



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE: ESTUDO DE CASOS QUE
AFETARAM A COSTA LESTE DO NEB

VANESSA PEREIRA DA SILVA

Campina Grande – PB

Abril de 2011

VANESSA PEREIRA DA SILVA

**ESTUDO DE CASO SOBRE DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE
QUE AFETARAM A COSTA LESTE DO NEB.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Sub-área: Sinótica/Dinâmica da Atmosfera

Orientador: Prof. Dr. Enilson Palmeira Calvacanti

Campina Grande – PB

Abril de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S586e Silva, Vanessa Pereira da.
Estudo de Caso sobre Distúrbios Ondulatórios de Leste que Afetaram a Costa Leste do NEB / Vanessa Pereira da Silva. — Campina Grande, 2011.
73 f.: il. ; col.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti.

Referências.

1. Distúrbios Ondulatórios de Leste. 2. Índice de Instabilidade K. 3. Vorticidade. I. Título.

CDU 551.51 (043)

VANESSA PEREIRA DA SILVA

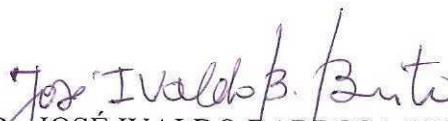
DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE: ESTUDO DE CASOS QUE
AFETARAM A COSTA LESTE DO NEB

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/08/2010

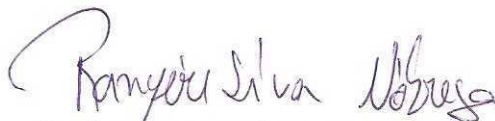
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. RANYÉRE SILVA NÓBREGA
Departamento de Ciências Geográficas
Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico a minha família e amigos pelo o apoio, cumplicidade e amor dedicados a mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as benções que me propôs, e pela oportunidade de alcançar mais uma conquista em minha vida.

A minha avó Corina Izidoro da Silva por ter me incentivado a sempre vencer na vida através dos estudos.

Ao meu avô Fernando Pereira da Silva pelo apoio e amor.

A minha mãe Vera Lúcia Pereira da Silva pela dedicação e garra que sempre luta por mim.

Ao meu esposo João Paulo Marques Dias Alves pela paciência e carinho a mim dedicado.

Agradeço ao Dr. Enilson Palmeira Calvacanti pela orientação, paciência e apoio incondicional na realização desse trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pela colaboração na melhoria e engrandecimento deste trabalho.

Aos meus amigos Ana Roberta, Ana Raquel, Edna, Edilene, Eliângela, Aldinete, Cícera, Washington, Elisângela, Filipe, obrigada pelos momentos vividos, experiência compartilhada e o companheirismos que foram fundamentais durante esses últimos anos.

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, pela oportunidade de realizar este curso.

Aos professores, cujo empenho em transmitir conhecimento de forma clara facilitou bastante meu aprendizado ao longo do curso.

Aos funcionários da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, em particular a Divanete e Rita, que se mostraram sempre dispostas a ajudar quando precisei.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pelo suporte financeiro.

Em fim, muitas foram às pessoas que me ajudaram, direta e indiretamente, na realização deste trabalho, citar todas aqui não seria possível, porém deixo aqui registrada a minha profunda gratidão a todas elas.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS | ii |
| LISTA DE TABELAS | vii |
| RESUMO | viii |
| ABSTRACT | ix |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVO | 2 |
| 2.1 Objetivo Geral | 2 |
| 2.2. Objetivos Específicos | 2 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 10 |
| 4.1. Caracterização da área estudada | 10 |
| 4.2. Dados | 11 |
| 4.3.. Aplicativo GrADS | 12 |
| 4.4. Metodologia | 13 |
| 4.4.1. Identificação de Eventos de (DOLs) | 14 |
| 4.4.2. Linhas de Correntes e Magnitude | 14 |
| 4.4.3. Vorticidade Relativa e Divergência Horizontal | 15 |
| 4.4.3.1. Vorticidade Relativa | 15 |
| 4.4.3.2. Divergência Horizontal | 15 |
| 4.4.4. Índices de Instabilidade K..... | 15 |
| | |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 17 |
| 5.1. Análise do evento de DOLs que ocorreu em maio do 2005..... | 17 |
| 5.2. Análise do evento de DOLs que ocorreu em junho do 2006..... | 27 |
| 5.3. Análise do evento de DOLs que ocorreu em junho do 2007..... | 36 |
| 5.4. Análise dos eventos de DOLs que ocorreram em maio do 2008..... | 46 |
| 5.5. Identificação dos DOLs através da componente meridional do vento..... | 60 |
| | |
| 6. CONCLUSÃO | 68 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 70 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| FIGURA 1 – | Região Nordeste com a parte leste destacada pela linha que atravessa os Estado do Rio Grande do Norte até o Estado da Bahia. FONTE: (Adaptado de http://www.mundoeducacao.com.br/geografia/o-nordeste-as-subregioes.htm) | 11 |
| FIGURA 2 – | Precipitação diária acumulada em (mm) para o mês de maio do ano de 2005 para as capitais Maceió, Recife, João Pessoa e Natal | 17 |
| FIGURA 3 – | Imagens do satélite meteorológico GOES no canal infravermelho para o dia 15 de maio de 2005. Fonte: (Torres, 2008) | 18 |
| FIGURA 4 – | Imagens do satélite meteorológico GOES no canal infravermelho para o dia 16 de maio de 2005. Fonte: (Torres, 2008) | 18 |
| FIGURA 5 – | Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 15 de maio de 2005 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 19 |
| FIGURA 6 – | Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 16 de maio de 2005 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 20 |
| FIGURA 7 – | Índice K, acima do valor de referência para ocorrência de tempestade (K=25), para o mês de maio do ano de 2005 fixado nas latitudes: (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 21 |
| FIGURA 8 – | Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de maio de 2008 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S | 23 |
| FIGURA 9 – | Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de maio de 2008 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S | 24 |
| FIGURA 10 – | Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de maio de 2005 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S | 25 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 11 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de maio de 2005 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S | 26 |
| FIGURA 12 – Precipitação diária acumulada em (mm) para o mês de junho do ano de 2006 para as capitais Maceió, Recife, João Pessoa e Natal | 27 |
| FIGURA 13 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 20 de junho de 2006. Fonte: (Torres, 2008) | 28 |
| FIGURA 14 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 21 de junho de 2006. Fonte: (Torres, 2008) | 28 |
| FIGURA 15 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 20 de junho de 2006 sendo (no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 29 |
| FIGURA 16 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 21 de junho de 2006 sendo (no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 30 |
| FIGURA 17 – Índice K para o mês de julho do ano de 2006 para as seguintes latitudes: (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 31 |
| FIGURA 18 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de junho de 2006 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S | 32 |
| FIGURA 19 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de junho de 2006 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S | 33 |
| FIGURA 20 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de junho de 2006 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S | 34 |
| FIGURA 21 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de junho de 2006 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S | 35 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 22 – Precipitação diária acumulada em (mm) para o mês de maio do ano de 2007 para as capitais Recife, João Pessoa e Natal | 36 |
| FIGURA 23 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 16 de junho de 2007 | 37 |
| FIGURA 24 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 17 de junho de 2007 | 38 |
| FIGURA 25 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 16 de junho de 2007 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 39 |
| FIGURA 26 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 17 de junho de 2007 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 40 |
| FIGURA 27 – Índice K para o mês de junho do ano de 2007 para as seguintes latitudes: (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 41 |
| FIGURA 28 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (cyclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de junho de 2007 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S..... | 42 |
| FIGURA 29 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de junho de 2007 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 43 |
| FIGURA 30 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (cyclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de junho de 2007 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 44 |
| FIGURA 31 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de junho de 2007 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 45 |
| FIGURA 32 – Precipitação diária acumulada em (mm) para o mês de maio do ano de 2008 para as capitais Maceió, Recife, João Pessoa e Natal | 46 |
| FIGURA 33 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 16 de maio de 2008 | 47 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 34 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para os dias 16 e 17 de maio de 2008 | 48 |
| FIGURA 35 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 27 de maio de 2008 | 49 |
| FIGURA 36 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 16 de maio de 2008 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 50 |
| FIGURA 37 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 17 de maio de 2008 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 51 |
| FIGURA 38 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 26 de maio de 2008 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 52 |
| FIGURA 39 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 27 de maio de 2008 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa | 53 |
| FIGURA 40 – Índice K para o mês de maio do ano de 2008 para as seguintes latitudes: (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 54 |
| FIGURA 41 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de maio de 2008 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 56 |
| FIGURA 42 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de maio de 2008 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 57 |
| FIGURA 43 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de maio de 2008 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 58 |
| FIGURA 44 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de maio de 2008 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S | 59 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 45 – Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (m/s) no nível de 700 hPa para latitude de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S. Os valores plotados são valores positivo, para o mês de maio de 2005. As linhas destacadas que unem as isolinhas de zero indicam a propagação das ondas | 61 |
| FIGURA 46 – Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (m/s) no nível de 700 hPa para latitude de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S. Os valores plotados são valores positivo, para o mês de junho de 2006. As linhas destacadas que unem as isolinhas de zero indicam a propagação das ondas | 62 |
| FIGURA 47 – Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (m/s) no nível de 700 hPa para latitude de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S. Os valores plotados são valores positivo, para o mês de junho de 2007. As linhas destacadas que unem as isolinhas de zero indicam a propagação das ondas | 63 |
| FIGURA 48 – Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (m/s) no nível de 700 hPa para latitude de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S. Os valores plotados são valores positivo, para o mês de junho de 2007. As linhas destacadas que unem as isolinhas de zero indicam a propagação das ondas | 64 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 – Probabilidade de ocorrência de tempestades em função do índice K ... | 16 |
| TABELA 2 – Velocidade da onda e data de passagem da crista na longitude de 35° W para os anos de 2005 e 2006 | 65 |
| TABELA 3 – Velocidade da onda e data de passagem da crista na longitude de 35° W para os anos de 2007 e 2008 | 66 |
| TABELA 4 – Parâmetros médios dos DOLs os meses de maio a agosto de 2005 a 2008 | 67 |

RESUMO

Neste trabalho foram analisados eventos de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) que atingiram a costa leste do Nordeste Brasileiro durante os meses de maio, junho, julho e agosto dos anos de 2005 a 2008. Utilizou-se dados de Reanálises do *National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmosphere Research (NCEP-NCAR)* para encontrar valores do índice de instabilidade K, além da vorticidade relativa e divergência para identificar os seus comportamentos durante a passagem dos distúrbios. Os resultados revelaram que os DOLs estão associados a uma elevada precipitação na costa leste do Nordeste, pois nos cinco casos analisados a precipitação superou os 80 mm e que a vorticidade relativa foi negativa (ciclônica), nos baixos e médios níveis caracterizando que há movimentos ascendentes na atmosfera. Observou-se que o Índice K durante todos os meses dos cinco casos de DOLs indicam uma atmosfera extremamente instável e que nos dias dos eventos os valores do índice foram superiores a 30° C (30 K), valor este que pode indicar uma probabilidade de 60 a 80 % de ocorrência de chuva. Foi concluído que os DOLs identificados a partir dos Diagramas Hovmöller da componente meridional do vento apresentam padrões ondulatórios nos meses investigados. Os DOLs apresentaram, em média, período em torno de 3 dias, velocidade de propagação de aproximadamente 10 m/s e comprimento de onda de 3227 km.

Palavras chaves: Distúrbios Ondulatórios de Leste, Índice de Instabilidade K, Vorticidade

ABSTRACT

In this study, we analyzed events Easterly Waves Disturbances (EWDs) that reached the coast of Northeastern Brazil during the months of May, June, July and August of the years 2005-2008. We used data from Reanalysis of the National Centers for Environmental Prediction - National Center for Atmosphere Research (NCEP-NCAR) to find values of the instability index K, and the relative vorticity and divergence to identify their behavior during the passage of the disturbances. The results revealed that EWDs are associated with a high precipitation on the east coast of the Northeast, in the five cases examined rainfall exceeded 80 mm and it was negative relative vorticity (cyclonic) in low and middle levels there are upward movements characterizing in the atmosphere. It was observed that the K index for all months of the five cases EWDs indicate an extremely unstable atmosphere and events in the days of the index values were above 30°C (30 K), a value that may indicate a likelihood of 60 to 80% of rainfall events. It was concluded that the EWDs identified from the diagrams Hovmöller meridional wind show wave patterns in the months investigated. The EWDs showed an average period of about three days, propagation speed of about 10 m / s and a wavelength of 3227 km.

Keywords: Easterly Waves Disturbances, instability index K, Vorticity

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera Global sofre diariamente transformações em sua estrutura, não sendo diferente na região Nordeste do Brasil (NEB). Região esta influenciada por vários sistemas dentre muitos os principais são Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Distúrbios Ondulatórios de Leste, Sistemas Frontais, Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, Linhas de Instabilidade.

A região entre altas subtropicais e a ZCIT, caracterizada por ventos fortes e constantes, é denominado de ventos alísios. Na camada mais baixa dos ventos alísios o ar é geralmente úmido e a temperatura é governada pela trocas de calor entre a interface oceano-atmosfera. Já a camada acima dessa é chamada de camada de Inversão dos Alísios na qual a temperatura diminui com a altura até a tropopausa. Os alísios são relacionados a condições de tempo estável, porém em algumas regiões dos trópicos esta situação de estabilidade atmosférica é interrompida por distúrbios. Tais distúrbios são caracterizados pelo deslocamento em sentido oeste e apresentarem configurações ondulatórias no campo do vento e da pressão, conhecidos por Distúrbios Ondulatórios de Leste, (JUNIOR, et al., 2006).

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) são sistemas de escala sinótica que ocorrem na baixa Troposfera Tropical. Os DOLs que se formam na região do Oceano Atlântico Sul deslocam-se para oeste e se intensificam a medida que se aproxima da costa leste do NEB, (CHOU, 1990). Esses distúrbios possuem oscilações com periodicidade de 3 a 9 dias, comprimento de onda de 3200 a 6200 Km e uma velocidade de propagação de 10 a 15 m/s (BURPEE, 1972; DE FELICE et al., 1993; MEKONNEN, et al., 2006; ALVES et al., 2008). Os DOLs, também denominados de Ondas Tropicais, Ondas Africanas, Distúrbios nos ventos de Leste, Distúrbios de Leste, Ondas nos ventos de Leste, Perturbações Ondulatórias no Campo dos Ventos Alísios e Ondas de Leste (INNOCENTINI et al., 2005; RODRIGUES, et al., 2006; COUTINHO e FISCHE, 2007 e TORRES, 2008), são conhecidos por mais de meio século. Estes distúrbios são importantes, pois são responsáveis por uma elevada precipitação.

Os principais produtos cultivados nessa região são a cana-de-açúcar (que teve o seu apogeu no período colonial), o tabaco (cultivado na área do Recôncavo Baiano) e o cacau

(cuja produção está concentrada nas cidades de Ilhéus e Itabuna, também na Bahia). A parte Leste do Nordeste do Brasil estende-se do Rio Grande do Norte até o sul da Bahia e é considerada a mais importante da Região Nordeste por concentrar grande parte da população, assim como seu parque industrial e atividade agrícola. Além disso, é no litoral leste do NEB que estão localizadas a capital dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, todas construídas à beira-mar.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Os objetivos gerais desse trabalho são estudar os DOLs que atingiram a costa leste do Nordeste brasileiro durante os meses de maio a agosto de 2005 a 2008 e investigar a sua influência em alguns parâmetros.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimar a velocidade, o período e o comprimento médios dos Distúrbios Ondulatórios de Leste;
- Calcular o Índice K para todo período analisado;
- Analisar a vorticidade relativa e a divergência horizontal obtidos através dos dados de reanálises do NECP/NCAR.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste é um assunto que desperta o interesse de vários pesquisadores há anos devido a sua influência na precipitação nas regiões tropicais. Um dos precursores foi Riehl (1945) que percebeu que a direção do vento mudava à medida que centros isobáricos se formavam e se deslocava. Assim essas mudanças sugeriram que esses centros eram manifestações de ondas atmosféricas que se propagavam para leste, esse tipo de sistema atmosférico posteriormente foi definido como sendo onda de leste.

Reed e Recker (1971) analisaram 18 distúrbios de leste que passaram pela região equatorial do Pacífico Ocidental nos meses de junho a setembro do ano de 1967. Eles usaram dados de sete estações e aplicaram a técnica de composição com o propósito de obter a estrutura média desses distúrbios. Os observaram que o comprimento da onda varia entre 3500 e 4000 Km deslocando para oeste com uma velocidade de aproximadamente 9 m/s. Verificaram que nas proximidades da região de 160° E a componente do vento meridional era mais intensa nos níveis de 800 hPa variando com uma amplitude de 3 a 4 m e no nível de 175 hPa variando de 2 a 3 m. E que no campo da temperatura houve um aumento de até 1° C durante a passagem dos distúrbios. Já no campo da divergência predominou a convergência em baixos níveis e acima de 175 hPa a predominância foi da divergência facilitando a saída da nuvens. O movimento vertical é para cima e a vorticidade apresentou variação máxima entre os níveis de 900-700 hPa.

Burpee (1972) utilizou análise espectral para investigar a origem e a estrutura da onda de leste formada na baixa troposfera do Norte da África. Analisando a componente do vento meridional percebeu que o período das ondas variavam entre 3 a 5 dias no nível de 700 hPa para a estação em Dakar e atingiu uma amplitude que variou de 1 a 2 m em quase todas as estações estudadas. Ele observou que as ondas Africanas são geralmente identificadas de junho a início de outubro e que a principal contribuição para o crescimento destas ondas vem do fluxo de calor sensível do nível de 850 hPa.

Neiva (1975) utilizou para identificar a existência distúrbios ondulatórios no Atlântico Sul a análise espectral e espectro cruzado, encontrando períodos com 4 a 6 dias com uma

confiabilidade de 95%, comprimento da onda em torno de 600 Km e propagação da onda de aproximadamente 11° de longitude por dia.

Estoque e Lin (1977) analisaram a origem da energia clássica de um DOL por meio de um experimento numérico fazendo simulações da onda. Para indicar a intensidade da onda simulada foi plotado a média horizontal da energia cinética da onda em 800 hPa e em sua análise os autores concluíram que o desenvolvimento da onda ocorriam em torno de 8 dias. Na fase ativa (crista e cavalo), a onda em 750 hPa, é localizada (crista e cavalo) a leste de 900 hPa, essa inclinação concorda com os dados observados. A fase de dissipação ocorre entre ou logo após o oitavo dia do seu surgimento e apesar de está se dissipando, esse DOL apresenta aproximadamente a mesma velocidade de propagação. Estoque e Lin (1977) analisando as transformações de energia concluíram que o aquecimento na troposfera superior é proveniente de vários elementos. A geração de energia potencial disponível é decorrente do aquecimento diabático na troposfera superior, em seguida essa energia é transformada em energia cinética, e é transportada para níveis inferiores compensando assim as perdas de energia por causa do atrito e da dissipação na conversão de energia potencial disponível na baixa troposfera e o mecanismo responsável por esse transporte é o fluxo de vertical.

Yamazaki e Rao (1977) utilizaram imagens de satélite do Atlântico Sul para identificar a presença de distúrbios de leste no ano de 1967 nessa região. Os autores analisaram faixas de imagens das latitudes entre 5° e 10° S e entre 10° e 15° S no qual identificaram em torno de 20 linhas de nebulosidade deslocando-se para oeste da costa leste do NEB. E encontraram o comprimento da onda médio em torno de 400 Km e velocidade de propagação média de 10m/s^{-1} .

Chou (1990) investigou as principais características e estrutura ondulatória dos DOLs no Atlântico Equatorial durante o *First GARP Global Experiment* (FGGE) com dados de campo do vento diário do *National Meteorological Center* (NMC), no período de dezembro de 1978 a novembro de 1979. Ela construiu diagramas de Hovmöller e usou análises espectrais em suas investigações. Concluindo que no nível de 850 hPa os DOLs adquirem maior intensidade e que durante o experimento (FGGE) foram identificados distúrbios quase periódicos que viajaram de leste para oeste cruzando o Oceano Atlântico. Nos meses de

MAM foram identificados 17 eventos de DOLs, com período estimado de 5 dias, velocidade em torno de 10 m/s e comprimento da onda de 4300 Km.

De Felice et al. (1993) estudando as Ondas Africanas no Hemisfério Norte concluíram que essas ondas geralmente se deslocam para oeste da costa, saindo da África em direção ao oeste do oceano Atlântico Norte. E identificaram que essas ondas possuem aproximadamente um comprimento de 2500 Km, uma velocidade de 6°-7° de longitude por dia e um período de atuação, em geral, de 3 a 5 dias.

Zehnder et al. (1999) analisaram as interações de ondas de leste com a orografia das montanhas da América Central e México e com o anticiclone da região, essas interações serviram para avaliar as contribuições de cada uma para a evolução da vorticidade relativa a sotavento do modelo de orografia. Eles concluíram que as interações de DOLs com o terreno resultaram em um aumento da vorticidade relativa a sotavento do terreno, este resultado se aplica nas fases iniciais do desenvolvimento de instabilidade convectivas.

Pytharoulis e Thorncroft (1999) utilizaram dados de radiosondas, de análise do modelo *Global Unified Kingdom Meteorological Office* (UKMO) e de imagens do satélite Meteosat no canal infravermelho nos meses de maio a outubro de 1995, para estudar DOLs nas cidades de Dakar e Bamako. Eles mostraram que existiu uma estrutura de DOLS ao norte do jato africano de leste em baixo nível. Concluíram que esses distúrbios apresentavam uma máxima amplitude em baixos níveis ao passar em Dakar e que a atividade convectiva associada a esses distúrbios são menos intensas do que as que se propagam na época chuvosa do Norte da África.

Thorncroft e Hodges (2001) desenvolveram uma climatologia de 20 anos de atividades de ondas africanas de leste através da técnica de monitoramento automático de centros de vorticidade do *European Center for Medium range Weather Forecasting* (ECMWF) com dados de reanálises (1979-1993) e análise (1994-1998), considerando apenas o período de maio a outubro de cada ano. Eles também investigaram a relação dessas ondas com a variabilidade interanual de precipitação e sua interação com ciclones tropicais. Eles concluíram que no continente africano a estrutura das Ondas Africanas de Leste nos níveis de 600 e 850 hPa são bastante complexa. Com a climatologia no nível de 600 hPa observaram que a trajetória das tempestades ficam em torno de 10° - 15° N começando da África Oriental e deslocando para

oeste sobre o Atlântico. No nível de 800 hPa se assemelhava ao de 600 hPa, mas com menor intensidade. De 1979 a 1973 ocorreu uma acentuada variabilidade interanual de atividade das Ondas Africanas de Leste tanto em 600 hPa quanto em 800 hPa, sendo que neste último nível havia uma maior variabilidade nas zonas de chuvas. Eles encontraram correlação positiva entre a variabilidade interanual de atividade de ondas africanas de leste com a variabilidade interanual de atividade de ciclone do Atlântico Tropical sugerindo que a atividade dos ciclones pode ser influenciada pelo número dessas ondas.

Grist e Nicholson (2002) utilizaram dados de Reanálises do *National Centers for Environmental Prediction-National Centers Atmospheric Research* (NCEP-NCAR) para estudar as diferenças no estado básico entre anos secos e úmidos na África Ocidental e se havia alterações nas Ondas de Leste. Eles identificaram que em anos de ocorrência de precipitação significativa essas ondas eram mais intensas e em anos secos a atividade das ondas não variava muito da média a longo prazo. Dessa forma demonstraram através de um modelo numérico que o caráter da onda era modificado de acordo com o contraste dinâmico dos anos secos e úmidos.

Jones et al. (2004) utilizando dados de reanálises (NCEP/NCAR) fizeram um estudo quantitativo para identificar o papel dos DOLs no transporte de poeira do deserto do Norte da África para o Norte do Atlântico através da simulação do modelo de transporte e Química Atmosférica. Eles concluíram que 10% a 20% da variabilidade de transporte dessa poeira para a atmosfera estariam relacionadas a atividades dos DOLs. Nessa região os DOLs são caracterizados por apresentarem ventos com velocidade superior a 10 m/s contribuindo assim para um maior deslocamento dessa poeira.

Innocentini et al. (2005) analisaram o impacto da movimentação do mar do cinturão (5° N – 20° N) com a passagem de DOLs e se essa interação altera o regime de ondas ao longo do litoral do Nordeste brasileiro. Para isso utilizaram campos de vento através do modelo atmosférico GFS-NCEP e campos de onda gerados pelo modelo WAVEWATCH no período de fevereiro de 1997 a janeiro de 2004. Estudaram dois casos selecionados setembro de 1997 e setembro de 1998 respectivamente, no primeiro caso foi detectado o aparecimento de uma depressão próxima a 8° N - 28° N em 31 de agosto deslocando-se para 12° N - 30° N no dia 1 de setembro e no dia 2 a depressão tinha se deslocado para 13° N - 34° N com ventos de 18m/s e ondas com alturas superiores a 4m. Nos dias seguintes os ventos direcionados para

oeste dificultaram a propagação de ondas para o Nordeste brasileiro. No segundo caso, marcado por muitas tempestades tropicais, encontraram valores acima de 3 m para a altura das ondas em pequenas regiões. Eles concluíram também que a agitação marítima decorrentes de distúrbios de leste que chega a costa leste do Nordeste brasileiro é pouco significativa quando comparado a agitação marítima provocada por ventos aliseos não altera as ondas do mar local.

Mekonnen et al. (2006) utilizaram análise espectral para encontrar associações entre convecção e Ondas Africanas de Leste entre as regiões do Atlântico Tropical (5°-10° N, 40°-20° W) e a África Tropical (10°-15° N, 15° W-40° E) no período de 1 de janeiro de 1984 a 30 de setembro de 2001, e identificaram que no leste do Atlântico tropical ocorreram ondulações com períodos de 4 a 5 dias e de 3-4 dias mais ao ocidente e oriente da África. Os autores constataram que em agosto de 1998, as ondas apresentavam comprimento de 250-3000 Km e velocidade de fase de 10-13 m/s nas longitudes de 20° W e 35 °. Os autores concluíram que foram encontradas fortes relações entre a convecção e atividades de Ondas Africanas de Leste mais a oeste que a leste da África.

Hsieh e Cook (2007) estudaram a evolução e a distribuição energética de ondas africanas para o norte da África e o Atlântico Tropical utilizando um modelo de clima regional e destacaram que a geração de atividades dessas ondas é geralmente associada com a ocorrência de chuvas intensas. Verificou-se também que o comportamento baroclínico é a fonte dominante de energia para a geração de DOLs. Através de análise espectral identificaram ondas com comprimento variando de 2650 a 400 Km e períodos de 3 a 4 dias.

Os números de ondas tropicais de leste podem variar de ano para ano, segundo Adams e Stensrud (2007) essa variação pode ser responsável pela ocorrência de algumas das variabilidades interanual do fluxo de umidade e chuva visto nas monções do Norte Americano. Os autores verificaram que as ondas tropicais influenciaram a região investigada de forma negativa, ou seja, levando menos precipitação para o sul da planície dos Estados Unidos.

Berry e Thorncroft (2007) utilizaram um modelo numérico para identificar e analisar os DOLs que se originaram no norte da África no período de julho-setembro de 2004 com o objetivo quantificar as ocorrências. Eles avaliaram que 45% das ondas que ocorreram nesse

período foram associadas com ciclones tropicais nas bacias do Pacífico e no Oceano Atlântico.

Segundo Coutinho e Fisch (2007) caracterizaram que os DOLs possuem quatro regiões distintas. A primeira é caracterizada por apresentar na área da crista um “bom tempo”, na superfície o escoamento é divergente, ou seja, direcionado para baixo e com uma nebulosidade baixa. Já a segunda próxima ao eixo do cavado ocorre formação de precipitação esparsa, desenvolvimento de nuvens Cumulonimbus, Cirrus e Altocumulus. A terceira área está situada no eixo do cavado apresentando nuvens Cumulus Congestus, Cirrus e Altocumulus além de frequentes precipitações. Já a quarta região localizada a leste do cavado apresenta tempo ruim, escoamento com ocorrência de Cumulonimbus e precipitação variando de moderada a forte. No artigo os autores utilizaram um método baseado na mudança de sinal da componente meridional do vento analisando três camadas [(850-700) hPa primeira, (850-500) hPa segunda e (700-500) hPa terceira]. Os autores identificaram que na região de Alcântara – MA no período de 1988 a 1997 ocorreram 64 casos de DOLs na camada de 850 – 700 hPa com uma maior ocorrência nos meses de agosto, setembro e outubro no período de 1988 e 1994. A camada 700 – 500 hPa tiveram maior ocorrência de DOLs nos meses de março, abril e dezembro com um total de 26 eventos. Já na camada de 850 – 500 hPa ocorreram a maior quantidade DOLs num total de 100 casos. Entre os anos estudados, foram os de 1988 e 1994 que aconteceram maior número de distúrbios. Verificaram também que na época chuvosa ocorreram 42 DOLs enquanto que na época seca aconteceram 22 eventos. Com relação ao período de duração dos DOLs na primeira camada de 4,1 dias na segunda de 4,6 dias e na terceira de 4,7 dias.

Alves et al. (2008) analisaram casos de DOLs que afetaram a região de Alcântara – MA nos meses de junho a agosto de 1996. Os autores utilizaram dados de reanálises do (NCEP-NCAR) no qual construíram diagramas de Hovmöller para a componente do vento meridional e também fizeram esses mesmos diagramas com aplicação da média móvel na faixa de 3-9 dias no nível de 700 hPa. Os autores identificaram que o vento meridional filtrado se comporta aproximadamente ao vento não filtrado e a variação que existe é bem regular e a vantagem de usar os dados filtrados é que ele pode detectar eventos de DOLs antes não apresentados nos diagramas. Os autores constataram uma diminuição dos distúrbios com os dados filtrados.

Serra et al. (2008) usaram análise espectral com dados de reanálises para estudar a estrutura de Onda de Leste na bacia do pacífico. Os autores estimaram que para o pacífico oriental a velocidade de fase atinge 11,3 m/s e comprimento de 4400 Km no nível de 700 hPa. Para o pacífico central a velocidade de fase é de 6 m/s e comprimento de onda de 2500 Km. Compararam as estruturas das ondas de leste nos dois pacíficos investigado e concluíram que ao longo do Equador, em ambas as análises, a oeste do pacífico as ondas não apresentaram fortes percussores no leste, mas amplificaram na parte central da bacia. Máximas anomalias do vento meridional foram observados nos níveis de 500 e 600 hPa. Os autores concluíram que a estrutura abaixo do nível de 360 hPa dos dados de reanálises do NCEP-NCAR e de dados de radiossondas nas duas bacias são semelhantes.

Com o levantamento dessa bibliografia percebeu-se que os Distúrbios Ondulatórios de Leste foram bastante pesquisados principalmente na região da África. E existem poucos trabalhos voltados para a Costa Leste do Nordeste brasileiro, apesar desses distúrbios serem o principal sistema causador de precipitação nessa área no período de outono/inverno (COUTINHO e FISCH, 2007). Dessa forma serão analisados Índices de Estabilidade através de dados de Reanálise do NCEP/NCAR na passagem de DOLs sobre a região.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da Área de Estudo

A Região Nordeste do Brasil (NEB) está localizada na faixa tropical, aproximadamente entre as latitudes de 1° S e 18° S e as longitudes de 35° W e 47° W, com uma área em torno de 1,5 milhões de Km². A população é estimada em 51 milhões de habitantes (IBGE, 2007). A região do NEB é dividida em quatro sub-regiões: Meio-Norte, Sertão, Zona da Mata e Agreste.

A faixa leste do NEB corresponde à área costeira dos Estados Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Essa faixa mostrada na Figura 1 também é conhecida como Zona da Mata, no qual apresenta clima quente e úmido. Os valores máximos de precipitação ocorrem no outono e no inverno, chegando a totais pluviométricos de 1500-2000 mm por ano. Uma das principais atividades econômica são as indústrias e os serviços, e na agricultura destaca-se o cultivo de cana de açúcar. Mas, com o passar dos anos outros cultivos vem se destacando como o cacau, o algodão, a banana e outros cultivos tropicais.

A escolha dessa área é justificada pela importância estratégica de atuação de DOLs, a parte Leste do Nordeste do Brasil apresenta a maior parte da densidade populacional, concentra o maior capital financeiro, seja em agricultura, turismo ou outro ramo da economia. Dessa forma os habitantes dessas localidades são diretamente influenciados por esses distúrbios.



Figura 1 – Região Nordeste com a parte leste destacada pela linha que atravessa os Estado do Rio Grande do Norte até o Estado da Bahia. FONTE: (Adaptado de <http://www.mundoeducacao.com.br/geografia/o-nordeste-as-subregioes.htm>)

4.2. Dados

O presente estudo envolve o uso dos seguintes conjuntos de dados:

a) Reanálises do *National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmosphere Research (NCEP-NCAR)*.

Os dados utilizados são do projeto desenvolvido com as colaborações do *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* e *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, chamado de reanálise. Para a área com latitude de 20° S a 20° N e uma longitude de 50° W a 10° E.

A reanálise constitui de um levantamento de mais de 50 anos de análises globais dos campos atmosféricos e para isso foram precisos reabrir dados de radiossondas, de estações de superfícies, de navios, de aeronaves, de balões pilotos, de bóias, de satélites e outros. Nesse procedimento fizeram um alto controle para que ao longo da reanálise as assimilações dos dados mantivessem inalteradas (KISTLER et al. 2001).

A assimilação de dados do sistema de reanálise continua sendo utilizada com dados atuais e em tempo real através do *Climate Data Assimilation System (CDAS)*, os produtos dos campos estão disponíveis do ano de 1948 até hoje para uma grade com resolução de 2,5° x 2,5° de latitude e longitude em 17 níveis verticais para intervalos de 6 horas (0000, 0600, 1200 e 1800 UTC).

As variáveis mais usadas nos produtos dos campos na reanálise foram classificados em 3 classes por (KALNAY et al. 1996):

Tipo A – estão as variáveis que dependem diretamente das observações, ou seja, possuem os produtos mais confiáveis elas são: temperatura do ar, direção do vento e altura geopotencial;

Tipo B – estão as variáveis que dependem tanto da observação quanto do modelo, ou seja, possuem os produtos menos confiáveis elas são: variações de umidade, divergência do vento e parâmetros de superfície;

Tipo C – estão as variáveis que dependem do modelo e conseqüentemente dependem de outras observações elas são: taxa de aquecimento e fluxos de superfície.

b) Imagens do canal infravermelho do satélite meteorológico geoestacionário GOES, para o período de maio a agosto nos anos de 2005 a 2008, fornecidas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e

c) Precipitação diária fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

4.3. Aplicativo GrADS

Foi utilizada para análise a ferramenta GrADS (*Grid Analysis and Display System*) em que permite acesso fácil à manipulação e visualização de dados em pontos de grade. Sua distribuição é gratuita na internet pelo site <http://www.iges.org/grads/>.

Os dados são referenciados por 4 dimensões: longitude, latitude, nível vertical e o tempo. O GrADS aceita vários formatos de dados como binários, grib, NetCDF entre outros. Podem-se interpretar dados lineares, não lineares, gaussiana, etc. É permitido também superposição de gráficos, além das funções que acompanha o programa é permitido construir outras funções em diferentes linguagens de programação. Este software é constantemente aperfeiçoado pelo *Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA)*.

4.4. Metodologia

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste são ondas que se deslocam nos ventos alísios para oeste no Atlântico Tropical. Esses distúrbios são caracterizados como sendo o principal sistema que provoca precipitação no leste do Nordeste do Brasil (COUTINHO e FISCH, 2007).

Os períodos a serem estudados correspondem aos anos de 2005 a 2008 nos meses de maio a agosto. Dentre esses períodos foram selecionados preliminarmente cinco casos, maio de 2005, junho de 2006, junho de 2007 e dois casos em maio de 2008 por apresentarem uma precipitação elevada, na costa leste do NEB.

Utilizando imagens de satélite associados aos dados de chuva foi possível investigar o deslocamento da nebulosidade, identificando a origem e sua propagação para os casos citados acima.

Os casos dos anos de 2005 e 2006 foram estudados por Torres (2008) e apresentaram uma alta precipitação nos dias dos eventos. Já os casos dos anos de 2007 e 2008 segundo o INPE (2007 e 2008), foram identificados ocorrências de DOLs em algumas capitais do leste do Nordeste com um alto valor de precipitação.

Os parâmetros a serem analisados são: Vento, Índices de Estabilidade que apresentam relações com a temperatura e a umidade, a Vorticidade Relativa e a Divergência Horizontal. As figuras construídas no Aplicativo GrADS possuem uma área com latitude de 20° S a 20° N e uma longitude de 50° W a 10° E, podendo assim observar possíveis influências de outros sistemas.

4.4.1. Identificação de Eventos de (DOLs)

Para identificar os eventos de DOLs foram construídos diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (Mota, 1997; Alves, et al. 2008) dos dados de reanálises do (NCEP/NCAR) para as latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S, nos níveis de 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa para os meses de maio a agosto dos anos de 2005, 2006, 2007 e 2008. As isolinhas de zero servem para indicar o sentido do deslocamento das anomalias com o tempo e dessa forma pode-se estimar visualmente a velocidade de propagação (ν), o período (τ) e comprimento da onda (ℓ) da perturbação para os meses estudados. Essas isolinhas de zero indicam os eixos dos cavados e das cristas das ondas. Para estimar a velocidade de propagação da onda se faz a análise do deslocamento da mesma ao longo das longitudes no decorrer do tempo obtida na inclinação das isolinhas de zero. Depois é calculada a média da velocidade para os quatros meses de cada ano. O período médio foi obtido pelo quociente entre o intervalo de tempo decorrido da passagem consecutiva das ondas em torno da longitude de 35° W pelo número de distúrbios ocorridos. E por fim o comprimento da onda foi determinado através do produto da velocidade de propagação e do período médio da onda utilizando a expressão:

$$\ell = \nu / \tau \quad (1)$$

A visualização dos padrões ondulatórios em sua trajetória apresenta-se desorganizados e não lineares (MOTA, 1997). Para uma melhor análise foi utilizado o critério em que só foram analisados os distúrbios que atravessava as isolinhas de zero da componente meridional do vento, entre as longitudes de 20° W a 40° W.

4.4.2. Linhas de Correntes e Magnitude

O vento é dado pela componente horizontal ($\vec{V}_z = u\vec{i} + v\vec{j}$) do vetor velocidade ($\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$) do ar.

Para a análise do vento foram plotados gráfico de linhas de corrente e da magnitude do vento às 12h para a área (20° S; 20° N e 50° W; 10° E), nos níveis de 850 hPa, 700 hPa e

500 hPa. Esses níveis foram escolhidos, pois fazerem parte do cálculo do Índice de Estabilidade K.

4.4.3. Vorticidade Relativa e Divergência Horizontal

A vorticidade relativa e divergência horizontal foram calculadas para toda a área depois foi feito um corte nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S nos níveis 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa.

4.4.3.1. Vorticidade Relativa

A vorticidade relativa é dada por

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad 2$$

4.4.3.2. Divergência Horizontal

A divergência horizontal é dada por

$$\delta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad 3$$

4.4.4. Índices de Instabilidade K

Os índices de Estabilidade serão calculados a partir de dados de Reanálises do (NCEP-NCAR) (DEME et al., 2003).

Foram plotados e analisados os índices de Estabilidade, índice K (K), índice da Vertical Totals (VT), índice Cross Totals (CT), índice Total Totals (TT) e índice Tropical (IT), mas o índice que teve resultado mais satisfatório foi o índice K.

O Índice K foi calculado para as latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S nos meses de maio a agosto para todo o período de estudo. Para essa análise foram plotados diagramas do tipo

Hovmöller com o intuito de analisar sua evolução no tempo. O índice K plotado foi superior ao valor mínimo característico de $K=25$ para possível ocorrência de convecção na qual poderia ocorrer precipitação na área, uma vez que a relação entre o índice e a frequência de tempestade é praticamente linear (BENETI et al., 2000). Só foram expostos os índices referentes ao período de ocorrência dos distúrbios.

O índice K, conforme visto na Tabela 1, mede o potencial de tempestade baseados na taxa vertical de variações de temperatura, no conteúdo de umidade na baixa troposfera e na extensão vertical da camada úmida. Este índice utiliza camadas úmidas em 850 e 700 hPa pois nelas podem existir muita água precipitável (MOREIRA et al., 2007). Sua fórmula pode ser expressa da seguinte maneira:

$$K = [T(850) - T(500)] + Td(850) - [T(700) - Td(700)] \quad (2)$$

Em que: T(850) é a Temperatura em Celsius em 850 hPa, T(500) é a Temperatura em Celsius em 500 hPa, Td(850) é a Temperatura do ponto de orvalho em Celsius em 850 hPa, T(700) é a Temperatura em Celsius em 700 hPa, Td(700) é a Temperatura do ponto de orvalho em 700 hPa.

Tabela 1- Probabilidade de ocorrência de tempestades em função do índice K

| Índice K | Probabilidade de ocorrência de tempestade |
|----------|---|
| < 15 | 0 % |
| 15 a 20 | 20 % |
| 21 a 25 | 20 a 40 % |
| 26 a 30 | 40 a 60 % |
| 31 a 35 | 60 a 80 % |
| 36 a 40 | 80 a 90 % |
| > 40 | Próximo de 100 % |

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise do evento de DOLs que ocorreu em maio de 2005

O mês de maio de 2005 foi marcado pela ocorrência de chuvas em quase todos os dias como pode ser observado na Figura 2, caracterizando que a atmosfera estava bastante úmida neste mês. O dia 16, passagem do DOL, foi registrado uma precipitação superior a 150 mm (Natal) e a 130 mm (João pessoa).

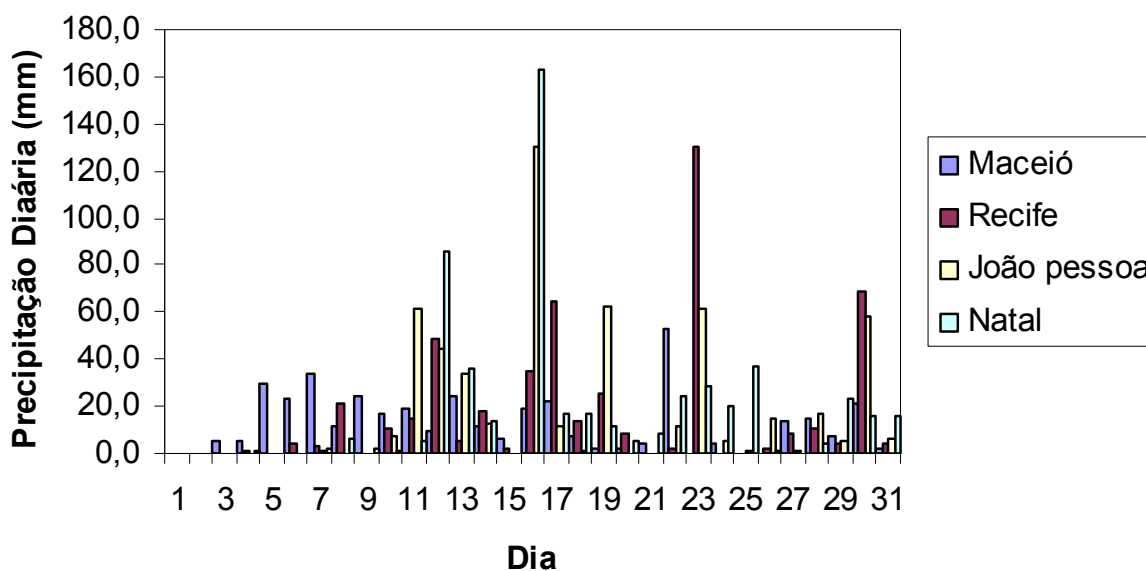


Figura 2 – Precipitação diária acumulada em (mm) para o mês de maio do ano de 2005 para as capitais Maceió, Recife, João Pessoa e Natal

As Figuras 3 e 4 mostram imagens do satélite meteorológico GOES (10) no canal infravermelho para os dias 15 e 16 de maio de 2005, observa-se o deslocamento aparente da banda de nebulosidade que se propaga para oeste com uma inclinação de SE/NO. Essas bandas estão se deslocando em direção a costa como pode ser observado na Figura 3 e se intensifica no dia 16 (Figura 4) em torno das latitudes de 3° e 12° S.

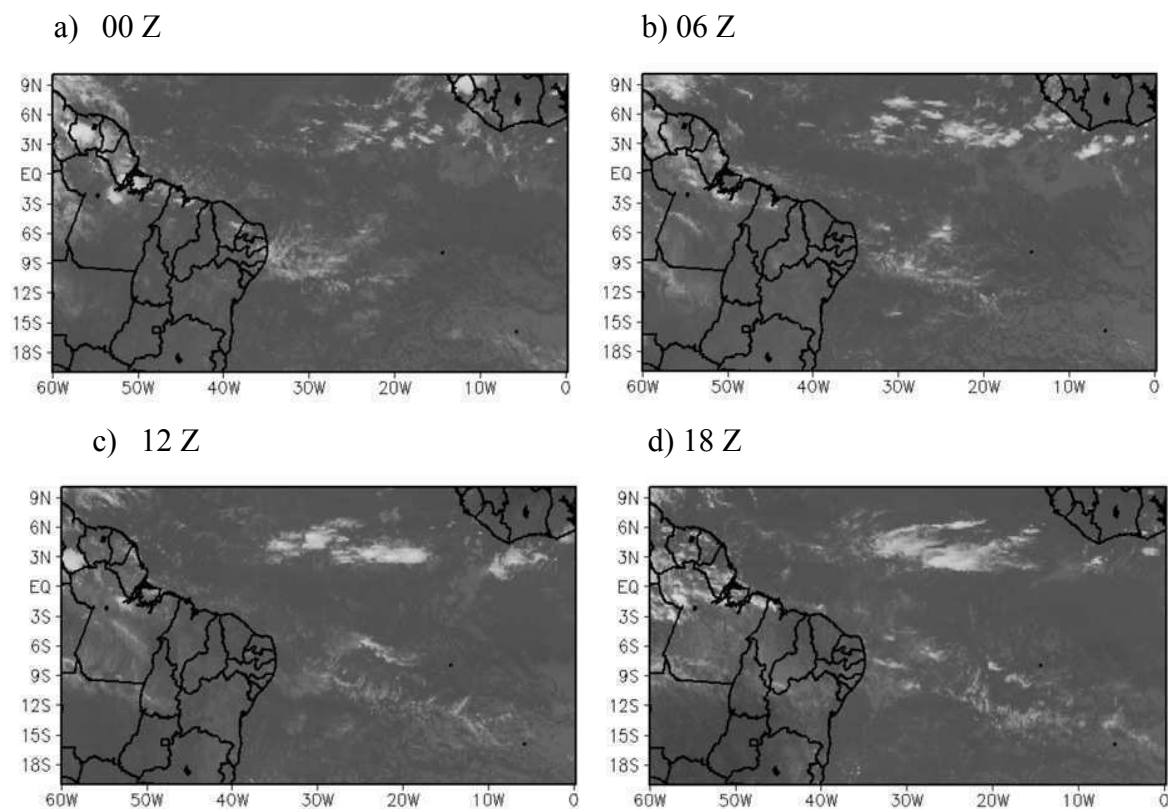


Figura 3 - Imagens do satélite meteorológico GOES no canal infravermelho para o dia 15 de maio de 2005. Fonte: (Torres, 2008)

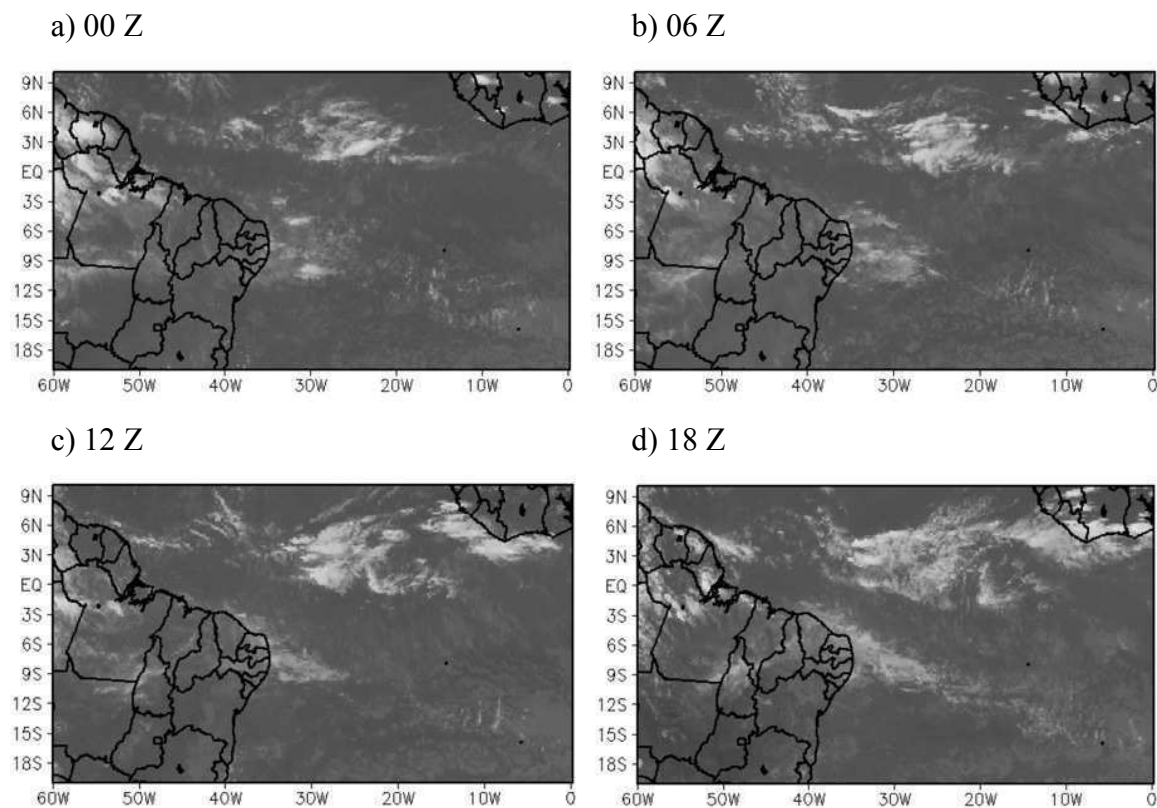


Figura 4 - Imagens do satélite meteorológico GOES no canal infravermelho para o dia 16 de maio de 2005. Fonte: (Torres, 2008)

A Figura 5 apresenta as linhas de corrente e a magnitude do vento nos níveis de 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa para os dia 15. Observa-se que na Figura 5a as linhas de corrente apresentam um padrão ondulatório uma vez que na longitude de 25° W apresenta uma crista e um cavado em torno da longitude de 35° W. A intensidade que o vento atinge a costa leste do Nordeste varia de 11,2 e 12,3 m/s entre as capitais de Natal e Recife. Na Figura 5b apresenta uma formação semelhante à Figura 5a só que a crista está mais suave e localizam-se em torno da longitude de 20° W, na longitude de 35° W as linhas de corrente chegam quase zonais e com intensidade, em maior parte da costa, entre 6,8 e 8,5 m/s. Já a Figura 5c mostra uma circulação ciclônica com centro no Oceano Atlântico próximo a Salvador e Aracajú e uma circulação anticiclônica com centro em torno da longitude de 0°.

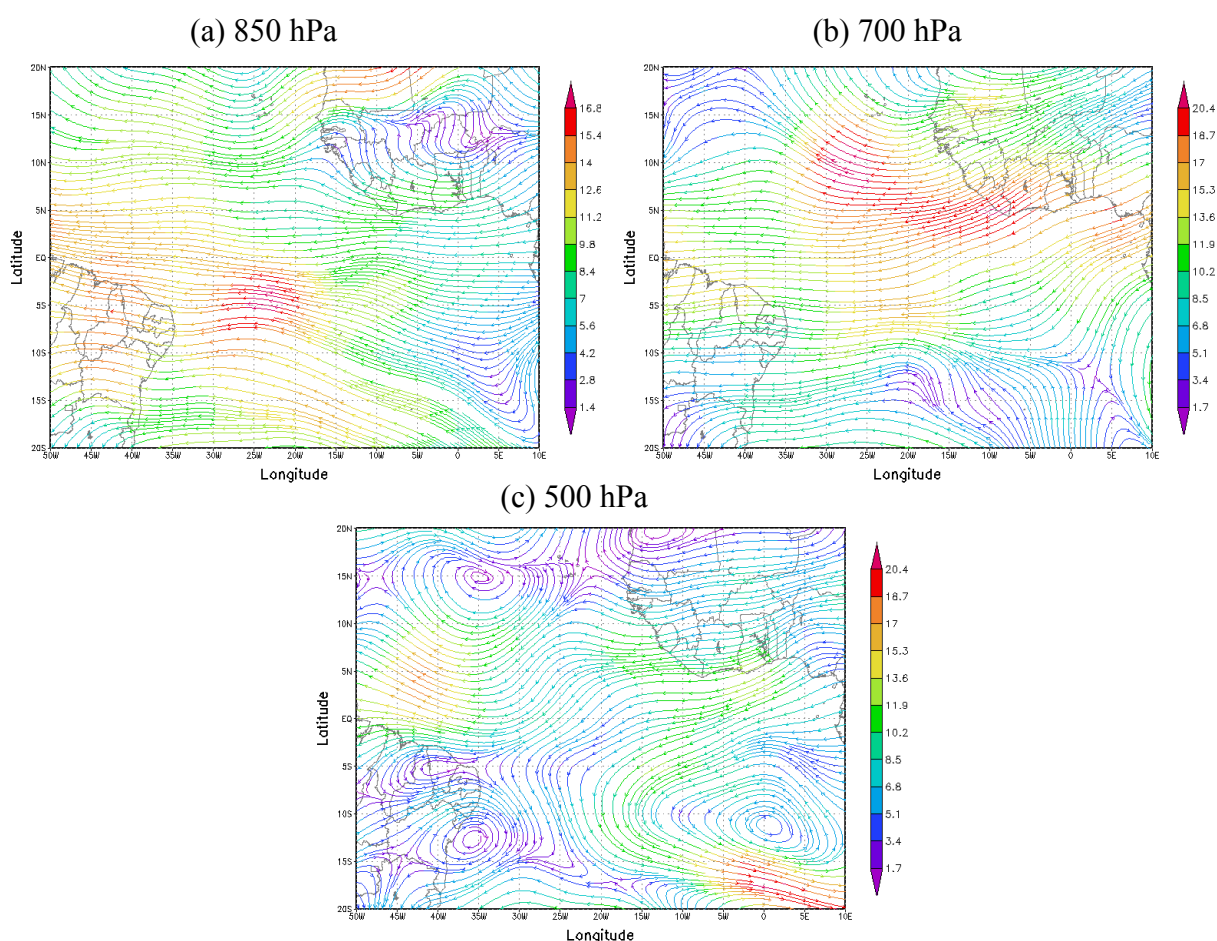


Figura 5 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 15 de maio de 2005 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa.

Na Figura 6a as linhas de corrente mostram-se inclinadas desde a longitude de 5° E, e chega à costa leste do NEB com uma intensidade que varia entre 13,2 e 14,4 m/s, mostrando que a crista observada na Figura 5a avançou em direção a costa, e diminui nas latitudes abaixo de 5° S. Na Figura 6b as linhas de corrente que chegam à longitude de 35° W apresentam uma intensidade menor que na Figura 6a, mas atingiram valores entre 8 e 11,2 m/s entre as capitais de Maceió e Natal. Na Figura 6c tem-se uma circulação anticiclônica com centro em torno da latitude de 4° S e longitude de 15° W e uma circulação ciclônica em torno da latitude de 15° S e longitude de 40° W. Dessa forma as linhas de corrente atuantes na costa lestes do NEB são de oeste.

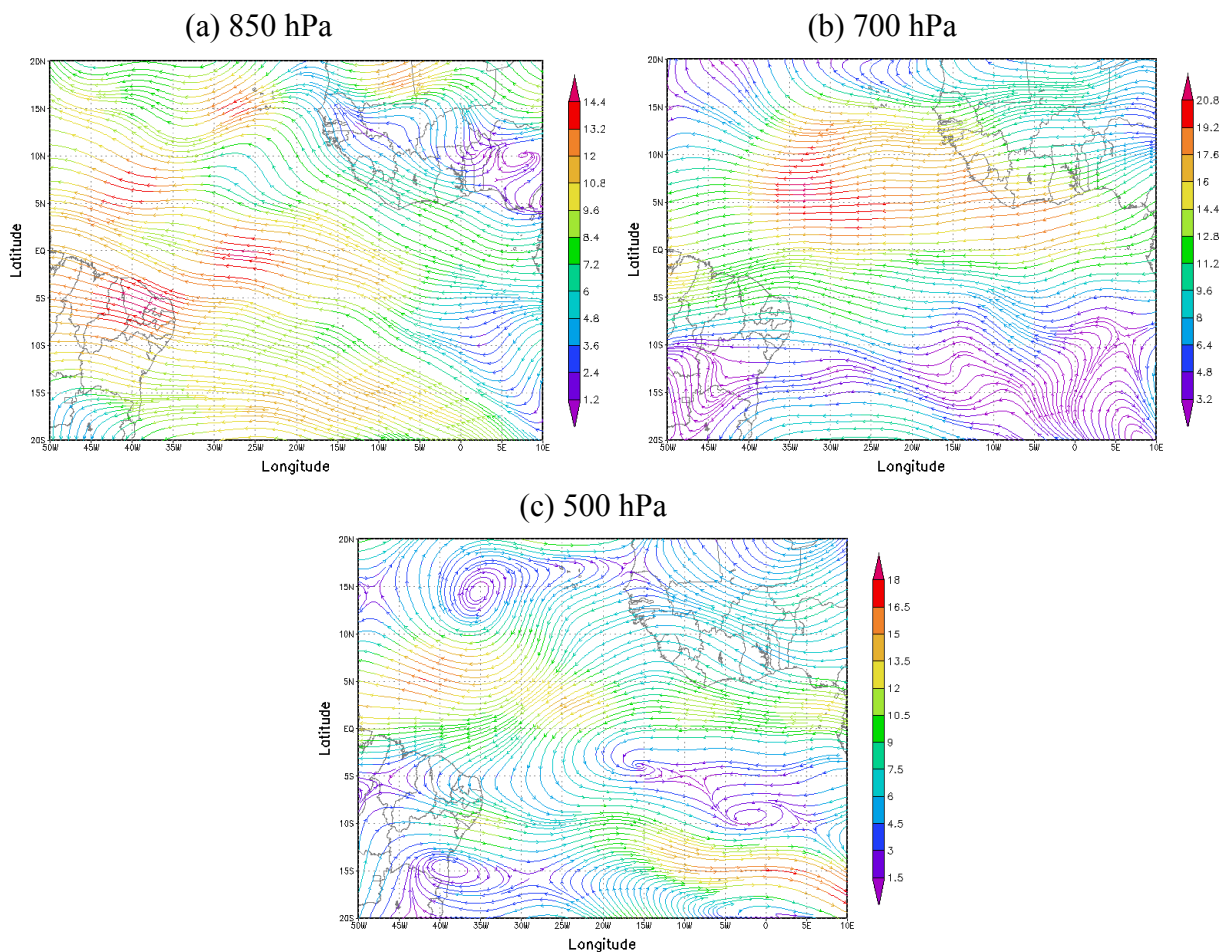


Figura 6 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 16 de maio de 2005 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa

No nível de 850 hPa e 750 hPa tanto na Figura 5 como na Figura 6 mostra um escoamento de leste em direção a costa leste do NEB, se assemelhando as imagens de satélites.

A Figura 7 tem-se o índice K fixado nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S respectivamente para o mês de maio de 2005. Analisando a Figura 7a em torno da longitude de 35° W nos dias 14 e 15 o índice K apresentou valores entre 30 e 36 K, no dia 16 o valor do índice diminui variando entre 27 e 30 K, nesse dia ficou praticamente constante de 5° E até em torno de 38° W. Os valores máximos do índice K foram encontrados nos dias 22 e 27 chegando a atingir valores entre 39 e 42 K. Na Figura 7b nos dia 15 e 16 há vestígios que em algum momento o índice K atingiu valores entre 35 e 40, mas na maior parte do tempo permanece com valores abaixo de 35 K. Na Figura 6c o índice permanece com valores entre 30 e 40 K na maior parte do mês. Na Figura 7d no dia 7 até por volta do dia 17 o índice atingiu valores entre 30 e 35 K assim como nos dias 2, 23 e 31.

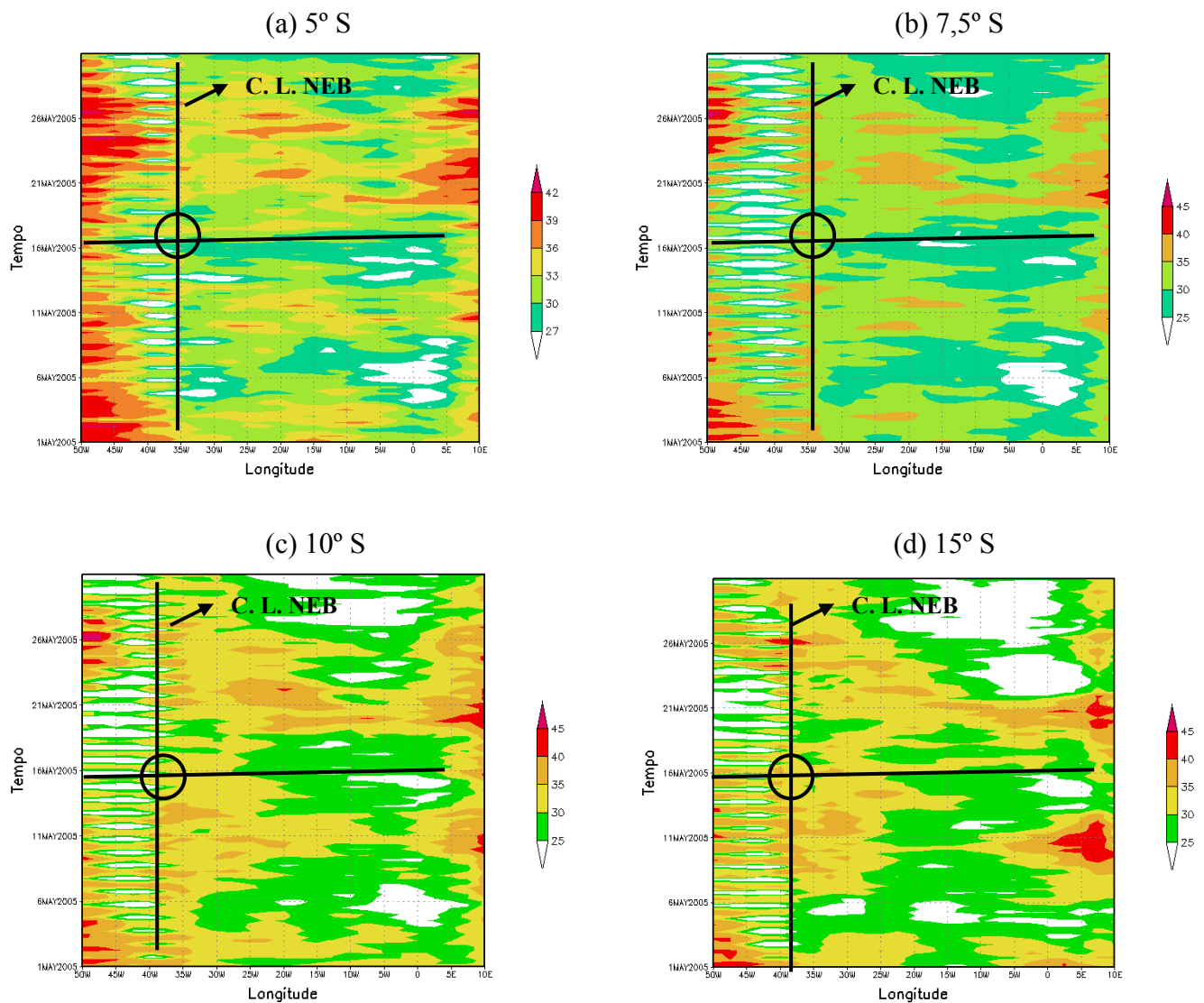


Figura 7 – Índice K, acima do valor de referência para ocorrência de tempestade ($K=25$), para o mês de maio do ano de 2005 fixado nas latitudes: (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S.

C. L. NEB – Costa leste do Nordeste brasileiro:

Em 5° S a costa leste do NEB é em torno de 35,5° W;

Em 7,5° S a costa leste do NEB é em torno de 35° W;

Em 10° S a costa leste do NEB é em torno de 38° W;

Em 15° S a costa leste do NEB é em torno de 39° W;

O índice K se apresentou maior de o valor significativo de referência (K=25) indicando que pode haver calor em baixos níveis e umidade em abundância da superfície até o nível de 700 hPa (BENETTI e DIAS, 1986).

A Figura 8 apresenta a vorticidade relativa para os níveis de 850 hPa fixada nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S. Analisando a Figura 8a percebe-se que a vorticidade relativa apresenta alternância de vorticidade relativa negativa (ciclônica) e positiva (anticiclônica) de um comportamento ondulatório. E que a vorticidade relativa que está presente no dia 16 é negativa. Após esse dia a vorticidade apresenta-se de forma irregular. Na Figura 8b percebe-se alternância da vorticidade até 19 depois disso só apresenta vorticidade positiva até o dia 28. Na Figura 8c mostra que há uma evolução da vorticidade desde 8° W, mas não chega ao dia 16 em torno da longitude de 35° W, mas que nesse dia há indícios de vorticidade positiva quanto negativa. Na Figura 8d a alternância da vorticidade relativa não se apresenta definida como as das outras latitude estudadas e que no dia 16 há vorticidade positiva.

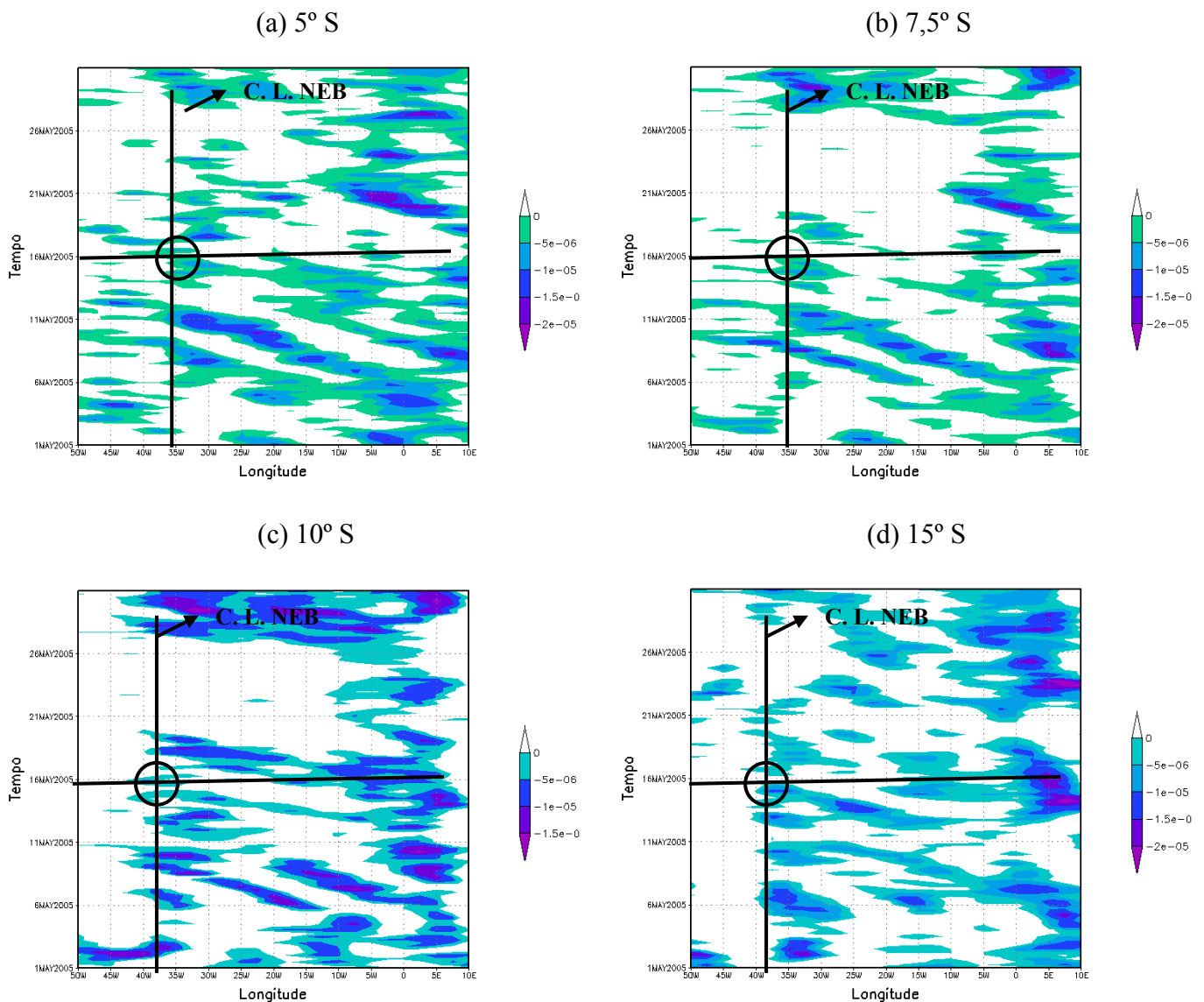


Figura 8 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de maio de 2005 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S

A Figura 9 mostra a vorticidade relativa no nível de 700 hPa e que essa é apresenta bem menos alternância do que observado na Figura 8, estas estão mais dispersas. Analisando o dia 16 na longitude de 35° W percebe-se que só na latitude de 5° S (Figura 9a) há vorticidade relativa negativa nas demais a vorticidade é positiva.

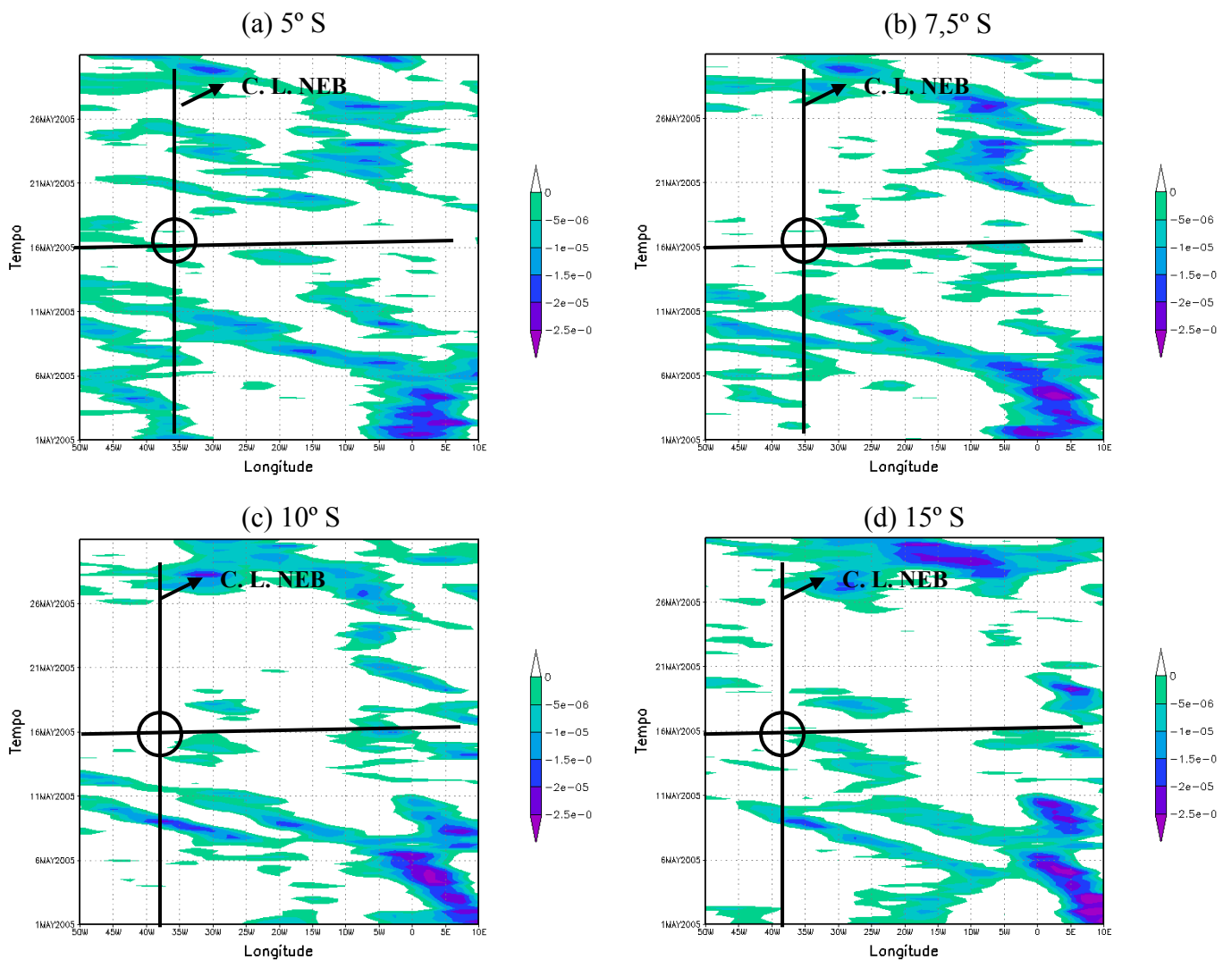


Figura 9 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de maio de 2005 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

Nas Figuras 8 e 9 a vorticidade relativa nos níveis de 850 hPa e 700hPa podem indicar outra forma de identificar a ocorrência de DOLs, analisando sua evolução no tempo.

As Figuras 10 e 11 representam a divergência horizontal para os níveis de 850 hPa e 700 hPa fixada nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S. A Figura 10 mostra pequenas evoluções da divergência, mas não é suficiente para caracterizar com um padrão ondulatório, pois se apresenta de forma irregular. Foi observado apesar dessa irregularidade que no dia 16 há divergência horizontal em todas as latitudes estudadas. Analisando a Figura 10 na longitude de 35° W percebe-se que na latitude de 5° S (Figura 10a) e 7,5° S (Figura 10b) para o dia 16

há vestígios tanto de convergência quanto de divergência e nas duas latitudes restantes nesse dia há divergência.

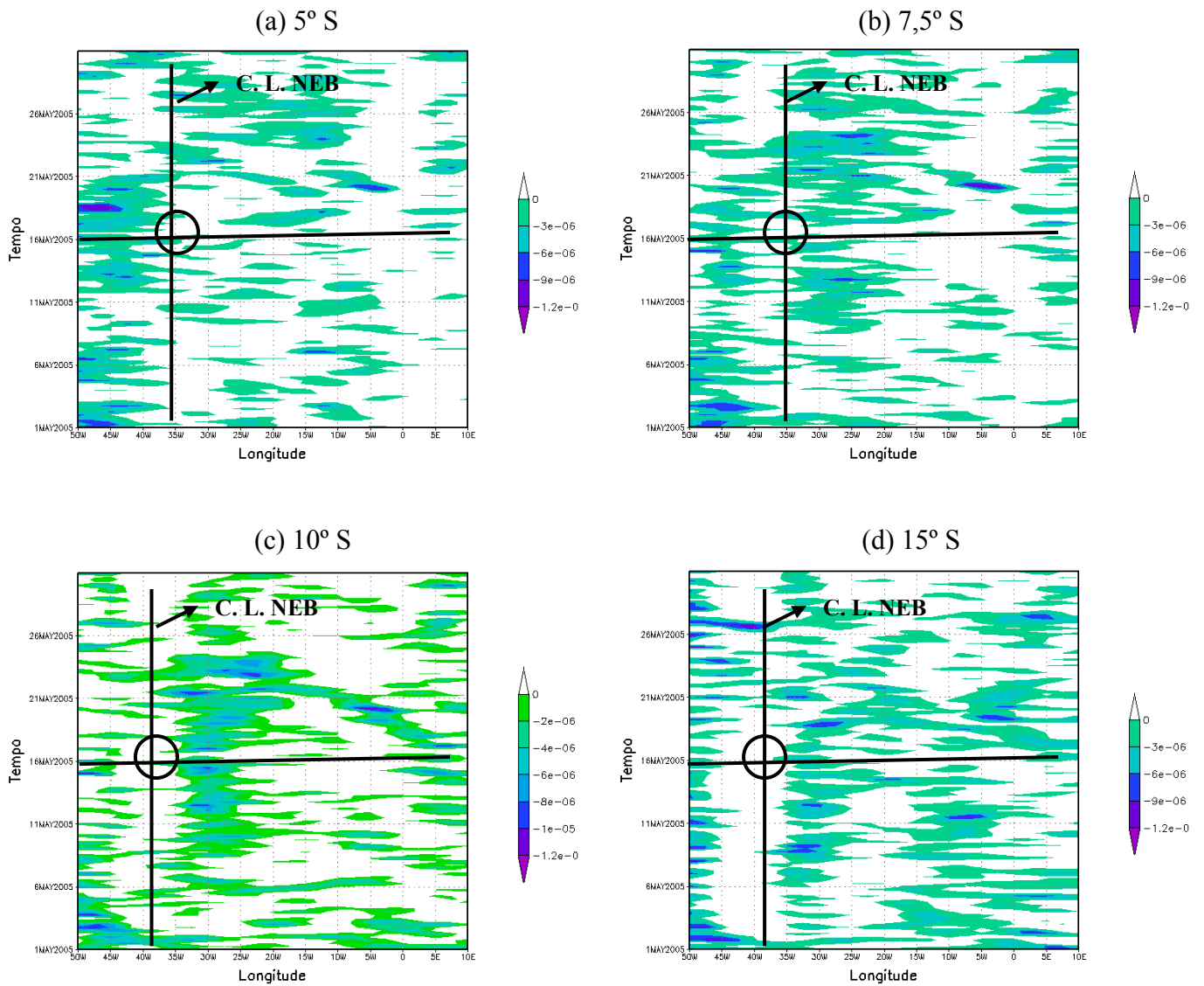


Figura 10 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de maio de 2005 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S.

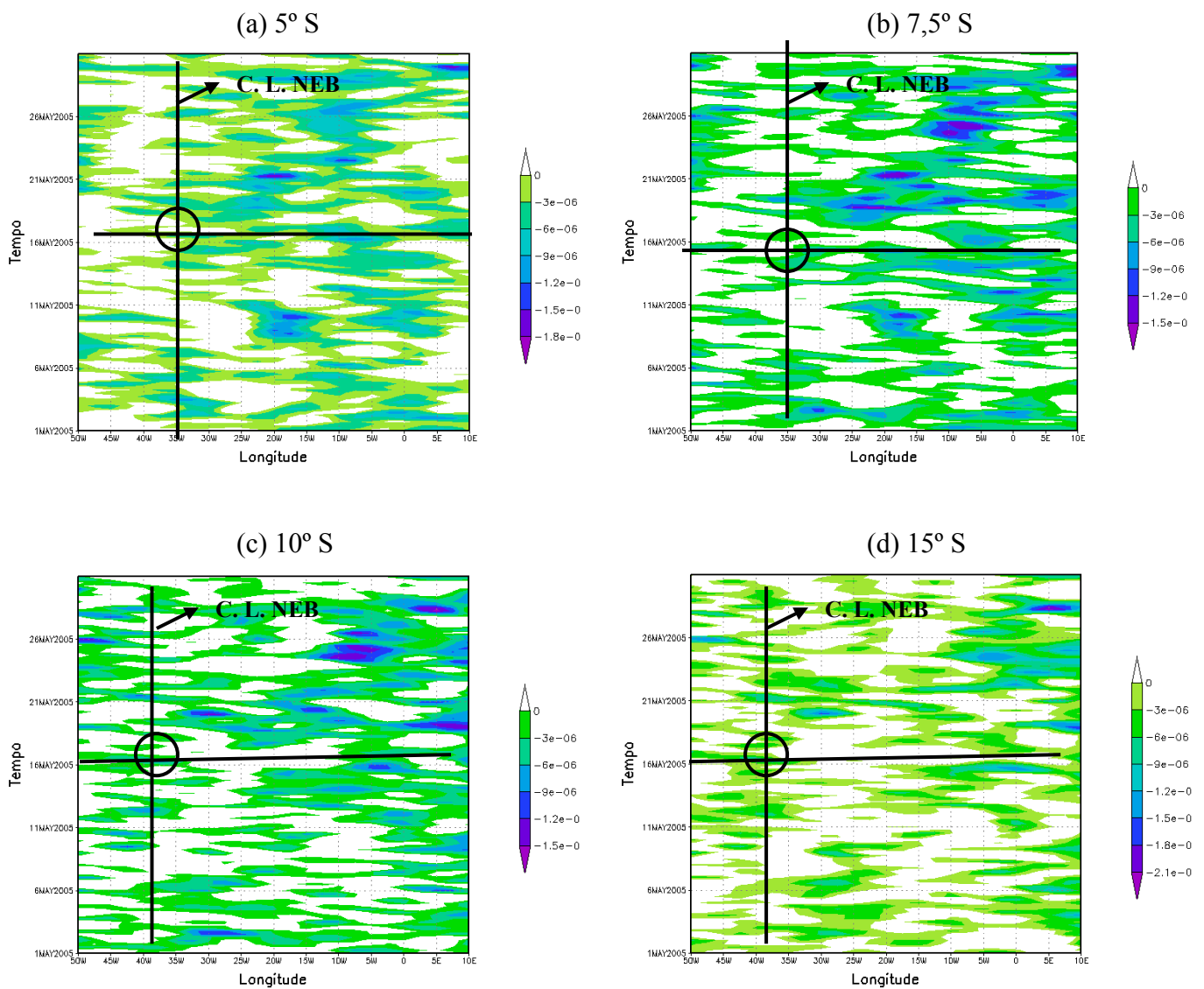


Figura 11 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de maio de 2005 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S

A divergência apresentou-se de forma muito complexa no qual não indica claramente uma evolução da mesma no tempo. Esse resultado concorda com (MOTA, 1997).

5.2. Análise do evento de DOLs que ocorreu em junho de 2006

O mês de junho de 2006 como mostra na Figura 12 foi caracterizado por muita chuva nas capitais Natal, Recife e Maceió. No dia 21 ocorreu o maior volume de precipitação no Recife passando dos 80 mm, e Natal dia 28 e Maceió dia 7.

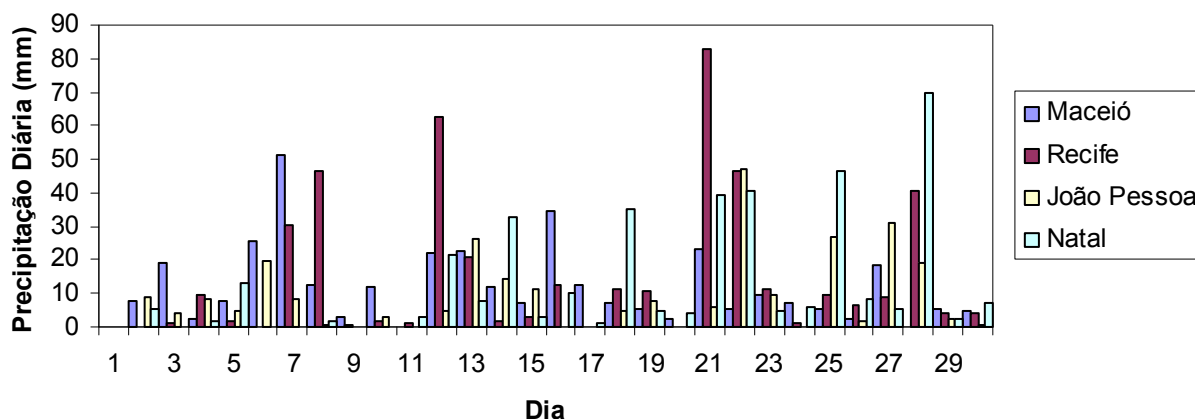


Figura 12 – Precipitação diária acumulada em (mm) para o mês de junho do ano de 2006 para as capitais Maceió, Recife, João Pessoa e Natal

A Figura 12 indica que a atmosfera durante o mês de junho de 2006 estava bastante úmida com ocorrência de chuva em quase todos os dias das capitais Natal, João Pessoa Recife e Maceió.

Nas Figuras 13 e 14 percebe-se que a formação da banda de nuvem vem de leste e se intensifica ao atingir a costa leste do Nordeste, ou seja, quando o cavado da onda se aproxima da costa leste do NEB a nebulosidade fica mais aparente como pode ser observado na Figura 13d. A nebulosidade observada na Figura 14c e 14d indica a atuação do DOL no Recife causando a alta precipitação no dia 21.

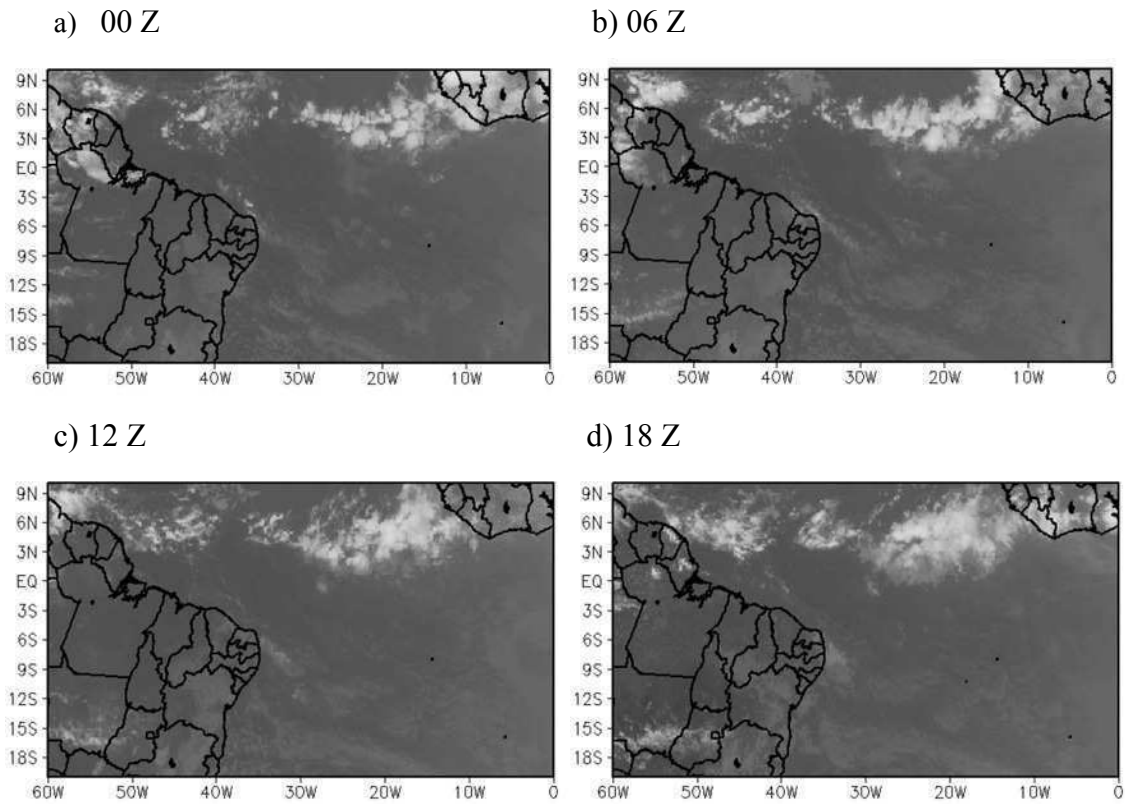


Figura 13 - Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 20 de junho de 2006. Fonte: (Torres, 2008)

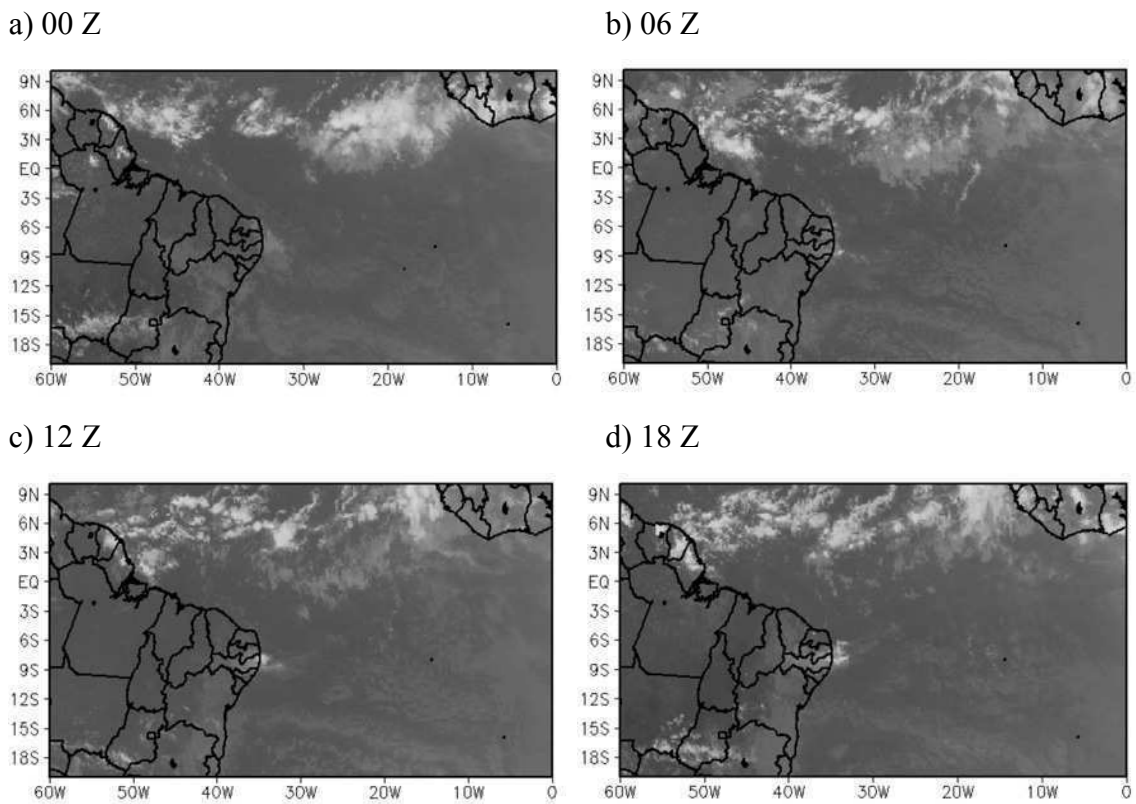


Figura 14 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 21 de junho de 2006. Fonte: (Torres, 2008)

A Figura 15 mostra o campo do vento e sua magnitude para os dia 20 nos níveis de 850 hPa. Observando a Figura 15a percebe-se que a magnitude das linhas de corrente que chegam a costa leste do Nordeste apresenta valores superiores a 9,5 m/s chegando até 14,4 m/s. No nível de 700 hPa (Figura 15b) as linhas de corrente vem de nordeste desde a costa oeste da África e se curva nas proximidade da costa leste do Nordeste brasileiro apresentando magnitude que varia entre 7,5 e 10,5 m/s na maior parte da costa, mas em Natal se registra valores entre 13,5 e 15 m/s. Na Figura 15c o escoamento de leste está quase zonal com valores maiores ao norte da costa do NEB e as linhas de corrente que atinge o estado da Bahia formam uma circulação anticiclônica.

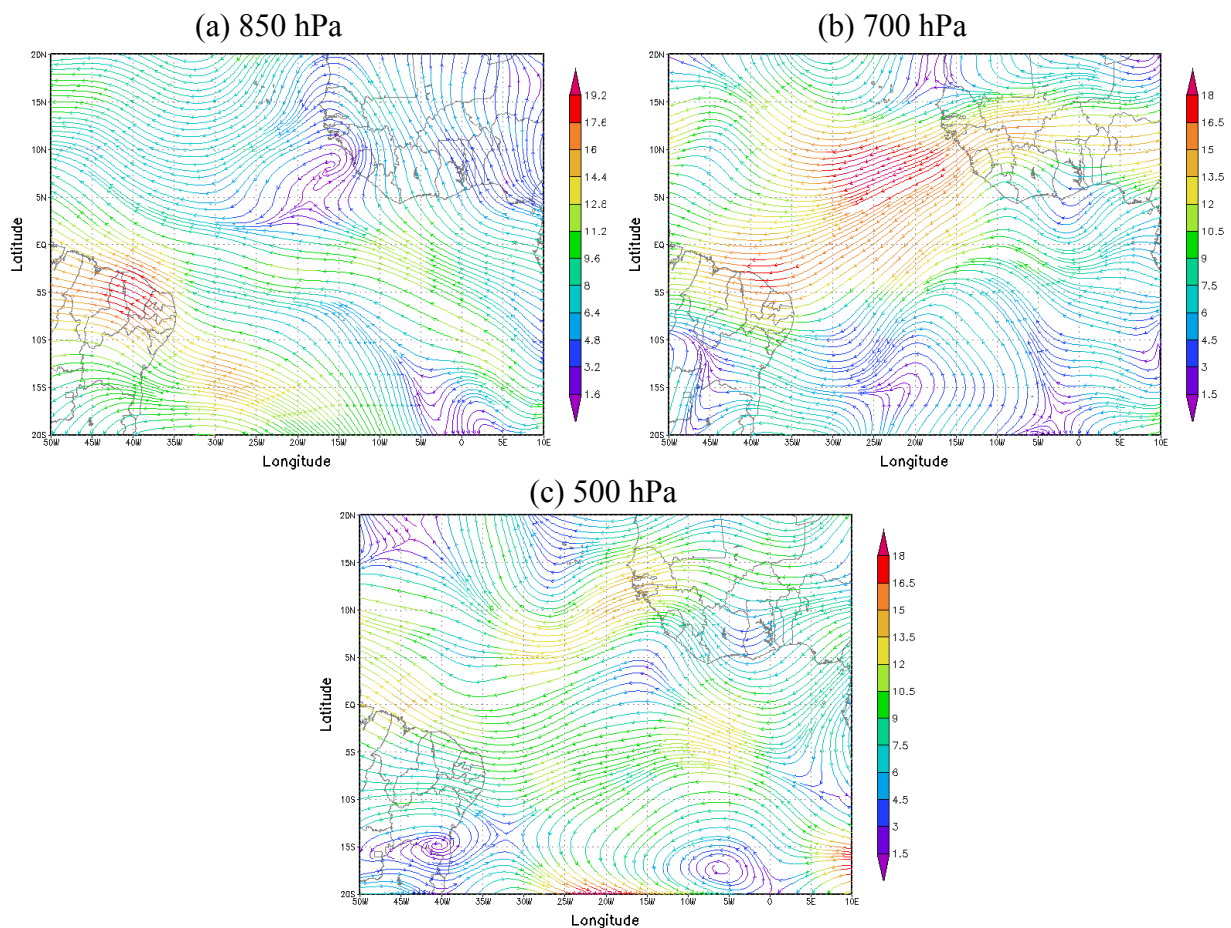


Figura 15 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 20 de junho de 2006 sendo (no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa

Analisando o dia 21 temos que a Figura 16a mostra que as linhas de corrente possuíam inclinação de SE/NO e atingiram Aracajú e Maceió com uma magnitude entre 15,4 e 16,9 m/s e que nas redondezas tanto abaixo quanto em cima a magnitude permanece igual. Na Figura 16b as linhas de corrente que chegam a costa leste do NEB apresentaram uma magnitude menor que a observada na Figura 16a chegando a atingir em algumas capitais até 11,7 m/s. No nível de 500 hPa (Figura 16c) as linhas de corrente vem de leste desde parte do Recife até Natal e apresentaram magnitudes que variam entre 7,8 e 9,1 m/s e do Recife até a costa da Bahia atuaram uma circulação anticiclônica.

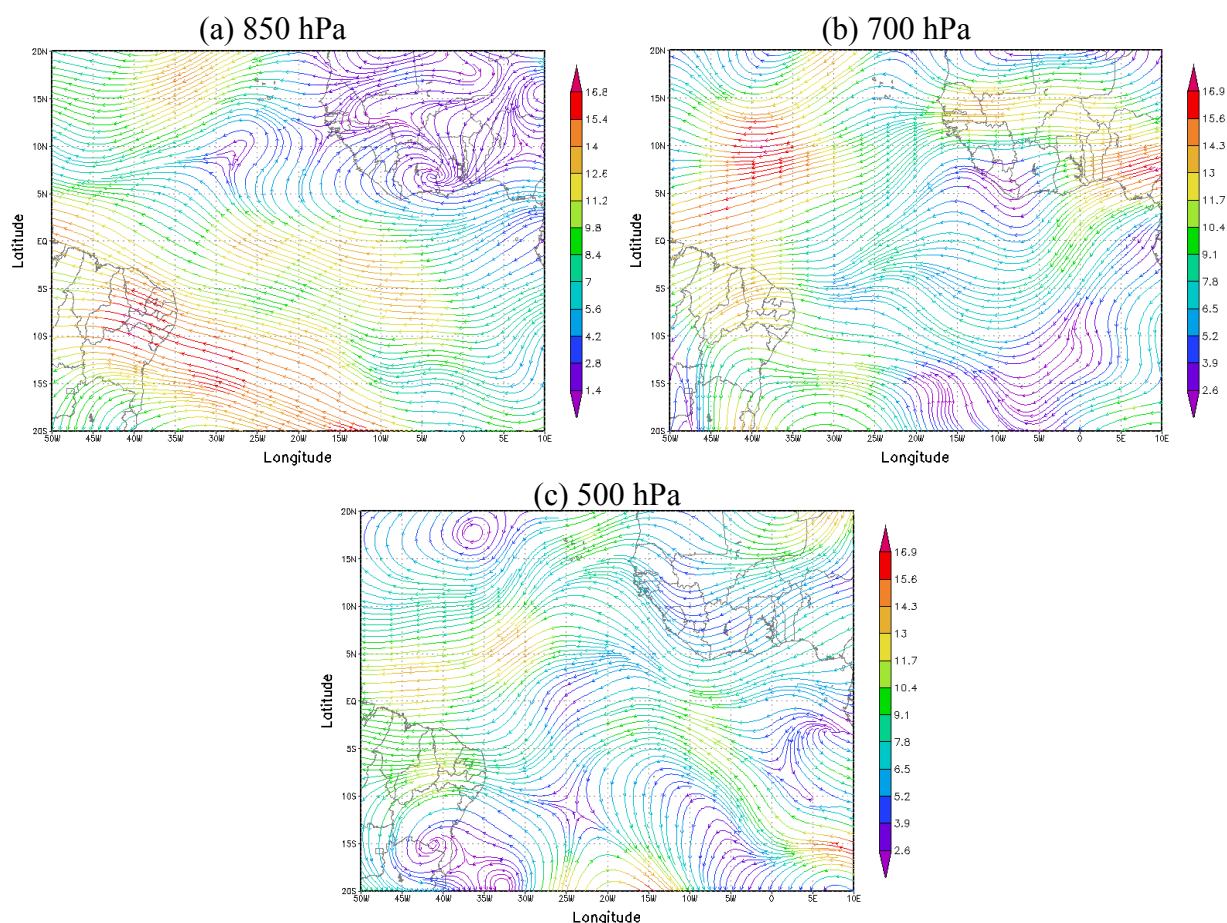


Figura 16 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 21 de junho de 2006 sendo (no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa

A Figura 17 apresenta o Índice K nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S respectivamente para o mês de junho de 2006. Na Figura 17a indica que na longitude de 35° W, no dia 20, os valores de índice K ficaram entre 30 e 33 K e no dia 21 o índice subiu para valores entre 33 e 36 K. Na latitude de 7,5° S (Figura 17b) observou-se que também o valor de K no dia 21 é superior ao do dia 20, mas com menos evidência que na Figura 17a. Valores máximos de até 39 K foram encontrados nos dias 12, 17 e 29. Tanto na Figura 17a quanto na Figura 17b foram verificados que o índice K ao longo do mês atingiu valores acima de 27 K. Na Figura 17c mostra que no dia 20 e 21 o valor do índice não ultrapassa (K=30) e valores máximos foram encontrados nos dias 12 e 13. Já na latitude 15° S (Figura 17d) temos valores abaixo dos de referências (K=25) para os dias 20 e 21 e o valor máximo não ultrapassa os 35 K.

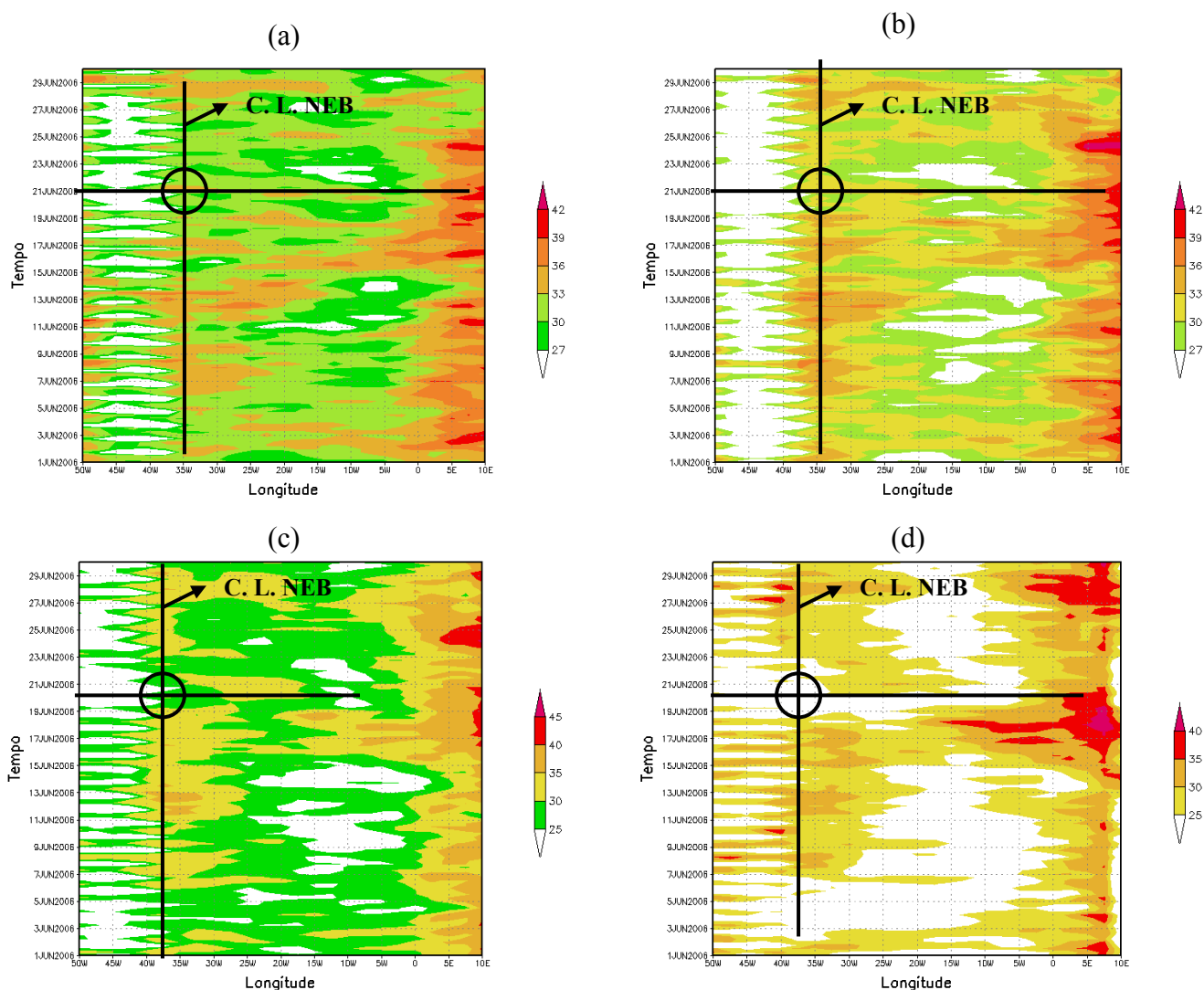


Figura 17 – Índice K para o mês de junho do ano de 2006 para as seguintes latitudes: (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

A Figura 18 tem-se a vorticidade relativa para os níveis de 850 hPa fixada nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S. Analisando a Figura 18 percebe-se que apenas a Figura 18d mostra um pouco de alternância entre a vorticidade relativa negativa (ciclônica) e a positiva (anticiclônica). Na Figura 18a o mínimo de vorticidade relativa foi encontrado entre os dias 13 e 15 e que no dia 20 e 21 havia vorticidade negativa. Na Figura 18b também apresenta vorticidade negativa nos dias 20 e 21. Na latitude 10° S (Figura 18c) mostra que nos dias 20 e 21 apresentam vorticidade positiva e negativa respectivamente. Já a Figura 18d indica o contrário da Figura 18c, ou seja, no dia 20 encontrou vorticidade negativa e no dia 21 vorticidade positiva.

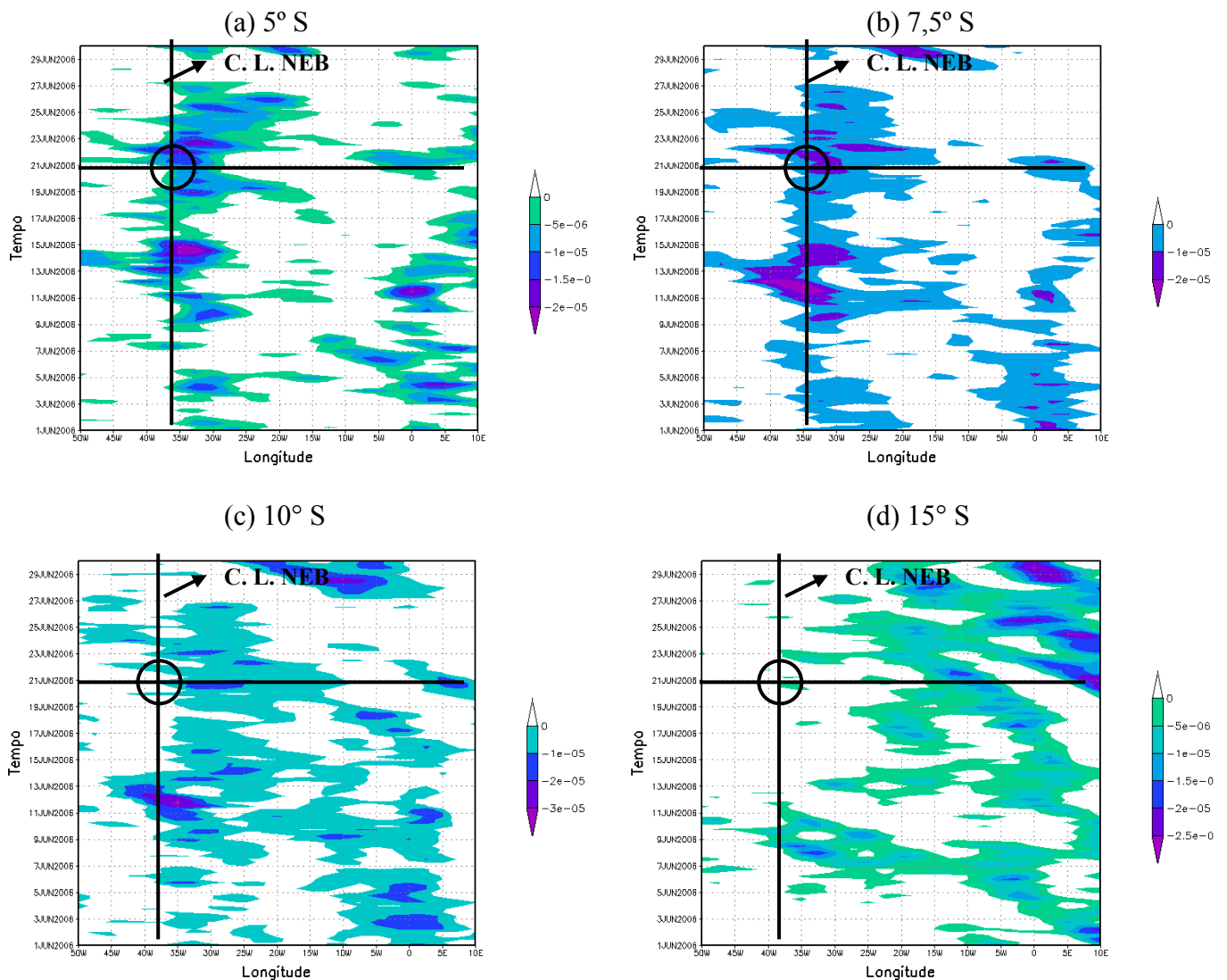


Figura 18 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de junho de 2006 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

Analisando a Figura 19a o mínimo de vorticidade relativa negativa encontra-se também entre os dias 13 e 15 e que no dia 20 a vorticidade é positiva e no dia 21 apresenta vorticidade negativa (10° S). As Figuras 19b e 19c apresentaram vorticidade positiva nos dias 20 e 21. Já na Figura 19d o dia 20 mostrou que possuía vorticidade negativa e 21 vorticidade positiva.

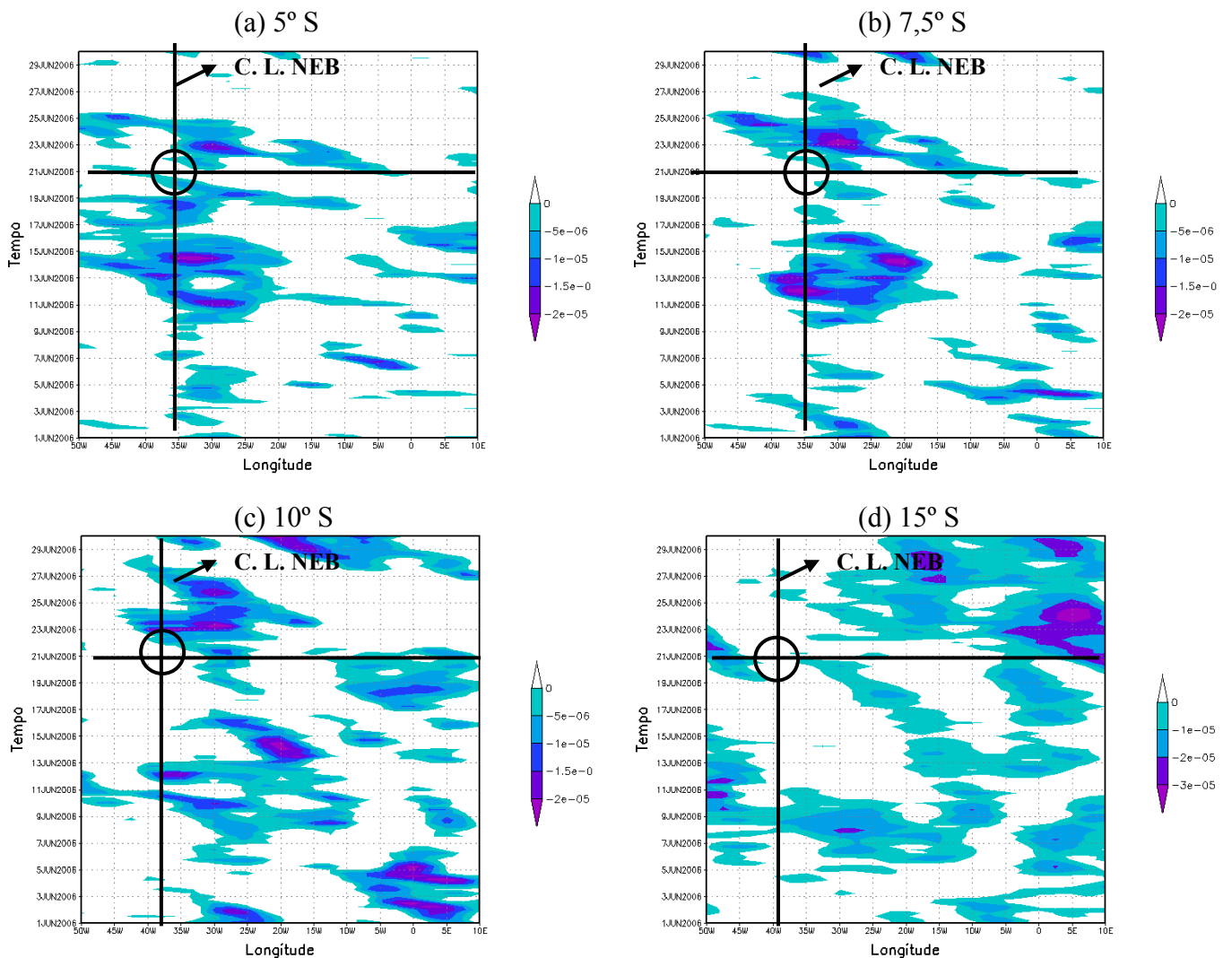


Figura 19 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de junho de 2006 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) $7,5^{\circ}$ S, (c) 10° S e (d) 15° S

As Figuras 20 e 21 representam a divergência horizontal para os níveis de 850 hPa e 700 hPa respectivamente nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S. Analisando a Figura 20 percebe-se que o campo da divergência apresenta uma configuração complexa. Mas podemos identificar se nos dias em que antecederam e no dia do em que o distúrbio ondulatório de leste passou na longitude de 35° W apresentaram divergência horizontal. Dessa forma nas Figuras 20a, 20b, 20c e 20d há vestígios de divergência no dia 20 e convergência no dia 21. No nível de 700 hPa (Figura 21) mostra que na Figura 21a há divergência nos dias 20 e 21 e que nas Figuras 21b e 21c ocorreu divergência no dia 20 e convergência no dia 21. E na Figura 21d ocorreu convergência tanto no dia 20 quanto no dia 21.

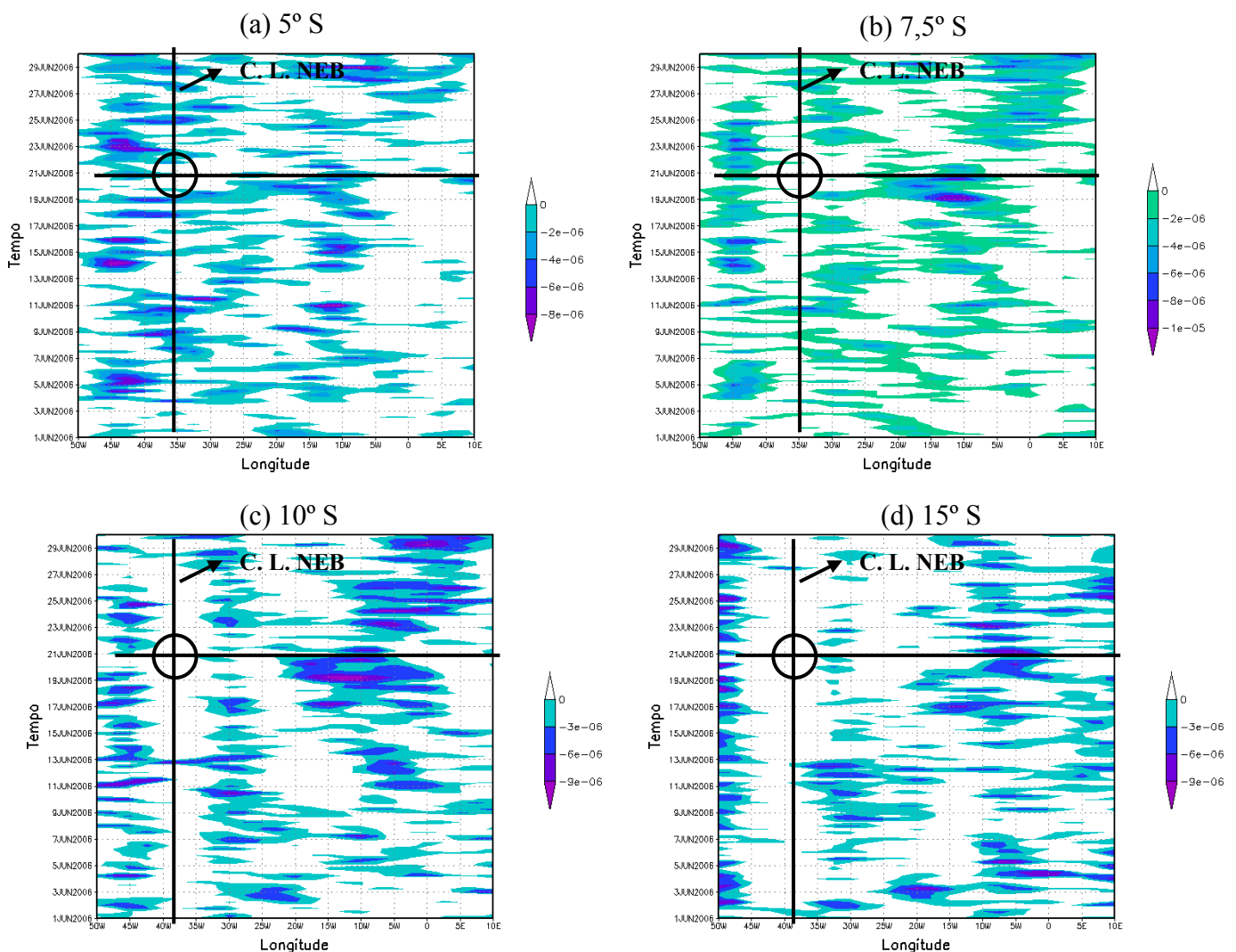


Figura 20 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de junho de 2006 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

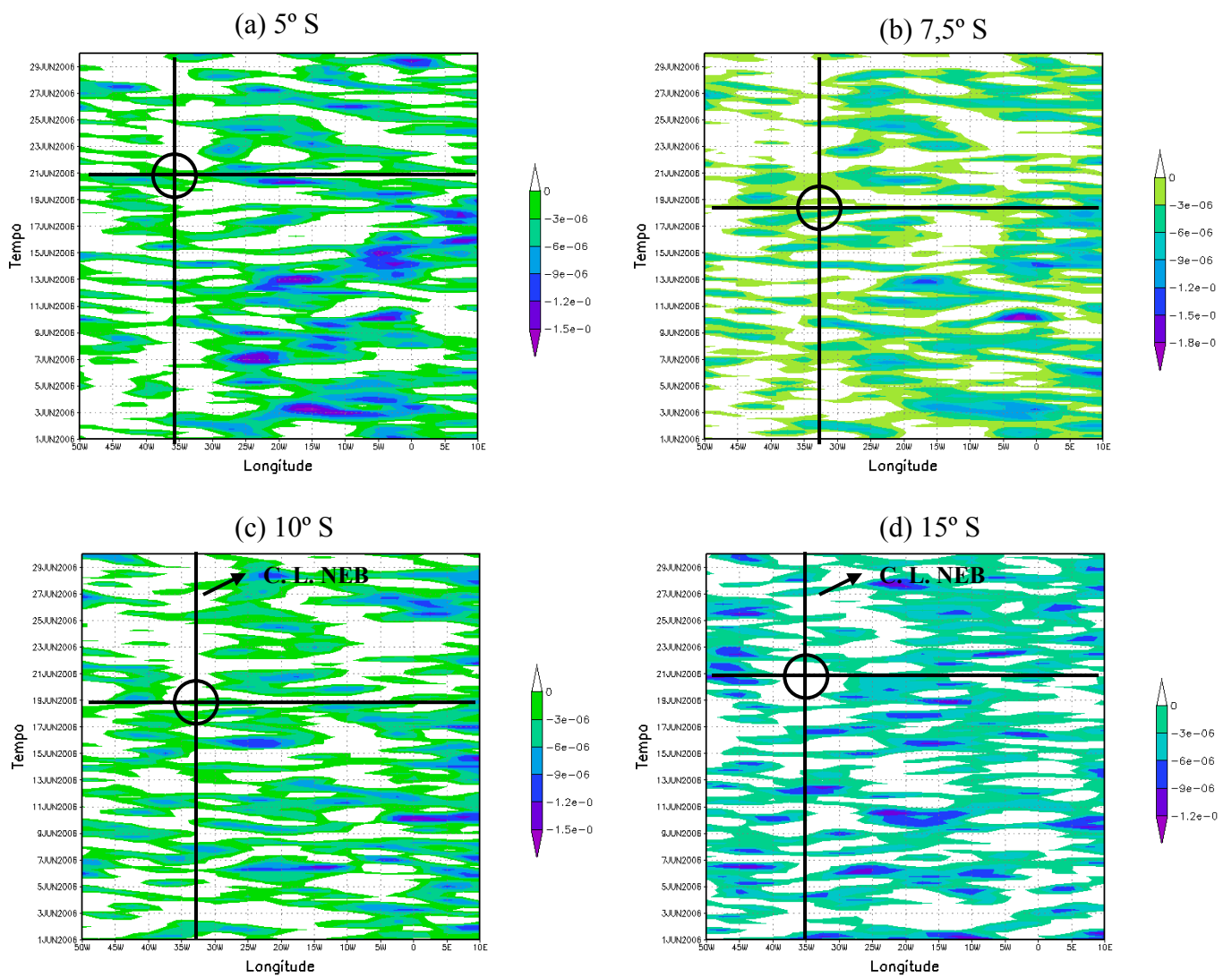


Figura 21 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de junho de 2006 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

5.3. Análise do evento de DOLs que ocorreu em Junho de 2007

Analisando a precipitação do mês de junho de 2007 percebe-se que ocorreram diversos dias com precipitações superiores a 50 mm e dois dias com valores superior a 100 mm. O evento de Distúrbio Ondulatório de Leste ocorrido no dia 17 corresponde ao dia em que a precipitação foi máxima em Natal.

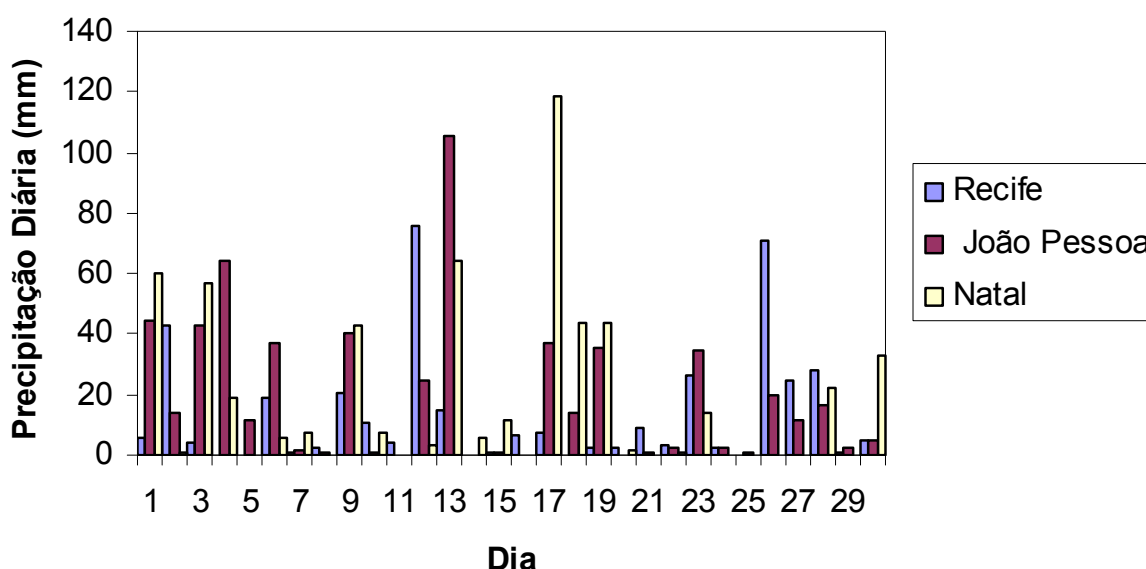


Figura 22 - Precipitação diária acumulada em (mm) para o mês de maio do ano de 2007 para as capitais Recife, João Pessoa e Natal

As Figuras 23 e 24 apresentam imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para os dias 16 e 17 de junho de 2007. As 6h local (Figura 23a) percebe-se que uma pequena nuvem se aproxima da costa leste do Nordeste, as 21h local (Figura 23b) surge uma banda de nuvem mais dispersa, as 00:00 h do dia 17 a banda de nuvens chega a costa e na Figura 23c mostra que essa banda de nuvem bem mais definida e intensa e que atinge a costa tendo uma maior atuação em com João Pessoa e Natal.

Essas banda de nuvens mostra mais dispersa as 12:00 h (Figura 24c) e na Figura 24d mostra as nuvens se dispersando para o norte do Nordeste com uma inclinação de SE/NO.

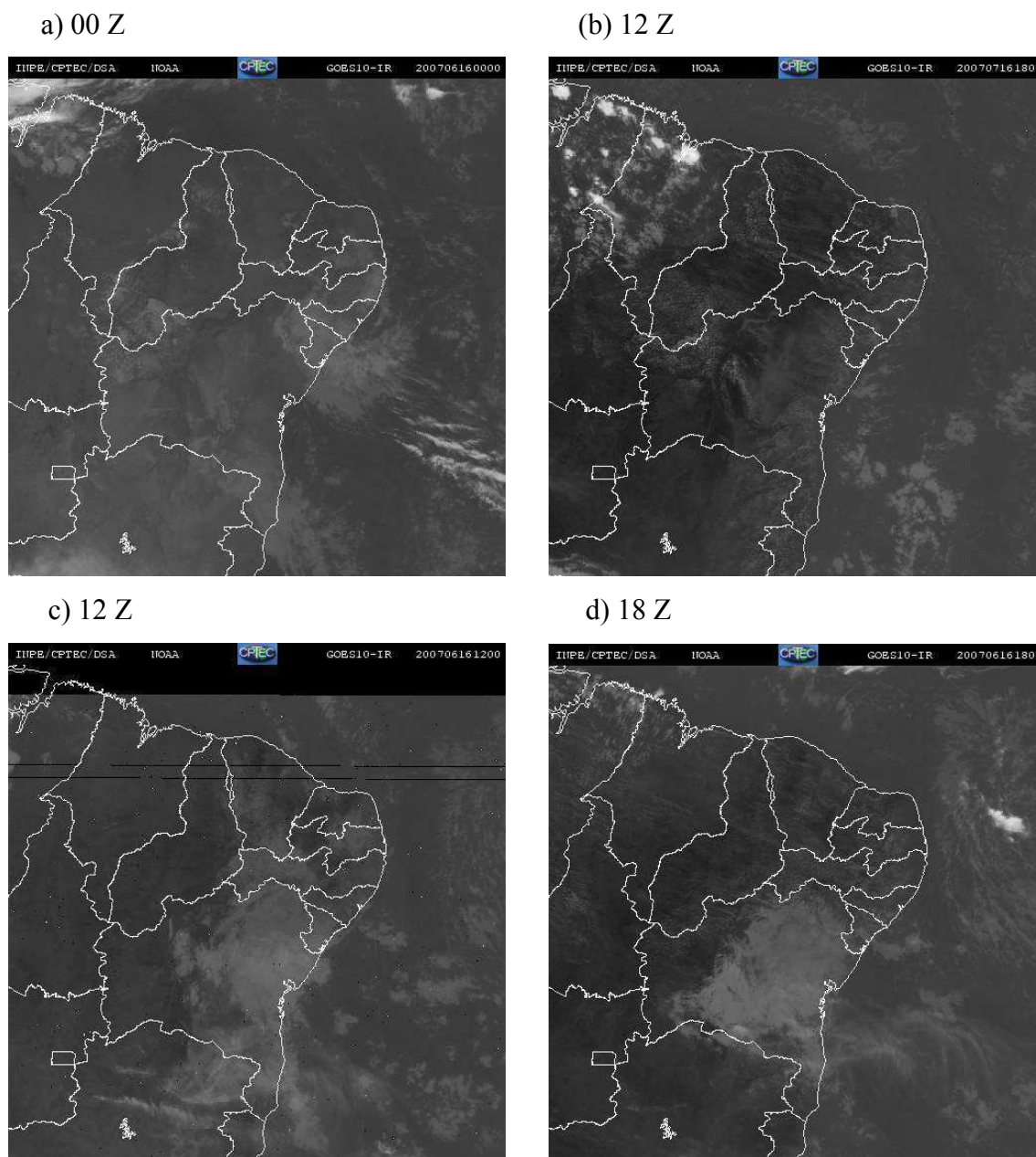
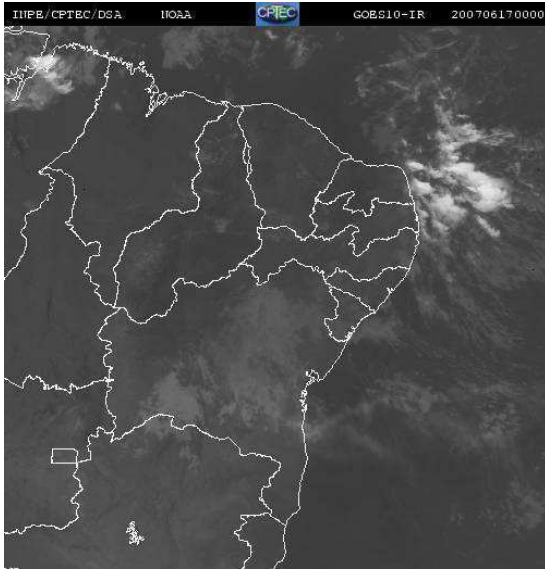
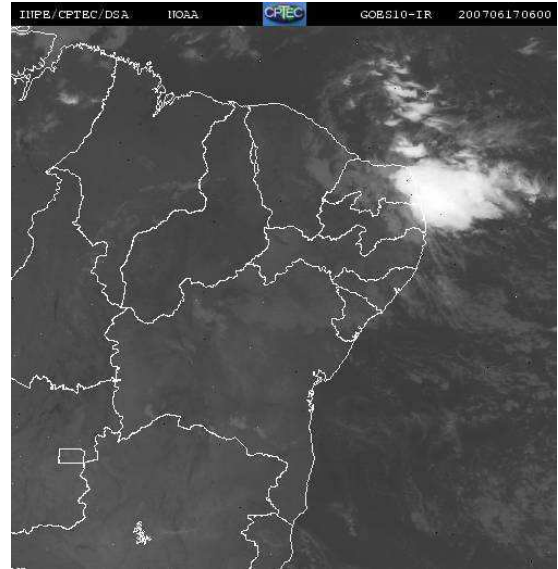


Figura 23 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 16 de junho de 2007

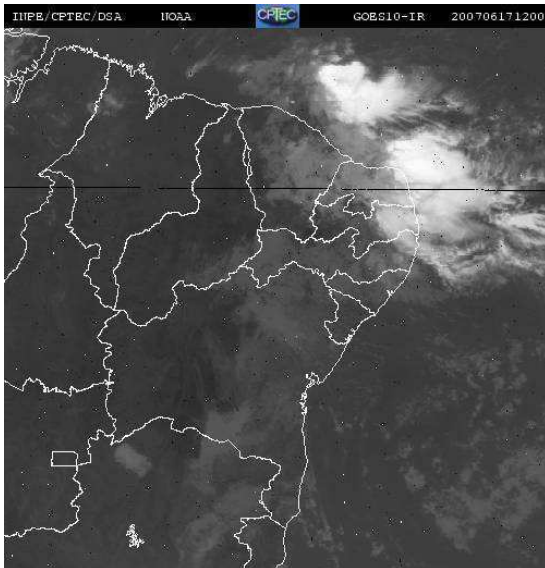
(a) 00 Z



(b) 06 Z



(c) 12 Z



(d) 18 Z

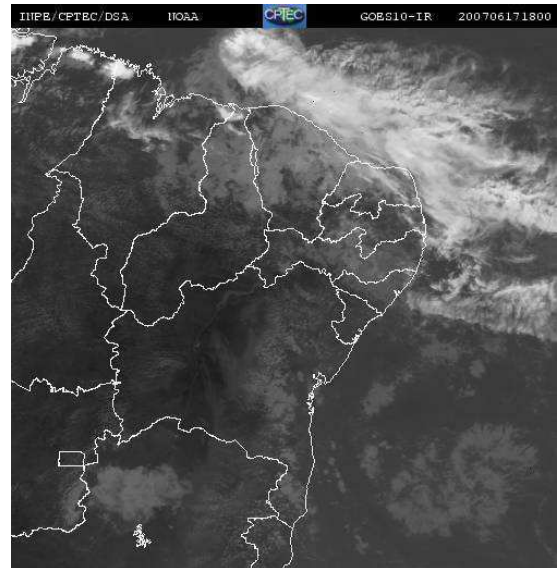


Figura 24 – Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 17 de junho de 2007

A Figura 25 apresenta as linhas de corrente e magnitude do vento para os dias 16. Analisando a Figura 25a as linhas de corrente que chegam a costa leste do Nordeste apresentam uma trajetória de cavado e atinge magnitudes entre 11,2 e 14 m/s entre as capitais de Recife e Natal. Já no nível de 700 hPa (Figura 25b) a magnitude do vento que atinge a costa é menor do que a observada no nível de 850 hPa e que não ultrapassa 9 m/s. Já no nível de 500 hPa (Figura 25c) as linhas de corrente que chega a costa da Bahia apresenta uma magnitude maior que nas outros capitais onde essas linhas indica uma circulação anticiclônica.

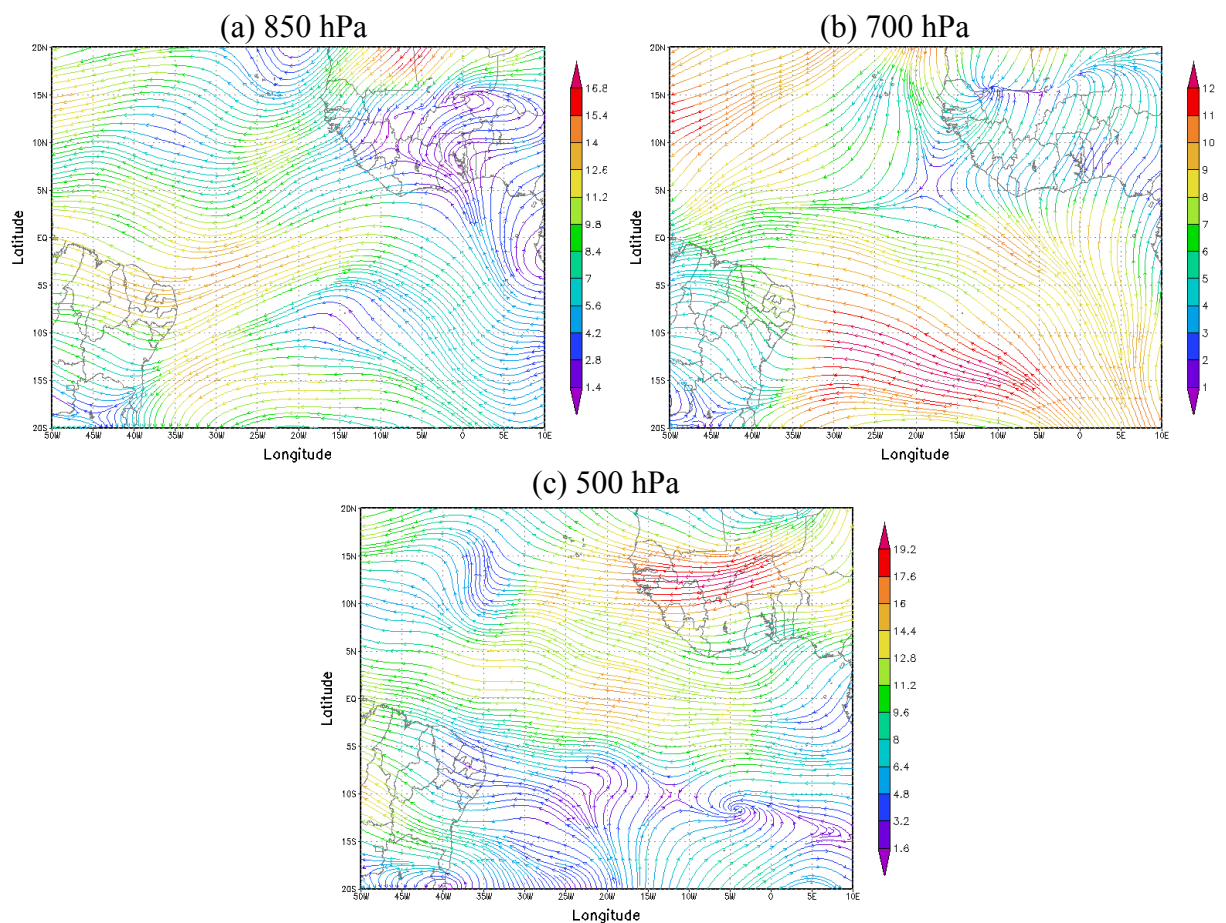


Figura 25 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 16 de junho de 2007 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa

Analisando a Figura 26a percebeu-se que as linhas que chegam a João Pessoa e Natal apresentam uma magnitude que varia entre 13 e 14,3 m/s, mas na maioria da costa estes valores superam 10 m/s. Na Figura 26b as linhas de corrente que chegam a costa indica uma inclinação de SE/NO e essa trajetória pode ser vista desde a longitude de 0°. No nível de 500 hPa (Figura 26c) as linhas de corrente que chegam a costa se apresentam de norte na longitude de 25° W e curvam-se para a costa entre as longitudes de 35° W e 25° W chegando quase zonal e com uma magnitude superior a 11,8 m/s.

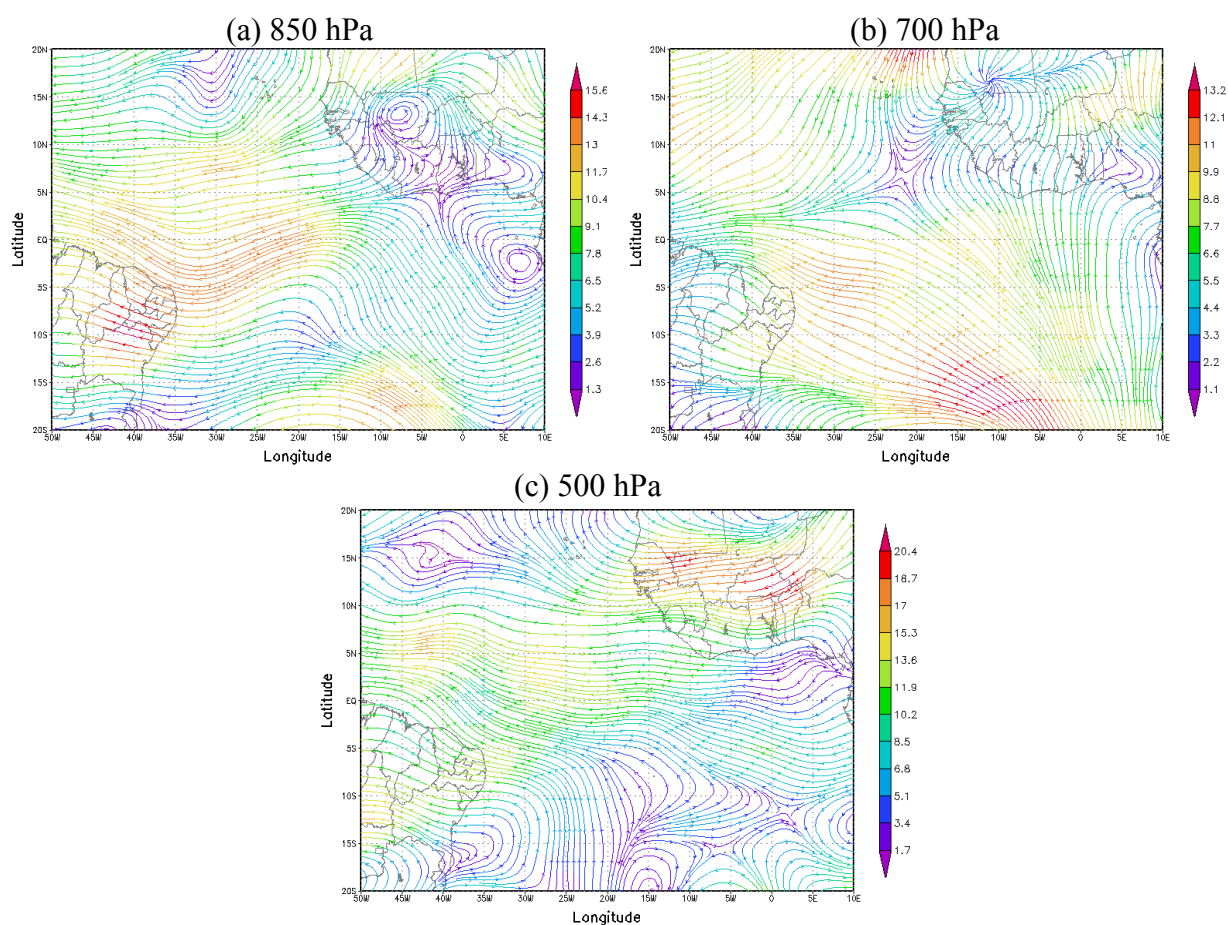


Figura 26 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 17 de junho de 2007 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa

A Figura 27 indica o Índice K fixado nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S respectivamente. Analisando a Figura 27a na longitude de 35° W percebe-se que o índice K nos dias 16 e 17 apesar de apresentarem valores entre 30 e 35 K não foram observados uma evolução como no dia 13. Foi observado também que ao longo da longitude analisada o índice apresenta valores iguais ou maiores que o valor de referência. Na latitude de 7,5° S (Figura 27b), os dias 16 e 17, os valores do índice são entre 30 e 35 K e que no geral o índice K apresenta valores superiores a (K=35) ao longo da longitude de 35° W. Na latitude de 10° S (Figura 27c) o índice na longitude de 35° W também supera 35 K, a evolução observada nos dias 16 e 17 apresentam os menores valores encontrados na latitude de 7,5° S. Na Figura 27d observa-se valores abaixo do valor de referência (K=25) e o índice no dia 17 é maior que no dia 16.

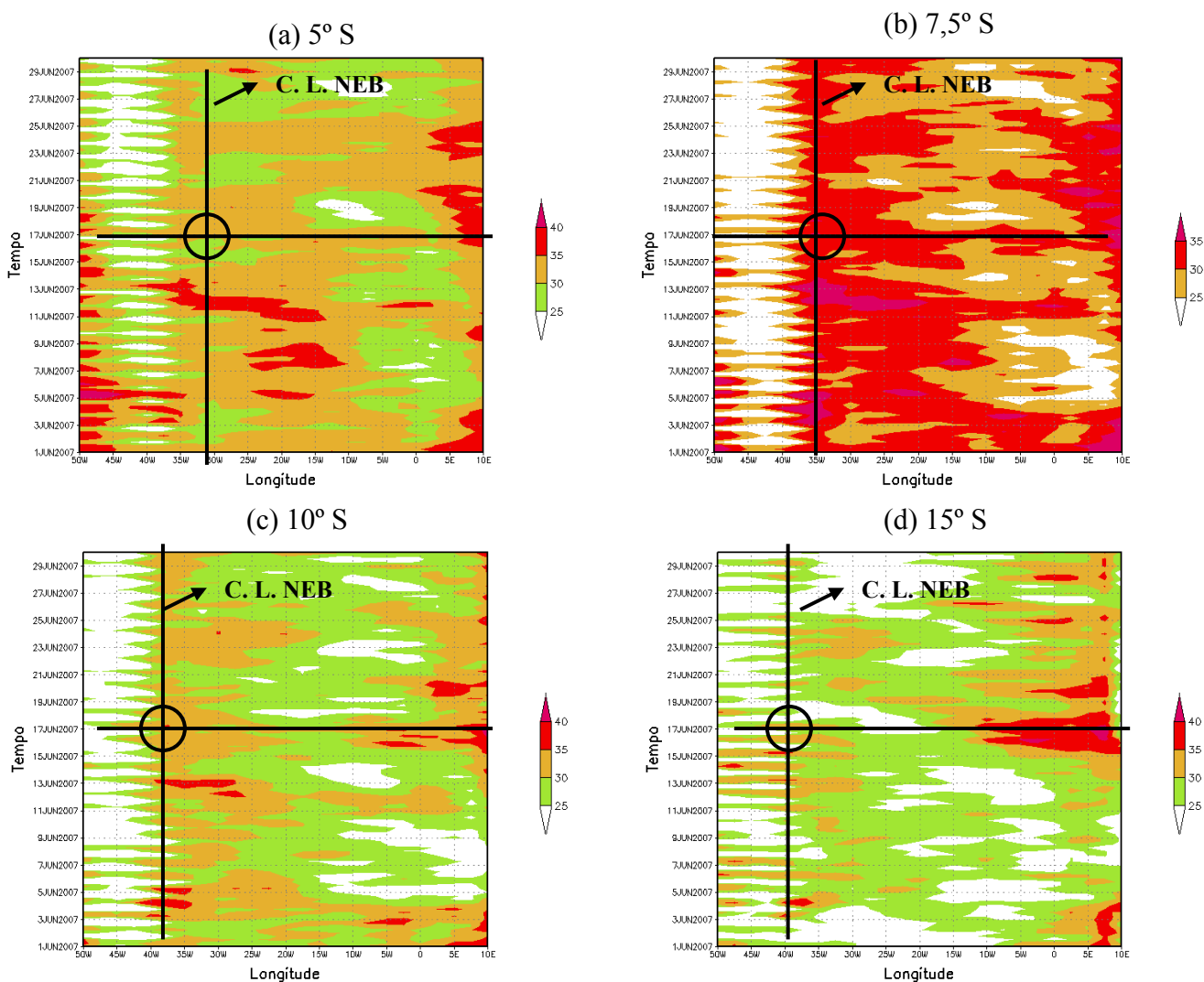


Figura 27 – Índice K para o mês de junho do ano de 2007 para as seguintes latitudes: (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

Nas Figuras 28 e 29 tem-se a vorticidade relativa fixada nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S respectivamente. Serão analisados como a vorticidade evolui e chega à longitude de 35° W. Na latitude 5° S (Figura 28a) no início do mês é observado uma evolução da vorticidade até o dia 9 e outra que se inicia no dia 17, tanto o dia 16 quanto o dia 17 apresentam vorticidade relativa ciclônica. Na latitude de 7,5° S (Figura 28b) o dia 16 e 17 apresentam também vorticidade ciclônica e próximo ao dia 13 há indícios de um centro de mínimo de vorticidade ciclônica. Nas latitudes de 10° S (Figura 28c) e 15° S (Figura 28d) mostram que a vorticidade é anticiclônica nos dias 16 e 17 .

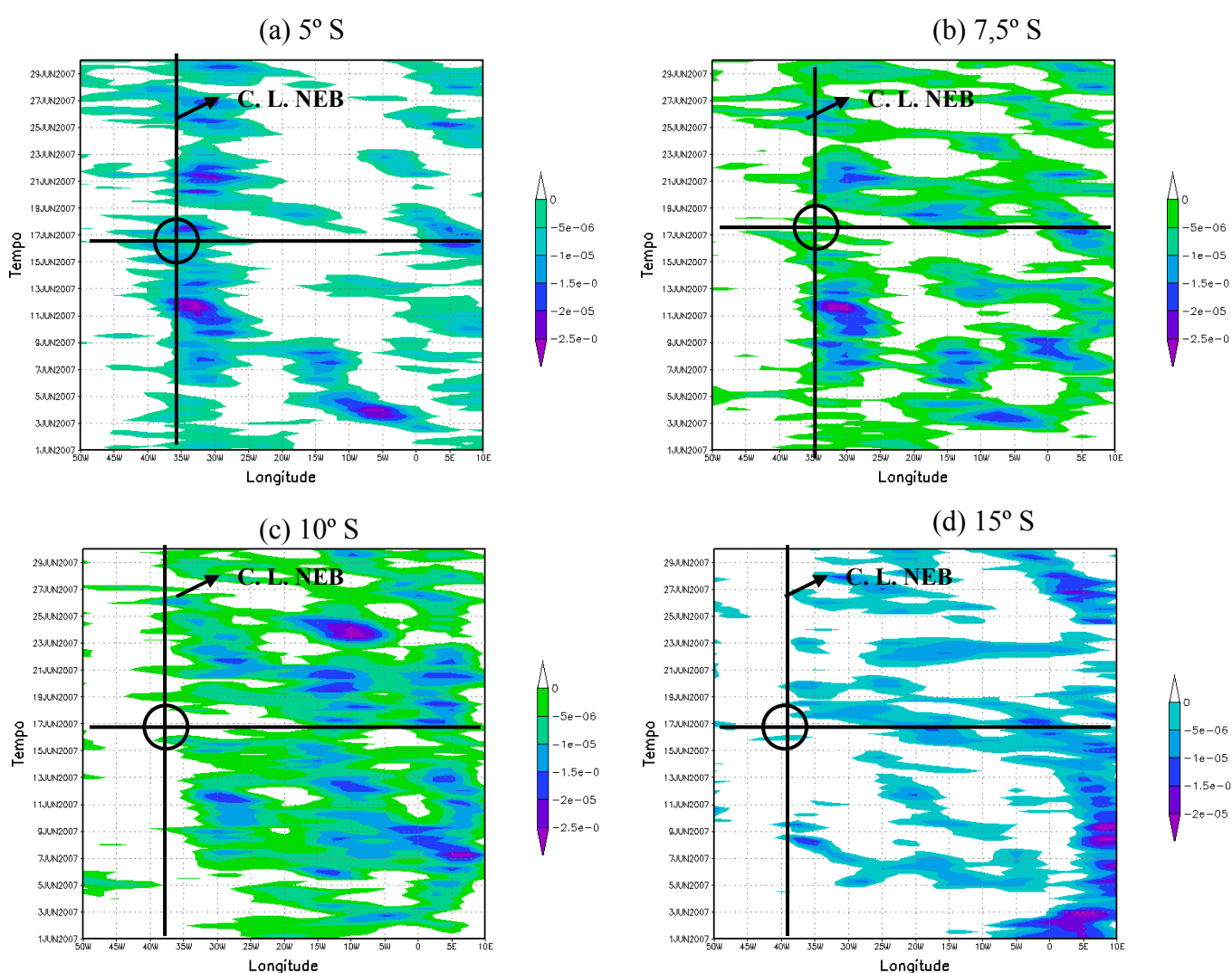


Figura 28 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de junho de 2007 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

Analisando a Figura 29 percebe-se que na longitude de 35° W em todas as latitudes os dias 16 e 17 apresentaram vorticidade relativa ciclônica.

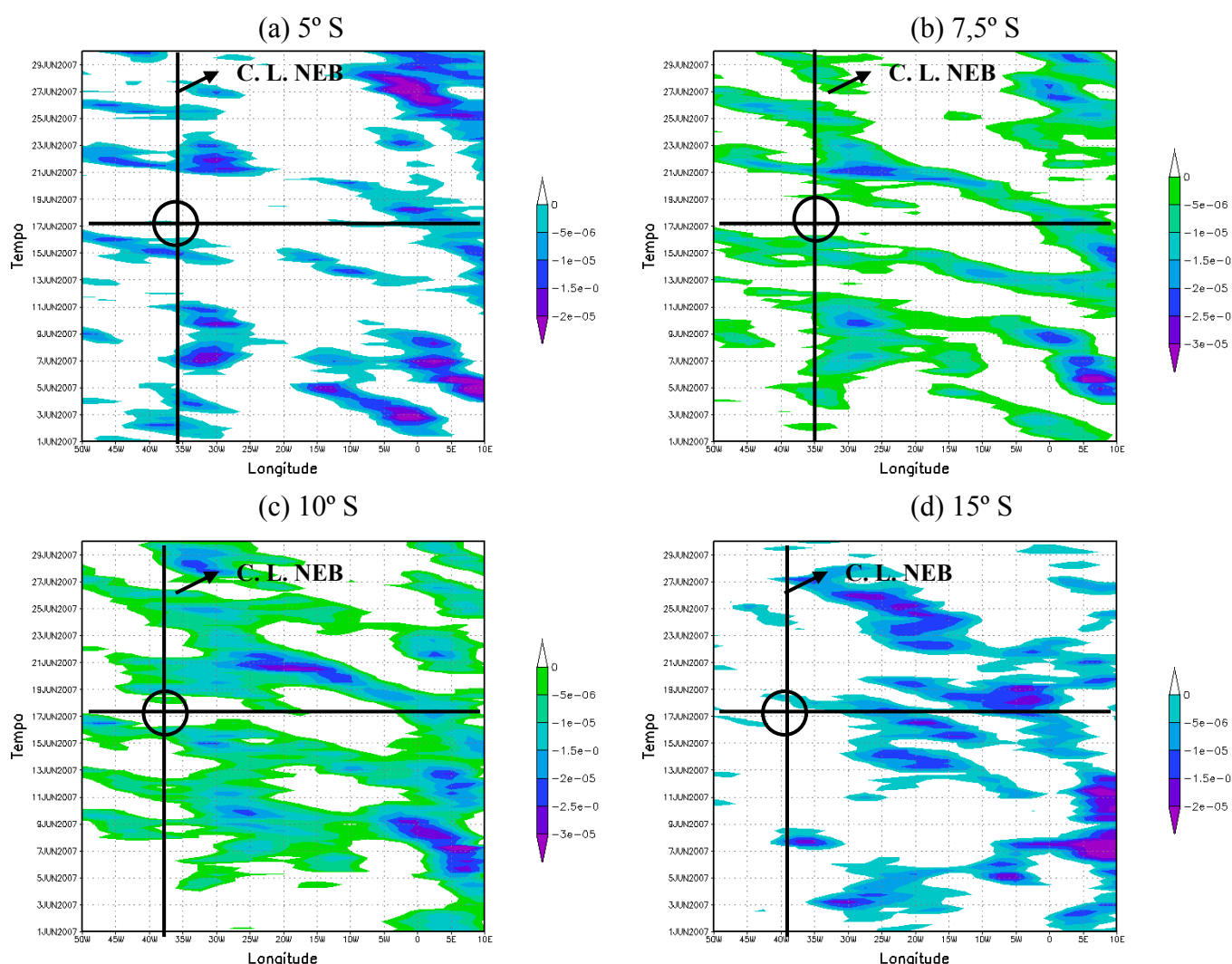


Figura 29 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de junho de 2007 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S

Assim como nas Figuras 30 e 31 foram construídos gráficos da divergência horizontal para as latitudes estudadas. Na Figura 30 observa-se que em todas as latitudes o dia 17 apresentou convergência e que no dia 16 só apresentou divergência na latitude de 15° S. Analisando o nível de 700 hPa (Figura 31) percebe-se que nas latitudes de 5° S (Figura 31a) e 7,5° S (Figura 31b) no dia 17 correu convergência e nas latitudes 10° S (Figura 31c) e 15° S (Figura 31d) ocorreram divergência.

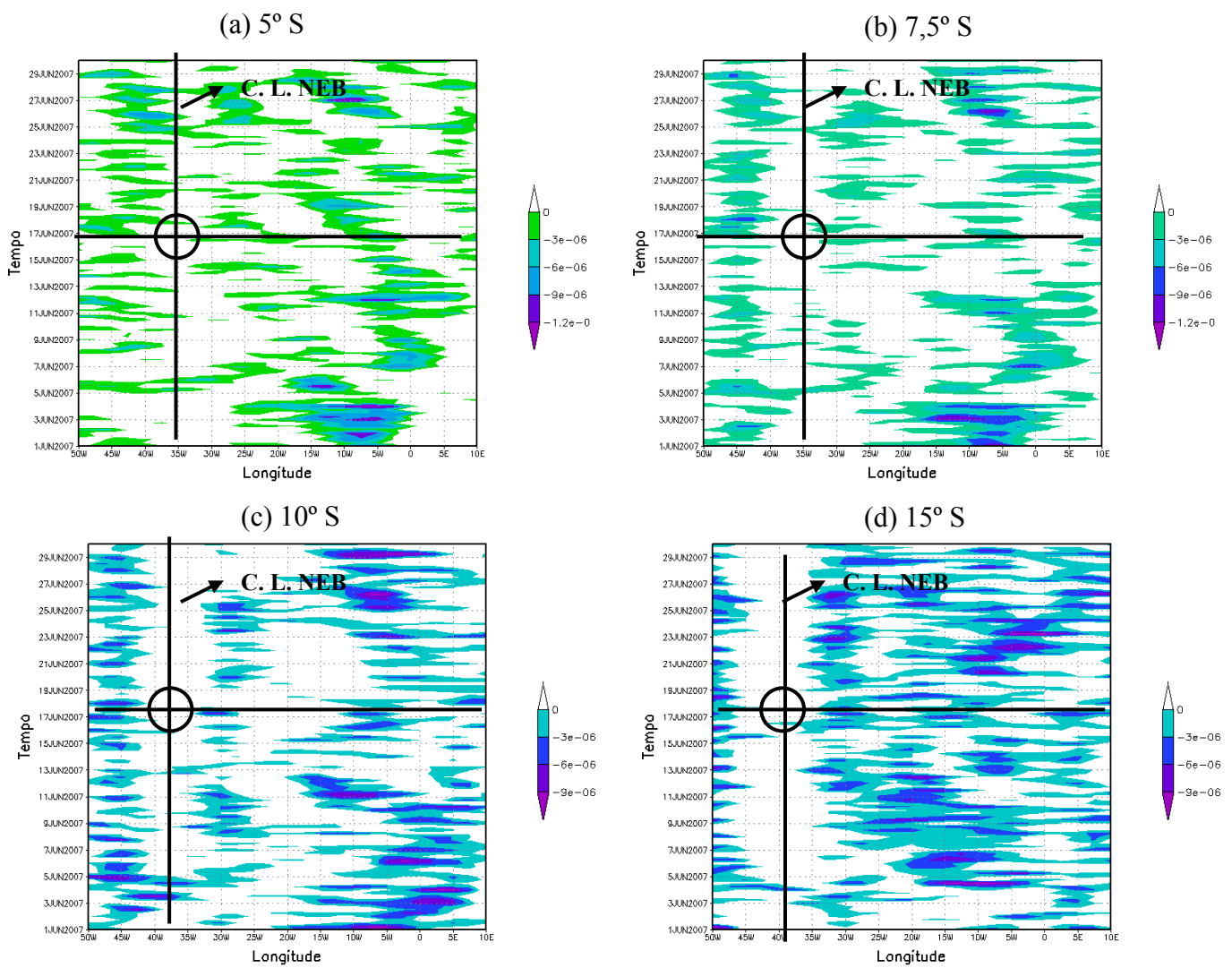


Figura 30 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de junho de 2007 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

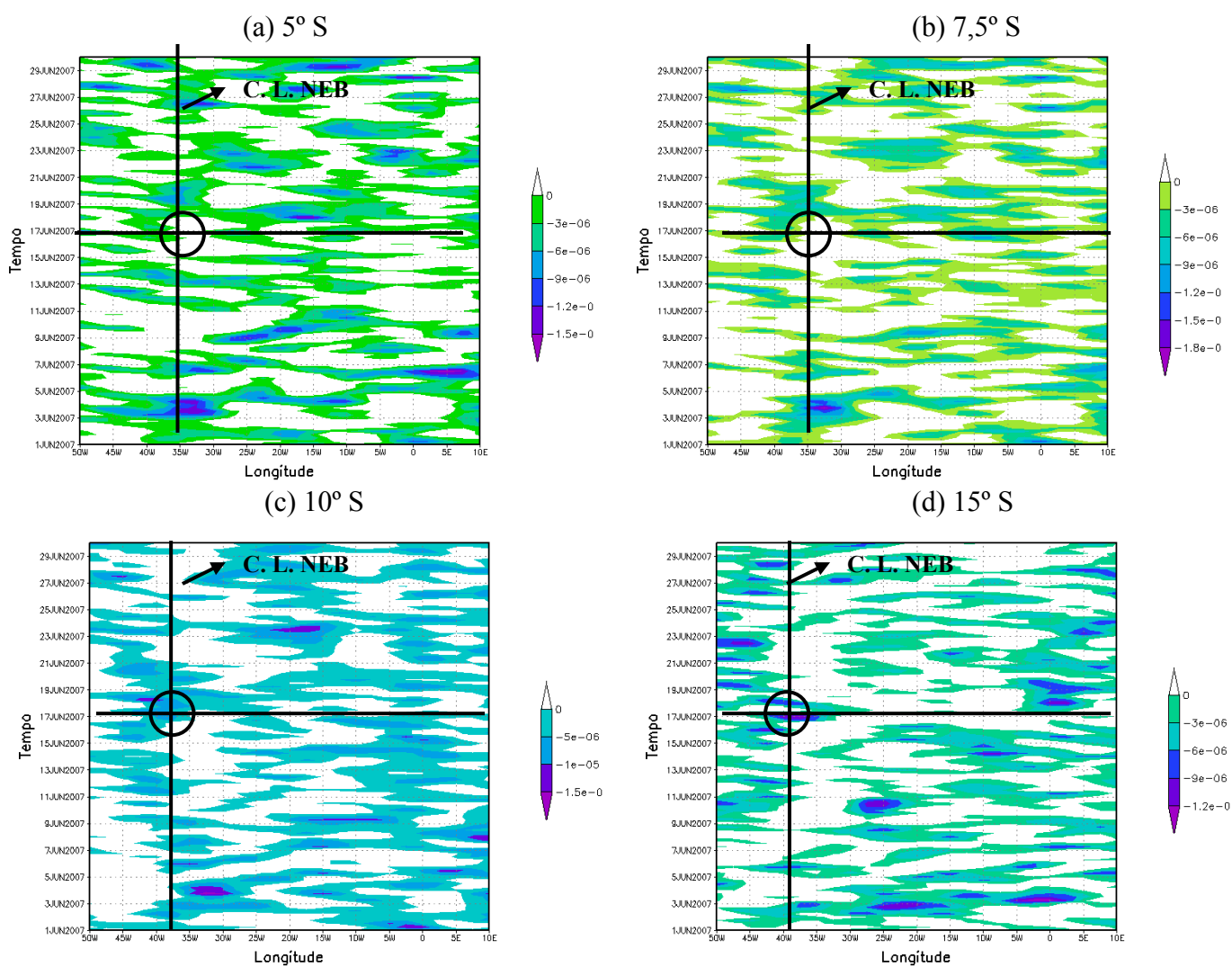


Figura 31 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de junho de 2007 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

5.4. Análise de dois eventos de DOLs que ocorreram em maio de 2008

No mês de maio de 2008 ocorreram dois eventos de distúrbios ondulatórios de leste, que atingiram a costa leste do NEB. UM no dia 17 que produziu chuvas de 93,5 mm/dia em Porto de Pedra - AL. Outro no dia 27 que ocasionou chuvas de 94,8 mm/dia em Barreiros - PE e de 87,0 mm/dia em João Pessoa-PB. A propósito a Figura 32 mostra a distribuição de chuvas em Recife, João Pessoa e Natal durante maio de 2008.

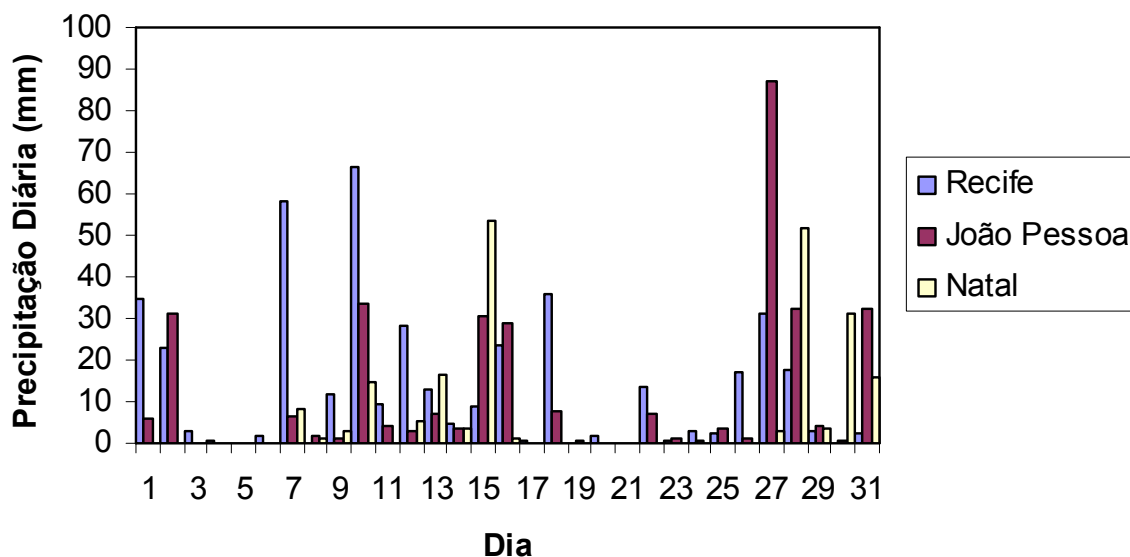


Figura 32 - Precipitação diária acumulada em (mm) para o mês de maio do ano de 2008 para as capitais Maceió, Recife, João Pessoa e Natal

De acordo com as Figuras 33, 34 e 35 as bandas de nuvens estavam mais concentradas na cota leste do Estado de Alagoas e mostra que elas se deslocaram para oeste com uma inclinação de SE/NO se intensificando na à medida que se aproxima da costa.

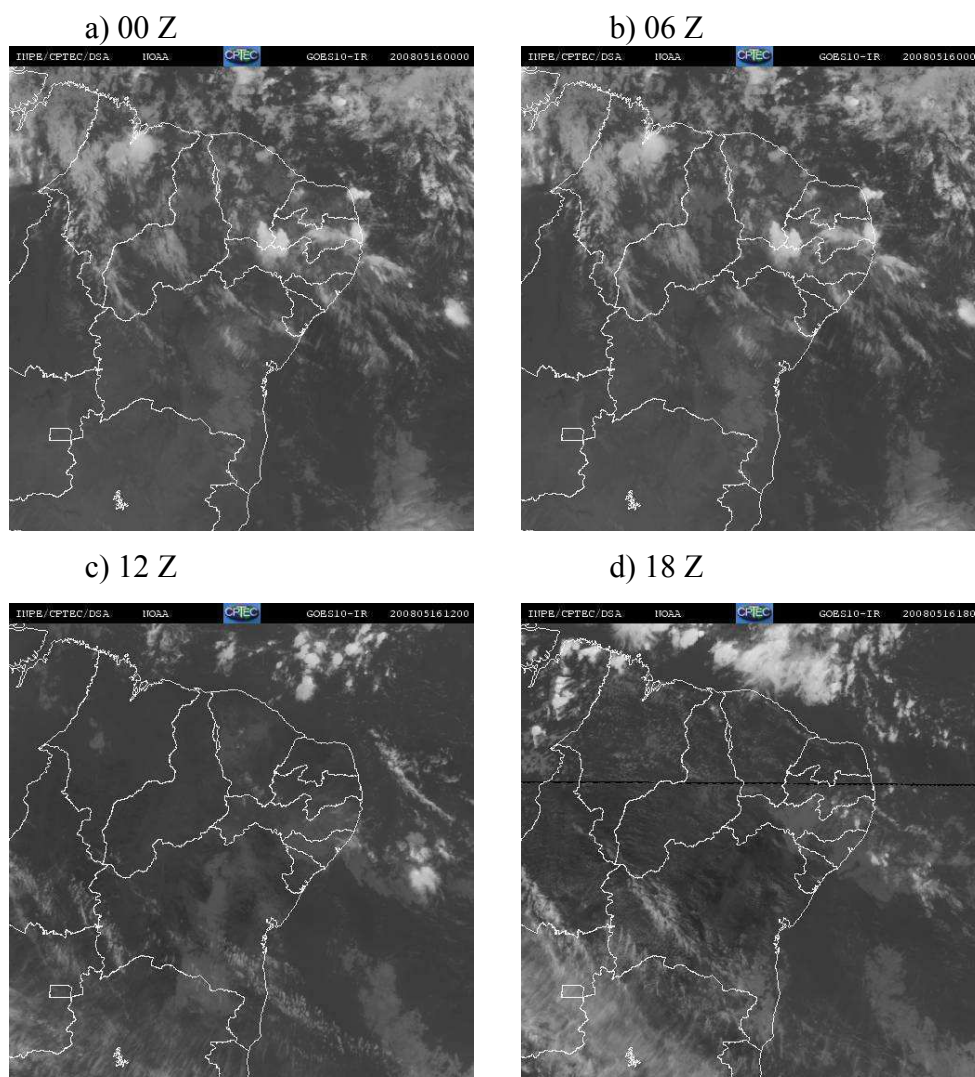
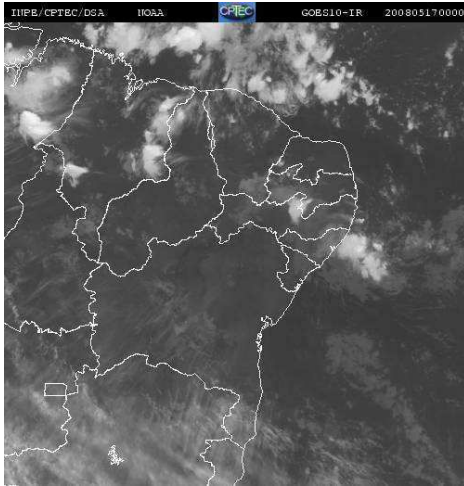
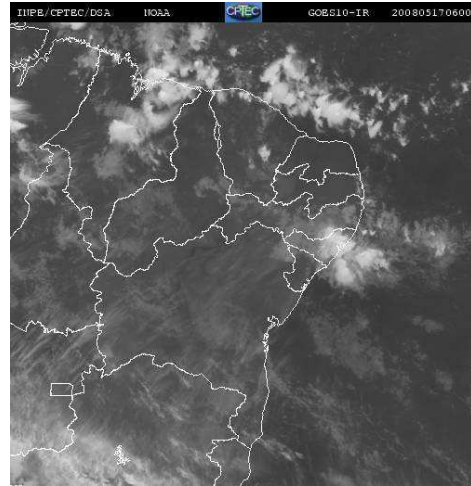


Figura 33 - Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 16 de maio de 2008

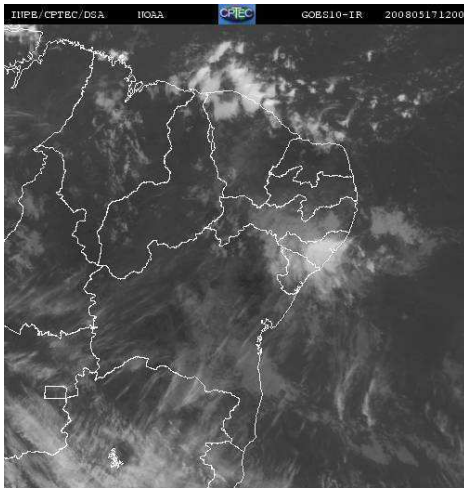
a) 00 Z



b) 06 Z



g) 12 Z



h) 18 Z

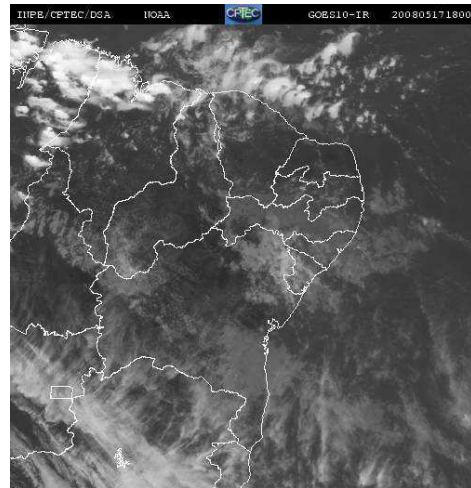
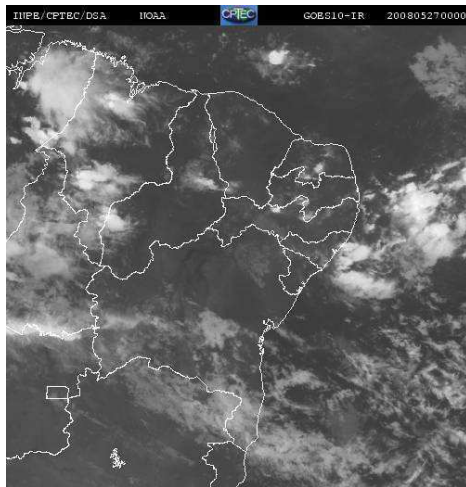
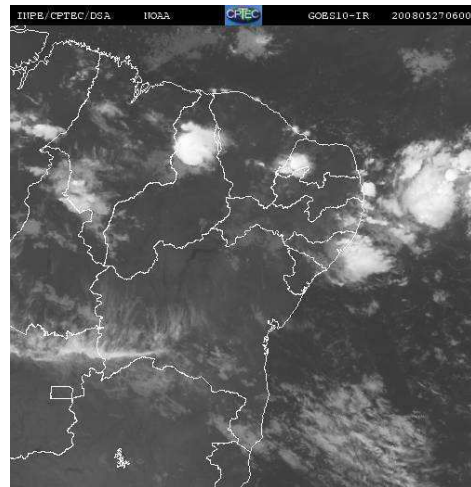


Figura 34 - Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para os dias 17 de maio de 2008

a) 00 Z



b) 06 Z



c) 12 Z



d) 18 Z

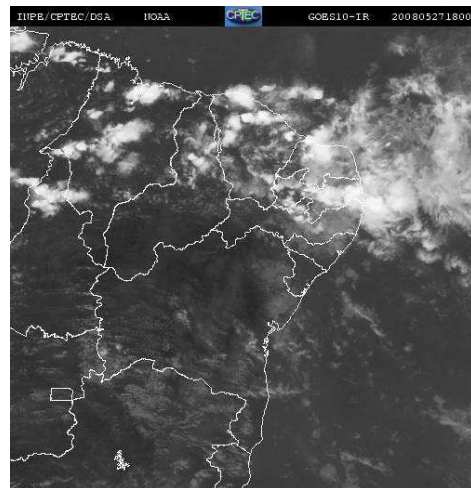


Figura 35 - Imagens do satélite meteorológico GOES 10 no canal infravermelho para o dia 27 de maio de 2008

Nas Figuras 36 e 37 são apresentadas as linhas de corrente e magnitude do vento para o dia 16 e 17 nos níveis de 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa respectivamente. Analisando o nível de 850 hPa (Figura 36a) percebe-se que as linhas de corrente mostra que o escoamento que chegam a costa leste do Nordeste é de leste e a magnitude do vento varia entre 8 a 9 m/s em João pessoa e Natal e que há uma circulação anticiclônica ao sul do estado da Bahia. No nível de 700 hPa (Figura 36b) em Natal possui a maior magnitude. No nível de 500 hPa (Figura 36c) mostra uma circulação anticiclônica e que suas borda atinge com magnitude que varia de 10,2 e 11,9 m/s.

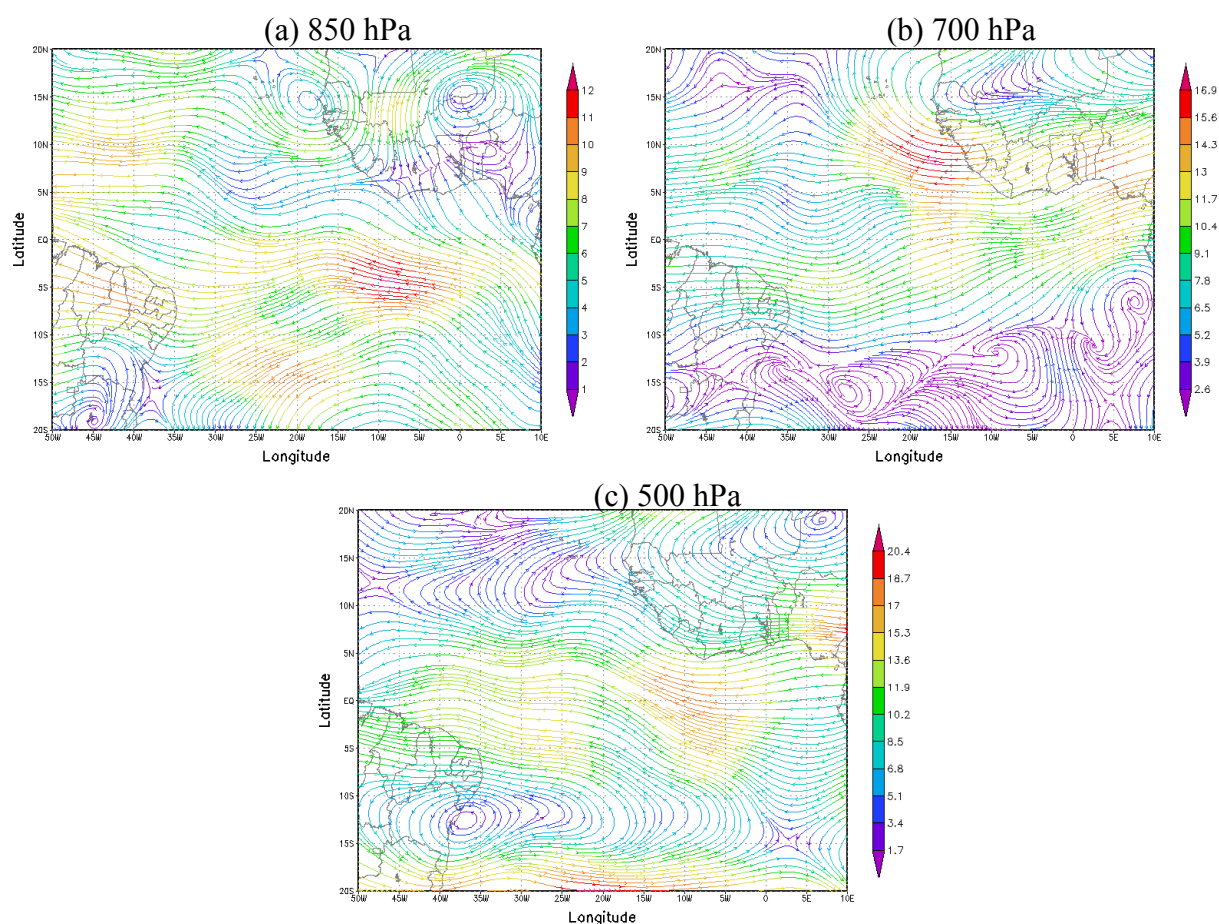


Figura 36 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 16 de maio de 2008 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa

Analisando agora o dia 17 (Figura 37) tem-se que no nível de 850 hPa (Figura 37a) percebe-se que as linhas de corrente é de leste e não ultrapassa o valor de magnitude de 7,7 m/s e em grande parte da costa da Bahia as linhas de correntes atuantes são de uma circulação anticiclônica. No nível de 700 hPa (Figura 37b) a magnitude do vento é menor que em 850 hPa e também é observada a circulação anticiclônica na Bahia. Já no nível de 500 hPa (Figura 37d) a circulação anticiclônica predomina no Nordeste.

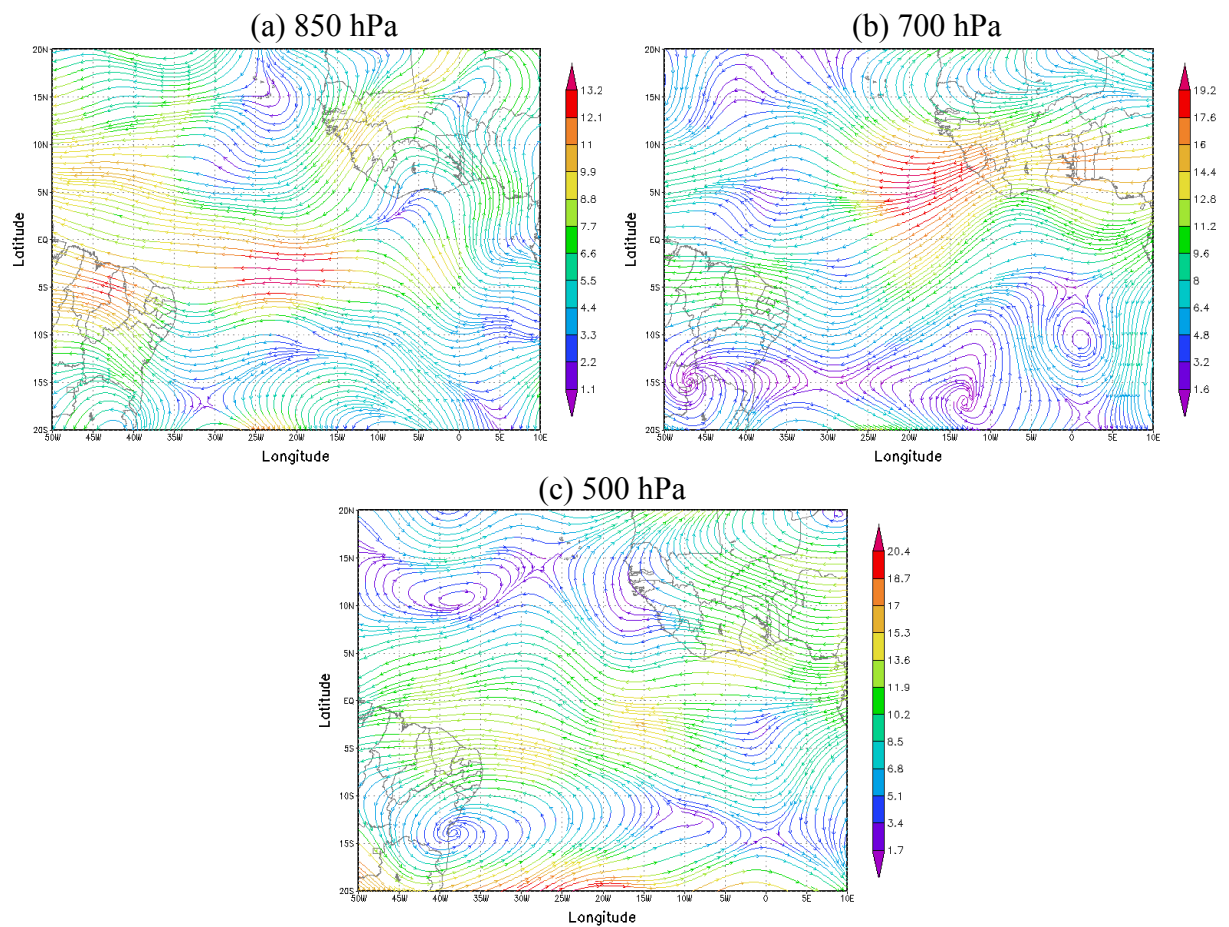


Figura 37 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 17 de maio de 2008 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa

A Figura 38 tem-se as linhas de corrente e magnitude do vento para o dia 26 nos níveis de 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa. A Figura 38a mostra linhas de corrente que se deslocam desde a longitude de 0° até 35° W com uma inclinação de SE/NO e chega a costa leste do NEB com uma magnitude baixa em natal e cresce nas demais capitais devido uma circulação anticiclônica que tem seu centro nas proximidade do estado da Bahia. No nível de 700 hPa (Figura 38b) as linhas de corrente atuantes no Nordeste são provenientes apenas da circulação anticiclônica e no nível de 500 hPa (Figura 38c) esta circulação está entre o continente e o Oceano Atlântico.

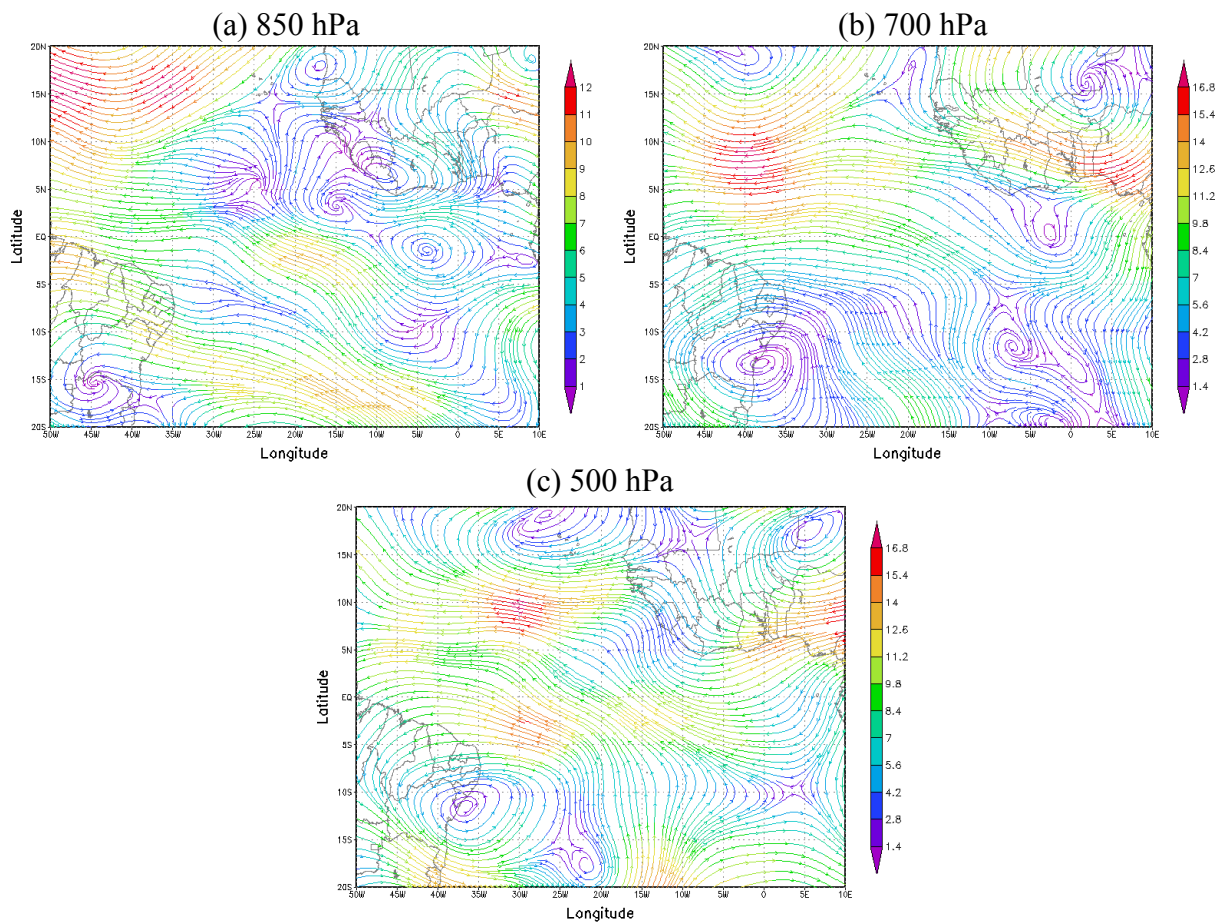


Figura 38 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 26 de maio de 2008 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa

Analisando o dia 27 (Figura 39) observou-se que no nível de 850 hPa (Figura 39a) as linhas de corrente que chegam a longitude de 35° W apresenta-se como uma onda com uma inclinação de SE/NO e que sua crista está em torno da longitude de 20° W e a magnitude do vento varia entre 8,8 e 11 m/s de parte da costa da Bahia até a costa do Estado de Pernambuco e na Paraíba e no Rio Grande do Norte essa magnitude é menor. Na Figura 39b as linhas de corrente que chegam a costa são em parte de uma circulação anticiclônica no continente e a outra parte de uma circulação ciclônica no Oceano Atlântico. No nível de 500 hPa (Figura 39c) a circulação ciclônica indica o comportamento das linhas de corrente que atinge o Nordeste.

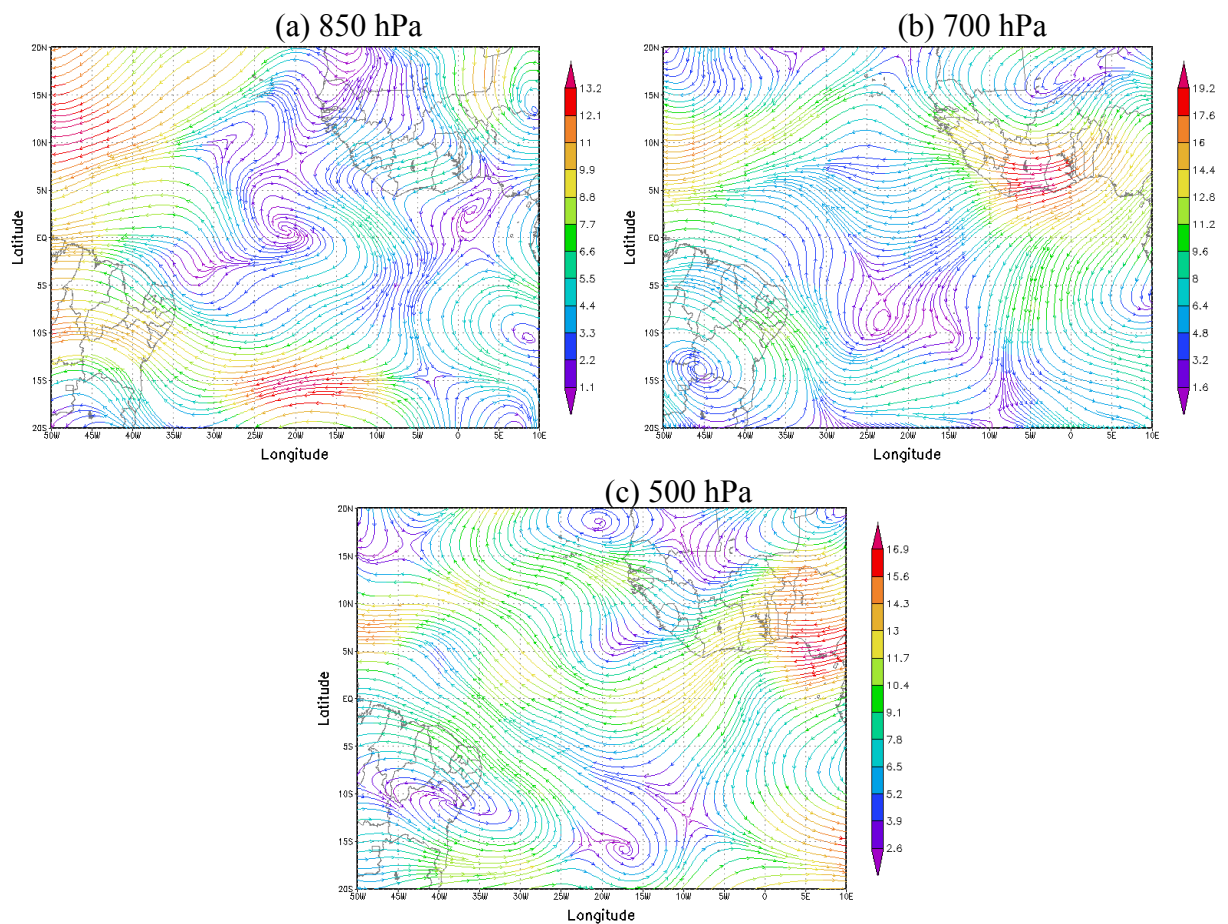


Figura 39 – Magnitude do vento e Linhas de Corrente para o dia 27 de maio de 2008 sendo (a) no nível de 850 hPa, (b) no nível de 700 hPa e (c) no nível de 500 hPa

A Figura 40 mostra o índice K fixado nas latitudes de 5°, 7,5°, 10° e 15° S. Analisando a Figura 40a na longitude de 35° W que no qual representa à costa leste do NEB, percebe-se que um dia antes do evento do dia 17 o índice K era menor. Já o dia 26 ocorreu valores maiores do índice do que em 27, mas nos dois casos o valor do índice superou 32 K. Durante todo mês o índice K ficou acima de 28 K nessa latitude. De acordo com a Figura 40b o índice K apresentou valores superiores a 30 K e não passaram 42 K. Nessa latitude continua mostrando que o dia 16 ocorreu valores menores de K que no dia 17 e enquanto o dia 26 e 27 o valor de K permanece o mesmo para ambos. Na latitude de 10° S (Figura 40c) o valor para os dias 16 e 17 são superior a 30 K e sobressaindo ainda o valor do dia 17.

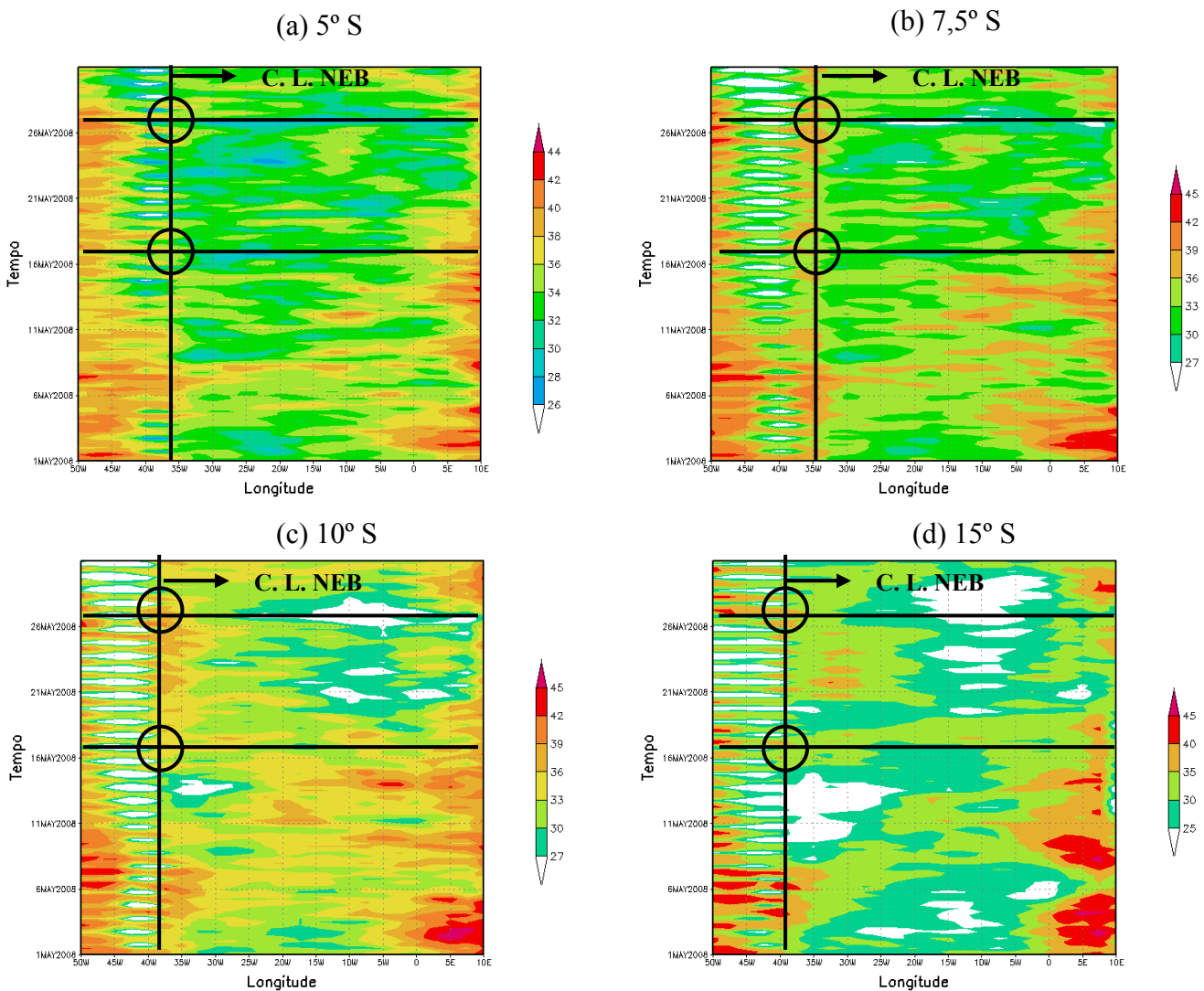


Figura 40 – Índice K para o mês de maio do ano de 2008 para as seguintes latitudes: (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

Nos dias 26 e 27 variam entre 33 e 38 K. Diferente das Figuras 40a e 40b nessa latitude mostram valores abaixo do valor de referência ($k=25$) entre os dias 13 e 14. E por fim percebe-se que na Figura 40d tanto os dias 16 e 17 quanto 26 e 27 apresentaram índices com valores entre 30 e 35 K.

Nos dois eventos de DOLs o índice K apresentou valores do índice K acima do valor de referência ($K=25$) e variaram pouco dos dias de ocorrência dos eventos e o dia antes. No geral ao longo das latitudes, com exceção a latitude de 15° S, durante o mês de maio de 2008 a umidade desde a superfície até o nível de 700 hPa.

A Figura 41 apresenta a vorticidade relativa para os níveis de 850 hPa nas latitudes estudadas. Dessa forma analisando a longitude de 35° W temos que na Figura 41a percebe-se que mínimos da vorticidade relativa encontram-se nos dias em que antecederam os dois casos de DOLs. Na Figura 41b apresenta vorticidade negativa nos dias 16 e 17 e 26 e 27 só que com menor intensidade se comparado a Figura 41a. Observando a Figura 41c percebe-se que há vorticidade negativa nos dois casos. A Figura 41d mostra que há vorticidade relativa positiva nos dois casos.

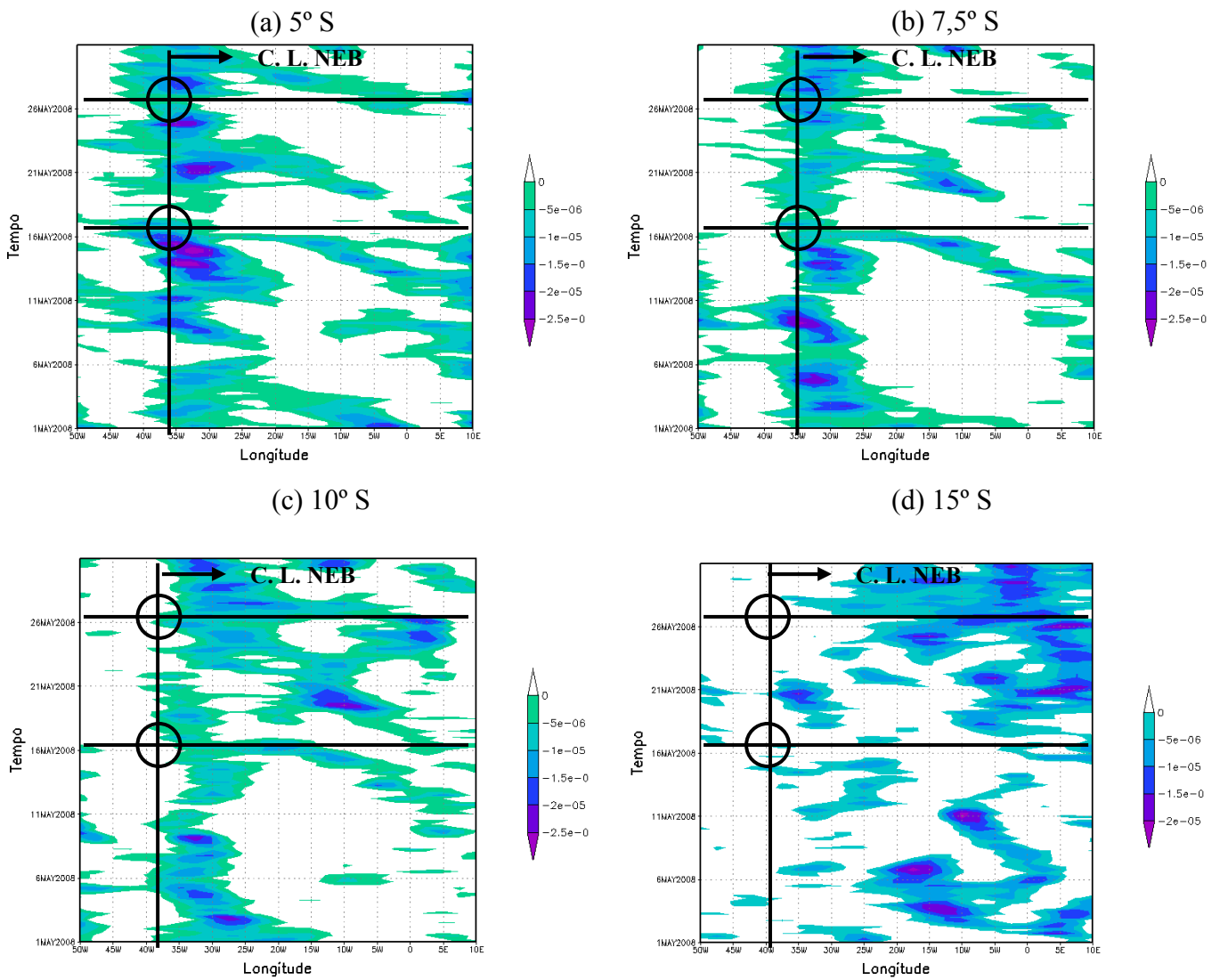


Figura 41 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (cyclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de maio de 2008 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15 ° S

Analisando agora o nível de 700 hPa (Figura 42) percebe-se que na Figura 42a apresenta vorticidade positiva nos dias tanto de antecedência dos distúrbios quanto no dia de ocorrência. Esse mesmo resultado pode ser visto nas Figuras 42b, 42c e 42d.

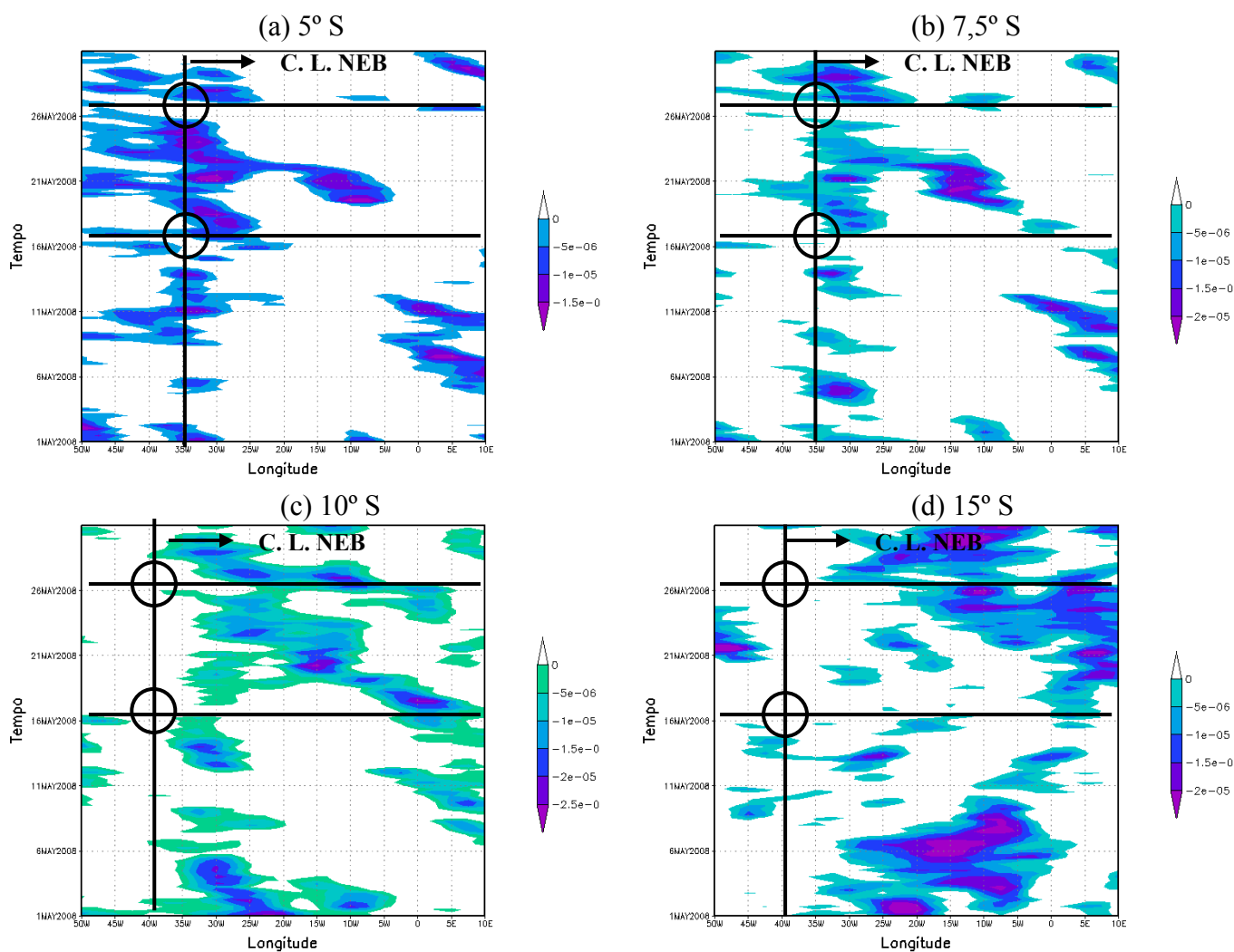


Figura 42 – Vorticidade Relativa, sendo a parte pintada vorticidade negativa (ciclônica) e a parte branca vorticidade positiva (anticiclônica), para o mês de maio de 2008 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

A divergência horizontal pode ser observada nas Figuras 43 e 44 nos níveis de 850 hPa e 700 hPa respectivamente. Analisando ao longo da longitude de 35° W percebe-se que na Figura 43 todas as latitudes estudadas apresentam convergência e pequenos pontos de divergência nos dias 16 e 17, e 26 e 27. Já analisando o nível de 700 hPa (Figura 44) na Figura 44a mostra que nos dias 16 e 17 ocorreu tanto divergência quanto convergência e nos dias 26 e 27 apresentaram apenas convergência. Na Figura 44b o dia 16 apresentou divergência e no dia 17 convergência, já o dia 26 ocorreu convergência e no dia 17 apresentou pontos de divergência. Analisando a latitude de

15° S (Figura 44d) percebe-se que o dia 16 apresentou convergência e dia 17 divergência, já o segundo caso foi ao contrário no dia 26 apresentou divergência e no dia 27 convergência.

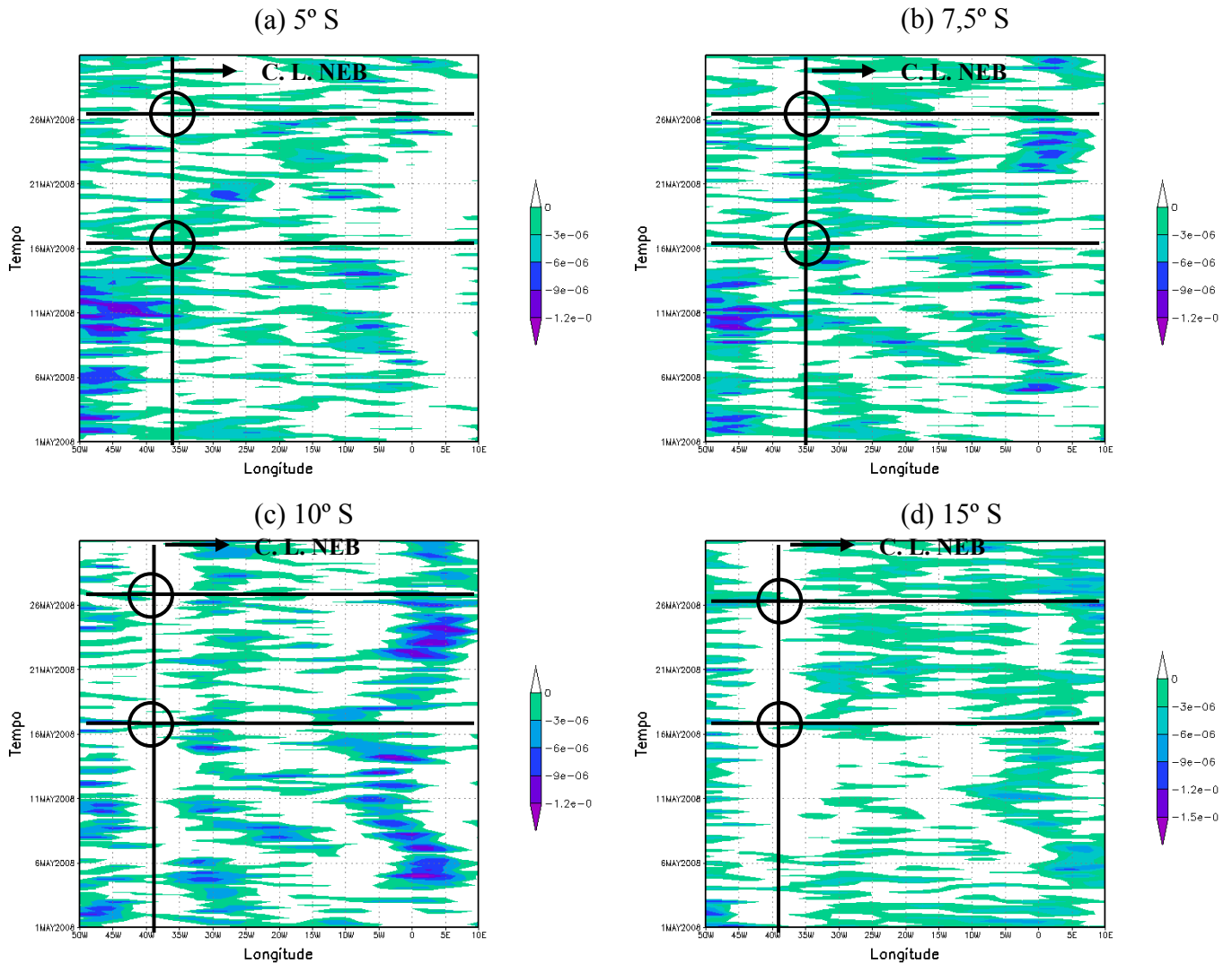


Figura 43 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de maio de 2008 no nível de 850 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

(a) 5° S

(b) 7,5° S

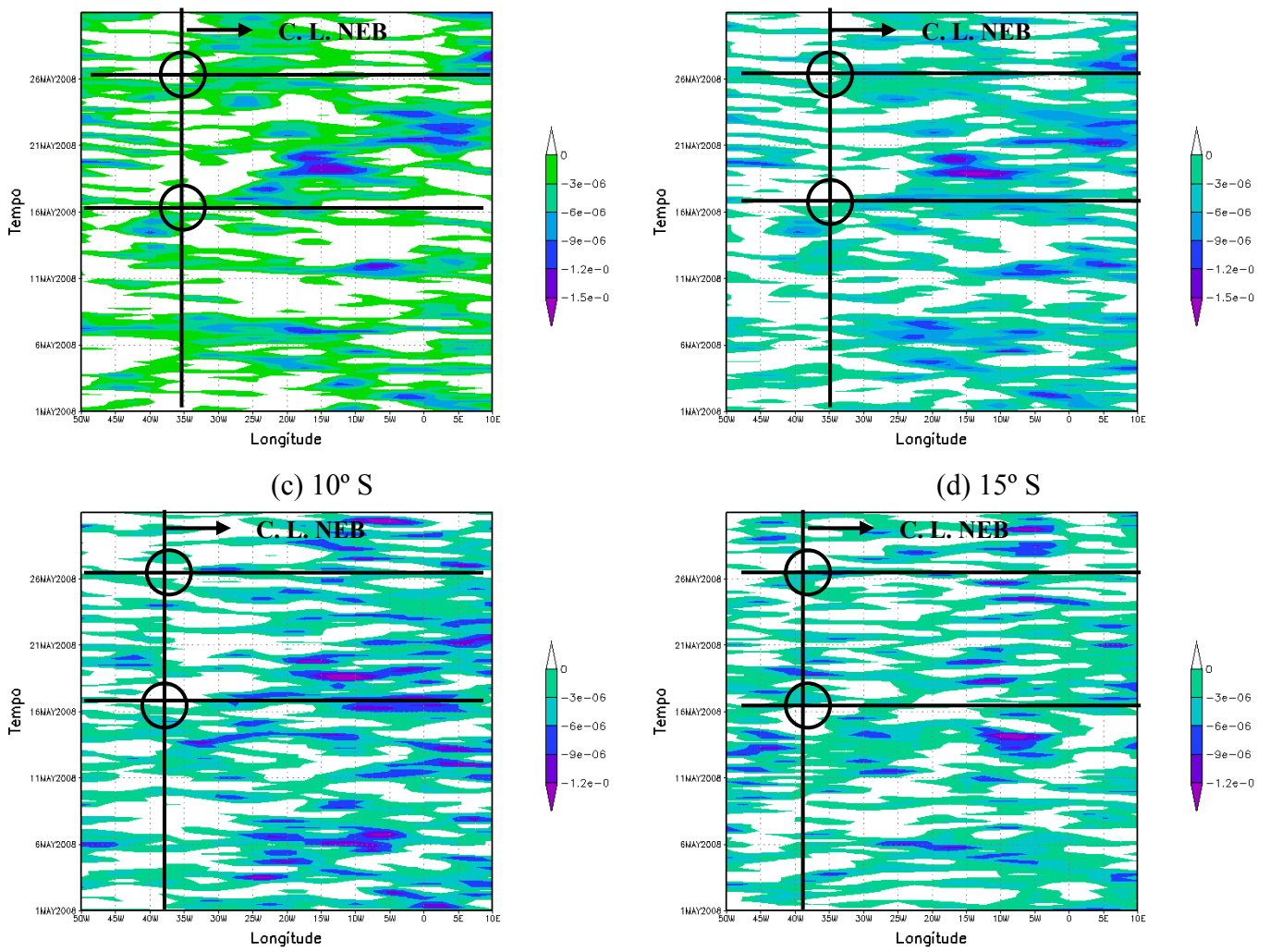


Figura 44 – Divergência Horizontal, sendo parte pintada divergência e a parte branca convergência, para o mês de maio de 2008 no nível de 700 hPa nas latitudes de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S

5.5. Identificação dos DOLs através da componente meridional do vento

Com a utilização do Diagrama de Hovmöller da componente meridional do vento (m/s) no nível de 700 hPa fixado nas latitude de 5° S, 7,5° S, 10° S e 15° S foram estimados parâmetros médios das ondas: Número de eventos, Velocidade de fase (m/s), Período (dias) e Comprimento da onda (Km) para todo período estudado. Mostrados apenas os diagramas (Figuras 45, 46, 47 e 48) dos meses que ocorreram os casos de DOLs abordados nesse trabalho (maio de 2005, junho de 2006, junho de 2007 e maio de 2008).

Analisando as Figuras 45, 46, 47 e 48 percebe-se que todas as latitudes apresentam padrões ondulatórios de leste. Como esses padrões variam no espaço e no tempo apenas alguns distúrbios foram traçados ao longo da sua trajetória. Algumas ondas aparecem em determinadas longitudes, dissipam-se parcialmente, mas tornam novamente visível em outras longitudes. Estes resultados concordam com Torres (2008).

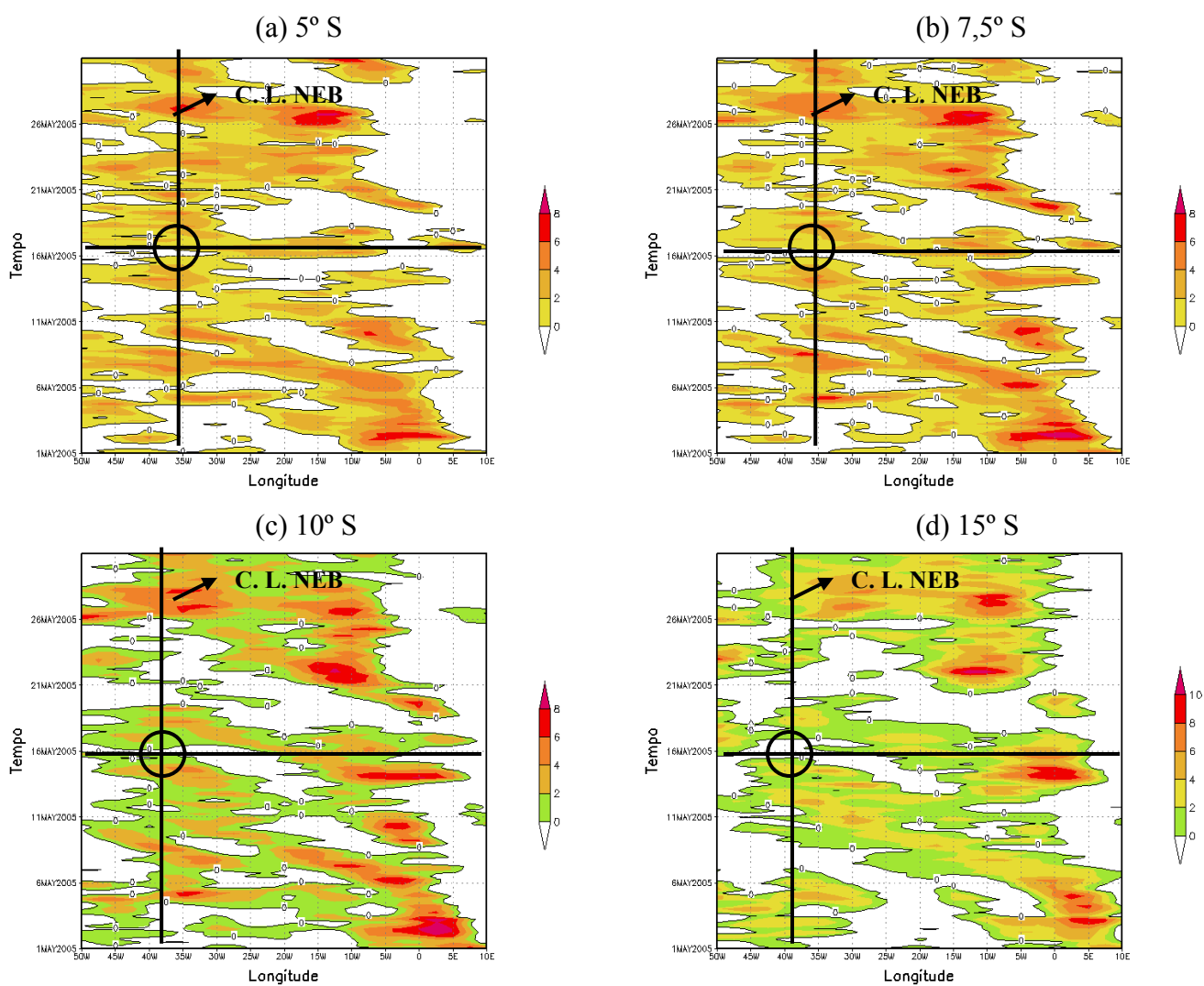


Figura 45 – Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (m/s) no nível de 700 hPa para latitude de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S. Os valores plotados são valores positivo, para o mês de maio de 2005. As linhas destacadas que unem as isolinhas de zero indicam a propagação das ondas

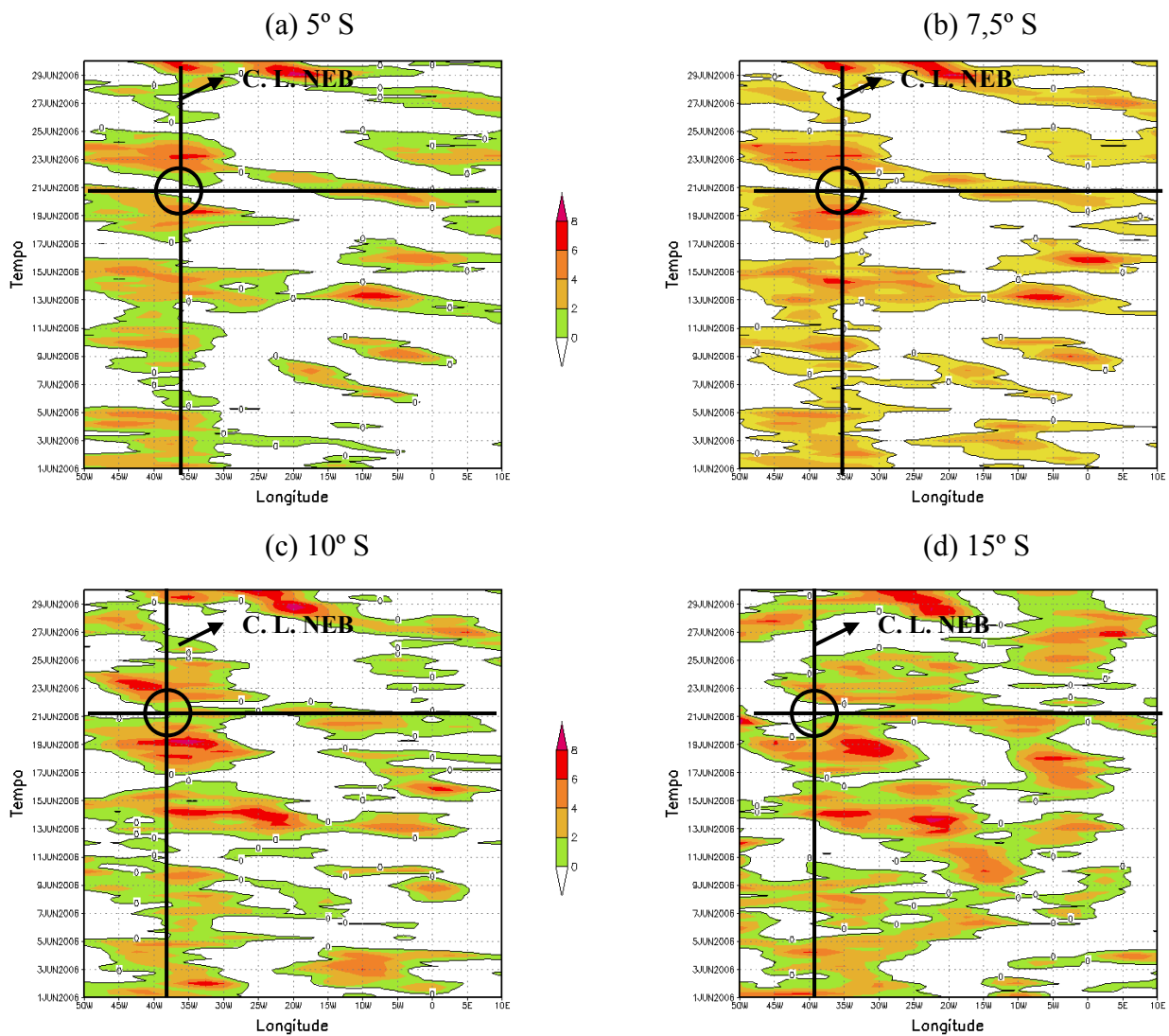


Figura 46 – Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (m/s) no nível de 700 hPa para latitude de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S. Os valores plotados são valores positivo, para o mês de junho de 2006. As linhas destacadas que unem as isolinhas de zero indicam a propagação das ondas

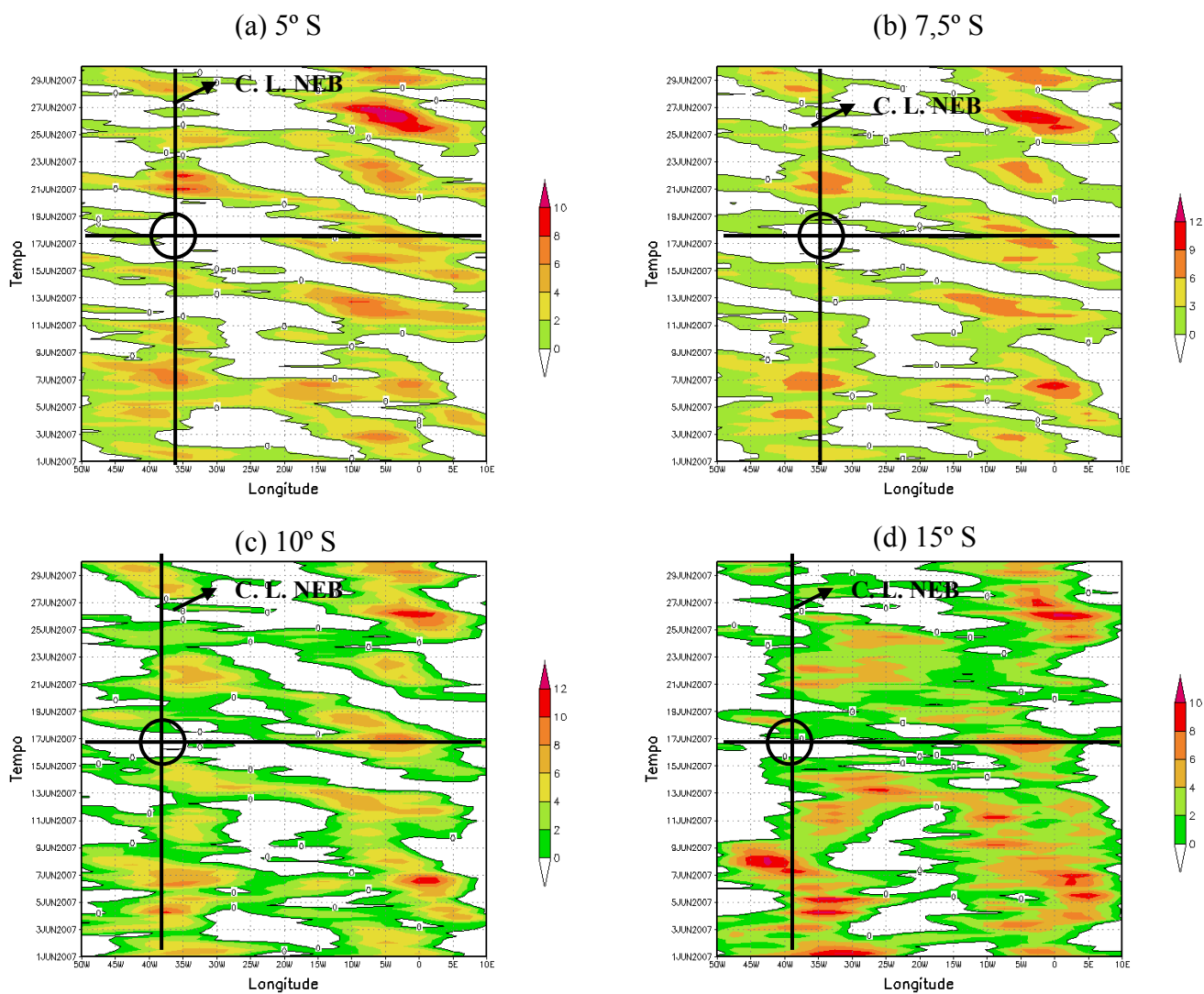


Figura 47 – Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (m/s) no nível de 700 hPa para latitude de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S. Os valores plotados são valores positivo, para o mês de junho de 2007. As linhas destacadas que unem as isolinhas de zero indicam a propagação das ondas

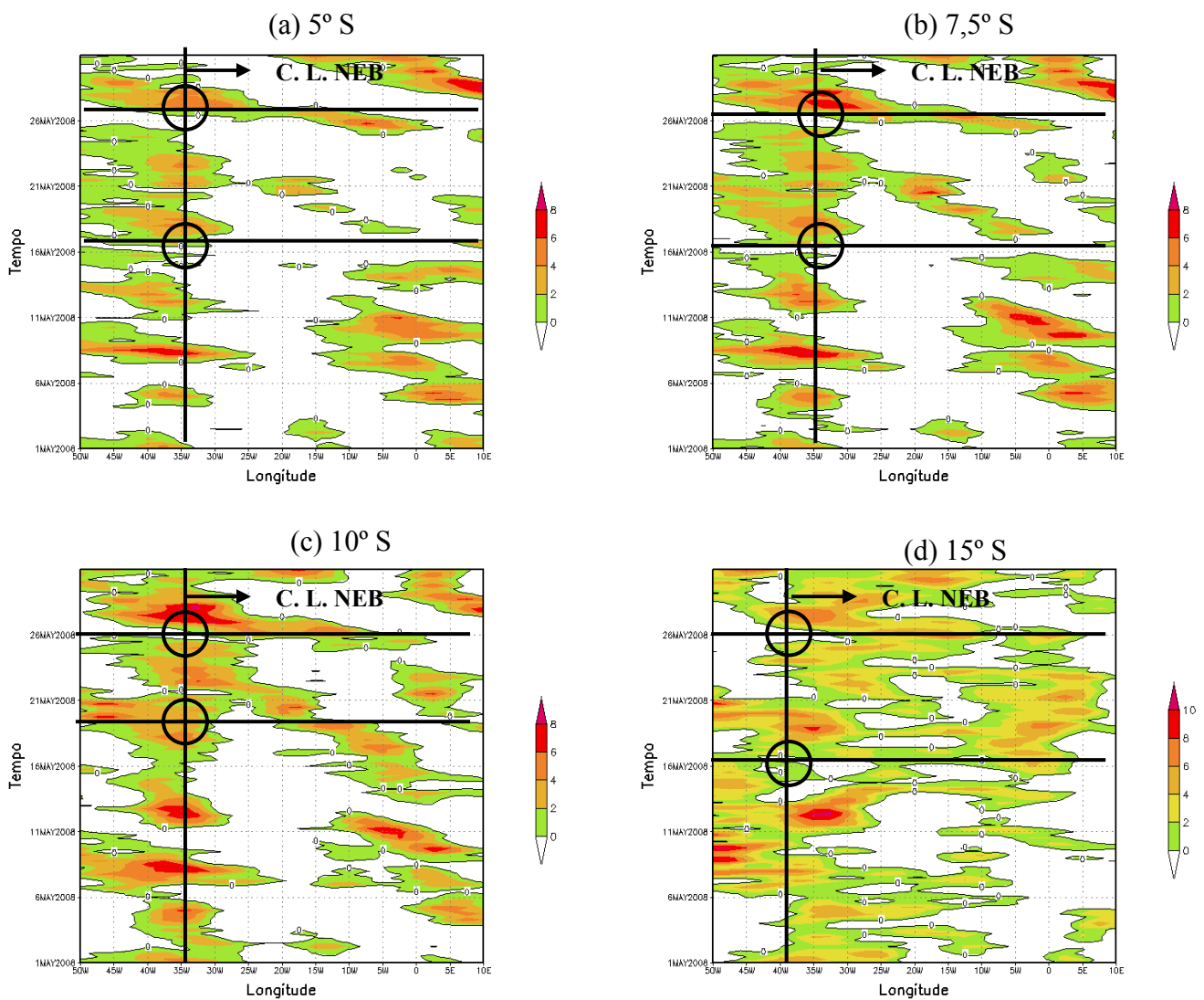


Figura 48 – Diagramas de Hovmöller da componente meridional do vento (m/s) no nível de 700 hPa para latitude de (a) 5° S, (b) 7,5° S, (c) 10° S e (d) 15° S. Os valores plotados são valores positivo, para o mês de maio de 2008. As linhas destacadas que unem as isolinhas de zero indicam a propagação das ondas

Nas Tabelas 2 e 3 observamos que a maioria dos eventos atinge as latitude de 5° S e 7,5° S e que a latitude de 15° S é a que menos apresenta atuação dos distúrbios. Foi observado nos campos do vento que as linhas de corrente chegam a essa latitude na maioria das vezes são provenientes de circulações vindas do continente.

Tabela 2 – Velocidade da onda e data de passagem da crista na longitude de 35° W para os anos de 2005 e 2006

| Data | Velocidade da Onda (m/s) | | | |
|------------|--------------------------|--------|-------|------|
| | 5° S | 7,5° S | 10° S | 15°S |
| 7/05/2005 | --- | --- | --- | 6,4 |
| 15/05/2005 | 12,8 | 12,8 | 6,4 | --- |
| 20/05/2005 | --- | --- | --- | 12,8 |
| 19/05/2005 | 8,6 | 12,8 | 12,8 | --- |
| 7/06/2005 | 12,8 | 12,8 | --- | --- |
| 18/06/2005 | 5,1 | 5,1 | --- | --- |
| 19/07/2005 | --- | --- | 12,8 | --- |
| 14/08/2005 | --- | --- | 4,3 | --- |
| 21/08/2005 | 5,1 | --- | --- | --- |
| 12/05/2006 | --- | 2,1 | --- | --- |
| 17/05/2006 | --- | --- | 12,8 | --- |
| 27/05/2006 | --- | 12,8 | --- | --- |
| 28/05/2006 | 12,8 | --- | --- | --- |
| 20/06/2006 | 12,8 | 12,2 | --- | --- |
| 24/06/2006 | 8,6 | 8,6 | --- | --- |
| 16/07/2006 | --- | 8,6 | --- | --- |
| 24/07/2006 | 12,8 | 12,8 | --- | --- |
| 28/07/2006 | 8,6 | 7,7 | 8,6 | --- |
| 4/08/2006 | 8,6 | --- | --- | --- |
| 14/08/2006 | --- | --- | 11,6 | --- |
| 20/08/2006 | --- | --- | --- | 8,6 |
| 27/08/2006 | 12,8 | 12,8 | --- | --- |

Tabela 3 – Velocidade da onda e data de passagem da crista na longitude de 35° W para os anos de 2007 e 2008

| Data | Velocidade da Onda (m/s) | | | |
|------------|--------------------------|--------|-------|------|
| | 5° S | 7,5° S | 10° S | 15°S |
| 21/05/2007 | 7,4 | 3,2 | --- | --- |
| 15/06/2007 | --- | --- | 17,1 | --- |
| 16/06/2007 | 8,6 | 15 | --- | --- |
| 23/06/2007 | 12,8 | 15,1 | 8,6 | --- |
| 3/07/2007 | 12,8 | 8,6 | --- | --- |
| 12/07/2007 | 12,8 | 12,8 | 8,6 | 7,4 |
| 25/07/2007 | --- | --- | 3,2 | --- |
| 18/07/2007 | --- | --- | 2,1 | --- |
| 30/07/2007 | 8,6 | --- | --- | --- |
| 18/08/2007 | --- | 12,8 | 12,8 | --- |
| 20/08/2007 | 12,8 | --- | --- | --- |
| 28/08/2007 | 12,8 | 8,6 | --- | --- |
| 29/08/2007 | --- | --- | 8,6 | 12,8 |
| 9/05/2008 | 11,6 | --- | 12,8 | --- |
| 10/05/2008 | --- | 8,1 | --- | --- |
| 13/05/2008 | 10,9 | --- | --- | --- |
| 14/05/2008 | --- | 3,9 | --- | --- |
| 15/05/2008 | --- | --- | 5,1 | --- |
| 24/05/2008 | 8,6 | --- | --- | --- |
| 25/05/2008 | --- | 6,4 | 6,4 | --- |
| 28/05/2008 | 12,8 | --- | --- | --- |
| 29/05/2008 | --- | 12,8 | 8,6 | --- |
| 11/06/2008 | 12,8 | 8,6 | 6,4 | --- |
| 21/06/2008 | --- | 12,8 | --- | --- |
| 22/06/2008 | 8,6 | --- | 12,8 | --- |
| 10/07/2008 | --- | 7,7 | --- | --- |
| 11/07/2008 | --- | --- | 6,4 | --- |
| 20/07/2008 | --- | --- | 12,8 | --- |
| 21/07/2008 | --- | 9,6 | --- | --- |
| 22/07/2008 | 5,1 | --- | --- | --- |
| 25/07/2008 | --- | 8,6 | 8,6 | --- |
| 12/08/2008 | 4,3 | 5,5 | 4,6 | --- |
| 20/08/2008 | 7,7 | 8,0 | --- | --- |
| 25/08/2008 | --- | 6,4 | 8,6 | --- |
| 27/08/2008 | 6,4 | --- | --- | --- |

Os parâmetros médios encontrados na Tabela 4 apresentam períodos em torno de 3 sendo o menor período observado na latitude de 15° S. O número de DOLs na latitude de 5° S foi de 31 eventos. A velocidade de fase é maior em 5° S e menor em 10° S. E o comprimento de onda varia de 3333-4000 Km.

Tabela 4 – Parâmetros médios dos DOLs os meses de maio a agosto de 2005 a 2008

| Parâmetros médios das ondas | 5° S | 7,5° S | 10° S | 15° S |
|------------------------------------|-------------|---------------|--------------|--------------|
| Número de eventos | 31 | 30 | 25 | 5 |
| Velocidade de fase (m/s) | 10,0 | 9,5 | 8,9 | 9,6 |
| Período (dias) | 3 | 3,1 | 3,3 | 2 |
| Comprimento da onda (Km) | 3333 | 3065 | 2713 | 4000 |

O número de eventos diminui com o aumento da latitude, pois o deslocamento dos DOLs e atuaram mais ao norte da costa leste do NEB. Como pode ser observado com as imagens de satélite e nas figuras da componente do vento meridional.

6. CONCLUSÃO

Neste estudo foram analisados os DOLs que atingiram a costa leste do NEB durante os meses de maio a agosto dos anos 2005, 2006, 2007 e 2008. Considerando este período foram realizada uma contabilização dos DOLs, e uma investigação de cinco casos, citados na literatura, de precipitação intensa na região, relacionadas à atuação desse sistema meteorológico.

Nos cinco casos de DOLs a precipitação superou os 80 mm. O mês de maio de 2005 apresentou o evento com maior precipitação superando 150 mm na capital Natal concordando que esses distúrbios é um sistema importante para ocorrência de chuva na costa leste do NEB.

Conclui-se que as bandas de nuvens á medida que chegam a costa leste do NEB se intensificam podendo está associada a interações do escoamento sinótico com circulações locais.

Outra conclusão é que o Índice K durante todos os meses nos cinco casos de DOLs indica uma atmosfera extremamente instável e para os dias dos eventos os valores do índice foram superior a 30 K, valor esses que pode indicar uma probabilidade de 60 a 80 % de ocorrência de chuva.

Nos níveis de 850 hPa e 700 hPa a vorticidade relativa negativa (ciclônica) é encontrada em todos os casos estudados caracterizando que há movimentos ascendente na atmosfera. E seu comportamento no tempo apresenta um padrão ondulatório.

O Campo de Divergência Horizontal apresentou na maioria dos casos convergência nos dias que antecederam os eventos de DOLs e divergência no dia de atuação dos mesmos.

A partir dos Diagramas Hovmöller da componente meridional do vento foi possível observar padrões ondulatórios de leste em todos os meses de estudo. Foram identificados 31 eventos de DOLs que atingiram a costa leste do NEB no nível de 700 hPa e na latitude de 5°S. Esse número diminui ligeiramente para 30 eventos na latitude

de 7,5°S, decaindo para 25 eventos na latitude de 10° S e por fim chegou a apenas 5 eventos em 15°S. Mostrando assim que os eventos de DOLs decaem com as latitudes no Hemisfério Sul. E As características ondulatórias dos distúrbios, obtidas através dos diagramas, mostram que as ondas curtas se propagam mais lentamente e ondas longas mais rapidamente. Estes resultados se devem ao uso da relação linear de fase $\ell = \nu / \tau$, aplicada a uma onda não dispersiva.

Os DOLs que atingiram a costa leste do NEB apresentaram os seguintes parâmetros médios: período entorno de 3 dias, velocidade de propagação de aproximadamente 10 m/s e comprimento de onda de 3277 km.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J. E.; STENSRUD, D. J. Impact of Tropical Easterly Waves on North American Monsoon. **American Meteorological Society**, v. 20, Issue 7, p. 1219-1238, 2007.

ALVES, M. A. S.; MARQUES, R. F. C.; OYAMA, M. D. Detecção de DOL a partir de filtros temporais. In: Anais do **X Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 15, 2008, São Paulo. São Paulo: CBMET, 2008.

BENETTI, C. A. A.; DIAS, M. A. F. S. Análise da Performance de Índices de Instabilidade como Previsores de Tempestades na Região de São Paulo. In: Anais do **IV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Brasília, DF, 20-24 outubro, v.2, 65-70, 1986.

BERRY, G.; THORNCROFT, C.; HEWSON, T. African Easterly Waves during 2004- Analysis Using Objective Techniques. **American Meteorological Society**, v. 135, Issue 4, p.1251-1267, 2007.

BURPEE, R. W. The origin and structure of easterly waves in the lower troposphere of North Africa. **Journal of Atmospheric Science**, v. 29, p. 77-90, 1972.

CHOU, S.C. Análise de Distúrbios Ondulatórios de Leste sobre o oceano Atlântico Equatorial Sul. 153 p. (INPE – 5222 – TDL / 437). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1990. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m12@80/2005/08.18.12.54>. Acesso em: 03 abr. 2009.

CORRÊA, G. S. A Ocorrência de Fluxos no Perfil Vertical do Vento na Baixa Atmosfera e seu Efeito na Intensidade do índice “K”. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 129-133, 2007.

COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara – MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, p. 193-203, 2007.

DEME, A.; VILTARD, A.; DE FELICE, P. Daily Precipitation Forecasting in Dakar Using the NCEP–NCAR Reanalyses. **Weather and Forecasting**, v. 18, p. 93-105. 2003.

DE FELICE, P.; VILTARD, A., OUBUIH, J. A synopticscale wave 6-9day period in the Atlantic Tropical Troposphere During Summer 1981. **Monthly Weather Review**, v. 121, p. 1291-81, 1993.

ESTOQUE, M. A.; LIN, M. S. e Energetics of Easterly Waves. **Monthly Weather Review**, v. 105, p. 582-589, 1977.

FRAGOSO, M. A Utilização de Índices de Estabilidade no Estudo de Situações Convectivas: o Exemplo dos Temporais do Outono de 1997, em Lisboa. **Finisterra**, v. **XXXIII**, n. 66, p. 59-76, 1998.

GRIST, J. P.; NICHOLSON, S. E. Easterly Waves over Africa. Part II: Observed and Modeled Contrastes Between Wet and Dry Years. **Monthly Weather Riview**. v. 130, p. 212-225, 2002.

HSIEH, JEN-SAHAN.; COOK, K. H. On the Instability of the African Easterly Jet and the Generation of African waves: Reversals of the Potential V. **Journal Atmospheric Sciences**. v. 65, Issue 7, p. 2130-2151, 2008.

IBGE, Contagem da População 2007, **Relatório Técnico**, 311 p, 2007.

INPE. InfoClima. Boletim De Informações Climáticas, Cachoeira Paulista, v. 14, n.7, mar. 2007.

INPE. InfoClima. Boletim De Informações Climáticas, Cachoeira Paulista, v. 15, n.6, mar. 2008.

INNOCENTINI, V.; ARANTES, F. O.; FERREIRA, R. J. e MICHELETO, R. G. A Agitação Marítima no Litoral Nordeste do Brasil Associado aos Distúrbios Africanos de Leste. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 20, n. 3, p. 367-374, 2005.

JONES, C.; MAHOWALD, N.; LUO, C. The Role of Easterly Waves on African Desert Dust Transport. **American Meteorological Society**. v. 16, p. 3617-3628, 2003.

JUNIOR, W. J. S.; DIAS, P. L. S.; VENDRASCO, É. P. Análise da Dispersão do Modelo AVN com Relação às Ondas de Leste na Região do Atlântico Equatorial. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis, 2006

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, n.3, p.437-472, 1996.

KISTLER, R.; KALNAY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; KANAMITSU, M.; KOUSKY, V.; DOOL, V.D.; JENNE, R.; FIORINO, M. The NEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 82, n. 2, 2001.

MEKONNEN, A.; TRORNCROFT, C. D.; AIYYER, A. R. Analysis of Convection and Its Association white African Easterly Waves. **Journal of Climate**. V. 19, p. 5405-5421, 2006.

MOLION, L. C. B.; BERNADO, S. O. Uma Revisão da Dinâmica no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n.1, p. 1-10, 2002.

- MOREIRA, P.D.; FOSTER, P.R.P.. Relação entre instabilidade e tempo severo sobre a região do planalto médio do RS em maio de 2007. **Ciência e Natura**, 423-426, Dez/2007: Santa Maria, RS, 2007.
- MOTA, G. V. Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste brasileiro. **Tese (Mestrado)** – Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico, Geofísico e de Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, São Paulo, p. 92, 1997.
- NEIVA, E. J. F. An investigation of wave-type disturbances over the Tropical South Atlantic Ocean. **M.Sc. Thesis. Naval Post Graduate School, Monterey, Califórnia, USA**, p. 58, 1975..
- PEPPLER, R. A.; LAMB, P. J. Tropospheric static stability and central North American growing season rainfall. **Monthly Weather Review**, v. 117, p. 1156–1180, 1989.
- PYTHAROULIS, I.; THORNCROFT, C. The Low-Level Structure of African Easterly Waves in 1995. **Monthly Weather Review**. v. 127, p. 2266-2280, 1999.
- REED, R. J.; RECKER, E. E. Structure and properties os Synoptic-Scale Wave Disturbances in the Equatorial Western Pacif. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v. 28, p. 1117-1133, 1971.
- RODRIGUES, L. R. L.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. Trovoadas na costa Leste do Nordeste do Brasil Associadas a interação entre ondas nos ventos de leste e VCAN. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis, 2006
- RAO, V. B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**. v. 6, p. 1754-1763, 1993.
- RIEHL, H. Waves in the easterlies and polar front in the tropics. Chicago: Chicago University, Departament of Meteorology, p. 79, 1945.
- SERRA, Y. L.; KILADIS, G. N.; CRONIM, M. F. Horizontal and Vertical Struture of Easterly Waves in Pacific ITCZ. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v. 65, Issue 4, p. 1266-1284, 2008.
- THORNCRFT, C.; HODGES, K. African Easterly Wave Variability and Its Relationship to Atlantic Tropical Cyclone Activity. **Journal of Climate**. v. 14, p. 1166-1179, 2001.
- TORRES, R. Análise e Modelagem dos Distúrbios Ondulatórios de Leste que atuam na Costa Leste do Nordeste do Brasil. set. 2008. (INPE-15459-TDI/1421). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1990. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/08.20.23.59>. Acesso em: 03 abr. 2009

ZEHNDER, J. A.; POWELL, D. M.; ROPP, D. L. The Interaction of Easterly Waves, Orography, and the Intertropical Convergence Zone in the Genesis of Eastern Pacific Tropical Cyclones. **Monthly Weather Review**, v. 127 , p. 1566-1585, 1999.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 55, p. 205-207, 1977.