

**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

Alfredo Quaresma da Silva Neto

**ESTUDO DE CASOS DE CHUVAS INTENSAS NO
PLANALTO COSTEIRO DA BAHIA**

Campina Grande, Abril de 2019



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



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DE CASOS DE CHUVAS INTENSAS NO PLANALTO COSTEIRO
DA BAHIA**

ALFREDO QUARESMA DA SILVA NETO

Mestrando

Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO

Orientadora

CAMPINA GRANDE – PB

ABRIL DE 2019

ALFREDO QUARESMA DA SILVA NETO

**ESTUDO DE CASOS DE CHUVAS INTENSAS NO PLANALTO
COSTEIRO DA BAHIA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas
Subárea: Sinótica-Dinâmica da Atmosfera Tropical

Orientadora: Profa. Dra. Maria Regina da Silva Aragão

CAMPINA GRANDE – PB

ABRIL DE 2019

S586e

Silva Neto, Alfredo Quaresma da.

Estudo de casos de chuvas intensas no planalto costeiro da Bahia /
Alfredo Quaresma da Silva Neto. – Campina Grande, 2019.
98 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Maria Regina da Silva Aragão".

Referências.

1. Climatologia – Nordeste Brasileiro. 2. Precipitação Horária. 3.
Convecção Profunda. 4. Aglomerados Convectivos. 5. Zona de
Convergência do Atlântico Sul. 6. Sistema Frontal. I. Aragão, Maria
Regina da Silva. II. Título.

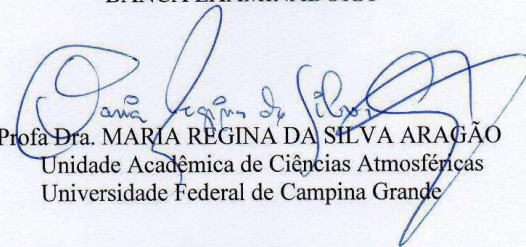
CDU 551.58(812/814)(043)

ALFREDO QUARESMA DA SILVA NETO


ESTUDO DE CASOS DE CHUVAS INTENSAS NO PLANALTO COSTEIRO DA
BAHIA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/04/2019

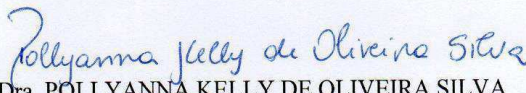
BANCA EXAMINADORA



Profª Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Profª. Dra. MAGALY DE FATIMA CORREIA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dra. POLLYANNA KELLY DE OLIVEIRA SILVA
Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão
Universidade Estadual da Paraíba

Às minhas mães, Maria Raimunda Pena Correa e
Maria da Piedade Castro da Silva e meus pais,
Walfredo Junior Castro da Silva e Alfredo
Quaresma da Silva.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Maria Raimunda Pena Correa e Walfredo Junior Castro da Silva e avós Maria da Piedade Castro da Silva, Alfredo Quaresma da Silva Neto, Maria Joia Pena Correa (in memorian) e Francisco Quaresma Correa por tudo o que eles representam em minha vida.

A oportunidade de ter sido orientado na dissertação de mestrado pela Profa. Dr^a Maria Regina da Silva Aragão, por todo o seu apoio, ensinamento e amizade que irei levar para todo o sempre, obrigado de coração pelo enorme incentivo em todos os momentos de turbulência.

À Profa. Dr^a Magaly de Fátima Correa, muito obrigado por seus conselhos e a diferença que a senhora faz na vida de quem a conhece, uma verdadeira inspiração.

Aos meus irmãos Amanda e Allan e meus primos Rodrigo, Valdirene, Vanessa, Vitória e Elias, por todo o carinho.

Aos meus tios Luciene, Maria Joia (in memorian), Francilene, Simone, Socorro, Jucilene, Wender, Waldenice, Manoel, Miguel, Francisco, Walfredson e meus padrinhos Kleber e Juracirene por sempre torcerem por mim.

Aos amigos que fiz na vida (Diésica e Kelly) e os que a UFPa me presenteou (Wendy, Romero e Ana Caroline), proporcionando algo além dos muros da escola ou universidade.

Aos meus queridos amigos Moises e Sebastião, por serem apenas vocês, pessoas maravilhosas e de bom coração, que agregam muito em minha vida.

Ao Leonardo, pela confiança depositada ao longo do tempo e que se fortaleceu quando passamos a dividir a sala dos orientandos de nossas queridas professoras, saudades.

Aos amigos Karla, Mayara e Eliton que o mestrado me deu a honra de conhecer.

Ao José Lima, Amora, Mouse, Gorda e Sasha por me fazerem feliz em Campina Grande, obrigado de coração.

Ao Eder Felipe pelo total apoio e carinho para comigo, agradeço imensamente por todos os desabafos, conselhos, risadas, conversas e sua grande paciência de me socorrer nos momentos em apuros.

A Arilene de Almeida Lucena, por toda a sua disposição e atenção em ajudar todos os alunos que a procuram na secretária.

E aos amigos que a vida em Campina Grande reservou para mim, Marcos, Dani, Eugenia e Romeu, muito obrigado pelo carinho, conversas e o prazer de ficar em pé quando não há mais cadeiras disponíveis no bar.

“Incapaz de perceber a sua forma, eu a encontro ao meu redor. Sua presença enche meus olhos com seu amor, isso acalma meu coração, pois você está em todos os lugares.”

(RUMI, 1441; A FORMA DA ÁGUA, 2017.)

"Ao fim do dia, podemos aguentar muito mais do que pensamos que podemos."

(FRIDA KAHLO)

RESUMO

Neste trabalho três casos de eventos intensos de precipitação observados no planalto costeiro do Estado da Bahia são investigados com foco na análise da variabilidade da chuva e na caracterização dos sistemas meteorológicos envolvidos. Totais pluviométricos horários e diários obtidos de estações automáticas, imagens de satélite meteorológico e dados de reanálise foram utilizados. O primeiro caso, observado na noite do dia 14 e madrugada de 15 de outubro de 2006, foi associado à convecção profunda organizada em mesoescala (aglomerados convectivos) que se desenvolveu na área de um cavado no escoamento de leste sobre o Estado da Bahia. A precipitação máxima horária foi elevada em Teixeira de Freitas (47,5 mm) e Eunápolis (31,0 mm), e de menor intensidade em Ilhéus (16,5 mm). No segundo caso, registrado na noite do dia 10 e madrugada de 11 de novembro de 2006, a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul favoreceu o desenvolvimento de aglomerados convectivos que propiciaram o máximo horário de 18,25 mm em Teixeira de Freitas e 32,75 mm em Eunápolis. O terceiro caso ocorreu no dia 11 de abril de 2007, associado ao avanço de um sistema frontal austral para latitudes baixas, favorecido pela amplificação de um cavado na média e alta troposfera. A chuva máxima horária foi de 21,5 mm em Eunápolis e de 23,5 mm em Ilhéus. Os três casos estiveram associados com convergência (divergência) no campo do vento na baixa (alta) troposfera, movimento ascendente em toda a coluna atmosférica e teor de umidade elevado na baixa e média troposfera, na área do planalto costeiro do Estado da Bahia.

Palavras-chave: Precipitação Horária. Convecção Profunda. Aglomerados Convectivos. Zona de Convergência do Atlântico Sul. Sistema Frontal. Nordeste do Brasil.

ABSTRACT

In this work three cases of intense precipitation events observed on the coastal elevated plain of Bahia State are investigated focusing on the analysis of the rainfall variability and the characterization of the meteorological systems involved. Hourly and daily pluviometric total obtained by means of automatic weather stations, meteorological satellite images and reanalysis data were used. The first case, observed on the night of the 14th and dawn of the 15th October 2006, was associated with deep convection organized on the mesoscale (cloud clusters) that developed in the area of a trough on the easterly flow over Bahia State. The maximum hourly precipitation was high in Teixeira de Freitas (47.5 mm) and Eunápolis (31.0 mm), and of lower intensity in Ilhéus (16.5 mm). In the second case, registered on the night of the 10th and dawn of the 11th November 2006, the formation of the South Atlantic Convergence Zone favored the development of cloud clusters which provided the hourly maximum of 18.25 mm in Teixeira de Freitas and 32.75 mm in Eunápolis. The third case occurred on 11th April 2007, associated with an austral frontal system displacement toward lower latitudes, favored by trough amplification in the middle and upper troposphere. The hourly maximum rainfall was 21.5 mm in Eunápolis and 23.5 mm in Ilhéus. The three cases were associated with wind field convergence (divergence) in the low (high) troposphere, ascending motion in the entire atmospheric column, and high moisture content in the low and middle troposphere, in the area of the coastal elevated plains of Bahia State

Keywords: Hourly Precipitation. Deep Convection. Convective Clusters. South Atlantic Convergence Zone. Frontal System. Northeast Brazil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 4.1** – Mapa do relevo do Estado da Bahia, com o planalto costeiro representado pela cor verde. A circunferência vermelha indica a localização de cada PCD da área de estudo. (Fonte: Adaptado de IBGE 2012)..... 28
- Figura 4.2** – Localização geográfica de Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) operadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) no planalto costeiro do Estado da Bahia. (Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho) 31
- Figura 5.1** – Totais diários de precipitação (mm) do mês de outubro de 2006 coletados na estação automática de coleta de dados (PCD) de Teixeira de Freitas, Eunápolis, Ilhéus e Salvador. (Fonte dos registros: INEMA)..... 38
- Figura 5.2** – Precipitação horária e horária acumulada (mm) coletada no período de 11-12 UTC do dia 14 às 11-12 UTC do dia 15 de outubro de 2006 na estação automática de coleta de dados (PCD) de: (a) Teixeira de Freitas, (b) Eunápolis e (c) Ilhéus. Observe que hora UTC = hora local + 3 horas. (Fonte dos registros: INEMA)..... 40
- Figura 5.3** – Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 12 da Região Nordeste e adjacências para o dia 14 às: (a) 21 UTC, (b) 22 UTC, e dia 15 de outubro de 2006 às: (c) 00 UTC, (d) 03 UTC, (e) 08 UTC, (f) 10 UTC. A escala de cores da temperatura de brilho é vista na parte inferior da figura. A capital de cada estado está indicada nas imagens. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador. (Fonte das imagens: Adaptado de http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes_antteriores.jsp)..... 41
- Figura 5.4** – Imagem do satélite meteorológico GOES 12 na banda do infravermelho térmico para o dia 14 às (a) 21 UTC, e o dia 15 de outubro de 2006 às: (b) 00 UTC, (c) 03 UTC, (d) 06 UTC, (e) 09 UTC, (f) 12 UTC. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador. (Fonte das imagens: Adaptado de <http://www.sat.dundee.ac.uk>)..... 43
- Figura 5.5** – Média diária da radiação de onda longa ($W m^{-2}$) nos dias (a) 13, (b) 14 e (c) 15 de outubro de 2006. O intervalo de análise é de $50 W m^{-2}$. A escala de tons de cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 45
- Figura 5.6** – Pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) para as 00 UTC do dia (a) 14 e (b) 15 de outubro de 2006. Os centros de alta (baixa) pressão são indicados pela letra **A** (**B**). O intervalo de análise é de 2 hPa. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II)..... 46
- Figura 5.7** – Linhas de corrente e velocidade do vento ($m s^{-1}$) para as 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. A escala da magnitude do vento é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 48

- Figura 5.8** – Vorticidade relativa às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ em (a,b) e de $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ em (c). O sombreado destaca as áreas negativas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 49
- Figura 5.9** – Divergência horizontal às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. As áreas de convergência estão sombreadas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 50
- Figura 5.10** – Movimento vertical às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $10 \times 10^{-2} \text{ hPa s}^{-1}$. Nas áreas sombreadas há ascendência. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II)..... 52
- Figura 5.11** – Umidade específica às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 925 hPa e (b) 850 hPa. O intervalo da análise é de 2 g kg^{-1} . A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II)... 53
- Figura 5.12** – Temperatura potencial equivalente (K) às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa e (b) 500 hPa. O intervalo de análise é de 5 K. A escala de tons de cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 54
- Figura 5.13** – Totais diários de precipitação (mm) do mês de novembro de 2006 coletados na estação automática de coleta de dados (PCD) de Teixeira de Freitas, Eunápolis, Ilhéus e Salvador. (Fonte dos registros: INEMA)..... 56
- Figura 5.14** – Precipitação horária e horária acumulada (mm) coletada no período de 11-12 UTC do dia 10 às 11-12 UTC do dia 11 de novembro de 2006 na estação automática de coleta de dados (PCD) de: (a) Teixeira de Freitas e (b) Eunápolis. Observe que hora UTC = hora local + 3 horas. (Fonte dos registros: INEMA) . 57
- Figura 5.15** – Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 12 da Região Nordeste e adjacências para o dia 10 às (a) 23 UTC, e dia 11 de novembro de 2006 às: (b) 00 UTC, (c) 03 UTC, (d) 06 UTC, (e) 09 UTC, (f) 12 UTC. A escala de cores da temperatura de brilho é vista na parte inferior da figura. A capital de cada estado está indicada nas imagens. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador. (Fonte das imagens: Adaptado de http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp)..... 58
- Figura 5.16** – Imagem do satélite meteorológico GOES 12 na banda espectral do infravermelho térmico para o dia 10 às (a) 21 UTC, e para o dia 11 de novembro de 2006 às: (b) 00 UTC, (c) 03 UTC, (d) 06 UTC, (e) 09 UTC, (f) 12 UTC. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador. (Fonte das imagens: Adaptado de <http://www.sat.dundee.ac.uk>) 59
- Figura 5.17** – Média diária da radiação de onda longa (W m^{-2}) nos dias (a) 9, (b) 10 e (c) 11 de novembro de 2006. O intervalo de análise é de 50 W m^{-2} . A escala de tons de

cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 62

Figura 5.18 – Pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) para as 00 UTC do dia (a) 10 e (b) 11 de novembro de 2006. Os centros de alta (baixa) pressão são indicados pela letra **A (B)**. O intervalo de análise é de 2 hPa. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 63

Figura 5.19 – Linhas de corrente e velocidade do vento (m s^{-1}) para as 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. A escala da magnitude do vento é vista à direita dos mapas. Observe que a escala em (c) difere das demais. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 65

Figura 5.20 – Vorticidade relativa às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $10 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ em (a,b) e de $20 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ em (c). As áreas sombreadas são negativas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 66

Figura 5.21 – Divergência horizontal às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$. As áreas de convergência estão sombreadas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 67

Figura 5.22 – Movimento vertical às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $10 \times 10^{-2} \text{hPa s}^{-1}$. Nas áreas sombreadas há ascendência. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II)..... 69

Figura 5.23 – Umidade específica às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 925 hPa e (b) 850 hPa. O intervalo da análise é de 2g kg^{-1} . A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II)... 71

Figura 5.24 – Temperatura potencial equivalente às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa e (b) 500 hPa. O intervalo de análise é de 5 K. As áreas em tons de cinza correspondem aos maiores valores de Theta-e. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II)... 72

Figura 5.25 – Totais diários de precipitação (mm) do mês de abril de 2007 coletados na estação automática de coleta de dados (PCD) de Teixeira de Freitas, Eunápolis, Ilhéus e Salvador. (Fonte dos registros: INEMA)..... 74

Figura 5.26 – Precipitação horária e horária acumulada (mm) coletada no período de 11-12 UTC do dia 10 às 11-12 UTC do dia 11 de abril de 2006 na estação automática de coleta de dados (PCD) de: (a) Eunápolis e (b) Ilhéus. Observe que hora UTC = hora local + 3 horas. (Fonte dos registros: INEMA)..... 75

Figura 5.27 – Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 10 da Região Nordeste e adjacências para o dia 10 às (a) 09 UTC, (b) 18 UTC, e dia 11 de abril de 2007 às: (c) 00 UTC, (d) 03 UTC, (e) 06 UTC e (f) 12 UTC. A escala de cores da

temperatura de brilho é vista na parte inferior da figura. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador. (Fonte das imagens: Adaptado de http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_antiores.jsp)..... 76

Figura 5.28 – Imagem do satélite meteorológico GOES 12 na banda do infravermelho térmico para o dia 10 às (a) 12 UTC, (b) 18 UTC, e dia 11 de abril de 2007 às: (c) 00 UTC, (d) 03 UTC, (e) 09 UTC e (f) 12 UTC. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador. (Fonte das imagens: Adaptado de <http://www.sat.dundee.ac.uk>)..... 78

Figura 5.29 – Média diária da radiação de onda longa ($W m^{-2}$) nos dias (a) 09, (b) 10 e (c) 11 de abril de 2007. O intervalo de análise é de $50 W m^{-2}$. A escala de tons de cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 80

Figura 5.30 – Pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) para as 00 UTC do dia (a) 10 e (b) 11 de abril de 2007. Os centros de alta (baixa) pressão são indicados pela letra **A (B)**. O intervalo de análise é de 2 hPa. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 82

Figura 5.31 – Linhas de corrente e velocidade do vento ($m s^{-1}$) para as 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. A escala da magnitude do vento é vista à direita dos mapas. Observe que a escala em (c) difere das demais. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 85

Figura 5.32 – Vorticidade relativa às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é $10 \times 10^{-5} s^{-1}$ em (a,b) e $20 \times 10^{-5} s^{-1}$ em (c). As áreas sombreadas são negativas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 86

Figura 5.33 – Divergência horizontal às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $5 \times 10^{-5} s^{-1}$. As áreas de convergência estão sombreadas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 87

Figura 5.34 – Movimento vertical às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $10 \times 10^{-2} hPa s^{-1}$. Nas áreas sombreadas há ascendência. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 90

Figura 5.35 – Umidade específica às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 925 hPa e (b) 850 hPa. O intervalo da análise é de 2 g kg⁻¹. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II)... 91

Figura 5.36 – Temperatura potencial equivalente (K) às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa e (b) 500 hPa. O intervalo de análise é de 5 K. A escala de tons de cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR II) 92

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Características dos eventos intensos de precipitação selecionados dos totais diários de Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas para os meses disponíveis no período de abril de 2000 - fevereiro de 2009. O valor do percentil 0,97 usado como limiar para identificação dos eventos intensos é: 34,75 mm para Ilhéus, 31,8 mm para Eunápolis e 38,12 mm para Teixeira de Freitas.....	36
---	----

LISTA DE QUADROS

- Quadro 4.1** – Nome das estações e mesorregiões, área e população dos municípios. (Fonte: IBGE, 2010)..... 29
- Quadro 4.2** – Nome e coordenadas geográficas das Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) localizadas no planalto costeiro do Estado da Bahia. (Fonte: IBGE, 2010)..... 30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Circulação Anticiclônica
AB	Alta da Bolívia
AMJJ	Abril, Maio, Junho, Julho
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
C	Circulação Ciclônica
CAPE	Energia Potencial Disponível para Convecção
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
DSA	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GRADS	Grid Analysis and Display System
HL	Hora Local
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
K	Índice K
LI	Índice de Levantamento
LI	Linha de Instabilidade
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
N	Norte
NEB	Região Nordeste do Brasil
NW	Noroeste
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PCD	Plataforma Automática de Coleta de Dados
ROL	Radiação de Onda Longa
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SCm	Sistema Convectivo Multicelular
S	Sul
SE	Sudeste
SF	Sistema Frontal
SI	Índice de Showalter
SWEAT	Severe Weather Threat
TL	Temperatura no Nível de Condensação por Levantamento
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TT	Total Totals
UTC	Universal Time Coordinated
VCAN	Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis
W	Oeste
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

v	Componente meridional do vento
u	Componente zonal do vento
$=$	É igual a
$>$	É maior que
$<$	É menor que
$g\text{ kg}^{-1}$	Gramas por quilograma
ε	Epsilon
P	Pressão atmosférica
e	Pressão Parcial do Vapor d'água
e_s	Pressão do Vapor Saturado
\exp	Exponencial
$^{\circ}\text{C}$	Graus Célsius
hPa	Hectopascal
K	Kelvin
mm	Milímetros
ω	Movimento vertical
N	Norte
W	Oeste
$\%$	Porcentagem
r	Razão de mistura
r_s	Razão de mistura saturada
s^{-1}	Segundo a menos um
T	Temperatura do ar em $^{\circ}\text{C}$
T_L	Temperatura do nível de condensação por levantamento
T_k	Temperatura do ar em Kelvin.
T_d	Temperatura do ponto de orvalho
T_v	Temperatura virtual do ambiente
θ	Temperatura potencial
θ_e	Temperatura potencial equivalente
θ_{es}	Temperatura potencial equivalente de saturação
q	Umidade específica
UR	Umidade relativa

RESUMO
ABSTRACT
LISTA DE ILUSTRAÇÕES
LISTA DE TABELAS
LISTA DE QUADROS
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS
LISTA DE SÍMBOLOS

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS.....	20
2.1	OBJETIVO GERAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	REVISÃO DA LITERATURA	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1	ÁREA DE ESTUDO	28
4.2	DADOS.....	30
4.3	MÉTODOS	32
4.3.1	Cálculo das Variáveis Derivadas.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	O CASO DE OUTUBRO DE 2006	37
5.1.1	Variabilidade da Nebulosidade e Precipitação.....	37
5.1.2	Características do Ambiente Sinótico.....	44
5.2	O CASO DE NOVEMBRO DE 2006	55
5.2.1	Variabilidade da Nebulosidade e Precipitação.....	55
5.2.2	Características do Ambiente Sinótico.....	60
5.3	O CASO DE ABRIL DE 2007.....	73
5.3.1	Variabilidade da Nebulosidade e Precipitação.....	73
5.3.2	Características do Ambiente Sinótico.....	79
6	CONCLUSÕES	93
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

A Região Nordeste do Brasil (NEB), localizada entre os paralelos de 1° S e 18° S e os meridianos de 35° W e 47° W, tem uma área aproximada de 1,5 milhões de km² cuja principal característica climática é a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação. Circulações atmosféricas de escala interanual e interdecadal, resultantes da interação superfície-atmosfera, em conjunto com circulações de escalas de tempo mais curtas, determinam o clima e o tempo na região.

A Bahia, com uma extensão territorial de aproximadamente 600.000 km², que ocupa 36,41% da área total do NEB, é o maior estado da região. No Estado da Bahia atuam, de forma direta ou indireta, todos os sistemas atmosféricos que influenciam a Região Nordeste. Esse fato, em conjunto com a diversidade do relevo do estado, resulta numa grande variabilidade da precipitação, em diversas escalas. Na Bahia, a climatologia dessa variável meteorológica evidencia totais anuais contrastantes; em torno de 800 mm no Vale do Rio São Francisco e acima de 1400 mm na sua área leste (SANTOS, 2016).

De maneira geral, na área central da Bahia os extremos secos são mais frequentes e tem impactos adversos importantes, enquanto que, na área costeira, extremos chuvosos são mais frequentes e prejudiciais. Nesse último caso, a caracterização da chuva em termos da sua intensidade é um aspecto fundamental, principalmente em áreas urbanas. As cidades dependem de sistemas de drenagem que, em muitos casos, não atendem à necessidade do escoamento das águas pluviais em eventos de chuvas fortes. Essa deficiência resulta, em parte, da utilização de totais diários de precipitação nos cálculos necessários ao dimensionamento das redes de captação das águas das chuvas. Dessa forma, o conhecimento do total precipitado em intervalos de tempo mais curtos, a exemplo da precipitação horária, pode contribuir para um dimensionamento mais adequado à intensidade da chuva de cada local.

Este trabalho envolve o estudo de três casos de eventos intensos de chuva registrados em localidades do planalto costeiro do Estado da Bahia, com foco na variabilidade horária da chuva e na caracterização dos sistemas meteorológicos atuantes nos eventos. Os dados coletados em estações automáticas de coleta de dados (PCD's) instaladas em Salvador, Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas fundamentam esta pesquisa na qual também são utilizados dados de reanálise e imagens de satélite meteorológico.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar e caracterizar os sistemas meteorológicos atuantes em eventos de chuva intensa no planalto costeiro do Estado da Bahia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar a variabilidade horária e diária da precipitação registrada por estações automáticas de coleta de dados operadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) em quatro localidades do planalto costeiro da Bahia.

Investigar a evolução temporal e espacial de características da estrutura sinótico-dinâmica e termodinâmica da atmosfera, em três casos de eventos de chuva forte selecionados para estudo.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A faixa costeira leste da Região Nordeste do Brasil, do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, apresenta regimes pluviométricos com os maiores volumes anuais de precipitação da região. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), aproximadamente 40% da população nordestina vive nessa área. A época mais chuvosa na maior parte dessa área costeira corresponde ao período de abril a julho (60% da precipitação anual), e a menos chuvosa aos meses de setembro a dezembro (10% da precipitação anual) (RAO *et al.*, 1993). Entretanto, no sul da Bahia a pluviometria de dezembro a fevereiro é comparável àquela citada acima, conforme documentado pelas normais de precipitação dessa área (INMET, 2009). As chuvas na faixa costeira leste resultam da ação e interação de circulações atmosféricas de diversas escalas. As circulações locais, resultantes do contraste terra-mar e do relevo acidentado, determinam o ciclo diário da chuva. Sua interação com circulações de escala maior determina o horário de ocorrência e o volume das chuvas. Devido à grande extensão norte-sul do litoral leste nordestino, diversos sistemas meteorológicos influenciam essa área do NEB, notadamente a alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS) cujos ventos alísios predominam no decorrer do ano. Outros sistemas atmosféricos atuam, direta ou indiretamente, em faixas latitudinais e épocas específicas, conforme apresentado a seguir.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um fenômeno de circulação atmosférica em escala global caracterizado pela confluência dos ventos alísios em superfície associada a uma área de baixa pressão (cavado equatorial) localizada na região equatorial. A ZCIT apresenta uma extensa banda de nebulosidade com configuração quase zonal que, em geral, é identificada mais facilmente sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico. É o principal sistema de circulação atmosférica que atua na área norte do NEB, provocando precipitações significativas. A posição latitudinal da faixa de nebulosidade associada à ZCIT tem periodicidade de um ano, com média em torno de 5° N, aproximadamente; sua posição mais ao norte (12° N) ocorre durante os meses de verão do hemisfério norte, e sua posição mais ao sul (5° S) é vista nos meses de março e abril. Durante os meses de verão e outono austral (dezembro a maio), a ZCIT pode interagir com outros sistemas de circulação atmosférica, a exemplo dos vórtices e cavados em altos níveis da troposfera, dos distúrbios ondulatórios de leste ou, ainda, linhas de instabilidade (LI) que se formam na costa norte do Brasil. (HASTENRATH e HELLER, 1977; UVO, 1989; UVO *et al.*, 1998; MELO *et al.*, 2002; CARVALHO, 2011).

Os Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) de origem tropical (PALMER, 1951), são um dos principais sistemas de circulação atmosférica que atuam sobre o Nordeste Brasileiro. São centros de baixa pressão em escala sinótica, que se formam a partir da intensificação de um cavado em altos níveis, corrente abaixo da crista associada ao anticiclone da Bolívia. No centro do VCAN há a inibição da nebulosidade (convergência em altos níveis) e em sua periferia há a presença de atividade convectiva (divergência em altos níveis). Atua no final da primavera, verão e início do outono (novembro a abril), com tempo de duração em torno de 7 a 10 dias. (PALMER, 1951; KOUSKY e GAN, 1981; GAN e KOUSKY, 1986; COSTA, 2009).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um fenômeno de circulação atmosférica em escala sinótica que atua no final da primavera e nos meses do verão austral, com duração em torno de 4 dias, sobre grande parte do Brasil e países adjacentes. São centros de baixa pressão que se formam a partir da interação do anticiclone da Bolívia com um cavado semi estacionário sobre a Região Nordeste na alta troposfera e uma região de convergência de umidade em baixos níveis topográficos. (NOGUÉS-PAEGLE e MO, 1997; SATYAMURTY *et al.*, 1998; CARVALHO *et al.*, 2004; GRIMM, 2011; QUADRO, 2012). Uma das características da ZCAS é a persistência de uma banda de nebulosidade com configuração noroeste-sudeste (NW-SE) associada a uma área de convergência na baixa troposfera. De maneira geral, a nebulosidade associada à ZCAS se estende sobre o centro-sul da Amazônia, Regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro-sul do Estado da Bahia, norte do Estado do Paraná e sudoeste do Oceano Atlântico Sul (FERREIRA *et al.*, 2004).

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) são cavados na área dos ventos alísios em escala sinótica que se propagam para oeste em baixos níveis, apresentando configuração em forma de onda nos campos do vento e da pressão. No Nordeste Brasileiro, a frequência dos distúrbios ondulatórios de leste é máxima entre os meses de março e agosto (outono e inverno), e mínima entre os meses de setembro e fevereiro (primavera e verão), com um tempo de duração entre 4 a 6 dias. (BERRY *et al.*, 1945; CHOU, 1990; RAO *et al.*, 1993; GOMES, 2012; SANTOS *et al.*, 2012).

Os Sistemas Frontais (SF) ou frentes são estruturas atmosféricas de mesoescala associadas a centros de baixa pressão em escala sinótica que tem origem em latitudes médias e subtropicais durante todo o ano, associados com a presença de instabilidade na atmosfera (FEDOROVA, 1999). Esses sistemas são um importante mecanismo causador de precipitação em grande parte do NEB (KOUSKY, 1979). O sul da região (interior da Bahia) recebe grande parte de sua precipitação entre novembro e fevereiro (verão), associada aos Sistemas Frontais

(KOUSKY, 1979; CHAVES, 1999). No norte da área costeira da Bahia, os volumes de precipitação também são elevados no período de abril a julho (final do outono e início do inverno), associados a DOL (SANTOS *et al.*, 2012) e SF (KOUSKY, 1979).

A diversidade de sistemas de circulação atmosférica que contribuem para os diferentes regimes pluviométricos do NEB tem motivado os pesquisadores a desenvolver estudos com o objetivo de caracterizar os sistemas meteorológicos e seus impactos na região.

Moscati e Gan (2004) analisaram a atuação de vários sistemas de circulação atmosférica que ocasionaram eventos intensos de precipitação na região semiárida do NEB entre os dias 16 e 26 de dezembro de 1989. Observaram que o avanço de um sistema frontal favoreceu a atividade convectiva sobre o continente e a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A atuação do sistema frontal em superfície e a incursão de cavados de ondas curtas no nível de 200 hPa sobre a Região Sul do Brasil, ocasionaram a intensificação de uma crista localizada a leste, associada com o anticiclone (alta) da Bolívia, o que contribuiu para a formação de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) sobre o Atlântico Sul, próximo ao litoral leste do NEB.

Santos e Braga (2015) observaram a atuação de um sistema frontal sobre o NEB no dia 17 de novembro de 2014, associado com quatro sistemas de circulação atmosférica: o anticiclone (alta) da Bolívia (AB), o jato subtropical, a ASAS e um VCAN. A interação dos sistemas fez com que a frente fria avançasse sobre o NEB, resultando em precipitações intensas. As autoras observaram que o Sistema Frontal se posicionou sobre o Oceano Atlântico e parte do NEB. A ASAS intensa impediu que o sistema frontal se deslocasse, bloqueando-o. Foi observado um cavado bem desenvolvido em toda a atmosfera, uma associação com uma família de ciclones na região centro-leste do Oceano Atlântico e outro cavado associado ao jato subtropical sobre a Região Sudeste do Brasil. As autoras observaram a formação de um VCAN próximo à África que se associou à um cavado profundo centrado na América do Sul e o anticiclone (alta) da Bolívia bem desenvolvido.

Bandeira e Melo (2006) analisaram as condições atmosféricas de dois meses de janeiro nos quais a pluviometria do NEB foi contrastante: chuvoso (2004) e seco (2006). No ano de 2004, o anticiclone (alta) da Bolívia, ao norte de sua posição climatológica, favoreceu a posição do centro dos VCAN mais para norte, enquanto que sua periferia apresentou bastante nebulosidade, sobre o NEB, provocando precipitações acima da média na região. No ano de 2006, o anticiclone (alta) da Bolívia, a oeste de sua posição climatológica, resultou no centro do VCAN sobre o NEB, favorecendo a pouca atividade convectiva na região e, consequentemente, um déficit de precipitação nesse mês.

Sousa (2015) analisou as condições atmosféricas na área de Petrolina no mês chuvoso de abril de 2014, com foco no evento extremo de precipitação que ocorreu no dia 08. As chuvas foram registradas entre os dias 7 e 12, e no dia 27 de abril, associadas a ventos de sudeste fracos à superfície. O evento extremo de chuva do dia 8 foi causado por um sistema convectivo multicelular que se desenvolveu em condições de grande escala caracterizadas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atuando no extremo norte e ao norte do Nordeste do Brasil, pela alta da Bolívia deslocada para leste de sua posição climatológica, e por um cavado de grande amplitude na alta troposfera, a leste da América do Sul. Os índices CAPE, LI, SI, K, TT e SWEAT foram os que melhor representaram características termodinâmicas e dinâmicas da atmosfera no mês de estudo, apresentando as maiores variações nos dias que antecedem os eventos de chuva, uma indicação de que podem ser úteis na previsão desses eventos na região semiárida do Nordeste do Brasil.

Alves *et al.* (2006) observaram a atuação simultânea no NEB de quatro sistemas de circulação atmosférica em janeiro de 2004: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), um Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN), uma Frente Fria com posição centro-sul sobre a região e a Oscilação de Madden-Julian. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) localizada ao norte de sua posição climatológica favoreceu a interação dos demais sistemas, provocando precipitações intensas sobre o centro-norte da região. Alves *et al.* (2001) observaram a formação e desenvolvimento de um Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) que provocou precipitação intensa entre os dias 20 a 21 de maio de 1999 no setor leste do NEB. O SCM esteve associado à instabilidade provocada pela atuação de uma frente fria estacionária sobre o centro-sul do Estado da Bahia e à uma onda curta que avançou de leste para oeste abaixo do equador, atingindo a costa leste do NEB, o que favoreceu a formação de um ciclone fechado no nível de 700 hPa na fase de maturação do SCM.

De acordo com Silva Aragão *et al.* (2006), a cidade de Salvador, localizada no litoral leste do NEB, é uma das capitais nordestinas onde a ocorrência de desastres naturais associados com eventos de precipitação intensa é frequente. Barreto *et al.* (2008) caracterizaram os eventos extremos na cidade de Salvador tendo por base a técnica do percentil aplicada à série de totais diários de precipitação do período de 1964 a 2007. O valor considerado como limiar inferior na seleção dos eventos foi o do nonagésimo sétimo percentil (50 mm) da série pluviométrica. Foi encontrado que a maioria (55%) dos eventos intensos é observada nos meses de abril a julho (AMJJ), quadrimestre chuvoso de Salvador.

Silva Aragão *et al.* (2008) caracterizaram a variação mensal e horária da precipitação na cidade de Salvador, para o período de abril de 2000 a junho de 2008. O ciclo diário da

precipitação foi analisado através da frequência (em dias) nos 24 intervalos de uma hora que constituem um dia. Os autores identificaram que a frequência é mínima no período da tarde, entre as 12-13 e 18-19 HL (hora local), e máxima no período da madrugada e início da manhã, sendo que as precipitações mais intensas ocorrem no início da manhã, entre as 5-6 e 8-9 HL. A distribuição da frequência horária teve caráter bimodal, no ano e quadrimestres chuvosos, o que sugeriu que outros mecanismos dinâmicos favoreceram a ocorrência de precipitação.

Santos (2008) analisou os impactos de dois eventos de precipitação intensa registrados em Salvador no ano de 2006. No primeiro evento intenso, ocorrido no dia 21 de abril, 55 mm de chuva foram registrados entre 8 e 10 UTC, o que ocasionou diversos desastres naturais na cidade. O segundo evento, registrado no dia 12 de junho, também foi analisado por Santos *et al.* (2012) que diagnosticaram convecção profunda organizada, cujo desenvolvimento foi favorecido por um distúrbio ondulatório de leste (DOL) que atingiu a costa leste do NEB. A propagação do DOL, com velocidade de fase estimada em 10 m s^{-1} , foi detectada no campo da componente meridional do vento no nível de 700 hPa e em imagens de satélite meteorológico. No dia anterior ao evento foram observados ventos fracos em toda a troposfera, enquanto que a estrutura termodinâmica mostrava uma atmosfera condicionalmente instável e energia potencial convectiva disponível máxima de 3.233 J kg^{-1} , uma condição muito favorável ao desenvolvimento de convecção profunda na região. Deslizamentos de encosta e suas consequências foram os principais danos causados por esse evento extremo.

Um evento extremo de precipitação registrado na cidade de Salvador, nos dias 12 e 13 de novembro de 2006, foi analisado por Santos *et al.* (2008) que o associaram a um episódio da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). As autoras observaram que a atuação da ZCAS favoreceu o desenvolvimento e a organização da convecção na forma de aglomerados convectivos, e teve origem em um sistema frontal que avançou no dia 9 e se manteve semi-estacionário sobre o Estado da Bahia. As precipitações mais intensas, registradas na madrugada do dia 13 de novembro, totalizaram 70 mm em 6 horas, valor esse que representa 64% da climatologia do mês.

Santos (2013) analisou a variabilidade pluviométrica em Salvador e determinou as classes da precipitação em diversas escalas de tempo com base na pluviometria mensal do período 1961-2011. Utilizando o método de percentis (quantis), a autora identificou, na análise anual, que 1964 (1961) é o ano mais extremo “muito chuvoso” (“muito seco”). O maior número desses eventos está nas décadas de 1960 e 1980. Na análise do quadrimestre

mais chuvoso (AMJJ), o de 1971 (1980) é o mais extremo “muito chuvoso” (“muito seco”). Os eventos “muito chuvosos” estão concentrados nas décadas de 1970 e 1980. A análise dos meses individuais possibilitou identificar que o mês de extremo climático com total pluviométrico mensal mais elevado foi abril de 1984. A autora mostrou que nos três meses que antecederam abril de 1984 as anomalias de TSM foram superiores a $0,5^{\circ}$ C na área tropical do Atlântico Sul, uma condição favorável à evaporação e, conseqüentemente, ao aumento do teor de umidade da atmosfera.

Queiroz (2015) analisou as condições de estabilidade da atmosfera no mês (muito chuvoso) de abril de 2009 com o objetivo principal de investigar o grau de relação entre índices de estabilidade e a ocorrência de precipitação na cidade de Salvador. Dos dezessete dias com registro de precipitação, quatro tiveram totais diários que ultrapassaram 50 mm. No evento do dia 19 houve precipitação intensa em toda a cidade, causada por uma linha convectiva que se formou sobre a Bahia, na latitude de Salvador (13° S), associada a um cavado frontal com forte cisalhamento horizontal e vertical do vento. O teor de umidade estava elevado na baixa troposfera, antes e depois do evento. A aplicação da análise de componentes principais a nove índices de instabilidade resultou em um modelo de três componentes que explicou 91,82% da variância total dos dados. O índice K foi o melhor na previsão de precipitação no mês de estudo.

A variabilidade da precipitação no planalto costeiro do Estado da Bahia foi analisada por Medeiros (2017), através do total precipitado e da frequência de precipitação (em dias) obtidos de acordo com a metodologia de Silva Aragão *et al.* (2008), para as quatro localidades analisadas neste trabalho: Salvador, Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas. O período de estudo é de abril de 2000 a fevereiro de 2009. A autora observou que ocorre precipitação durante todo o ano nos quatro municípios. O número de eventos intensos e de dias com precipitação é maior em anos com totais pluviométricos mais elevados. O ciclo diário da frequência de precipitação tem aspectos semelhantes para as cidades de Salvador e Ilhéus, como o mínimo vespertino e o máximo na madrugada (Ilhéus) e manhã (Ilhéus e Salvador). O ciclo diário em Eunápolis e Teixeira de Freitas apresenta dois períodos de máximo (início da manhã e início da tarde), e dois de mínimo, um breve, no meio da manhã, e outro prolongado, no período noturno.

Considerando os elevados totais pluviométricos anuais e o número de eventos intensos de chuva com danos à sociedade registrados em localidades do planalto costeiro da Bahia, fica evidente a importância do estudo da variação horária da precipitação e da atuação e interação de sistemas de circulação atmosférica envolvidos em eventos intensos nessa área

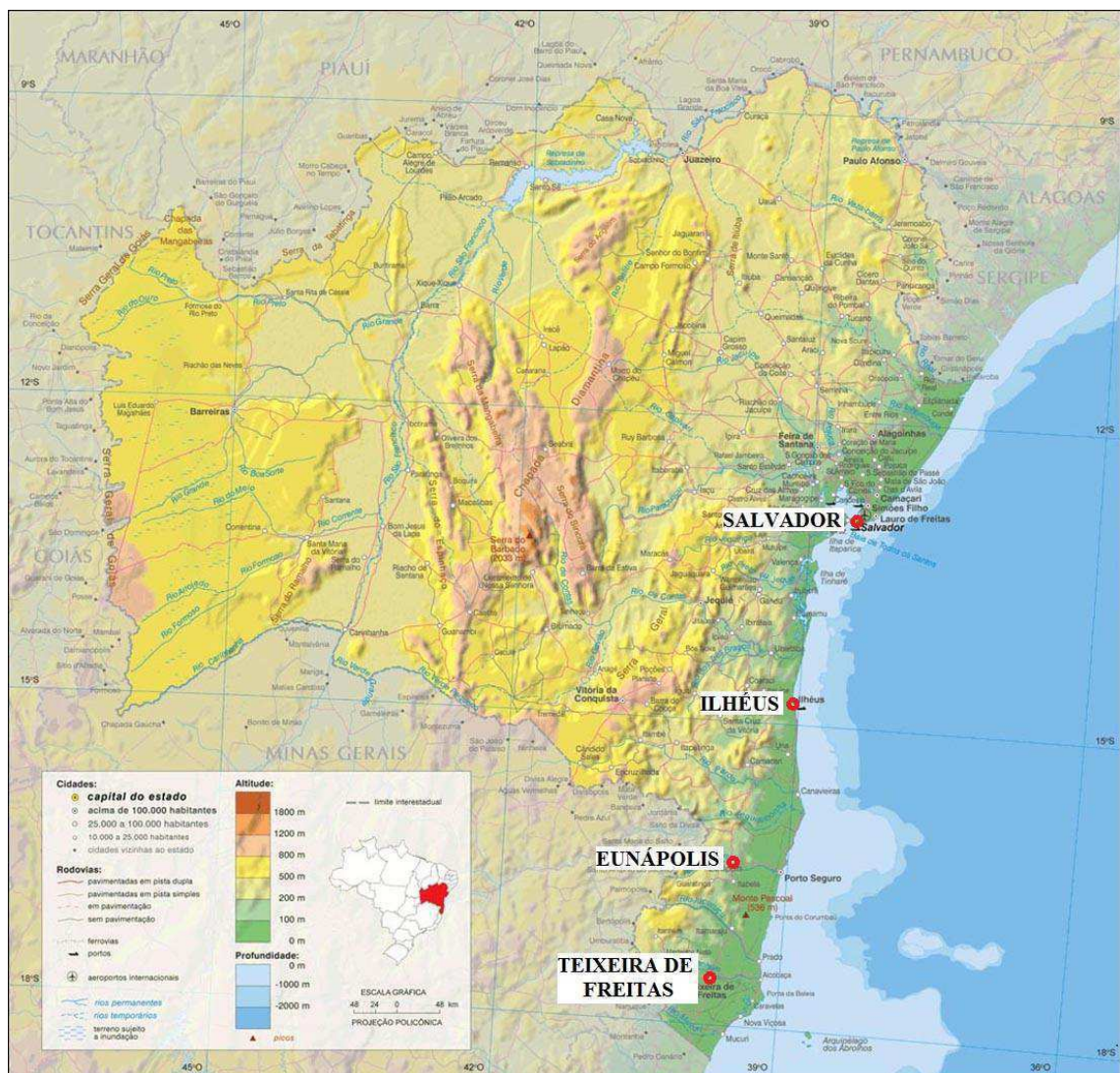
do estado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área geográfica foco deste estudo é o maior estado da Região Nordeste e, em particular, as quatro localidades representadas pela circunferência vermelha, localizadas no planalto costeiro do Estado da Bahia, indicado pela cor verde no mapa do relevo (Fig. 4.1). Esses locais contam com estações automáticas de coleta de dados (PCD) operadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) do estado, fonte dos dados de pluviometria fundamentais para esta pesquisa.

Figura 4.1 – Mapa do relevo do Estado da Bahia, com o planalto costeiro representado pela cor verde. A circunferência vermelha indica a localização de cada PCD da área de estudo.



Fonte: Adaptado de IBGE, 2012

Salvador e Ilhéus estão situadas no litoral em áreas cuja altitude não ultrapassa os 100 metros (Fig. 4.1), na mesorregião Metropolitana de Salvador e Sul Baiano, respectivamente (Quadro 4.1). As características do ciclo diário da frequência de precipitação nesses dois municípios indicam que ele é modulado pelas circulações de brisa marítima/terrestre (MEDEIROS, 2017).

Situadas mais ao sul na mesorregião Sul Baiano, Teixeira de Freitas e Eunápolis estão em áreas mais distantes do litoral e de maior elevação (Fig. 4.1), apresentando ciclos diários semelhantes (MEDEIROS, 2017). Nelas a circulação local é modulada pelas brisas marítima/terrestre e também por ventos anabático/catabático, em decorrência do relevo mais alto, próximo de 200 metros (Fig. 4.1).

Quadro 4.1 – Nome das estações e mesorregiões, área e população dos municípios.

ESTAÇÃO	MESORREGIÃO	MUNICÍPIO		
		População Urbana	População Total	Área Total (km ²)
Salvador	Metropolitana de Salvador	2.674.923	2.676.606	693,3
Ilhéus	Sul Baiano	155.281	184.231	1.751,00
Eunápolis	Sul Baiano	93.413	100.246	1.179,10
Teixeira de Freitas	Sul Baiano	129.263	138.491	1.163,90

Fonte: IBGE, 2010

O Quadro 4.1 contém informações relacionadas com cada localidade: nome e respectiva mesorregião do estado, área e demografia (total e urbana) do município. O quadro indica que a população dos municípios de Salvador, Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas está concentrada em área urbana (99,9%, 84,3%, 93,2% e 93,3%, respectivamente). A área dos três últimos municípios é bem mais extensa que a observada em Salvador, mas o contrário é visto em relação ao número de habitantes. Salvador, a cidade de maior importância social e econômica da Bahia, tem os totais anuais de precipitação mais elevados do estado (> 2000 mm), de acordo com as normais climatológicas do INMET (2018). Sua grande densidade demográfica é outro fator que contribui para o elevado número de desastres naturais registrados na cidade (CEPED, 2013).

Ilhéus, situada ao sul de Salvador é uma das cidades mais populosas da região, tem pluviometria anual em torno de 2000 mm (INMET, 2018). A produção de cacau e o turismo

são suas principais atividades econômicas. Eunápolis e Teixeira de Freitas, situadas no extremo sul da Bahia, onde os totais anuais de precipitação não ultrapassam 1500 mm (INEMA, 2018), tem a economia baseada principalmente na agricultura, polos industriais e turismo. Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas também são afetadas por desastres naturais, a exemplo das enxurradas e alagamentos em eventos de chuvas fortes que causam diversos transtornos à população (CEPED, 2013).

4.2 DADOS

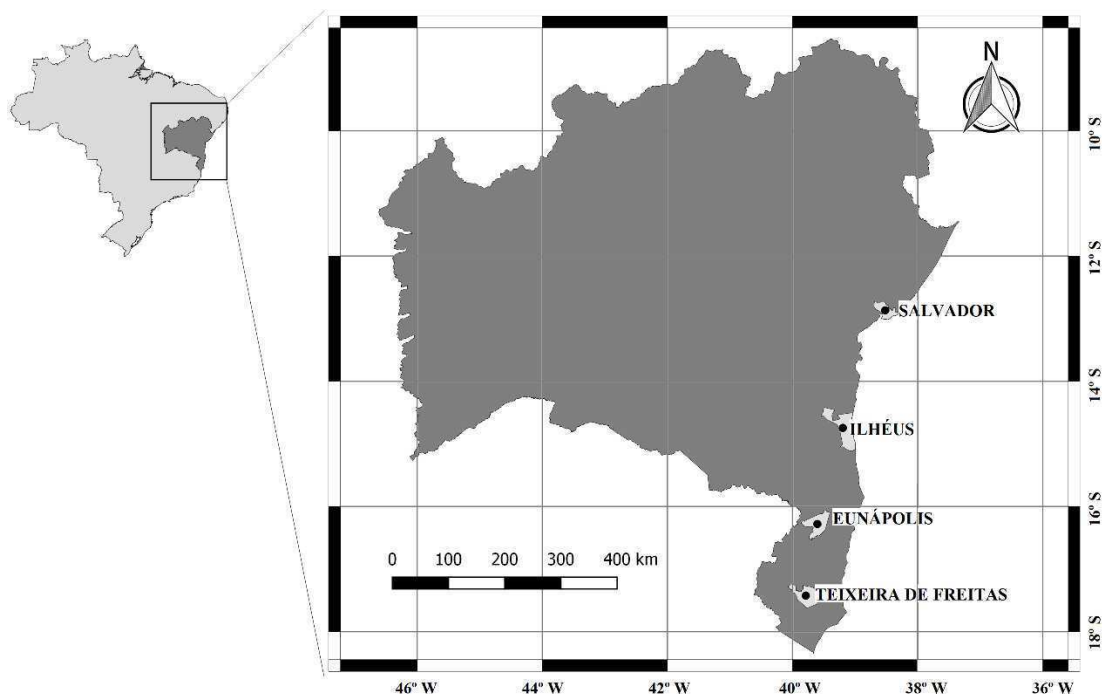
A localização de cada PCD, cujas coordenadas geográficas constam no Quadro 4.2, está assinalada na Figura 4.2, onde estão representados os municípios nos quais foram instaladas no final da década de 1990. Elas armazenam, com alta resolução temporal, determinado número de variáveis meteorológicas. No que diz respeito à precipitação, a PCD é programada para registrar a precipitação acumulada a cada 0,25 mm precipitados. O intervalo de tempo transcorrido entre registros depende da intensidade da precipitação. Neste trabalho foram utilizados, além dos totais diários de precipitação, totais horários num total de 24 valores para cada dia. Esses valores foram obtidos por Medeiros (2017), utilizando a metodologia desenvolvida por Silva Aragão *et al.* (2008).

Quadro 4.2 – Nome e coordenadas geográficas das Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) localizadas no planalto costeiro do Estado da Bahia.

Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
Salvador	12°55'53"	38°21'40"	25
Ilhéus	14°48'00"	39°10'48"	62
Eunápolis	16°17'26"	39°34'47"	179
Teixeira de Freitas	17°31'48"	39°43'12"	195

Fonte: IBGE, 2010

Figura 4.2 – Localização geográfica de Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) operadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) no planalto costeiro do Estado da Bahia.



Fonte: Elaborado pelo autor do trabalho

Neste projeto também foram utilizados dados em pontos de grade de reanálises NCEP-NCAR II (KANAMITSU *et al.*, 2002), versão aperfeiçoada do modelo NCEP/NCAR I com a correção de erros e a atualização de parametrizações de processos físicos. Foram usadas as seguintes variáveis meteorológicas, disponíveis com espaçamento de grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de latitude e longitude, em quatro horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 UTC): componente zonal (u) e meridional (v) do vento ($m\ s^{-1}$), nos níveis isobáricos de 200 hPa, 500 hPa e 850 hPa, pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa), movimento vertical (ω) para toda a coluna atmosférica, assim como umidade relativa (%) e temperatura do ar ($^\circ C$) para os níveis de 925 hPa, 850 hPa e 500 hPa. Variáveis derivadas como a vorticidade relativa (s^{-1}), divergência horizontal (s^{-1}), umidade específica ($g\ kg^{-1}$) e temperatura potencial equivalente (K) também foram utilizadas.

Dados da média diária da radiação de onda longa ($W\ m^{-2}$) para o mesmo espaçamento de grade também foram usados, juntamente com imagens do canal do infravermelho térmico do satélite meteorológico GOES 12 para a visualização da cobertura de nuvens em grande escala, em intervalos de três horas, disponíveis na página eletrônica

<http://www.sat.dundee.ac.uk/> pela Estação de Recepção de Satélite da Universidade de Dundee, e imagens realçadas para a área da Região Nordeste do Brasil que possibilitam a fácil visualização de áreas de convecção profunda, disponibilizadas na página eletrônica <http://www.cptec.inpe.br/> pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

4.3 MÉTODOS

A primeira etapa deste trabalho consistiu na seleção dos eventos de chuva intensa utilizando o critério de que cada evento deveria ser registrado simultaneamente, ou com intervalo de poucas horas em, pelo menos, dois locais da área de estudo. Outro critério foi a disponibilidade de imagens realçadas de satélite meteorológico para a área do NEB. Foram selecionadas as seguintes datas com eventos, identificados a partir de totais diários de precipitação: 15 de outubro de 2006, nas cidades de Teixeira de Freitas, Eunápolis e Ilhéus, 11 de novembro de 2006, em Teixeira de Freitas e Eunápolis, e 11 de abril de 2007, nos municípios de Eunápolis e Ilhéus. Na Tabela 4.1 consta, para cada evento, a data, o total diário, o total horário máximo e o respectivo horário de ocorrência.

Os eventos selecionados fazem parte do conjunto identificado por Medeiros (2017), que usou a técnica do percentil, baseada na técnica dos Quantis (PINKAYAN, 1966), para analisar as séries dos totais diários de precipitação das quatro localidades. A aplicação dessa técnica requer que a série de dados seja organizada em ordem crescente, dividida em n partes iguais. Caso a série seja dividida em três partes, haverá 25%, 50% e 75% como resultado. A divisão em 99 partes corresponde ao percentil, assumindo a probabilidade de 1% para cada ordem. Nos resultados de Medeiros (2017) foi considerado o percentil de 0,97 para determinar o limiar de precipitação intensa de cada localidade.

Os totais diários e horários de chuva e as imagens de satélite meteorológico foram analisados em conjunto com campos de grande escala obtidos das reanálises visualizados com o uso do GrADS (Grid Analysis and Display System), para a área limitada pelas latitudes de 30° N e 50° S, e as longitudes de 0° W e 120° W.

4.3.1 Cálculo de Variáveis Derivadas

A estrutura termodinâmica da atmosfera em escala sinótica foi analisada através da

distribuição horizontal, em níveis isobáricos, da umidade específica q (925 hPa e 850 hPa) e da temperatura potencial equivalente θ_e (850 hPa e 500 hPa), obtidas a partir dos dados de reanálise da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e pressão atmosférica (hPa) conforme descrito a seguir.

$$e_s = 6,11 \exp\left(\frac{17,67 T}{T+243,5}\right) \quad (1)$$

e_s é a pressão de vapor à saturação (hPa);

T é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

$$r_s = 0,622 \frac{e_s}{P - e_s} \quad (2)$$

r_s é a razão de mistura de saturação (g kg^{-1});

P é a pressão atmosférica (hPa).

$$r = UR \left(\frac{r_s}{100}\right) \quad (3)$$

r é a razão de mistura real (g kg^{-1});

UR é a umidade relativa (%).

$$T_v = T (1 + 0.61 r) \quad (4)$$

T_v é a temperatura virtual (K).

$$q = tvur2q(tvexp, urexp) \quad (5)$$

q é a umidade específica (g kg^{-1});

$tvexp$ é a temperatura virtual (K);

$urexp$ é a umidade relativa em (%).

Os mapas horizontais de temperatura potencial equivalente (θ_e) foram analisados com o objetivo de verificar o grau de estabilidade da atmosfera no período de estudo. A temperatura potencial (θ) e a temperatura potencial equivalente (θ_e) foram calculadas a partir

dos dados de reanálise NCEP/NCAR II da temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) para os níveis isobáricos (p) de 850 hPa e 500 hPa , de acordo com as seguintes equações de Bolton (1980):

Temperatura Potencial (θ):

$$\theta = T_K \left(\frac{1000}{p} \right)^{0,286 (1 - 0,28 \times 10^{-3} r)} \quad (6)$$

Na qual:

T_K é a temperatura (absoluta) do ar (K);

P é a pressão atmosférica (hPa);

r é a razão de mistura (g kg^{-1}) dada pela equação de WALLACE e HOBBS, 1977).

$$r = 0,622 \frac{e_s}{p - e_s} \left(\frac{UR}{100} \right) \quad (7)$$

UR é a umidade relativa (%);

e_s é a pressão de vapor à saturação (hPa).

$$e_s = 6,11 \exp\left(\frac{17,67 T}{T + 243,5}\right) \quad (8)$$

T é a temperatura do ar (°C).

Temperatura Potencial Equivalente (θ_e):

$$\theta_e = \theta \exp\left(2,675 \frac{r}{T_L}\right) \quad (9)$$

T_L é a temperatura no nível de condensação por levantamento (K);

$$T_L = 55 + \frac{1}{\frac{1}{Tk - 55} - \frac{\ln\left(\frac{UR}{100}\right)}{2840}} \quad (10)$$

A vantagem de formular a termodinâmica em termos da temperatura potencial equivalente (θ_e) é que ela é conservada para processos adiabáticos úmidos ou secos, desde que não haja calor latente ou sensível adicionado. A temperatura potencial (θ), por sua vez, é conservada apenas em processos adiabáticos secos. Assim, os fluxos de superfície agirão como uma fonte, mas θ_e será constante para as parcelas elevadas, uma vez que não estejam mais em contato com a superfície.

Tabela 4.1 – Características dos eventos intensos de precipitação selecionados dos totais diários de Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas para os meses disponíveis no período de abril de 2000 - fevereiro de 2009. O valor do percentil 0,97 usado como limiar para identificação dos eventos intensos é: 34,75 mm para Ilhéus, 31,8 mm para Eunápolis e 38,12 mm para Teixeira de Freitas.

DATA DO EVENTO			TOTAL DIÁRIO (mm)	MÁXIMO HORÁRIO DO EVENTO		
ANO	MÊS	DIA		DIA	INTERVALO DE 1 HORA (UTC)	TOTAL (mm)

ILHÉUS

2006	10	15	42,75	15	9-10	16,50
2007	04	11	65,50	10	13-14	23,50

EUNÁPOLIS

2006	10	15	93,75	15	02-03	31,00
2006	11	11	85,00	11	03-04	32,75
2007	04	11	74,50	11	03-04	21,50

TEIXEIRA DE FREITAS

2006	10	15	73,00	14	21-22	47,50
2006	11	11	52,00	11	00-01	18,25

Fonte dos dados: Adaptado de MEDEIROS, 2017

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção os três casos de eventos intensos de chuva selecionados (15 de outubro de 2006, 11 de novembro de 2006 e 11 de abril de 2007) são investigados através de dados observacionais e de reanálise. A variabilidade da precipitação observada é analisada na escala diária e horária e relacionada com a cobertura de nuvens visualizada em imagens do satélite meteorológico GOES 12. O ambiente sinótico é diagnosticado com o uso das imagens de satélite e dos dados de reanálise do NCEP/NCAR II com o objetivo de caracterizar os sistemas meteorológicos que atuaram nos eventos.

5.1 O CASO DE OUTUBRO DE 2006

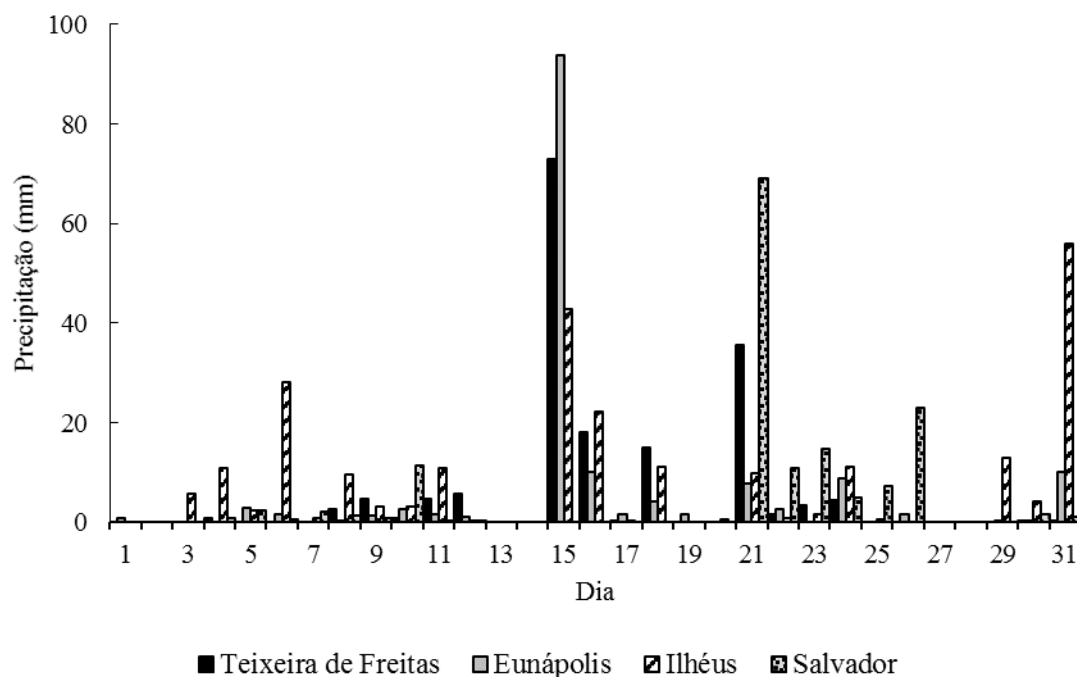
Entre os dias 12 a 14 de outubro de 2006, aglomerados convectivos são observados na área de estudo, associados com convergência em baixos níveis sobre o litoral sul da Bahia e oceano Atlântico. No dia 15 de outubro de 2006 foram registrados altos índices de precipitação nas cidades de Teixeira de Freitas, Eunápolis e Ilhéus.

5.1.1 Variabilidade da Nebulosidade e Precipitação

Os eventos de chuva intensa registrados entre a noite do dia 14 e a manhã do dia 15 são ilustrados na série temporal dos totais diários de chuva de outubro de 2006 das localidades de Teixeira de Freitas, Eunápolis e Ilhéus (Fig. 5.1). Dois outros eventos intensos também são vistos no gráfico: em Ilhéus, no dia 31, e em Salvador, no dia 21.

Na Tabela 4.1 estão os totais pluviométricos diários observados no dia 15 em Teixeira de Freitas (73,00 mm), Eunápolis (93,75 mm) e Ilhéus (42,75 mm). A série temporal dos totais diários evidencia que esses valores foram os mais elevados do mês nas duas primeiras cidades, enquanto que o de Ilhéus foi o segundo maior do mês (Fig. 5.1).

Figura 5.1 – Totais diários de precipitação (mm) do mês de outubro de 2006 coletados na estação automática de coleta de dados (PCD) de Teixeira de Freitas, Eunápolis, Ilhéus e Salvador.



Fonte dos registros: INEMA

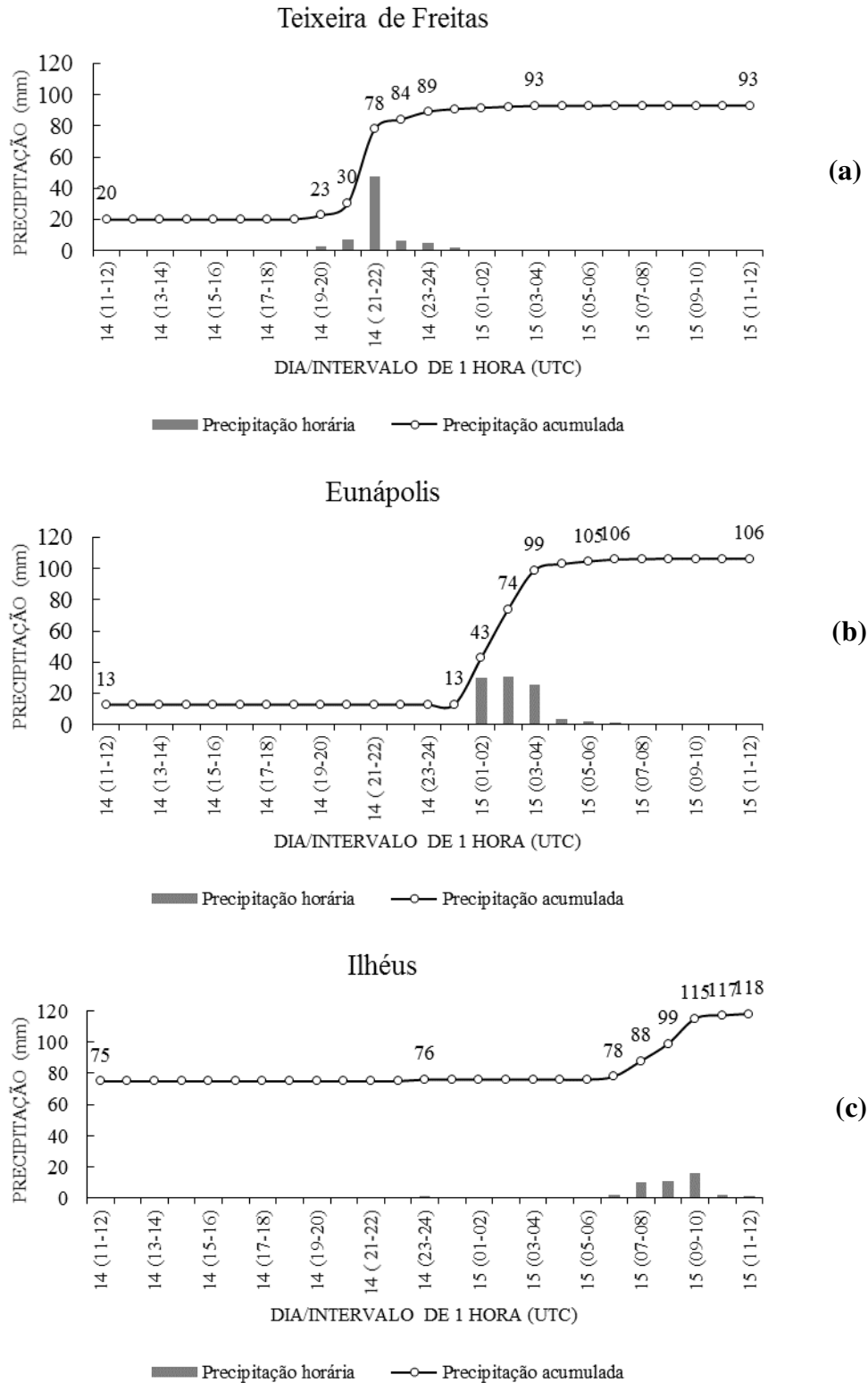
O gráfico da precipitação horária e horária acumulada da cidade de Teixeira de Freitas (Fig. 5.2a) ilustra que a precipitação começa fraca às 19-20 UTC (16-17 HL) do dia 14 de outubro e fica intensa às 21-22 UTC (18-19 HL), quando atinge a intensidade máxima horária do evento (47,50 mm) e 78 mm acumulados. Após esse horário a chuva é fraca até as 03-04 UTC (00-01 HL) do dia 15, quando atinge o total diário de 73 mm (Tabela 4.1) e o acumulado de 93 mm. As imagens realçadas da cobertura de nuvens no horário inicial e final do período de precipitação intensa (Fig. 5.3a,b) evidenciam núcleos convectivos profundos com topos frios de até -70°C associados a um aglomerado convectivo com atuação no sul do Estado da Bahia.

Na PCD da cidade de Eunápolis não são registrados índices pluviométricos significativos no período diurno do dia 14. A chuva começa fraca à noite (Fig. 5.2b), às 23-24 UTC (20-21 HL). Ela se torna intensa a partir de 01-02 UTC (22-23 HL), e se prolonga até as 03-04 UTC (00-01 HL) do dia 15, com um total acumulado de 99 mm. Após esse horário a precipitação é fraca ou inexistente; o total do dia 15 é de 93,75 mm (Tabela 4.1), e o total acumulado é de 106 mm (Fig. 5.2b). A intensidade máxima horária do evento, 31 mm, é atingida às 02-03 UTC (23-24 HL) do dia 15 (Tabela 4.1), com 74 mm acumulados (Fig.

5.2b). Na imagem realçada para as 00 UTC do dia 15 (Fig. 5.3c), que antecede em uma hora o período de três horas de chuva intensa, o aglomerado convectivo visto nas imagens anteriores (Fig. 5.3a,b) apresenta áreas com topos frios de até -70°C com maior extensão. Na imagem das 03 UTC (Fig. 5.3d), uma hora antes do final das três horas de chuva intensa, o aglomerado convectivo está menos intenso, apresentando áreas com topos frios de até -60°C . Nas imagens posteriores (Fig. 5.3e,f), que correspondem a horários em que não são registrados índices pluviométricos significativos (Fig. 5.2b), a área do aglomerado está visivelmente menor e há predominância de topos frios de até -40°C .

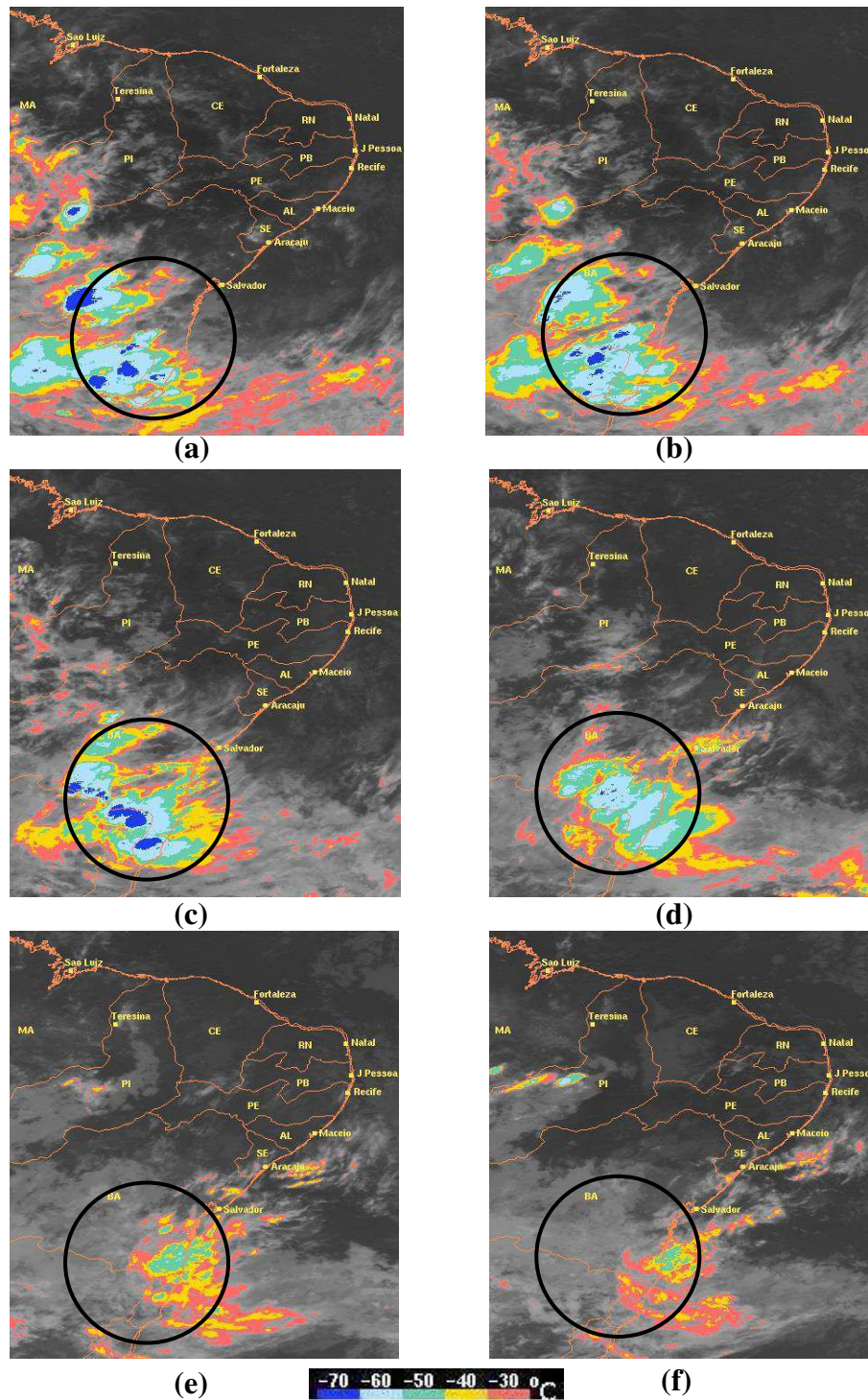
Na PCD da cidade de Ilhéus, a chuva começa fraca às 23-24 UTC (20-21 HL) do dia 14, e é intensa entre 07-08 UTC (04-05 HL) e 09-10 UTC (06-07) do dia 15, totalizando 42,75 mm nesse período de 5 horas, e 118 mm acumulados (Fig. 5.2c). A intensidade máxima horária (16,50 mm) ocorre entre as 09-10 UTC (06-07 HL) do dia 15. Na imagem realçada para as 08 UTC (Fig. 5.3e), uma hora após o início do período de chuva forte (Fig. 5.2c), o aglomerado convectivo está menos intenso do que no horário das 03 UTC (Fig. 5.3d) visto anteriormente, apresentando área menor e topos menos frios, de até -50°C . Na imagem das 10 UTC (Fig. 5.3f), hora do final do período de chuva forte (Fig. 5.2c), a área do aglomerado está visivelmente menor e a predominância é de topos frios de até -40°C .

Figura 5.2 – Precipitação horária e horária acumulada (mm) coletada no período de 11-12 UTC do dia 14 às 11-12 UTC do dia 15 de outubro de 2006 na estação automática de coleta de dados (PCD) de: (a) Teixeira de Freitas, (b) Eunápolis e (c) Ilhéus. Observe que hora UTC = hora local + 3 horas.



Fonte dos registros: INEMA

Figura 5.3 – Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 12 da Região Nordeste e adjacências para o dia 14 às: (a) 21 UTC, (b) 22 UTC, e dia 15 de outubro de 2006 às: (c) 00 UTC, (d) 03 UTC, (e) 08 UTC, (f) 10 UTC. A escala de cores da temperatura de brilho é vista na parte inferior da figura. A capital de cada estado está indicada nas imagens. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador.

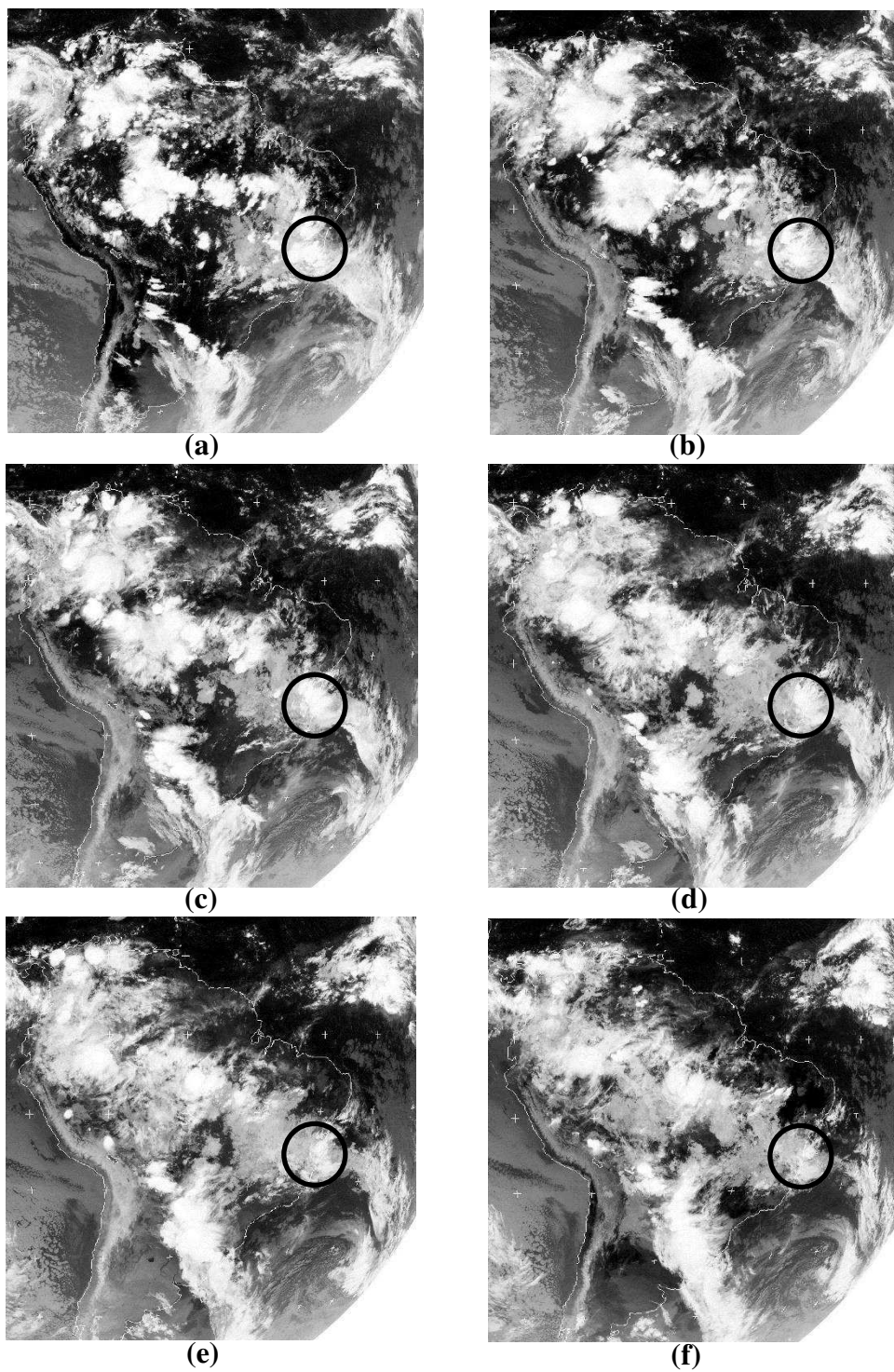


Fonte das imagens: Adaptado de http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp

A relação entre a distribuição horária e horária acumulada da precipitação (Fig. 5.2) e a cobertura de nuvens em grande escala é investigada através de imagens do satélite meteorológico GOES 12 numa sequência temporal de seis horários múltiplos de três horas, com início às 21 UTC do dia 14 e término às 12 UTC do dia 15 de outubro de 2006 (Fig. 5.4). De maneira geral, é possível observar no canto superior direito das imagens, sobre o Oceano Atlântico, áreas de nebulosidade associadas à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), enquanto que aglomerados convectivos são vistos numa banda descontínua de nebulosidade, com configuração noroeste-sudeste, que se estende do extremo noroeste da América do Sul ao Oceano Atlântico, abrangendo o centro-sul da Região Norte, o Centro-oeste, o Sudeste, e o centro-sul da Região Nordeste. A porção situada sobre o oceano dessa área de nebulosidade, em particular, tem características que indicam um processo ciclogênico a leste da Região Sul (Fig. 5.4a-e), ao qual está associado o desenvolvimento de convecção profunda no sul do Estado da Bahia, na área delimitada pela circunferência preta nas imagens. Outra banda de nebulosidade, situada sobre a área central e a leste do continente, está associada a uma frontogênese em latitudes médias e subtropicais, que se intensifica no decorrer do período, particularmente a partir das 03 UTC (Fig. 5.4c).

A imagem das 21 UTC (Fig. 5.4a) ilustra a cobertura de nuvens em grande escala no início do primeiro evento de precipitação intensa de outubro de 2006, registrado em Teixeira de Freitas (Fig 5.2a), evidenciando a extensa área coberta por convecção profunda no sul do Estado da Bahia, vista também na imagem realçada do mesmo horário (Fig. 5.3a). O segundo evento intenso do caso, registrado em Eunápolis (Fig 5.2b), ocorre na madrugada do dia 15, após as 00 UTC (Fig. 5.4b) e antes das 03 UTC (Fig. 5.4c), período no qual a banda de nebulosidade permanece intensa sobre a Região Nordeste. A imagem das 06 UTC (Fig. 5.4d) antecede o terceiro evento intenso do caso, que ocorre em Ilhéus a partir das 07 UTC (Fig. 5.2c), com intensidade máxima horária registrada após as 09 UTC (Fig. 5.4e) e antes das 12 UTC (Fig. 5.4f).

Figura 5.4 – Imagem do satélite meteorológico GOES 12 na banda do infravermelho térmico para o dia 14 às (a) 21 UTC, e o dia 15 de outubro de 2006 às: (b) 00 UTC, (c) 03 UTC, (d) 06 UTC, (e) 09 UTC, (f) 12 UTC. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador.



Fonte das imagens: Adaptado de <http://www.sat.dundee.ac.uk>

5.1.2 Características do Ambiente Sinótico

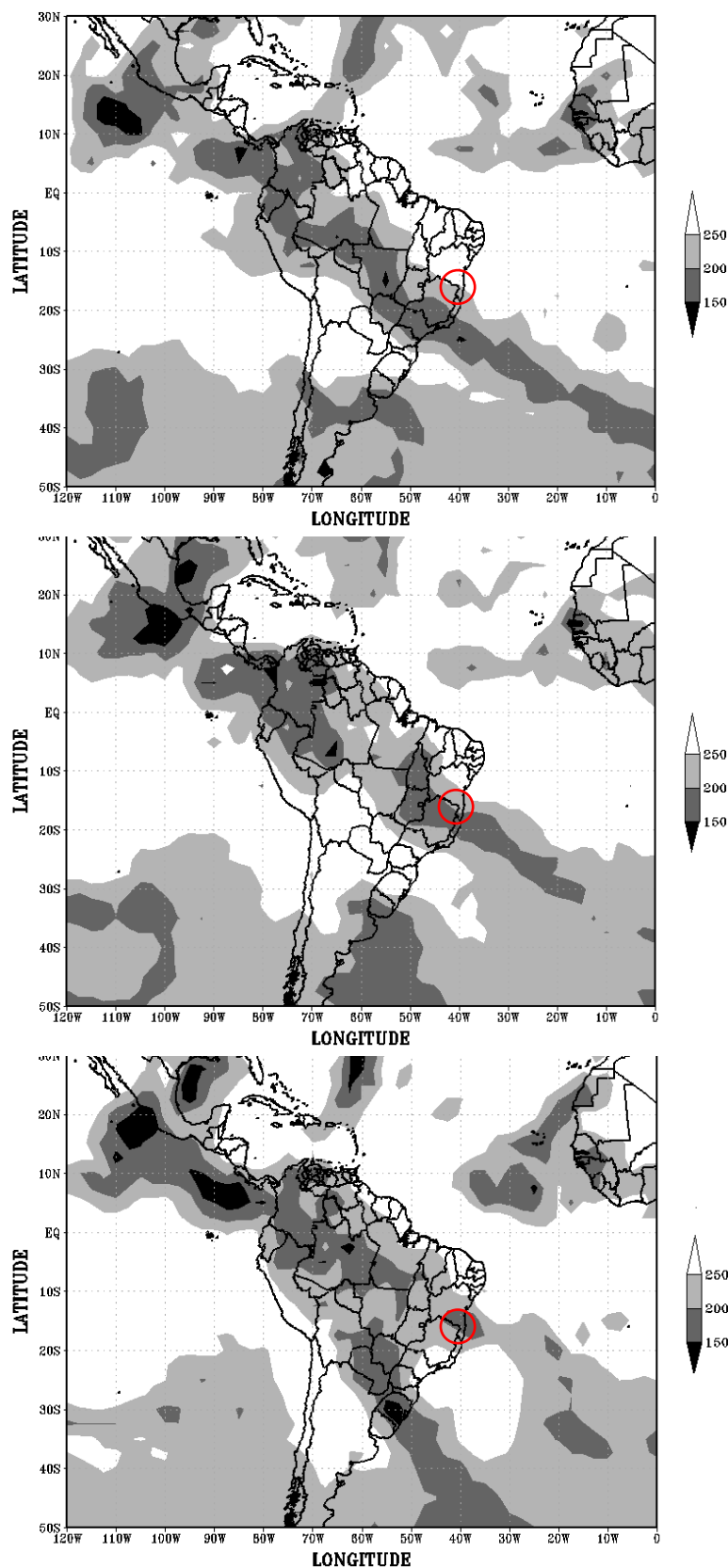
As condições atmosféricas em grande escala foram diagnosticadas através de diversas variáveis com o objetivo de caracterizar os sistemas meteorológicos que atuaram na região da América do Sul e, em particular, na área de estudo. A evolução da média diária da radiação de onda longa (ROL) foi investigada considerando os dias 13, 14 e 15 de outubro de 2006 (Fig. 5.5), com foco no território brasileiro. Nas análises os valores inferiores a 200 W m^{-2} são indicativos de áreas de convecção profunda.

No dia 13, valores da média diária de ROL acima de 250 W m^{-2} são vistos sobre a Região Nordeste (Fig. 5.5a), enquanto que uma área contínua com valores inferiores a 200 W m^{-2} está configurada na direção noroeste-sudeste, se estendendo sobre o sudoeste da Região Norte, o oeste da Região Centro-Oeste, o sul da Região Sudeste, e o Atlântico Sul. O total diário de chuva obtido às 12 UTC desse dia (13) e do dia posterior (14) foi nulo nas PCDs das quatro localidades (Fig. 5.1).

No dia 14, a área com valores de ROL inferiores a 200 W m^{-2} está descontínua, subdividida em duas, uma das quais está deslocada para nordeste em relação ao dia anterior, se estendendo sobre parte da Região Centro-oeste, norte da Região Sudeste e extremo sul da Região Nordeste (Fig. 5.5b). O total diário de chuva obtido às 12 UTC desse dia (14) foi nulo nas PCDs das quatro localidades, mas o do dia posterior (15) foi elevado, exceto em Salvador (Fig. 5.1).

No dia 15, a área com valores de ROL inferiores a 200 W m^{-2} permanece descontínua e, na Região Nordeste, esses valores são vistos apenas no extremo sudeste do Estado da Bahia (Fig. 5.5c). Outra área com ROL inferior a 200 W m^{-2} se estende sobre o Paraguai, o Mato Grosso do Sul, o Rio Grande do Sul, o oeste do Paraná e de Santa Catarina, se prolongando sobre o sudoeste do Atlântico Sul. Essa área, que apresenta configuração quase meridional, está relacionada com uma frontogênese ilustrada nas imagens da Figura 5.4c-f. À exceção de Salvador, o total diário de chuva obtido às 12 UTC desse dia em Teixeira de Freitas (73 mm), Eunápolis (93,75 mm) e Ilhéus (42,75 mm) é indicativo da intensidade da chuva ilustrada nos gráficos da Figura 5.2.

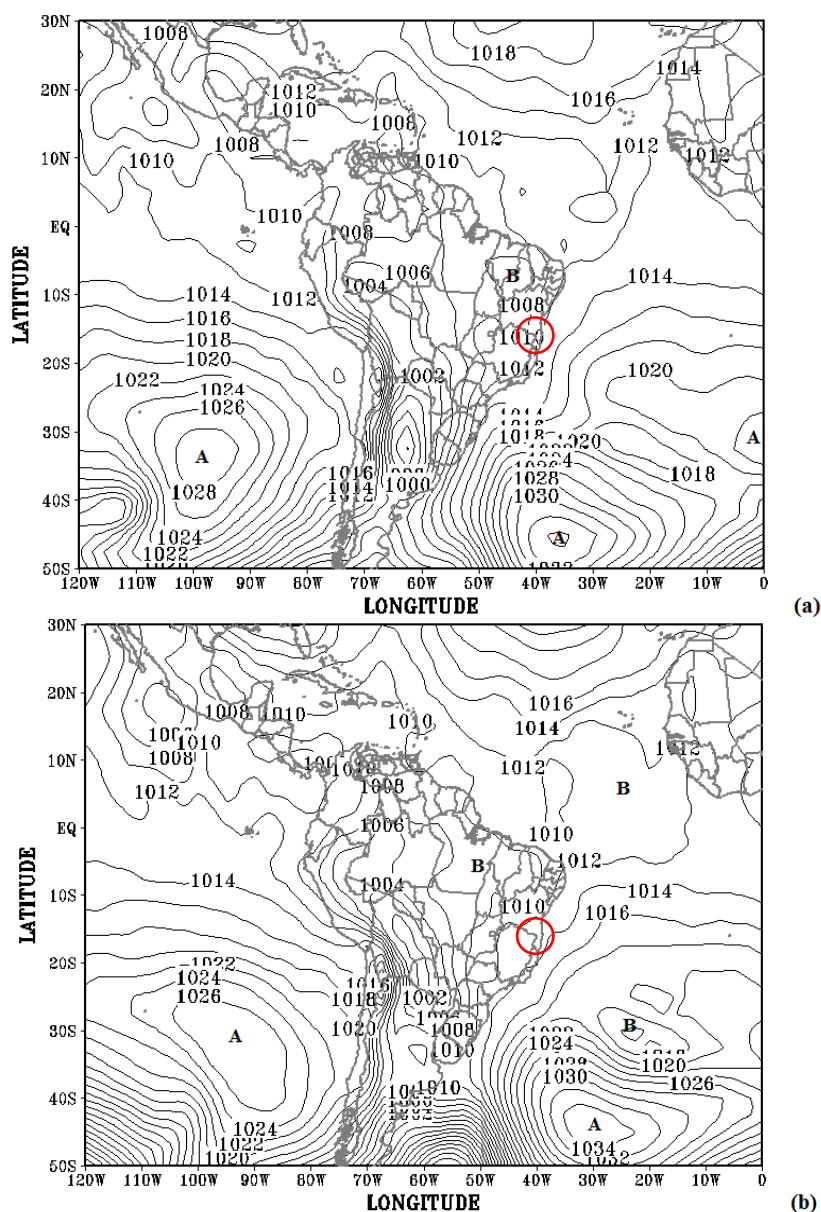
Figura 5.5 – Média diária da radiação de onda longa ($W m^{-2}$) nos dias (a) 13, (b) 14 e (c) 15 de outubro de 2006. O intervalo de análise é de $50 W m^{-2}$. A escala de tons de cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

A circulação atmosférica de grande escala ao nível médio do mar é representada para as 00 UTC dos dias 14 e 15 (Fig. 5.6). De maneira geral, é possível observar valores relativamente baixos, inferiores a 1012 hPa, sobre a porção tropical da América do Sul, inclusive o Brasil, nos dois horários (Fig. 5.6). Às 00 UTC do dia 15, quando começa a chuva intensa em Eunápolis (Figura 5.2b), a pressão está entre 1010 hPa e 1012 hPa na Região Nordeste, onde há aglomerados e núcleos convectivos (Fig. 5.3c, 5.4b). A baixa resultante da ciclogênese discutida anteriormente é vista com pressão central de 1014 hPa (30° S, 20° W).

Figura 5.6 – Pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) para as 00 UTC do dia (a) 14 e (b) 15 de outubro de 2006. Os centros de alta (baixa) pressão são indicados pela letra A (B). O intervalo de análise é de 2 hPa. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



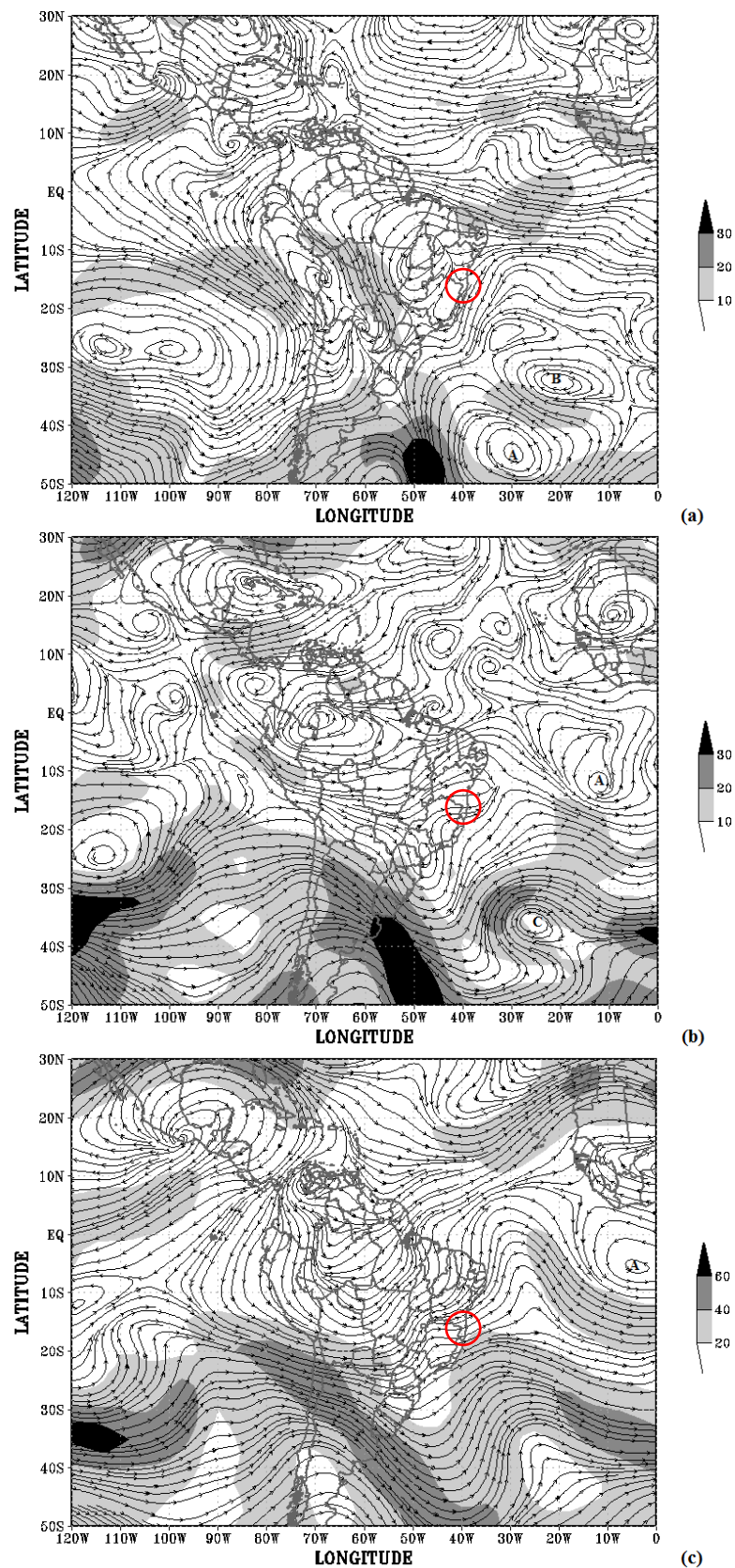
Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Os sistemas de circulação atmosférica às 00 UTC do dia 15 são visualizados a seguir, acima do nível médio do mar, em campos de linhas de corrente e velocidade do vento (Fig. 5.7). A magnitude dos sistemas é avaliada através da vorticidade relativa e da divergência horizontal. Na baixa troposfera, no nível de 850 hPa, há uma área de confluência bem definida sobre o Estado da Bahia (Fig. 5.7a), na extremidade de um cavado no escoamento de leste, associado à baixa pressão vista na Figura 5.6b. Nessa área de confluência há um centro de vorticidade ciclônica fraca, ao sul de Salvador (Fig. 5.8a), e um núcleo de convergência sobre todo o estado ($-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 5.9a). É possível identificar ainda no campo do vento o anticiclone (45° S , 30° W) e o ciclone (30° S , 20° W), associados aos centros de alta e baixa pressão situados sobre o Oceano Atlântico (Fig. 5.6b), com núcleos de vorticidade anticiclônica ($40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 5.8a) / divergência fraca (Fig. 5.9a) e vorticidade ciclônica ($-40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 5.8a) / convergência fraca (Fig. 5.9a), associados ao anticiclone e ciclone, respectivamente.

Na média troposfera, no nível de 500 hPa, um cavado de pequena amplitude domina a Região Nordeste e área oceânica adjacente (Fig. 5.7b), aproximadamente alinhado com o cavado de latitudes médias associado ao ciclone identificado em 850 hPa sobre o Oceano Atlântico (Fig. 5.7a). Um núcleo de vorticidade ciclônica ($-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) é visto sobre grande parte da Região Nordeste (Fig. 5.8b), e se prolonga sobre o Oceano Atlântico, onde há outro centro de vorticidade ciclônica, com grande intensidade ($-90 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$), associado ao cavado/ciclone de latitudes médias. Um núcleo de convergência ($-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) atua no leste do Estado da Bahia e área oceânica próxima (Fig. 5.9b).

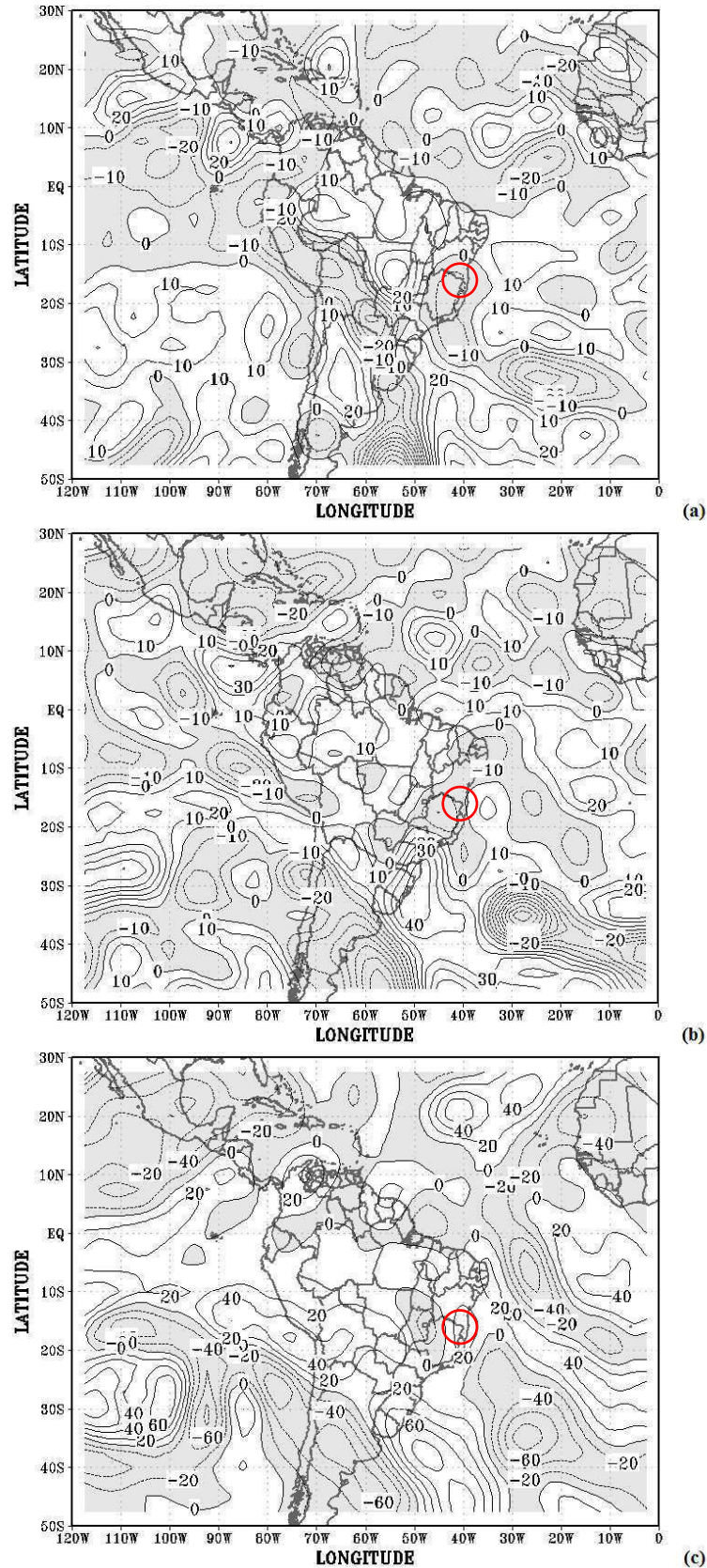
Na alta troposfera, no nível de 200 hPa (Fig. 5.7c), há um cavado de grande amplitude, com eixo em torno de 25° W , que se estende sobre a porção equatorial do Oceano Atlântico, com um forte núcleo de vorticidade ciclônica ($-60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 5.8c) e convergência fraca (Fig. 5.9c), ao sul do Equador. Por outro lado, circulação anticiclônica domina grande parte da porção tropical da América do Sul, com vorticidade anticiclônica ($20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 5.8c) / divergência ($10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 5.9c) no Estado da Bahia. Sobre o Oceano Atlântico, ao sul de 20° S e a leste de 40° W , domina o cavado de latitudes médias, com vorticidade ciclônica intensa ($-80 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 5.8c) e convergência ($-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) (Fig. 5.9c).

Figura 5.7 – Linhas de corrente e velocidade do vento (m s^{-1}) para as 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 nos níveis de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. A escala da magnitude do vento é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



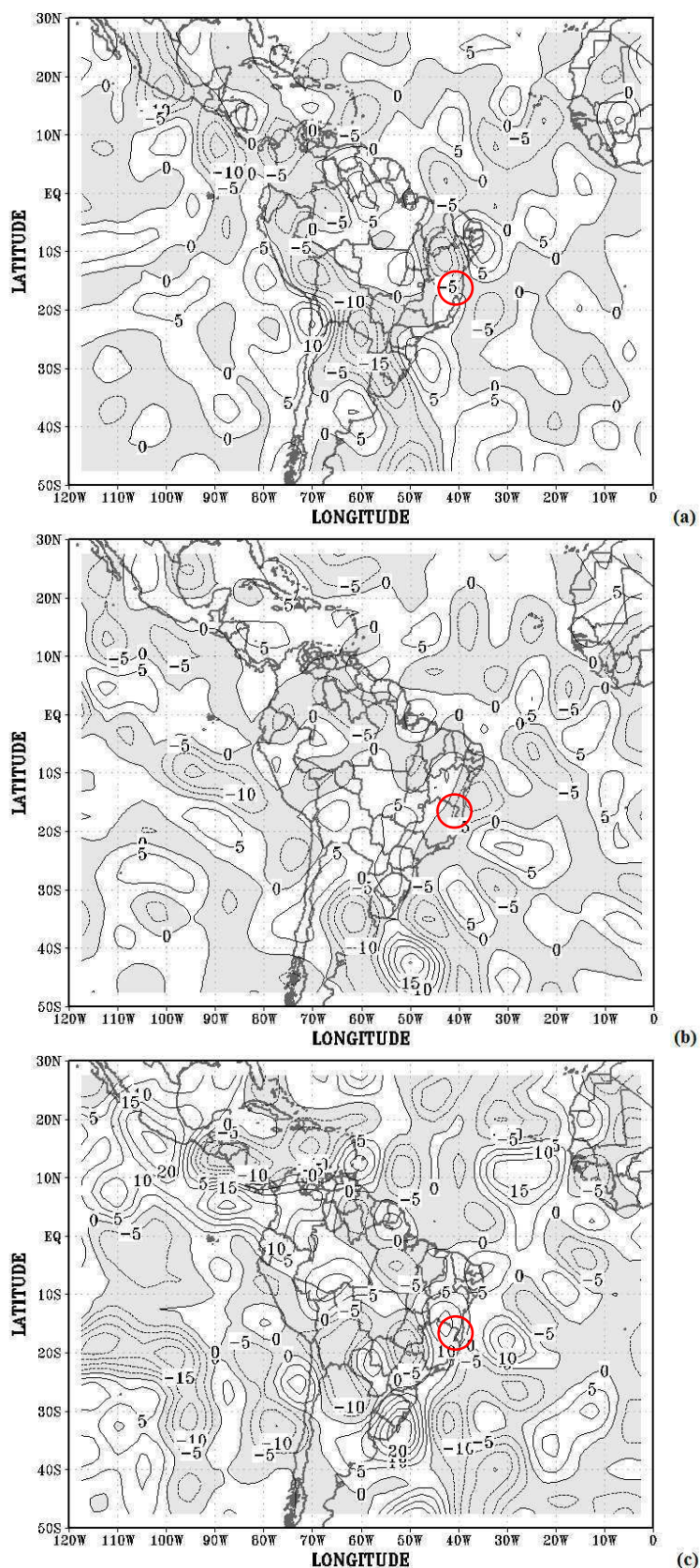
Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.8 – Vorticidade relativa às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ em (a,b) e de $20 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ em (c). O sombreado destaca as áreas negativas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.9 – Divergência horizontal às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. As áreas de convergência estão sombreadas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



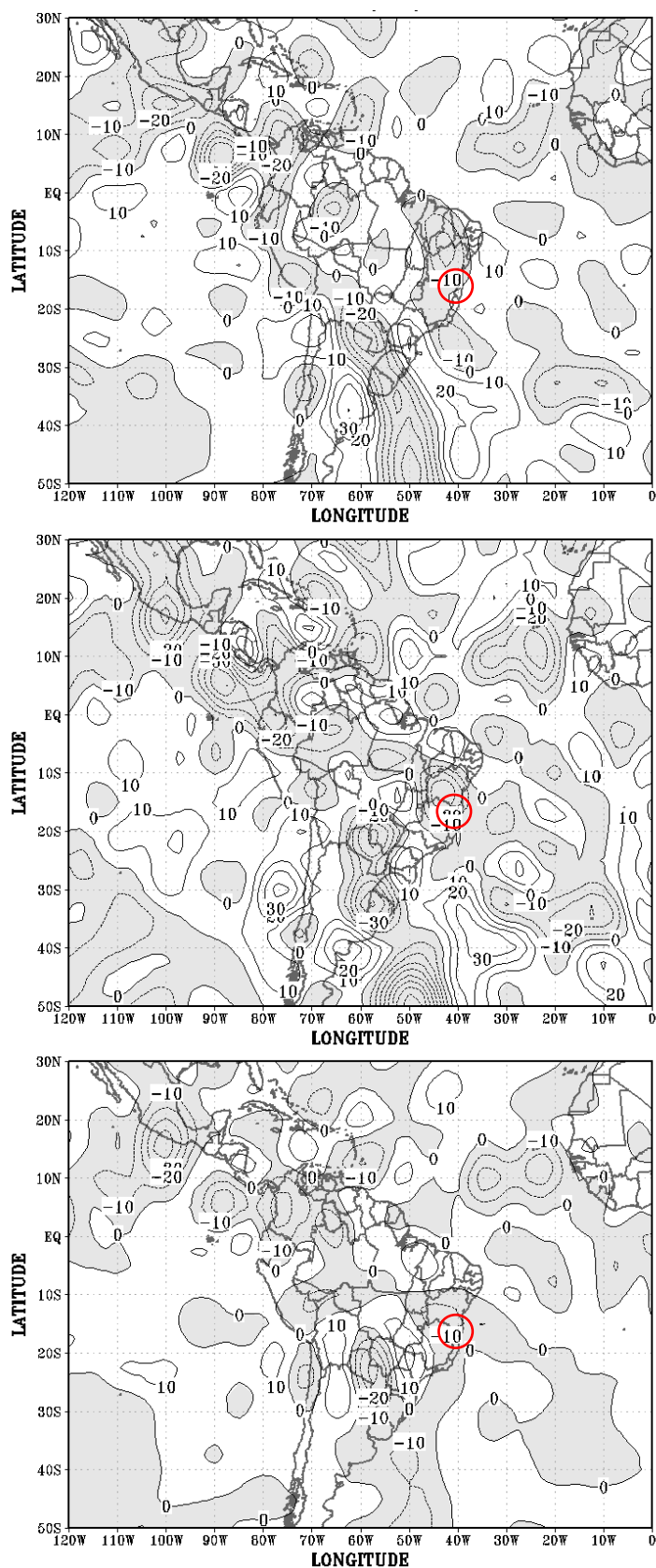
Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Outra variável analisada com o objetivo de diagnosticar as condições dinâmicas na área de estudo foi o movimento vertical (ω). No nível de 850 hPa (Fig. 5.10a), é evidente o núcleo de movimento ascendente sobre quase toda a Região Nordeste e Região Sudeste, e que se prolonga sobre o Oceano Atlântico, com a mesma magnitude ($-10 \times 10^{-2} \text{ hPa s}^{-1}$). Outro núcleo ascendente se estende no oeste e centro do continente atingindo maior intensidade ($-30 \times 10^{-2} \text{ hPa s}^{-1}$) sobre o Paraguai, Uruguai, Estado do Rio Grande do Sul e sudoeste do Oceano Atlântico Sul, áreas em que um ciclone e uma assíntota de confluência / cavado de latitudes médias são visualizados (Fig. 5.7a), associados a uma banda de nebulosidade frontal (Fig. 5.4b). Um núcleo descendente / ascendente pode ser visualizado sobre o Oceano Atlântico Sul associado ao ciclone / anticiclone visto na Figura 5.7a. Dois núcleos de movimento ascendente de menor extensão estão sobre o oeste da Amazônia e o norte do Mato Grosso-sudoeste do Pará. No horário anterior (18 UTC) núcleos ascendentes ($-20 \times 10^{-2} \text{ hPa s}^{-1}$) também são visualizados na área de estudo (não mostrado).

No nível de 500 hPa (Fig. 5.10b) a área de ascendência sobre a Região Norte está mais extensa, enquanto que sobre a Região Nordeste ela é menor, porém mais intensa no Estado da Bahia ($-30 \times 10^{-2} \text{ hPa s}^{-1}$). A área de ascendência que se estende do Paraguai ($-40 \times 10^{-2} \text{ hPa s}^{-1}$) ao sudoeste do Oceano Atlântico Sul ($-80 \times 10^{-2} \text{ hPa s}^{-1}$) é mais intensa neste nível. No nível de 200 hPa (Fig. 5.10c) os núcleos ascendentes são fracos, com exceção daquele centrado no Paraguai ($-30 \times 10^{-2} \text{ hPa s}^{-1}$). Além disso, as áreas de ascendência são menos extensas na Região Norte e Região Nordeste. A configuração nos três níveis analisados indica que o movimento vertical é ascendente ao longo de toda a troposfera sobre o Estado da Bahia, sendo menos intenso nos horários sinóticos posteriores (não mostrado).

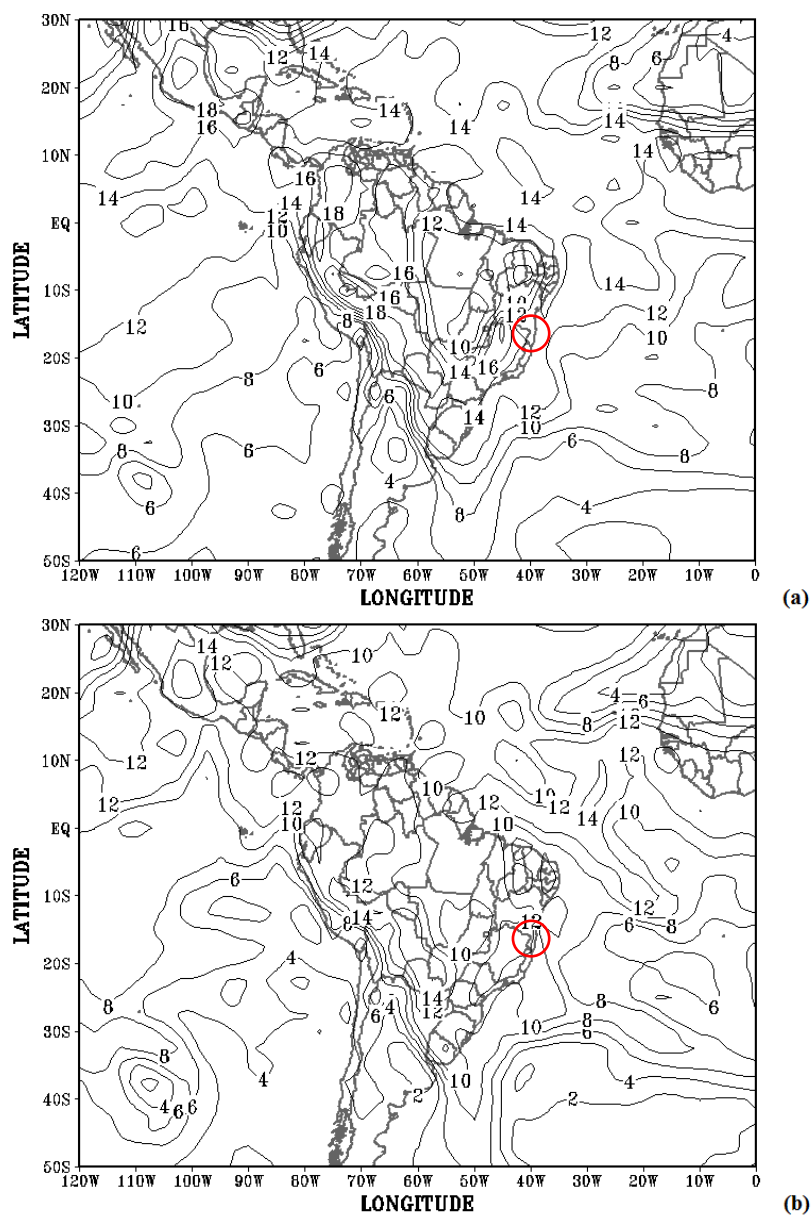
As condições termodinâmicas da atmosfera às 00 UTC do dia 15 foram investigadas através de campos da umidade específica (q) e da temperatura potencial equivalente (θ_e). Os altos valores de umidade específica (10 g kg^{-1} a 14 g kg^{-1}) em 925 hPa e 850 hPa (Fig. 5.11) evidenciam a disponibilidade de umidade na atmosfera, enquanto que a temperatura potencial equivalente (θ_e) apresenta valores elevados nos níveis de 850 hPa (330 a 360 K) e 500 hPa (335 a 345 K) (Fig. 5.12), indicando quantidade elevada de vapor d'água e condições para instabilidade potencial ou convectiva ($\partial\theta_e/\partial z < 0$). Esses fatores, aliados à presença de pressão baixa (Fig. 5.6b), podem ter contribuído para o desenvolvimento de convecção profunda organizada em mesoescala (aglomerados convectivos) sobre o planalto costeiro da Bahia (Fig. 5.3a-d, Fig. 5.4b). Em particular, é possível formular a hipótese de que a interação entre o transporte de umidade pelos ventos alísios e a topografia também favoreceu as chuvas de grande intensidade registradas em Teixeira de Freitas e Eunápolis (Fig. 5.2a,b).

Figura 5.10 – Movimento vertical às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de 10×10^{-2} hPa s^{-1} . Nas áreas sombreadas há ascendência. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



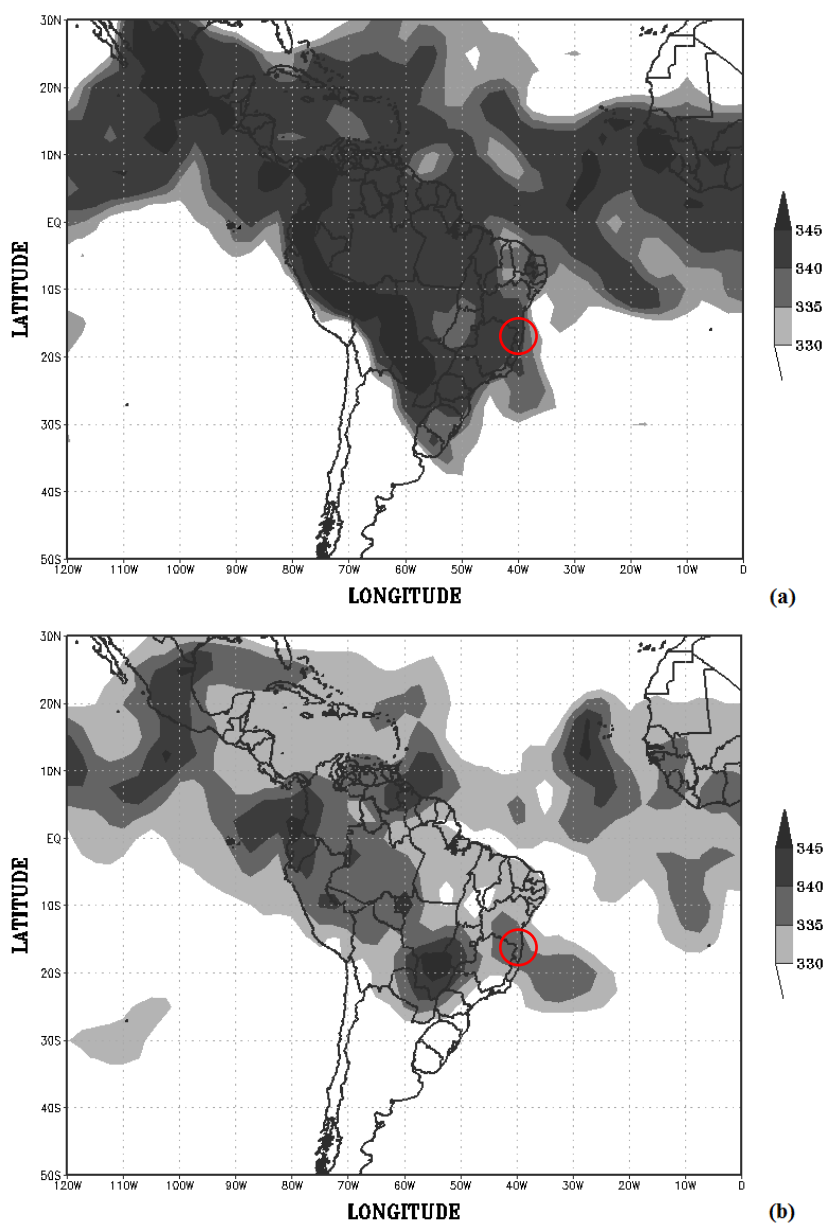
Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.11 – Umidade específica às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 925 hPa e (b) 850 hPa. O intervalo da análise é de 2 g kg^{-1} . A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.12 – Temperatura potencial equivalente (K) às 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa e (b) 500 hPa. O intervalo de análise é de 5 K. A escala de tons de cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

5.2 O CASO DE NOVEMBRO DE 2006

No dia 6 de novembro de 2006, um Sistema Frontal (SF) iniciou sua propagação pelo litoral e interior da Região Sul do Brasil (não mostrado). Essa frente avançou pelo litoral da Região Sudeste, e atingiu o litoral sul do Estado da Bahia no dia 9 (não mostrado), onde ficou estacionária e favoreceu um episódio da ZCAS entre os dias 10 e 14.

5.2.1 Variabilidade da Nebulosidade e Precipitação

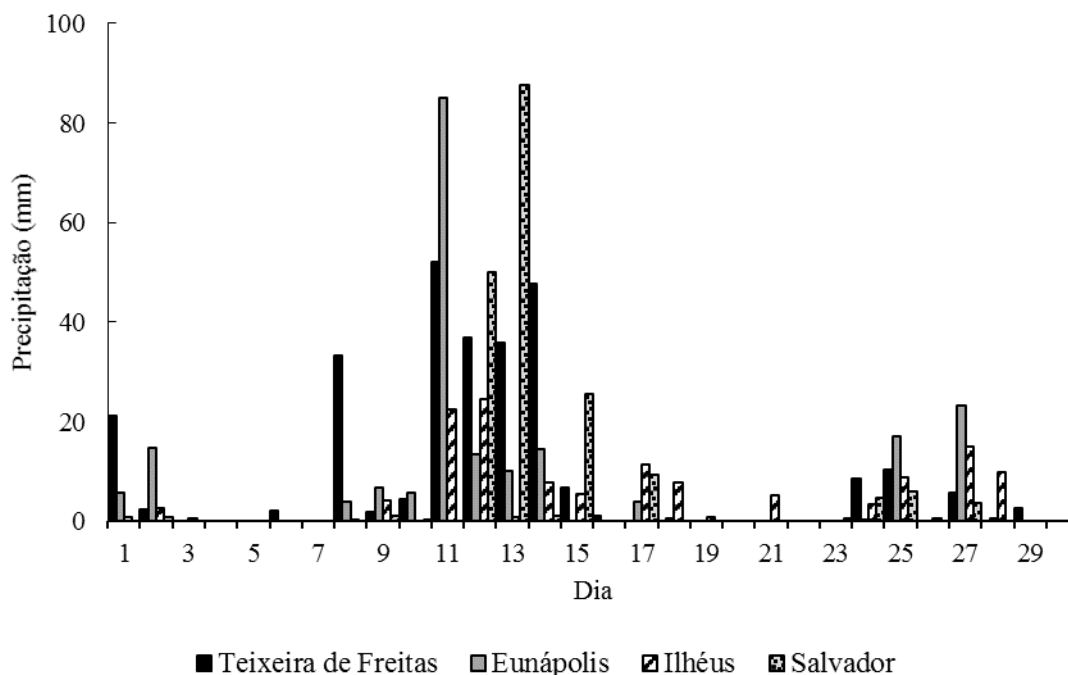
O evento intenso registrado nas localidades de Teixeira de Freitas e Eunápolis na noite do dia 10 e madrugada do dia 11 de novembro de 2006 é ilustrado na série temporal dos totais diários de chuva das quatro localidades (Fig. 5.13). Na Tabela 4.1 estão os totais pluviométricos diários observados no dia 11 em Teixeira de Freitas (52 mm) e Eunápolis (85 mm). Esses valores foram os mais elevados do mês nas duas localidades, sendo o único evento intenso do mês em Eunápolis e o primeiro de dois eventos em Teixeira de Freitas (Fig. 5.13); o segundo foi registrado no dia 14. O gráfico ilustra ainda dois eventos intensos em Salvador, nos dias 12 e 13 (Fig. 5.13).

No gráfico da precipitação acumulada horária na PCD de Teixeira de Freitas (Fig. 5.14a) a precipitação começa fraca às 19-20 UTC (16-17 HL) do dia 10, e se intensifica a partir das 23-24 UTC (20-21 HL), com precipitação máxima (18,25 mm) às 00-01 UTC (21-22 HL) (Tabela 4.1), e acumulado de 70 mm. As imagens realçadas da Região Nordeste das 23 UTC do dia 10 e 00 UTC (20 e 21 HL) do dia 11 ilustram a cobertura de nuvens antes do início da precipitação intensa, evidenciando núcleos convectivos profundos com topos frios entre -70°C e -60°C no sul do Estado da Bahia (Fig. 5.15a,b). A chuva se prolonga até as 08-09 UTC (05-06 HL) do dia 11, cujo total diário é de 52 mm, com acumulado de 96 mm.

Na cidade de Eunápolis a precipitação começa fraca na manhã do dia 10 (Fig. 5.14b), com 2 mm precipitados (33 mm de chuva acumulada) às 12-13 UTC (09-10 HL). No restante do período diurno e primeira metade do período noturno, não há registro de precipitação na PCD. A chuva recomeça às 00-01 UTC (21-22 HL), e se prolonga até as 06-07 UTC (03-04 HL) do dia 11, com 112 mm acumulados. No intervalo de 03-04 UTC (00-01 HL), a precipitação é intensa e totaliza 32,75 mm, o máximo horário do evento, com 78 mm de chuva acumulada. Na imagem realçada das 03 UTC (00 HL) (Fig. 5.15c) valores de temperatura representativos de convecção profunda são vistos no início do intervalo da chuva máxima (Fig. 5.14b). A precipitação se prolonga até as 09-10 UTC (06-07 HL), com 39 mm

precipitados no período de seis horas, total diário de 85 mm, e acumulado de 116 mm. A cobertura de nuvens a partir das 06 UTC evidencia a presença de topos menos frios, com temperaturas entre -50°C e -30°C (Fig. 5.15d-f).

Figura 5.13 – Totais diários de precipitação (mm) do mês de novembro de 2006 coletados na estação automática de coleta de dados (PCD) de Teixeira de Freitas, Eunápolis, Ilhéus e Salvador.



Fonte dos registros: INEMA

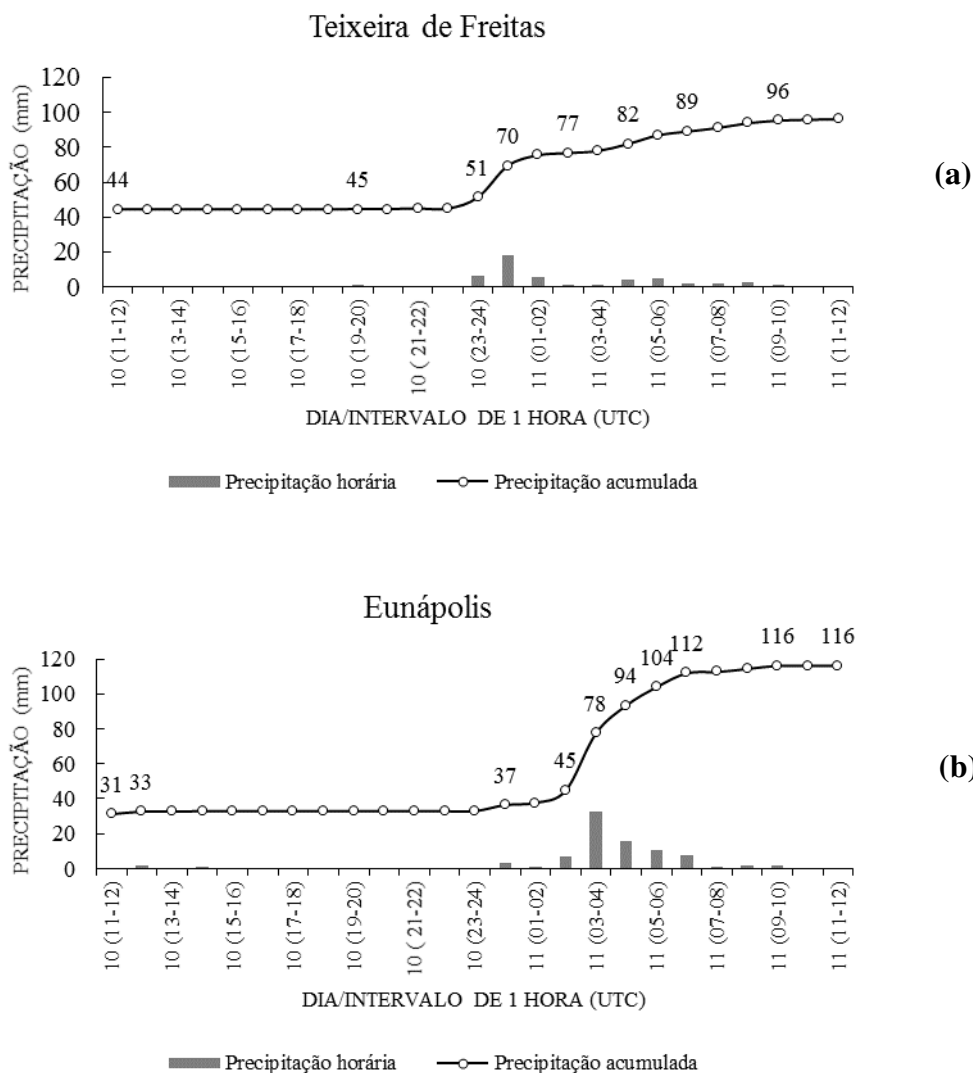
A cobertura de nuvens em grande escala é analisada através de uma sequência temporal de imagens do satélite meteorológico GOES 12 para a região da América do Sul. A sequência tem início às 21 UTC do dia 10 (Fig. 5.16a) e termina às 12 UTC do dia 11 (Fig. 5.16f), apresentando os horários múltiplos de três horas. As imagens ilustram diversas áreas de convecção profunda organizada em mesoescala (aglomerados convectivos) nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste. Elas estão inseridas na banda de nebulosidade da ZCAS que se prolonga sobre o Oceano Atlântico Sul. A nebulosidade associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) está evidente sobre o Oceano Atlântico no canto superior direito das imagens de satélite. Na área costeira do Estado da Bahia pode-se observar o desenvolvimento convectivo responsável pela precipitação horária e horária acumulada ilustrada nos gráficos da Figura 5.14.

Às 03 UTC (00 HL), horário inicial do intervalo de máximo registro pluviométrico

em Eunápolis (Fig. 5.14b), é possível observar aglomerados convectivos na área (Fig. 5.16c). Nas três imagens seguintes, a banda de nebulosidade com orientação noroeste-sudeste também está evidente, porém há menos convecção profunda no sul da Bahia (Fig. 5.16d-f).

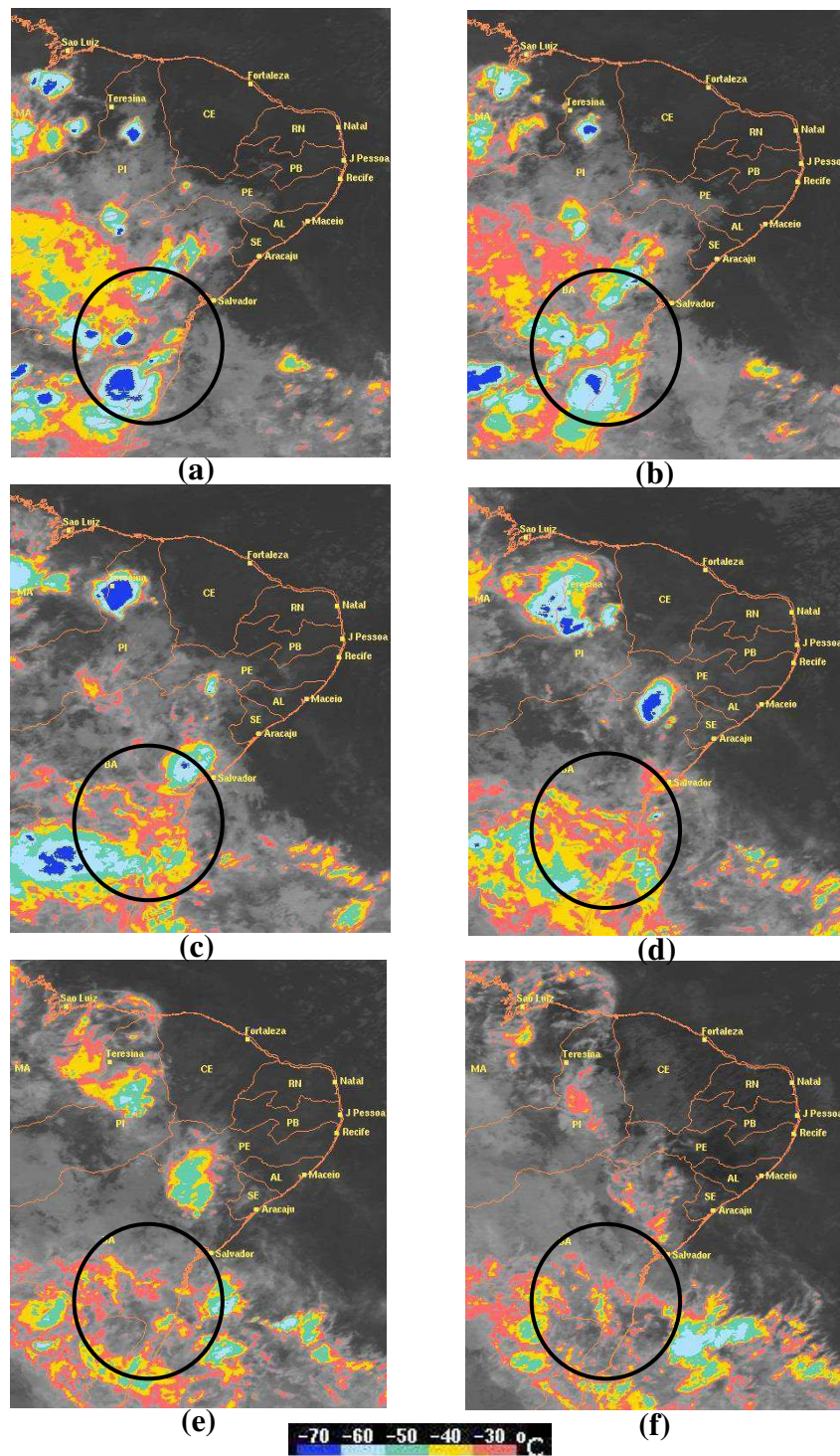
Nos dois dias seguintes, 12 e 13, a banda de nebulosidade com configuração noroeste-sudeste permanece estacionária sobre a América do Sul (não mostrado), e dois eventos intensos são registrados na cidade de Salvador, com total diário de 50,0 mm e 87,5 mm, respectivamente (Fig. 5.13). No dia 14 ocorre o segundo evento intenso da cidade de Teixeira de Freitas, totalizando 47,75 mm em 24 horas (Fig. 5.13).

Figura 5.14 – Precipitação horária e horária acumulada (mm) coletada no período de 11-12 UTC do dia 10 às 11-12 UTC do dia 11 de novembro de 2006 na estação automática de coleta de dados (PCD) de: (a) Teixeira de Freitas e (b) Eunápolis. Observe que hora UTC = hora local + 3 horas.



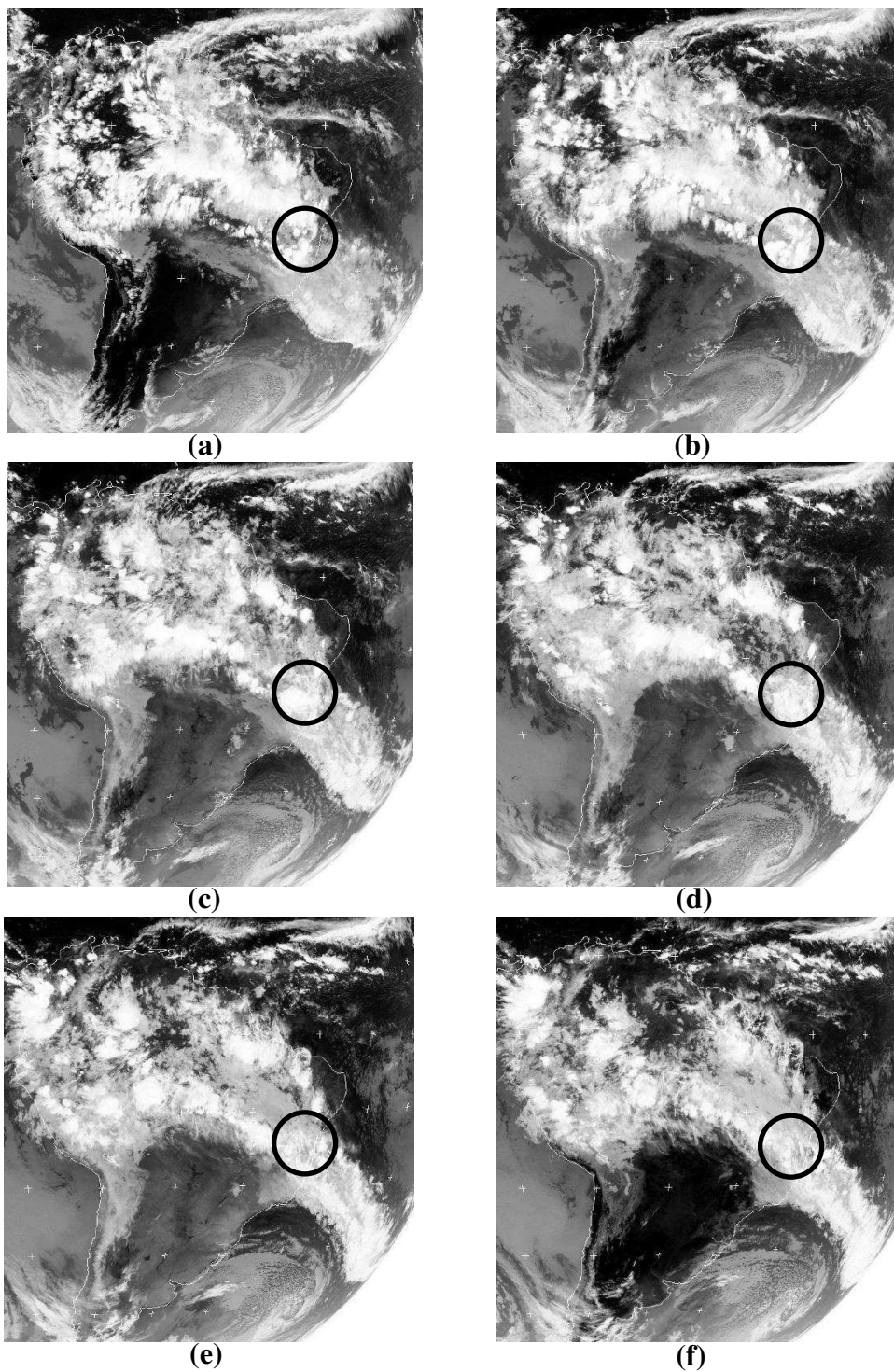
Fonte dos registros: INEMA

Figura 5.15 – Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 12 da Região Nordeste e adjacências para o dia 10 às (a) 23 UTC, e dia 11 de novembro de 2006 às: (b) 00 UTC, (c) 03 UTC, (d) 06 UTC, (e) 09 UTC, (f) 12 UTC. A escala de cores da temperatura de brilho é vista na parte inferior da figura. A capital de cada estado está indicada nas imagens. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador.



Fonte das imagens: Adaptado de http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes_antiores.jsp

Figura 5.16 – Imagem do satélite meteorológico GOES 12 na banda espectral do infravermelho térmico para o dia 10 às (a) 21 UTC, e para o dia 11 de novembro de 2006 às: (b) 00 UTC, (c) 03 UTC, (d) 06 UTC, (e) 09 UTC, (f) 12 UTC. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador.



Fonte das imagens: Adaptado de <http://www.sat.dundee.ac.uk>

5.2.2 Características do Ambiente Sinótico

A configuração noroeste-sudeste da nebulosidade sobre a América do Sul nos dias 09, 10 e 11 de novembro de 2006 é representada por campos da média diária da radiação de onda longa (ROL) (Fig. 5.17); valores inferiores a 200 W m^{-2} estão associados com convecção profunda. O desenvolvimento de aglomerados convectivos na área da ZCAS ocasionou totais diários de chuva elevados em áreas do Estado da Bahia; chuva intensa foi registrada nos municípios de Teixeira de Freitas e Eunápolis no dia 11 de novembro.

No dia 09, o Sistema Frontal (SF) que avançou sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil ficou estacionário no sul do Estado da Bahia. Nesse dia valores de ROL entre 200 W m^{-2} e 250 W m^{-2} cobrem grande parte do território brasileiro (Fig. 5.17a). A interação com outros sistemas de escala sinótica favoreceu o desenvolvimento de uma banda de nebulosidade com configuração noroeste-sudeste estacionária nos dias seguintes.

No dia 10, uma área com valores de radiação de onda longa entre 150 W m^{-2} e 250 W m^{-2} está configurada na direção noroeste-sudeste sobre o norte da América do Sul, incluindo quase todo o território brasileiro, e a área subtropical do Oceano Atlântico Sul (Fig. 5.17b), associada ao episódio da ZCAS visualizado em imagem de satélite (Fig. 5.16a). Na área costeira do Estado da Bahia os valores de ROL estão entre 200 W m^{-2} e 250 W m^{-2} .

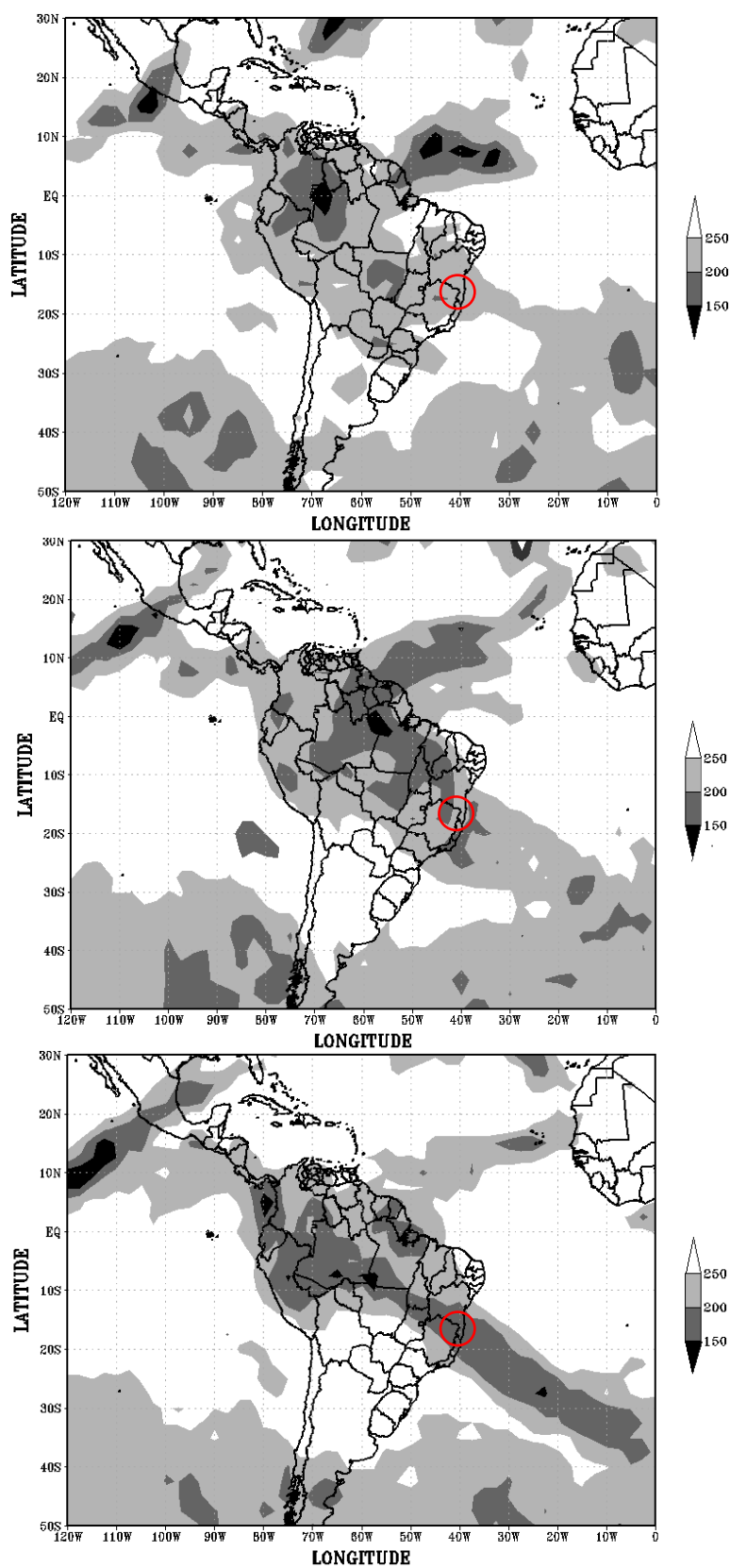
No dia 11, a nebulosidade com configuração noroeste-sudeste que se estende desde a Amazônia até o Oceano Atlântico Sul, típica de um episódio de ZCAS, está mais intensa (Fig. 5.16b-f), o que é indicado pela banda contínua e mais extensa com valores de ROL entre 150 W m^{-2} e 200 W m^{-2} (Fig. 5.17c), visualizada na mesma área.

A circulação atmosférica de grande escala que favoreceu os eventos de precipitação intensa foi diagnosticada através dos campos da pressão reduzida ao nível médio do mar às 00 UTC do dia 10 (Fig. 5.18a) e 11 (Fig. 5.18b) de novembro de 2006. Os valores relativamente baixos de pressão na faixa equatorial indicam a presença do cavado equatorial, área de atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) cuja cobertura de nuvens é visualizada nas imagens de satélite (Fig. 5.16). A banda de nebulosidade vista sobre o Atlântico Sul na Figura 5.16b está associada a um centro de baixa pressão extratropical (Fig. 5.18b) que se estende sobre o oceano, com configuração noroeste-sudeste, até próximo de 20°S . Um cavado invertido é visualizado ao norte, sobre o oceano, a leste da Região Nordeste (20°S , 35°W) (Fig. 5.18b). Ele é visto com menor amplitude na Figura 5.18a, indicando que sua formação deve estar relacionada com a chegada do Sistema Frontal ao sul da Bahia no dia 9 de novembro (não mostrado). À oeste da baixa extratropical, o centro de alta pressão domina a

Argentina.

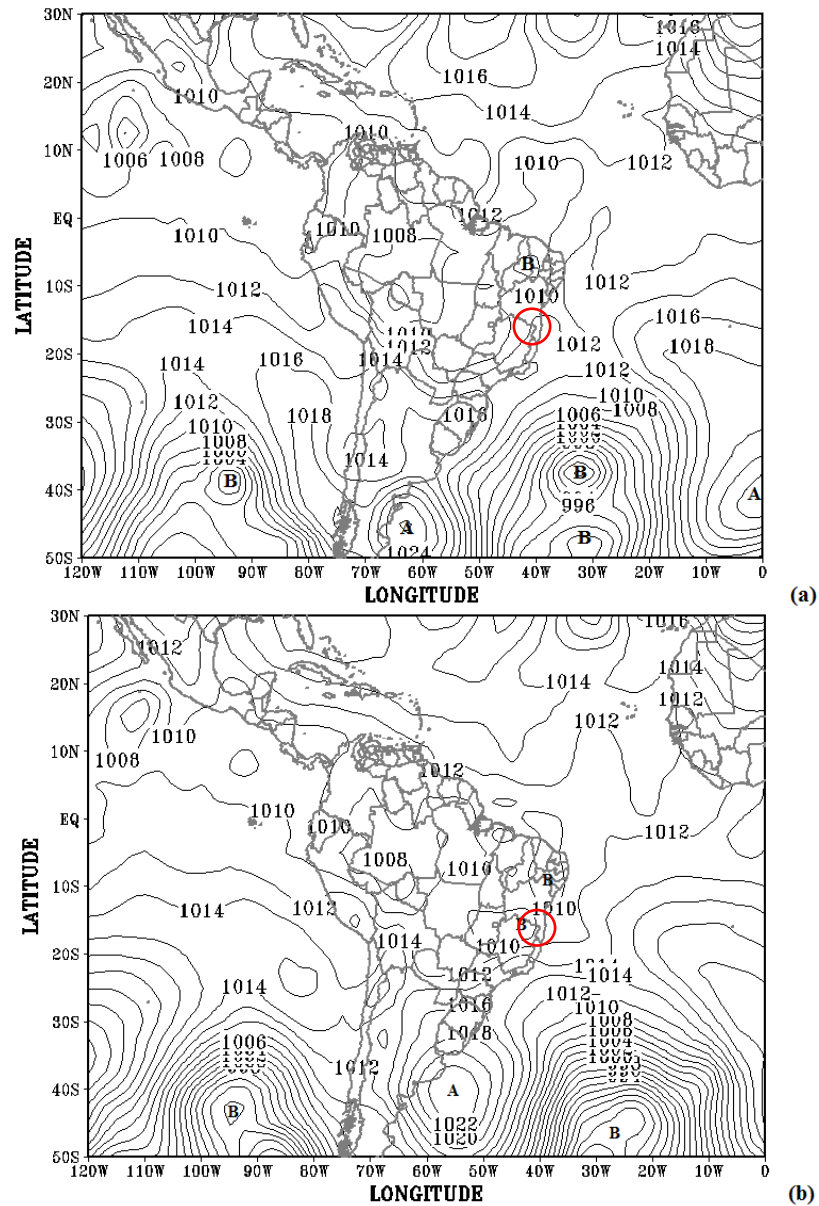
Os mapas de superfície ilustram ainda que a pressão é baixa em toda a América do Sul, ao norte de 25°S (Fig. 5.18a,b). Em linhas gerais, é possível observar vários centros de baixa pressão sobre a região centro-norte da América do Sul, onde áreas de instabilidade podem ser visualizadas nas imagens de satélite (Fig. 5.16). Uma dessemelhança importante entre os dois mapas é vista às 00 UTC do dia 11 (Fig. 5.18b): a presença de um centro de baixa pressão que abrange os estados de Goiás e Minas Gerais, e o centro-sul da Bahia, onde núcleos de convecção profunda organizados em mesoescala podem ser visualizados (Fig. 5.16b, 5.15b).

Figura 5.17 – Média diária da radiação de onda longa ($W m^{-2}$) nos dias (a) 9, (b) 10 e (c) 11 de novembro de 2006. O intervalo de análise é de $50 W m^{-2}$. A escala de tons de cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.18 – Pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) para as 00 UTC do dia (a) 10 e (b) 11 de novembro de 2006. Os centros de alta (baixa) pressão são indicados pela letra A (B). O intervalo de análise é de 2 hPa. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

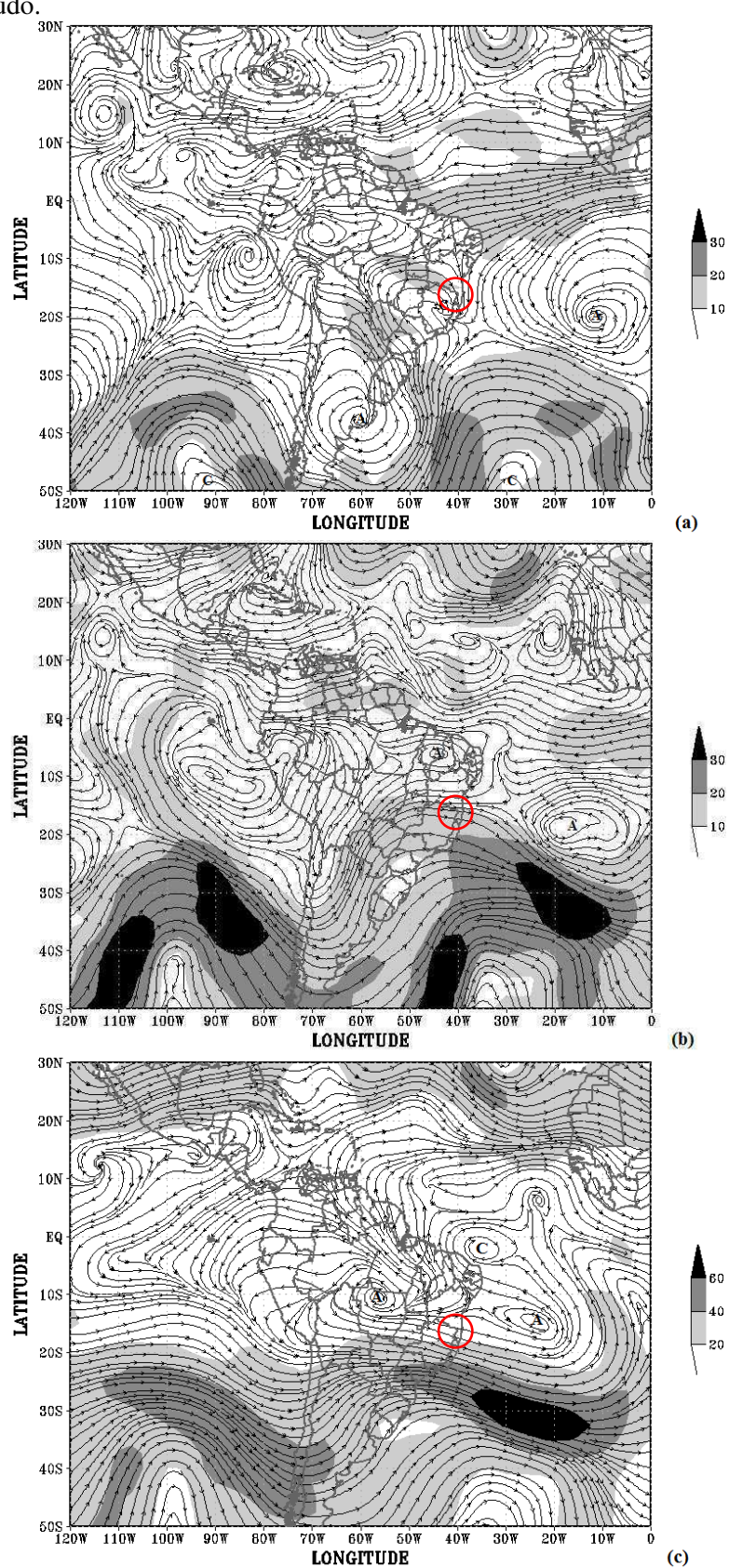
A seguir, os sistemas de circulação atmosférica também são discutidos, para as 00 UTC do dia 11, através do campo do vento e variáveis derivadas em níveis isobáricos representativos da baixa, média e alta troposfera. De maneira geral, os padrões de circulação encontrados também são vistos nos três dias subsequentes (não mostrado).

Na baixa troposfera, no nível de 850 hPa, há uma área de confluência bem definida centrada no leste da região de fronteira entre os estados de Minas Gerais e Bahia (Fig. 5.19a), associada ao centro de baixa pressão mencionado anteriormente (Fig. 5.18b). Nessa área há núcleos intensos de vorticidade ciclônica (Fig. 5.20a) / convergência (Fig. 5.21a). A oeste, na área de fronteira do Brasil, há uma área de difluência (Fig. 5.19a) evidenciada pela ausência de nuvens (Fig. 5.16b) e núcleos de vorticidade anticiclônica (Fig. 5.20a) / divergência (Fig. 5.21a). O cavado invertido, visualizado sobre o Oceano Atlântico na Figura 5.18b, é identificado neste nível pela confluência em (20° S, 35° W) e pelos valores negativos de vorticidade relativa (Fig. 5.20a) / divergência horizontal (Fig. 5.21a). Outra área em que é evidente a presença de vorticidade ciclônica / convergência é a da ZCIT, situada ao norte-leste da região.

No nível de 500 hPa, o cavado de latitudes médias associado à baixa extratropical (Fig. 5.18b) é visto a leste da Cordilheira dos Andes (Fig. 5.19b), sobre o centro-leste do continente e área oceânica, numa configuração típica de um episódio da ZCAS. Fortes centros de vorticidade ciclônica ($-80 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$) são vistos na área desse cavado (Fig. 5.20b). No Estado da Bahia a circulação é anticiclônica e há vorticidade anticiclônica (Fig. 5.20b) / convergência (Fig. 5.21b) fracas.

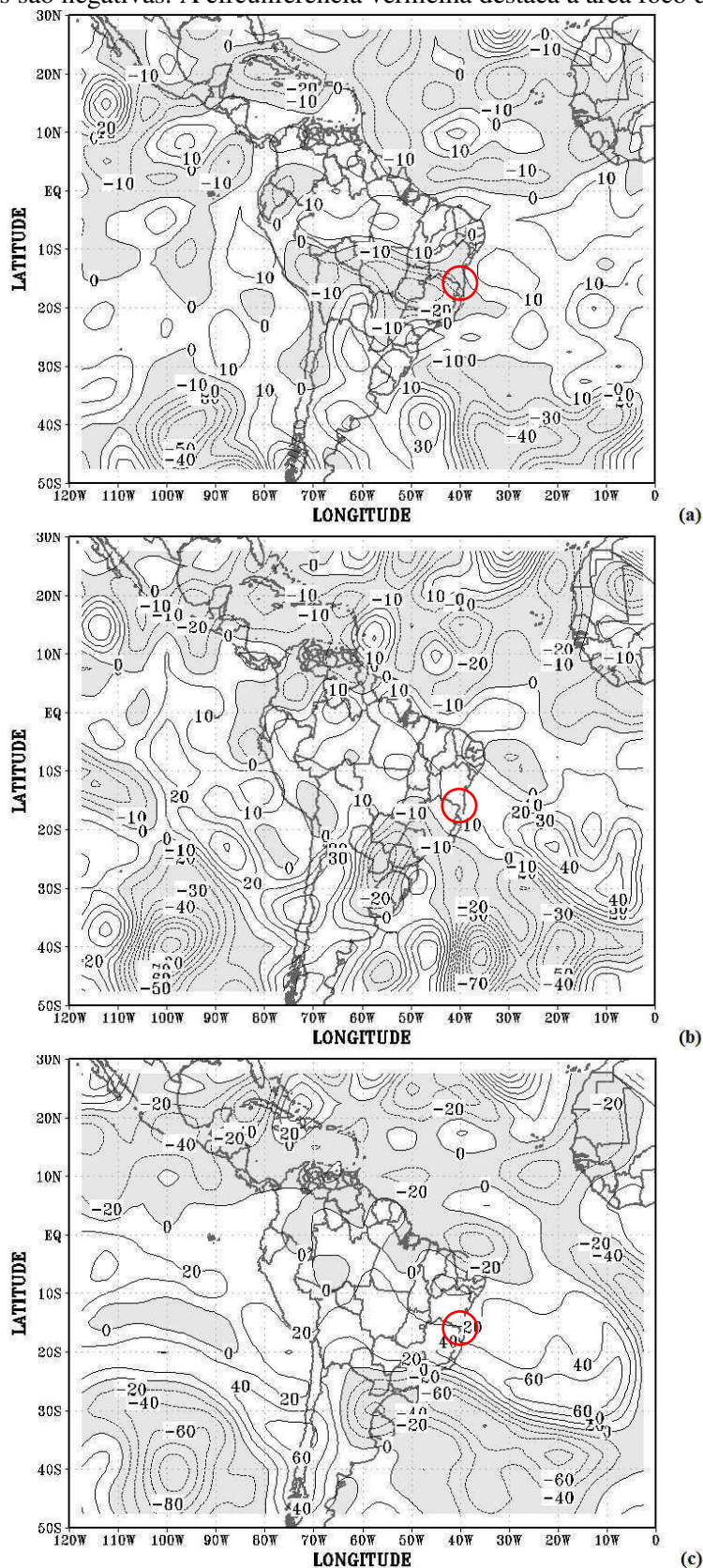
No nível de 200 hPa, o anticiclone (alta) da Bolívia, centrado em torno de (10°S, 55°W), a leste da posição climatológica (Fig. 5.19c), é evidente numa área de circulação anticiclônica que se estende até o Oceano Atlântico, onde vorticidade anticiclônica (Fig. 5.20c) e divergência horizontal (Fig. 5.21c) são encontradas. Ao sul de 20°S, o cavado de latitudes médias e os núcleos de vorticidade ciclônica ($-60 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$) e convergência ($-15 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$) associados podem ser visualizados. Ao norte do NEB, há um Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) centrado em (2° S, 35° W), na mesma área em que são vistos núcleos negativos de vorticidade relativa ($-40 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$) (Fig. 5.20c), e divergência ($-5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$) (Fig. 5.21c).

Figura 5.19 – Linhas de corrente e velocidade do vento (m s^{-1}) para as 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. A escala da magnitude do vento é vista à direita dos mapas. Observe que a escala em (c) difere das demais. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



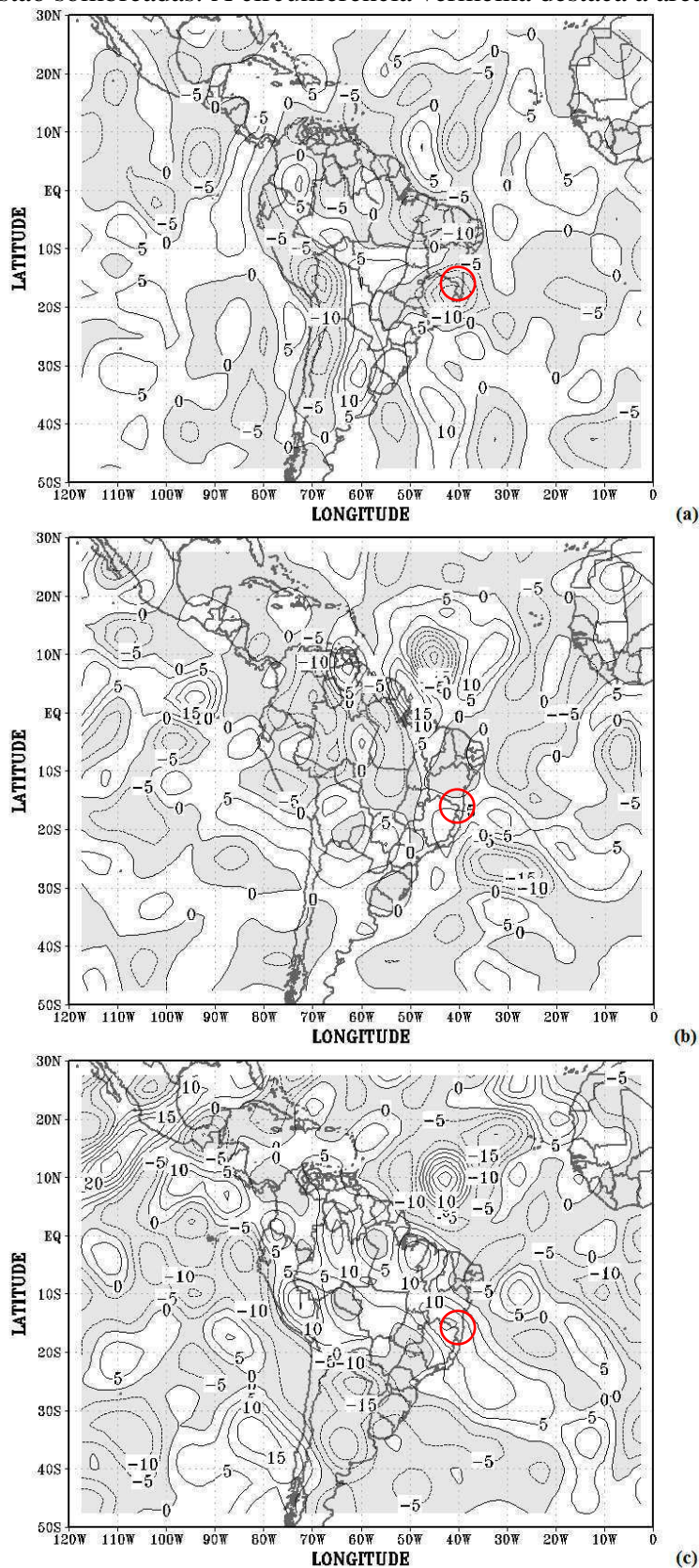
Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.20 – Vorticidade relativa às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é $10 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ em (a,b) e $20 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ em (c). As áreas sombreadas são negativas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

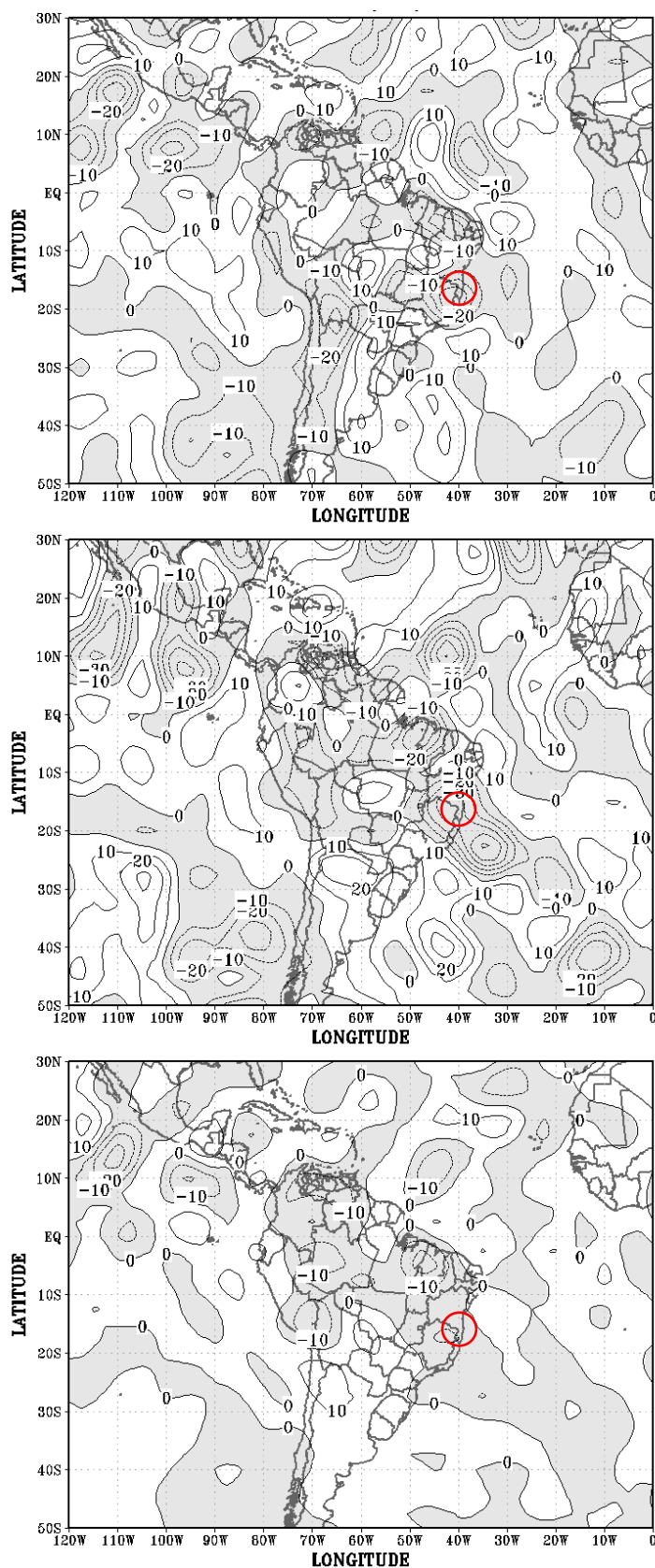
Figura 5.21 – Divergência horizontal às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$. As áreas de convergência estão sombreadas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

De maneira geral, o campo do movimento vertical às 00 UTC, horário que antecede o período de chuva intensa em Teixeira de Freitas e Eunápolis, evidencia núcleos mais intensos na área tropical, na baixa e média troposfera. No nível de 850 hPa (Fig. 5.22a), há movimento vertical ascendente ($\omega < 0$) na maior parte da América do Sul, ao norte de 20°S, com valores em torno de -10×10^{-2} hPa s^{-1} em grande parte do Estado da Bahia, e de -20×10^{-2} hPa s^{-1} nos estados de Goiás, Minas Gerais, e ao sul de Salvador e área oceânica próxima. No nível de 500 hPa (Fig. 5.22b) a configuração é semelhante, porém os movimentos ascendentes são mais intensos, atingindo -40×10^{-2} hPa s^{-1} na última área citada. No nível de 200 hPa (Fig. 5.22c) os movimentos ascendentes são fracos. Os três níveis analisados indicam que o movimento vertical é ascendente em toda a coluna atmosférica na área da ZCAS (Fig. 5.16b, Fig. 5.17c). No horário das 06 UTC, posterior aos eventos, os movimentos verticais ascendentes são, em geral, menos fortes (não mostrado), porém permanece a intensa atividade convectiva na área foco do estudo (Fig. 5.16d). Esses resultados se assemelham àqueles ilustrados por Santos *et al.* (2012), cuja configuração atmosférica indicava valores elevados para núcleos de movimento ascendente ($\omega < 0$) no campo de movimento vertical e forte precipitação na cidade de Salvador – BA, em um episódio de Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL), em junho de 2006.

Figura 5.22 – Movimento vertical às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de 10×10^{-2} hPa s^{-1} . Nas áreas sombreadas há ascendência. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.

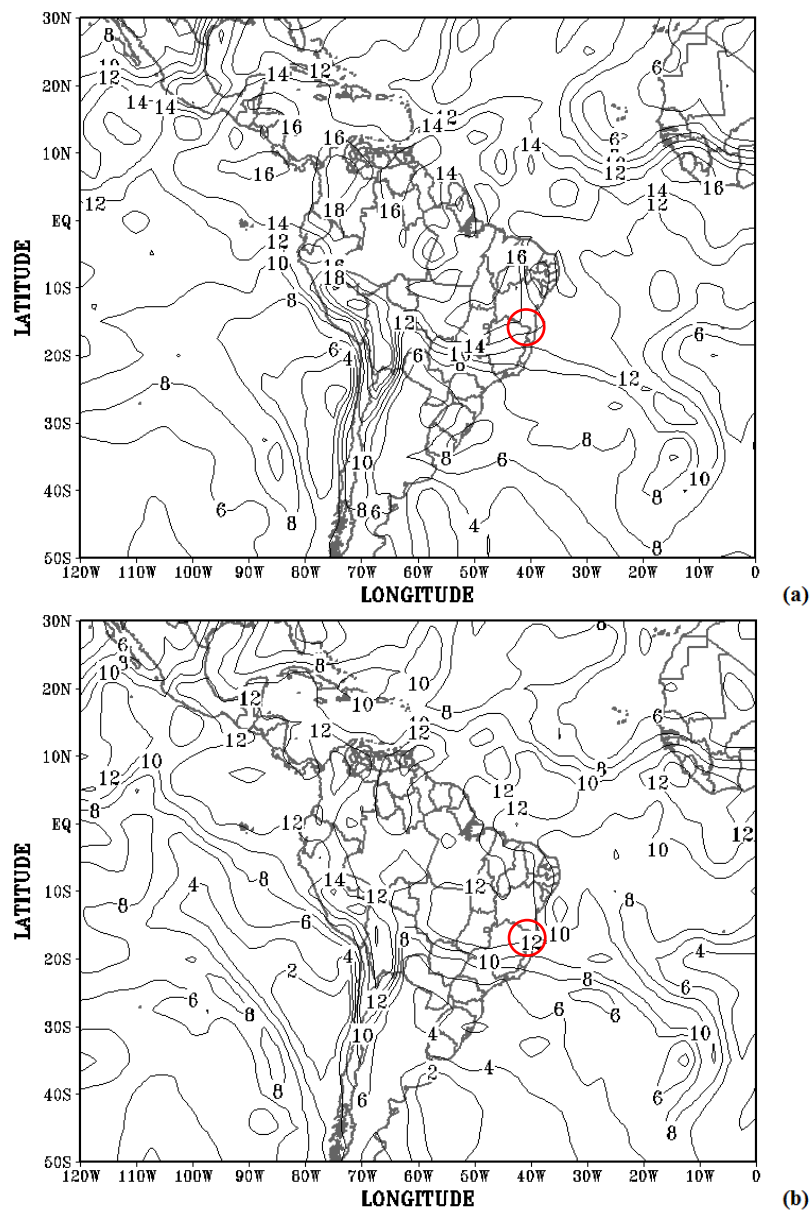


Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

A extensa banda de nebulosidade com configuração noroeste-sudeste sobre a porção tropical da América do Sul às 00 UTC do dia 11, associada ao episódio de ZCAS, indica intensa atividade convectiva (Fig. 5.16b) e teor de umidade elevado na atmosfera, uma característica que pode ser associada aos campos da umidade específica nos níveis isobáricos de 925 hPa e 850 hPa (Fig. 5.23). É possível observar valores altos nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, onde a umidade específica varia entre 14 g kg^{-1} e 16 g kg^{-1} no nível de 925 hPa (Fig. 5.23a), e entre 10 g kg^{-1} e 12 g kg^{-1} no nível de 850 hPa (Fig. 5.23b). Tais valores são comparáveis àqueles ilustrados na Figura 7 de Silva Aragão *et al.* (2007) e Figura 5.10 de Sousa (2015), cuja configuração também indicava forte gradiente horizontal de umidade específica na Região Sudeste, uma característica que os autores puderam associar a um episódio de ZCAS e SCM, respectivamente. Outro aspecto importante evidente no nível de 925 hPa são estruturas características do sistema frontal que deu origem ao episódio de ZCAS, como o núcleo em forma de cunha com baixo teor de umidade (8 g kg^{-1}) centrado em (35°S , 15°W), e a área de forte gradiente horizontal de umidade específica vista sobre a Região Sudeste e o sul da Região Centro-Oeste (Fig. 5.23a).

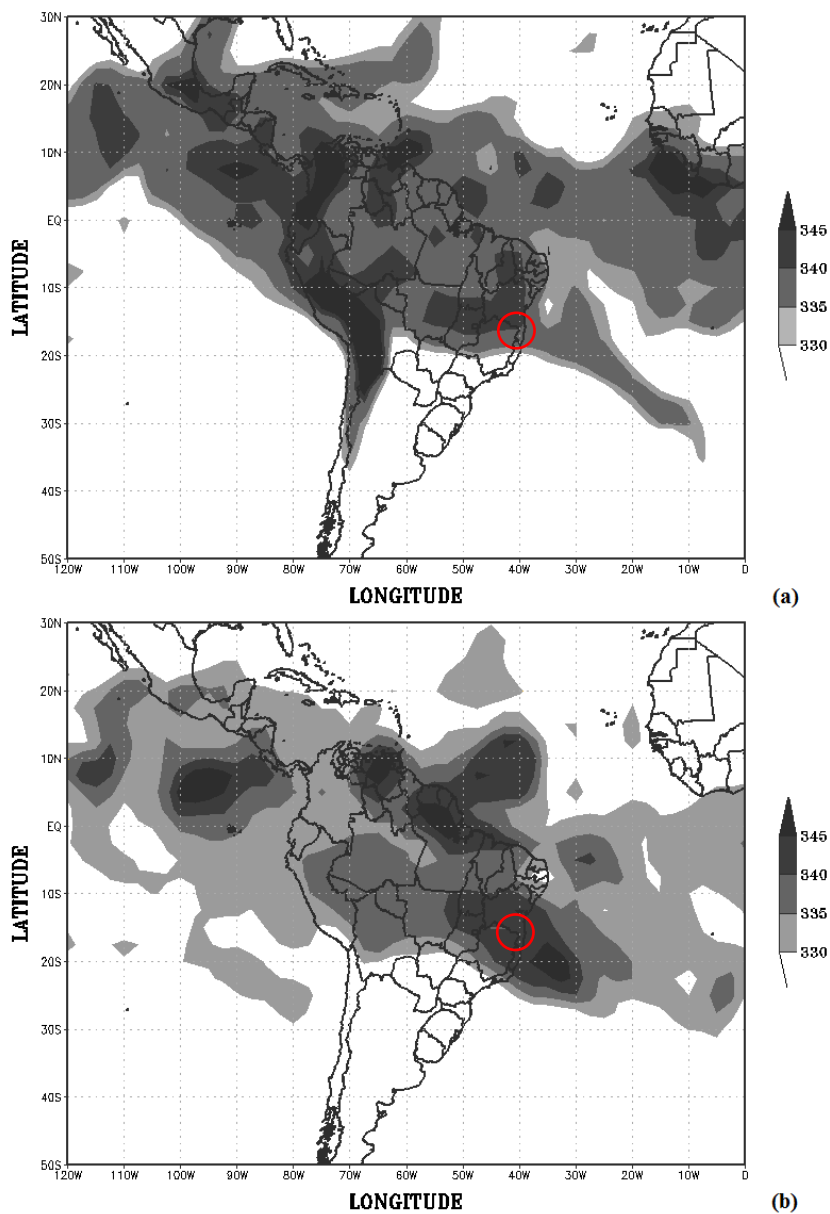
Um dos critérios de identificação de episódios de ZCAS do Grupo de Previsão do Tempo do CPTEC é a existência no nível de 850 hPa de uma área com um gradiente de temperatura potencial equivalente (θ_e) significativo, que se estende do Oceano Atlântico ao interior do continente. Essa característica é encontrada em episódios da ZCAS (verão) em que há persistência da nebulosidade e precipitação abundante. Os valores acima de 330 K da temperatura potencial equivalente (θ_e) nos níveis de 850 hPa e 500 hPa (Fig. 5.24) evidenciam que o conteúdo de umidade é maior na área da ZCAS, e menor ao sul dela. Esses resultados são semelhantes àqueles obtidos por Scheuer (2017) sobre as características em escala sinótica da interação de Sistemas Frontais (SF) em episódios de ZCAS. Os valores elevados, entre 335 e 345 K no nível de 850 hPa (Fig. 5.24a), e entre 340 e 345 K no nível de 500 hPa (Fig. 5.24b), indicam condições para instabilidade potencial ou convectiva ($\partial\theta_e/\partial z < 0$) e quantidade elevada de vapor d'água na atmosfera.

Figura 5.23 – Umidade específica às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 925 hPa e (b) 850 hPa. O intervalo da análise é de 2g kg^{-1} . A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.24 – Temperatura potencial equivalente às 00 UTC do dia 11 de novembro de 2006 no nível de: (a) 850 hPa e (b) 500 hPa. O intervalo de análise é de 5 K. As áreas em tons de cinza correspondem aos maiores valores de Theta-e. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

5.3 O CASO DE ABRIL DE 2007

No dia 07 de abril de 2007, um Sistema Frontal (SF) formado por uma ciclogênese sobre a região Sul do Brasil, atingiu o litoral das regiões Sudeste e Nordeste no dia 10 (não mostrado). No dia 11, esse sistema favoreceu a ocorrência de evento intenso de precipitação em duas cidades da área costeira sul do Estado da Bahia, Eunápolis e Ilhéus.

5.3.1 Variabilidade da Nebulosidade e Precipitação

A série temporal da precipitação registrada nas quatro localidades evidencia totais diários mais elevados entre os dias 11 e 19 (Fig. 5.25), com valores representativos de eventos intensos em Eunápolis (74,5 mm) e Ilhéus (65,5 mm), no dia 11, valores constantes da Tabela 4.1 conforme obtidos de Medeiros (2017). O gráfico também ilustra a ocorrência de chuva em quase todos os dias do mês em, pelo menos, uma das PCDs.

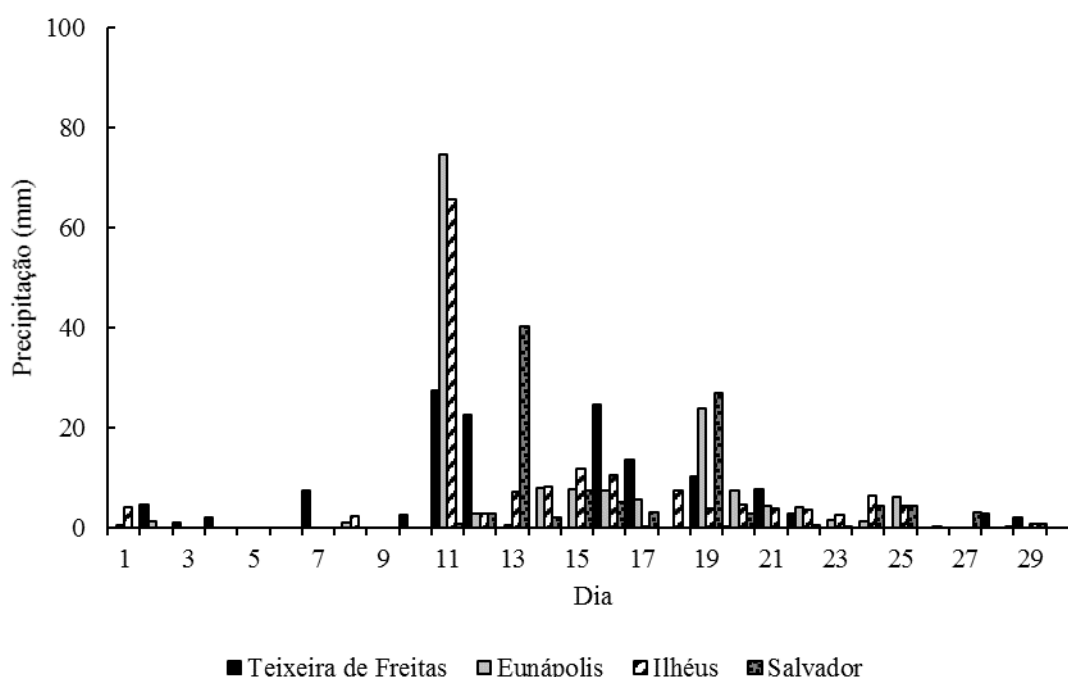
A série temporal da precipitação horária e horária acumulada registrada pela estação automática da cidade de Eunápolis (Fig. 5.26a) evidencia que a precipitação começa na tarde do dia 10 de abril, no intervalo de 17-18 UTC (14-15 HL), com 9 mm precipitados. A imagem realçada das 18 UTC (Fig. 5.27b) ilustra núcleos convectivos com topos frios de -60° C a -40° C na área do planalto costeiro. Às 01-02 UTC (22-23 HL), a chuva recomeça e é intensa nas duas horas seguintes, quando ocorre o máximo horário (21,50 mm), no intervalo de 03-04 UTC (00-01 HL) do dia 11. A imagem realçada de 00 UTC (Fig. 5.27c) e 03 UTC (Fig. 5.27d), horário anterior e central do período de chuva intensa, respectivamente, apresentam topos frios de até -60° C. Após esse horário, quando o total acumulado é de 59,50 mm, a chuva totaliza 15 mm em oito horas, resultando no total diário de 74,50 mm (Tabela 4.1). As imagens de 06 UTC e 12 UTC (Fig. 5.27e,f) ilustram a ausência de atividade convectiva profunda na área do planalto costeiro. A Figura 5.27b ilustra os núcleos convectivos com topos frios de -60° C a -40° C sobre a região durante o horário. Às 01-02 UTC (22-23 HL), a chuva é moderada e fica intensa no início da madrugada, núcleos convectivos mais intensos são vistos na Figura 5.27c, no horário anterior ao registro.

No intervalo de 03-04 UTC (24-01 HL) do dia 11, precipitação máxima é registrada (21,50 mm e acumulado de 59,50 mm), e a imagem realçada para a Região Nordeste (Fig.5.27d) durante esse horário ilustra a cobertura de nuvens com topos frios de até -60° C nas áreas próximas de cada cidade ao sul de Salvador.

Às 06 UTC são vistos núcleos convectivos profundos na área com topos frios de até -

50° C (Fig. 5.27e). Com intensidade moderada, a precipitação se prolonga até o início da manhã do dia 11, quando chove mais 17 mm em um intervalo de seis horas e acumulado de 76,75 mm. Após esse horário, não é possível visualizar núcleos de convecção profunda sobre a região e não há registro de chuva na PCD de Eunápolis, com um total diário de 74,5 mm (Fig. 5.25) e acumulado de 77 mm (Fig. 5.26a).

Figura 5.25 – Totais diários de precipitação (mm) do mês de abril de 2007 coletados na estação automática de coleta de dados (PCD) de Teixeira de Freitas, Eunápolis, Ilhéus e Salvador.

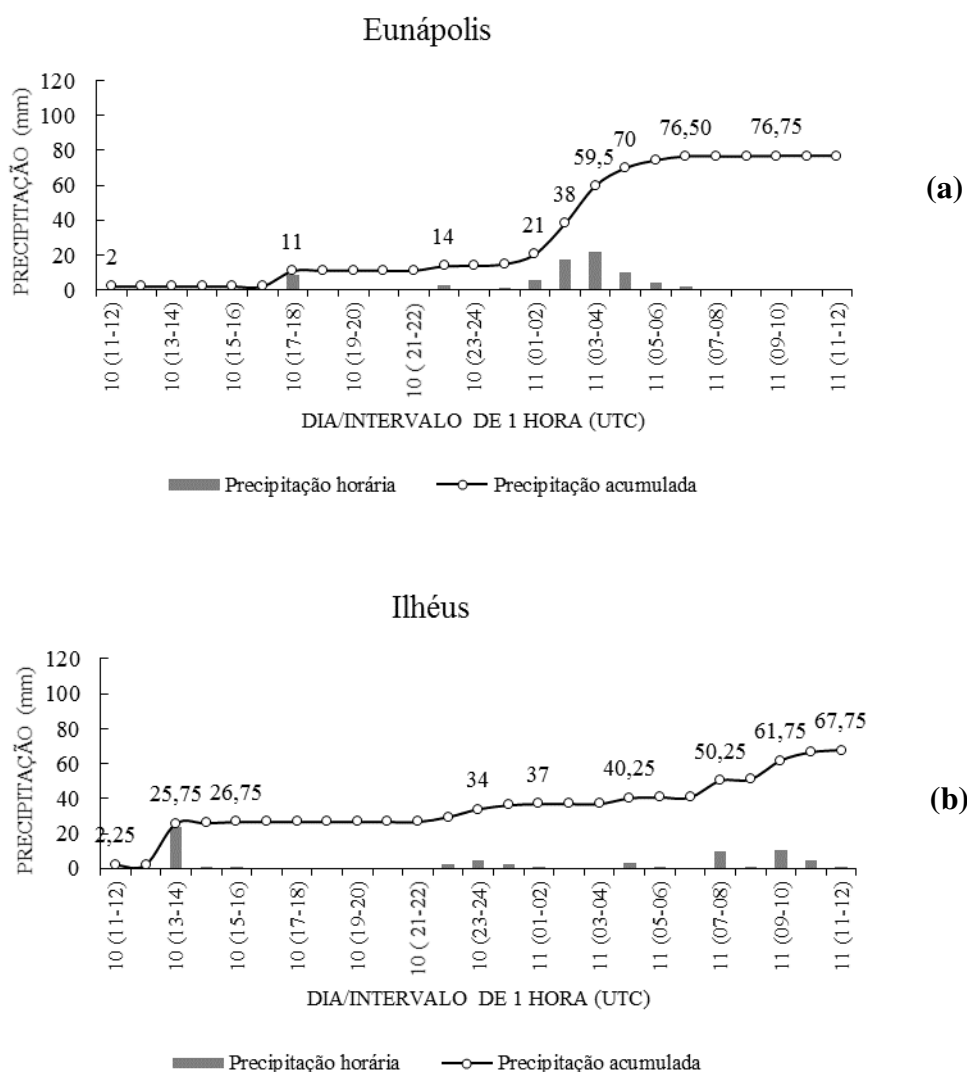


Fonte dos registros: INEMA

Na cidade de Ilhéus, a precipitação é intensa às 13-14 UTC (10-11 HL) do dia 10 de abril, totalizando 23,5 mm, o máximo horário do evento (Tabela 4.1), com o acumulado de 25,75 mm (Fig. 5.26b). Na imagem realçada das 09 UTC há núcleos convectivos com topos frios de até -50°C (Fig. 27a). Após esse registro, a precipitação é fraca ou inexistente, entre 15-16 UTC e 21-22 UTC. A imagem das 18 UTC (Fig. 27b) ilustra um número maior de topos frios. Às 22-23 UTC (19-20 HL) a chuva recomeça fraca e se prolonga até as 01-02 UTC (22-23 HL), totalizando 8 mm nesse intervalo de quatro horas. A imagem de 00 UTC do dia 11 (Fig. 27c) ilustra topos frios mais extensos e que atingem até -60° C. evidenciada pela presença de núcleos convectivos com topos frios de até -60° C (fig. 5.27c) sobre a região, no horário que antecede essa precipitação. No período de 01-02 UTC a 03-04 UTC não há

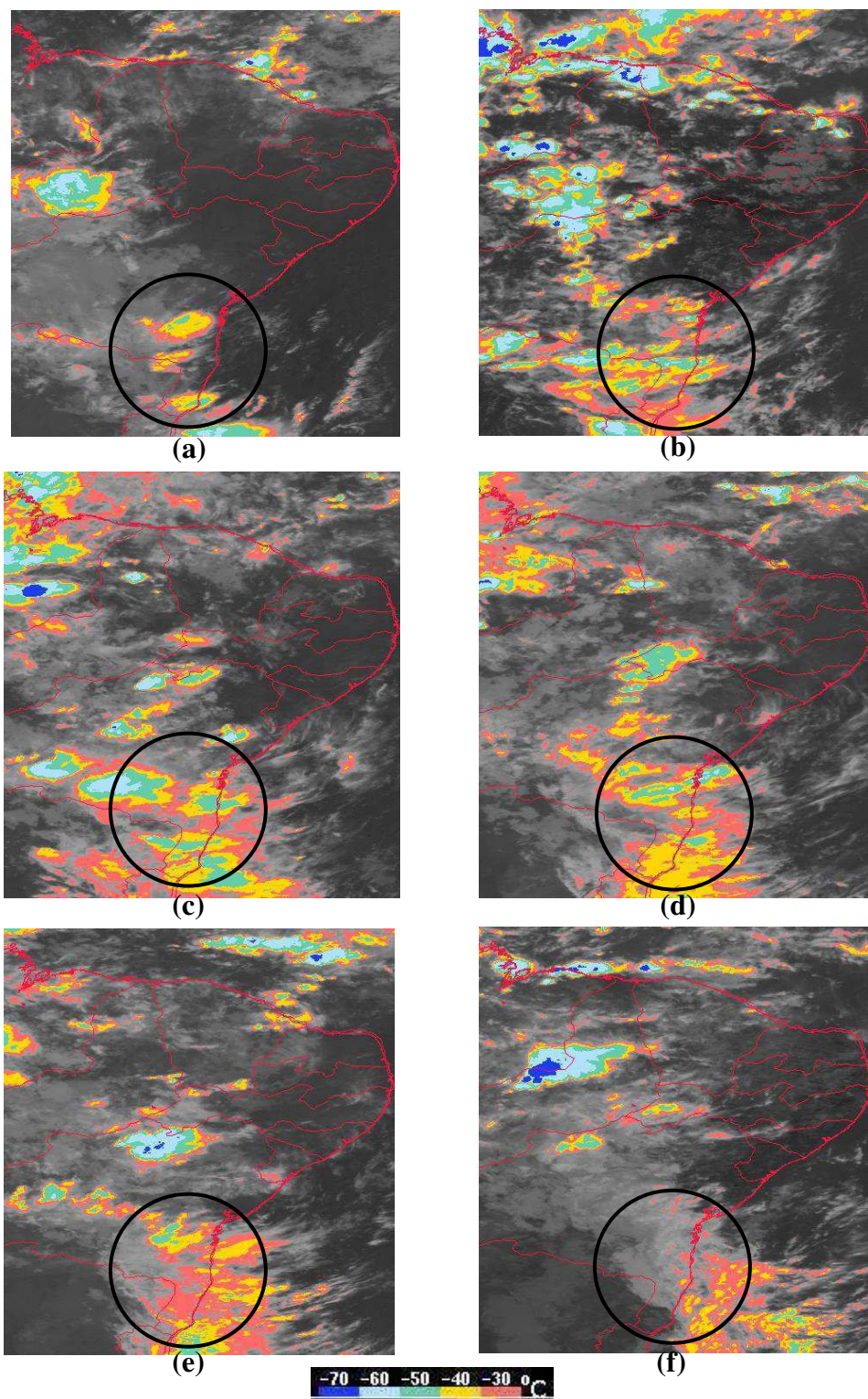
registro pluviométrico na PCD. Durante a madrugada, a chuva recomeça às 04-05 UTC (01-02 HL) e se prolonga até as 11-12 UTC (08-09 HL), totalizando 27,5 mm nesse período de oito horas, com um volume acumulado de 67,75 mm e total diário de 65,50 mm (Tabela 4.1). As imagens das 03 UTC (Fig. 5.27d), horário que antecede o reinício da chuva, e das 06 UTC (Fig. 5.257e) e 12 UTC (Fig. 5.257f) comprovam o gradual declínio da atividade convectiva na área da Bahia no período da madrugada e início da manhã do dia 11.

Figura 5.26 – Precipitação horária e horária acumulada (mm) coletada no período de 11-12 UTC do dia 10 às 11-12 UTC do dia 11 de abril de 2006 na estação automática de coleta de dados (PCD) de: (a) Eunápolis e (b) Ilhéus. Observe que hora UTC = hora local + 3 horas.



Fonte dos registros: INEMA

Figura 5.27 – Imagem realçada do satélite meteorológico GOES 10 da Região Nordeste e adjacências para o dia 10 às (a) 09 UTC, (b) 18 UTC, e dia 11 de abril de 2007 às: (c) 00 UTC, (d) 03 UTC, (e) 06 UTC e (f) 12 UTC. A escala de cores da temperatura de brilho é vista na parte inferior da figura. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador.

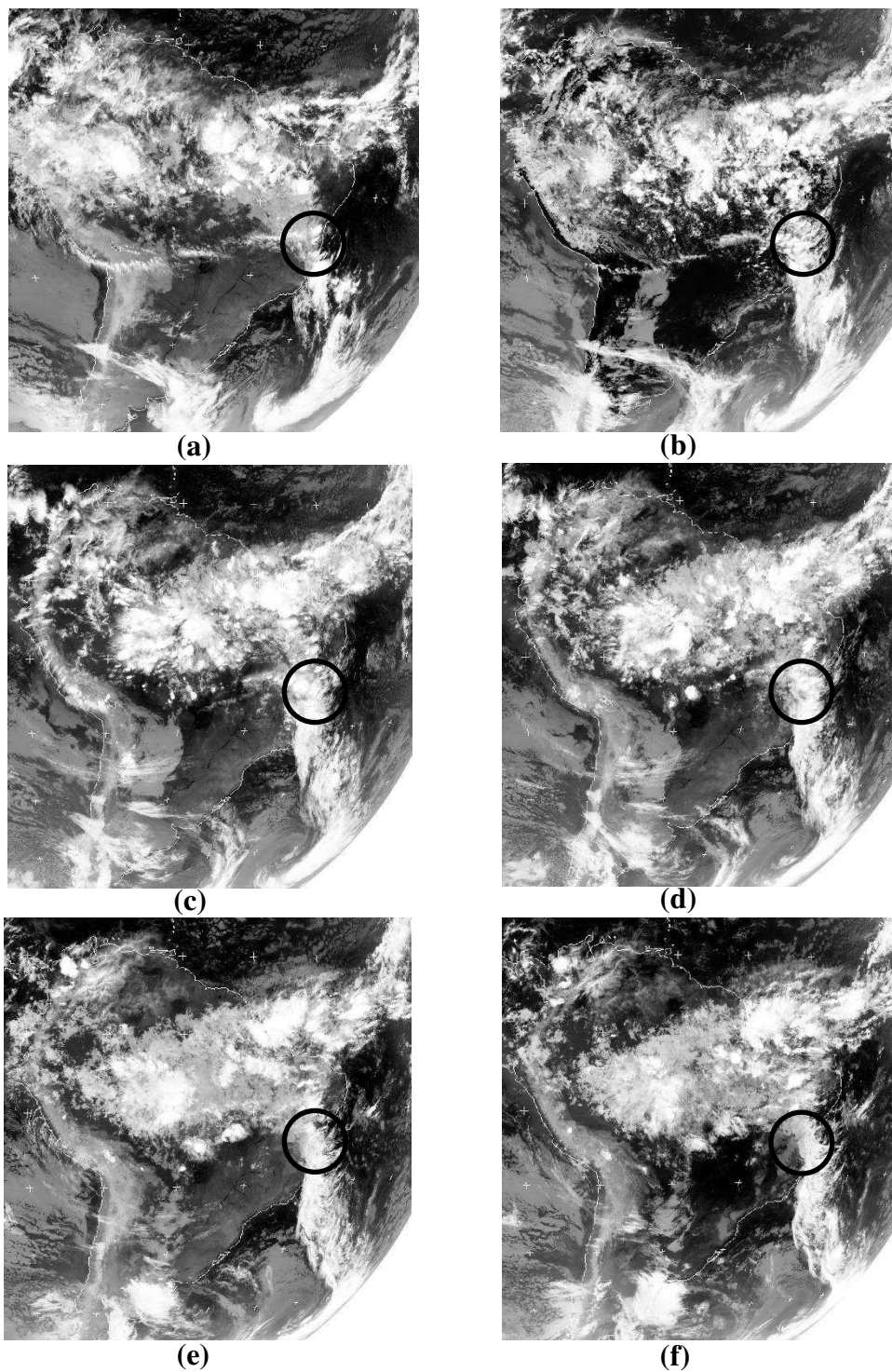


Fonte das imagens: Adaptado de http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp

A cobertura de nuvens em grande escala é analisada através de uma sequência temporal de seis imagens do satélite meteorológico GOES 12 para a região da América do Sul, com início às 12 UTC do dia 10 (Fig. 5.28a) e término às 12 UTC do dia 11 (Fig. 5.28f). A sequência evidencia duas bandas de nebulosidade distintas que interagem no decorrer do período; a ZCIT com configuração quase zonal sobre o norte da América do Sul, e que se prolonga com configuração sudoeste-nordeste sobre o Atlântico Equatorial, e outra associada a um sistema frontal austral cuja frente fria se estende sobre o Centro-Oeste, parte do Sudeste e Nordeste, e o Oceano Atlântico, interagindo com a nebulosidade situada no norte do continente. As imagens evidenciam que a extensão e organização da área coberta por convecção profunda aumentam no decorrer do tempo, nas duas bandas, particularmente após as 18 UTC do dia 10 (Fig. 5.28b). No período de tempo analisado o ciclone frontal avança no estágio de oclusão, conforme fica evidenciado pelas mudanças na sua área central, no canto inferior direito das imagens. Outra característica evidente nas imagens são as bandas de nuvens cirros que indicam a presença da corrente de jato na área central da América do Sul (Fig. 5.29c-e). As imagens também ilustram diversas áreas de convecção profunda organizada em mesoescala (aglomerados convectivos) nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste, e áreas oceânicas. Na área costeira do Estado da Bahia pode-se observar o desenvolvimento convectivo responsável pela precipitação horária e horária acumulada ilustrada nos gráficos da Figura 5.26.

Às 03 UTC (00 HL), horário inicial do intervalo de máximo registro pluviométrico em Eunápolis (Fig. 5.26a), é possível observar convecção profunda organizada na área (Fig. 5.27d). Nas duas imagens seguintes, a banda de nebulosidade da frente fria também está evidente, porém há menos convecção profunda no sul da Bahia (Fig. 5.28e,f).

Figura 5.28 – Imagem do satélite meteorológico GOES 12 na banda do infravermelho térmico para o dia 10 às (a) 12 UTC, (b) 18 UTC, e dia 11 de abril de 2007 às: (c) 00 UTC, (d) 03 UTC, (e) 09 UTC e (f) 12 UTC. A circunferência preta assinala parte da área ao sul de Salvador.



Fonte das imagens: Adaptado de <http://www.sat.dundee.ac.uk>

5.3.2 Características do Ambiente Sinótico

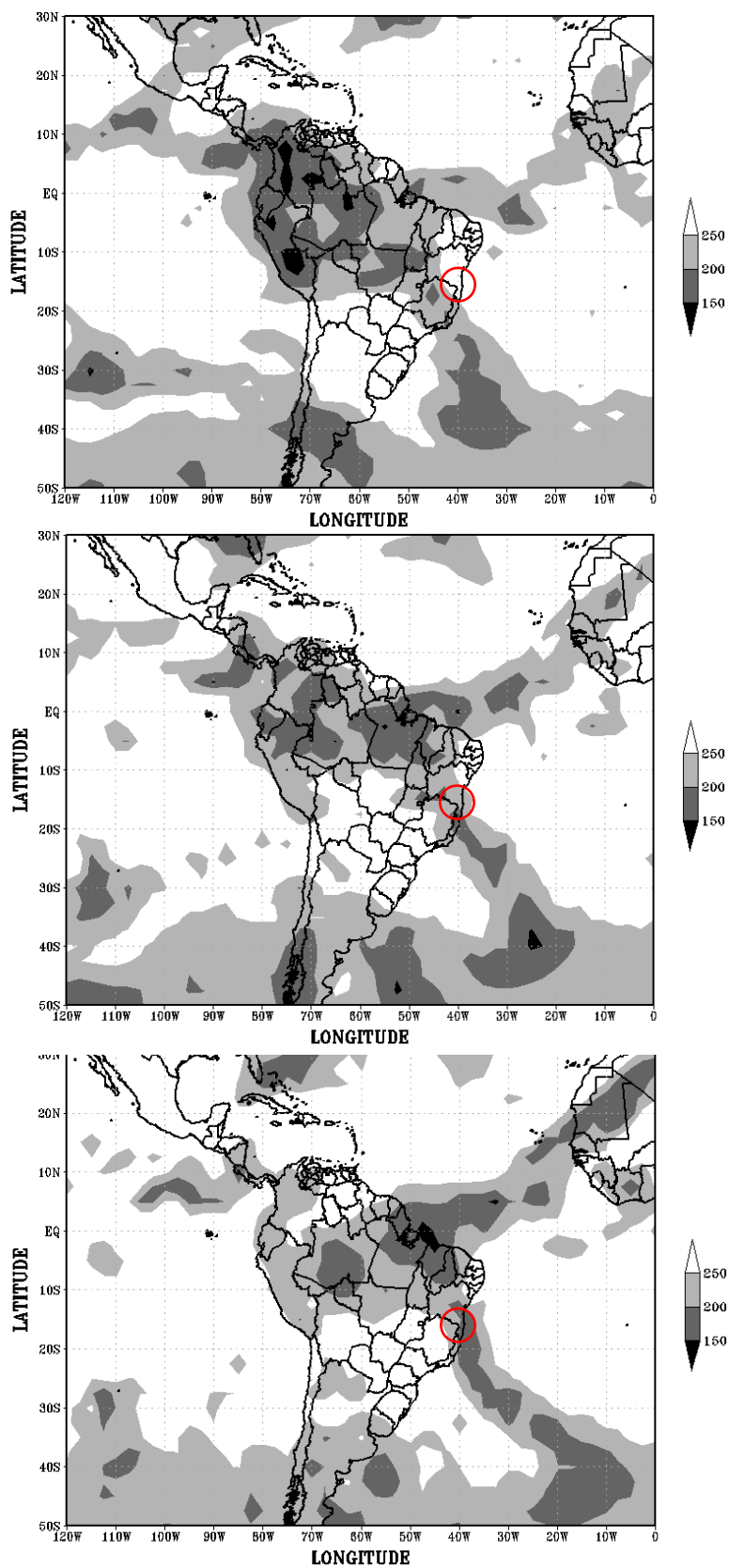
A nebulosidade na região da América do Sul é representada pelos campos da média diária da radiação de onda longa (ROL) estimada no topo da atmosfera para os dias 09, 10 e 11 de abril de 2007 (Fig. 5.29); valores inferiores a 200 W m^{-2} estão associados com topos frios de nuvens de convecção profunda e nuvens altas espessas.

No dia 09 (Fig. 5.29a), é possível observar valores de ROL acima de 250 W m^{-2} em grande parte do Estado da Bahia, quando pouca nebulosidade é observada nas imagens de satélite durante o dia (não mostrado). Valores de ROL inferiores a 250 W m^{-2} são evidentes na área em que o sistema frontal está atuando, sobre as regiões Sudeste e Centro-oeste, e área subtropical do Oceano Atlântico Sul, como visualizado nas imagens de satélite (não mostrado). Áreas do sistema frontal com valores inferiores a 200 W m^{-2} são vistas no Estado de Minas Gerais e Atlântico Sul.

No dia 10 (Fig. 5.29b), a configuração da área de ROL inferior a 250 W m^{-2} indica que o Sistema Frontal se deslocou para nordeste sobre o Estado da Bahia, a Região Sudeste e a área subtropical do Oceano Atlântico Sul. Uma área com valores inferiores a 200 W m^{-2} se estende sobre o Atlântico Sul numa configuração que indica a oclusão do ciclone extratropical, cobrindo também o Estado do Espírito Santo e o extremo sul da Bahia. Uma banda contínua com valores abaixo de 250 W m^{-2} relacionada com a ZCIT (Fig. 5.29a,b) é vista sobre o norte da América do Sul, o Atlântico Norte e o noroeste da África.

No dia 11 (Fig. 5.29c), a área sobre o Atlântico Sul com valores de ROL inferiores a 200 W m^{-2} é quase contínua, e se estende do planalto costeiro da Bahia ao centro do ciclone frontal. Na banda de ROL da área da ZCIT valores inferiores a 200 W m^{-2} cobrem o Maranhão e o Piauí. A configuração ilustrada mostra grande relação com a cobertura de nuvens ilustrada na Figura 5.28c-d.

Figura 5.29 – Média diária da radiação de onda longa ($W m^{-2}$) nos dias (a) 09, (b) 10 e (c) 11 de abril de 2007. O intervalo de análise é de $50 W m^{-2}$. A escala de tons de cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.

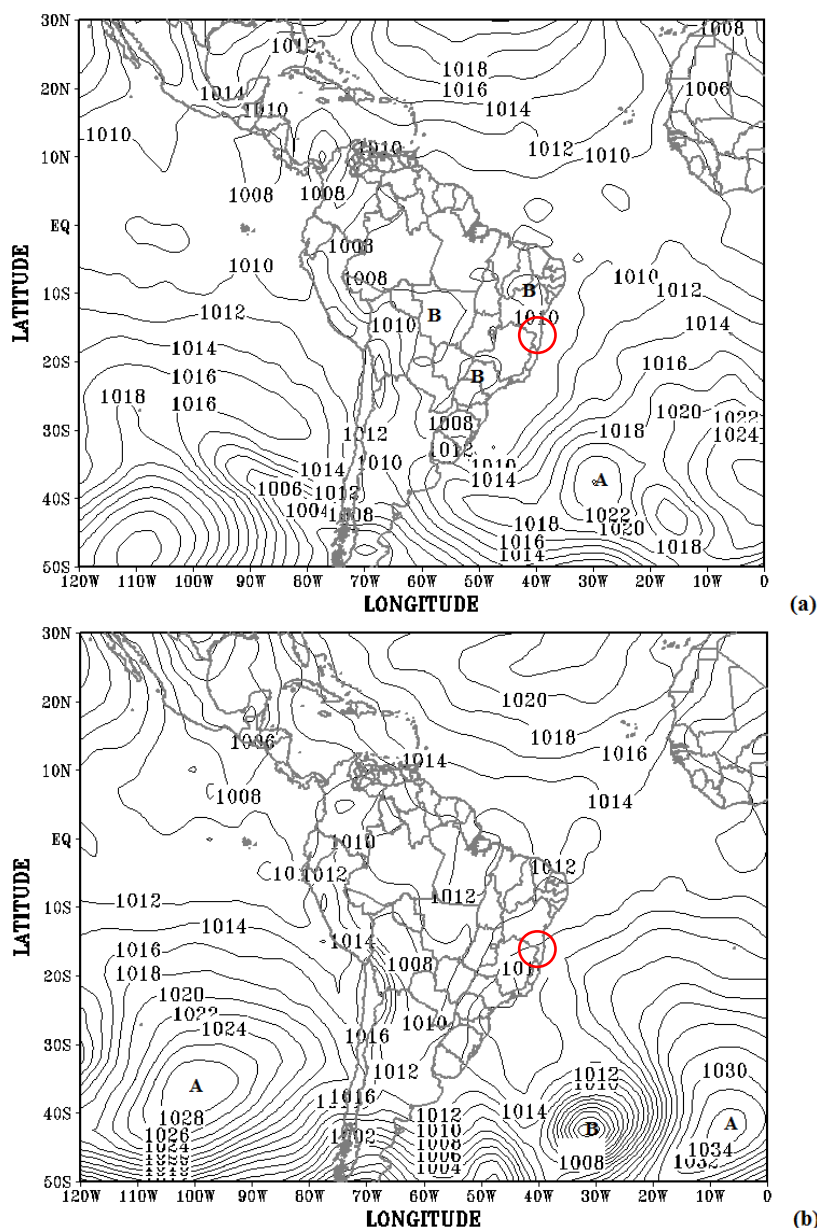


Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

A circulação atmosférica de grande escala em superfície foi diagnosticada através dos campos da pressão reduzida ao nível médio do mar às 00 UTC dos dias 10 e 11 de abril de 2007 (Fig. 5.30). Na área do cavado equatorial sobre o Oceano Atlântico e na maior parte da América do Sul, ao norte de 30° S, a pressão é inferior a 1010 hPa no dia 10 (Fig. 5.30a). Na Região Nordeste há um núcleo de baixa pressão relacionado com o Sistema Frontal cuja banda de nebulosidade pode ser visualizada nas imagens de satélite das 12 e 18 UTC (Fig. 5.28a,b) desse dia. É no intervalo de 13-14 UTC que a PCD de Ilhéus registra a chuva intensa (Fig. 5.26b). Núcleos convectivos existentes antes e após esse período de chuva são exemplificados pelas imagens realçadas das 09 e 18 UTC (Fig. 5.27a,b) que indicam a intensificação da convecção no decorrer do dia. Centros de baixa pressão também são vistos sobre parte das Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul nesse horário (Fig. 5.30a).

No dia 11 às 00 UTC (Fig. 5.30b), o centro de baixa pressão ao qual o Sistema Frontal está associado é evidente, com grande intensidade, sobre a área oceânica, em torno de (40°S, 30°W). A configuração da nebulosidade indica um sistema em fase de oclusão, com a extensão das áreas de convecção profunda diminuindo no decorrer do tempo (Fig. 5.28c-f). É no intervalo de 02-04 UTC que a PCD de Eunápolis registra a chuva intensa (Fig. 5.26a). A imagem realçada das 03 UTC (Fig. 5.27d) ilustra os núcleos convectivos existentes no horário central do período de chuva forte. Na área do cavado equatorial sobre o Oceano Atlântico e na maior parte da América do Sul, ao norte de 30° S, a pressão é maior do que 1010 hPa nesse dia (Fig. 5.30b). Um centro de alta pressão de 1034 hPa (45° S, 5° W) sobre o oceano Atlântico é visto na sua retaguarda. Como no dia anterior, é possível verificar diversas isóbaras de baixa pressão dominando o continente, associados com convergência em baixos níveis, devido a interação de diversos sistemas de circulação atmosférica no Norte, Centro-oeste, Nordeste e Sudeste do Brasil. Sobre a área de estudo, a presença de núcleos de convecção com topos frios de -60° C (Fig. 5.27c), desenvolvimento de aglomerados convectivos (Fig. 5.28c) e baixos valores de ROL (Fig. 5.29c) são vistos no decorrer do dia, o que contribuiu na ocorrência do único evento intenso do mês nas duas cidades.

Figura 5.30 – Pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) para as 00 UTC do dia (a) 10 e (b) 11 de abril de 2007. Os centros de alta (baixa) pressão são indicados pela letra A (B). O intervalo de análise é de 2 hPa. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

A seguir, os sistemas de circulação atmosférica também são discutidos, para as 00 UTC do dia 11, através do campo do vento e variáveis derivadas em níveis isobáricos representativos da baixa, média e alta troposfera. De maneira geral, os padrões de circulação encontrados também são vistos nos três dias subsequentes (não mostrado).

Na baixa troposfera, no nível de 850 hPa, há uma área de confluência bem definida centrada no leste da região de fronteira entre os estados de Minas Gerais e Bahia (Fig. 5.19a), associada ao centro de baixa pressão mencionado anteriormente (Fig. 5.18b). Nessa área há

núcleos intensos de vorticidade ciclônica (Fig. 5.20a) / convergência (Fig. 5.21a). A oeste, na área de fronteira do Brasil, há uma área de difluência (Fig. 5.19a) evidenciada pela ausência de nuvens (Fig. 5.16b) e núcleos de vorticidade anticiclônica (Fig. 5.20a) / divergência (Fig. 5.21a). O cavado invertido, visualizado sobre o Oceano Atlântico na Figura 5.18b, é identificado neste nível pela confluência em (20°S, 35°W) e pelos valores negativos de vorticidade relativa (Fig. 5.20a) / divergência horizontal (Fig. 5.21a). Outra área em que é evidente a presença de vorticidade ciclônica / convergência é a da ZCIT, situada ao norte-leste da região.

No nível de 500 hPa, o cavado de latitudes médias associado à baixa extratropical (Fig. 5.18b) é visto a leste da Cordilheira dos Andes (Fig. 5.19b), sobre o centro-leste do continente e área oceânica, numa configuração típica de um episódio da ZCAS. Fortes centros de vorticidade ciclônica ($-80 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$) são vistos na área desse cavado (Fig. 5.20b). No Estado da Bahia a circulação é anticiclônica e há vorticidade anticiclônica (Fig. 5.20b) / convergência (Fig. 5.21b) fracas.

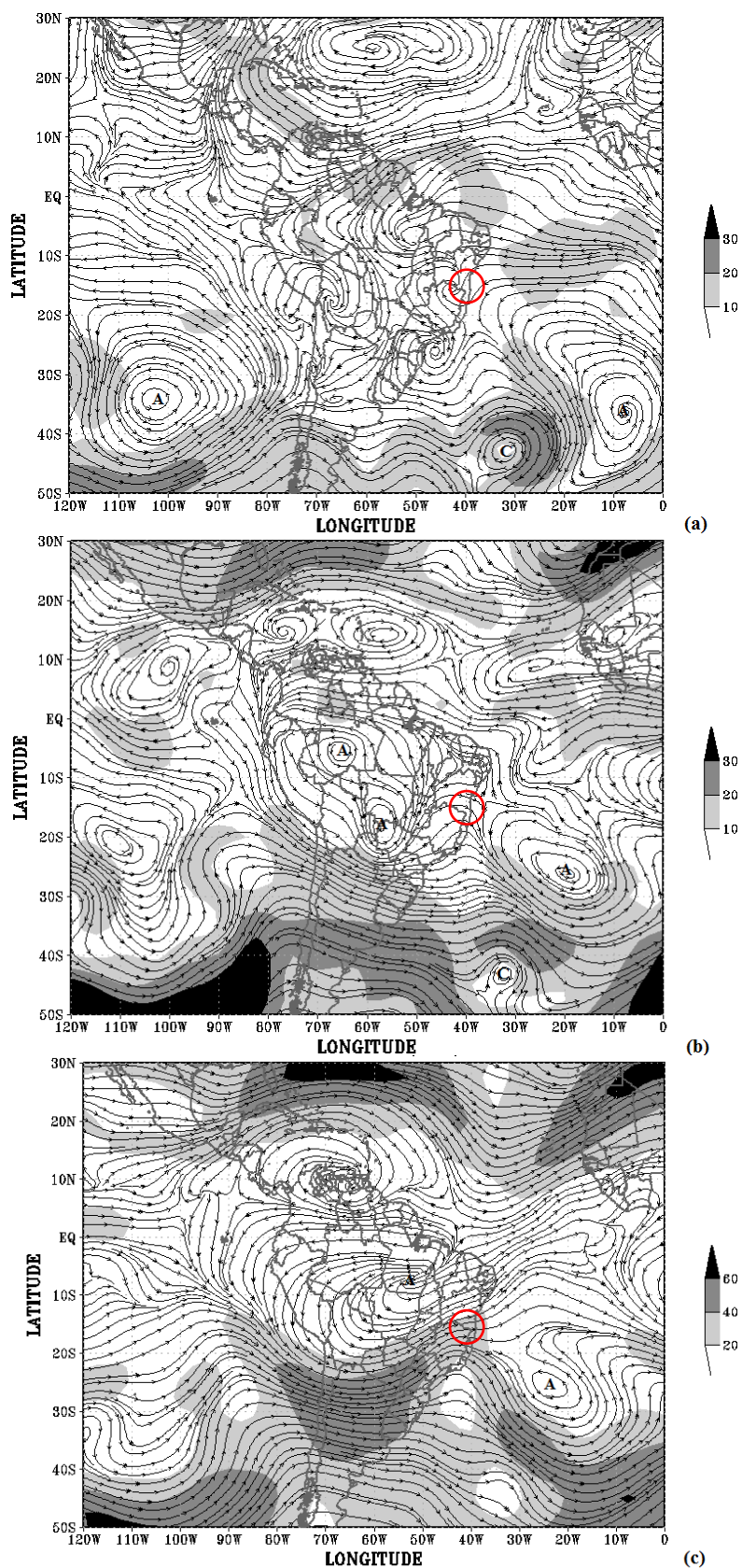
A estrutura vertical dos sistemas de circulação atmosférica é discutida a seguir para as 00 UTC do dia 11, através do campo do vento e variáveis derivadas em níveis isobáricos representativos da baixa, média e alta troposfera. Os campos de linhas de correntes e velocidade do vento são analisados na sequência. No nível de 850 hPa, há confluência dos ventos bem configurada sobre os estados da Bahia e de Minas Gerais (Fig. 5.31a), alinhada com o eixo do cavado frontal que se estende sobre o Atlântico Sul, entre as longitudes de 40° W e 30° W. Na retaguarda desse cavado há um núcleo anticiclônico/crista, área de pouca nebulosidade (Fig. 5.28c), vorticidade anticiclônica (Fig. 5.32a) e divergência (Fig. 5.33a). Na área de circulação ciclônica sobre as regiões Nordeste, Sudeste, e o Atlântico Sul a banda de nebulosidade do Sistema Frontal (SF) é visualizada com configuração quase meridional (Fig. 5.28c). É evidente a presença de um extenso núcleo de vorticidade ciclônica (Fig. 5.32a) / convergência (Fig. 5.33a) nessa área, entre a região Nordeste/Sudeste e a extremidade sul do mapa. O desenvolvimento de aglomerados convectivos intensos em parte da região Nordeste desde o dia anterior (Fig. 5.28a,b), favoreceu a precipitação intensa ocorrida em Ilhéus no final da manhã do dia 10 (Fig. 5.26b). É possível verificar o anticiclone (35° S, 10° W) na retaguarda da circulação ciclônica (40° S, 30° W) sobre o oceano Atlântico Sul, vistos através dos núcleos de baixa e alta pressão no mapa de PNMM (Fig. 5.30b).

No nível de 500 hPa, o cavado associado ao ciclone frontal centrado em (45° S, 30° W) se estende até a latitude de 10° S (Fig. 5.31b), abrangendo a região Sudeste e grande parte do Nordeste, com um núcleo bem definido de vorticidade ciclônica (Fig. 5.32b), e

convergência sobre parte de Minas Gerais e Bahia (Fig. 5.33b). Na retaguarda do cavado, sobre o continente, há um anticiclone na região Norte e outro na Centro-oeste, e uma crista de pequena amplitude ao sul, com áreas bem definidas de vorticidade anticiclônica (Fig. 5.32b) e divergência (Fig. 5.33b).

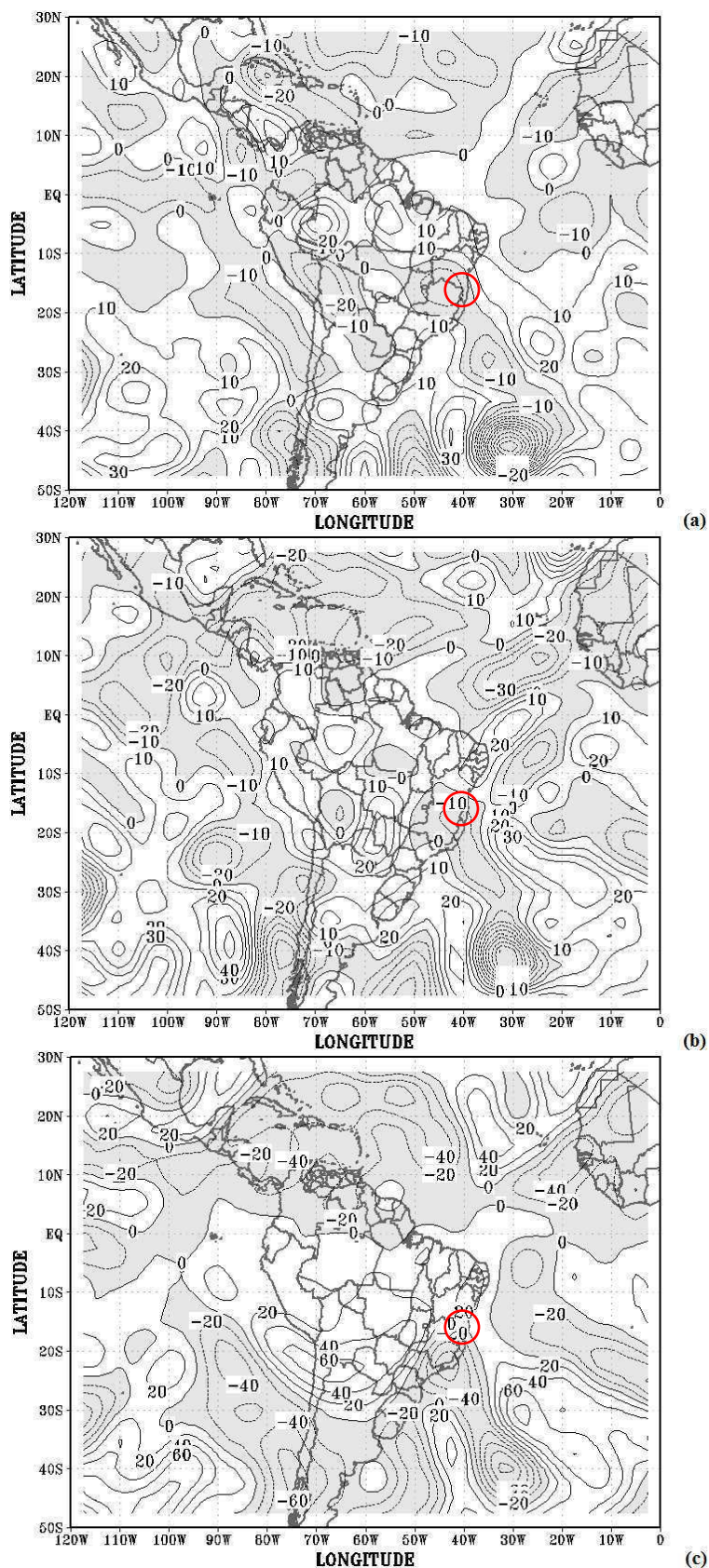
No nível de 200 hPa (Fig. 5.31c), o cavado associado ao sistema de latitudes médias está bem configurado ainda sobre o Sudeste, Centro-oeste e Nordeste, com amplitude semelhante ao nível inferior. Essas áreas se caracterizam por núcleos de vorticidade ciclônica (Fig. 5.32c) e de convergência (Fig. 5.33c) intensos. O anticiclone (alta) da Bolívia, deslocado para leste de sua posição climatológica está centrado na fronteira dos estados do Pará e Mato Grosso, com valores baixos de vorticidade anticiclônica (Fig. 5.32c) e divergência (Fig. 5.33c). Um núcleo forte de vorticidade anticiclônica associado à circulação da corrente de jato (Fig. 5.31c) está centrado no norte da Argentina (Fig. 5.32c).

Figura 5.31 – Linhas de corrente e velocidade do vento (m s^{-1}) para as 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. A escala da magnitude do vento é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



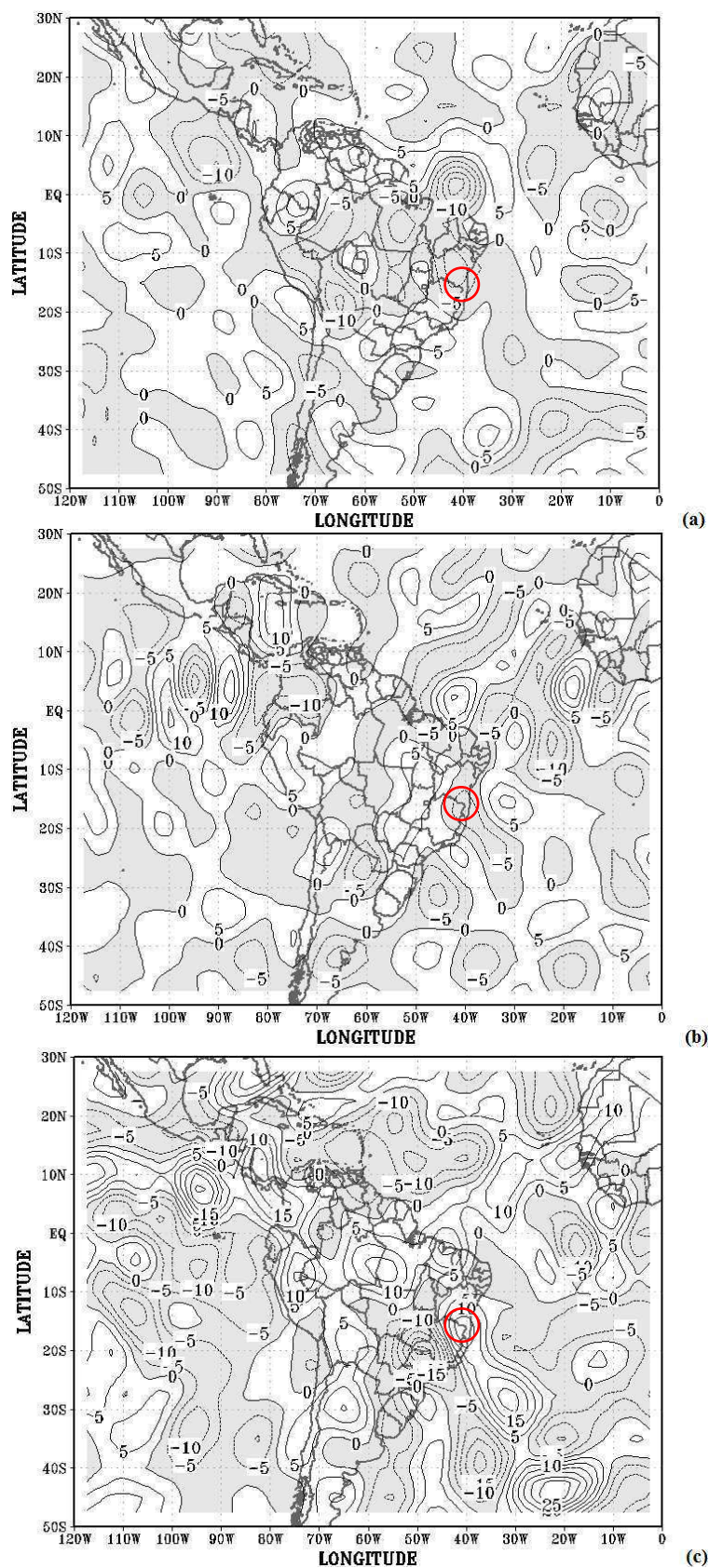
Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.32 – Vorticidade relativa às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é $10 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ em (a,b) e $20 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ em (c). As áreas sombreadas são negativas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.33 – Divergência horizontal às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de $5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$. As áreas de convergência estão sombreadas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

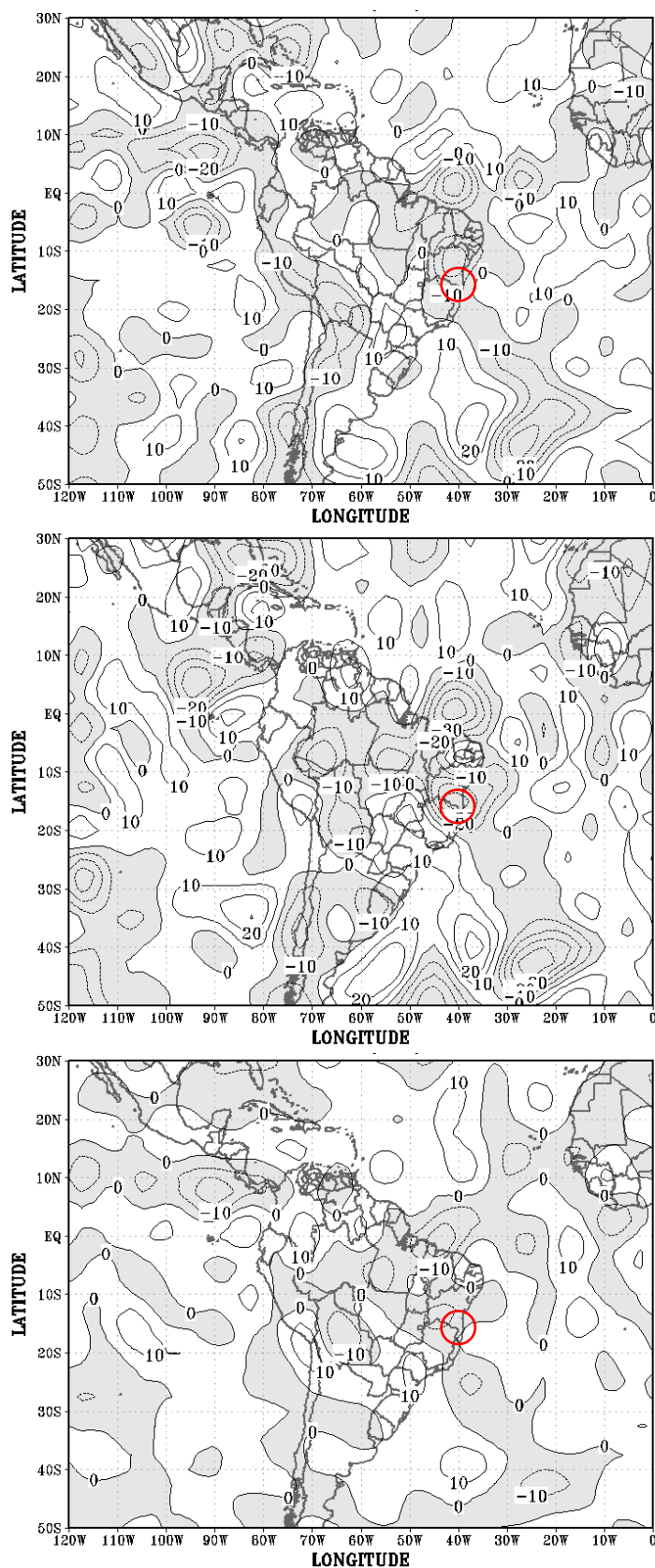
O movimento vertical (ω) analisado a seguir é ilustrado através dos campos horizontais em grande escala (Fig. 5.34) para verificar as condições de ascendência na área de estudo. No nível de 850 hPa (Fig. 5.34a), é possível observar a grande extensão dos núcleos de ascendência do ar ($\omega < 0$) com valores em torno de -10×10^{-2} hPa s^{-1} sobre a região Nordeste e em particular, ao sul de Salvador e área oceânica, no horário anterior à ocorrência da precipitação intensa (5.26a) na cidade de Eunápolis (16° S). Nesse horário, núcleos convectivos com topos frios de até -60° C e nebulosidade associada são visualizados nas imagens de satélite das Figuras 5.27c e 5.28c. Essa configuração é semelhante ao observado no horário que antecede (12 UTC do dia 10) a precipitação máxima em Ilhéus, onde núcleos de movimento vertical ascendente (negativos) são observados em baixos níveis da atmosfera (não mostrado).

Nos níveis de 500 hPa e 200 hPa (Fig. 5.34b,c), o movimento vertical negativo ($\omega < 0$) é intenso (-10×10^{-2} hPa s^{-1} e -20×10^{-2} hPa s^{-1} , respectivamente) ao sul do Estado da Bahia e área oceânica, o que fica evidente pelas imagens de satélite (Fig. 5.28c e 5.28c), onde o Sistema Frontal está atuando. Núcleos menos intensos de movimento vertical negativos sobre a área de estudo são vistos nos horários posteriores à ocorrência de chuvas nas duas cidades (não mostrado), evidenciados pelo registro de precipitação fraca após o dia do evento extremo na cidade. O desenvolvimento de convecção profunda na configuração da atmosfera, fica evidente pelos valores entre -10×10^{-2} hPa s^{-1} a -45×10^{-2} hPa s^{-1} de movimento vertical negativo ao longo da coluna atmosférica do dia 11 de abril de 2007 (não mostrado). Em linhas gerais, tais configurações atmosféricas nos campos do movimento vertical também foram observadas no evento do dia 15 de outubro de 2006, quando aglomerados convectivos foram observados na área de estudo em dias anteriores, associados com convergência na baixa troposfera e no evento do dia 11 de novembro de 2006, onde uma frente avançou pelo litoral da região Sudeste, atingiu o litoral sul do Estado da Bahia nos dias anteriores e ficou estacionária na área observada.

No dia 10, o Sistema Frontal (SF) que avançou para os subtropicais, em especial na área costeira do Estado da Bahia, favoreceu a intensificação do cavado nos médios e altos níveis da atmosfera, ao qual é identificado nos campos de umidade específica (q) às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007, nos níveis isobáricos de 925 hPa e 850 hPa (Fig. 5.35). Em linhas gerais, são elevados os valores de umidade específica (q) nas áreas onde a nebulosidade é vista na imagem de satélite (Fig. 5.28c), com umidade específica (q) variando entre 12 g kg^{-1} e 16 g kg^{-1} no nível de 925 hPa (Fig. 5.35a), e entre 8 g kg^{-1} e 12 g kg^{-1} no nível de 850 hPa (Fig. 5.35b). Os núcleos profundos convectivos (Fig. 5.27c) e a nebulosidade observada na

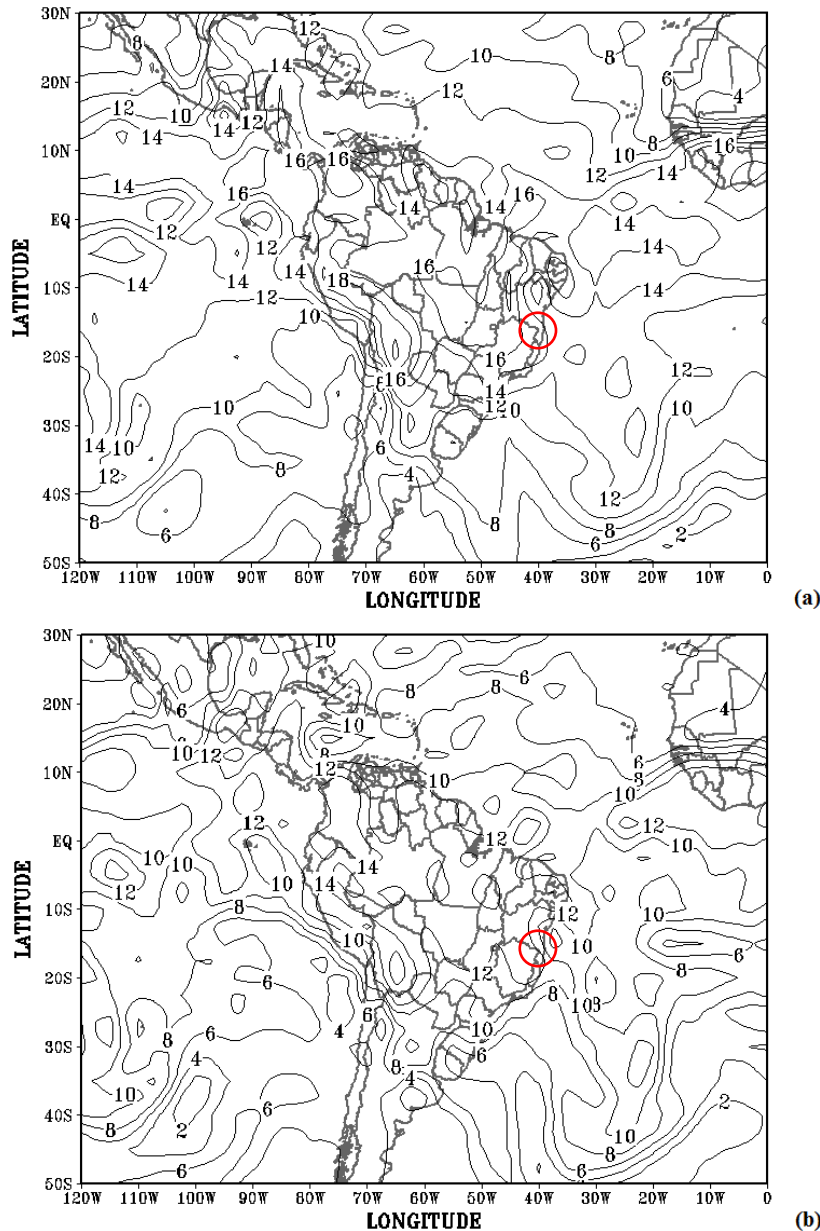
imagem da Figura 5.28c, associada ao SF, evidencia a grande atividade convectiva e elevado teor de umidade específica (q) em baixos níveis da atmosfera.

Figura 5.34 – Movimento vertical às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa, (b) 500 hPa e (c) 200 hPa. O intervalo de análise é de 10×10^{-2} hPa s^{-1} . Nas áreas sombreadas há ascendência. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

Figura 5.35 – Umidade específica às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 925 hPa e (b) 850 hPa. O intervalo da análise é de 2 g kg^{-1} . A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.

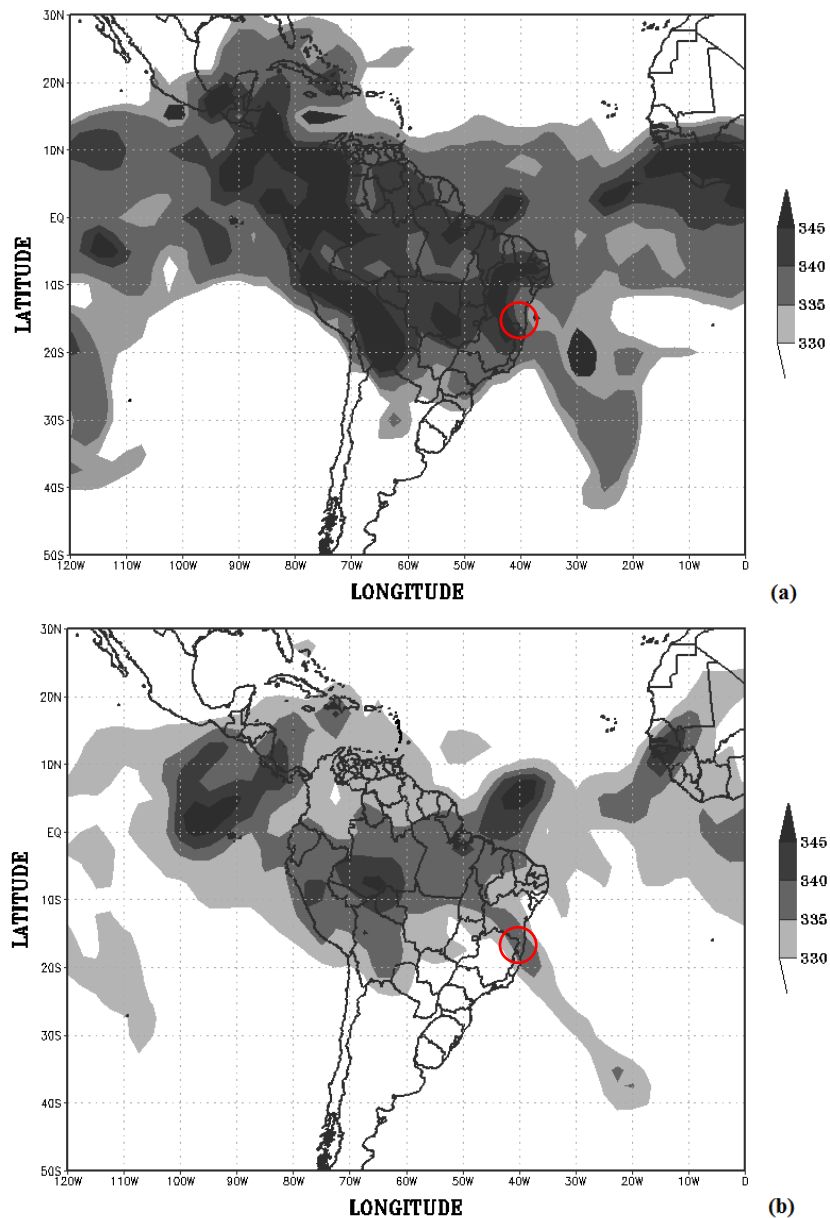


Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

O gradiente de temperatura potencial equivalente (θ_e) é ilustrado através dos mapas horizontais em grande escala (Fig. 5.36). Nos níveis isobáricos de 850 hPa e 500 hPa (Fig. 5.36a,b), podemos observar valores elevados de temperatura potencial equivalente (θ_e), de 330 a 345 K, indicando maior teor de umidade na área em que são visualizados núcleos de convecção profunda (Fig 5.27c) com topos frios de até -60°C e aglomerados convectivos durante esse horário (Fig. 5.28c), aos quais contribuíram para o evento intenso de precipitação

em Eunápolis e Ilhéus (Fig. 26a,b). É possível observar que o conteúdo de umidade é maior na área do cavado ao sul da Bahia e em toda a área que ele se prolonga, desde o oceano até o continente, em função da formação do Sistema Frontal e o avanço desse para latitudes elevadas. Essa configuração se assemelha aos resultados encontrados nos estudos de casos observados anteriormente, em que os altos valores do gradiente de temperatura potencial equivalente contribuíram para o desenvolvimento de convecção profunda e na ocorrência de precipitação elevada no sul do Estado da Bahia em outubro e novembro de 2006.

Figura 5.36 – Temperatura potencial equivalente (K) às 00 UTC do dia 11 de abril de 2007 no nível de: (a) 850 hPa e (b) 500 hPa. O intervalo de análise é de 5 K. A escala de tons de cinza é vista à direita dos mapas. A circunferência vermelha destaca a área foco do estudo.



Fonte dos dados: NCEP/NCAR II

6 CONCLUSÕES

As condições atmosféricas no planalto costeiro do Estado da Bahia foram investigadas com foco na variabilidade da chuva e na caracterização dos sistemas meteorológicos envolvidos em eventos intensos de chuva registrados em Teixeira de Freitas, Eunápolis e Ilhéus. Totais pluviométricos horários e diários, imagens de satélite e dados de reanálise formam o conjunto de dados desta pesquisa.

O primeiro caso selecionado, observado no dia 15 de outubro de 2006, foi associado à convecção profunda organizada em mesoescala (aglomerados convectivos) que se desenvolveu na área de um cavado no escoamento de leste sobre o Estado da Bahia, caracterizado pela presença de pressão relativamente baixa e instabilidade convectiva. Os totais diários de precipitação possibilitaram detectar precipitações intensas em Teixeira de Freitas (73,0 mm), Eunápolis (93,8 mm) e Ilhéus (42,8 mm). Esses valores representaram 42,6%, 60,3% e 17,1% do total mensal, respectivamente. O máximo horário foi elevado em Teixeira de Freitas (47,5 mm) e Eunápolis (31,0 mm), na madrugada do dia 15, e de menor intensidade em Ilhéus (16,5 mm), na manhã do mesmo dia.

No segundo caso, registrado no dia 11 de novembro de 2006, houve a formação da ZCAS no dia anterior, num ambiente sinótico constituído por um sistema frontal austral que penetrou no sul da Bahia, o anticiclone (alta) da Bolívia posicionado a nordeste de sua posição climatológica, um cavado na média troposfera sobre a América do Sul, ao sul de 10°S, e um Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) centrado no Oceano Atlântico, ao norte da Região Nordeste. A precipitação associada a aglomerados convectivos desenvolvidos na área da ZCAS ocasionou um total de 52,0 mm em Teixeira de Freitas e 85,0 mm em Eunápolis, que representam 17% e 41% do total mensal, respectivamente. Na madrugada do dia 15 foi registrado o máximo horário de Teixeira de Freitas (18,25 mm) e de Eunápolis (32,75 mm).

No dia 11 de abril de 2007, o avanço de um sistema frontal em direção a latitudes baixas no dia anterior, favorecido pela amplificação de um cavado na média e alta troposfera, propiciou o desenvolvimento de convecção profunda organizada em mesoescala (aglomerados convectivos) sobre o planalto costeiro do Estado da Bahia. Houve chuva intensa em Eunápolis e Ilhéus, com total diário de 74,5 mm e 65,5 mm, respectivamente, que representam 48% e 44% do total mensal. No dia 11, de madrugada, foi registrado o máximo horário de Eunápolis (21,5 mm) e, de manhã, o de Ilhéus (23,5 mm).

Nos três casos analisados foi observado convergência (divergência) no campo do vento na baixa (alta) troposfera e movimento ascendente em toda a coluna atmosférica, associados a um teor de umidade elevado na baixa e média troposfera, na área do planalto costeiro do Estado da Bahia.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; ASSIS, F. S. F.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J.; SERVAIN, J.; STUDART, T. M. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o Nordeste do Brasil durante janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n.1, p. 56-76, 2006.
- ALVES, J. M. B.; TEIXEIRA, R. F. B.; FERREIRA, A. G. Um intenso Sistema Convectivo de Mesoescala no setor leste da Região Nordeste: O caso de 20 a 21 de maio de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 1, p. 19-31, 2001.
- BANDEIRA, M. M.; MELO, E. C. S. Atuação do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis Sobre o Nordeste do Brasil no Mês de Janeiro nos Anos de 2004 e 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SBMET, 2006.
- BARRETO, A. B., SILVA ARAGÃO, M. R., CORREIA, M. F., SANTOS, A. H. M. Uma investigação sobre eventos de chuva intensa na cidade de Salvador, Bahia. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008. São Paulo. **Anais...** São Paulo, SBMET, CD-ROM, 2008.
- BERRY, F. A.; BOLLAY, E.; BEERS, N. R. **Handbook of Meteorology**. New York: McGraw-Hill Book, p. 1068,1945.
- BOLTON, D. The computation of equivalent potential temperature. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 1046-53, 1980.
- CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal and Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004.
- CARVALHO, M. A. V. **Variabilidade da Largura e Intensidade da Zona de Convergência Intertropical Atlântica: Aspectos Observacionais e de Modelagem**. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.
- CEPED - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES, 2013, **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: volume Bahia**. Florianópolis: UFSC, v. 2, 2013.
- CPTEC/INPE - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/ INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2014, **Banco de dados de imagens**. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>. Acesso em 01, set. 2018.
- CHAVES, R. R. **Variabilidade da precipitação na região sul do Nordeste e sua associação com padrões atmosféricos**. São José dos Campos, 1999, 159p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São Paulo, 1999.

CHOU, S. C. **Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico equatorial Sul**. São José dos Campos. 1990. 5222-TDL/437. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). INPE, São José dos Campos, 1990.

COSTA, S. B. **Balanços de vorticidade e energia aplicados aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis atuantes no Oceano Atlântico Tropical Sul e adjacências**. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FEDOROVA N. **Meteorologia sinótica**. Pelotas: UFPEL, v.1, 1999.

FERREIRA, N.J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M.A.F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, p. 89-98, 2004.

GAN, M.A., KOUSKY, V.E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 1, p. 19-28, 1986.

GOMES, H. B. **Distúrbios Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro: Climatologia e Modelagem Numérica**. 99 p. TESE (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) - Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2012.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**. v. 25, n. 4, p. 537-554, 2011.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. Quarterly **Journal of the Royal Meteorological Society**, v.103, n.435, p. 77-92, 1977.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=29&dados=1>>. Acesso em: 01, out. 2018.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2018. **Normais Climatológicas do Brasil, 1961-1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 01, set. 2018.

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S-K.; HNILO, J.J.; FIORINO, M.; POTTER, G. L. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). 1631-1643, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, p. 1631-1643, 2002.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9 p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**.v.108, n. 4, p. 488-498, 1980.

LIMA, A.A. **A variabilidade da precipitação e suas relações com medidas por satélite, radar e divergência do vento em altos níveis.** Dissertação (Mestrado) – INPE, São José dos Campos, 2001.

MEDEIROS, B. C. **Ciclo diário e eventos intensos de precipitação no planalto costeiro do estado da Bahia.** 2017. 89 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-Pb, 2017.

MELO, A. B. C.; NOBRE, P.; MENDES, D.; BOTTINO, M. J. A Zona de Convergência Intertropical sobre o Oceano Atlântico: Climatologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 12, Foz do Iguaçu. **Anais...** 12. Rio de Janeiro, SBMET, 2002.

MOSCATI, M. C.; GAN, M. A. Um evento de precipitação extrema ocorrido no interior semiárido da região Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 13, Fortaleza. **Anais...** 12., Fortaleza: SBMET, CD-ROM, 2004.

NOGUÉS-PAEGLE, J., MO, K., C. Alternating Wet and Dry Conditions over South America During Summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-291, 1997.

PALMER, C.E. On high-level cyclones originating in the tropics. **Transactions of American Geophysics Union**, v. 33, p. 683-695, 1951.

PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area. **Hydrology Papers**, p. 12, 1966.

QUADRO, M.F.L. **Estudo de Vórtices Ciclônicos de Mesoescala associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul.** Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 141 f., São Paulo, 2012.

QUEIROZ, J.N. **Análise sinótica e multivariada de condições climáticas extremas na cidade de Salvador.** 2015 71 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-Pb, 2015.

RAO, V. B., LIMA, M. C. e FRANCHITTO. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern northeast Brazil. **J. Climate**, v.6, p.1754-1763, 1993.

SANTOS, A. H. M. **Eventos extremos de chuva em Salvador, Bahia: Condições atmosféricas e impactos ambientais.** 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-Pb, 2008.

SANTOS, A. H. M.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; ARAÚJO, H. A.; BARBOSA SILVA, A. Distúrbio ondulatório de leste e seus impactos na cidade de Salvador. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 355-364, ISSN 0102- 7786, 2012.

SANTOS, A. H. M.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; BARRETO, A. B. Chuvas intensas na cidade de Salvador, Bahia: o evento de novembro de 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15, 2008b, São Paulo. **Anais...** 15., São Paulo, SBMET, CD-ROM, 2008.

SANTOS, A. P. P. **Precipitação na cidade de Salvador: classificação em quantis e análise de um evento climático extremo.** 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-Pb, 2013.

SANTOS, N. A., BRAGA, C. C. Estudo de Caso de uma Frente Fria Sobre o Nordeste Brasileiro. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 19., **Anais...** 19, Lavras, SBMET, 2015.

SANTOS, N.A. **Modulação Regional da precipitação e temperatura da superfície do mar no estado da Bahia.** 2016. 89 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. Tropics-South America. Chapter in *Meteorology of the Southern Hemisphere*. Ed. D.J.Karoly e D.G. Vincent. **Meteorological Monograph**, v. 49, American Meteorology Society, 1998.

SCHUEER, P.R. **Sistemas Frontais associados a episódios de ZCAS.** 2017. 90 p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2017.

SILVA ARAGÃO, M. R.; BARRETO, A. B.; ARAÚJO, H. A.; CORREIA, M. F. Desastres naturais na cidade de Salvador, Bahia: Evento chuvoso extremo em junho de 2006. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Florianópolis. 14., **Anais...** 14. Florianópolis, SBMET, CD-ROM, 2006.

SILVA ARAGÃO, M. R.; MENDES, M. C. D.; CAVALCANTI, I. F. A.; CORREIA, M. F. Observational study of a rainy January day in the Northeast Brazil semi-arid region: Synoptic and mesoscale characteristics. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 133, p. 1127-1141, 2007.

SILVA ARAGÃO, M. R.; BARRETO, A. B.; CORREIA, M. F.; ARAÚJO, H. A. Variabilidade sazonal e horária da chuva na cidade de Salvador, Bahia. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9. 2008, Salvador- BA. **Anais...** 9., Salvador- BA, ABRH, CD-ROM, 2008.

SOUSA, L.F. **Análise multivariada das condições atmosféricas em mês chuvoso extremo na área de Petrolina, semiárido do Nordeste do Brasil.** 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-Pb, 2015.

UVO, C. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Precipitação da região Norte do Nordeste do Brasil.** 1989. 99 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

UVO, C. B.; REPELLI, C.A.; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation. **Journal of Climate**, v. 11, n. 4. p. 551-562, 1998.

WALLACE JM.; HOBBS PV., *Atmospheric Science: An Introductory Survey.* **Academic Press**, Inc, London, p. 476, 1977.