(119)	26(120)	26(124)	28(116)	28(115)	25(104)	28(106)	28(107)	21(100)	26(113)	25(117)	22(96)	28(108)	28(108)	118(539)	136(562)	135(567)

Devido às diferenças encontradas entre as análises subjetivas, buscou-se exemplificar o motivo destas através da Figura 4.2, nas quais apresentam dias com atuação de VCAN em situações distintas. A primeira situação (Figuras 4.2a, 4.2c) se refere ao não fechamento da circulação do VCAN na AC em alguns dias e a segunda (Figuras 4.2b, 4.2d) apresenta um caso em que a AC mostra o VCAN, mas não existe na IS. Analisando a Figura 4.2c, nota-se que a IS identifica claramente o VCAN bem como o centro em torno de 10°S , $27,5^{\circ}\text{W}$, porém a AC (Figura 4.2a) mostra uma região de cavamento coincidente à região de atuação do VCAN. A partir deste dia (16 de fevereiro), a AC não apresenta fechamento da circulação associado ao VCAN e por isso o período de vida do mesmo é menor do que o da IS.

As Figuras 4.2b e 4.2d apresentam a segunda situação exposta acima. A AC identifica um VCAN com centro em 0° e $32,5^{\circ}\text{W}$ (Figura 4.2b) que não é visto na IS (Figura 4.2d). Nesta região, a IS mostra nebulosidade associada a um cavado em altos níveis que se encontra sobre o Oceano Atlântico e África. Os dados de reanálises do NCEP/NCAR em regiões no equador e proximidades, em algumas situações, mostraram circulações ciclônicas associadas a vórtices fracos que chegam ao Hemisfério Norte. Este padrão é então refletido nos campos de vento (AC), e como normalmente é sobre o Oceano Atlântico onde não se tem dados de radiossondagens, parece ser um problema que poderia ser de uma estimativa do vento em 200 hPa através de imagens de satélite. O objetivo aqui é expor a devida situação como um possível problema nos dados de reanálises do NCEP/NCAR o que tem influência direta na identificação de alguns VCAN que se formam nestas regiões, bem como no período de vida de outros que se deslocam para regiões próximas a esta, o que ocasionam estes tipos de defasagens entre a AC e a IS.

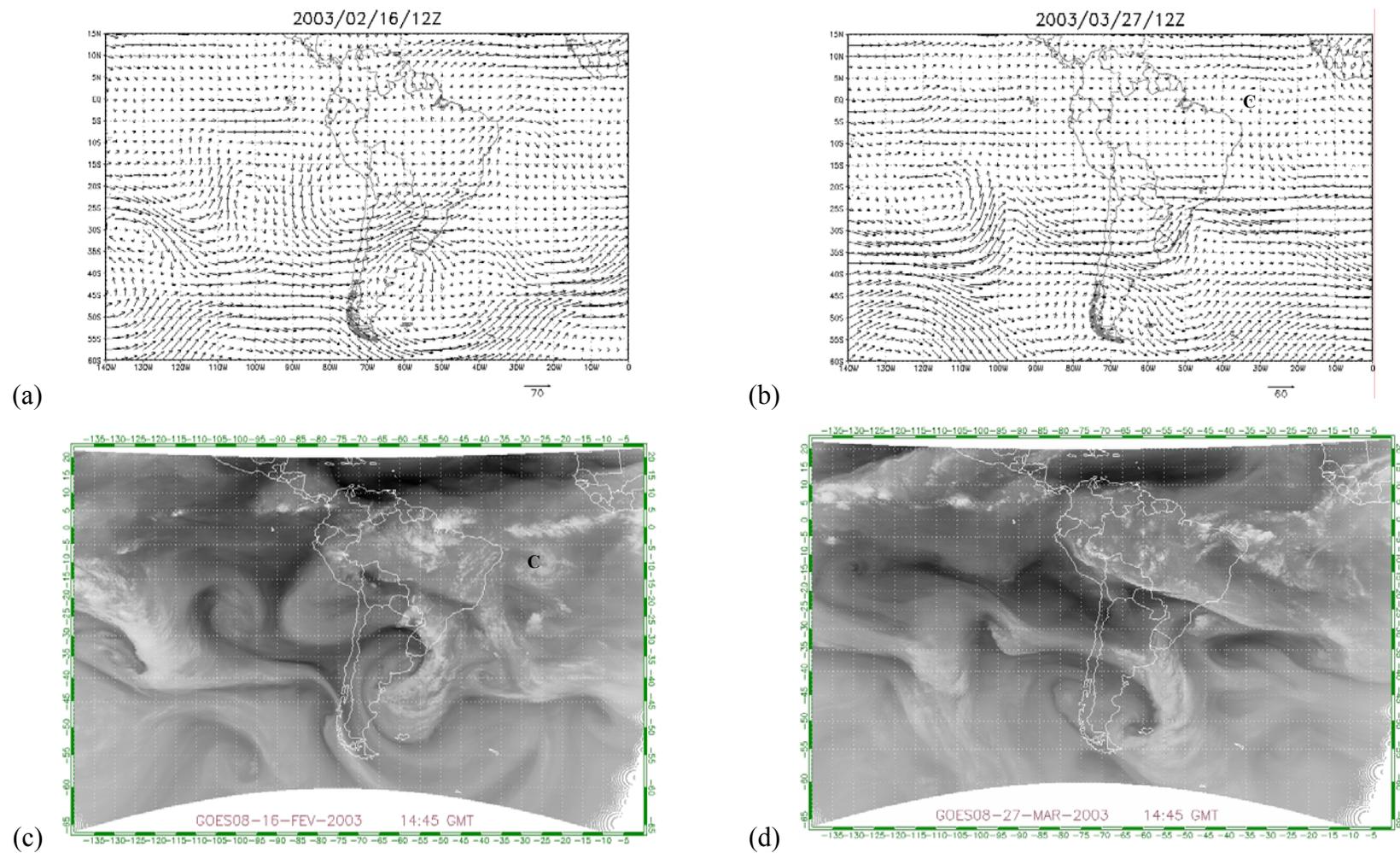


Figura 4.2 – Campos de vento em 200 hPa às 12:00 UTC e Imagens do satélite GOES-08 às 14:45 UTC nos dias (a) e (c) 16/02/03 e (b) e (d) 27/03/03. “C” indica o centro do VCAN.

A Figura 4.3 mostra a defasagem entre as posições dos VCAN obtida pela AC com relação a IS para o ano de 2003. Nesta Figura são consideradas as posições nos dias em que os dois métodos identificaram o VCAN, já que o objetivo é avaliar o quanto a AC posiciona corretamente o mesmo. Nota-se que o maior número de defasagens na posição dos VCAN apresenta variação longitudinal de -5 a 10 graus e latitudinal de -5 a 5 graus, indicando posições aproximadas entre as duas análises subjetivas e, portanto boa identificação destas pela AC. A maior defasagem encontrada no gráfico (Figura 4.3) é longitudinal e com valor de -21.5 graus, enquanto que a maior defasagem latitudinal apresenta valor de 14.6, isto significa que a AC posicionou os VCAN com diferenças mais significativas longitudinalmente do que latitudinalmente.

As regiões do primeiro (I) e quarto (IV) quadrante deste gráfico apresentam um número maior de posições defasadas do que nos demais quadrantes (II e III). Isto significa que a AC mostrou tendência em posicionar os vórtices mais para leste, já que grande parte dos VCAN mostrou defasagem latitudinal positiva. Longitudinalmente, a AC mostra aproximadamente o mesmo número de posições de VCAN defasadas tanto para sul quanto para norte da posição que deveria apresentar usando a IS. O menor número de defasagens pode ser visto no quadrante III, indicando que neste ano, a AC mostra pouca tendência em posicionar os VCAN's simultaneamente mais para leste e sul de sua posição real (IS). Algumas defasagens são vistas no extremo esquerdo dos quadrantes II e III e no extremo direito do quadrante IV, mostrando posições mais distantes entre a AC e a IS.

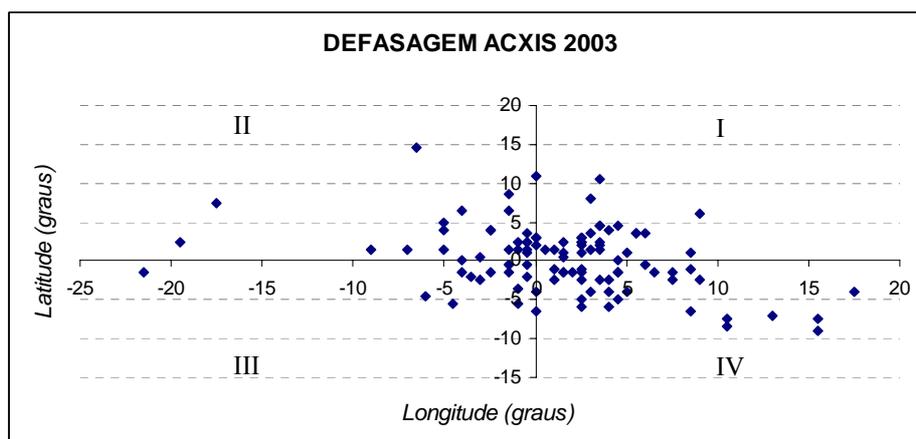


Figura 4.3 – Defasagem (graus) das posições dos VCAN obtidas pela AC com relação a IS em 2003.

4.2 Validação do MO

Para avaliação do MO, o período é o mesmo usado nas comparações descritas anteriormente (2002 a 2006), no entanto os resultados apresentados quanto à distribuição espacial dos sistemas são comparações do MO aos resultados subjetivos obtidos pela AC para os quadrimestres NDJF (2002-2003) e NDJF (2003-2004), por serem os verões com maior (27 casos) e menor (15 casos) número de VCAN, respectivamente. A defasagem entre estas análises é apresentada para o ano de 2003. O objetivo é validar o MO para ser aplicado na determinação de uma climatologia de 28 anos dos VCAN's (seção 4.3).

As Figuras 4.4 e 4.5 apresentam os resultados obtidos para os dois verões de 2002-2003 e 2003-2004, respectivamente. Embora o MO tenha apresentado um bom desempenho na identificação dos sistemas, uma defasagem é vista entre as posições encontradas pelos métodos (AC e MO), isso porque o MO posiciona o sistema através do mínimo de vorticidade relativa, já a AC posiciona pelo centro da circulação do sistema, e nem sempre este centro coincide com o ponto de mínima vorticidade relativa. Como consequência, diferenças podem ser notadas entre as características do sistema obtidas por estes métodos. Isto pode ser visto analisando os casos com as cores em vermelho e

em azul das Figuras 4.4a e 4.4b. O MO identifica deslocamento do VCAN com a cor em azul com direção para sul (Figura 4.4a), sendo que esse deveria mostrar deslocamento na direção para sudeste (Figura 4.4b). Já no caso com a cor em vermelho (Figura 4.4a), o MO identifica corretamente a direção do deslocamento para sudeste, assim como na Figura 4.4b. Nota-se que para estes dois casos de VCAN, o MO (Figura 4.4a) tende a subestimar a distância percorrida pelos mesmos, além das posições de origem e dissipação dos sistemas apresentarem ligeiras diferenças em graus com relação a AC (Figura 4.4b).

Em alguns poucos casos com período de vida curto (dois a quatro dias) do período avaliado (2002-2006), a AC só identificou um dia de atuação do sistema, já que a circulação no(s) outro(s) dia(s) não estava fechada e como são consideradas as posições dos vórtices que perduram dois ou mais dias, estes casos foram desconsiderados durante a contagem na AC. Como exemplo, destaca-se o caso com a cor em rosa da Figura 4.4e, no qual o MO identifica a mais.

Algumas características padrões dos sistemas estão bem representadas pelo MO, como direção do deslocamento e região de formação. Segundo Gan (1983), a formação da maioria dos vórtices ocorre na área que abrange a costa do NEB e Oceano Atlântico Sul adjacente, compreendendo a faixa latitudinal de 0° a 20°S , exceto alguns VCAN, como o caso com a cor em verde escuro (Fig. 4.4g) cuja região de formação é ao sul de 20°S e o caso com cor em marrom (Fig. 4.4g) que apresenta origem em 0° . Nas áreas de maior ocorrência de formação há concentração desses sistemas, indicando que muitos casos têm um lento deslocamento.

Os meses de janeiro e fevereiro de 2003 apresentam maior número de ocorrência de vórtices (Figura 4.4), concordando com os estudos de Kousky e Gan (1981), Gan (1983) e Ramirez (1997), já na Figura 4.5, os meses de dezembro de 2003 e fevereiro de 2004 é que apresentam maior número de casos na qual é observado um número total de VCAN inferior ao da Figura 4.4, principalmente porque houve uma redução não freqüente do número de VCAN no mês de janeiro de 2004. Em ambas as Figuras, o MO mostra o mês de novembro como o que apresenta menor número de sistemas.

Através da avaliação do número anual de VCAN da Tabela 4.1, nota-se que o MO identifica apenas um caso a mais do que a AC no ano de 2005, ao longo do período avaliado (2002-2006). Quanto ao número anual de dias com vórtice durante o período, o MO subestima 6 dias e superestima 1 dia. Destes dias, o ano de 2005 foi o que apresentou maior diferença (4 dias), já no ano de 2006, o MO mostrou o mesmo número de dias com VCAN que a AC. A diferença para os anos de 2002, 2003 e 2004 corresponde a 1 dia. A avaliação do número de VCAN por estação do ano mostra que este número obtido pelo MO foi mais satisfatório no verão, já que apresentou o mesmo número (64 casos) de VCAN que a AC. A primavera foi a que apresentou maior diferença correspondente a 3 casos. As estações de outono e inverno mostraram diferença de 2 casos e 1 caso, respectivamente. Quanto à avaliação do número de dias com VCAN, nota-se que o MO superestima este número no inverno, já nas demais estações do ano, ocorre subestimativa deste número, sendo a maior diferença mostrada no verão com 5 casos.

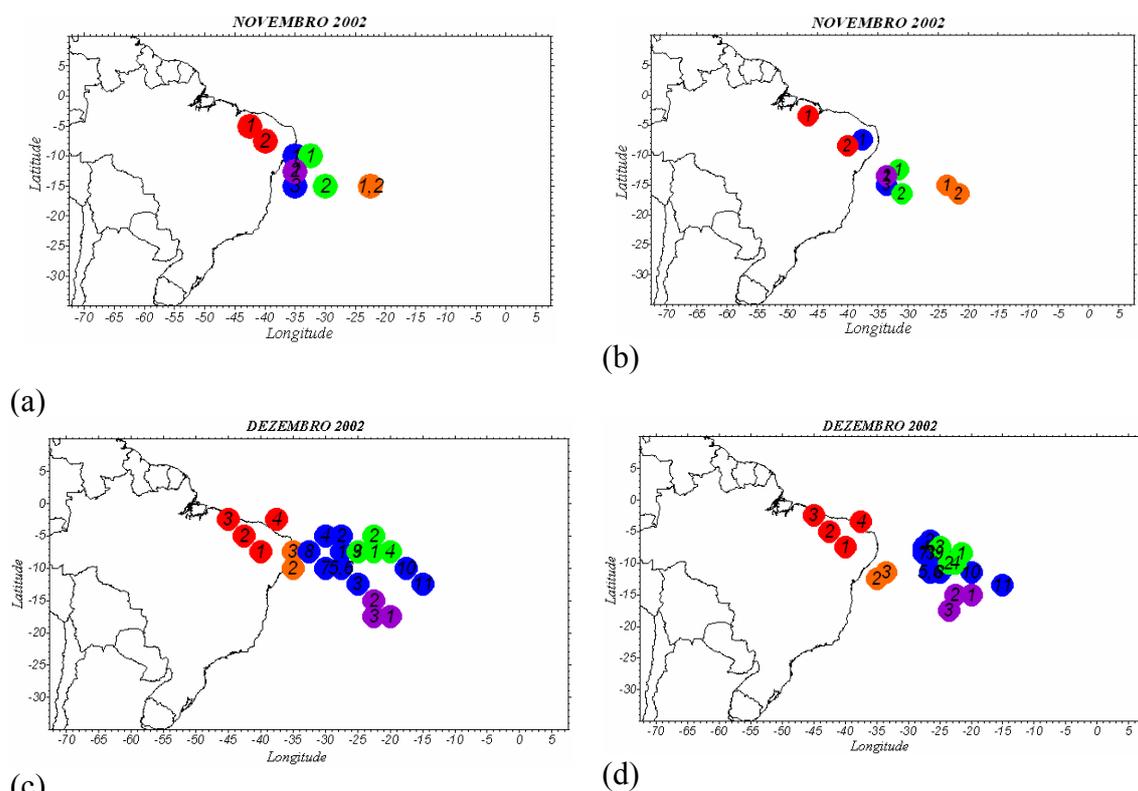


Figura 4.4 – Como a Figura 4.1, sendo à esquerda: obtida pelo MO, à direita: obtida pela AC. (Continua)

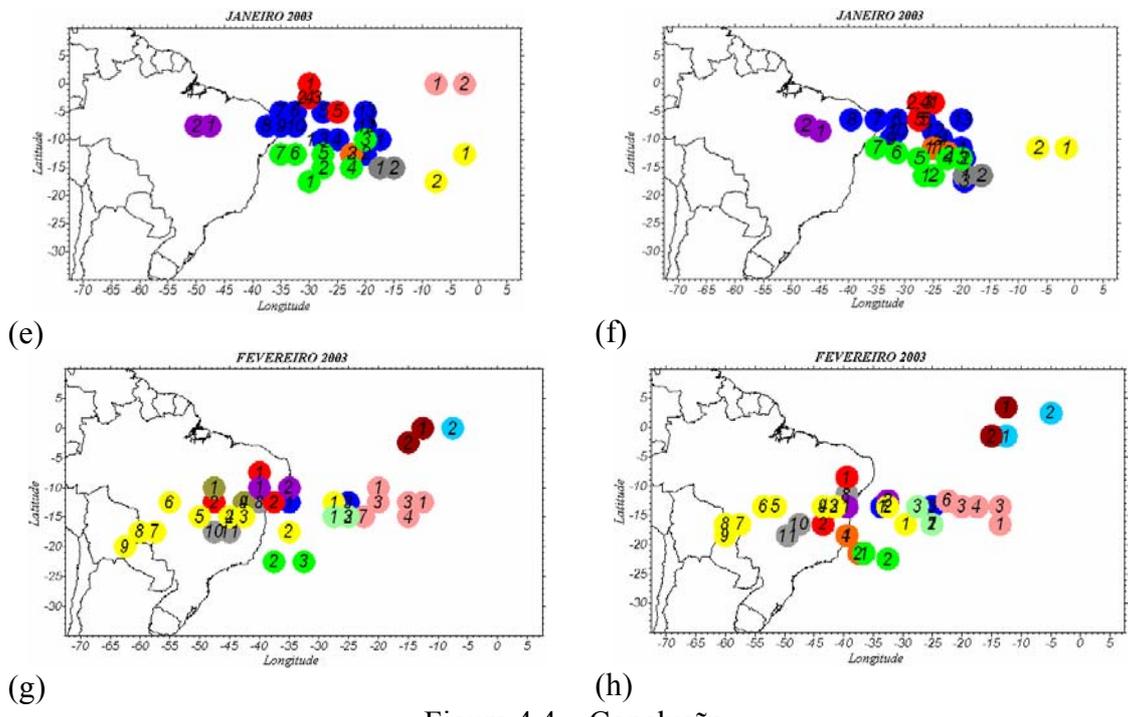


Figura 4.4 – Conclusão.

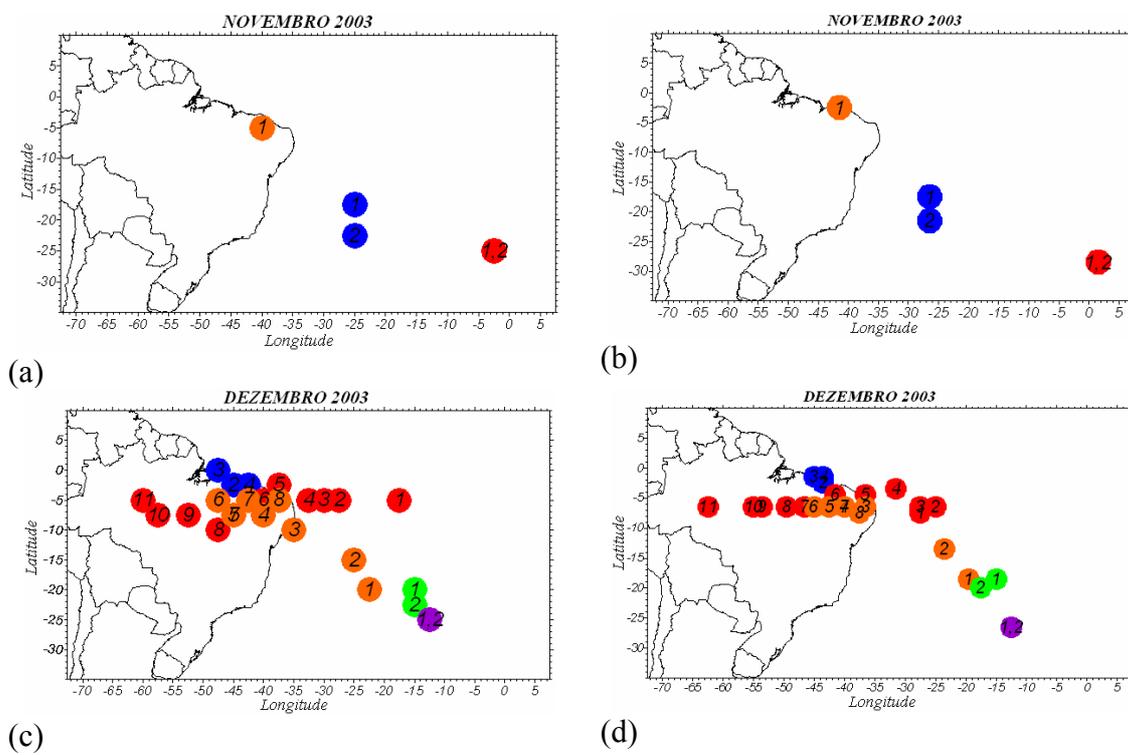


Figura 4.5 – Como Figura 4.4 para o verão de 2003-2004. (Continua)

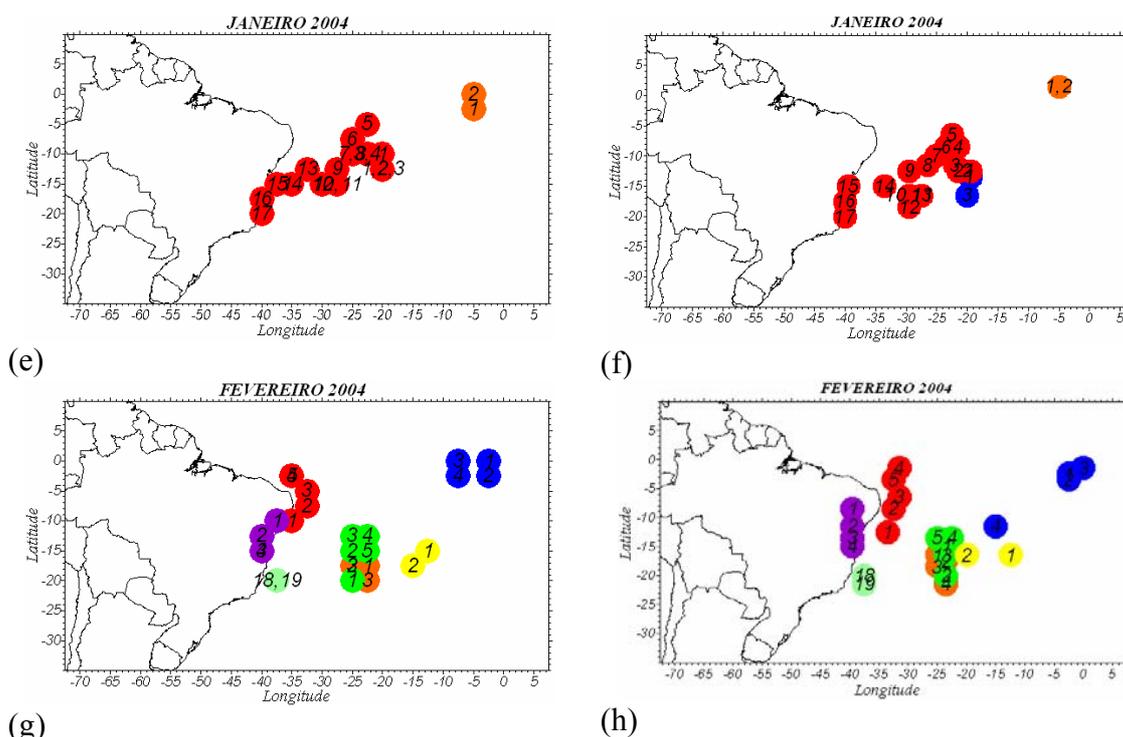


Figura 4.5 – Conclusão.

A Figura 4.6 mostra a defasagem da posição dos VCAN identificada pelo MO com relação a AC para o ano de 2003, lembrando que esta última é considerada como verdade. A maioria das defasagens encontra-se no intervalo de valores longitudinais de -2,5 a 2,5 graus e com valores latitudinais de -4 a 4, indicando que as posições dos sistemas são bem representadas pelo MO, já que a maioria das defasagens está próxima ao centro do gráfico. Nota-se que o número de defasagens encontra-se aproximadamente distribuído nos quadrantes (I, II, III e IV). Isto significa que não é visto clara direção de deslocamento da posição dos VCAN obtida pelo MO com relação a AC, como verificado nas comparações obtidas entre a AC e a IS (Figura 4.3). Porém, a Figura 4.6 mostra que os maiores valores de defasagens obtidos são longitudinais, assim como visto na Figura 4.3. Isto pode ser observado através de alguns pontos extremos nos quadrantes I e IV e indicam posições obtidas pelo MO nos quais tendem a defasar mais significativamente na direção zonal do que meridional.

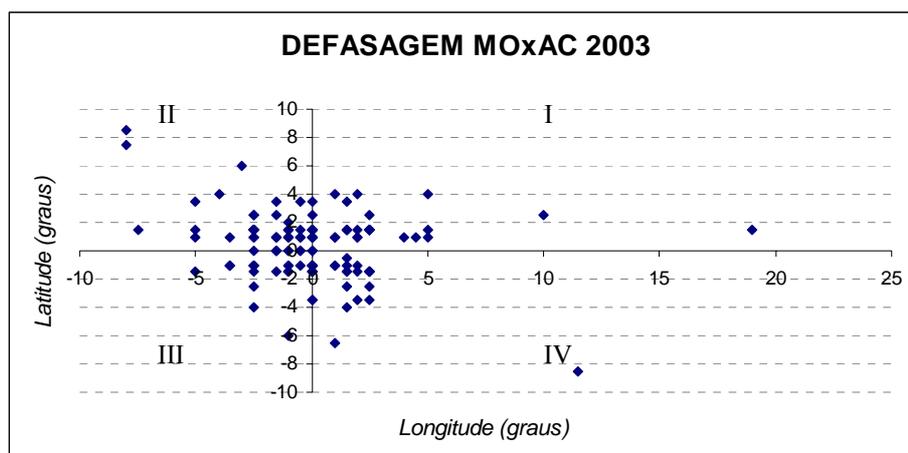


Figura 4.6 – Como a Figura 4.3, sendo o MO com relação a AC.

4.2.1 Comparações entre os métodos de análise

Considerando os resultados apresentados na Tabela 4.1 e utilizando a IS como verdade terrestre, nota-se que existe uma homogeneidade no número total de casos por ano ao longo do período entre as análises dos três métodos e um bom desempenho do MO, embora este tenha superestimado com diferenças correspondentes a dois casos em 2002 e em 2003, três em 2004, cinco em 2005 e seis em 2006. A AC apresenta número total anual similar ao MO e, portanto superestima os resultados obtidos pela IS em todos os anos e com mesma diferença, exceto em 2005 que corresponde a quatro casos. Em 2002 e 2003, os resultados do MO e da AC são mais satisfatórios, já que apresentam diferença de dois casos quando comparados a IS.

O número de VCAN obtido pela IS em alguns meses foi inferior aos identificados com as demais análises durante o período (2002-2006), sendo mais freqüente no primeiro quadrimestre JFMA, como exemplo em fevereiro-março de 2002, fevereiro-março de 2003, abril de 2004 e janeiro de 2005 e janeiro-fevereiro de 2006. Em alguns destes exemplos, as análises avaliadas identificaram VCAN no equador e proximidades que não existem na IS e em outras situações, a IS não mostra escoamento com rotação horária (circulação ciclônica) durante as animações e então estes casos não são

considerados como VCAN, desta forma os métodos (MO e AC) identificaram um número superior.

Em outros meses, a AC e o MO subestimam o número de VCAN, como exemplos em janeiro de 2002, maio e novembro de 2005 que apresentam diferença de um caso por estas duas formas de análises. Nestes exemplos, o VCAN apresenta-se bem configurado na IS, porém na AC não é observada configuração fechada (Figura 4.2a) e no MO, alguma condição do critério adotado não é satisfeita, e portanto, o caso não é considerado como VCAN. Estas justificativas pelos quais o MO e a AC subestimam ou superestimam o número de VCAN são as mesmas para explicar as diferenças encontradas no número de dias com VCAN, apresentado na Tabela 4.1. Este número de dias com VCAN obtido pelas análises (MO e AC) tende a apresentar diferenças mais significativas do que o número destes sistemas obtido por estas análises. Considerando a análise anual deste número, nota-se que apenas no ano de 2002, as duas análises avaliadas mostram um número de dias inferior destes correspondentes a 4 dias pelo MO e 5 dias pela AC. Nos demais anos, são obtidos número de dias superiores, com diferenças de no máximo 13 dias em 2005 obtidas pelo MO e 17 dias neste mesmo ano obtidas pela AC. A menor diferença encontrada foi no em 2004 e corresponde a 2 dias obtida pelo MO e 3 dias obtida pela AC.

Fazendo uma avaliação, por estação do ano, do número de VCAN e do número de dias com atuação destes sistemas, nota-se que este primeiro número mostra que a AC e o MO superestimam em todas as estações do ano, exceto na primavera, em que o MO identifica o mesmo número de VCAN que a IS, correspondendo a 32 casos. No inverno, a diferença corresponde a 2 casos obtida pelo MO e 1 caso obtida pela AC. Já no verão, a diferença é de 10 casos pelas duas análises avaliadas. O número de dias com VCAN mostra um número superior obtido pelas duas análises, sendo a diferença maior no verão e no outono, correspondentes a 8 dias pelo MO e 13 dias pela AC durante o verão, e 8 dias pelo MO e 9 dias pela AC durante o outono. O inverno apresentou diferença de 5 e 3 dias obtida pelo MO e pela AC, respectivamente.

Verificou-se que as diferenças no número de dias com atuação dos VCAN obtidas pelo MO e pela AC ocorreram com maior frequência no período de dissipação dos sistemas avaliados. De 58 dos VCAN avaliados, 28 casos mostraram diferença no período de dissipação, 19 no período de formação e os 11 casos restantes tanto no início quanto no final do período de vida do VCAN. Isto significa que as análises avaliadas tendem a manter o VCAN por mais dias, devido ao “first guess” ser de 6 horas e indicar talvez falta de dados de vento observados na região do VCAN.

4.3 Aplicação do MO: climatologia de 28 anos dos VCAN

Como o MO mostrou bom desempenho na identificação dos vórtices durante o período de 2002 a 2006, uma climatologia foi feita para um período maior desde 1979 até 2006. É importante verificar o comportamento de algumas características associadas aos VCAN com os resultados obtidos pelo MO, para que o mesmo possa ser aplicado em centros operacionais como o CPTEC/INPE e para estudos climatológicos utilizando outras fontes de dados que estejam em pontos de grade.

Neste estudo são considerados os VCAN que se formam na região tropical sul ao longo do ano e apresentam período de vida maior ou igual a dois dias, já que podem estar associados a tempo significativo. A preocupação da maioria dos estudos climatológicos dos VCAN é analisar as características associadas durante as estações (primavera e verão) em que há maior frequência de ocorrência dos mesmos como em Gan (1983) e Ramirez (1997), apesar de não terem identificado sistemas durante o inverno. A atenção aqui também se refere aos VCAN formados no inverno que apesar de ser em menor número, podem apresentar comportamentos distintos daqueles formados nas demais estações do ano. Esta seção apresenta a variabilidade temporal (interanual, intrasazonal) do comportamento de algumas características dos VCAN, como: período de vida, número de ocorrência, região/mecanismo de formação, intensidade e deslocamento.

4.3.1 Período de vida e região de formação

O período de vida e a região de formação dos 886 VCAN identificados na região tropical sul foram determinados para todas as estações do ano do período de 1979 a

2006. A Figura 4.7 apresenta a distribuição de frequência desses vórtices por tempo de vida. Nota-se que 667 vórtices perduraram de dois a quatro dias, correspondendo a 75,3% do total de VCAN identificados pelo MO. O número de ocorrência dos vórtices diminui à medida que o tempo de vida aumenta, indicando tempo de vida relativamente curto da maioria dos sistemas. Em torno de 38 casos perduraram mais do que onze dias, sendo que 14 VCAN se formaram na costa do NEB. Os resultados concordam com os obtidos por Fuenzalida et al. (2005) para os VCAN formados na região subtropical da América do Sul, onde foram encontrados VCAN com maior frequência de duração entre 2 e 3 dias e ocorreu decréscimo da frequência para durações maiores.

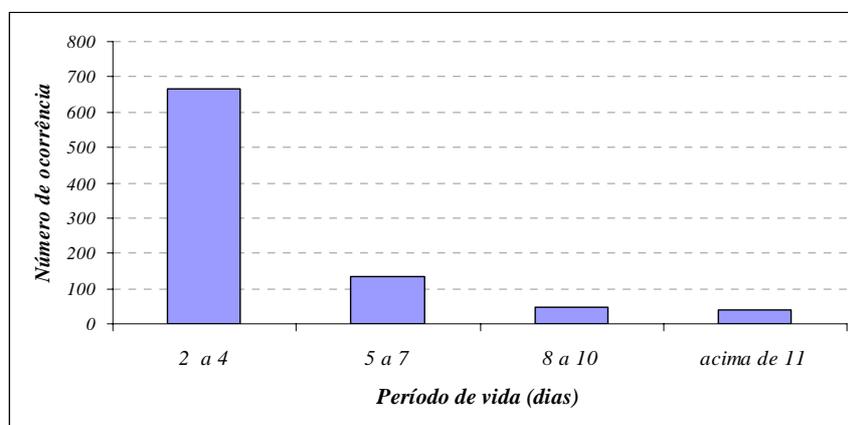


Figura 4.7 – Distribuição de frequência da duração dos VCAN formados na região tropical sul para o período de 1979 a 2006.

A Tabela 4.2 mostra a variabilidade interanual e intrasazonal do número de VCAN dividido em classes por tempo de vida. Para todas as classes, o verão (DJF) é o que apresenta um número total de VCAN maior e o inverno (JJA) um número menor, como exemplo pode ser visto na classe de dois a quatro dias em que há ocorrência de 348 VCAN durante o verão e 22 casos durante o inverno. Fazendo uma comparação dessa classe com as demais, observa-se que nesta há maior número de VCAN em todas as estações do ano. Não há registro de ocorrência de VCAN que perduram mais do que oito dias durante o inverno, e em 2001 é encontrado um caso que perdurou de cinco a sete dias.

Observa-se que existe uma ligeira diferença entre o número total de VCAN's obtido na primavera (SON) e no outono (MAM), sendo a maior diferença de treze casos na classe de cinco a sete dias. A média anual de VCAN nestas duas estações é de 6,3 e 6,5, respectivamente, já durante o verão em média se formam 18 VCAN por ano e durante o inverno 0,8 casos. Estes valores são superiores aos obtidos nos resultados de Gan (1983) e Ramirez (1997), já que a contabilização dos VCAN aqui abrange uma área maior (região tropical sul) do que a área (Oceano Atlântico Sul e costa leste do NEB) considerada nestes dois últimos estudos. Outras diferenças se referem ao critério para identificação dos sistemas e às fontes de dados. Ramirez (1997) utilizou dados do European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) para visualização subjetiva de campos diários de vento, linhas de corrente, vorticidade relativa e anomalia de temperatura em vários níveis padrões da atmosfera, complementando com imagens de satélite no canal espectral infravermelho. Gan (1983) priorizou o uso dessas imagens e assim, só foram considerados os vórtices úmidos.

Em termos de variabilidade interanual, o maior número de VCAN com período de vida longo (maior ou igual a 11 dias) é encontrado no verão de 1980 correspondendo a quatro casos. A máxima frequência anual de VCAN é de 3 casos em todas as estações do ano para a classe de oito a dez dias, enquanto que é de 4 casos para a classe de VCAN que perduram mais do que onze dias. Durante o inverno, o número desses sistemas apresenta variação de um a três casos, sendo mais frequente para tempo de vida variando de dois a quatro dias. Nota-se que o maior número anual (3 casos) de VCAN nesta estação do ano é encontrado nos anos de 1983, 1992 e 2001. Já durante o verão, o ano de 1988 é o que apresenta maior número (24 casos) desses sistemas. Para as estações de primavera e outono, este número é menor do que nesta última estação, correspondendo a 14 e 12 casos nos anos de 1980 e 1982, respectivamente.

Através da avaliação desses anos na página do CPTEC/INPE², não é encontrada relação clara entre o número de VCAN e os anos extremos da Oscilação Sul. Esta relação também não foi observada nos estudos de Ramirez (1997) e Fuenzalida et al. (2005), lembrando-se que neste último estudo, os resultados foram obtidos para os VCAN

² <http://enos.cptec.inpe.br>, acessado em 2 de setembro de 2008.

formados nas regiões subtropicais do Hemisfério Sul. Beu e Ambrizzi (2006) através de uma climatologia dos ciclones extratropicais do Hemisfério Sul mostrou que em média o número destes sistemas em anos neutros é semelhante ao de anos de eventos de El Niño. Contudo, em eventos de La Niña, Beu e Ambrizzi (2006) verificaram um pequeno aumento do número desses ciclones na primavera e verão em relação aos anos neutros, enquanto que o outono caracterizou-se pela diminuição dos sistemas. Singleton e Reason (2007) encontraram que em anos de La Niña, a frequência de VCAN formados nos subtrópicos do sul da África é abaixo da média anual, enquanto que o inverso geralmente não é verdade em anos de El Niño.

A Figura 4.8 mostra a distribuição de frequência dos VCAN formados na região tropical sul por duração (todas as estações) e região de formação para os 28 anos de climatologia. Nota-se que a maioria dos sistemas apresenta região de formação preferencial ao norte do Oceano Atlântico Sul (Reg4) que corresponde a um total de 186 casos. Concordando com os resultados obtidos por Ramirez (1997) que observou formação sobre a faixa tropical do Atlântico Sul de 85% dos vórtices identificados.

Os VCAN que perduram de cinco a sete dias também apresentam a região Reg4 como predominante, não ocorrendo o mesmo com as classes cujo período de vida é superior ou igual a oito dias em que a região preferencial de formação dos sistemas é na costa do NEB (Reg3). Os VCAN apresentam região com menor frequência de formação ao norte do continente Sul-Americano (Reg1) para as classes com período de vida inferior ou igual a sete dias. Nesta mesma região não são encontrados VCAN que apresentam período de vida superior ou igual a oito dias. Campetella e Possia (2006) encontraram que 90% dos VCAN subtropicais formados em 250 hPa ao sul da América do Sul perduraram de 2 a 3 dias sobre as áreas oceânicas, já os sistemas com período de vida superior a sete dias tenderam a aparecer sobre áreas continentais em torno de 20°S.

Tabela 4.2 – Distribuição interanual e sazonal do número de VCAN por classe (tempo de vida) para o período de 1979 a 2006. (Continua)

Classe	2 a 4				5 a 7				8 a 10				≥11			
Estação	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA
1979	3	12	3	1		4	1		1	1				1		
1980	6	7	11	2	1	1	1							4		
1981	3	11	3			5			1					1	1	
1982	13	11	4			1			1	2				1		
1983	6	8	7	3	1	4	1			1				2		
1984	4	17	8	1		5										
1985	4	8	9	1		4				1						
1986	5	16	5			3				1						
1987	6	7	6		1	4	1			3						
1988	1	16	3	2		5	1			1				2		
1989	5	15	6			2				1				2		
1990	6	17	6		2	4	2			1				1		
1991	7	8	4	1		5	1			1				1		
1992	1	11	4	3	1	1	2			1				1		
1993	6	13	6		1	3				2						
1994	8	14				4	3		1	1				1		
1995	6	10	2		1					3				1		
1996	2	18	1			3	3		1					1		
1997	6	7	2	1		5			1	3			1	1		1
1998	4	16	8		1	1	1			3	1			1		
1999	4	15	7		1	5	1			1						
2000	7	9	4		1	3	2		1	3				1		
2001	3	16	5	2		4	2	1					1	1		1
2002	9	10	3	2	1	2	5			2				2		

2003	5	15	9			2	2			2				3		
2004	9	10	10	1	1	2	1							2		
2005	7	12	5	2	1	3			1	2	1			1		
2006	4	19	6		3	1				1				2		
Total	150	348	147	22	17	86	30	1	8	37	2	0	2	33	3	0

Tabela 4.2 – (Conclusão).

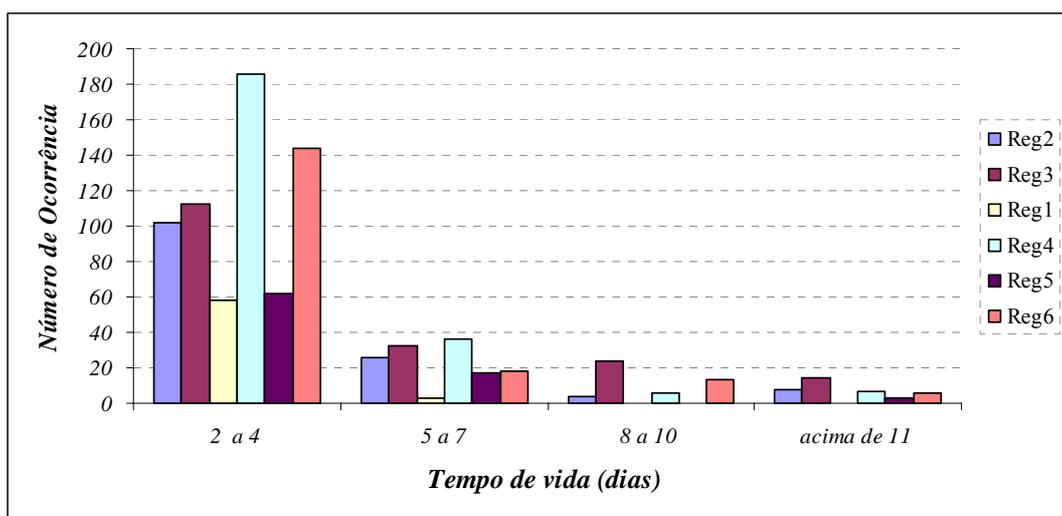


Figura 4.8 – Número de VCAN por região de formação e tempo de vida para o período de 1979 a 2006. As delimitações das regiões estão indicadas na seção 3.2.4.1.

4.3.2 Intensidade

A intensidade do VCAN é medida pelo menor valor de vorticidade relativa do período de vida do sistema e está dividida em categorias conforme tabela 3.2 da seção 3.2.4.1. A Tabela 4.3 apresenta a variabilidade interanual de VCAN por intensidade (seção 3.2.4.1) e região de formação (seção 3.2.4.2). A região oceânica é onde ocorre maior formação de VCAN com 603 casos dos 886 contabilizados no período (28 anos), no entanto a área continental com maior formação de VCAN é a costa do NEB com 141 casos. Nota-se que o maior número de VCAN intensos (74 casos) se forma na região Reg6, enquanto que a maioria dos VCAN fracos (144 casos) e moderados (79 casos) se forma no Reg4. A região Reg1 é onde ocorre menor formação de VCAN intensos correspondendo a dois casos durante todo o período climatológico. Em média se formam 31,6 VCAN por ano, sendo 8,6 intensos, 11,1 fracos e 11,9 moderados. A intensidade máxima observada no período é de $-14 \times 10^{-5} s^{-1}$ obtida por um VCAN formado em abril de 1991 e corresponde a 57,2% maior que o valor médio ($-6 \times 10^{-5} s^{-1}$).

Tabela 4.3 – Número anual de VCAN's por região de formação e intensidade (I- fraco, II - moderado, III- intenso). (Continua)

Ano	Reg2			Reg3			Reg1			Reg4			Reg5			Reg6		
	I	II	III															
1979		3	1	1	2	4	1			6	3				1	1	2	2
1980	3	1			4	5				5	3		2	2	2		3	3
1981		1	1	2		5	1	1		3	3	1	1		2		3	1
1982	3	6	3	1	1	1	4			6	3	1			1	3		
1983	1			1	3	5	1			7	2	4		1	3	1	4	
1984	2	1		5	2	2	2	2		12	1		2	2		2		
1985		2		2	4	1	2			4	3			4		2	2	1
1986	2	2	2	1	4		2			4	3		1	1	1	2	3	2
1987	1	2	1	1	4	2	2			3	3		2	2				5
1988	5	4		4	2	1				7	2	1		1		1	2	1
1989	2	2	1	3	4	1	1			9	2		1	2	1		1	1
1990	1	6	3	3	2	1		2	1	6	4	1	1	1	2	1	2	2
1991		5	1		2	2	2	1		4	4			2	1	2	2	
1992	1	1				1	3			5	5			1		1	5	2
1993	4	3		3	3	1				6	2			1	1	1	2	4
1994		4	1	5	2	1				6	3			1	1		4	4
1995		1	3		1	1	2			2	4			2	1	1	4	1
1996	1	1	1	2	2	1	3			7	5		1	1		1	3	
1997	1	2	1		3	3	1	2		2	2	1		1	3	1	3	2
1998			1	2	4	4	5	2		3	4	2		1		2	3	3
1999		2	4		2	3		1		6	3			1	3	3	3	3
2000	2	1	3		2	4	1			2	2				1	4	2	7
2001		3	1	3		2	1	1		5	2				4	2	3	9
2002	1	3	4		1	6	3	1		6	2	2		1	1		1	4

2003		2	2	2	2	3		1	1	6	2	2		1	2	4	5	3
2004	1	2	3		3	2	2			4	3	3			2	2	5	4
2005	1	3	1		1	5	3	2		3	3		1	2	2		3	5
2006		4	4	3	4	2		1		5	1	1		3			3	5
Total	32	67	42	44	64	69	42	17	2	144	79	19	12	34	35	37	73	74

Tabela 4.3 - (Conclusão).

As séries climatológicas das categorias classificadas em limiares de vorticidade relativa estão apresentadas na Figura 4.9. O teste Run aplicado às estas séries mostrou valores da estatística z correspondentes a -0,008, -0,07, -0,09 e -0,04 para VCAN fracos, moderados, intensos e soma, respectivamente. Isto indica que estas séries ocorrem aleatoriamente a um nível de significância de 90%, já que os valores de z estão no intervalo de -1,28 e 1,28. Desta forma, foi possível fazer uma avaliação do comportamento das tendências lineares das séries aplicando-se o teste de Mann-Kendall. A série com frequências de VCAN moderados não apresentou tendência significativa, já a série com número de VCAN intensos mostrou tendência crescente ($u(t_n) > 0$) e significativa ($u(t_n) > 1,28$) a partir de 2002 e a com frequência de VCAN fracos, apresentou tendência decrescente e significativa a partir de 2005, ambas a um nível de significância de 90%. A série da soma da frequência de VCAN mostrou tendência crescente e significativa a partir de 2003 ao mesmo nível de significância anterior. Portanto, o teste de Mann-Kendall indica um aumento no número de VCAN a partir de 2003, com contribuição do número de VCAN intensos.

Considerando toda série climatológica avaliada das Figuras 4.9a - 4.9c, o número total de VCAN fracos, moderados e intensos é de 309, 338 e 239, respectivamente, indicando maior frequência de formação de VCAN moderados (Figura 4.9b) e menor frequência de VCAN intensos (Figura 4.9c). Existe uma ligeira diferença entre o comportamento dos perfis das categorias sendo que, a maior frequência de VCAN fracos (Figura 4.9a) ocorreu em 1984 com 25 casos e a de VCAN intensos (Figura 4.9c) em 2002 com 17 casos. O perfil da Figura 4.9d representa o número total de VCAN ao longo do período em estudo. A oscilação desse perfil apresenta alternâncias periódicas de mínimos e máximos de ocorrência dos sistemas, no entanto entre 1995 e 2001 há um crescimento gradual do número casos, em que os VCAN intensos (Figura 4.9c) são predominantes e correspondem a 42,4% dos casos identificados neste período. Entre 1984 e 1996 há uma menor frequência desses VCAN e alguns picos de máximos de ocorrência de VCAN fracos (Figura 4.9b) são encontrados em 1982, 1984, 1988 e 1996. A partir de 2001

(Figura 4.9d), o número total de VCAN apresenta valor em torno de 36 por ano, indicando que nesta parte do perfil o número de VCAN é aproximadamente constante.

Em termos de variabilidade interanual, a análise das Figuras 4.9a - 4.9c em conjunto com os resultados disponíveis na página de produtos especiais do CPTEC/INPE³ mostram que não há clara relação entre o número de VCAN considerando sua intensidade e anos com eventos de El Niño ou La Niña nas suas fases moderada, fraca e intensa. Porém, desconsiderando a fase desses eventos, a avaliação dos 14 períodos da climatologia com atuação de El Niño (9 períodos) e La Niña (5 períodos) mostra 5 períodos com atuação de maior número de VCAN moderado durante anos com El Niño e 3 períodos com atuação de maior número de vórtices fracos durante anos com La Niña. Os resultados obtidos por outros estudos como em Fuenzalida et al (2005), para os VCAN que atuam no nível de 500 hPa das regiões subtropicais da América do Sul, Austrália e África, não houve nenhuma associação entre o número desses sistemas e índices de eventos de El Niño. Ramirez (1997) não encontrou clara relação entre o número de VCAN's formados no NEB e a variabilidade interanual nos anos extremos da oscilação sul (El Niño ou La Niña), porém uma relação com a profundidade foi encontrada tal que nos verões com El Niño (1982-1983 e 1986-1987), os VCAN apresentaram maior profundidade na vertical, enquanto que nos verões com La Niña (1984-1985 e 1988-1989), os VCAN estiveram confinados nos altos níveis.

³ <http://enos.cptec.inpe.br>, acessado em 2 de setembro de 2008.

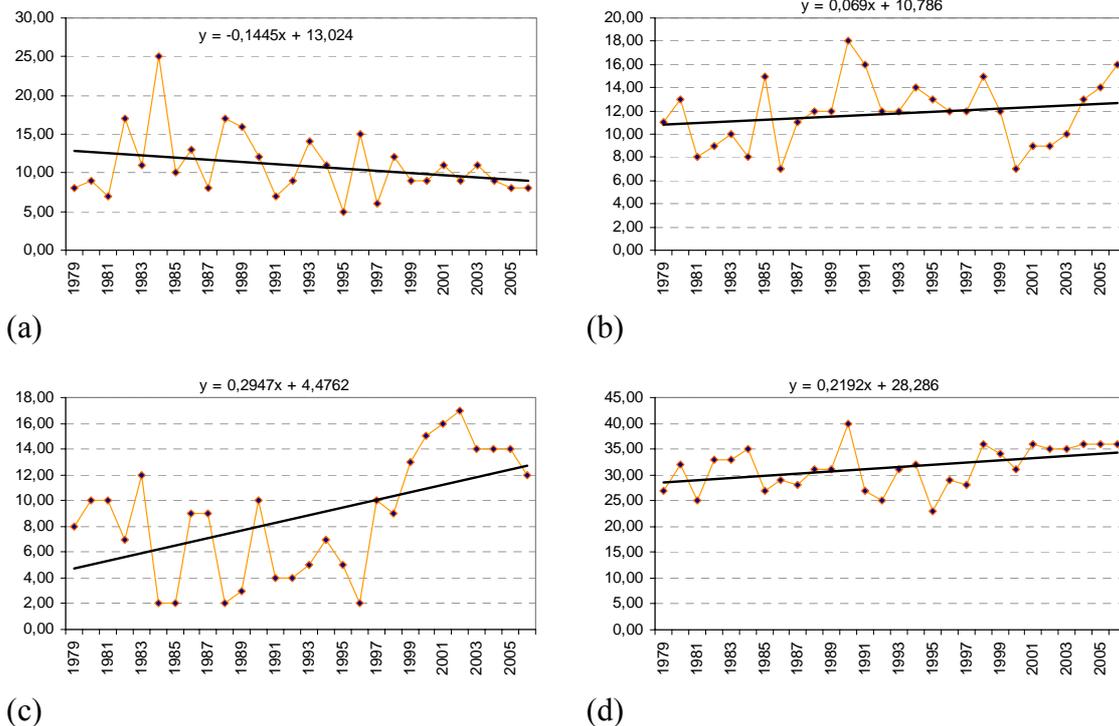


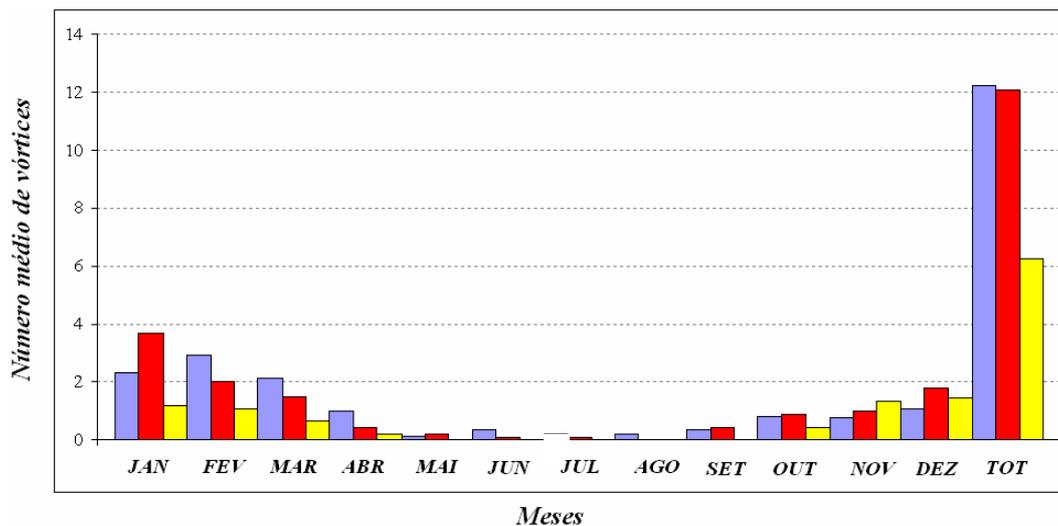
Figura 4.9 – Número de vórtices pertencente às categorias: I (a), II (b), III (c) e total (d).

Com base nos resultados obtidos pela Figura 4.9, dois períodos (1979-1994 e 1995-2006) foram selecionados para construção da Figura 4.10 que apresenta a variabilidade média mensal e anual da frequência de VCAN por categoria. Nota-se que as Figuras 4.10a e 4.10b mostram uma diminuição gradual da frequência de VCAN de janeiro a abril e frequência aproximadamente constante de maio a agosto, sendo esta frequência inferior aos demais meses. Entre os meses de setembro e dezembro, há um crescimento gradual do número de casos. Tais características são típicas destes sistemas no Hemisfério Sul, cuja formação é mais freqüente no período de verão (KOUSKY E GAN, 1981; GAN, 1983; RAMIREZ, 1997) e menos freqüente no período de inverno.

A análise do número mensal de VCAN nas Figuras 4.10a e 4.10b mostra que existe pouca diferença entre a frequência destes sistemas por categoria, principalmente na Figura 4.10b, em que é visto um aumento de ocorrência de casos pertencentes à categoria III (intensos) com relação ao número de VCAN desta categoria na Figura 4.10a, principalmente no quadrimestre JAN, FEV, MAR e ABR. Os meses de OUT e

NOV apresentaram aproximadamente o mesmo número de vórtices nas duas figuras, enquanto que em DEZ houve um ligeiro aumento dos sistemas intensos na Figura 4.10b com relação à Figura 4.10a.

Fazendo uma comparação entre o número anual de vórtices das Figuras 4.10a e 4.10b, observa-se que os vórtices pertencentes à categoria II (moderados) apresentam mesmo número de casos em torno de 12. Já os sistemas fracos (categoria I) mostram um número superior de vórtices na Figura 4.10a com diferença anual em torno de 3 casos. Um aumento anual em torno de 5 vórtices intensos pode ser visto na Figura 4.10b, quando comparado à Figura 4.10a. Assim, o período compreendido entre 1995 e 2006 é caracterizado por um aumento do número de ocorrência de VCAN fraco e intenso, principalmente dos vórtices pertencentes a esta última categoria.



(a)

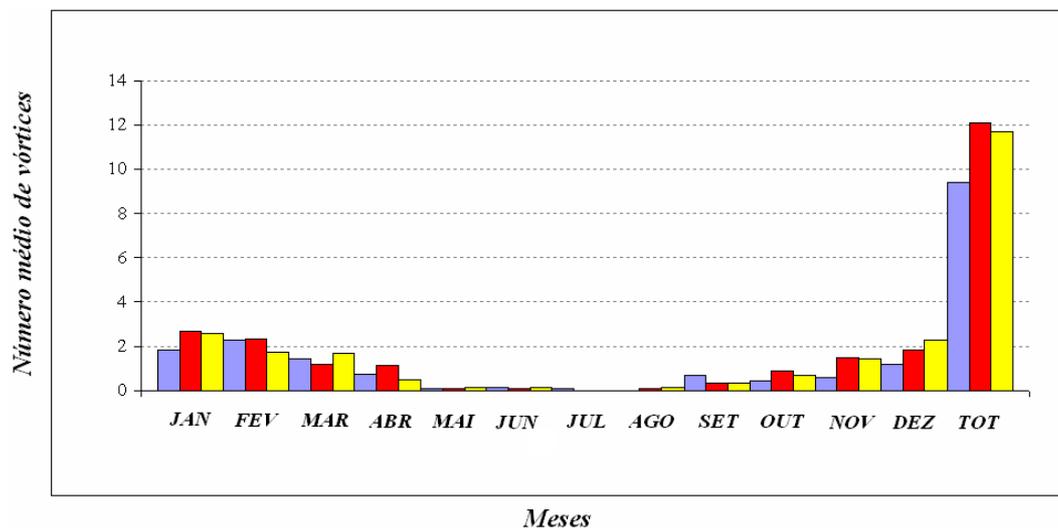


Figura 4.10 – Número médio mensal de VCAN do período de (a) 1979 a 1994 e (b) 1995 a 2006 por categoria. As cores em azul, vermelho e amarelo correspondem às categorias I, II, III dos vórtices, respectivamente.

4.3.3 Mecanismos de formação

Segundo a literatura, existem dois possíveis mecanismos de formação dos VCAN que atuam na região tropical sul: por instabilidade barotrópica (MISHRA ET AL. 2001, 2007; MISHRA E RAO, 2001) ou pela amplificação das ondas de Rossby das latitudes extratropicais para as latitudes tropicais (PÁLMEN, 1949; PALMÉN E NEWTON,

1969). Conforme discutido no início do capítulo, os mecanismos de formação dos VCAN são apresentados nesta sub-seção através de dois casos selecionados da climatologia (instabilidade barotrópica) e por períodos selecionados (eventos de quebra da onda de Rossby).

4.3.3.1 Instabilidade Barotrópica

Nesta sub-seção foram selecionados dois casos de VCAN formados no Oceano AS que apresentam intensidade e período de vida diferentes, cujos quatro dias que antecedem a formação apresentam região não coincidentes com a formação de outros VCAN. O primeiro é o VCAN intenso formado em 19 de fevereiro de 2003 cujo deslocamento será discutido com detalhes na seção 4.3.4. Este VCAN perdurou nove dias e apresentou máxima intensidade no dia 22 de fevereiro correspondente a $-10,4 \times 10^{-5} s^{-1}$. O segundo VCAN, classificado como moderado, se formou no dia 19 de março de 2003 apresentando período de vida de dois dias e intensidade máxima no primeiro dia correspondente a $-5 \times 10^{-5} s^{-1}$.

Os perfis meridionais do vento zonal médio (\bar{u}) (Figura 4.11) e da vorticidade absoluta média ($\bar{\eta}$) (Figura 4.12) durante o período de pré-vórtice foram gerados na região de formação do VCAN intenso (0° - 25° S) e do VCAN moderado (30° S- 10° S) para que possíveis diferenças no comportamento dinâmico de formação dos mesmos possam ser verificadas. O período de pré-vórtice é designado nas Figuras 4.11 e 4.12 como UF15 (Dia -4), UF16 (Dia -3), UF17 (Dia -2) e UF18 (Dia -1) do VCAN intenso de 15 a 18 de fevereiro de 2003 e UM15 (Dia -4), UM16 (Dia -3), UM17 (Dia -2) e UM18 (Dia -1) correspondem ao período de 15 a 18 de março de 2003 do VCAN moderado, respectivamente. O comportamento de \bar{u} para os VCAN moderado e intenso está apresentado nas Figuras 4.11a e 4.11b, respectivamente.

Considerando como exemplo os perfis diários de \bar{u} na latitude de 25° S da Figura 4.11a, nota-se que \bar{u} diminui em torno de 3 m/s do quarto dia antes da formação do VCAN (perfil UM15) para o dia -3 (perfil UM16). No segundo dia que antecede a formação do

sistema (perfil UM17), o valor de \bar{u} (em torno de 10m/s) permanece o mesmo visto neste último dia (perfil UM16). O dia que antecede a formação do VCAN (perfil UM18) é caracterizado por uma ligeira desintensificação de \bar{u} (em torno de 2 m/s) com relação ao dia -2 (perfil UM17). Considerando o comportamento dos mesmos perfis na latitude em torno de 12,5°S (Figura 4.11a), nota-se que há uma desintensificação de \bar{u} (em torno de 2 m/s) do dia -4 (perfil UM15) para o dia -3 (UM16). Deste último dia para o dia -2 (perfil UM17), observa-se intensificação de \bar{u} que passa de 5m/s para 14 m/s. No dia -1 (perfil UM18), este último valor de \bar{u} aumenta para 17m/s.

Baseado nos resultados de Mishra et al. (2007), observam-se que os perfis (Figura 4.11a) revelam a ocorrência de cisalhamento de \bar{u} em torno de 20°S, latitude esta ligeiramente ao norte da latitude de posição do VCAN (22,5°S) no dia de formação. Este cisalhamento de \bar{u} ocorre principalmente devido ao deslocamento aproximadamente para sul dos perfis diários (-4 a -1) com máximos ventos de oeste e ao desenvolvimento de máximos ventos de oeste em torno de 12,5°S. Ao norte da latitude de 20°S, onde há cisalhamento de \bar{u} associado ao VCAN, existe cisalhamento de \bar{u} em torno de 7,5°S, provavelmente associado a um intenso anticiclone que se formou no dia 18 de março e apresentou posição com latitude coincidente a esta última. A formação deste cisalhamento de \bar{u} ocorre principalmente devido à intensificação dos máximos (em torno de 12,5°S) ventos de oeste e ao desenvolvimento de máximos ventos de leste em torno de 0°.

A Figura 4.11b mostra que em torno de 30°S há uma intensificação progressiva (em torno de 12 m/s) dos ventos de oeste do dia -4 (perfil UF15) ao dia -1 (perfil UF18). Em torno de 0° de latitude, ocorre desintensificação progressiva desses ventos e mudança no sentido, cujas intensidades mudam de aproximadamente 12,5 m/s no dia -4 (perfil UF15) para -2,5 m/s no dia -1 (em UF18). Assim, o cisalhamento de \bar{u} pode ser visto (em torno de 10°S) devido ao progressivo deslocamento para norte dos perfis diários de \bar{u} com máximos ventos de oeste e ao desenvolvimento de máximos ventos de leste em torno de 0°.

Em comparação com a Figura 4.11a, nota-se que ambos VCAN (moderado e intenso) indicam características semelhantes no que se refere ao desenvolvimento de cisalhamento de \bar{u} no período de pré-vórtice, no entanto o padrão dos perfis de \bar{u} da Figura 4.11b variam de forma mais progressiva do que na Figura 4.11a, isto porque estes perfis na Figura 4.11b apresentam uma seqüência de variação de \bar{u} sempre do dia -4 para o dia -1 em toda a região de formação do VCAN, o que não é visto na Figura 4.11a. Estes resultados concordam com os obtidos nos estudos de Mishra et al. (2007), porque o VCAN mais intenso também apresentou intensificação e desintensificação de \bar{u} de forma mais progressiva, o que não ocorreu tão claramente com o VCAN fraco. A diferença encontrada entre os resultados aqui obtidos e aqueles por Mishra et al. (2007) se refere à ausência de cisalhamento de \bar{u} no dia -4 do VCAN fraco, além deste sistema ter apresentado indícios de enfraquecimento no dia de formação. Das análises obtidas, nota-se que o gradiente meridional de \bar{u} aumenta ao longo do período de pré-vórtice de forma mais progressiva para o caso do VCAN intenso e ligeiramente aleatório para o caso do VCAN moderado, assim ambos satisfazem à condição necessária para ocorrência da instabilidade barotrópica. Este tipo de instabilidade surge principalmente pelo excessivo cisalhamento horizontal do vento zonal (ASNANI, 1993), sendo um possível mecanismo para a origem deste tipo de vórtice (KUO, 1949).

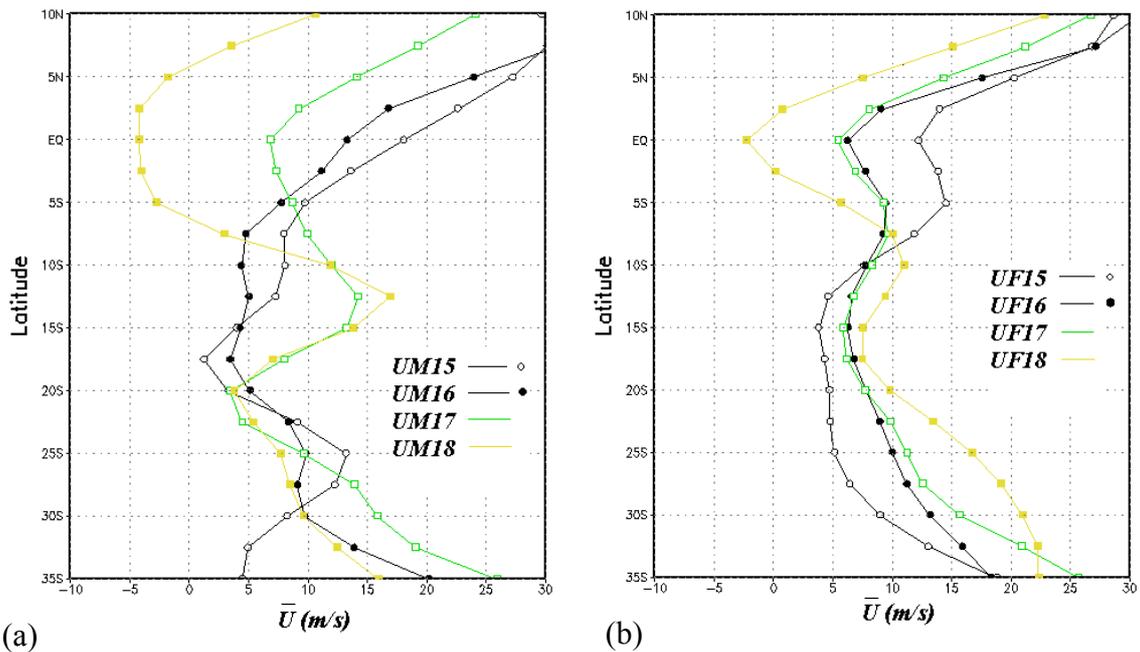


Figura 4.11 – Distribuição meridional do vento zonal médio em 200 hPa durante o período de pré-vórtice na região de formação (a) 20°W – 7,5°E do VCAN moderado de 15 a 18 de março de 2003, (b) 50°W a 10°W do VCAN intenso de 15 a 18 de fevereiro de 2003.

Outra forma de verificar a importância desse mecanismo para a formação dos VCAN pode ser visto na Figura 4.12, na qual está apresentado o perfil meridional da vorticidade absoluta média no período de pré-vórtice. Os perfis exibem pronunciados máximos e mínimos nas regiões de formação dos VCAN. Na Figura 4.12a, o mínimo em torno de 17,5°S e o máximo em torno de 10°S estão associados ao VCAN moderado, enquanto que a Figura 4.12b mostra um máximo em torno de 2,5°S e um mínimo em torno de 15°S associados ao VCAN intenso. Exceto o perfil UM17 (Figura 4.12a) que mostra mínimo em torno 17,5°S, todos os outros mínimos e máximos de η nas Figuras 4.12a e 4.12b são encontrados no dia que antecede a formação dos VCAN. Isto significa que há mudança de sinal de $\frac{\partial \eta}{\partial y}$, portanto satisfaz à condição necessária para haver instabilidade barotrópica.

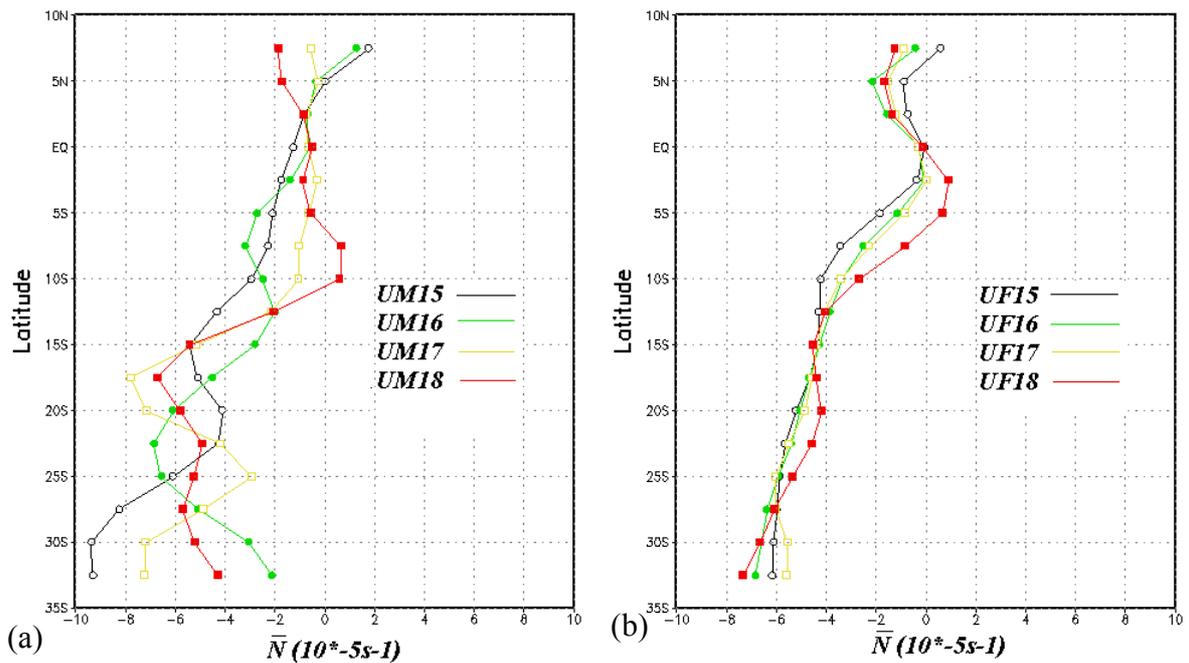


Figura 4.12 – Como Figura 4.11 para a vorticidade absoluta média.

4.3.3.2 Eventos de intrusão (quebra da onda de Rossby)

Quando os ventos zonais de oeste em altos níveis na região subtropical estão mais intensos, induzem maior propagação das ondas de Rossby para norte e favorecem a quebra desta onda (PÁLMEN, 1949). A quebra da onda de Rossby que resulta no transporte de ar da baixa estratosfera da região subtropical para alta troposfera da região tropical é denominada de evento de intrusão (HORINOUCI ET AL., 2000). No oceano Atlântico Sul Equatorial existe uma região em que quando os ventos zonais de oeste são intensos (acima de 10ms^{-1}) ocorre formação do “duto de oeste”, onde há quebra da onda de Rossby (BARBOSA, 2006; RAO ET AL., 2007). As variações das intrusões podem causar mudanças na posição e intensidade do cavado do Atlântico equatorial Sul (WAUGH E POLVANI, 2000).

Com base no modelo proposto por Pálmen (1949) para formação dos VCAN e na relação entre o vento zonal médio de oeste na região equatorial e eventos de intrusão, sugerida por Barbosa (2006), foram gerados os campos da Figura 4.13. Estas mostram o

comportamento de \bar{u} no quadrimestre NDJF para dois períodos (1995-2006 e 1979-1994). Os ventos zonais médios nas Figuras 4.13a e 4.13b são de oeste na maior parte da região, exceto a noroeste da América do Sul, onde o escoamento é de leste com valores em torno de $-5ms^{-1}$. Na região do Atlântico Sul Equatorial, os ventos zonais médios são de oeste e mais intensos na Figura 4.13b do que na Figura 4.13a, pois apresentam valores em torno de $14ms^{-1}$ e $12ms^{-1}$, respectivamente, porém ambas representam regiões de “duto de oeste”, por apresentarem valores superiores a $10ms^{-1}$ (BARBOSA, 2006; RAO ET AL., 2007). Estas regiões são favoráveis para quebra da onda de Rossby e conexão entre trópicos e extratropicos (HORINOUCI ET AL., 2000). As Figuras 4.13a e 4.13b mostram uma inclinação do duto de noroeste-sudeste na região entre $10^{\circ}N$ e $20^{\circ}S$, em concordância com os resultados obtidos por Barbosa (2006).

Os ventos zonais de oeste ao sul de $25^{\circ}S$ são mais intensos na Figura 4.13a do que na Figura 4.13b, indicando maior possibilidade de amplificação das ondas de Rossby e propagação destas da região subtropical para a região tropical, conseqüentemente a quebra destas ondas e possível desencadeamento de mais eventos de intrusões. Isto significa que na Figura 4.13a, há indícios de aumento do número de ocorrência de VCAN, principalmente aqueles mais intensos, já que o período avaliado é de 1995 a 2006. Estes resultados concordam com os obtidos por Barbosa (2006), nos quais verificou fortalecimento do ciclone em altos níveis da região do Atlântico Tropical Sul em anos com maior número de eventos de intrusões.

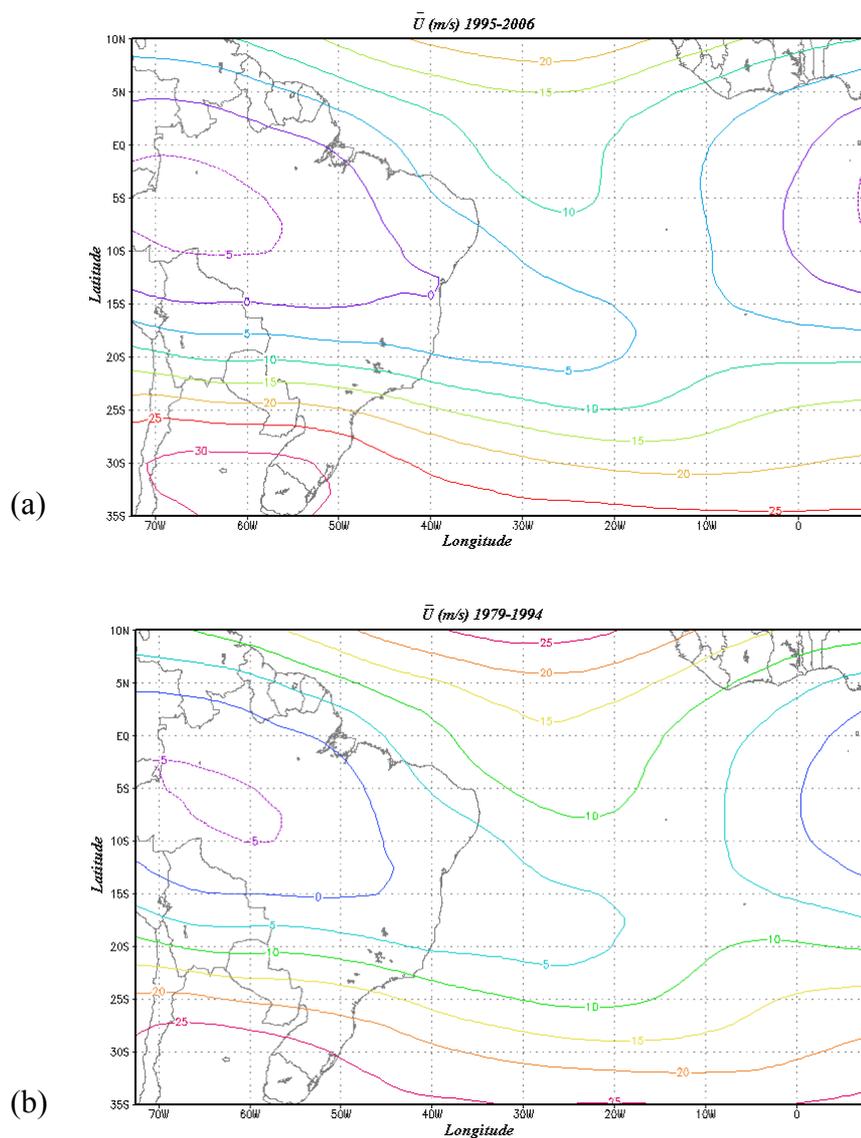


Figura 4.13 – Vento zonal médio (ms^{-1}) em 200 hPa para o quadrimestre NDJF do período de (a) 1995-2006, (b) 1979-1994.

A Figura 4.14 apresenta os campos médios da vorticidade relativa (Zeta) para o quadrimestre NDJF dos períodos avaliados (1979-1994 e 1995-2006). Os campos das Figuras 4.14a e 4.14b mostram maior parte da região com vorticidade relativa positiva, exceto na região da costa do NEB e oceano Atlântico Sul adjacente que apresenta vorticidade ciclônica, correspondendo à região onde predominam os VCAN. A região a norte de 0° também apresenta valores negativos de vorticidade relativa, mas

anticiclônica por fazer parte do Hemisfério Norte. Os maiores valores de vorticidade anticiclônica abrangem a região a sudoeste da América do Sul, entre as latitudes de 15°S e 30°S, correspondendo a região média de atuação da Alta da Bolívia (AB). A Figura 4.14a mostra valores mais intensos de vorticidade anticiclônica e ciclônica na região de atuação da AB e do VCAN (alguns décimos), respectivamente, do que na Figura 4.14b, visto que este primeiro campo corresponde ao período onde foi encontrada maior ocorrência de VCAN intensos.

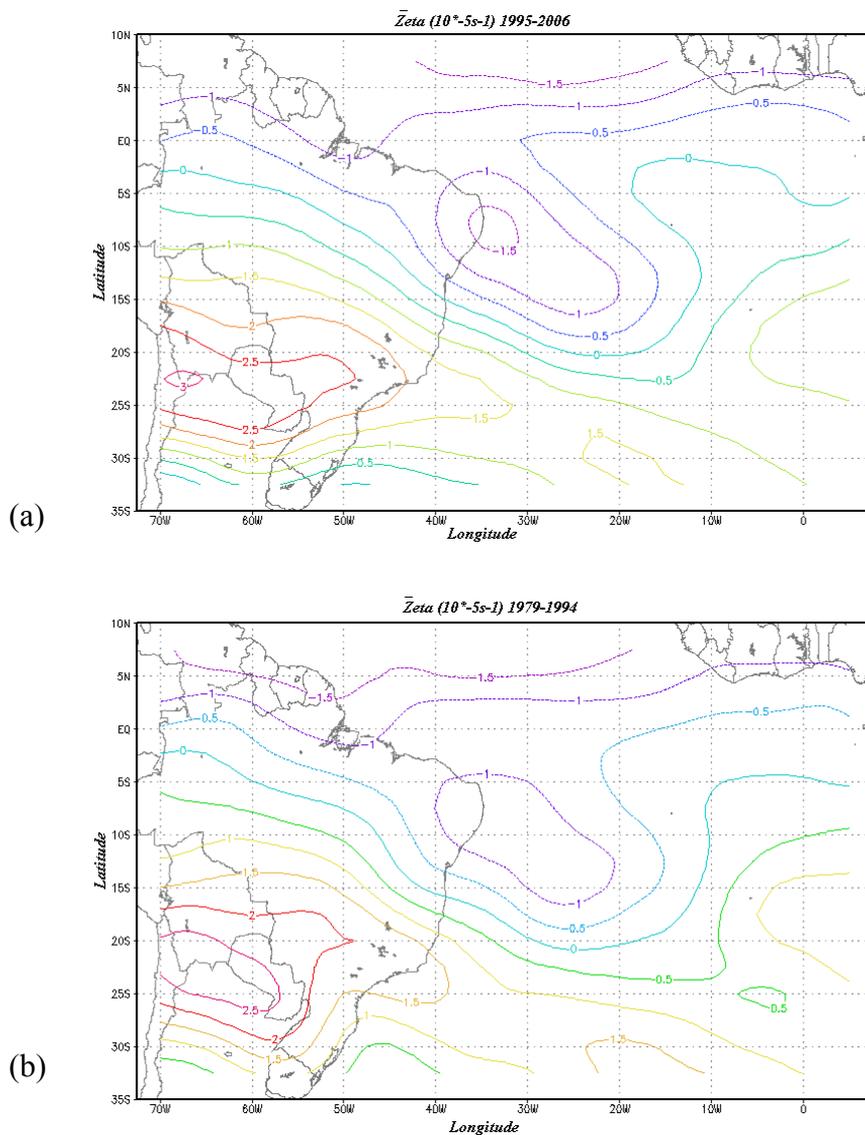


Figura 4.14 – Como Figura 4.13 para a vorticidade relativa média.

4.3.4 Deslocamento

A Figura 4.15 mostra a distribuição espacial dos VCAN obtida pelo MO nos verões de 2002-2003 e 2003-2004 com seus respectivos deslocamentos. Nota-se que a trajetória dos VCAN é extremamente variável, embora a maioria apresente tendência de se deslocar para oeste, denominados como vórtices com deslocamento regular por Ramirez (1997). Nas análises obtidas para o nível de 500 hPa dos VCAN que atuam na América do Sul, Fuenzalida et al. (2005) também encontraram trajetórias bastante variáveis dos VCAN, entretanto a maioria dos casos se moveram para leste, por estarem nas latitudes subtropicais do HS.

Os casos representados pelas cores em azul nas Figuras 4.15c e 4.15e, em laranja na Figura 4.15d e em vermelho nas Figuras 4.15f e 4.15h, em parte apresentam trajetória circular, outros VCAN's se deslocam de oeste para leste, como os casos representados pelas cores em roxo e azul na Figura 4.15a, em cinza na Figura 4.15e, em amarelo na Figura 4.15g e em verde claro na Figura 4.15g. Nota-se que alguns VCAN não apresentam deslocamento como os casos com cores em verde na Figura 4.15a, em vermelho na Figura 4.15b, em roxo na Figura 4.15d e em verde claro na Figura 4.15h, os quais permaneceram estacionários e apresentaram tempo de vida curto (variando entre dois e quatro dias). Já outros VCAN apresentam trajetória longa seguindo o padrão de direção do deslocamento para oeste continuamente, como exemplos, o caso em vermelho na Figura 4.15d que se formou no oceano Atlântico Sul e se dissipou na Amazônia e o caso em cinza na Figura 4.15g, cuja formação ocorre também no oceano Atlântico Sul, atravessa o continente Sul-americano e se dissipa no continente sobre a fronteira entre Bolívia e Paraguai.

O caso com a cor em cinza da Figura 4.15g se destacou devido ao deslocamento ser contínuo, longo e com tendência para oeste durante toda a trajetória. Assim, buscou-se avaliar a contribuição dos termos da equação da vorticidade relativa (Equação 3.2) no deslocamento do VCAN para oeste. Este VCAN formou-se sobre o Oceano Atlântico Sul no dia 19 de fevereiro de 2003 com intensidade de $-4 \times 10^{-5} s^{-1}$, no dia 22 adquiriu a intensidade máxima de $-10,4 \times 10^{-5} s^{-1}$ e se dissipou no dia 27 sobre a fronteira entre

Bolívia e Paraguai. Todo o percurso totalizou em média 35 graus de longitude com velocidade média de 7° de longitude por dia nos dois primeiros dias e entre 3° e 5° de longitude por dia aproximadamente nos demais dias. Os diagramas de Hovmoller dos termos de advecção horizontal de vorticidade relativa (AHVR), advecção horizontal de vorticidade planetária (AHVP) e divergência horizontal (DH) da Equação 3.2, assim como a soma de ambos foram construídos para examinar o deslocamento obtido pelo VCAN.

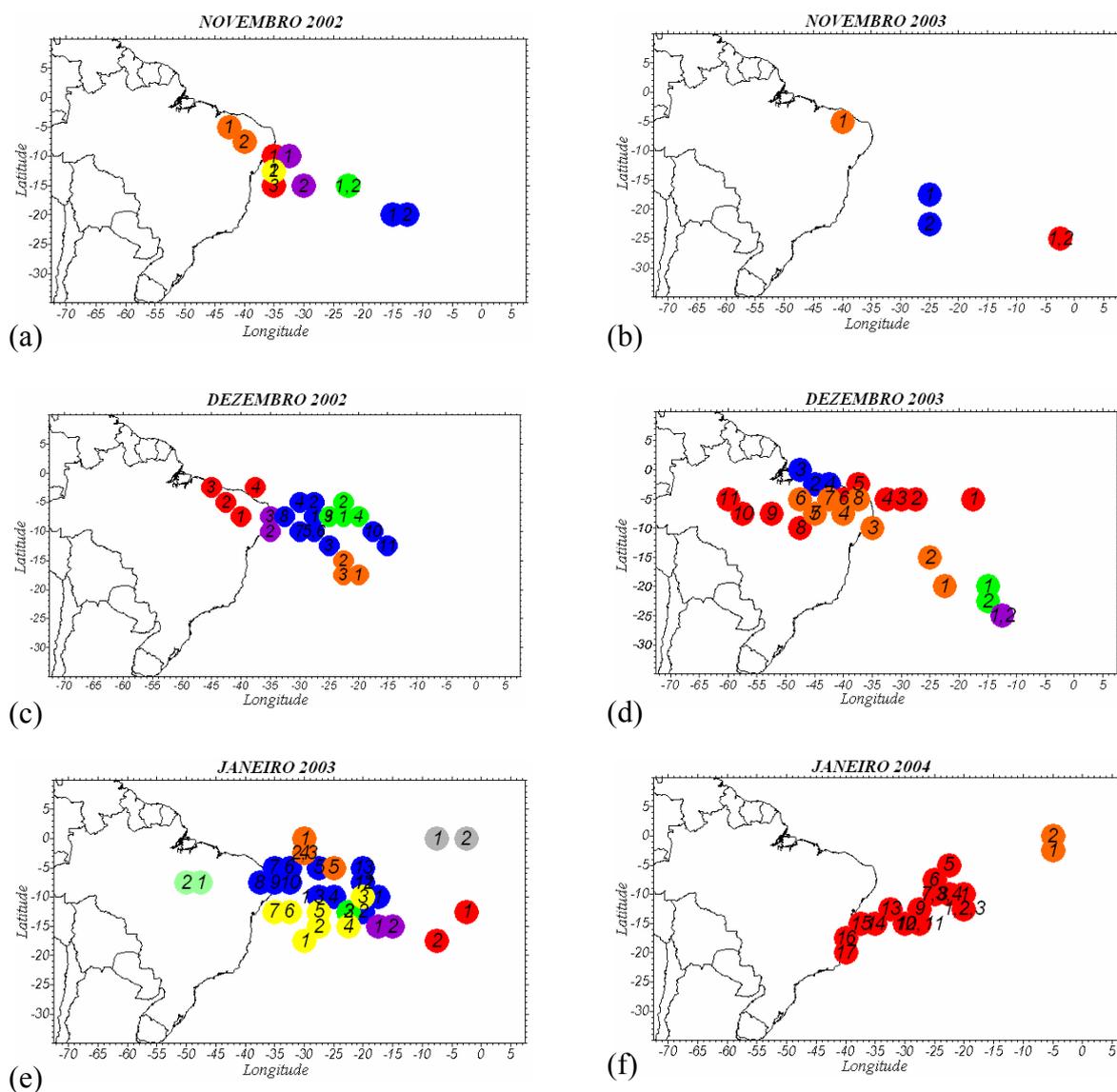


Figura 4.15 – Distribuição espacial dos VCAN obtida pelo MO. A cor indica o VCAN e a ordem numérica informa seqüência de dias de atuação do mesmo. (Continua)

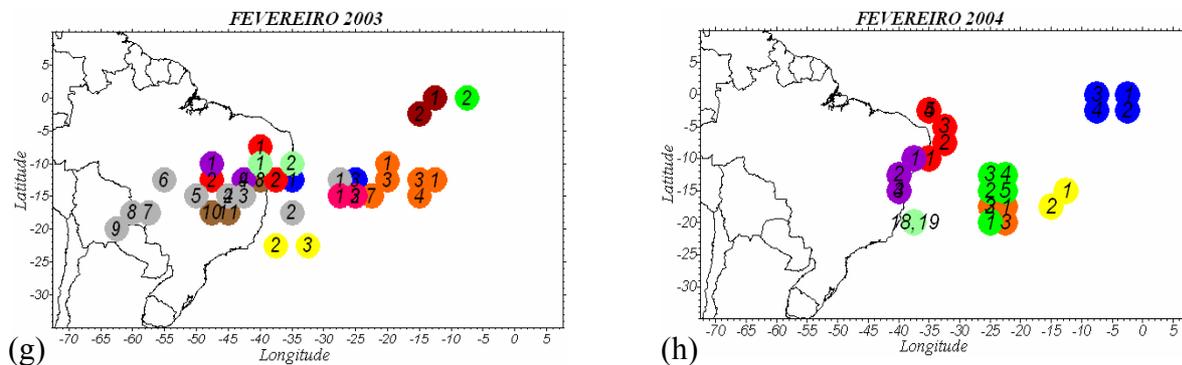
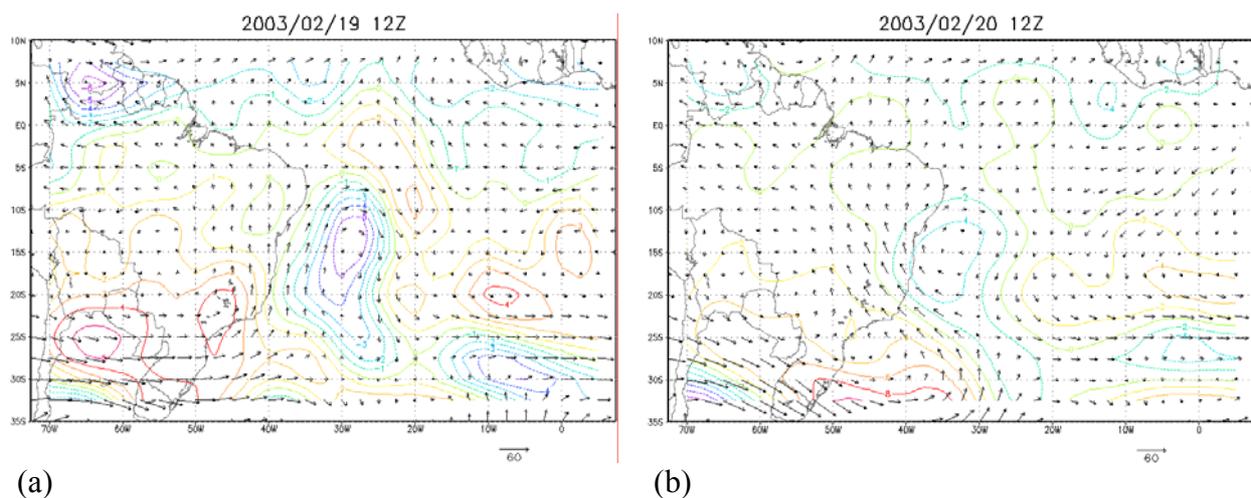


Figura 4.15 – Conclusão.

A Figura 4.18a mostra a AHVR na qual no dia 19 de fevereiro do lado oeste do centro do VCAN tem valores positivos e do lado leste valores negativos, indicando tendência de propagação do VCAN para leste. No dia 20 apesar do centro do VCAN está próximo de uma região com AHVR positiva, existe uma região com valores negativos de AHVR em torno de 25°W indicando tendência de vorticidade relativa (TVR) negativa e, portanto favorece a propagação do VCAN para leste. Analisando a Figura 4.16b, nota-se que neste dia o VCAN apresenta a resultante do vento horizontal (V) com sentido de sudeste e mais intensa na região de inflexão do lado oeste do centro do sistema do que na região de inflexão do lado leste, assim V é composta por u negativo e mais intenso na região de inflexão do lado oeste do centro do VCAN do que do lado leste desta região. Isto não é visto na Figura 4.16a, onde V apresenta intensidades aproximadas nas regiões de inflexão (lado leste e oeste do centro do VCAN) e u é positivo. Assim, a Figura 4.16b mostra que o VCAN apresenta tendência em se deslocar para oeste.



(a) (b)
 Figura 4.16 – Campos de vento e vorticidade relativa em 200 hPa para os dias 19 e 20 de fevereiro de 2003 às 12:00 UTC.

Entre os dias 21 e 23 de fevereiro (Figura 4.18a), o lado oeste do centro do VCAN apresenta valores negativos de AHVR associados a u negativa, já do lado leste valores positivos com u positiva caracterizando TVR negativa do lado oeste e então contribui para propagação do VCAN para oeste. A partir do dia 24, valores negativos de AHVR estão do lado oeste, porém não tão próximos do centro do VCAN, indicando TVR negativa nesta região. Porém, não é possível definir a direção de deslocamento do VCAN com o termo de AHVR porque este termo não apresenta valores positivos do lado leste do centro, exceto no dia 26 em que há TVR negativa do lado oeste do centro do VCAN com magnitude em torno de $2 \times 10^{-5} \text{ dia}^{-1}$ e positiva do lado leste, indicando deslocamento do VCAN para oeste. Através da análise dos campos de vento e vorticidade relativa (Figura 4.17) para este período, nota-se que o VCAN apresenta um lento deslocamento para oeste. No dia 25, o centro do mesmo está em torno de 14°S , 54°W passando para em torno de 19°S , 60°W no dia 27. Isto significa que outro (s) termo (s) contribuiu para o deslocamento do VCAN para oeste neste período.

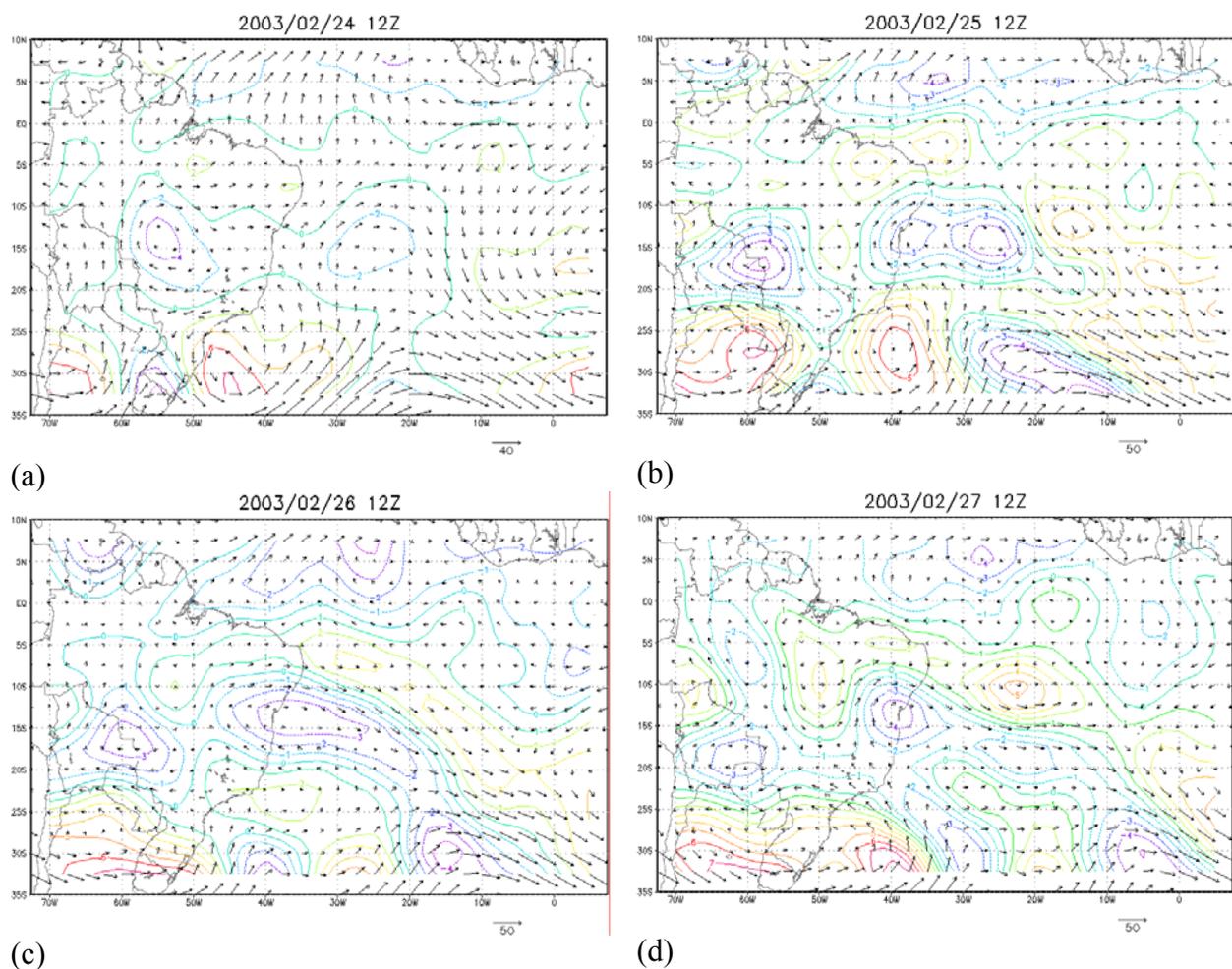


Figura 4.17 – Como Figura 4.16 para o período de 24 a 27 de fevereiro de 2003.

A Figura 4.18b mostra o termo de advecção horizontal de vorticidade planetária (AHVP) com valores negativos de magnitude em torno de $4 \times 10^{-5} \text{ dia}^{-1}$ do lado oeste do centro do VCAN e valores positivos do lado leste durante o período de 19 a 24 de fevereiro, indicando TVR negativa do lado oeste do centro do VCAN, caracterizando propagação para oeste. A partir do dia 24, é visto uma região com valores negativos de AHVP com magnitude em torno de $1 \times 10^{-5} \text{ dia}^{-1}$ e valores positivos não tão próximos do lado leste do centro do sistema, indicando que houve contribuição menos significativa deste termo com relação aos primeiros dias para o deslocamento do VCAN para oeste. A divergência horizontal (DH) é mostrada na Figura 4.18c. No dia 19, o centro do VCAN encontra-se sobre uma região com DH positiva, porém do lado oeste do mesmo

existe uma pequena região com valores negativos desta variável com magnitude em torno de $3 \times 10^{-5} \text{ dia}^{-1}$, indicando tendência de propagação do sistema para oeste. Nota-se que no dia 20, uma região com DH negativa é vista do lado oeste do centro do sistema e valores positivos desta variável do lado leste, indicando propagação do sistema para oeste. Nestes dias em que o termo de DH favoreceu ao deslocamento do VCAN para oeste, observam-se regiões com valores negativos de divergência horizontal do vento (DIV) do lado oeste do centro do VCAN e positivos do lado leste, indicando convergência e divergência nos lados oeste e leste do centro do sistema, respectivamente. Nos dias 22, 25, 26 e 27, o VCAN tem posicionamento coincidente ou bem próximo a regiões com valores negativos de DHVP seguido de regiões com valores positivos deste variável, indicando que o termo de DHVP não explica o deslocamento do sistema. Nos dias 21, 23 e 24 também não é possível explicar a direção de deslocamento do VCAN com o termo de DHVP, visto que o centro do VCAN encontra-se sobre regiões com valores positivos desta variável ou próximo a tais regiões.

Nos estudos de Bonatti et al. (2006), a propagação para oeste do ciclone Catarina a partir do dia 23, sendo o período de atuação de 20 a 30 de março de 2004, teve como fator principal o estiramento de vorticidade relativa e como secundário o estiramento de vorticidade planetária. A advecção horizontal de vorticidade planetária não contribuiu significativamente para esta propagação. A Figura 4.18d apresenta a soma dos termos de AHVR, AHVP e estiramento de vorticidade relativa e planetária em conjunto (DH) para o VCAN aqui apresentado. A propagação do VCAN para oeste é vista no período de 19 a 23 de fevereiro. Do dia 19 a 20, o VCAN se deslocou para oeste devido à contribuição com mesma magnitude (em torno de $4 \times 10^{-5} \text{ dia}^{-1}$) dos termos de DH e AHVP. Já entre os dias 21 e 23, o termo de AHVR contribuiu juntamente com o termo de AHVP para a propagação do sistema, sendo a contribuição deste primeiro termo (em torno de $7 \times 10^{-5} \text{ dia}^{-1}$) maior do que a do segundo termo (em torno de $4 \times 10^{-5} \text{ dia}^{-1}$).

Teoricamente, a contribuição pelo processo de AHVR deveria ser na propagação do VCAN para leste durante todo o período de atuação. Isto porque considerando um escoamento básico de oeste em 200 hPa, à leste de um cavado do HS ocorre advecção de vorticidade relativa ciclônica e a oeste ocorre advecção de vorticidade relativa

anticiclônica, como u é positivo, o VCAN se deslocaria para leste. Entretanto, a Figura 4.16 mostrou entre os dias 19 e 20 que a mudança na direção e intensidade de u na região de inflexão do lado oeste do centro do sistema, juntamente com valores negativos de AHVR do lado oeste do mesmo e valores positivos desta variável do lado leste contribuíram para a propagação do VCAN para oeste entre os dias 21 e 23. A partir do dia 24, a Figura 4.17 mostra um lento deslocamento do VCAN para oeste e uma desintensificação do mesmo, o que não é visto na Figura 4.18d, onde o VCAN não apresenta deslocamento neste período. No entanto, há contribuição em pequena magnitude (em torno de $2 \times 10^{-5} \text{ dia}^{-1}$) dos termos de AHVP (Figura 4.18b) no dia 24 e de AHVR (Figura 4.18b) no dia 26. Assim, a Figura 4.18d não mostra a soma destes últimos termos, porque o VCAN apresentou comportamento de enfraquecimento e redução no deslocamento para uma magnitude pequena, tal qual a soma dos termos não mostra que o VCAN se deslocou.

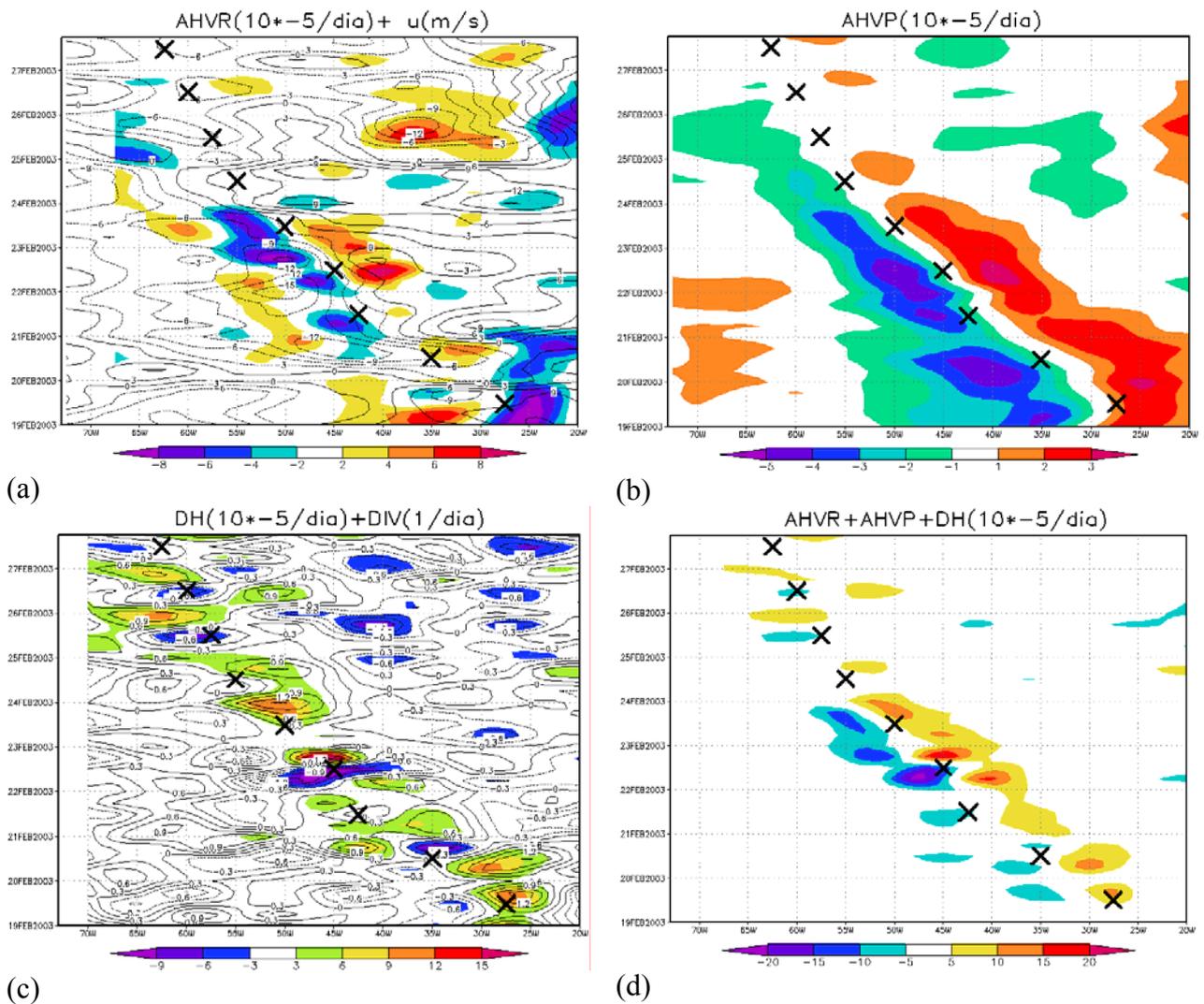


Figura 4.18 – Termos da equação da tendência de vorticidade relativa (hachurado) mais em linhas (a) vento zonal e (c) divergência do vento horizontal. “X” indica a posição do VCAN às 12:00 UTC.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Conclusões

Foi desenvolvido um MO que identifica VCAN formado no nível de 200 hPa da região Tropical Sul, a partir de um limiar ($-2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$) de vorticidade relativa (SILVA, 2005) e de condições pré-estabelecidas da circulação horizontal do vento ao redor do centro do sistema.

Este MO passou por um processo de validação, a partir de dados de reanálises do NCEP/NCAR para o período de cinco anos (2002-2006). A identificação dos sistemas obtida pelo MO foi comparada com a obtida pela AC, considerada como verdade nesta fase, já que o objetivo foi aplicação do MO utilizando este conjunto de dados. Por outro lado, a AC foi avaliada para o mesmo período através das comparações dos resultados da mesma com as obtidas pela IS, neste caso, esta última foi considerada como verdade.

As comparações mostraram boa destreza da AC em identificar os vórtices, porém as posições obtidas apresentaram pequenas defasagens, devido aos critérios adotados para identificação serem distintos. A avaliação anual do número de VCAN mostrou que a AC identificou um número superior de 17 vórtices, considerando os 5 anos (2002-2006), enquanto que o número de dias com VCAN apresentou diferença de 28 dias neste período. A avaliação por estação do ano mostrou que a AC identificou um número superior de VCAN em todas as estações, principalmente no verão, com uma diferença de 10 casos. Com relação ao número de dias com VCAN, a AC também mostrou um número superior em todas as estações sendo a maior diferença no verão correspondente a 13 dias.

Através da análise dos sistemas que apresentaram diferenças no número e/ou no tempo de vida, observou-se que estas diferenças foram ligeiramente superiores para alguns casos formados na região equatorial em que foram vistos na AC e não identificados na IS. Supõe-se que, provavelmente, esse problema esteja associado aos dados de reanálises do NCEP/NCAR. Em outros casos, a AC não mostrou circulação fechada em

algum dia ou em nenhum dia do período de vida do sistema obtido pela IS, neste caso, o período de vida e/ou o número de VCAN foi ligeiramente inferior.

Por sua vez, o MO mostrou ligeiras defasagens entre as posições dos vórtices obtidas na maioria dos casos, porque o mesmo posicionou o sistema através do mínimo de vorticidade relativa e a AC pelo centro da circulação do sistema e nem sempre este centro coincidiu com o ponto de mínima vorticidade relativa. A avaliação anual do número de VCAN mostrou que o MO identificou apenas um VCAN a mais durante o período, já na análise do número anual de dias com vórtice, o MO subestimou 6 dias e superestimou 1 dia. A avaliação do número de VCAN por estação do ano mostra que este número obtido pelo MO foi satisfatório em todas as estações do ano, já que apresentaram o mesmo número de VCAN, exceto no inverno onde o MO identificou 1 caso a mais. Quanto à avaliação do número de dias com VCAN, o MO superestima este número no inverno, já nas demais estações do ano, ocorre subestimativa deste número, sendo a maior diferença mostrada no verão com 5 dias.

Após validação do MO, foram comparados o número mensal e anual de VCAN, assim como o número de dias com atuação destes sistemas entre as três análises (MO, AC e IS). Foi verificada uma homogeneidade no número anual de VCAN, apesar da AC e do MO tenderem a superestimar o número em no máximo seis casos com relação a IS, que foi considerada como verdade. Verificou-se que esta indicou um número ligeiramente inferior às demais análises em alguns meses, sendo mais freqüentes no quadrimestre JFMA, já em outros meses, como minoria, a AC e o MO subestimaram o número dos sistemas.

Na primeira situação acima, o MO e a AC identificaram sistemas no equador e proximidades que não existiram na IS ou esta não mostrou escoamento com rotação horária durante as animações, e portanto o número de VCAN foi superior. Nos casos em que o MO e a AC indicaram um número inferior, o sistema apresentou-se bem configurado na IS, porém na AC não foi observada a configuração fechada, já no MO alguma condição não foi satisfeita. Estas justificativas foram usadas nas discussões sobre o número de dias com atuação desses sistemas. Foi verificado que os métodos

avaliados (MO e a AC) identificaram mais satisfatoriamente o número de VCAN do que o número de dias com atuação destes sistemas.

Constatou-se que o MO apresentou bom desempenho em identificar os VCAN, principalmente o número destes. Desta forma uma climatologia desses sistemas foi feita para o período de 28 anos (1979 a 2006).

A variabilidade temporal (intrasazonal e interanual), ao longo do ano, do comportamento das principais características (número de ocorrência, período de vida, região de formação, intensidade e deslocamento) associadas aos sistemas foi investigada. O mecanismo de formação e o deslocamento foram estudados para casos selecionados da climatologia.

Foram identificados 886 vórtices ao longo da série climatológica. Destes, 667 perduraram de dois a quatro dias, correspondendo a 75,3% dos casos. Foi verificado que o número de ocorrência dos sistemas diminui à medida que o período de vida aumenta, em concordância com os estudos de Fuenzalida et al. (2005) para os ciclones subtropicais da América do Sul.

Sazonalmente, o verão é a estação que apresentou um número total de VCAN maior (KOUSKY E GAN, 1981; GAN, 1983; RAMIREZ, 1997) e o inverno um número menor. Nesta última estação somente foram observados VCAN sem nebulosidade associada (VCAN secos) e, não houve registro de VCAN que perduraram mais do que oito dias. A primavera e o outono mostraram aproximadamente o mesmo número total desses sistemas, sendo a média anual de 6,3 e 6,5 casos, respectivamente. Em média no verão se formaram 18 vórtices por ano e 0,8 no inverno. Estes valores foram superiores aos obtidos por Gan (1983) e Ramirez (1997), já que a região e o período aqui estudados são maiores, além dos mesmos não identificarem vórtices secos, os critérios e parte do conjunto de dados utilizados forem diferentes.

Em termos de variabilidade interanual, o maior número de VCAN (quatro casos) com período de vida maior ou igual a onze dias foi encontrado no verão de 1980. No inverno, observou-se formação de um a três VCAN por ano, sendo mais frequentes para

períodos de vida entre dois e quatro dias. Nesta estação, foi observado maior número (três casos) de VCAN nos anos de 1983, 1992 e 2001, já no verão (24 casos), o ano de 1988 foi o que apresentou maior número. Nas estações de primavera e outono foram identificados 14 e 12 casos, respectivamente, sendo que os maiores números de casos ocorreram nos anos de 1980 e 1982, respectivamente. A análise desses anos na página especial do CPTEC/INPE não mostrou clara relação entre o número de VCAN e os anos extremos da Oscilação Sul (El Niño e La Niña), corroborando com os estudos de Fuenzalida et al. (2005) para os ciclones subtropicais da América do Sul, e de Ramirez (1997).

A região preferencial de formação dos vórtices foi encontrada ao norte do Atlântico Tropical Sul que corresponde a um total de 186 casos. Em concordância aos estudos de Ramirez (1997) que observou formação de 85% dos sistemas identificados sobre a faixa tropical do Atlântico Sul.

A importância da instabilidade barotrópica como mecanismo de formação foi verificada para dois casos selecionados da climatologia que apresentaram período de vida e intensidade diferentes. O primeiro foi um caso intenso com período de vida de nove dias e o segundo com intensidade moderada que perdurou dois dias. Uma região de cisalhamento de \bar{u} foi vista ao longo do período de pré-vórtice nas regiões de formação dos mesmos, porém o gradiente meridional de \bar{u} aumentou durante este período de forma mais progressiva para o VCAN intenso e de forma ligeiramente aleatória para o VCAN moderado, ambos satisfizeram a condição necessária para ocorrência da instabilidade barotrópica, em concordância com os estudos de Mishra et al. (2007). Os perfis meridionais de $\bar{\eta}$ exibiram máximos e mínimos pronunciados no dia que antecedeu a formação dos sistemas, indicando mudança de sinal de $\frac{\partial \eta}{\partial y}$, portanto satisfazendo a condição necessária para haver instabilidade barotrópica.

Campos de \bar{u} foram gerados para o quadrimestre NDJF de dois períodos (1979-1994 e 1995-2006), em que o segundo período apresentou maior frequência de ocorrência de

vórtices intensos. Observou-se que nestes períodos, o \bar{u} equatorial mostrou condições (BARBOSA, 2006) para quebra de ondas de Rossby. No entanto, o segundo período (1995-2006) apresentou condições mais favoráveis à amplificação das ondas de Rossby e, conseqüentemente, maior possibilidades destas ondas se propagarem para latitudes tropicais e ocorrer quebra destas, já que \bar{u} nas regiões subtropicais apresentou maior intensidade do que no primeiro período. Desta forma, concordando com os estudos de Barbosa (2006), que os anos em que houve maior número de quebra de onda de Rossby, mostraram fortalecimento do ciclone em altos níveis da região do Atlântico Tropical Sul.

A série climatológica foi avaliada em termos de número de VCAN conforme intensidade dos mesmos, que mostrou número total de fracos, moderados e intensos correspondentes a 309, 338 e 239, respectivamente. Com base no teste estatístico de Mann-Kendall, verificou-se uma tendência crescente e significativa do número total de vórtices a partir de 2003, com contribuição do aumento de vórtices intensos.

Dos 14 períodos da climatologia avaliados com atuação de El Niño (9 períodos) e La Niña (5 períodos), verificou-se maior número de vórtices moderados em 5 períodos com El Niño e maior número de vórtices fracos em 3 períodos com La Niña.

Os diagramas de Hovmoller dos termos da equação da tendência de vorticidade relativa foram avaliados para um caso intenso. Foi verificada contribuição dos termos de AHVP e DH nos dois primeiros dias de atuação do sistema, sendo esta última mais significativa. Entre os dias 21 e 23, o termo de AHVR e de AHVP contribuíram para o deslocamento do VCAN para oeste, sendo este primeiro termo mais significativo, contrariando a princípio com a contribuição esperada para leste deste termo no deslocamento do sistema. Foi visto que u tornou-se negativa e mais intensa a partir do dia 20, o que favoreceu à contribuição do termo de AHVR na propagação do VCAN para oeste. Entre os dias 24 e 26, houve contribuição dos termos de AHVP e AHVR em pequena magnitude, o que não foi observado no diagrama da soma dos termos, porque o VCAN apresentou características de enfraquecimento e redução do deslocamento.

Conforme visto, o MO conseguiu reproduzir satisfatoriamente as principais características associadas aos vórtices que atuam na região Tropical Sul. Isto sugere aplicação do mesmo em centros operacionais de tempo como o CPTEC/INPE.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos futuros:

- Utilização do MO em outras fontes de dados que estejam em pontos de grade, como os dados de previsão numérica de tempo (PNT) do modelo Eta;
- Modificações no MO para ser aplicado no Hemisfério Norte;
- Automatizar o MO para identificar as trajetórias e a área de abrangência do VCAN;
- Aplicar o MO em todos os horários padrões para reproduzir o ciclo diurno das principais características do VCAN;
- Aplicação do MO em outros níveis da atmosfera para estudar a extensão vertical do VCAN

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. M. B. Um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o NEB e Atlântico adjacente no verão de 1999-2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 1, p. 115-122, 2001.
- ARAGÃO, J. O. **Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil**. (INPE-789-TPT/017). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1975.
- ASNANI, G.C. **Tropical Meteorology**. Indian Institute of Tropical Meteorology, v. 1-2, 1202 pp, 1993.
- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n.5, p. 717-726, maio de 2001.
- BARBOSA, T. F. **Intrusão de vortacidade potencial na alta troposfera sobre o Atlântico Tropical Sul e sua relação com a precipitação no NE do Brasil**. (INPE-14170-TDI/1087). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.
- BENGTSSON, L; KANAMITSU, M; KALLBERG, P; UPPALA, S. FGGE research activities at ECMWF. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, n. 3, p. 277-303, 1982.
- BEU, C. M. L.; AMBRIZZI, T. Variabilidade interanual e intrasazonal da frequência de ciclones no Hemisfério Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 21, n.1, p. 44-55, 2006.
- BONATTI, J. P; RAO, V. B, DIAS, P. L. S. On the westward propagation of Catarina storm. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE METEOROLOGIA E OCEANOGRAFIA NO HEMISFÉRIO SUL, 8., Foz do Iguaçu, 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2006.
- CAMPETELLA, C.; POSSIA, N. Upper-level cut-off lows in southern South America. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 96, n. 1-2, p. 181-191, April 2006.
- CARVALHO, A. M. G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América Sul**. (INPE – 4923-TDL/383). 121p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1989.
- CHAPMAN, S.J. **Fortran 90/95 for scientists and engineers**. Boston, Editora Mc Graw Hill, v. 1, p. 88-244, 1998.

COLTON, D. E. Barotropic scale interactions in the tropical upper troposphere during the northern Summer. **J. Atmos. Sci.**, v. 30, p. 287-1402, 1973.

DEAN, G. A. **The three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brazil.** São José dos Campos, INPE, 1971. (LAFE-164).

FRANK, N. L. The weather distribution with upper tropospheric cold lows in the tropics. U. S. Weather Bureau, Southern Region. **Technical memorandum**. n. 28, Oct. 1966.

FRANK, N. L. On the energetics of cold lows. Proceedings of the Symposium on Tropical Meteorology. **American Meteorological Society**, EIV 1 – EIV 6, June 1970.

FUENZALIDA, H.; SÁNCHEZ, R.; GARREAUD, R. A climatology of cutoff lows in the Southern Hemisphere. **J. Geophys. Res.**, v. 110, p. 1-10, Sept., 2005. (D18101 10.1029/2005JD005934).

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no Oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, n. 92.651, p. 19-28, Junho 1986.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico sul e leste do Brasil.** 80p. (INPE-2685-TDL/126). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1983.

GOOSSENS, C., BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Gophysicae**. Berlin, v. 4, n. B4, p. 385-400, 1986.

HORINOUCI, T., SASSI, F., BOVILLE, B. Synoptic-scale Rossby waves and geographic distribution of lateral transport routes between the tropics and the extratropics in the lower stratosphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. D21, p. 26579-26592, Nov. 2000.

HODGES, K. I. A general Method for tracking analysis and its application to meteorological data. **American Meteorological Society**, v. 122, p. 2573-2585, Nov. 1994.

HOLTON, HAYNES, J. P.; MCINTYRE, M., DOUGLAS, A.; RODD. L.; PFISTER, L. Stratosphere-troposphere exchange. **Rev. Geophys.**, v. 33, p. 403-439, Nov. 1995.

HOSKINS, B. J.; HODGES, K. I. A new perspective on Southern Hemisphere Storm Tracks. **American Meteorological Society**, v. 18, p. 4108-4129, May. 2005.

- KALNAY, E., M. KANAMITSU, ET AL. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.
- KENTARCHOS, A.; ROELOFS, G.; LELIEVED, J.; CUEVAS, E. On the origin of elevated ozone concentrations at Izana observatory during the last days of March 1996: A model study. **Gophys. Res. Lett**, v. 27, p. 3699-3702, 2000.
- KOUSKY, V. E.; GAN, M. L. Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, p. 538-551, Nov. 1981.
- KUO, H. L. Dynamic instability of two-dimensional non-divergent flow in a barotropic atmosphere. **J. of Meteorology**, v. 6, p. 105-122, 1949.
- LOURENÇO, M. C. M. **Vórtices ciclônicos em altos níveis que atuam no sul da América do Sul**. 1996. 77pp. (INPE-10462-TDI/929). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1996.
- 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. **Mon. Weather Rev.**, v. 129, p. 1673-1688, 2001.
- MISHRA S. K.; RAO, V. B. The energetics of an upper tropospheric cyclonic vortex over north-east Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Part A, v. 127(577), p. 2329-2351, 2001.
- MISHRA S. K.; RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H.; Genesis of the Northeast Brazil Upper-Tropospheric Cyclonic Vortex: A primitive equation Barotropic instability study. **American Meteorological Society**, p. 1-14, Jan. 2007.
- MURRAY, R. J.; SIMMONDS, I. A numerical sheme for tracking cyclone centers from digital data. Part I: development and operation of the scheme. **Aust. Meteor. Mag.**, v. 39, p. 155-156, 1991A.
- MURRAY, R. J.; SIMMONDS, I. A numerical sheme for tracking cyclone centers from digital data. Part II: application to January and July general circulation model simulations. **Aust. Meteor. Mag.**, v. 39, p. 167-180, 1991B.
- NIETO, R. GIMENO, L., DE LA TORRE, L., RIBERA, P., BARRIOPEDRO, D., HERRERA, R. G., SERRANO, A., GORDILHO, A., REDANO, A., LORENTE, J. Interannual variability of cut-off low systems over the European sector: The role of blocking and the Northern Hemisphere circulation modes. **Meteorol. Atmos. Phys.**, v. 96, p. 85-101, 2006.

PAIXÃO, E. B. **Caracterização do Vórtice ciclônico de ar superior no Nordeste do Brasil**. 103p. (USP108). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo - Instituto Nacional de Geofísica e Ciências Atmosféricas (USP-IAG), São Paulo, 1999.

PALMÉN, E. Origin and structure of high-level cyclones south of the maximum westerlies. **Tellus**, v. 1, p. 22-31, 1949.

PALMER, C. E. On High-level Cyclones Originating in the Tropics. **American Geophys. Union**, v. 32, n. 5, p. 683-695, Oct. 1951.

PALMÉN, E., NEWTON, C. W. **Atmospheric Circulation Systems**. New York. Academic press, 1969.

PALMÉN, E. H, RIEH, H., VUORELA, L. On the meridional circulation and release of kinetic energy in the tropics. **J. of Meteorology**; v. 15, n. 3; p. 271-277; June 1958.

RAMAGE, C. S. The tropical cyclone. **Journal of Geophysical Research**, v. 4, p. 1401-1411, Apr. 1962.

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil**. 1996. 132p. (INPE-6408-TDI/618). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997.

RAMIREZ, M. C. V; KAYANO, M. T.; FERREIRA, N. J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. (INPE-10582-PRE/604412). **Atmosfera**, v. 12, p. 75-88, Apr. 1999.

RAO, V. B.; BONATTI, J. P. On the origin of upper tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic Ocean and adjacent Brazil during the Summer. **Meteor. Atm. Phys.**, v. 37, n. 1, p. 11-16, Aug. 1987.

RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H.; BARBOSA, T. F. Impact of high potential vorticity intrusions into the tropical upper troposphere in South Atlantic on precipitation over Northeast Brazil. **Geophysical Research Letters**, v. 34, Jan. 2007. (10.1029/2006GL027873)

RICKS, E. L. On the structure and maintenance of high tropospheric cold-core cyclones of the tropics. **Unpublished master's thesis**. University of Chicago, p. 31, 1959.

SATYAMURTI, P.; M. E. SELUCHI. Characteristics and structure of an upper air cold vortex in the subtropics of South America. **Meteorology and Atmospheric Physics**, Dec. 2007.

SILVA, L. **A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do Nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas.** 109p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.

SILVA DIAS, P.L.; SCHUBERT, W.H.; DE MARIA, M. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. **J. Atmo. Sci.**, v. 40, n. 11, p. 2689- 2707, Nov. 1983.

SIMMONDS, I., MURRAY, R. J. Southern extratropical cyclone behavior in ECMWF analyses during the FROST special observing periods, **Weather Forecasting**, v. 14, p. 878-891, 1999.

SIMPSON, R. H. Evolution of the Kona Storm, a subtropical cyclone. **Journal of Meteorology**. v. 9, p. 24-35, Oct. 1951.

SINCLAIR, M. R. An objective cyclone climatology for the Southern Hemisphere. **Mon. Wea. Rev.**, v. 122, p. 2239-2256, 1994.

SINGLETON, A. T; REASON, C. J. C. Variability in the characteristics of cut-off lows pressure systems over subtropical southern Africa. **International Journal of Climatology**. v. 27, p. 295-310, Sept. 2007.

SMITH, W. L; SHEN, W. C.; HOWELL, H. B. A radiative heating model derived from the GATE MSR experiment. **J. Appl. Meteorol.**, v. 16, p. 384-392, 1977.

VIRJI, H. A preliminary study of the summer time tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, v. 109, p. 99-610; Mar. 1981.

WAUGH, D. W., POLVANI, L. M. Climatology of intrusions into the tropical upper troposphere. **Geophysical Research. Letter**, v. 27, n. 23, p. 3857-3860, Dec. 2000.

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)