



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/03.06.14.51-TDI

**ACURÁCIA DO MODELO REGIONAL ETA UTILIZADO
NO CPTEC/INPE EM DETECTAR OS VÓRTICES
CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVEIS ATUANTES NO
NORDESTE DO BRASIL**

Lais Alves Santos

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Meteorologia, orientada pelo Dr.
Manoel Alonso Gan, aprovada em
24 de março de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J4KSC2>>

INPE
São José dos Campos
2015

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) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

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

Membros:

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

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

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

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/03.06.14.51-TDI

**ACURÁCIA DO MODELO REGIONAL ETA UTILIZADO
NO CPTEC/INPE EM DETECTAR OS VÓRTICES
CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVEIS ATUANTES NO
NORDESTE DO BRASIL**

Lais Alves Santos

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Meteorologia, orientada pelo Dr.
Manoel Alonso Gan, aprovada em
24 de março de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J4KSC2>>

INPE
São José dos Campos
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Santos, Lais Alves.

Sa59a Acurácia do modelo regional ETA utilizado no CPTEC/INPE em detectar os vórtices ciclônicos de altos níveis atuantes no nordeste do Brasil / Lais Alves Santos. – São José dos Campos : INPE, 2015.

xxvi + 73 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/03.06.14.51-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientador : Dr. Manoel Alonso Gan.

1. VCAN. 2. NEB. 3. Previsão. I.Título.

CDU 551.51:551.511.61

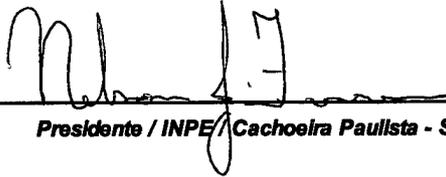


Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

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

Dr. Nelson Jesuz Ferreira



Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Manoel Alonso Gan



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dra. Natália Fedorova



Convidado(a) / UFAL / Maceló - AL

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Título: "ACURÁCIA DO MODELO REGIONAL ETA UTILIZADO NO CPTEC/INPE EM DETECTAR OS VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVEIS ATUANTES NO NORDESTE DO BRASIL".

Aluno (a): **Laís Alves Santos**

São José dos Campos, 24 de Março de 2015

“Eu já sei caminhar em tantas nuvens e posso visitar de vez em quando o chão”
China

*Aos amigos e familiares que, mesmo distantes,
apoiaram-me de forma imprescindível,
DEDICO*

AGRADECIMENTOS

A meus pais, Ednaldo e Joseane, por todo amor e carinho ofertados hoje e sempre.

Ao meu Orientador e Professor Dr. Manoel Alonso Gan pela paciência e dedicação cedidas durante esta etapa da minha vida. Obrigada!

Aos colegas de INPE Julliana Larise, Guilherme Martins, Rildo Moura, Carlos Frederico, Enver Ramirez, Luis Marton, Carlos Cesar, Sergio Henrique, Bruno Zanetti e, em especial, agradeço a Michelyne Coutinho por ter me recebido tantas vezes em sua sala e me ajudado a compreender o Método desenvolvido por ela.

À Família Ferreira e, em especial, ao Thales, por terem se tornado minha família nesses tempos longe de mainha e painho: sem vocês ninguém 'seguraria esse rojão'!!!!

Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), pela infraestrutura oferecida.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos ofertada durante o curso de mestrado.

RESUMO

Este estudo verificou se o modelo regional ETA 20Km, usado no CPTEC/INPE, é capaz de prever o tempo de vida, posicionamento, profundidade, deslocamento e a intensidade dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) atuantes no Nordeste do Brasil (NEB). O método objetivo proposto por Coutinho em 2008 foi empregado para identificar os VCANS das análises e das previsões de até 72h do modelo ETA 20Km. Porém, modificações foram feitas no Método a fim de que este pudesse identificar todos os VCANS das saídas do Modelo, já que a resolução horizontal dos dados deste estudo é diferente da dos dados para qual o Método foi proposto originalmente. O estudo foi realizado com enfoque no NEB na área delimitada pelas coordenadas 2°N – 25,8°S de latitude e 60°W – 25,8°W de longitude, para o período entre janeiro de 2008 e dezembro de 2011. Os resultados mostraram que o modelo regional Eta 20 km subestima o tempo de vida dos VCANS, nas previsões de até 72h, ao atrasar sua formação e adiantar sua dissipação. Além de subestimar o número de episódios de VCANS ocorridos no período de tempo analisado. O modelo consegue acompanhar o deslocamento do sistema, porém, os posiciona com um máximo de 10° de defasagem latitudinal e/ou longitudinal entre as previsões e as análises. O ETA tende a posicionar os VCANS a nordeste da posição analisada nas previsões de 24 e de 48h, enquanto que não existe tendência de posicionamento para as previsões de 72h. Ao contrário, o ETA aparenta dispersar os VCANS, de forma homogênea, em torno da posição analisada. O modelo ETA 20Km subestima a intensidade dos VCANS, nos três tempos de integração com uma subestimativa maior para as previsões de 48h. O modelo mostrou ter um bom desempenho no quesito da profundidade dos VCANS, ao distinguir os episódios mais rasos dos mais profundos. A partir das análises do modelo observou-se que os VCANS apresentaram uma máxima inclinação de 6° (longitude ou latitude) do seu posicionamento central num nível superior com relação ao seu posicionamento num nível inferior, além de apresentarem topo com uma maior frequência no nível de 200hPa.

ACCURACY OF THE ETA MODEL USED AT CPTEC / INPE TO DETECT THE UPPER LEVEL CYCLONIC VORTEX ACTING IN NORTHEAST BRAZIL

ABSTRACT

This study verified whether the ETA 20Km regional model, used at CPTEC/INPE, is able to predict the lifetime, position, depth, displacement and the intensity of the Upper Level Cyclonic Vortex (ULCV) occurring at Northeast Brazil (NEB). The objective method proposed by Coutinho in 2008 was applied to identify the ULCV in the analysis and in the model forecasts up to 72h. However, modifications were made in the method so that it could identify ULCVs in all model outputs because the horizontal resolution of this study data is different from the one to which the method was initially proposed. The study was conducted focusing on the NEB region in the area bounded at 2°N – 25,8°S latitude and 60°W – 25,8°W longitude and for the period from January 2008 to December 2011. The results showed that ETA 20Km underestimates the lifetime of ULCV by delaying its formations and anticipating their dissipation in the forecasts up to 72h. The number of ULCVs events was also underestimated for the three considered time forecasts. The model predicted the ULCV track, but within a maximum of 10° latitudinal and/or longitudinal shifting. The ETA model tends to position the ULCVs to northeast of the 24 and 48h analyzed forecasts, while no positioning trend in the 72h forecasts is seen. Instead, ETA seems to disperse ULCVs homogeneously around the analyzed position. The ETA 20Km model underestimates the ULCV intensities, for the three integration times, with greatest underestimation for 48 hours forecast. The ETA 20Km model has shown a good performance in predicting ULCVs depth, distinguishing between the shallower and deeper episodes. From the model analysis it is seen that the ULCVs had a maximum vertical inclination of 6° (longitude or latitude) of its central location at a higher level with respect to its position at a lower level, besides having a top height occurring with higher frequency at 200 hPa level.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Esquematização do movimento vertical no VCAN.....	4
Figura 2.2 - Ilustração da formação do VCAN no NEB.	6
Figura 3.1 - Ilustração do domínio do ETA 20Km com destaque para a vizinhança do NEB.....	16
Figura 3.2 - Esquematização da Etapa II. O ponto em vermelho é representativo do.....	19
ponto de grade que está sendo analisado e os pontos em preto, os que	19
que estão sendo comparados.	19
Figura 3.3 - Esquematização da circulação presente num (a) VCAN e num (b) CAN. Com destaque, em azul, para o posicionamento dos quadrantes I, II, III e IV.....	20
Figura 3.4 – Esquematização de dois pontos de mínimo com proximidade suficiente para pertencerem a uma mesma circulação. (a) VCAN considerado como analisado (b) VCAN considerado como comparado. Os pontos em vermelho representam o centro dos VCANs.	22
Figura 3.5 – Esquematização de quando dois pontos de mínimo podem pertencer a uma mesma circulação. Ao menos um ponto de grade do Vórtice Analisado deve coincidir com um ponto de grade do Vórtice Comparado.	22
Figura 3.6 – Esquematização de quando dois pontos de mínimo não pertencem a uma mesma circulação. Não existem pontos de grade coincidentes entre o Vórtice Analisado e o Comparado.....	23
Figura 3.7 - Fluxograma do método objetivo que auxilia na determinação do posicionamento e da intensidade do VCAN.	24
Figura 3.8 - Exemplo de VCAN que antes da adaptação não era contabilizado.	25
Figura 3.9 - Exemplo de um gráfico Boxplot.....	28

Figura 4.1 - Defasagem dos centros dos VCANs nas análises com relação à previsão de 24h. Pontos em laranja: 2008; azul: 2009; cinza: 2010; vermelho: 2011.	34
Figura 4.2 - Defasagem dos centros dos VCANs nas análises com relação à previsão de 48h. Pontos em laranja: 2008; azul: 2009; cinza: 2010; vermelho: 2011.	35
Figura 4.3 - Defasagem dos centros dos VCANs nas análises com relação à previsão de 72h. Pontos em laranja: 2008; azul: 2009; cinza: 2010; vermelho: 2011.	36
Figura 4.4 - Representação do deslocamento do VCAN. Os números, em ordem crescente, simulam os dias de existência do sistema e as cores representam as análises e as previsões, sendo: Verde a Análise, azul a Previsão de 24h, amarelo a de 48h e vermelho a de 72h.	39
Figura 4.5 - Representação do deslocamento do VCAN. Os números, em ordem crescente, simulam os dias de existência do sistema e as cores representam as análises e as previsões, sendo: Verde a Análise, azul a Previsão de 24h, amarelo a de 48h e vermelho a de 72h.	40
Figura 4.6 - Representação do deslocamento do VCAN. Os números, em ordem crescente, simulam os dias de existência do sistema e as cores representam as análises e as previsões, sendo: Verde a Análise, azul a Previsão de 24h, amarelo a de 48h e vermelho a de 72h.	41
Figura 4.7 - Representação do deslocamento do VCAN. Os números, em ordem crescente, simulam os dias de existência do sistema e as cores representam as análises e as previsões, sendo: Verde a Análise, azul a Previsão de 24h, amarelo a de 48h e vermelho a de 72h.	42
Figura 4.8 - Box-plot da intensidade dos VCANs pelo modelo ETA 20Km.	43
Figura 4.9 - Distribuição dos VCANs analisados e previstos com relação a sua Profundidade (níveis em hPa) e ao dia de sua formação. Linhas em marrom: análise; azul: previsão de 24h; laranja: previsão de 48h; vermelho: previsão de 72h.	46
Figura 4.10 - Distribuição dos VCANs analisados e previstos com relação a sua	

Profundidade (níveis em hPa) e ao dia de sua intensidade máxima(s^{-1}) Linhas em marrom: análise; azul: previsão de 24h; laranja: previsão de 48h; vermelho: previsão de 72h..... 47

Figura 4.11 - Distribuição dos VCANs analisados e previstos com relação a sua Profundidade (níveis em hPa) e ao dia de sua dissipação. Linhas em marrom: análise; azul: previsão de 24h; laranja: previsão de 48h; vermelho: previsão de 72h. 48

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Simplificação em forma de tabela de algumas climatologias feitas com base no VCAN.	9
Tabela 3.1 - Sequência, das componentes horizontais do vento, obrigatória ao redor do ponto de mínima vorticidade.	21
Tabela 4.1 - VCANs identificados no período de 2008 a 2011 usando o modelo ETA 20Km, para os trimestres DJF, MAM, JJA e SON	30
Tabela 4.2: Relação da quantidade de VCANs com topo nos níveis de 200, 250 e 300 hPa nas datas de formação, Intensidade Máxima (s^{-1}) e dissipação.....	30
Tabela 4.3 - Tabela de contingência representativa das porcentagens de erros e acertos do modelo Eta20km referente aos estágios de formação, dissipação e ao tempo de vida dos VCANs.	32
Tabela 4.4 - Valores para latitude e longitude do centro dos VCANs do Viés (V) e da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) para as previsões de 24, 48 e 72h. Modelo: ETA 20Km.	37
Tabela 4.5 - Valores representativos do Viés e da Raiz do erro quadrático médio (REQM) do quesito intensidade para as previsões de 24, 48 e 72h Modelo: Eta 20 km.	44
Tabela 4.6 - Quantidade de VCANs com Formação nas profundidades relacionadas.....	46
Tabela 4.7 - Quantidade de VCANs com Intensidade Máxima (s^{-1}) nas profundidades relacionadas.....	47
Tabela 4.8 - Quantidade de VCANs com Dissipação nas profundidades relacionadas.....	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
AMJ	Abril-Maio-Junho
CAN	Cavado do Nordeste
CAS	Cavado do Atlântico Sul
COLA	Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies
CP	Correlação do Coeficiente de Pearson
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
E	East (Leste)
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ENOS	El Niño – Oscilação Sul
EOF	Empirical Orthogonal Function
GFS	Global Forecast System
GrADS	Grid Analysis and Display System
HN	Hemisfério Norte
hPa	Hectopascal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAS	Julho-Agosto-Setembro
JFM	Janeiro-Fevereiro-Março
Km	Quilômetros
MCGA	Modelo de Circulação Geral Atmosférica
N	Norte
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers of Environmental Prediction
NEB	Nordeste do Brasil
NMC	NCEP “formalmente”
OND	Outubro-Novembro-Dezembro
PNT	Previsão Numérica de Tempo
PVA	Pontos do Núcleo Analisado
PVE	Pontos do Núcleo Comparado
REQM	Raiz do Erro Quadrático Médio

S	Sul
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ULCV	Upper Level Cyclonic Vortex
UTC	Universal Time Coordinated
V	Viés ou Bias
VA	VCAN Analisado
VE	VCAN Comparado
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
W	West (Oeste)
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

β	Termo beta
dx	Distância Existente Entre Dois Pontos de Grade na Direção X
dy	Distância Existente Entre Dois Pontos de Grade na Direção Y
i	Posição do Ponto de Grade na Direção X
j	Posição do Ponto de Grade na Direção Y
m	Passo de Tempo de Cada Grade
N	Número de episódios previstos e observados
O_i	Valor observado no episódio de VCAN
\bar{O}	Média dos valores observados
\bar{P}	Média dos valores previstos
P_i	Valor previsto do episódio de VCAN
u	Componente Zonal do Vento
v	Componente Meridional do Vento
ξ	Vorticidade Relativa
%	Porcentagem
Q1	Primeiro Quartil
Q3	Terceiro Quartil

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Cronologia	4
2.1.1 Gênese, climatologia e precipitação	5
2.1.2 Tempo de vida.....	11
2.2 ENOS	11
2.3 Rastreamento.....	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 Dados	15
3.2 Modelo.....	16
3.3 Metodologia	17
3.4 Determinação do deslocamento e da profundidade	26
3.5 Avaliação através da estatística	27
3.5.1 BOX-PLOT	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Tempo de vida.....	31
4.2 Posicionamento.....	32
4.3 Deslocamento	37
4.4 Intensidade.....	42
4.5 Profundidade	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE A – REGISTRO DOS VCANs PELO MODELO REGIONAL ETA 20 KM (2008 – 2011)	59

1 INTRODUÇÃO

Nos altos níveis da região Nordeste do Brasil (NEB) atua um sistema atmosférico que é capaz de provocar chuvas sobre determinadas localidades, ao passo que, em outras e em um mesmo período de tempo, inibe a precipitação. Tal sistema, denominado Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), possui atuação em maior frequência nos meses de verão, principalmente em janeiro (KOUSKY; GAN, 1981; GAN; KOUSKY, 1986). Ele tem sido estudado desde a década de 70, quando o primeiro estudo a indicar a existência de vorticidade ciclônica no NEB foi realizado por Dean (1971).

Dean (1971) elaborou um atlas apresentando a evolução temporal das médias mensais existentes nos campos de temperatura e de vento. Com o período centralizado em fevereiro, ele relatou, ao nível de 300 hPa, a intensificação de uma célula anticiclônica sobre a Bolívia, enquanto que uma circulação ciclônica fechada, associada a temperaturas frias, atuava sobre o NEB, tanto nesse nível quanto em 200 hPa. Desde então, diversos pesquisadores se dedicaram ao tema, incrementando e aprofundando o conhecimento da comunidade meteorológica acerca dos VCANs que atuam na região supracitada.

Dez anos depois, Kousky e Gan apresentaram um mecanismo de formação para VCAN baseados no padrão observado através de imagens de satélites. Tal formação, intitulada de “Clássica” por Paixão e Gandu (2000), envolvia interações entre a Alta da Bolívia (AB), incursões de frentes frias e o Cavado do Nordeste (CAN). Porém, a formação de um VCAN não se restringe apenas à Clássica. Paixão e Gandu (2000) expuseram em seus estudos mais três tipos de formação: Alta, Africana I e Africana II, sendo que a primeira concordava com a formação proposta por Ramirez et al. (1999).

O VCAN é um sistema que possui uma circulação térmica direta, com ar quente ascendendo na periferia e ar frio subsidindo no centro (KOUSKY; GAN, 1981). Portanto, prever com o máximo de certeza a posição e a intensidade do VCAN é intuir com certa precisão as localidades onde existirá ocorrência de

chuva e de estiagem. Tal precisão é o tipo de informação considerada de grande importância, pois a população que está sujeita as alterações de tempo causadas pelo VCAN, em áreas urbanas e/ou rurais, sentirão tanto o excesso de chuva, quanto a falta dela, sofrendo impactos, como inundações, enxurradas ou escassez de água.

Com isso em mente, é interessante que as previsões de tempo estejam corretas em relação à intensidade, ao posicionamento e a possível trajetória de um VCAN, significando um preparo e antecipação à altura por parte da comunidade na tentativa de amenizar tais impactos em suas vidas. Para avaliar se os modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT) são capazes de atender a esse tipo de expectativa, no tocante a capacidade de detectar e prognosticar com precisão, é importante utilizar um método objetivo que consiga identificar o tempo de vida, a intensidade, a profundidade e o deslocamento dos VCANs no NEB.

Logo, o objetivo desta dissertação foi o de avaliar a acurácia do modelo regional de PNT ETA em operação no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), em prever o tempo de vida dos VCANs no NEB. Para tanto a identificação dos VCANs nos dados do modelo foi realizada através do uso do Método Objetivo desenvolvido por Coutinho (2008), o qual se baseia em identificar um mínimo de vorticidade relativa nas saídas do modelo dos campos de vento observados.

Para concretizar o objetivo principal, o modelo foi avaliado nos seguintes termos:

- 1- datas de formação e de dissipação dos VCANs;
- 2- trajetória dos VCANs;
- 3- intensidade da vorticidade relativa desses sistemas;
- 4- profundidade dos VCANs.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil atuam dois tipos distintos de VCAN. Eles diferem quanto às regiões de atuação e no mecanismo de formação. Receberam, por Frank (1970), tipologia de acordo com os pesquisadores que os estudaram primariamente: Palmén e Palmer. De acordo com Gan (1982), os VCANS do tipo Palmén atuam nas Regiões Sul e Sudeste (subtrópicos) e os do tipo Palmer, no NEB e oceano Atlântico adjacente (trópicos).

Apesar da distinção no tocante a área de atuação e formação, apresentam características básicas em comum: são sistemas de escala sinótica posicionados na alta troposfera, com circulação fechada e que apresentam núcleo mais frio do que sua periferia (GAN, 1982; GAN; KOUSKY, 1986). Outro aspecto em comum seria o de tipificar os VCANS em seco e úmido, características dadas por Ricks (1959) e Gan (1982) em que, os secos seriam os Vórtices cujo centro mais frio está envolto por uma região mais úmida, porém sem nuvens e os úmidos, aqueles com algum tipo de nebulosidade associada na sua periferia. Essa nebulosidade está de acordo com o movimento vertical que existe no sistema: nebulosidade observada na periferia, onde existe movimento ascendente, e menos evidenciada no centro do sistema, área na qual movimento subsidente é predominante. Kousky e Gan (1981) elaboraram uma esquematização do movimento vertical existente no VCAN como pode ser visualizada na Figura 2.1. Este tipo de circulação é dito termodinamicamente direta por apresentar ar quente ascendendo e ar frio subsidindo.

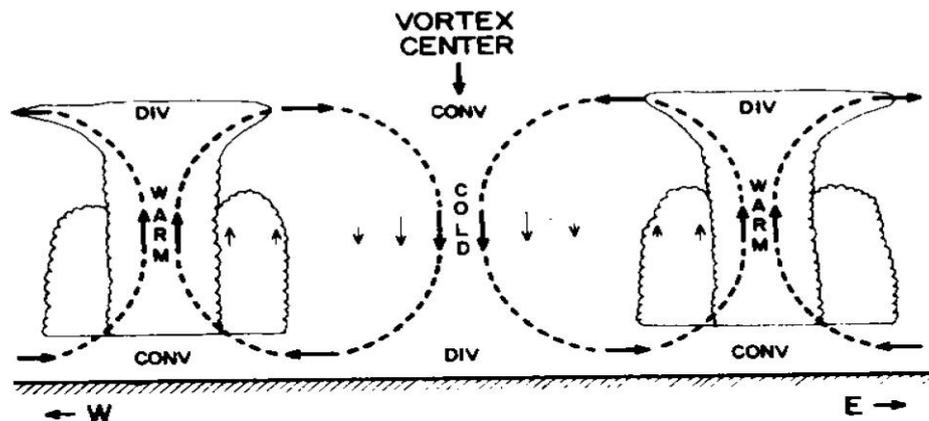


Figura 2.1 - Esquemática do movimento vertical no VCAN.
 Fonte: Kousky e Gan (1981)

Como o objeto deste estudo é o VCAN atuante no NEB, as atenções a partir daqui, neste capítulo, estarão voltadas para aquele que foi dado como sendo do tipo Palmer. Abaixo segue uma cronologia abordando as publicações que enfocam tal tipo de VCAN, desde os primeiros estudos que eram voltados para o Hemisfério Norte (HN) até aqueles concentrados apenas no Brasil.

2.1 Cronologia

Palmer (1951) elaborou um estudo sobre dois casos nos quais circulações ciclônicas originaram-se na alta troposfera e permaneceram estacionários ao longo de duas semanas. Através desses casos, foram observadas características peculiares aos VCANS “de origem tropical”, tais como: longo período de vida; surgimento nos altos níveis e, em seguida, estenderem-se na maioria dos casos até um mínimo de 500 hPa; deslocamento horizontal irregular e a capacidade de permanecerem estacionários por longos períodos. Com esse estudo, Palmer foi crucial em fazer compreender que os vórtices ciclônicos atuantes nos subtrópicos e estudados por Palmén (1949) eram distintos daqueles influentes nos trópicos, principalmente em origem.

Incrementando as características com relação à extensão vertical do vórtice impostas por Palmer, Frank (1966) a relacionou, diretamente, com o tempo predominante: os sistemas que ficavam confinados na alta troposfera (base acima de 500 hPa) não apresentavam nebulosidade significativa, ao contrário dos que se estendiam em direção à superfície e que, no estudo, chegaram a registrar o dobro da precipitação dos primeiros. Aragão (1975) dividiu casos em episódios de chuva intensa (período perturbado) e episódio com ausência de chuva (período não perturbado) no NEB, assim pode verificar que a invasão de padrões ciclônicos, entre os níveis de 700 e 300 hPa, estavam associados com os episódios de chuva. Essa associação sugere a presença de movimento vertical ascendente na troposfera e eventual formação de nebulosidade.

Todos esses resultados trouxeram à tona uma íntima relação entre a extensão vertical, a nebulosidade e a precipitação do sistema VCAN. A esta foi acrescentada mais um item: o deslocamento horizontal. Por exemplo, nebulosidade foi observada por Kousky e Gan (1981) com maior ênfase na direção do movimento do VCAN. À medida que um vórtice avança sobre o continente, o centro-sul do NEB fica sob a influência do movimento descendente enquanto que, a porção norte do NEB, fica sob intensa atividade convectiva. Ramirez (1996) observou que a maioria dos VCANs apresentava cumulonimbos bem pronunciados a noroeste do ciclone. Mais recentemente, num estudo sobre trovoadas no estado de Alagoas, Brito et al. (2011) constataram que 67% das trovoadas estavam relacionadas com a atuação de VCAN e estavam posicionadas a noroeste e sudoeste do centro do ciclone.

2.1.1 Gênese, climatologia e precipitação

Neste tópico serão apresentadas formações primárias e secundárias dos VCANs, além de uma revisão das climatologias já feitas sobre esse sistema que atua nos trópicos e a sua influência na precipitação da região NEB.

Para a formação do VCAN sobre o NE e o oceano Atlântico, Kousky e Gan (1981) propuseram um mecanismo, no qual o avanço de uma frente fria em

superfície na direção das baixas latitudes, advecta ar quente e úmido da região Amazônica, contribuindo para a amplificação de uma crista existente em altos níveis corrente abaixo da AB. Esta amplificação dar-se-ia através do aquecimento da camada troposférica devido à liberação de calor latente, em grande quantidade, associada à convecção que se forma ao longo da zona frontal. Por consequência e pela conservação da vorticidade absoluta entre a crista e o cavado corrente abaixo, ocorre a intensificação deste cavado e, portanto, a formação do vórtice. A Figura 2.2 retrata as etapas desta formação de VCANs que atuam na vizinhança do NEB.

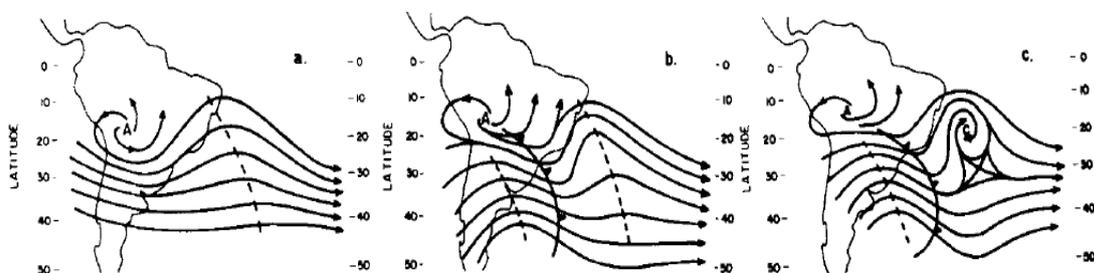


Figura 2.2 - Ilustração da formação do VCAN no NEB.
 Fonte: Kousky e Gan (1981).

Além desse mecanismo de formação, classificado como Clássica por Paixão e Gandu (2000), foram identificados mais quatro tipos por esses mesmos autores:

- 1- **Formação Alta:** A intensificação da convecção na região da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) através da liberação de calor latente forçaria o surgimento da Alta do Atlântico Sul de Ar Superior (ATSAS) que, por sua vez, formaria um cavado a norte/noroeste. O fechamento desse cavado resultaria no VCAN. Este tipo de formação concorda com o apresentado Ramirez et al. (1999);
- 2- **Formação Africana I:** este tipo de gênese está ligado à convecção sobre o continente africano que ao intensificar faz surgir um par de anticlones sobre a África e em altos níveis, que induzem o

aprofundamento do cavado a oeste dos mesmos e que, por consequência, desenvolve-se em um VCAN.

3- **Formação Africana II:** Um cavado eventualmente desprendido do escoamento da região sudoeste do Saara, ganha força e movimento para oeste atuando sobre o setor leste do NEB.

4- **Formação Mista:** Envolve dois dos tipos de formação explorados acima, no qual uma predominaria sobre a outra.

Dos treze casos estudados por Paixão e Gandú (2000) entre novembro/95 e fevereiro/96, cinco estiveram associados com a formação do tipo Clássica, os outros casos foram distribuídos uniformemente nas outras quatro categorias de formação. Sendo constatada que a formação do tipo Clássica é, realmente, a mais frequente. Resultado semelhante foi encontrado em Ramirez et al. (1999), onde de todos os 80 casos estudados, 57% também tiveram origem através do tipo clássico.

Outros mecanismos foram sugeridos por Rao e Bonatti (1987) envolvendo liberação de calor latente de condensação e a variação diurna da AB. Já a existência de uma fonte de calor latente na região da ZCAS é sugerida por Figueroa (1997) como influente na formação do VCAN, além da contribuição por parte das convecções associadas à ZCIT e a África que auxiliam na intensificação do sistema. Os resultados de Figueroa utilizando o modelo MCGA e o regional ETA sugeriram que quando a convecção na ZCIT está intensa, o VCAN se forma mais ao sul do que quando a ZCIT está inativa ou fraca.

A instabilidade barotrópica do escoamento é proposto por Mishra et al. (2001) como possível mecanismo de formação do VCAN. Essa sugestão teve como base um estudo realizado no período pré-vórtice de um VCAN que se configurou no NEB em janeiro de 1993. Neste período, ao longo da região do Cavado do Atlântico Sul (CAS), atuou uma intensa área positiva de cisalhamento horizontal do vento que, segundo os autores, favoreceu a condição necessária para a existência da instabilidade barotrópica mencionada

acima. Para Mishra e colaboradores, essa área, encontrava-se associada à intensificação da AB com a crista corrente abaixo se estendendo para leste, a intensificação do CAS com orientação leste-oeste e a presença de um cavado transiente sobre o Atlântico equatorial. Mais recentemente, Mishra et al. (2007) investigaram a gênese de dois VCANs distintos que ocorreram no NEB através de seus períodos pré-vórtice. Nesta investigação foram observadas progressivas e acentuadas intensificações do cisalhamento horizontal do vento, consolidando no que já havia sido concluído em Mishra et al. (2001) no papel da dinâmica barotrópica para o desenvolvimento dos VCANs.

Além desses mecanismos de formação comentados acima, foi encontrado por Kayano et al. (1997), através da aplicação de EOFs no campo diário de vorticidade relativa em 200 hPa, um padrão de onda que pode ter um papel secundário na formação dos VCANs. Este padrão que correlaciona a vorticidade na AB e a vorticidade nos demais pontos de grade cobrindo a América do Sul e oceanos adjacentes, está caracterizado da seguinte forma: correlação negativa com vorticidade ciclônica no setor do Atlântico adjacente ao NEB, correlação positiva com amplificação anômala de crista no leste do Brasil e, por fim, correlação negativa com a incursão de cavados de médias latitudes, para o equador, em altos níveis. Este padrão de onda condiz com mecanismos de formação do Vórtice sugerido em trabalhos anteriores (KOUSKY; GAN, 1981; GAN, 1982). Ainda em Kayano et al. (1997) pode ser visto outro tipo de padrão de onda relacionado com a formação do Vórtice: existência de correlação negativa na posição climatológica da AB e correlação positiva sobre o setor norte do Peru e Equador e ao largo da costa Peruana e Chilena.

O período preferencial de formação dos VCANs é um item sempre presente nas climatologias do sistema. Nelas o verão é apontado como a estação do ano com maior ocorrência de formação no NEB e oceano adjacente. As climatologias também apontam janeiro como o mês com maior atuação deste sistema (KOUSKY e GAN, 1981; GAN, 1982; RAMIREZ, 1996; COUTINHO,

2008; COSTA, 2009). Tal afirmação ganha explicações no fato de que durante o verão, devido ao aquecimento diurno, o padrão troposférico apresenta uma configuração mais meridional com intenso sistema anticiclônico (AB) atuando sobre boa parte da América do Sul e um cavado sobre o NEB (VIRJI, 1981; GAN, 1982; GAN; KOUSKY, 1986). Apesar da preferência de formação no verão e não muitos indícios de atuação nos meses de inverno, no estudo realizado por Coutinho (2008) que envolvia imagens de satélite no canal do vapor d'água e dados de Reanálise do NCEP/NCAR foi possível observar vórtices que se formaram dentro do período do inverno austral, resultado que diferiu daqueles obtidos por Gan (1982) que não observou nenhuma atuação nesse período, devido este autor ter utilizado imagens de satélites no canal infravermelho.

A Tabela 2.1 simplifica e evidencia trabalhos que abordaram climatologias sobre esse sistema, o período compreendido de cada estudo, a frequência e o mês de maior atuação.

Tabela 2.1 - Simplificação em forma de tabela de algumas climatologias feitas com base no VCAN.

Autores	Período	Fonte de Dados	Maior Frequência/ Nº de Vórtices
Kousky e Gan (1981)	1975 – 1979	NOAA/INPE/NCM	jan/15
Gan (1982)	Set./1974– ago/1981	NOAA/INPE/NCM	jan/53
Ramírez (1996); Ramírez et al. (1999)	1980-1989	ECMWF	jan/80
Calbete (1996)	1987-1995	NCEP	jan/55
Ramírez et al. (2002)	1997-2002	ETA-CPTEC	jan/24
Silva (2005)	1994-2001	NCEP-NCAR	Janeiro/não disponível
Coutinho (2008)	1979-2006	NCEP- NCAR/INPE/NOAA	DJF/348

Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2009)

Mesmo o VCAN sendo considerado o principal sistema sinótico atuante na pré-estação chuvosa no NEB (KOUSKY; GAN, 1981; BLANCO et al., 1996; PAIXÃO; GANDU, 2000), não necessariamente existirá chuva associada, já que devido ao seu movimento vertical, o sistema também é inibidor no que diz respeito à precipitação. Damião et al. (2000), analisando as características atmosféricas de anos que apresentaram anomalias de chuva em janeiro, verificou que nas situações de janeiro seco a AB encontrava-se ao sul de 20°S (posição ao sul da analisada nos anos com janeiros chuvosos) e o VCAN atuava na costa do Nordeste (NE). Sendo assim, o movimento vertical subsidente localizado no setor central do Vórtice, está associado com o “déficit” de chuva do caso seco. Para os casos de janeiro chuvoso, o VCAN estava posicionado sobre o oceano, fazendo com que o movimento ascendente ligado ao sistema estivesse atuando sobre o NEB, provocando as anomalias positivas de precipitação para os anos com janeiro chuvoso. Damião et al. (2000) ainda incrementaram seu estudo analisando o campo de vortacidade ciclônica, eles mostraram que existe uma tendência de deslocamento desta, a partir de outubro, iniciando no NEB e se movimentando em direção ao oceano Atlântico nos anos de janeiro chuvoso e, no sentido oposto, nos anos de janeiro seco. Outro aspecto importante constatado por Damião et al. (2000) foi o de que quando o VCAN se desloca em direção a uma determinada região, a frequência de chuvas de moderada a forte aumenta quando ele está posicionado a uma distância com intervalo entre 1000 e 2000 km de uma área-alvo.

Em estudo, Silva (2005) verificou que a região preferencial de formação e, também, de permanência dos VCANs estende-se desde a costa leste do NEB até o oceano Atlântico adjacente. Observou que as áreas mais afetadas pela subsidência inerente à circulação do VCAN seria o centro do estado da Bahia e a região semiárida do NEB.

2.1.2 Tempo de vida

O tempo de vida de um VCAN varia consideravelmente de um caso para outro, uns durando apenas algumas horas e outros durando mais do que duas semanas (GAN, 1982).

De acordo com algumas climatologias produzidas a respeito dos VCANs é possível observar que os autores divergem a respeito do tempo de vida médio desse sistema. Por exemplo, Ramirez (1996) aponta como sendo de 7,1 dias e o verão como a estação do ano na qual eles duram mais (10,2 dias), enquanto que Coutinho (2008) observou na sua climatologia de 28 anos (1979-2006) que 75,3% dos 886 Vórtices observados perduraram de 2 a 4 dias. Já Paixão e Gandu (2000) chamam a atenção para o período de ocorrência dos VCANs, observando que aqueles originados “classicamente” apresentam uma durabilidade maior em relação aos originados através de outros tipos de formação (Alta, Africana I, Africana II e Mista).

2.2 ENOS

O fenômeno El Niño/Oscilação Sul (ENOS) provoca alterações significativas no que toca a atuação do VCAN e sua extensão vertical. Foi observado que nos verões com ocorrência de El Niño (fase quente do ENOS) os VCANs, localizados sobre a região NEB ou sobre o oceano Atlântico Sul, são mais extensos na vertical, atingindo o nível de 500 hPa, enquanto que, nos verões de La Niña (fase fria) eles permanecem confinados nos altos níveis, mais especificamente entre 300 e 200 hPa (RAMIREZ et al. 1999).

O ENOS também pode influenciar na frequência dos VCANs, Ferreira et al. (2009) ressaltaram que estes sistemas atuam com uma maior duração nos períodos de La Niña prolongada e com o VCAN atuando juntamente com a ZCAS. A justificativa foi elaborada no fato de que, em anos de La Niña, a ZCAS fica localizada ao norte de sua posição climatológica, interagindo mais intensamente com os VCANs do NEB.

No estudo elaborado por Coutinho (2008) para os VCANs do NEB, dos 14 períodos que foram avaliados, nove ocorreram em anos com atuação de El Niño e cinco de La Niña. Foi verificado que em cinco períodos com fenômeno El Niño houve a ocorrência de um maior número de VCANs moderados e em três períodos com La Niña, um maior número de vórtices fracos. Essa estatística concorda com os resultados de Silva et al. (2006) que observaram uma diminuição de eventos ciclônicos em anos de La Niña e um aumento significativo em anos neutros e de El Niño.

2.3 Rastreamento

Métodos, objetivos ou não, foram desenvolvidos no intuito de se rastrear o posicionamento real dos VCANs. Alguns dos métodos objetivos, na sua maioria baseados no campo da vorticidade relativa, serão abordados em seguida neste item. Ressaltando que o método escolhido para ser empregado neste trabalho encontra-se detalhado na sessão Materiais e Métodos.

Tentando identificar os fatores limitantes da previsibilidade climática sazonal no NEB, sistemas como frentes frias e VCAN foram tidos por Dereczynski (2004) como uns desses fatores. O estudo foi elaborado para diversos tipos de sistemas atuantes no NEB, porém apenas os resultados obtidos para VCAN serão explanados aqui. O método para detectar o VCAN leva em consideração medidas próximas às usadas em Coutinho (2008): um ponto P cuja velocidade do vento e/ou vorticidade seja menor comparada aos valores nos oito pontos ao redor dele, deve existir também uma circulação fechada ao redor de P, além de acrescentar a variável altura geopotencial que também deve ser menor no ponto. Essas são características necessárias para que P seja considerado centro de um vórtice. Usando os dados do MCGA do CPTEC, o método mostrou que o modelo é bom na identificação de frequência do VCAN, porém, ele peca na variável precipitação, não representando a precipitação ocorrida no centro do sistema.

O método semi-objetivo empregado por Silva (2005) calcula a vorticidade relativa em 200 hPa, utilizando um valor limite de $-2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$. A autora justifica o emprego desse limiar por ele representar de forma mais adequada à região preferencial de localização dos vórtices ciclônicos. Sendo assim, um VCAN vai ser computado se, no local detectado de vorticidade limite, houver a presença de circulação fechada, identificada visualmente. A partir dessa etapa foram determinadas área, intensidade e posição do sistema.

Outro método utilizado na detecção dos VCANs é o algoritmo proposto em Costa (2009) que rastreia o movimento ciclônico utilizando vento horizontal (u,v) e vorticidade relativa. O centro do vórtice é considerado aquele ponto de grade com menor vorticidade relativa cuja circulação ao redor é fechada (dada através da variação de direção do vento). O limiar de vorticidade considerado pelo autor, diferentemente de Silva (2005), é o de $-1,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$. O algoritmo ainda calcula a velocidade de deslocamento do VCAN através da distância de um mesmo centro de vorticidade em dois instantes de tempo subsequentes. O método foi considerado satisfatório em termos de rastreamento, porém, apresentam problemas neste quesito quando o VCAN enfraquece, deixando de apresentar circulação fechada e, em seguida, torna a se intensificar.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método objetivo escolhido para identificar os VCANs e que foi empregado neste estudo foi desenvolvido por Coutinho (2008). Tal método auxiliou na identificação dos dias nos quais VCANs estavam presentes na análise e nas previsões do modelo Eta. Porém, alguns testes e adaptações, abordadas mais adiante, tiveram que ser feitas para adequá-lo aos tipos de dados utilizados aqui, pois originalmente o método foi desenvolvido para a reanálise do NCEP/NCAR, que tem resolução espacial inferior ao ETA 20Km.

O critério para a contabilização dos VCANs foi feito a partir dos resultados gerados por esse Método, em que, em dias não consecutivos os sistemas seriam contabilizados como VCANs diferentes e em dias sucessivos seriam identificados como um mesmo VCAN. Porém, neste último caso, se o posicionamento do sistema em um dia qualquer estivesse defasado em mais de 10 graus de distância, em longitude ou em latitude, da posição do “mesmo” no dia anterior, existiria aí a ocorrência de VCANs distintos.

3.1 Dados

Foram utilizadas as análises do modelo regional ETA 20Km, referentes às 0000UTC, além dos seus respectivos prognósticos de até 72h (3 dias). O período analisado teve início em janeiro de 2008 e término em dezembro de 2011. A variável meteorológica em foco foi o vento horizontal (componentes zonal e meridional) ao nível de 200, 250, 300, 500, 700, 850 e 1000hPa, para que a vorticidade relativa fosse obtida. Como o foco do trabalho é a vizinhança do NEB, a área estudada esteve compreendida entre 2°N – 25,8°S e 60°W – 25,8°W (Figura 3.1).

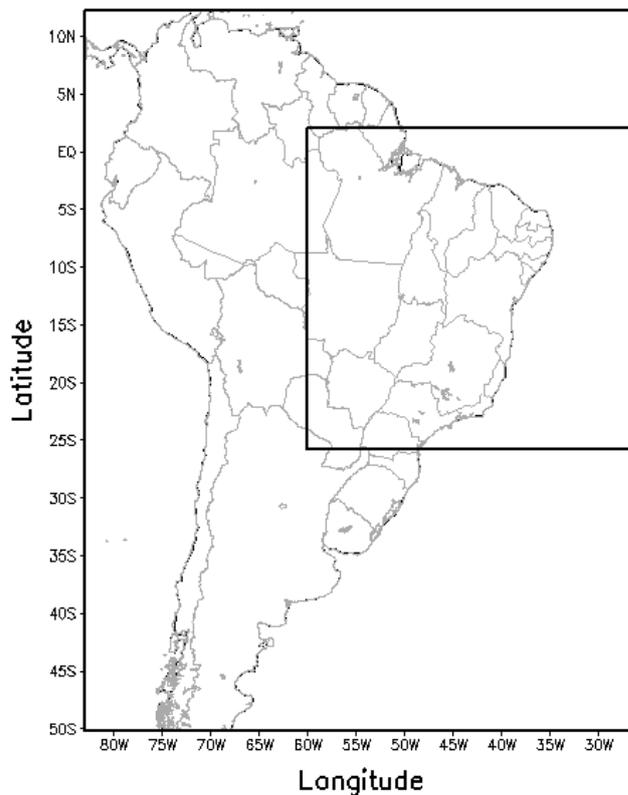


Figura 3.1 - Ilustração do domínio do ETA 20Km com destaque para a vizinhança do NEB.

3.2 Modelo

O modelo regional Eta, desenvolvido na Sérvia, utiliza a grade E de Arakawa (ARAKAWA; LAMB, 1977) e a coordenada vertical η (MESINGER, 1984) que lhe serve de nome. O ETA 20Km, inicializado às 0000 e 1200UTC (MOURA et al., 2006) possui durante o período de estudo, segundo Sapucci et al. (2008), uma resolução horizontal de 20 km e 42 níveis na vertical. Como condição inicial faz uso das análises do Global Forecast System – GFS e, como condição de contorno, utiliza as previsões do modelo global, então nomeado de CPTEC/COLA. De acordo com Guarnieri (2006), para o modelo Eta em si, a temperatura da superfície do mar (TSM) é obtida diretamente de um valor médio das temperaturas observadas na semana anterior, e, assim, ela é mantida

constante durante todo o período de integração. As variáveis umidade do solo e albedo são obtidas de climatologias globais mensais e sazonais, respectivamente. O autor ainda afirma que, desta forma, o modelo Eta é capaz de realizar previsões para cada 6 horas, após o horário da condição inicial, o que faz coincidir com os horários sinóticos de cada dia (0000UTC, 0600UTC, 1200UTC e 1800UTC).

3.3 Metodologia

O método objetivo desenvolvido por Coutinho (2008) segue uma hierarquia de quatro etapas: na primeira etapa é calculada a vorticidade relativa no nível desejado (200, 250, 300, 500, 700, 850 e/ou 1000 hPa); na segunda são obtidos os mínimos de vorticidade relativa; na terceira é feita a análise da circulação ao redor do ponto de mínimo; e na quarta seleciona-se o VCAN. Desta forma, o método identifica a posição e a intensidade dos VCANs atuantes no NEB e oceano adjacente. Devido a resolução horizontal dos dados utilizados ser de 20 km, tornou-se necessária, durante a execução desta análise, a incrementação de mais uma etapa que foi adicionada ao término das quatro ditas anteriormente. A intenção desse aprimoramento foi fazer uma filtragem dos VCANs que o Método em seu formato original captava e que, na verdade, não se tratavam de VCANs propriamente ditos. Observou-se durante testes preliminares feitos com o auxílio de mapas diários (00TMG) de linhas de corrente e vorticidade relativa que o método selecionava como VCAN algumas regiões com vorticidade negativa, mas sem apresentar circulação fechada ao seu redor. Além desta, outras adaptações foram feitas para que o Método pudesse se adequar ao formato dos dados aqui empregados. A seguir, estão explanadas as etapas contidas no método objetivo retiradas de Coutinho (2008) e a etapa adicionada para a execução ideal deste trabalho.

Etapas Sequenciadas:

Etapa I – Cálculo da Vorticidade Relativa

A vorticidade relativa foi calculada, em cada ponto de grade do nível desejado (200 mb) e dentro da área compreendida entre 10°N - 35°S e 72,5°W – 7,5°E, utilizando os valores das componentes zonal e meridional do vento pelo método das diferenças finitas centradas, a partir da formulação abaixo:

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

em que,

i – posição do ponto de grade na direção x;

j – posição do ponto de grade na direção y;

m – passo de tempo de cada grade;

u – componente zonal do vento;

v – componente meridional do vento;

dx – distância existente entre dois pontos de grade na direção x;

dy – distância existente entre dois pontos de grade na direção y.

Etapa II – Seleção dos mínimos de vorticidade relativa

A grade utilizada nesta etapa deve ser considerada como sendo quatro pontos de grade menor, em cada lado, do que a original. Como esta é compreendida entre 12,4°N – 50,2°S e 83°W – 25,8°W a nova grade abrangeria a área entre as coordenadas 11,6°N - 49,4°S e 82,2°W – 25°W. Esta redução deve ser feita para que um VCAN, eventualmente detectado pelo método, esteja com centro e borda exclusivamente inseridos na área de interesse do estudo. Porém, nos primeiros testes, não foram obtidos esse tipo de resultado e a grade foi reduzida em sete pontos de grade em cada lado, fazendo com que a nova estivesse compreendida entre as coordenadas 11°N – 48,8°S e 81,6°W e 24,4°W. Desta

forma, VCANs mais próximos às bordas da grade passaram a ser detectados pelo método.

Outra adaptação feita no método nesta etapa foi resultado de testes iniciais que envolviam a criação de campos de vorticidade relativa, a fim de se observar subjetivamente os valores típicos que os centros dos VCANs apresentavam. Com base nessas observações passou a ser considerado pontos centrais aqueles pontos de grade com vorticidade relativa menor (ou mais intensos) a $-5,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$. Originalmente este era de $-2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ (SILVA, 2005; COUTINHO, 2008). A etapa II tem seguimento na realização de comparações entre o valor da vorticidade relativa de um ponto de grade com os valores dos oito pontos existentes ao seu redor. Sendo o primeiro o de menor valor com relação a sua redondeza é passada a etapa subsequente, em caso negativo a análise é transferida para o ponto de grade seguinte (Figura 3.2).

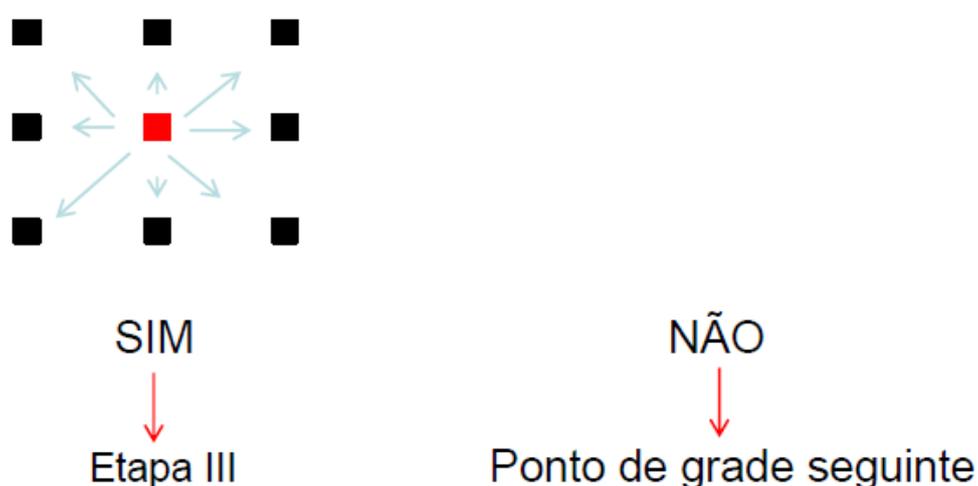


Figura 3.2 - Esquemática da Etapa II. O ponto em vermelho é representativo do ponto de grade que está sendo analisado e os pontos em preto, os que estão sendo comparados.

Etapa III – Avaliar a circulação do vento horizontal em torno do mínimo

Na etapa III é feita a separação dos episódios de VCAN dos episódios de Cavado em Altos Níveis (CAN), também realizada objetivamente. Os Vórtices estão caracterizados pela circulação fechada ao redor do seu ponto de máxima circulação ciclônica, o que Coutinho (2008) observou é que o sentido das componentes horizontais do vento tanto no VCAN quanto no CAN permanecem iguais nos quadrantes I, II, e III. No quadrante IV as componentes do vento tornam-se negativas quando a circulação é fechada, isto é, quando há um VCAN. O u é positivo e v negativo ou u é negativo e v é positivo nos casos de CAN. A Figura 3.3 retrata a circulação encontrada num VCAN e num CAN, em que o primeiro quadrante está localizado no quadrante superior à direita e o quarto e último, encontra-se no quadrante inferior a direita do ponto central.

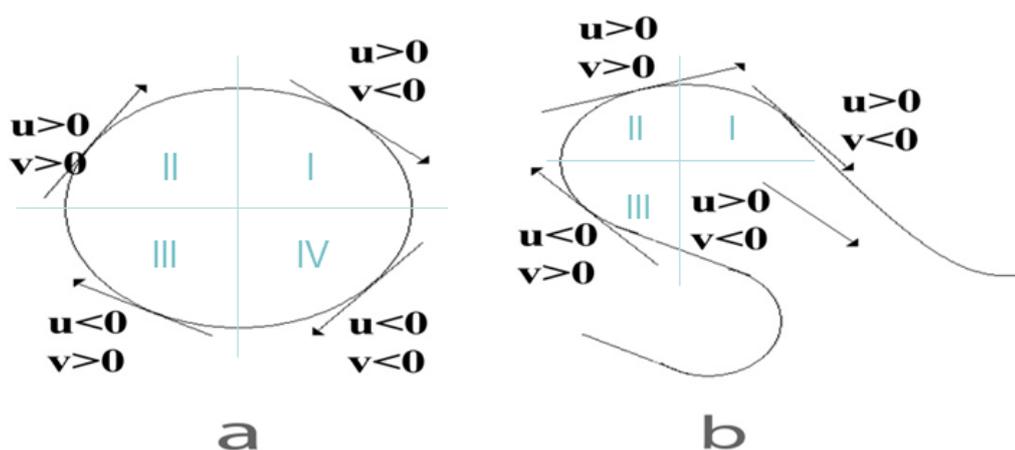


Figura 3.3 - Esquemática da circulação presente num (a) VCAN e num (b) CAN. Com destaque, em azul, para o posicionamento dos quadrantes I, II, III e IV.

Fonte: Adaptado de Coutinho (2008).

Assim, o entorno do ponto de mínimo valor é separado em termos de quadrantes. Para cada quadrante foram avaliadas as condições do vento horizontal que devem estar em concordância com a Tabela 3.1. O mínimo encontrado representa a intensidade do sistema sinótico. Nesta etapa, o método avaliou as componentes horizontais do vento em cada ponto de grade de cada quadrante até detectar um ponto que concordasse com as condições pré-definidas. Ao encontrar, o método passa para o próximo quadrante e assim

sucessivamente até fazer uma varredura nos quatro. Caso nenhuma detecção favorável tenha sido feita pelo método realiza-se uma nova varredura numa área ampliada em mais 16 pontos. Um ponto de mínimo só é descartado quando na varredura ao seu redor não for encontrado um comportamento do vento horizontal que satisfaça uma circulação horária, neste caso, o método passa, automaticamente, para outro ponto de mínimo que tenha sido encontrado na etapa anterior.

Tabela 3.1 - Sequência, das componentes horizontais do vento, obrigatória ao redor do ponto de mínima vorticidade.

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 $v < 0$

Fonte: Adaptado de Coutinho (2008)

Etapa IV – Selecionar o VCAN

Algumas vezes identificaram-se dois pontos de grade com mínima vorticidade relativa e envoltos em uma mesma circulação ciclônica. Nestes casos o ponto selecionado como núcleo do VCAN foi o de maior intensidade, ou seja, aquele com vorticidade relativa mais negativa. Primeiramente, é preciso detectar se os dois pontos estariam realmente sob uma mesma circulação, para tanto, o método executa uma varredura neles, identificando um como sendo pertencente a um VCAN analisado (VA) e o outro como sendo o comparado (VE) (Figura 3.4). Os pontos de grade que foram verificados na Etapa III, na averiguação da circulação ao redor do mínimo de vorticidade, foram acumulados na memória do programa e nesta Etapa eles são representados através do posicionamento de cada ponto de grade, no caso, o posicionamento dos pontos do núcleo analisado (PVA) e o dos pontos do núcleo comparado (PVE). Em seguida, se apenas um ponto de PVA e um de PVE coincidirem, significa que os núcleos estão envolvidos pela mesma circulação (Figura 3.5) e, assim, é escolhido o de maior intensidade para representar o núcleo verdadeiro do VCAN. Se nenhum ponto de PVA e de

PVE coincidirem, eles não estariam envoltos por uma mesma circulação e seriam considerados como pertencentes à VCANs distintos (Figura 3.6).

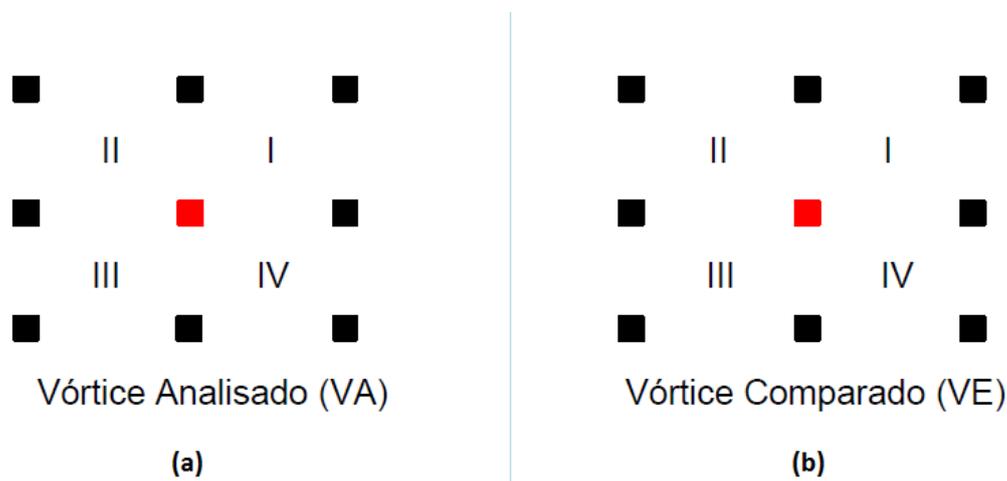


Figura 3.4 – Esquematização de dois pontos de mínimo com proximidade suficiente para pertencerem a uma mesma circulação. (a) VCAN considerado como analisado (b) VCAN considerado como comparado. Os pontos em vermelho representam o centro dos VCANs.

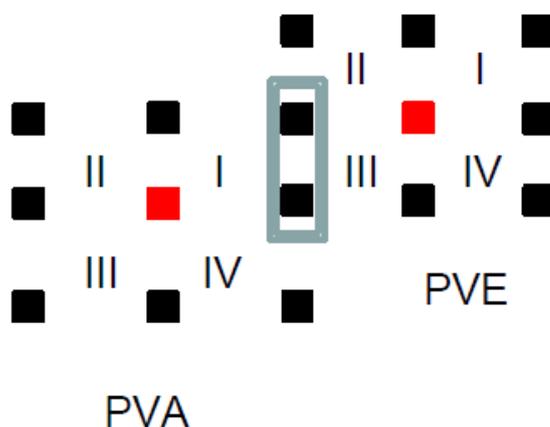


Figura 3.5 – Esquematização de quando dois pontos de mínimo podem pertencer a uma mesma circulação. Ao menos um ponto de grade do Vórtice Analisado deve coincidir com um ponto de grade do Vórtice Comparado.

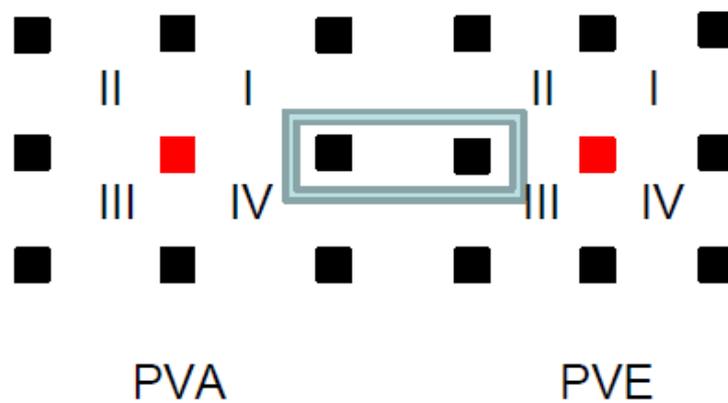


Figura 3.6 – Esquematização de quando dois pontos de mínimo não pertencem a uma mesma circulação. Não existem pontos de grade coincidentes entre o Vórtice Analisado e o Comparado.

Na Figura 3.7 encontra-se representado por meio de um fluxograma o método descrito acima:

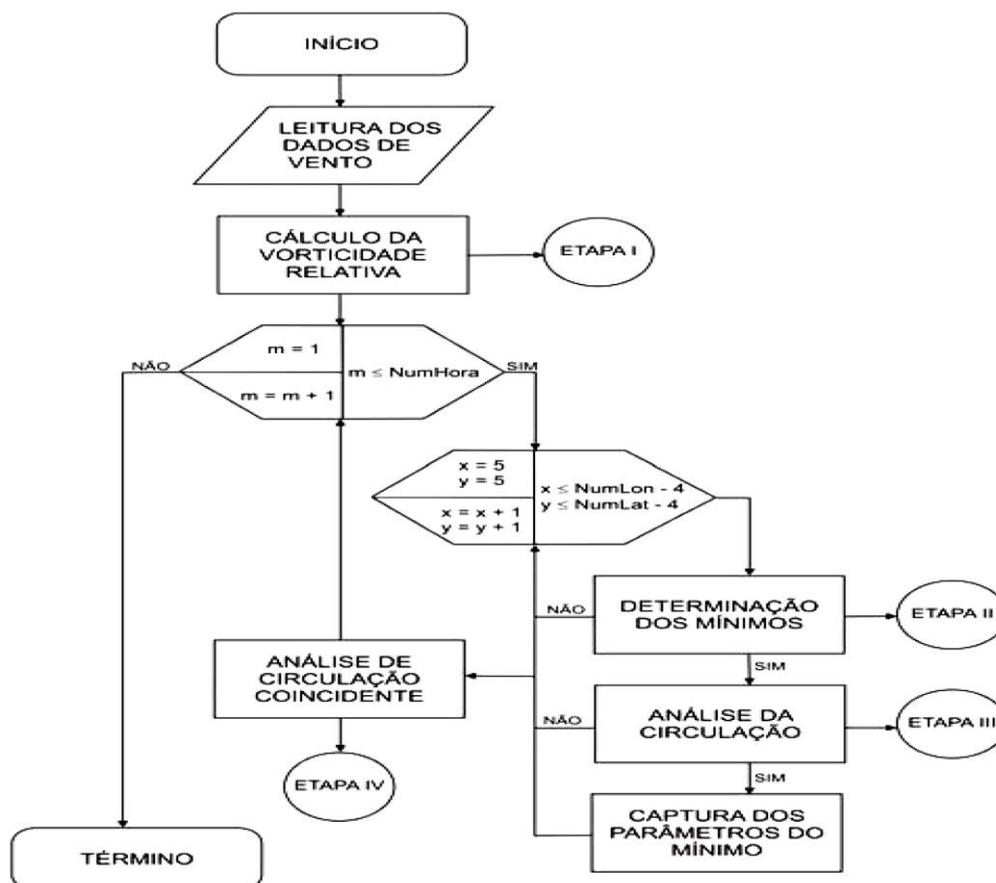


Figura 3.7 - Fluxograma do método objetivo que auxilia na determinação do posicionamento e da intensidade do VCAN.
Fonte: Coutinho (2008).

Etapa V: Filtragem dos VCANs.

Como dito anteriormente, houve a necessidade de se incrementar mais uma etapa no método. Essa teria a função de filtrar para o resultado final, apenas os pontos de mínimo que tivessem circulação horária e fechada ao redor. Isto porque, em alguns casos, eram capturados como VCAN centros de vorticidade negativa com circulação ciclônica bem alongada, mas não fechada, ou em outros casos, em que existia a circulação ciclônica fechada, mas por ser muito

alongado, o Método entendia ele como sendo um episódio de CAN e não o contabilizava.

A solução encontrada para resolver esse problema foi elaborada da seguinte forma: ao término da etapa IV uma nova varredura é feita consistindo em partir do ponto de mínimo, de forma zonal e meridional, checando os valores de vorticidade ponto de grade em ponto de grade. A checagem encerraria, em determinada direção, no momento em que fossem encontrados valores positivos ou nulos de vorticidade. Ao término desta verificação a quantidade de pontos varridos é contabilizada. A partir dessa quantidade foi criado um limiar de 10 pontos no eixo zonal e meridional para que o ponto de mínimo, juntamente com sua circulação, fosse computado como VCAN. O limiar também poderia ser alterado para 5 pontos, porém, em apenas um dos eixos, a fim de que VCANs mais alongados também pudessem ser capturados pelo Método. No caso, teríamos no mínimo 5 pontos para o eixo zonal e 10 para o meridional ou 5 pontos para o eixo meridional e 10 para o zonal. A Figura 3.8 exemplifica os casos ocorridos de VCANs que antes da adaptação no Método não eram contabilizados.

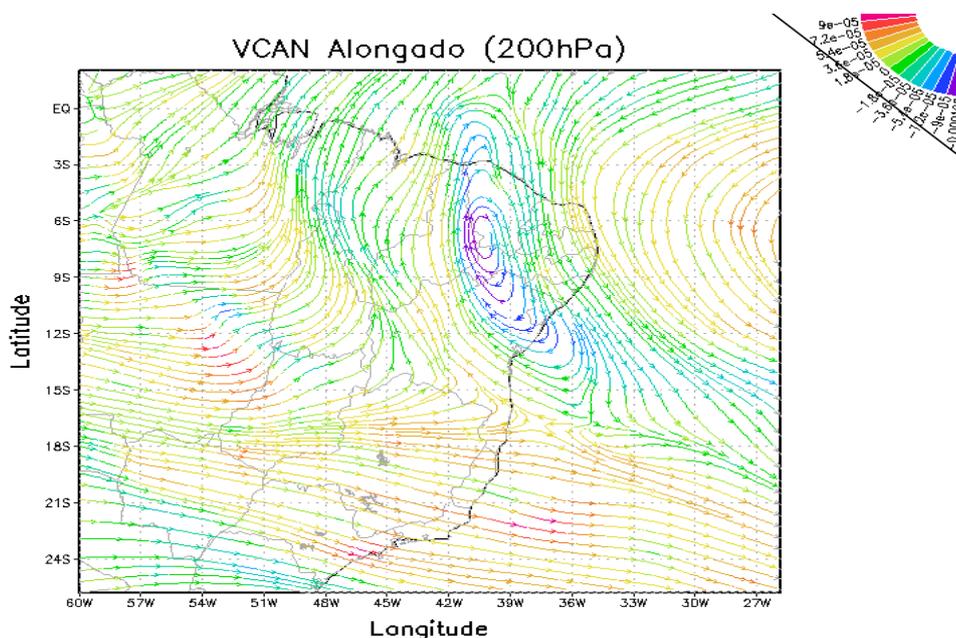


Figura 3.8 - Exemplo de VCAN que antes da adaptação não era contabilizado.

3.4 Determinação do deslocamento e da profundidade

Os casos de VCANs analisados auxiliou a observação de que nem sempre eles eram previstos em todas as integrações (24h, 48h ou 72h) do modelo Eta. Por isto, optou-se por considerar úteis para o uso no quesito deslocamento, apenas os episódios que fossem identificados nas análises e nas previsões numéricas na maioria dos dias dos seus ciclos de vida.

Com o auxílio do software GrADS, o centro desses VCANs foram locados de tal forma que se fez possível a avaliação das previsões do Eta com relação ao quesito deslocamento. Esta avaliação foi feita subjetivamente ao separar os VCANs em grupos de acordo com o deslocamento apresentando por cada um: zonal, meridional e/ou estacionários. Para cada mapa gerado posicionou-se o centro analisado e os centros previstos, para cada dia e identificados por cores diferentes.

A determinação da profundidade dos VCANs foi feita com o auxílio tabelas (Tabela 4.5 a 4.7), cujas colunas foram divididas em horário de formação, horário da intensidade máxima e horário de dissipação, respectivamente e As linhas compreendiam distintas extensões verticais, levando em consideração sete níveis atmosféricos padrão (200, 250, 300, 500, 700, 850 e 1000 hPa). Para cada nível, a detecção de vortacidade ciclônica foi realizada através do Método Objetivo de Coutinho (2008). Um VCAN em um nível inferior era considerado pertencente ao VCAN de um nível superior se seu centro estivesse posicionado com uma defasagem de até 10° de longitude e/ou de latitude do centro do VCAN no nível superior. Esse limite de 10° foi usado por não ter sido encontrado na literatura nenhum trabalho indicando uma inclinação máxima, porém, a máxima inclinação encontrada, neste estudo, foi de 6° de longitude e/ou latitude.

3.5 Avaliação através da estatística

A avaliação do modelo em prever o campo de vorticidade relativa nos horários futuros de 24, 48 e 72 horas, foi realizada comparando as previsões com as análises, através de índices estatísticos. Os índices, retirados de Piva e Anabor (2008), estão relacionados abaixo e foram calculados para os quesitos posicionamento e intensidade:

- Viés (V) – É o índice escolhido na identificação de erros sistemáticos nas previsões. Seu cálculo é feito a partir da média das diferenças entre a variável prevista e a observada. Pode representar três tipos de situação: $V < 0$ (modelo subestima os valores médios da previsão); $V > 0$ (o modelo superestima os valores médios) e $V = 0$ (o modelo não apresenta tendências).

$$V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)$$

Em que P_i é o valor previsto no episódio de VCAN i , O_i é o valor observado (analisado) em i e N é o número de episódios previstos e observados, ou seja, o tamanho da amostra.

- Raiz do erro quadrático médio (REQM) – Faz a estimativa da magnitude do erro das previsões, mantendo a mesma unidade de medida dos dados da amostragem. Quanto mais próximo de zero for o valor do REQM melhor será a habilidade do modelo em realizar suas previsões.

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}$$

3.5.1 BOX-PLOT

Na Estatística existe o que é chamado de gráfico Box-Plot, ou Diagrama de Caixa, muito útil no estudo de dados que apresentam uma ampla variabilidade. Sendo assim, devido à variabilidade dos dados referentes à intensidade dos VCANs, esse recurso foi escolhido a fim de que comparações entre as intensidades das análises e das previsões fossem realizadas.

O gráfico Box-Plot necessita para a sua construção dos valores do primeiro quartil (Q1), da mediana, do terceiro quartil (Q3) e do intervalo interquartil (Q3 – Q1) de uma determinada série de dados (MORETTIN; BUSSAB, 2013). Para uma construção completa desse tipo de gráfico é necessário, segundo Morettin e Bussab (2013), especificar os valores dos bigodes, que são linhas horizontais conectadas a outras verticais para além da Caixa e que indicam os valores mínimos e os valores máximos de cada série de dados. As marcações fora da área de abrangência dos bigodes são valores exteriores que podem ser chamados de *outliers* ou valores atípicos. Na Figura 3.9 encontra-se exposto um exemplo de gráfico boxplot sem apresentar valores *outliers*.

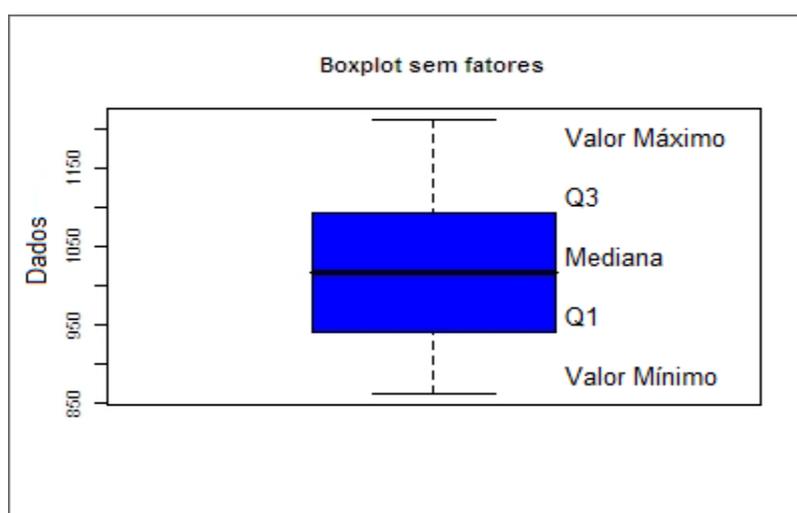


Figura 3.9 - Exemplo de um gráfico Boxplot.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será apresentada a discussão dos resultados que comparam as previsões do modelo ETA 20Km com suas respectivas análises. O desempenho do modelo, para os quesitos posicionamento e intensidade, foi quantificado através do cálculo dos índices estatísticos REQM e viés. O quesito deslocamento e profundidade foram avaliados de forma subjetiva e o tempo de vida, através de tabela de contingência.

A Tabela 4.1 representa a quantidade de VCANs encontrados em cada ano, separados em formato trimestral. Como era de se esperar a maior ocorrência desse sistema se dá nos meses de verão e a menor nos meses de inverno, concordando com os estudos de Kousky e Gan (1981), Ramirez (1996), Ramírez et al. (2002), Silva (2005) e Coutinho (2008). Outra informação que pode ser retirada da tabela é a de que o ETA parece prever mais VCANs do que na realidade ocorreu nos meses de inverno (JJA) e menos VCANs nos meses de verão (DJF). Para as estações de transição, o ETA tende a prever menos VCANs do que o analisado nos meses de outono (MAM), com exceção para o ano de 2008, e mais VCANs nos meses da primavera (SON), com exceção para o ano de 2009.

Tabela 4.1 - VCANs identificados no período de 2008 a 2011 usando o modelo ETA 20Km, para os trimestres DJF, MAM, JJA e SON .

2008	-JF	MAM	JJA	SON	TOTAL
ANÁLISE	16	7	3	8	34
PREV24	11	9	7	9	36
PREV48	8	9	9	11	35
PREV72	13	7	10	12	42
2009	DJF	MAM	JJA	SON	TOTAL
ANÁLISE	18	14	3	22	57
PREV24	15	10	4	20	49
PREV48	14	7	6	15	42
PREV72	20	7	5	15	47
2010	DJF	MAM	JJA	SON	TOTAL
ANÁLISE	14	8	7	6	35
PREV24	14	6	4	7	31
PREV48	10	6	5	8	29
PREV72	13	7	5	5	30
2011	DJF	MAM	JJA	SON	TOTAL
ANÁLISE	27	9	2	11	49
PREV24	17	6	4	14	41
PREV48	20	8	3	11	42
PREV72	19	7	3	8	37

Continuação da Tabela 4.1.

Já a Tabela 4.2 relaciona apenas os VCANs analisados pelo ETA 20Km quantificando-os de acordo com o topo desses sistemas nas datas de formação, intensidade máxima e de dissipação. Observa-se que os topos dos VCANs ocorrem em maior número no nível de 200 hPa, com uma maior ocorrência durante as intensidade máximas dos episódios. Já o nível de 300 hPa é o que apresenta a menor quantidade de VCANs com topo nele mesmo.

Tabela 4.2: Relação da quantidade de VCANs com topo nos níveis de 200, 250 e 300 hPa nas datas de formação, Intensidade Máxima (s^{-1}) e dissipação.

Nível Atmosférico	Formação	Intensidade Máxima	Dissipação
200 (hPa)	96	115	90
250 (hPa)	48	41	51
300 (hPa)	36	24	39

Foram propostos cinco quesitos básicos para que o modelo fosse avaliado com respeito às previsões dos VCANs, tais quesitos são: posicionamento; deslocamento; intensidade, profundidade e tempo de vida, abrangendo data de formação e de dissipação. As formas de avaliação estão em formato de tabelas e figuras.

4.1 Tempo de vida

Para avaliação da representatividade do tempo de vida dos VCANs pelo modelo foram utilizadas tabelas de contingências. Uma tabela de contingência é a representação qualitativa ou quantitativa de dados bivariados. Foram contabilizados através das análises do ETA 20Km a ocorrência de 180 VCANs nos quatro anos de estudo. Para cada um desses 180 VCANs foi verificado se o modelo acertou, errou (adiantando ou atrasando a formação e a dissipação; isto é, diminuindo ou aumentando o tempo de vida) ou não previu tal ocorrência nas suas respectivas previsões de 24, 48 e 72h. Os critérios primordiais usados na criação da tabela de contingência foram: formação, dissipação e tempo de vida e estão representados na Tabela 4.3. Além disto, a não análise de VCANs previstos, é um quesito que também compôs a Tabela 4.3. Deve-se entender, respectivamente, por formação e por dissipação o primeiro e o último horário em que se observou a ocorrência de circulação ciclônica fechada no episódio de VCAN.

O uso da contingência dos dados permitiu observar que o modelo ETA 20Km, ao prever os VCANs, tende a apresentar um percentual de erros maior do que o de acertos nos três horários de previsão. Dentre os percentuais de erro existe uma tendência em atrasar a formação dos VCANs e outra em adiantar a sua dissipação, condicionando em um menor tempo de vida do sistema. Para os percentuais de acerto existe um decréscimo com o aumento na integração temporal, podendo ser observado nos três critérios, e sendo as menores porcentagens relacionadas ao Tempo de vida dos VCANs. Já a porcentagem relacionada a não previsão do sistema por parte do modelo aumenta de forma

homogênea da previsão de 24h para a previsão de 72h, sendo 40% nas de 24h e 51,11% nas de 72h. Com isto, obviamente, a quantidade de VCANs previstos com acerto ou com erro diminui, também de forma homogênea, da previsão de 24h para a de 72h. Pela contagem dos VCANs que não foram observados na análise do ETA 20Km, mas que foram previstos pelo modelo, tem-se que a previsão de 72h apresentou a maior quantidade de VCANs (71) seguido pela previsão de 48h (55 VCANs) e pela previsão de 24h (54 VCANs).

Tabela 4.3 - Tabela de contingência representativa das porcentagens de erros e acertos do modelo Eta20km referente aos estágios de formação, dissipação e ao tempo de vida dos VCANs.

FORMAÇÃO	PREVISÃO 24h	PREVISÃO 48h	PREVISÃO 72h
ACERTOU	54(30,00%)	43(23,89%)	39(21,67%)
ADIANTOU	19(10,56%)	24(13,33%)	21(11,67%)
ATRASOU	35(19,44%)	31(17,22%)	28(15,56%)
DISSIPAÇÃO	PREVISÃO 24h	PREVISÃO 48h	PREVISÃO 72h
ACERTOU	52(28,89%)	47(26,11%)	42(23,33%)
ADIANTOU	37(20,56%)	27(15,00%)	25(13,89%)
ATRASOU	19(10,55%)	24(13,33%)	21(11,67%)
TEMPO DE VIDA	PREVISÃO 24h	PREVISÃO 48h	PREVISÃO 72h
ACERTOU	38(21,11%)	34(18,89%)	29(16,11%)
MENOR	52(28,89%)	41(22,78%)	37(20,56%)
MAIOR	18(10,00%)	23(12,78%)	22(12,22%)
NÃO FOI PREVISTO	72(40,00%)	82(45,56%)	92(51,11%)
NÃO ANALISADOS	54	55	71

4.2 Posicionamento

Três figuras, uma para cada tempo de integração, foram construídas para avaliar o quesito posicionamento dos VCANs. Essas figuras foram montadas com base na diferença entre as previsões e as análises, em termos das latitudes e longitudes centrais e, através delas, foi possível observar as tendências de posicionamento ocorridas entre as previsões de 24, 48 e de 72

horas. Antes de tudo, torna-se interessante citar que nem todos os VCANs observados nas análises foram previstos pelo modelo e que, por esta razão, não são contabilizadas as mesmas quantidades de pontos nas três figuras geradas. O ponto (0,0) corresponde à posição central do VCAN nas análises.

A Figura 4.1 representa a defasagem entre as posições dos VCANs para os quatro anos de estudo com relação às previsões de 24h. As maiores defasagens observadas são de até 10 graus, tanto em latitude quanto longitude. É possível observar uma tendência em posicionar os VCANs mais a leste da sua posição na análise, de fato a maior concentração de pontos defasados encontra-se entre -1 e 4° de latitude e de longitude, indicando uma tendência do modelo prever os VCANs a nordeste das análises.

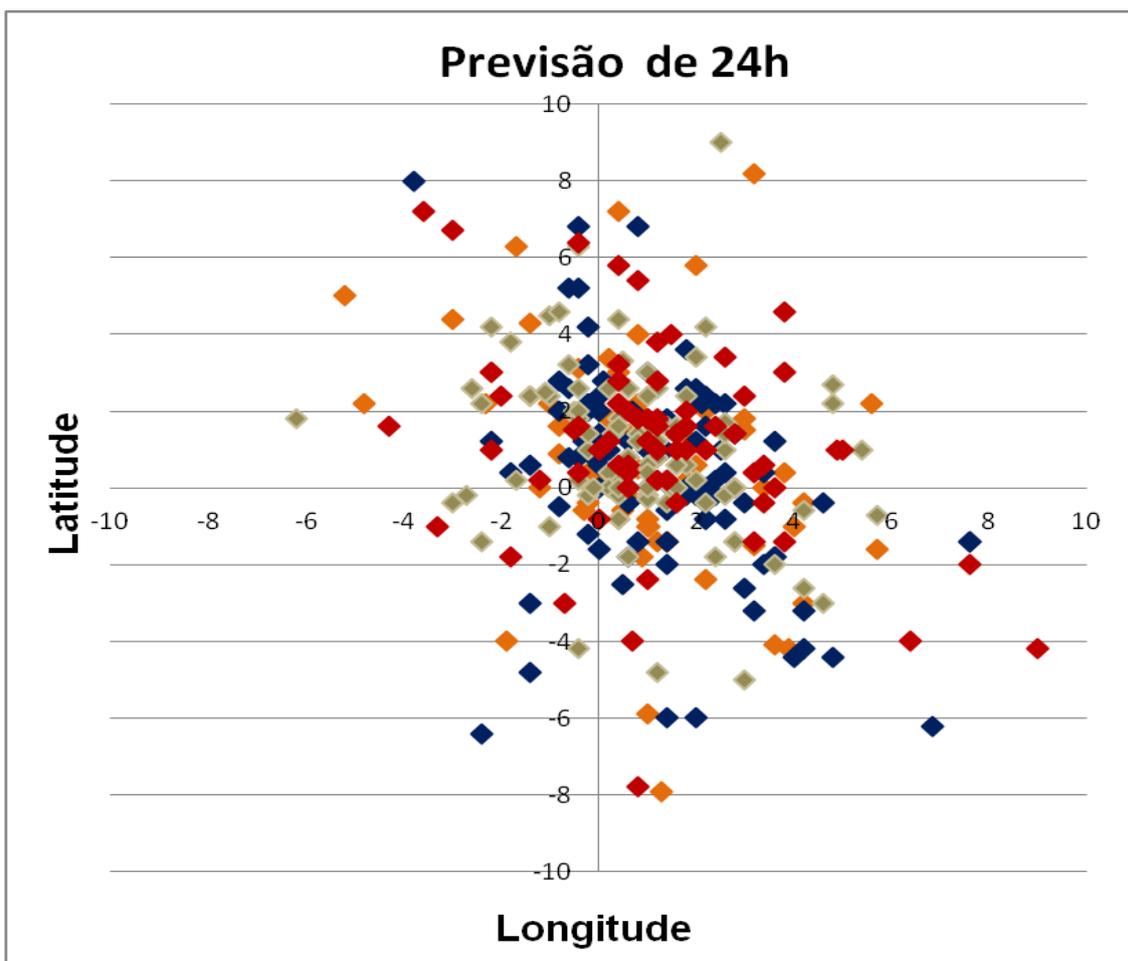


Figura 4.1 - Defasagem dos centros dos VCANs nas análises com relação à previsão de 24h. Pontos em laranja: 2008; azul: 2009; cinza: 2010; vermelho: 2011.

A Figura 4.2, representativa das previsões de 48h, apresenta uma tendência de posicionamento nos quadrantes I e IV, ou seja, a leste das análises, mas com uma maior concentração no quadrante I e menor no III. É possível observar também uma maior propagação dos pontos no eixo latitudinal. Somente um caso ultrapassou 9° de latitude para norte e apenas um caso passou de 8° de longitude para leste.

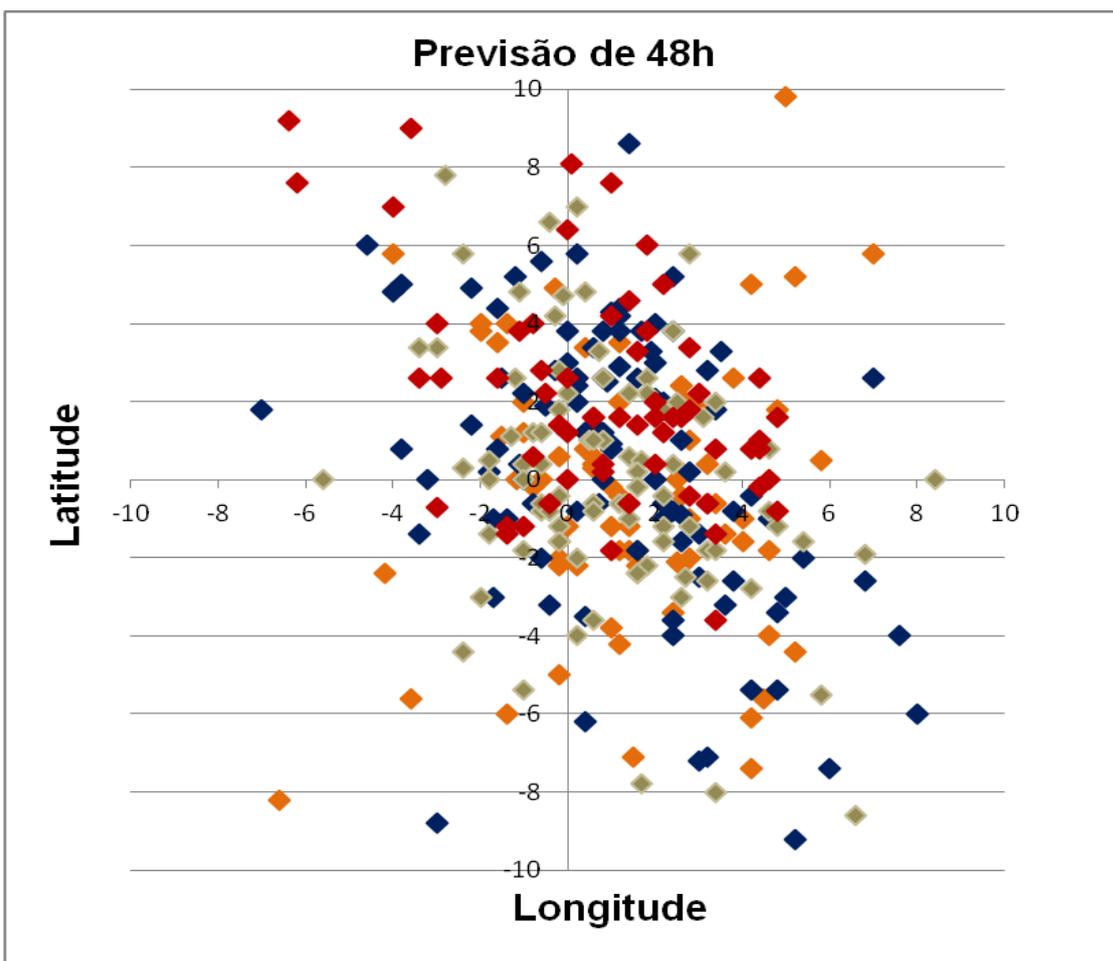


Figura 4.2 - Defasagem dos centros dos VCANs nas análises com relação à previsão de 48h. Pontos em laranja: 2008; azul: 2009; cinza: 2010; vermelho: 2011.

A Figura 4.3 representa as defasagens referentes às previsões de 72h com relação às análises. Nela uma preferência de posicionamento não é visível como nas figuras anteriores, ao contrário é observado uma dispersão quase uniforme em ambos os quadrantes, o que pode representar uma maior dificuldade do modelo em posicionar os VCANs à medida que o tempo de integração aumenta. O espalhamento, desta vez, se dá tanto longitudinal quanto latitudinalmente. Com um olhar mais criterioso, nota-se uma maior concentração entre -4 e 5° latitude e -4 e 4° longitude.

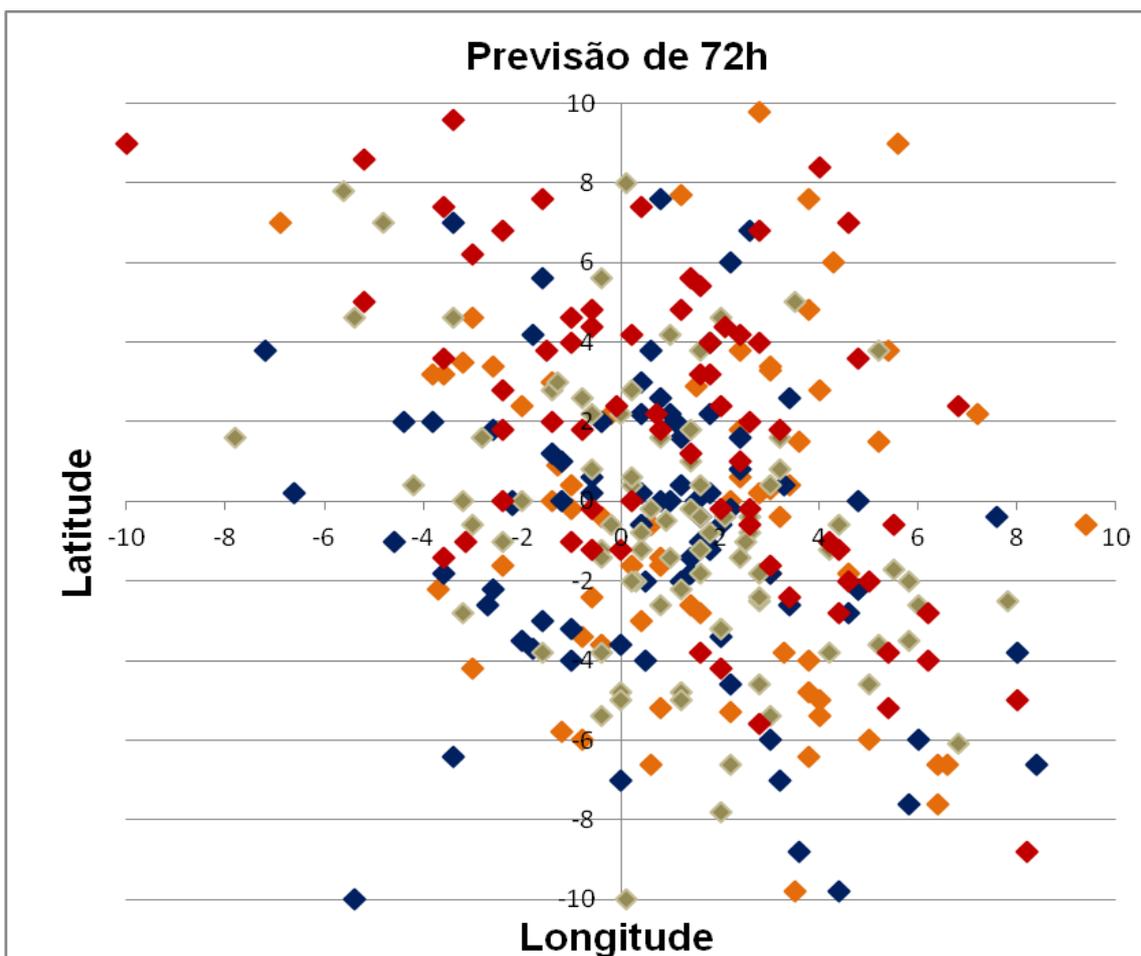


Figura 4.3 - Defasagem dos centros dos VCANs nas análises com relação à previsão de 72h. Pontos em laranja: 2008; azul: 2009; cinza: 2010; vermelho: 2011.

Para avaliar a habilidade do modelo ETA 20Km em posicionar o centro dos VCANs foram calculados o viés e a Raiz do Erro Quadrático Médio. Estes índices estão dispostos na Tabela 4.4 e encontram-se em termos de longitude e de latitude.

Os valores positivos do viés nos dois eixos denotam uma superestimava do ETA no posicionamento dos VCANs. Esses valores indicam uma tendência do modelo em posicionar os VCANs mais ao norte e mais ao leste do que foi analisado, concordando com as Figuras 4.1 e 4.2 ao concentrar uma grande quantidade de VCANs no quadrante I, tanto na previsão de 24h quanto na de 48h. Para a previsão de 72h, os valores do viés concordam com a dispersão

apresentada na Figura 4.3: valor maior do viés para a latitude e um valor menor para a longitude.

Com relação aos valores de REQM obtidos do posicionamento observado e do previsto, é tido um aumento significativo dos erros das previsões de 24h às previsões de 72h. Sendo os erros um pouco maiores nas longitudes do que nas latitudes.

Tabela 4.4 - Valores para latitude e longitude do centro dos VCANS do Viés (V) e da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) para as previsões de 24, 48 e 72h. Modelo: ETA 20Km.

	Previsão 24h	Previsão 48h	Previsão 72h
V(lat)	0,979	0,977	1,008
V(lon)	0,795	0,795	0,766
REQM(lat)	2,5	2,87	3,28
REQM(lon)	2,74	3,67	4,05

4.3 Deslocamento

Para a avaliação dos modelos com relação ao quesito deslocamento, figuras foram geradas abrangendo o posicionamento central dos VCANS nas análises e nas suas respectivas previsões. As Figuras 4.4 a 4.7 são representativas de cada ano deste estudo e fazem parte de uma amostragem cujas escolhas dos VCANS foram feitas similarmente ao subitem 4.1. No total foram vinte e quatro VCANS, todavia, apenas quatro destes foram ilustrados aqui por representarem os mesmos resultados e observações colhidas nos outros vinte casos de VCANS.

Através das Figuras 4.4 a 4.6 é possível observar que o modelo ETA 20Km consegue acompanhar o deslocamento do sistema em termos de sentido/direção e em termos do tempo de integração em que ocorre. Isto é um ponto positivo já que as consequências da atuação de um VCAN podem ser constatadas de duas maneiras distintas levando em consideração o seu deslocamento. Uma das consequências seria a distribuição da precipitação,

que pode ser mais zonal, como no episódio da Figura 4.4 em que o VCAN desloca-se desde o Atlântico Sul, na altura do Estado da Bahia, até o extremo oeste do Mato Grosso, ou mais meridional, como na Figura 4.6 em que o VCAN desloca-se do setor nordeste da Bahia até o sudeste de Goiás. A outra consequência seria um alto ou nem um acumulado de precipitação, levando uma determinada área a estar sob o efeito de chuva prolongada (periferia do VCAN) e outra de estiagem prolongada (centro do VCAN). Isto ocorre quando o VCAN apresenta um grau relativamente baixo de deslocamento, como o do sistema representado na Figura 4.5, em que o VCAN tem seu centro posicionado durante todo seu tempo de vida no Oceano Atlântico. Outra característica climatológica, além daquela exposta no início do item 4, é a tendência que a maioria dos VCANs tem de se formarem na costa do NEB e/ou no Oceano Atlântico (GAN, 1982; COUTINHO, 2008) e apresentarem um deslocamento posterior para o continente.

Algo verificado através das vinte e quatro figuras era que o ETA muitas vezes previa um VCAN, mas não o tinha nas análises ou os analisava, mas não os previa em um ou mais dos tempos de integração. Sendo exemplificado este tipo de caso no primeiro dia de atuação do sistema na Figura 4.7, em que o modelo configurou o sistema na análise, não previu a existência dele no primeiro dia na previsão de 24h e o configurou nas de 48 e de 72h. Outro ponto que também pode ser visualizado com a ajuda das Figuras 4.4 a 4.7 é que a previsão de 72h consegue posicionar o VCAN melhor que a previsão de 48h na maioria dos dias. Ou seja, a previsão de 72h está mais aproximada da posição da análise do que a previsão de 48h.

A Figura 4.4 também foi escolhida por representar um tipo de ocorrência não comum dos VCANs, aqueles episódios existentes nos meses de inverno. Nota-se que para esse episódio, o ETA conseguiu acompanhar a trajetória do Vórtice em todo o seu tempo de vida, sendo a previsão de 24h com menor erro com relação à análise. Já a previsão de 48h se mantém mais distante da realidade com uma defasagem ainda maior do que a previsão de 72h.

Análise e Previsão: VCAN 14/07/2011 a 17/07/2011

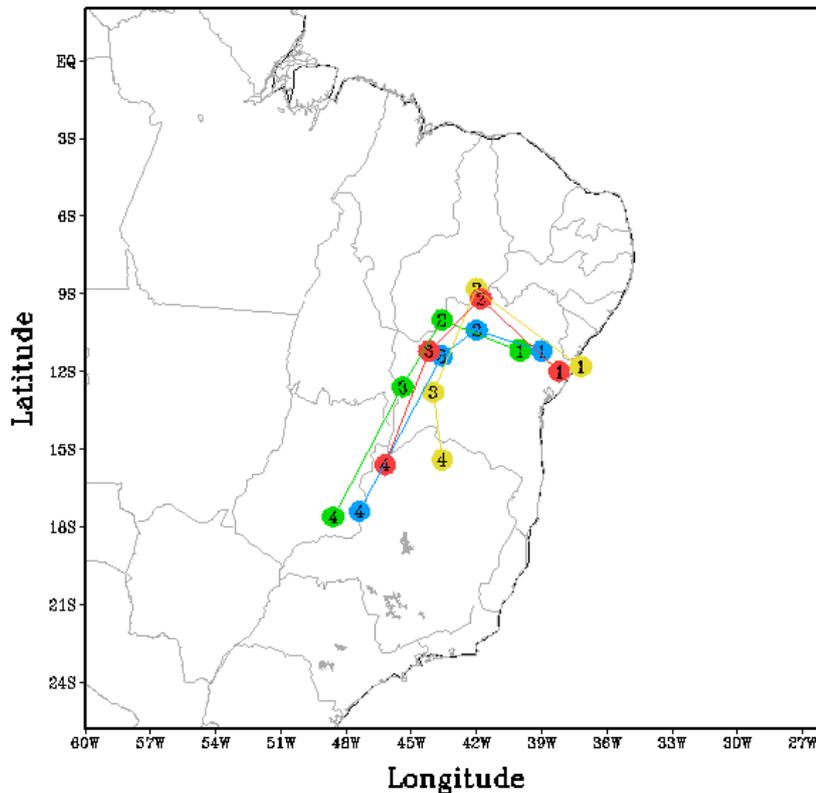


Figura 4.4 - Representação do deslocamento do VCAN. Os números, em ordem crescente, simulam os dias de existência do sistema e as cores representam as análises e as previsões, sendo: Verde a Análise, azul a Previsão de 24h, amarelo a de 48h e vermelho a de 72h.

As Figuras 4.5 a 4.7 representam os episódios de VCANs com ocorrência nos meses do verão austral. O episódio com tempo de vida desde 13/02/2009 a 21/02/2009 tem seu sentido e direção bem acompanhados pelas três previsões do modelo ETA 20km, sendo a de 24h a que mais se aproximou da análise. Do primeiro ao sexto dia desse episódio, em específico, a previsão de 72h manteve o VCAN deslocado a oeste da análise, prevendo, por exemplo, a posição do VCAN no quarto dia do episódio, muito próxima da posição no terceiro dia do VCAN registrado na análise. Já a previsão de 48h, na maioria dos dias, fez o deslocamento do VCAN mais a leste da análise.

Análise e Previsão: VCAN 13/02/2009 a 21/02/2009

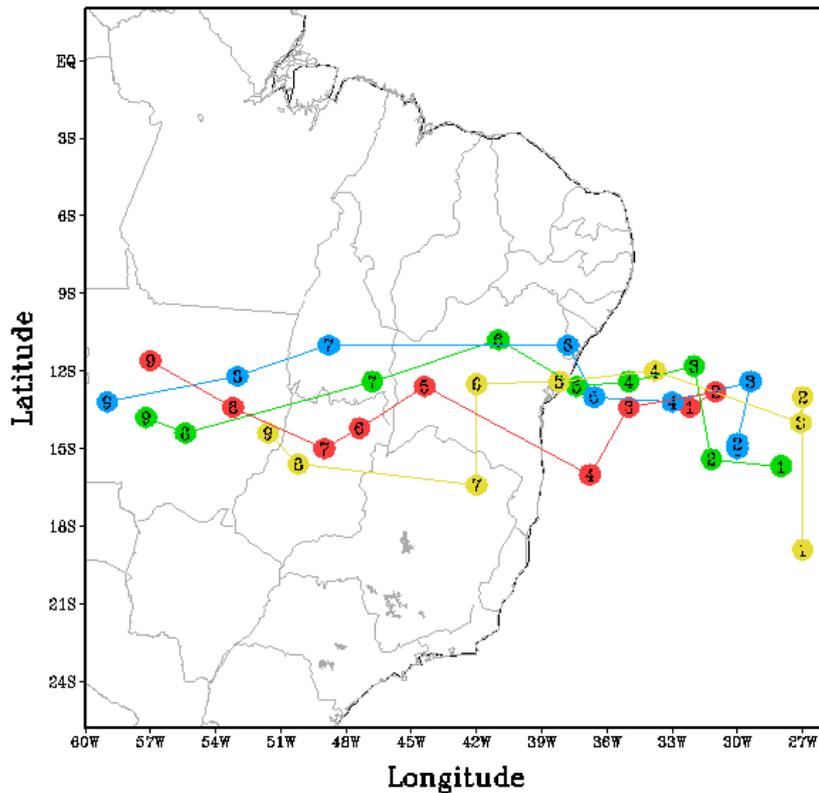


Figura 4.5 - Representação do deslocamento do VCAN. Os números, em ordem crescente, simulam os dias de existência do sistema e as cores representam as análises e as previsões, sendo: Verde a Análise, azul a Previsão de 24h, amarelo a de 48h e vermelho a de 72h.

Com uma observação mais atenta, nota-se que o deslocamento do episódio da Figura 4.6 não consegue ser bem representado pelas previsões do modelo ETA nos seguintes pontos: a previsão de 24h aglomera os primeiros dias desse episódio em torno da latitude 17°S e da longitude 35°W, enquanto que, na realidade, o VCAN esteve mais esparsado e ao Sul dessas posições; e as previsões de 48 e 72h mantem o deslocamento do VCAN mais ao norte do deslocamento real. Porém, a característica desse episódio de se manter com baixo deslocamento e sobre o Atlântico Sul foi bem representada, apesar das previsões de 48 e 72h adentrarem, um pouco, sobre o continente.

Análise e Previsão: VCAN 13/02/2010 a 20/02/2010

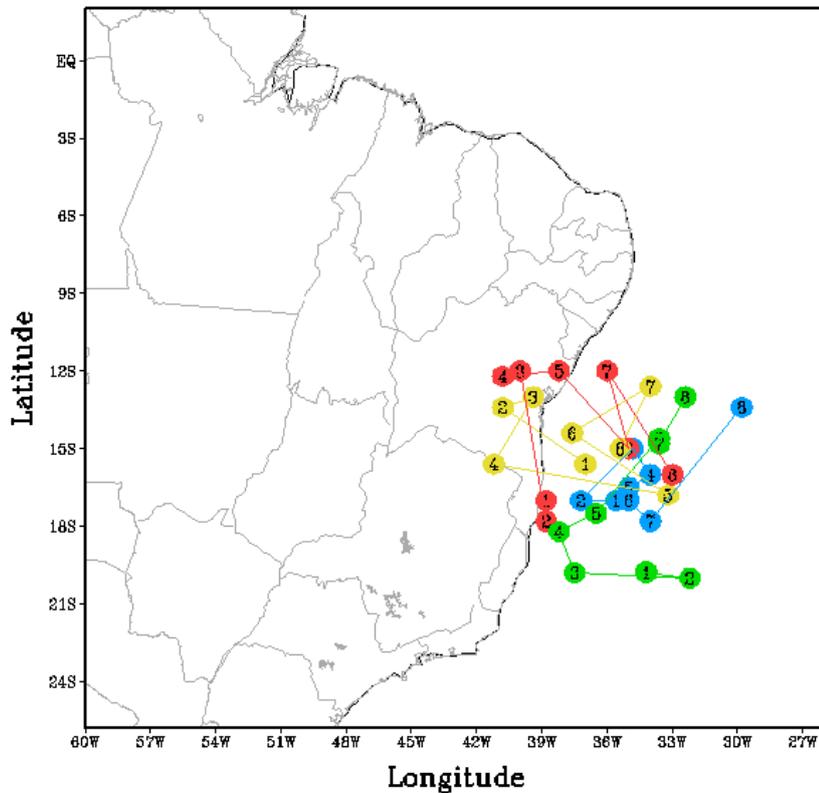


Figura 4.6 - Representação do deslocamento do VCAN. Os números, em ordem crescente, simulam os dias de existência do sistema e as cores representam as análises e as previsões, sendo: Verde a Análise, azul a Previsão de 24h, amarelo a de 48h e vermelho a de 72h.

O episódio da Figura 4.7 teve seu tempo de vida completo, exceto na previsão de 24h que não previu o VCAN no primeiro dia de atuação, com duração de três dias, previsto apenas pelas previsões de 48 e de 72h. Seu deslocamento para Sul foi bem representado pelas três previsões, porém, seu comportamento em ziguezague não. As três previsões mantiveram o deslocamento do VCAN mais ao Norte do seu real deslocamento.

Análise e Previsão: VCAN 17/03/2008 a 19/03/2008

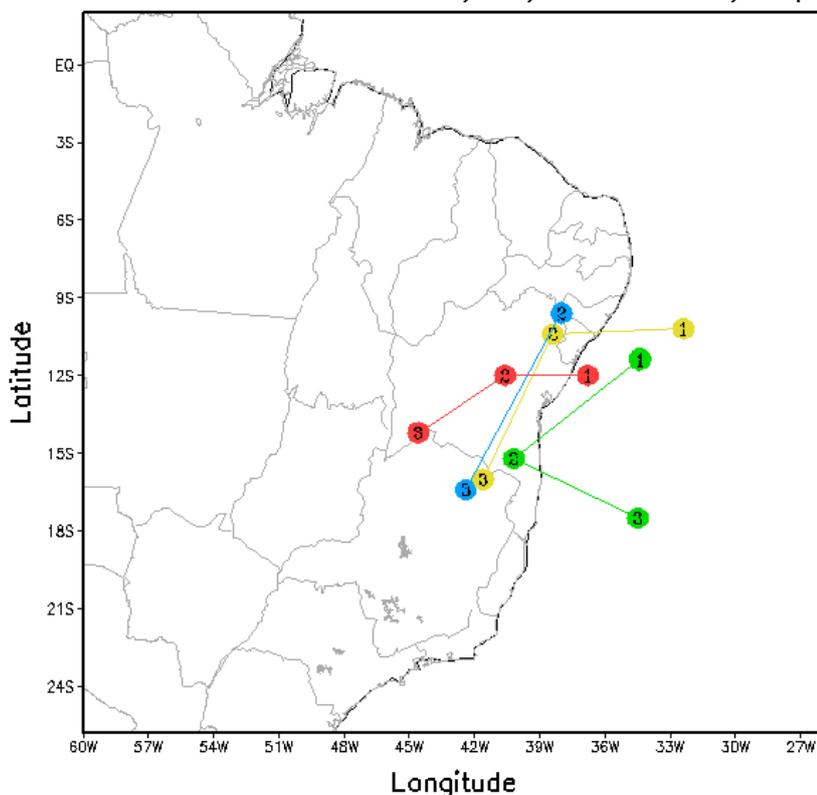


Figura 4.7 - Representação do deslocamento do VCAN. Os números, em ordem crescente, simulam os dias de existência do sistema e as cores representam as análises e as previsões, sendo: Verde a Análise, azul a Previsão de 24h, amarelo a de 48h e vermelho a de 72h.

4.4 Intensidade

A Figura 4.8 ilustra os Diagramas de Caixa construídos a partir dos dados de intensidade dos dias com episódios de VCANs coexistentes tanto na análise quanto nas três previsões. A princípio é possível observar certa semelhança entre os quatro diagramas no que diz respeito a sua área e a dispersão dos dados. Porém, a extensão vertical da caixa, que está relacionada ao Intervalo Interquartil mencionado anteriormente, denota uma dispersão maior na intensidade para os dados referentes à Análise. Além disto, com uma observação mais atenta deduz-se que os dados não possuem uma distribuição simétrica devido à proximidade da mediana com o valor máximo ou bigode

superior. Desta forma, observa-se uma assimetria negativa por parte dos dados. Isto significa que os VCANs mais intensos tem maior dispersão na intensidade do que os mais fracos.

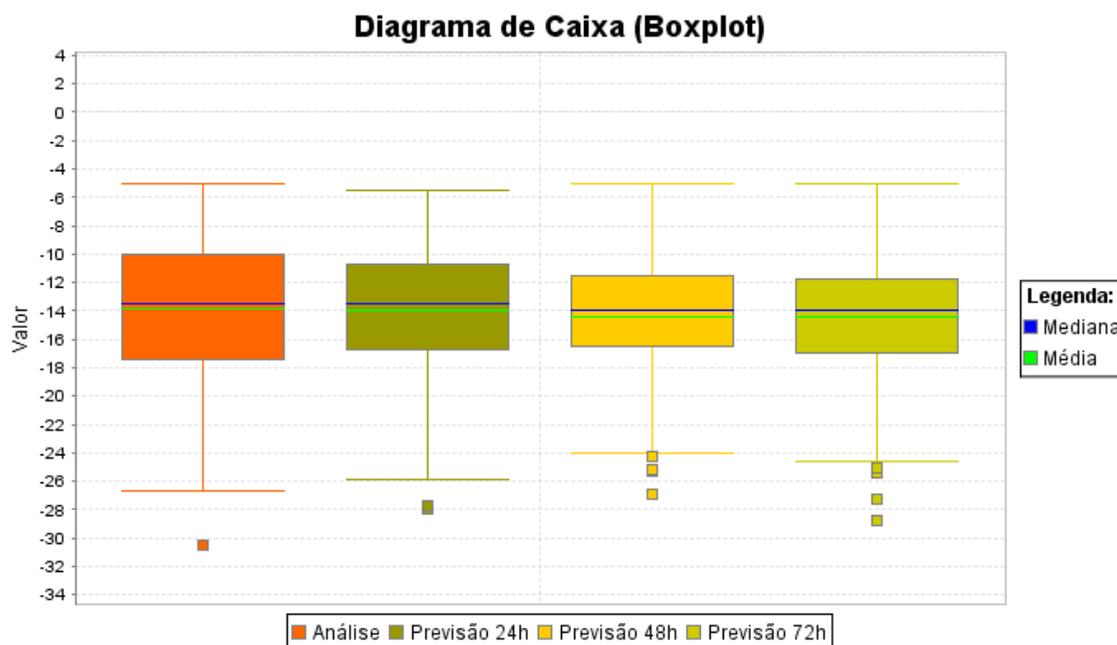


Figura 4.8 - Box-plot da intensidade dos VCANs pelo modelo ETA 20Km.

A Tabela 4.5 é composta pelos valores de REQM e do Viés, todos foram calculados com base nos valores de intensidade dos VCANs previstos e observados pelo modelo regional Eta 20 km. Pode-se observar, através dos valores negativos de viés, que o Eta 20 km subestima a intensidade dos VCANs nos três horários de previsão. Com uma subestimativa maior para as previsões de 48h, esta informação também pode ser retirada da Figura 4.8 em que a diferença entre Q1 e Q3 (tamanho da caixa) referente à 48h é a menor entre as previsões.

Ainda na Tabela 4.5, os valores apresentados do REQM denotam baixa precisão nas previsões da intensidade dos VCANs. Com, apesar de ínfima, uma melhor precisão para as intensidades referentes às de 24h, devido ao

menor valor de erro. Este índice de erro aumenta à medida que o tempo de integração também aumenta, indicando uma redução na destreza da previsão da intensidade dos VCANs.

Tabela 4.5 - Valores representativos do Viés e da Raiz do erro quadrático médio (REQM) do quesito intensidade para as previsões de 24, 48 e 72h. Modelo: Eta 20 km.

Intensidade	Previsão 24h	Previsão 48h	Previsão 72h
Viés	-0,18	-0,63	-0,55
REQM	4,24	4,93	5,26

4.5 Profundidade

As Figuras 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam a distribuição da extensão vertical, ou profundidade, dos VCANs nos dias considerados como formação, intensidade máxima e dissipação de cada um dos 180 episódios averiguados nas análises (Apêndice A1), dos 162 casos nas previsões de 24h (Apêndice A2), 153 nas de 48h (Apêndice A3) e dos 159 nas de 72h (Apêndice A4). Para auxiliar a interpretação quantitativa das Figuras foram construídas as Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8.

Através dessas figuras pode-se notar uma similaridade na distribuição dos VCANs: eles sempre apresentam maior quantidade de casos nas profundidades de 200-300 hPa, 250hPa e no nível de 300 hPa tanto na análise quanto nos 3 horários de previsão. Nas fases de formação e de dissipação os VCANs possuem pouca profundidade, porém, até mesmo quando em suas intensidades máximas eles se mostram rasos, sendo por volta de 3% a porcentagem dos VCANs que atingem os níveis de 700 ou 850 hPa, independente do nível em que se encontra o topo do sistema. Para os horários de formação, intensidade máxima e dissipação apenas um caso de VCAN apresentou topo em 200 hPa com extensão vertical até 1000 hPa, tal episódio

só foi observado na previsão de 24h, ou seja, não esteve configurado na análise numérica do modelo ETA.

O nível atmosférico padrão que esteve mais associado aos VCANs analisados e previstos pelo ETA foi o nível de 300 hPa. De fato, a maior quantidade de casos sempre foi determinada nesse nível. Em segundo lugar é possível citar o nível de 250 hPa e em terceiro, o de 200 hPa. Essa concentração na alta troposfera já é algo a se esperar de um sistema nomeado como de Altos Níveis ou de Ar Superior.

As Figuras 4.9 a 4.11 apresentam hiatos ao longo das quatro linhas representativas da extensão vertical, porém, estas ausências nem sempre se encontram posicionadas nas mesmas profundidades, a exemplo: existe, para a linha representativa da análise, um espaço vago na altura da profundidade 250-500 hPa nos horários de formação e de intensidade máxima, mas que encontra-se preenchido no da dissipação. Apesar destas ausências, nota-se que as três previsões acompanham, mesmo em menor quantidade, o comportamento da linha referente à análise.

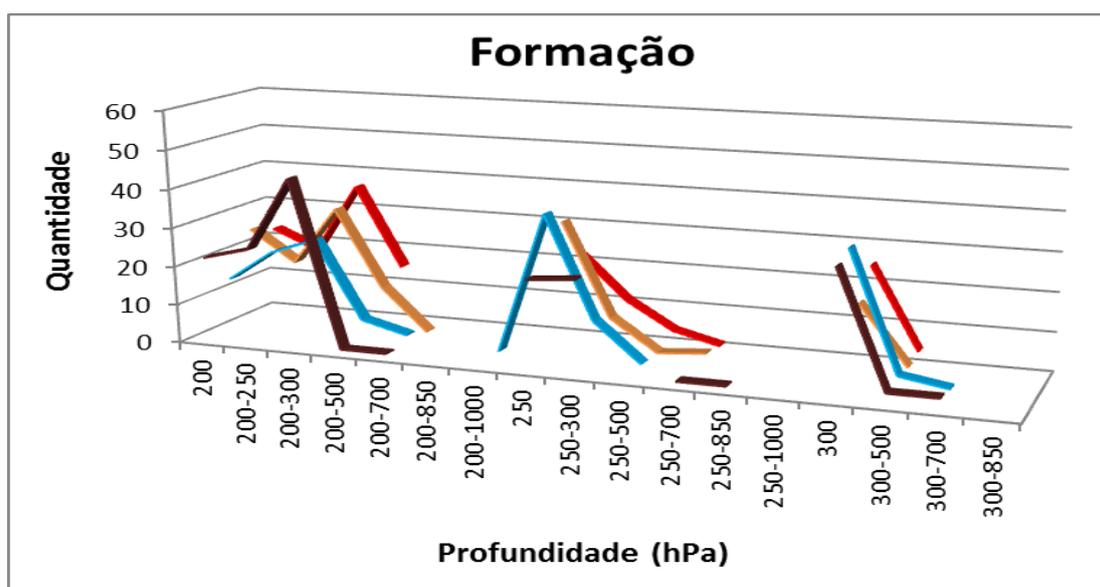


Figura 4.9 - Distribuição dos VCANs analisados e previstos com relação a sua Profundidade (níveis em hPa) e ao dia de sua formação. Linhas em marrom: análise; azul: previsão de 24h; laranja: previsão de 48h; vermelho: previsão de 72h.

Tabela 4.6 - Quantidade de VCANs com Formação nas profundidades relacionadas.

Profundidade (hPa)	Análise	Previsão 24h	Previsão 48h	Previsão 72h
200	22	14	25	23
200-250	25	22	17	18
200-300	44	26	32	36
200-500	1	6	12	15
200-700	1	3	1	
200-850				
200-1000		1		
250	23	37	33	22
250-300	24	11	9	11
250-500		1	1	4
250-700	1		2	1
250-850	1	1		
250-1000				
300	32	34	18	25
300-500	3	4	3	4
300-700	3	2		
300-850				
300-1000				
Total	180	162	153	159

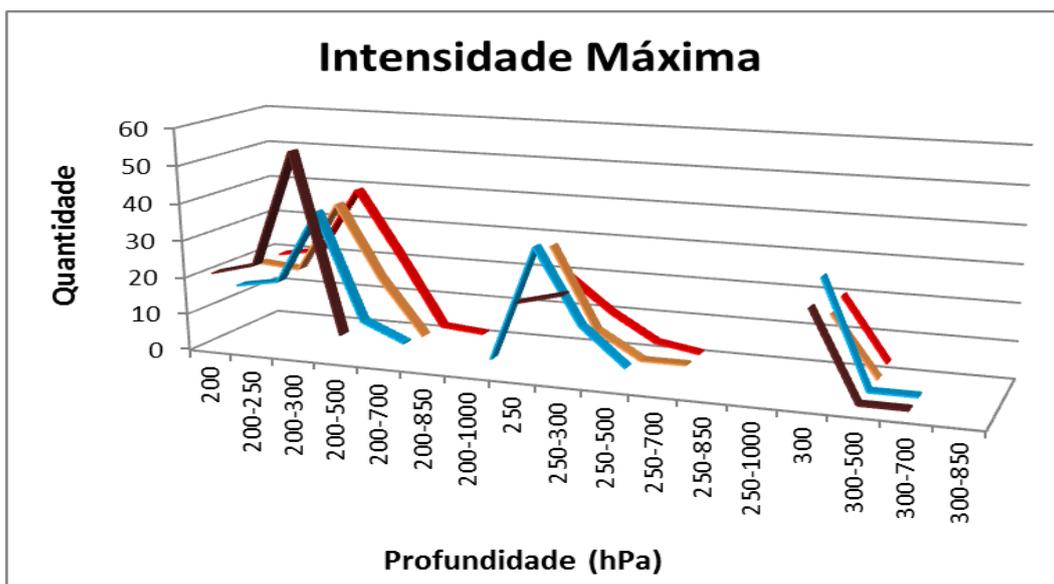


Figura 4.10 - Distribuição dos VCANs analisados e previstos com relação a sua Profundidade (níveis em hPa) e ao dia de sua intensidade máxima (s^{-1}). Linhas em marrom: análise; azul: previsão de 24h; laranja: previsão de 48h; vermelho: previsão de 72h.

Tabela 4.7 - Quantidade de VCANs com Intensidade Máxima (s^{-1}) nas profundidades relacionadas.

Profundidade (hPa)	Análise	Previsão 24h	Previsão 48h	Previsão 72h
200	21	15	19	19
200-250	24	17	18	21
200-300	55	37	37	39
200-500	7	8	17	21
200-700		3	2	2
200-850				1
200-1000		1		
250	20	32	30	19
250-300	23	12	8	10
250-500		2	1	3
250-700	1		1	1
250-850		1		
250-1000				
300	25	30	18	20
300-500	2	2	2	3
300-700	2	2		
300-850				
300-1000				
Total	180	162	153	159

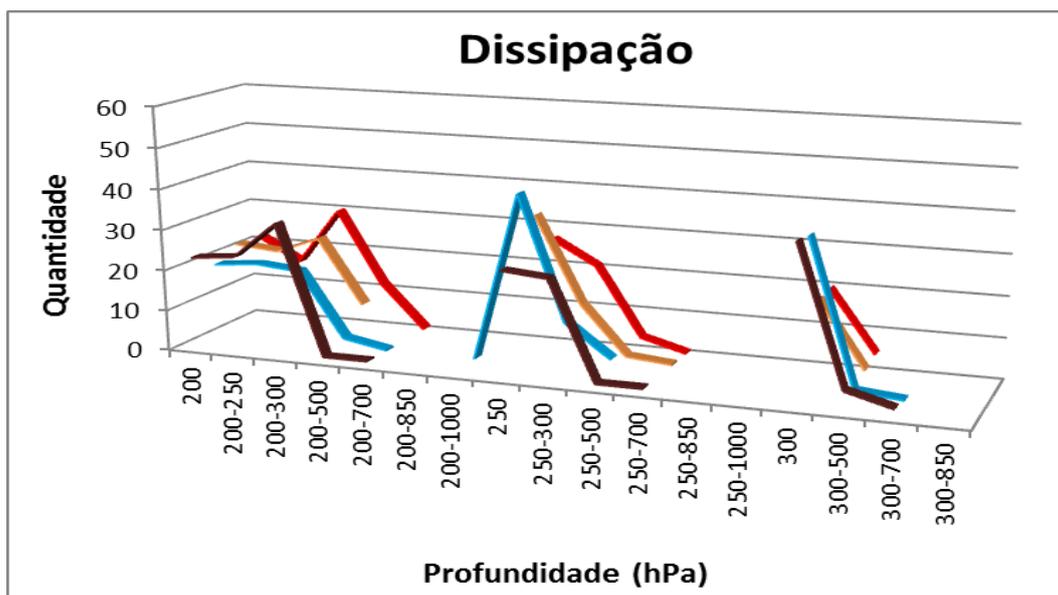


Figura 4.11 - Distribuição dos VCANs analisados e previstos com relação a sua Profundidade (níveis em hPa) e ao dia de sua dissipação. Linhas em marrom: análise; azul: previsão de 24h; laranja: previsão de 48h; vermelho: previsão de 72h.

Tabela 4.8 - Quantidade de VCANs com Dissipação nas profundidades relacionadas.

Profundidade (hPa)	Análise	Previsão 24h	Previsão 48h	Previsão 72h
200	23	19	22	22
200-250	24	20	21	16
200-300	33	19	25	30
200-500	1	3	9	12
200-700	1	1		1
200-850				
200-1000		1		
250	26	42	35	27
250-300	25	12	14	21
250-500	1	4	2	4
250-700	1		1	1
250-850		1		
250-1000				
300	38	37	20	20
300-500	5	2	4	5
300-700	2	1		
300-850				
300-1000				
Total	180	162	153	159

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como intuito contribuir com o trabalho dos meteorologistas da previsão de tempo de forma a torná-los ainda mais familiarizados com o modelo regional ETA 20Km. O objetivo principal do trabalho foi o de avaliar a destreza desse modelo em prever o tempo de vida dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis atuantes no Nordeste do Brasil e redondezas, assim como o seu deslocamento, posicionamento, intensidade e profundidade.

De acordo com os resultados alcançados, pode-se considerar que:

Tornam-se necessárias modificações no Método Objetivo desenvolvido por Coutinho (2008), para que ele se adapte a resolução horizontal dos dados de fontes distintas daquela para a qual foi proposto primeiramente, caso contrário, o Método não seria capaz de detectar os VCANs corretamente. As modificações envolveram desde a mudança no limiar da vorticidade relativa, na Etapa da seleção dos mínimos de vorticidade, passando de $-2,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ para $-5,0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, até o acréscimo de uma quinta etapa as quatro já existentes, onde é feita uma filtragem nos VCANs capturados pelo Método Objetivo. Nesta quinta etapa é tido apenas os VCANs mais arredondados e os mínimos de vorticidade negativa com circulação fechada ao redor, catalogados pelo Método.

Relacionando com os 180 VCANs analisados, o modelo ETA 20 Km tende a apresentar um percentual maior de erros nos três horários de previsão, diminuindo o tempo de vida do sistema ao atrasar suas formações e adiantar as suas dissipações, porém, nem sempre o modelo consegue prever o tempo de vida deles em sua totalidade, ou seja, muitas foram as vezes em que VCANs analisados não foram previstos e VCANs previstos não estavam presentes na análise numérica. Não houve observações sobre uma tendência de aumento desse tipo de erro com o aumento do tempo de integração.

Com relação ao posicionamento do VCAN, pode-se dizer que o modelo tende a posicioná-los mais a leste da sua posição observada nas previsões de 24 e 48h, com concentração maior a nordeste, ao passo que não é possível estimar uma tendência para as previsões de 72h.

O Eta acompanha o deslocamento dos VCANs tanto em termos de direção/sentido quanto no tempo de integração em que ocorre, porém, observou-se uma tendência do modelo em apresentar um deslocamento mais próximo ao deslocamento analisado para as previsões de 72h do que para as previsões de 48h. Sugere-se aos meteorologistas previsores darem um grau de confiabilidade maior as previsões de 72h sempre que estas aproximarem-se mais das previsões de 24h do que as previsões de 48h.

Os VCANs apresentam uma máxima inclinação de 6° tanto em longitude quanto em latitude do seu posicionamento central num nível superior com relação ao seu posicionamento num nível inferior. A partir dos 180 VCANs analisados pelo ETA, encontrou-se que eles apresentam o topo do sistema em maiores quantidades para o nível de 200, seguido do 250 e por fim, pelo de 300hPa, independente do estágio em que se encontrem (formação, intensidade máxima e/ou dissipação).

A intensidade dos VCANs é subestimada pelo modelo, e em maior grau pela previsão de 48h. Relacionando os quesitos intensidade e profundidade, nota-se que no tempo da formação, de sua intensidade máxima e da dissipação os VCANs são mais rasos do que profundos, muitos não alcançam os níveis de 700 ou 850hPa. As previsões do Eta conseguem acompanhar esses resultados, apesar de não conseguirem prever todos os 180 casos analisados.

Como sugestão para trabalhos futuros tem-se os seguintes apontamentos:

- Estender este estudo para outros modelos de previsão de tempo, como o caso dos em operação no CPTEC/INPE: Eta 15km (regional), BRAMS 5km e o T299L64 (global);

- Trabalhar com uma série temporal de dados maior, 10 anos ou mais.
- Aprimorar o método objetivo de Coutinho (2008) para que este possa detectar os VCANs em seus vários tipos de formação: desde o tipo Clássica aos Africanas I e II.
- Sugere-se, ainda, que os profissionais que trabalham no desenvolvimento do ETA tentem resolver esta questão do modelo de não apresentar um aumento do erro sistemático à medida que há aumento no tempo de integração, mas, ao contrário disto, apresentarem, muitas vezes, previsões de 72h mais acertadas do que as previsões de 48h.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ARAKAWA, A.; LAMB, V. R. Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. **Methods in Computational Physics**, v. 17, p. 173-265, 1977.

BLANCO, C. M. R.; GANDU, A. W. ; MELLO, E. N. G. S. . A atuação do vórtice ciclônico de ar superior na região Nordeste do Brasil durante o mês de janeiro de 1996: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9.,1996, Campos do Jordão (SP). **Anais...** Rio de Janeiro (RJ) : Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996. v. 1. p. 434-439

BRITO, B. M.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N.; MOLION, L. C. B.; TENÓRIO, R. S.; RODRIGUES, R. N.; DA SILVA, B. F. P. Análise do comportamento das trovoadas no Estado de Alagoas, previsão a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p. 243 – 256, 2011.

CALBETE, N. O.; GAN, M. A; SATYAMURTY, P. Vórtices ciclônicos da alta troposfera que atuam sobre a região nordeste do Brasil. **Climanálise Especial - Edição Comemorativa de 10 Anos.** Mct/Inpe/Cptec. Cap 21, 1996.

COSTA, S. B. **Balço de vorticidade e energia aplicado aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis atuantes no oceano Atlântico tropical sul e adjacências.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo, 2009.

COUTINHO, M. D. L. **Método objetivo de identificação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis na região tropical sul:** validação e climatologia. (INPE-15460 – TDI/1422) Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2008.
Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.17.12.16/doc/publicacao.pdf>> Acesso: 15 de março de 2013

DAMIÃO, M. C. ; CAVALCANTI, I. F. A. ; SILVA ARAGÃO, M. R. Padrões atmosféricos observados na pré-estação chuvosa do semi-árido do Nordeste do Brasil associados a janeiros secos e chuvosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro - RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2000. p. 866-873. CD-ROM; Papel. (INPE-11359-PRE/6796).

DEAN, G. A. **Three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brazil.** 1971. (LAFE-164). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1971.

DERECZYNSKI, C. P.; **Limites da previsibilidade sazonal da precipitação na Região Nordeste do Brasil.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

FERREIRA, N. J.; RAMÍREZ, M. V.; GAN, M. A. **Tempo e clima no brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 43 – 60.

FIGUEROA, S. N. **Estudo dos sistemas e circulação de verão sobre a América do Sul e sua simulação com modelos numéricos.** 1997. 181 p. (INPE-7121-TDI/672). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Sao Jose dos Campos, 1997. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/06.15.09.40>>. Acesso em: 11 mar. 2015.

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

_____. On the energetics of cold lows. In: SYMPOSIUM ON TROPICAL METEOROLOGY, 1970, Honolulu Hawaii. **Proceedings...** Honolulu: American Meteorological Society. EIV 1 – EIV 6, June 1970.

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, 1982. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3P8SECKy/GwAkj>>. Acesso em: 11 mar. 2015.

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.

GUARNIERI, R. A. **Emprego de redes neurais artificiais e regressão linear múltipla no refinamento das previsões de radiação solar do modelo Eta.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/teses/DISSERTACAO_RICARDO-GUARNIERI.pdf> Acesso: 29 de abril de 2013

KAYANO, M. T.; FERREIRA, N. J.; RAMÍREZ, M. C. V. Summer Circulation Patterns Related to the Upper Tropospheric Vortices over the Tropical South Atlantic. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v. 64, p. 203 – 213, 1997.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic. **Tellus**. v. 33, p. 538-553. 1981.

MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. **Rivista di Meteorologia Aeronautica**, v. 44, n.1-4, p. 195-202, 1984.

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.; 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.

MOURA, R. G.; NOGUEIRA, V. S.; ROZANTE, J. R. O Impacto da Condição de Contorno nas Previsões de Precipitação do Modelo Eta de Alta Resolução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais Eletrônicos...** Rio de Janeiro: SBMet, 2006. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/edicoes.php?cgid=14&imageField2.x=45&imageField2.y=12>> Acesso: junho de 2013.

MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. São Paulo: Editora Saraiva, 2013. p. 49-52,

PAIXÃO, E. B.; GANDU, A. W. Caracterização do vórtice ciclônico de ar superior sobre o Nordeste do Brasil (Parte I). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** p. 3422-3428. 1 CD- ROM.

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 Geophysical**. v. 32, n. 5, p. 683-695, Oct. 1951.

PIVA, E. D.; ANABOR, V. Avaliação do modelo BRAMS na formação de nevoeiro de radiação em ambiente com turbulência pouco desenvolvida. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, 417 - 430, 2008

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil**. 132p. (INPE-6408-TDI/618). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 1996. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/09.15.19.39/doc/INPE-6408-TDI-618.PDF>> Acesso: 06 de abril de 2013.

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.

RAMIREZ, M. C. V.; FERREIRA, N. J.; CAMPOS VELHO, H. F. Estudo da quantificação da precipitação sobre a região leste do estado de São Paulo: sistemas sinóticos associados e comparações com a previsão do modelo

ETA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu-PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBMet, 2002.

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

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

SAPUCCI, L. F.; MONICO, J. F. G.; MACHADO, L. A. T.; ROSA, G. P. S. Avaliação das Previsões do Atraso Zenital Troposférico para a América do Sul, Obtidas Usando Modelo de Previsão Numérica de Tempo com Alta Resolução Espacial. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Comunicações, Curitiba, v. 14, n. 4, p.592 – 605, out-dez, 2008.

SILVA, L. **A Influência do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) sobre a precipitação do Nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas.** 2005. 134 p. (INPE-14488-TDI/1169). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/10.26.11.21>>. Acesso em: 11 mar. 2015.

SILVA, L.; VALVERDE RAMÍREZ, M. C.; SATYAMURTY, P. Spacial distribution of the cyclonic vorticity in the Northeast os Brazil and adjoining ocean and its relations with the ENSO. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8., 2006, Foz do Iguaçu-PR. **Proceedings...** Foz do Iguaçu: Amer.Meteoro.Soc., 2006.

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

APÊNDICE A – REGISTRO DOS VCANs PELO MODELO REGIONAL ETA 20 KM (2008 – 2011)

Tabela A1 – Listagem dos VCANs analisados (Análise). As coordenadas referem-se ao nível do horário de formação.

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
1	01/01/08	-13.6	-44.6	200 - 300	03/01/08	23	31/05/08	-15	-29	300	31/05/08
2	04/01/08	-8.6	-47.8	200 - 250	05/01/08	24	01/06/08	-13	-30.4	200	02/06/08
3	09/01/08	-29.4	-44.2	250	09/01/08	25	10/08/08	-8	-32.8	200	10/08/08
4	12/01/08	-14.8	-27.6	200 - 300	15/01/08	26	19/08/08	-17.5	-32.2	200 - 300	22/08/08
5	17/01/08	-21.2	-43.8	300	17/01/08	27	03/09/08	-9	-51.8	200 - 300	04/09/08
6	18/01/08	-10.2	-49	200 - 250	18/01/08	28	06/09/08	-8.4	-32.2	200 - 300	07/09/08
7	19/01/08	-17.4	-34.4	200 - 250	21/01/08	29	16/10/08	-16.2	-42.4	200 - 300	20/10/08
8	21/01/08	-8.6	-41	200 - 850	12/02/08	30	25/10/08	-18.2	-28.2	200 - 300	25/10/08
9	24/01/08	-11	-34.4	200	24/01/08	31	26/10/08	-9.2	-41.4	200 - 500	29/10/08
10	13/02/08	-17.6	-34	200 - 300	17/02/08	32	01/11/08	-9.2	-41	200 - 300	10/11/08
11	18/02/08	-15	-40	250	18/02/08	33	12/11/08	-5.6	-33	250 - 300	14/11/08
12	18/02/08	-15.4	-53	300	18/02/08	34	18/11/08	-3.6	-34.4	250 - 500	21/11/08
13	19/02/08	-14.6	-51.4	200 - 250	19/02/08	35	07/12/08	-10.8	-35.8	200	08/12/08
14	20/02/08	-15.2	-34.4	300	20/02/08	36	09/12/08	-2	-29.2	250	09/12/08
15	21/02/08	-18.2	-29	200	21/02/08	37	11/12/08	-13.6	-36.8	200 - 300	21/12/08
16	23/02/08	-8	-39	200 - 250	23/02/08	38	27/12/08	-7.8	-30.4	200 - 300	02/01/09
17	06/03/08	-9.4	-32.2	200 - 250	06/03/08	39	05/01/09	-6.8	-27.2	200 - 500	14/01/09
18	14/03/08	-11	-42.6	250 - 300	15/03/08	40	14/01/09	-15.4	-31.4	200 - 300	16/01/09
19	17/03/08	-11.4	-34.4	200 - 300	20/03/08	41	14/01/09	-5	-43	250	14/01/09
20	16/04/08	-12.2	-31.2	200 - 300	20/04/08	42	16/01/09	-7	-38	200 - 300	18/01/09
21	02/05/08	-7.6	-27.8	200 - 500	05/05/08	43	18/01/09	-1.2	-41.8	200	18/01/09

22	25/05/08	-13	-55.4	300	25/05/08	44	17/01/09	-16.2	-31.6	300	17/01/09
Tabela A1 - continuação											Continua
VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MAX.	DISSIP.
45	22/01/09	-13.4	-35.8	200 - 500	25/01/09	67	05/08/09	-12.2	-58.6	250 - 300	07/08/09
46	24/01/09	-14.6	-29.4	200 - 300	31/01/09	68	08/08/09	-15	-34	200 - 300	11/08/09
47	31/01/09	-13.2	-30	200 - 300	08/02/09	69	30/08/09	-21.4	-51.4	300	30/08/09
48	06/02/09	-18.2	-30.4	200 - 300	11/02/09	70	01/09/09	-10	-56.8	300	01/09/09
49	11/02/09	0.6	-46.4	200	11/02/09	71	04/09/09	-14.4	-39.6	300	05/09/09
50	12/02/09	-26.6	-28.6	200 - 500	24/02/09	72	07/09/09	-17.6	-28.8	250 - 300	09/09/09
51	22/02/09	-19.8	-32	200 - 300	04/03/09	73	11/09/09	-12.8	-35.8	200 - 300	13/09/09
52	27/02/09	-9.8	-45	200 - 250	27/02/09	74	11/09/09	-8	-39.8	250	11/09/09
53	02/03/09	-13.2	-28.4	300	03/03/09	75	13/09/09	-1.6	-45.6	200 - 300	14/09/09
54	05/03/09	-13	-32.2	200 - 300	07/03/09	76	19/09/09	-6.4	-42.4	250 - 300	20/09/09
55	06/03/09	-14.6	-53	200 - 300	07/03/09	77	24/09/09	-1.8	-29	300	24/09/09
56	07/03/09	-14.4	-41.4	200 - 300	10/03/09	78	25/09/09	-7.7	-31	250 - 300	26/09/09
57	13/03/09	-9	-47.8	200 - 300	13/03/09	79	25/09/09	-3.7	-53	250	26/09/09
58	18/03/09	-7.5	-28	200 - 250	18/03/09	80	29/09/09	-7	-31.6	200 - 300	04/10/09
59	19/03/09	-4	-37	200 - 300	20/03/09	81	01/10/09	-7	-47.8	200 - 250	02/10/09
60	21/03/09	-3.2	-42.8	200 - 300	23/03/09	82	08/10/09	-8.6	-45.6	300	08/10/09
61	25/03/09	-1	-31	200	28/03/09	83	01/11/09	-20.4	-43.2	250 - 300	02/11/09
62	01/04/09	-18.4	-33.8	300	01/04/09	84	05/11/09	-20.6	-40.6	200 - 300	11/11/09
63	05/04/09	-4.8	-38	200 - 250	05/04/09	85	13/11/09	-13.6	-43.4	300	13/11/09
64	12/04/09	-21.2	-50.8	300	12/04/09	86	16/11/09	-3.5	-50.3	200	17/11/09
65	14/04/09	-10.6	-27.6	200 - 300	14/04/09	87	16/11/09	-4	-27.2	200 - 300	18/11/09
66	29/05/09	-15	-40	200 - 300	01/06/09	88	16/11/09	-1	-38.4	300	16/11/09

Continua

Tabela A1 - continuação

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
89	18/11/09	0.6	-58.2	200 - 300	21/11/09	113	03/05/10	-24	-31	250 - 300	04/05/10
90	20/11/09	-10.6	-31.4	200 - 300	21/11/09	114	18/06/10	-7.2	-32.5	200	18/06/10
91	26/11/09	-10	-29	250 - 300	27/11/09	115	29/06/10	-11.4	-44.4	250	29/06/10
92	01/12/09	-11.5	-25.5	200 - 700	15/12/09	116	05/07/10	-10	-45.5	200 - 300	07/07/10
93	16/12/09	-12.4	-27.2	200 - 300	19/12/09	117	29/07/10	-3.7	-52.5	200	29/07/10
94	21/12/09	-21.4	-40.6	250 - 300	23/12/09	118	29/07/10	-12.8	-45.8	250	29/07/10
95	24/12/09	-9.4	-53.4	250 - 300	27/12/09	119	25/08/10	-17	-40	300 - 500	26/08/10
96	29/12/09	-8.2	-32	200 - 500	25/01/10	120	29/08/10	-12.5	-45	200	29/08/10
97	03/01/10	-10.2	-42	200	03/01/10	121	16/09/10	-12.5	-35	200	17/09/10
98	04/01/10	-8.6	-52.6	200 - 300	05/01/10	122	04/10/10	-2	-30.2	250	04/10/10
99	04/01/10	-13.6	-52.6	200	04/01/10	123	06/10/10	-9.8	-33.2	200 - 300	06/10/10
100	29/01/10	-11.4	-30	200 - 700	12/02/10	124	01/11/10	-7.8	-27.2	200 - 300	04/11/10
101	02/02/10	-16.2	-46	200 - 300	06/02/10	125	11/11/10	-22	-28.4	300	11/11/10
102	13/02/10	-19.8	-34.2	200 - 500	25/02/10	126	30/11/10	-5.4	-33.6	200 - 300	03/12/10
103	21/02/10	-17.6	-45	200 - 500	23/02/10	127	04/12/10	-6	-56.2	250 - 300	05/12/10
104	25/02/10	-13.8	-39.6	250	25/02/10	128	06/12/10	-5	-32	200 - 250	09/12/10
105	28/02/10	-8	-32.2	200 - 300	03/03/10	129	14/12/10	-10.8	-28.4	200 - 500	23/12/10
106	05/03/10	-1	-36.4	250	05/03/10	130	22/12/10	-10.8	-27.2	200 - 300	24/12/10
107	07/03/10	-24	-47	250	10/03/10	131	28/12/10	-9.8	-29.8	300	28/12/10
108	10/03/10	-5.6	-27.2	200 - 300	13/03/10	132	02/01/11	-14.8	-27.2	250 - 850	08/01/11
109	15/03/10	-20.4	-36	250 - 300	18/03/10	133	10/01/11	-21.6	-28.4	250 - 700	10/01/11
110	20/03/10	-18	-43.4	200 - 300	20/03/10	134	13/01/11	-7.5	-29	200 - 700	24/01/11
111	21/03/10	-16.8	-31.4	200 - 300	21/03/10	135	21/01/11	-19.2	-30.2	200 - 300	22/01/11
112	23/03/10	-16.8	-31.4	200 - 500	02/04/10	136	24/01/11	-10	-54.6	200 - 300	25/01/11

Continua

Tabela A1 - Conclusão

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
137	24/01/11	-10.8	-54.4	250 - 300	26/01/11	159	06/04/11	-6.4	-27.2	200 - 300	08/04/11
138	26/01/11	-15.4	-38.2	200 - 250	28/01/11	160	10/04/11	-26.4	-50.2	300 - 700	12/04/11
139	26/01/11	-11	-27.2	250 - 300	27/01/11	161	16/04/11	-25.8	-36	200 - 300	18/04/11
140	26/01/11	-19.2	-45.8	250 - 300	26/01/11	162	19/04/11	-16.8	-44.8	250 - 300	19/04/11
141	27/01/11	-15.4	-43.6	200 - 300	29/01/11	163	14/07/11	-11.2	-40	200 - 500	17/07/11
142	27/01/11	-15.4	-48	200	27/01/11	164	16/08/11	-17.6	-50.2	200 - 300	17/08/11
143	28/01/11	-10.4	-65.8	200 - 250	29/01/11	165	09/09/11	-7.5	-54	200 - 250	10/09/11
144	29/01/11	-18.8	-46.4	250 - 300	03/02/11	166	11/09/11	-6.8	-32.2	200 - 250	13/09/11
145	04/02/11	-18	-41	200	05/02/11	167	18/09/11	-4.8	-57	200 - 300	19/09/11
146	07/02/11	-13	-43	200 - 300	14/02/11	168	12/10/11	0	-36	200 - 300	15/10/11
147	07/02/11	-18.4	-40.4	250	07/02/11	169	25/10/11	-25	-32.8	300 - 700	25/10/11
148	09/02/11	-21.2	-35.6	250	09/02/11	170	27/10/11	-21	-27.4	250 - 300	27/10/11
149	11/02/11	-8.2	-50.4	200 - 300	14/02/11	171	28/10/11	-7.6	-41	200	28/10/11
150	12/02/11	-19.8	-31.2	200 - 300	17/02/11	172	01/11/11	-2.8	-36.6	200 - 250	03/11/11
151	17/02/11	-14.8	-36.6	200 - 300	21/02/11	173	11/11/11	-16.6	-44.4	250	11/11/11
152	21/02/11	-13.2	-53.2	250 - 300	23/02/11	174	16/11/11	-8	-40.4	200 - 250	19/11/11
153	24/02/11	-14.6	-30.4	200 - 300	02/03/11	175	21/11/11	-28.4	-34.6	300 - 700	24/11/11
154	03/03/11	-13.2	-28.4	200 - 500	05/03/11	176	05/12/11	-6.7	-29	300	06/12/11
155	12/03/11	-6.2	-32.6	200 - 250	14/03/11	177	15/12/11	-4.5	-36	200 - 300	18/12/11
156	21/03/11	-12	-30	250 - 300	22/03/11	178	19/12/11	-5	-28	200 - 300	24/12/11
157	26/03/11	-17.8	-44.8	300	26/03/11	179	24/12/11	-20.4	-38.2	200 - 500	29/12/11
158	01/04/11	-8.6	-27.2	250 - 300	02/04/11	180	30/12/11	-18.6	-30	250	30/12/11

Tabela A2 – Listagem dos VCANs previstos (Previsão de 24h). As coordenadas referem-se ao nível do horário de formação.

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
1	02/01/08	-13	-43	200	04/01/08	26	22/08/08	-15.4	-44	200 - 300	22/08/08
2	03/01/08	-17.9	-35	250	03/01/08	27	28/08/08	-8.2	-57.5	200	28/08/08
3	12/01/08	-14.6	-27.4	200 - 300	16/01/08	28	03/09/08	-7.5	-56	250	03/09/08
4	20/01/08	-11.5	-32	200 - 300	24/01/08	29	06/09/08	-7.5	-34	200 - 250	07/09/08
5	26/01/08	-10	-34	300	26/01/08	30	07/09/08	1.2	-55	200 - 250	08/09/08
6	28/01/08	-8.6	-30	200 - 850	07/02/08	31	16/10/08	-11.5	-51.6	200 - 300	20/10/08
7	08/02/08	-2.2	-38.4	200 - 250	08/02/08	32	25/10/08	-17.2	-27.2	300	25/10/08
8	12/02/08	-6.6	-40.4	200 - 300	15/02/08	33	25/10/08	-11.4	-47	200 - 300	29/10/08
9	17/02/08	-10.4	-31.4	200 - 300	18/02/08	34	31/10/08	-2.6	-47.4	200 - 300	15/11/08
10	20/02/08	-15	-32	250 - 300	21/02/08	35	13/11/08	-6	-28	300	13/11/08
11	22/02/08	-10.8	-33.2	200 - 250	25/02/08	36	19/11/08	-5	-30	200 - 500	20/11/08
12	02/03/08	-1.2	-28	200 - 250	05/03/08	37	07/12/08	-9.6	-33	200 - 500	21/12/08
13	06/03/08	-8.4	-29.2	300	06/03/08	38	07/12/08	1.8	-46.6	250	08/12/08
14	07/03/08	-7.6	-32.4	200 - 250	07/03/08	39	27/12/08	-7.85	-27.2	200 - 300	03/01/09
15	14/03/08	-8.8	-39.4	200 - 250	15/03/08	40	05/01/09	-5	-27.2	200 - 300	09/01/09
16	17/03/08	-10.6	-32.2	200 - 700	20/03/08	41	10/01/09	-6.4	-42.2	200 - 300	14/01/09
17	12/04/08	-10.4	-33	250	13/04/08	42	14/01/09	-15	-31	200 - 300	17/01/09
18	17/04/08	-7	-36	200 - 300	20/04/08	43	18/01/09	-1.3	-41	200	18/01/09
19	02/05/08	-8.8	-27.8	200 - 300	04/05/08	44	21/01/09	-11.2	-29.8	200 - 300	25/01/09
20	06/05/08	-14	-31	250	07/05/08	45	24/01/09	-13.8	-30	200 - 300	31/01/09
21	01/06/08	-8.96	-31	300	03/06/08	46	31/01/09	-3.2	-53	200 - 300	06/02/09
22	06/07/08	-31.8	-31.6	250 - 1000	06/07/08	47	03/02/09	-9.5	-56	300	03/02/09
23	07/07/08	-6.78	-56	250	08/07/08	48	07/02/09	-18.2	-27.2	200 - 300	11/02/09
24	10/08/08	-7.4	-31.4	200 - 250	10/08/08	49	13/02/09	-15	-30	200 - 300	18/02/09

25 20/08/08 -9.2 -39.6 200 - 300 20/08/08 **50** 19/02/09 -11 -48.8 200 - 500 23/02/09

continua

Tabela A2 - continuação

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
51	22/02/09	-19	-32.6	200 - 300	27/02/09	76	15/10/09	-2.35	-40	250	15/10/09
52	01/03/09	-13	-52	250 - 300	03/03/09	77	05/11/09	-17.8	-32.6	250	05/11/09
53	02/03/09	-15	-28	200 - 300	06/03/09	78	06/11/09	-11	-36	200 - 300	10/11/09
54	06/03/09	-10.4	-56.2	200 - 250	07/03/09	79	12/11/09	-11.2	-41	250 - 300	13/11/09
55	06/03/09	-12.6	-41.2	250 - 300	07/03/09	80	14/11/09	2.6	-52.8	250	14/11/09
56	08/03/09	-10.8	-40.2	200 - 300	10/03/09	81	20/11/09	-8.9	-30	200 - 500	21/11/09
57	14/03/09	-7.6	-52	250	14/03/09	82	17/11/09	-0.6	-57.6	200 - 300	22/11/09
58	18/03/09	-6.8	-26	200 - 300	21/03/09	83	26/11/09	-7.8	-28	200 - 300	28/11/09
59	21/03/09	-3.2	-44.4	200 - 300	23/03/09	84	27/11/09	-6.8	-65.6	250	27/11/09
60	20/03/09	0	-40	300	20/03/09	85	30/11/09	-11.2	-27.8	200 - 500	14/12/09
61	31/03/09	-20.6	-29.2	300	31/03/09	86	16/12/09	-10	-25	200 - 500	18/12/09
62	24/06/09	-2	-48.8	200 - 250	27/06/09	87	21/12/09	-20.2	-39.2	200 - 500	25/12/09
63	31/07/09	-3.86	-53.11	300	31/07/09	88	31/12/09	-22.2	-43.2	300	31/12/09
64	03/08/09	-2.5	-55	250	03/08/09	89	30/12/09	-6.4	-31	200 - 700	26/01/10
65	05/08/09	-7.4	-63	250 - 300	06/08/09	90	28/01/10	-12.6	-27.2	200 - 300	02/02/10
66	07/09/09	-16	-28.4	300	08/09/09	91	02/02/10	-26.8	-30.2	300	02/02/10
67	12/09/09	-9.2	-37.8	200 - 250	12/09/09	92	03/02/10	-13.4	-42.5	200	03/02/10
68	14/09/09	-2.42	-54	250	14/09/09	93	04/02/10	-22	-29.2	200 - 500	11/02/10
69	24/09/09	-5.2	-27.2	300	24/09/09	94	04/02/10	-8.6	-54.6	200	04/02/10
70	25/09/09	-7.6	-28.2	200 - 250	26/09/09	95	07/02/10	-18.7	-34	300	07/02/10
71	25/09/09	-2.32	-52	250	26/09/09	96	12/02/10	-17	-37.4	200 - 500	21/02/10
72	01/10/09	-3.6	-49.8	200 - 250	01/10/09	97	22/02/10	-9.4	-53	200 - 300	25/02/10
73	02/10/09	-7	-29	200	02/10/09	98	22/02/10	-17.2	-38.8	200 - 500	25/02/10

74	03/10/09	-9	-38.2	300	03/10/09	99	28/02/10	-8.6	-29	200 - 700	02/03/10
75	13/10/09	-26.4	-28	300 - 700	13/10/09	100	10/03/10	-4.8	-27.2	200 - 300	13/03/10

continua

Tabela A2 - continuação

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
101	15/03/10	-15	-35	200 - 300	18/03/10	126	13/01/11	-8	-27.5	200 - 700	23/01/11
102	22/03/10	-15.8	-30.2	200 - 500	01/04/10	127	25/01/11	-22	-31.4	200 - 300	31/01/11
103	27/03/10	-9	-42.6	250	27/03/10	128	27/01/11	-11	-35	300	28/01/11
104	02/04/10	-10	-31	300	02/04/10	129	02/02/11	-15	-33.3	200 - 250	06/02/11
105	04/05/10	-21	-36.6	250 - 300	04/05/10	130	06/02/11	-18.6	-40.8	200 - 700	21/02/11
106	30/06/10	-15	-48	250	30/06/10	131	12/02/11	-11.7	-47	250 - 300	13/02/11
107	06/07/10	-10.4	-55.6	200 - 300	07/07/10	132	23/02/11	-15	-57.4	250	24/02/11
108	25/08/10	-16	-40	300	25/08/10	133	25/02/11	-11	-40	200 - 300	01/03/11
109	29/08/10	-10	-36	200	29/08/10	134	03/03/11	-12.6	-27.8	250 - 300	06/03/11
110	05/09/10	-16	-45	250	05/09/10	135	11/03/11	-7	-29	250	14/03/11
111	16/09/10	-13	-35	250	16/09/10	136	31/03/11	-6	-29	300	31/03/11
112	04/10/10	-2.4	-28.8	200 - 250	04/10/10	137	06/04/11	-6.4	-27.2	200 - 300	09/04/11
113	06/10/10	-8	-45	200 - 300	07/10/10	138	10/04/11	-27	-49.4	300 - 700	12/04/11
114	08/10/10	-5	-41	250	08/10/10	139	17/04/11	-21	-33.2	200 - 300	18/04/11
115	02/11/10	-4.8	-30	200 - 500	04/11/10	140	14/07/11	-11.2	-39	200 - 700	17/07/11
116	11/11/10	-21	-28	300 - 500	11/11/10	141	20/07/11	-5	-34.2	300	20/07/11
117	01/12/10	-8	-33	200 - 500	03/12/10	142	17/08/11	-12.8	-52.8	200 - 250	17/08/11
118	02/12/10	0	-42.6	300	02/12/10	143	31/08/11	-3	-54	250	01/09/11
119	04/12/10	-7.6	-54.6	300 - 500	06/12/10	144	05/09/11	-11	-52	250	05/09/11
120	06/12/10	-6	-27.5	200 - 850	06/12/10	145	09/09/11	-6	-50	200 - 250	10/09/11
121	07/12/10	-4.8	-37.5	200	08/12/10	146	11/09/11	-5	-27.2	300	12/09/11
122	14/12/10	-6.6	-29	200 - 300	22/12/10	147	12/09/11	-7.8	-55	250	12/09/11

123	03/01/11	-15	-28.8	300	03/01/11	148	12/09/11	-6.4	-30	200	13/09/11
124	05/01/11	-5.2	-31.2	200 - 300	09/01/11	149	14/09/11	-3	-44	250	14/09/11
125	10/01/11	-22	-28	250 - 700	10/01/11	150	18/09/11	-7	-56	200 - 250	19/09/11

continua

Tabela A2 - conclusão

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
151	19/10/11	-3	-27	200	20/10/11	157	23/11/11	-19.4	-30.2	300 - 500	24/11/11
152	27/10/11	-2.8	-47	200 - 250	28/10/11	158	05/12/11	-10	-30	300	06/12/11
153	01/11/11	-3.4	-40	250	01/11/11	159	10/12/11	-7	-48	300	10/12/11
154	16/11/11	-8.4	-34	200 - 250	16/11/11	160	17/12/11	-10.8	-27.8	250 - 300	18/12/11
155	16/11/11	-9	-34	300	16/11/11	161	20/12/11	-6.8	-29	250 - 300	23/12/11
156	17/11/11	-1.4	-45.8	200 - 250	20/11/11	162	24/12/11	-20	-36	200-300	30/12/11

Tabela A3 – Listagem dos VCANs previstos (Previsão de 48h). As coordenadas referem-se ao nível do horário de formação.

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
1	03/01/08	-11.4	-44.8	200 - 300	06/01/08	14	16/04/08	-6	-56	250	16/04/08
2	12/01/08	-15	-29.6	200 - 300	16/01/08	15	02/05/08	-9.4	-27.2	250	03/05/08
3	20/01/08	-11.8	-35.4	200 - 700	29/01/08	16	03/05/08	-2.2	-32	200 - 250	05/05/08
4	01/02/08	-4	-30.6	200 - 500	06/02/08	17	31/05/08	-7	-38.4	250	31/05/08
5	08/02/08	-3.2	-43.6	200 - 500	17/02/08	18	01/06/08	-10.4	-27.8	250 - 500	02/06/08
6	19/02/08	-17	-37	200	19/02/08	19	07/07/08	-8.2	-54	200 - 250	08/07/08
7	21/02/08	-17	-28.8	250	21/02/08	20	13/07/08	-3.2	-46.4	200 - 250	14/07/08
8	22/02/08	-11.6	-37	200 - 250	28/02/08	21	18/07/08	-16.4	-46.8	200 - 500	19/07/08
9	05/03/08	-3.5	-32	200 - 250	07/03/08	22	21/07/08	-11	-50	300	21/07/08
10	10/03/08	-6.2	-42	200	10/03/08	23	10/08/08	-4	-34	250	10/08/08

11	16/03/08	-12	-27.4	200 - 500	20/03/08	24	20/08/08	-13.8	-33.6	200 - 250	20/08/08
12	12/04/08	-7.7	-33	200 - 250	13/04/08	25	21/08/08	-9	-46	200 - 250	22/08/08
13	16/04/08	-9.7	-33.3	200 - 300	20/04/08	26	28/08/08	-10.2	-51.8	200	28/08/08

continua

Tabela A3 - continuação

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
27	04/09/08	-8.2	-57	200	05/09/08	52	04/03/09	-13.8	-27.6	200 - 300	07/03/09
28	06/09/08	-3.8	-34	200 - 250	07/09/08	53	07/03/09	-10.8	-40.2	200 - 300	09/03/09
29	11/10/08	-4	-46	250	12/10/08	54	15/03/09	-8	-33.3	200	15/03/09
30	15/10/08	-14	-41	200 - 300	16/10/08	55	18/03/09	-8	-25.8	200 - 300	21/03/09
31	17/10/08	-14	-58	200	17/10/08	56	03/04/09	-6.8	-31.6	250	04/04/09
32	17/10/08	-14	-43	200 - 300	20/10/08	57	14/04/09	-7.2	-30	250	14/04/09
33	25/10/08	-4.8	-46	200 - 500	29/10/08	58	29/05/09	-16	-40	200 - 300	30/05/09
34	31/10/08	-5	-40.8	200 - 500	10/11/08	59	24/06/09	-1.8	-50.6	200 - 500	27/06/09
35	02/11/08	-5	-35	300	02/11/08	60	26/07/09	-3	-43	300	26/07/09
36	15/11/08	-0.2	-39.4	200	15/11/08	61	30/07/09	-5	-36	250	31/07/09
37	20/11/08	-5.8	-27.2	300	20/11/08	62	08/08/09	-12.5	-40	200	09/08/09
38	01/12/08	-13.5	-53	200 - 300	02/12/08	63	09/08/09	-7	-45	250	11/08/09
39	07/12/08	-3.8	-30	200 - 250	08/12/08	64	30/08/09	-19	-47.6	300	30/08/09
40	12/12/08	-5.6	-34.6	200 - 500	21/12/08	65	04/09/09	-4.8	-44.4	250 - 300	04/09/09
41	28/12/08	-7.2	-30.2	200 - 500	04/01/09	66	05/09/09	-15.6	-34.6	300	05/09/09
42	06/01/09	-8.2	-28	200 - 300	14/01/09	67	12/09/09	-13.4	-35.6	300	13/09/09
43	14/01/09	-16	-30	250	14/01/09	68	11/09/09	0	-45	200	12/09/09
44	15/01/09	-10	-40	200 - 300	18/01/09	69	24/09/09	-8	-27.2	200 - 300	26/09/09
45	20/01/09	-12.6	-29	200 - 500	25/01/09	70	30/09/09	-5.3	-43.2	200 - 300	01/10/09
46	22/01/09	-7	-33	300	22/01/09	71	01/10/09	-7.8	-28.8	200 - 300	04/10/09

47	24/01/09	-15	-27.2	200 - 300	01/02/09	72	02/10/09	-6.4	-52.8	250	02/10/09
48	01/02/09	-10	-39.8	200 - 300	11/02/09	73	16/10/09	-3	-36	300 - 500	16/10/09
49	11/02/09	-13	-29.2	250	11/02/09	74	05/11/09	-19	-37.6	300 - 850	08/11/09
50	13/02/09	-18.9	-27	200 - 500	23/02/09	75	12/11/09	-7	-45.2	250	13/11/09
51	22/02/09	-18.4	-33.8	200 - 500	01/03/09	76	16/11/09	0	-47	200 - 250	19/11/09

continua

Tabela A3 - continuação

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
77	20/11/09	-10	-29	200 - 500	22/11/09	102	02/09/10	-4	-50	250	02/09/10
78	28/11/09	-13	-29	200 - 300	28/11/09	103	03/10/10	-1.8	-56	250	03/10/10
79	30/11/09	-11.2	-27.2	200 - 700	14/12/09	104	03/10/10	-2	-36	250	03/10/10
80	17/12/09	-11.8	-27.3	200 - 500	18/12/09	105	11/10/10	-6	-46	250 - 300	11/10/10
81	21/12/09	-16.4	-45.6	200 - 500	24/12/09	106	15/10/10	-1.6	-42.6	300	15/10/10
82	30/12/09	-3.9	-30	200 - 850	02/02/10	107	02/11/10	-3	-27.2	200 - 500	04/11/10
83	02/02/10	-15.2	-44.4	200 - 500	03/02/10	108	11/11/10	-23.2	-28	250 - 700	11/11/10
84	04/02/10	-17.2	-36	250 - 300	05/02/10	109	01/12/10	-8.2	-34.4	200 - 300	04/12/10
85	05/02/10	-12.8	-41.8	200 - 700	21/02/10	110	06/12/10	-5.6	-27.8	200 - 300	08/12/10
86	05/02/10	-14.2	-43.4	250 - 300	05/02/10	111	14/12/10	-10	-25.8	200 - 700	22/12/10
87	08/02/10	-7.4	-57.8	250	08/02/10	112	24/12/10	-9	-42	250	24/12/10
88	22/02/10	-15.8	-43.2	200 - 500	25/02/10	113	05/01/11	-3	-30	250 - 300	09/01/11
89	23/02/10	-9	-54	200 - 300	24/02/10	114	09/01/11	-22.8	-25.5	200 - 500	10/01/11
90	01/03/10	-10.6	-27.8	200 - 300	02/03/10	115	14/01/11	-7.2	-29.4	200 - 700	29/01/11
91	10/03/10	-7.4	-27.2	200 - 300	17/03/10	116	21/01/11	-21.6	-27.2	250 - 300	21/01/11
92	23/03/10	-15.4	-29.2	200 - 500	29/03/10	117	27/01/11	-6.8	-72.4	300	27/01/11
93	31/03/10	-12.8	-32.6	200 - 250	01/04/10	118	28/01/11	-27.2	-48.6	300	28/01/11
94	04/05/10	-19	-40	300	04/05/10	119	27/01/11	-14.4	-36	200 - 250	29/01/11
95	15/05/10	-11	-45	250	15/05/10	120	30/01/11	-9	-35.8	250	30/01/11

96	29/06/10	-10	-45	250	30/06/10	121	28/01/11	-17.8	-38.2	200	28/01/11
97	05/07/10	-12.4	-45.2	200	05/07/10	122	01/02/11	-7	-39	200 - 250	02/02/11
98	06/07/10	-7.8	-54.8	200 - 300	07/07/10	123	05/02/11	-25	-36	250	05/02/11
99	08/07/10	-9.6	-40	200 - 300	10/07/10	124	04/02/11	-14.6	-42.4	200 - 500	21/02/11
100	29/08/10	-10	-43	200 - 500	29/08/10	125	12/02/11	-8.6	-51	200 - 300	12/02/11
101	05/10/10	-2.2	-55.2	200	05/10/10	126	13/02/11	-16.1	-25.8	200 - 500	14/02/11

continua

Tabela A3 - conclusão

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
127	21/02/11	-15	-33.2	200	22/02/11	141	09/09/11	-7.4	-45.9	200 - 250	10/09/11
128	25/2/11	-7.4	-32.4	200 - 700	4/3/11	142	12/09/11	-8.4	-29.6	200 - 300	15/09/11
129	07/03/11	-6.6	-39.1	250	07/03/11	143	26/09/11	-4	-45	250	26/09/11
130	12/03/11	-6	-29	250	13/03/11	144	25/10/11	-8.9	-40	200 - 250	25/10/11
131	25/03/11	-24.6	-30	300	25/03/11	145	25/10/11	-4	-34	250	28/10/11
132	26/03/11	-12	-42	200	26/03/11	146	03/11/11	-3.8	-35	200 - 300	03/11/11
133	30/03/11	-7.2	-31	200 - 250	01/04/11	147	03/11/11	-4.5	-46	300	03/11/11
134	05/04/11	-7	-28.4	200 - 300	10/04/11	148	16/11/11	-5	-37	200 - 250	17/11/11
135	17/04/11	-24	-34.6	250 - 700	19/04/11	149	19/11/11	-3	-37	250 - 300	19/11/11
136	18/04/11	-14.2	-43.4	200 - 300	19/04/11	150	23/11/11	-20	-25.5	200 - 250	24/11/11
137	14/07/11	-11.8	-37.2	200 - 500	17/07/11	151	09/12/11	-3	-45	250	11/12/11
138	17/08/11	-14.4	-51.2	200 - 300	17/08/11	152	18/12/11	-10	-28.7	200 - 700	29/12/11
139	25/08/11	-5.6	-28.6	200 - 300	25/08/11	153	30/12/11	-15	-25.5	200	30/12/11
140	01/09/11	0	-55	250	01/09/11						

Tabela A4 – Listagem dos VCANs previstos (Previsão de 72h). As coordenadas referem-se ao nível do horário de formação.

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
1	04/01/08	-11.2	-42.4	250 - 300	04/01/08	8	08/02/08	-8	-44	200 - 300	10/02/08
2	06/01/08	-6.2	-57	200	06/01/08	9	11/02/08	-8.6	-39.6	200 - 300	12/02/08
3	12/01/08	-15.8	-27.2	200 - 500	15/01/08	10	14/02/08	-12.8	-43.2	200 - 500	16/02/08
4	16/01/08	-21	-45.4	300 - 500	16/01/08	11	16/02/08	-15	-27.2	200 - 500	16/02/08
5	19/01/08	-10.8	-41	200 - 500	30/01/08	12	21/02/08	-17.4	-30.4	200 - 250	21/02/08
6	02/02/08	-3.6	-30	250 - 300	06/02/08	13	21/02/08	-7.2	-30	200 - 250	25/02/08
7	07/02/08	4	-28	300	07/02/08	14	05/03/08	-10.6	-31.6	200 - 300	06/03/08

Tabela A4 - continuação

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
15	10/03/08	-26.6	-33.4	250	11/03/08	40	19/10/08	-10	-35.8	200 - 500	20/10/08
16	17/03/08	-12	-36.8	200 - 850	20/03/08	41	25/10/08	-7.6	-42.6	200 - 500	30/10/08
17	16/04/08	-13	-35	200 - 500	21/04/08	42	31/10/08	-6.8	-45	200 - 500	14/11/08
18	03/05/08	-5	-32.2	200 - 500	04/05/08	43	02/12/08	-10	-54	200 - 250	02/12/08
19	22/05/08	-13	-51	300	22/05/08	44	07/12/08	-7.8	-32.5	200 - 300	09/12/08
20	24/05/08	-17	-50	300	24/05/08	45	12/12/08	-6.8	-39.2	200 - 300	21/12/08
21	02/06/08	-10	-27.2	300	02/06/08	46	27/12/08	-11.6	-27.2	200 - 300	03/01/09
22	21/07/08	-8	-51	300	21/07/08	47	07/01/09	-8.2	-31.2	200 - 500	15/01/09
23	31/07/08	-6	-41.6	250 - 300	31/07/08	48	14/01/09	-14	-30	250	14/01/09
24	10/08/08	-7.4	-30.6	250	10/08/08	49	15/01/09	-2	-60	200 - 300	18/01/09
25	21/08/08	-12.6	-37	200 - 250	21/08/08	50	21/01/09	-12.4	-30.2	200 - 300	22/01/09
26	22/08/08	-12.6	-49	200 - 250	22/08/08	51	23/01/09	-8.5	-41	200 - 300	23/01/09
27	22/08/08	-11.8	-48.8	300	22/08/08	52	27/01/09	-7.4	-30.8	200 - 300	29/01/09
28	23/08/08	-17.6	-44.8	300 - 500	23/08/08	53	30/01/09	-4.2	-42	200 - 300	01/02/09
29	28/08/08	-9.2	-53.6	200	29/08/08	54	01/02/09	-12	-46	250 - 500	06/02/09
30	29/08/08	-14	-53	300	29/08/08	55	06/02/09	-17.6	-25.8	200 - 300	09/02/09
31	03/09/08	-5.2	-55.8	200 - 300	03/09/08	56	07/02/09	-17.8	-29.8	250	07/02/09

32	07/09/08	-1.8	-53.6	200 - 250	08/09/08	57	09/02/09	-9.2	-42.2	200 - 300	11/02/09
33	07/09/08	-12.4	-30.8	250 - 300	07/09/08	58	13/02/09	-13.4	-32.2	200 - 500	21/02/09
34	08/09/08	-15.2	-34.4	200	08/09/08	59	22/02/09	-11.2	-60	250 - 300	22/02/09
35	08/09/08	-15	-46	250 - 300	08/09/08	60	23/02/09	-20.2	-34.2	200 - 500	23/02/09
36	12/09/08	-7	-51	250	12/09/08	61	24/02/09	-13.4	-44	200 - 300	28/02/09
37	23/09/08	0	-44	250	23/09/08	62	24/02/09	-20.4	-34.2	250 - 300	24/02/09
38	14/10/08	-16	-50	200 - 300	18/10/08	63	06/03/09	-15	-36	200 - 300	07/03/09
39	16/10/08	-12.2	-48.2	250	16/10/08	64	08/03/09	-16	-40	200 - 300	10/03/09

continua

Tabela A4 - continuação

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
65	18/03/09	-4.2	-27.6	200	18/03/09	90	16/12/09	-11	-29	200 - 300	18/12/09
66	20/03/09	-6.4	-38.6	250 - 300	22/03/09	91	21/12/09	-23.4	-33.6	200 - 500	21/12/09
67	03/04/09	-7	-31.4	200 - 250	03/04/09	92	22/12/09	-15.6	-44.2	200 - 500	23/12/09
68	14/04/09	-10	-29	300	14/04/09	93	24/12/09	-11	-55	200 - 300	24/12/09
69	28/05/09	-15	-42.8	200 - 500	31/05/09	94	31/12/09	-7.4	-27.2	200 - 700	04/01/10
70	26/06/09	-3.2	-55.6	200 - 250	28/06/09	95	04/01/10	-7	-36	200 - 700	02/02/10
71	23/07/09	-3.4	-35	300	25/07/09	96	05/01/10	-2.4	-53.6	250	05/01/10
72	03/08/09	-1	-29	300	04/08/09	97	02/02/10	-12.8	-50	200 - 500	20/02/10
73	08/08/09	-12	-40	250 - 300	08/08/09	98	08/02/10	-18.4	-27.4	250	08/02/10
74	09/08/09	-10.4	-36.4	200 - 300	11/08/09	99	12/02/10	-15	-27.2	300	12/02/10
75	04/09/09	-8	-41.3	200 - 300	05/09/09	100	22/02/10	-13.4	-45.4	200 - 500	26/02/10
76	13/09/09	-15	-40	250 - 700	13/09/09	101	22/02/10	-20.6	-40	250 - 500	22/02/10
77	20/09/09	-3	-56	250	21/09/09	102	24/02/10	-8	-60	250	24/02/10
78	23/09/09	-3	-47	200 - 250	25/09/09	103	02/03/10	-13	-29	250 - 300	02/03/10
79	25/09/09	-9	-28	200 - 300	26/09/09	104	10/03/10	-8.8	-27.2	200 - 300	14/03/10
80	26/09/09	-0.7	-45	200 - 250	26/09/09	105	15/03/10	-8.8	-41	200 - 300	18/03/10

81	28/09/09	-2.5	-35.1	200	29/09/09	106	20/03/10	-17.2	-41.8	200 - 500	20/03/10
82	30/09/09	-4.8	-53.2	250 - 300	02/10/09	107	23/03/10	-21	-31	200 - 500	29/03/10
83	01/10/09	-2.6	-57.6	200	01/10/09	108	01/04/10	-17	-28.4	200	02/04/10
84	03/10/09	-10	-47.2	200 - 300	04/10/09	109	06/04/10	-5.2	-40.2	200	06/04/10
85	05/11/09	-12	-44	200 - 500	10/11/09	110	24/06/10	-13	-29	250	24/06/10
86	14/11/09	-4.8	-27.2	300	14/11/09	111	30/06/10	-12	-46	200	30/06/10
87	19/11/09	-3.4	-48.8	200	19/11/09	112	06/07/10	-10	-53.8	200 - 300	07/07/10
88	20/11/09	-12	-30.2	250 - 500	20/11/09	113	08/07/10	-13.2	-41	200 - 300	11/07/10
89	29/11/09	-10	-29	200 - 700	15/12/09	114	29/08/10	-9	-40	200 - 250	30/08/10

continua

Tabela A4 - conclusão

VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.	VCAN	FORM.	LAT.	LON.	PROF. MÁX.	DISSIP.
115	08/10/10	-3	-42	200 - 250	12/10/10	138	26/02/11	-9	-32.8	200 - 300	02/03/11
116	10/10/10	-7.2	-27.2	250	10/10/10	139	03/03/11	-13	-29	300	03/03/11
117	12/10/10	-9.2	-37.2	250	12/10/10	140	04/03/11	-7	-34.6	200	04/03/11
118	02/11/10	-1.6	-34.2	200 - 300	05/11/10	141	10/03/11	-6.2	-29	300	10/03/11
119	11/11/10	-17	-33	300 - 500	11/11/10	142	13/03/11	-6.7	-30	200 - 250	13/03/11
120	01/12/10	-6	-36	200 - 300	03/12/10	143	04/04/11	-11	-29	200 - 500	11/04/11
121	04/12/10	-6.2	-52.6	200 - 300	04/12/10	144	17/04/11	-13.2	-42.6	200 - 300	19/04/11
122	14/12/10	-10	-31	200 - 500	22/12/10	145	17/04/11	-21.8	-36.4	300	17/04/11
123	23/12/10	-2.2	-29.4	200 - 300	24/12/10	146	14/07/11	-12	-38.2	200 - 500	17/07/11
124	04/01/11	-4.6	-29	200 - 300	08/01/11	147	16/08/11	-16	-54	200 - 300	19/08/11
125	09/01/11	-4.6	-52.2	200 - 500	09/01/11	148	25/08/11	-5	-29.2	200	26/08/11
126	10/01/11	-19	-29	200 - 500	11/01/11	149	05/09/11	-10	-50	250	05/09/11
127	14/01/11	-10.8	-28.4	200 - 700	01/02/11	150	09/09/11	-4.7	-50	200	09/09/11
128	21/01/11	-22.2	-28	250 - 300	21/01/11	151	12/09/11	-5.6	-27.4	200 - 300	13/09/11
129	23/01/11	-14.4	-30.6	200 - 250	23/01/11	152	14/09/11	-6	-43	200 - 250	14/09/11

130	28/01/11	-9	-31	200	28/01/11	153	06/10/11	-4	-45	300	06/10/11
131	28/01/11	-13	-50	200 - 300	28/01/11	154	26/10/11	-8	-42.2	200 - 500	29/10/11
132	02/02/11	-26	-37.6	200 - 300	03/02/11	155	19/11/11	-2.6	-38	200 - 500	20/11/11
133	04/02/11	-10	-46	200 - 500	10/02/11	156	23/11/11	-26.6	-29.6	250	24/11/11
134	11/02/11	-9.6	-48.4	200 - 700	17/02/11	157	10/12/11	0	-46.6	200	11/12/11
135	14/02/11	-17.8	-32.2	250 - 500	14/02/11	158	18/12/11	-7	-28.2	200 - 300	22/12/11
136	18/02/11	-8.8	-34.8	200 - 700	22/02/11	159	24/12/11	-21	-38.4	200 - 300	30/12/11
137	18/02/11	-9	-36	300 - 500	18/02/11						
