

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

**PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DE SALVADOR: CLASSIFICAÇÃO EM
QUANTIS E ANÁLISE DE UM EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO**

ANA PAULA PAES DOS SANTOS

Campina Grande - PB

Fevereiro de 2013

ANA PAULA PAES DOS SANTOS

**PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DE SALVADOR: CLASSIFICAÇÃO EM
QUANTIS E ANÁLISE DE UM EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre em Meteorologia.

Orientadora: Dra. Maria Regina da Silva Aragão

Campina Grande - PB

Fevereiro de 2013

**PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DE SALVADOR: CLASSIFICAÇÃO EM
QUANTIS E ANÁLISE DE UM EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO**

S237p

Santos, Ana Paula Paes dos.

Precipitação na cidade de Salvador : classificação em quantis e análise de um evento climático extremo / Ana Paula Paes dos Santos. - 2013.

100 f. : il. color.

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

"Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Regina da Silva Aragão. "

Referências.

1. Eventos Extremos de Chuva. 2. Percentil. 3. Área Urbana. 4. Nordeste - Brasil. I. Aragão, Maria Regina da Silva. II. Título.

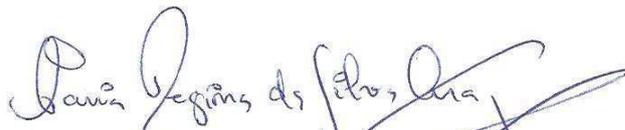
CDU 551.5(043)

ANA PAULA PAES DOS SANTOS

PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DE SALVADOR: CLASSIFICAÇÃO EM QUANTIS
E ANÁLISE DE UM EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2013

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



Profa. Dra. WERÔNICA MEIRA DE SOUZA
Unidade Acadêmica de Garanhuns
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Esta e todas as minhas humildes conquistas são dedicadas à minha família: meus pais, Oiram e Paula Santos, e irmãos Alessandra e Mário Santos, por quem expresso verdadeiramente todo o meu reconhecimento e gratidão.

AGRADECIMENTOS

A realização de mais esta etapa em minha vida só foi possível graças ao apoio imprescindível de algumas pessoas. Sendo assim, deixo aqui registrado minha sincera gratidão:

A quem me deu o Dom da Vida e o prazer de sentir a sua presença constantemente, o Senhor meu Deus;

A minha preciosa família, meus grandes amigos... a quem tenho a honra de chamar de “meus pais” Oiram e Paula Santos, e “irmãos” Alessandra e Mário Santos, sem o imenso apoio de vocês tudo seria mais difícil.

A minha orientadora, Dra. Maria Regina da Silva Aragão, por todo o conhecimento a mim repassado, e principalmente por toda confiança em mim depositada. Aproveito para exprimir minha admiração, não somente por seu conhecimento científico, mas por seu caráter e honestidade;

À banca examinadora composta pelas doutoras Magaly Correia e Werônica Souza, por suas valiosas contribuições.

Ao meu companheiro David Couto, por está presente em todos os momentos, sempre disposto a ajudar;

Aos amigos: Sérgio Santos, por indiscutivelmente fazer parte da minha vida! À Guilherme Martins e Anthony Porfírio por todo auxílio científico na elaboração deste trabalho e em momentos de diversão. Sem dúvida, os três tiveram grande participação no desenvolvimento desta pesquisa;

As amigas Silvia Garcêz, Bruna Silveira, Thamiris Brandão, Camilla Kassar, Anna Raquel Ramos, Sara Araújo e Thaíris Dias, por todo companheirismo e grande amizade;

Aos amigos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em especial ao Grupo de Previsão de Tempo, e da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), incluindo a equipe da Biblioteca Central, e em especial à nossa querida secretária Divanete, que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela concessão de dados de precipitação.

E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG.

À todos, o meu muito obrigada!

“As tempestades são lindas e majestosas. Estética e ciência se fundem como tempestades para proporcionar inesgotável fascinação e prazer àqueles que as estudam.”

Roland B. Stull

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo contribuir com o estudo da precipitação na cidade de Salvador, capital do estado da Bahia, a terceira cidade do Brasil em número de habitantes. A série climatológica dos totais mensais de precipitação coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período 1961-2011 fundamentou esta pesquisa. A variabilidade pluviométrica foi analisada com ênfase na determinação das classes da precipitação na escala anual, quadrimestral e mensal. Na classificação pluviométrica foi utilizado o método dos percentis (quantis). Na análise anual, 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. . O resultado da análise dos meses individuais possibilitou identificar o extremo climático com o total pluviométrico mensal mais elevado: abril de 1984. As condições médias e anômalas associadas a esse evento foram analisadas através de dados da temperatura da superfície do mar (TSM), componente zonal e meridional do vento, movimento vertical, pressão ao nível médio do mar, e radiação de onda longa, provenientes de reanálises dos National Centers for Environmental Predictions/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR). Os resultados mostram que nos três meses que antecederam abril de 1984 as anomalias de TSM foram superiores a 0,5°C na área tropical do Atlântico Sul, uma condição favorável à evaporação e, conseqüentemente, ao aumento do teor de umidade da atmosfera. No mês de abril, a área de difluência na periferia leste da alta da Bolívia posicionada ao norte de 15°S na área central da América do Sul, influenciou o Nordeste do Brasil. Paralelamente, ventos alísios de sudeste anormalmente fortes atuaram na Bahia e área oceânica próxima, uma condição propícia ao aumento do transporte de calor e umidade para o continente. Esse conjunto de fatores indica a presença de condições favoráveis ao levantamento na coluna de ar abaixo de 200 hPa e o desenvolvimento de convecção profunda na área de Salvador.

Palavras-chave: Eventos Extremos de Chuva, Percentil, Área Urbana, Nordeste do Brasil

ABSTRACT

This study aims to contribute to the study of precipitation in the city of Salvador, capital of Bahia state, the third Brazilian city in the number of inhabitants. The climatological series of the monthly rainfall totals collected by the National Institute of Meteorology (INMET) in the period 1961-2011 was the basis for this research. The rainfall variability was analyzed with an emphasis on the determination of rainfall classes on an annual, quarterly and monthly time basis. The method of percentiles was used for rainfall classification. The annual analysis shows 1964 (1961) to be the most extreme “very rainy” (“very dry”) year in the series. Most of the extreme events are in the sixties and eighties. The analysis of the rainiest four-month period (AMJJ) shows 1971 (1980) to be the most extreme “very rainy” (“very dry”). The “very rainy” events are concentrated on the seventies and eighties. By analyzing individual months the climatic extreme with the highest monthly rainfall total is identified: April 1984. The mean and anomalous conditions associated with this event were analyzed by using sea surface temperature (SST), zonal and meridional wind component, vertical motion, mean sea level pressure and outgoing longwave radiation data of the National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP / NCAR) reanalysis. The results show that during the three months that antecede April 1984 the SST anomalies were above 0.5°C on the tropical South Atlantic, a condition favorable to evaporation and, as a consequence, to an increase in the moisture content of the atmosphere. On April, the area of diffluence on the eastern periphery of the Bolivian high located to the north of 15°S in central South America, influenced Northeast Brazil. At the same time, anomalously strong southeasterly trade winds influenced Bahia and the adjacent oceanic area, a condition favorable to an increase in the heat and moisture transports towards the continent. The conjunction of these factors indicate the presence of conditions that are favorable to ascending motion in the air column below 200 hPa and deep convection development in the area of Salvador.

Keywords: Extreme Rainfall Events, Percentile, Urban Area, Northeast Brazil

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE QUADROS.....	19
LISTA DE TABELAS.....	20
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	21
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	23
CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS.....	26
2.1 OBJETIVO GERAL.....	26
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL....	27
3.2 EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA.....	28
3.3 AVALIAÇÃO DE SECA OU CHUVA EXTREMA.....	29
3.4 TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO.....	31
CAPÍTULO 4 - DADOS E METODOLOGIA.....	33
4.1 DADOS.....	33
4.2 METODOLOGIA.....	34
4.2.1 Método dos Percentis.....	34
4.2.2 Diagnóstico de Evento Climático Extremo (ECE)	36
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS.....	38
5.1 VARIABILIDADE TEMPORAL E CLASSES DA PRECIPITAÇÃO.....	38
5.1.1 Análise Anual.....	38
5.1.2 Análise Sazonal.....	42
5.2 ESTUDO DE CASO.....	60
5.2.1 Aspectos Oceânicos e da Circulação Zonal e Meridional.....	60
5.2.2 Análise Sinótica.....	69
5.2.2.1 Dezembro de 1983.....	69
5.2.2.2 Janeiro de 1984.....	73
5.2.2.3 Fevereiro de 1984.....	78
5.2.2.4 Março de 1984.....	82
5.2.2.5 Abril de 1984 (Evento Climático Extremo).....	88
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1** - Deflagradores de Desastres Naturais no Brasil no período 1900-2006. (TR – terremoto, IF - Incêndio Florestal, TX - Temperatura Extrema, SE – Seca, TE – Tempestade, ES – Escorregamento e IN - Inundação). Fonte: Adaptado de Marcelino (2008).....24
- Figura 1.2** - Distribuição dos por região geográfica do Brasil no período 1900-2006. Fonte: Adaptado de Marcelino (2008).....25
- Figura 4.1** – Área geográfica das análises de grande escala. O ponto preto no mapa assinala a localização da cidade de Salvador-BA. As faixas limitadas por linhas pontilhadas são as áreas nas quais foram obtidos valores ilustrados em seções verticais..... 33
- Figura 5.1** - Série temporal dos totais anuais de precipitação do período 1961-2011 da cidade de Salvador. A normal climatológica anual (NC), e a média anual e tendência do período de estudo também são representadas através da simbologia vista abaixo do gráfico. (Fonte de dados: INMET).....39
- Figura 5.2** - Classificação dos totais anuais de chuva da cidade de Salvador: (a) classes obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).....40
- Figura 5.3** - Série temporal dos valores mensais de precipitação (mm) correspondentes à normal climatológica (cinza escuro), e a média mensal (cinza claro) e desvio padrão (linha preta) do período 1961-2011 na cidade de Salvador. (Fonte de dados: INMET).....43
- Figura 5.4** – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no quadrimestre DJFM (dezembro-janeiro-fevereiro-março) do período de 1961-2011. A média e a tendência do quadrimestre estão representadas através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).....44

Figura 5.5 – Classificação dos totais de precipitação do quadrimestre DJFM (dezembro-janeiro-fevereiro-março) na cidade de Salvador: (a) classes obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).....45

Figura 5.6 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no quadrimestre AMJJ (abril-maio-junho-julho) do período de 1961-2011. A média e a tendência do quadrimestre estão representadas através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).....46

Figura 5.7 – Classificação dos totais de precipitação do quadrimestre AMJJ (abril-maio-junho-julho) na cidade de Salvador: (a) classes obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).....47

Figura 5.8 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no quadrimestre ASON (agosto-setembro-outubro-novembro) do período de 1961-2011. A média e a tendência do quadrimestre estão representadas através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).....48

Figura 5.9 – Classificação dos totais de precipitação do quadrimestre ASON (agosto-setembro-outubro-novembro) na cidade de Salvador: (a) classes obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).....49

Figura 5.10 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no mês de abril do período 1961-2011. A normal climatológica (NC), a média e a tendência do mês estão representados através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).....51

Figura 5.11 – Classificação dos totais de precipitação do mês de abril na cidade de Salvador: (a) classes de precipitação obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b).....52

Figura 5.12 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no mês de maio do período 1961-2011 no período de 1961-2011. A normal climatológica (NC), a média e a tendência do mês estão representados através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).....53

Figura 5.13 – Classificação dos totais de precipitação do mês de maio na cidade de Salvador: (a) classes de precipitação obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b).....54

Figura 5.14 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no mês de junho do período 1961-2011. A normal climatológica (NC), a média e a tendência do mês estão representados através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).....55

Figura 5.15 – Classificação dos totais de precipitação do mês de junho na cidade de Salvador: (a) classes de precipitação obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b).56

Figura 5.16 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no mês de julho do período 1961-2011. A normal climatológica (NC), a média e a tendência do mês estão representados através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).....57

Figura 5.17 – Classificação dos totais de precipitação do mês de julho na cidade de Salvador: (a) classes de precipitação obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b)..... 58

Figura 5.18 – Anomalias mensais de dezembro de 1983 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no canto inferior direito de (c) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....62

Figura 5.19 – Anomalias mensais de janeiro de 1984 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no canto inferior direito de (c) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....63

Figura 5.20 – Anomalias mensais de fevereiro de 1984 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no canto inferior direito de (c) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....65

Figura 5.21 – Anomalias mensais de março de 1984 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no canto inferior direito de (c) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....67

Figura 5.22 – Anomalias mensais de abril de 1984 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento (m.s^{-1}) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m.s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no canto inferior direito de (c) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....68

Figura 5.23 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para dezembro de 1983, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).70

Figura 5.24 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para dezembro de 1983, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....71

Figura 5.25 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para dezembro de 1983: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). As isolinhas contínuas (pontilhadas) representam anomalias positivas (negativas) em (b) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).72

Figura 5.26 – Radiação de onda longa (Wm^{-2}) em dezembro de 1983: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).73

Figura 5.27 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para janeiro de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).74

Figura 5.28 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para janeiro de 1984 , e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).75

Figura 5.29 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para janeiro de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). As isolinhas contínuas (pontilhadas) representam anomalias positivas (negativas) em (b) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).76

Figura 5.30 – Radiação de onda longa (Wm^{-2}) em abril de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).77

Figura 5.31 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para fevereiro de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).79

Figura 5.32 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para fevereiro de 1984 , e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).80

Figura 5.33 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para fevereiro de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....	81
Figura 5.34 – Radiação de Onda Longa (Wm^{-2}) em fevereiro de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....	82
Figura 5.35 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para março de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).	84
Figura 5.36 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para março de 1984 , e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....	85
Figura 5.37 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para março de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). Fonte de dados: NCEP/NCAR.....	86
Figura 5.38 – Radiação de Onda Longa (Wm^{-2}) em fevereiro de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....	87
Figura 5.39 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para abril de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....	89

Figura 5.40 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para abril de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....90

Figura 5.41 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para abril de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). As isolinhas contínuas (pontilhadas) representam anomalias positivas (negativas) em (b) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....91

Figura 5.42 – Radiação de Onda Longa (Wm^{-2}) em abril de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).....92

LISTA DE QUADROS

- Quadro 4.1** – Intervalos de classe para categorização da precipitação.....35
- Quadro 5.1** – Classes de precipitação da cidade de Salvador nos anos do período 1961-2011 (As abreviaturas são: MC: muito chuvoso; C: chuvoso; N: normal; S: seco; MS: muito seco).....41
- Quadro 5.2** – Classes de precipitação da cidade de Salvador nos quadrimestres do período 1961-2011. (As abreviaturas são: DJFM: dezembro (do ano anterior)-janeiro-fevereiro-março; AMJJ: abril-maio-junho-julho; ASON: agosto-setembro-outubro-novembro; MC: muito chuvoso; C: chuvoso; N: normal; S: seco; MS: muito seco).....50
- Quadro 5.3** – Classes de precipitação da cidade de Salvador nos meses do quadrimestre AMJJ do período 1961-2011. (As abreviaturas são: AMJJ: abril-maio-junho-julho; MC: muito chuvoso; C: chuvoso; N: normal; S: seco; MS: muito seco).....59

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña para o período de 1963-2010.
(Fonte: Adaptado do CPTEC).....36

Tabela 4.2 – Padrões de TSM do Pacífico Equatorial e do Atlântico Tropical Sul combinados, para o período de 1963-1999. (As abreviaturas são: ATSQ: Atlântico Tropical Sul Quente; ATSN: Atlântico Tropical Sul Neutro; ATSF: Atlântico Tropical Sul Frio).
(Fonte: Adaptado de Andreoli & Kayano, 2006).....36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB - Alta da Bolívia

ASAN - Alta Subtropical do Atlântico Norte

ASAS - Alta Subtropical do Atlântico Sul

ASPN - Alta Subtropical do Pacífico Norte

ASPS - Alta Subtropical do Pacífico Sul

ATN - Atlântico Tropical Norte

ATS - Atlântico Tropical Sul

C – Chuvoso

CN – Cavado do Nordeste

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

ECE - Eventos Climáticos Extremos

EM-DAT - Banco de Dados de Desastres Naturais no Mundo

ENOS – El Niño-Oscilação Sul

ES – Escorregamento

GRADS - Grid Analysis and Display System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IF - Incêndio Florestal

IN - Inundação

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

MC - Muito Chuvoso

MP - Método dos Percentis

MS - Muito Seco

N - Normal

NCAR - National Center for Atmospheric Research

NCEP - National Centers for Environmental Predictions

NEB - Nordeste Brasileiro

PRP - Precipitação

ROL - Radiação de Onda Longa

S - Seco

SE - Seca

TE - Tempestade

TR - terremoto

TSM - Temperatura Superfície do Mar

TX - Temperatura Extrema

VCAN - Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O estudo de eventos extremos é um tema que vem ganhando significativa atenção no meio científico, pois a partir do monitoramento de períodos secos e chuvosos é possível obter informações no tempo e espaço de características como intensidade, duração e severidade de sistemas atmosféricos, permitindo que medidas preventivas sejam tomadas em curto prazo, para minimizar impactos causados por fenômenos severos (SANTOS et al., 2011).

Diversos estudos evidenciam que os eventos extremos de precipitação tem consequências em curto e longo prazo, através de impactos diretos à agricultura e pecuária, aos recursos hídricos, à infraestrutura urbana, como também aos seres humanos, afetando o bem-estar social. Quando esses extremos da natureza atingem áreas ocupadas ou utilizadas pelo homem, resultando em danos (humanos e materiais) e prejuízos socioeconômicos, estes são considerados “desastres naturais” (KOBİYAMA et al., 2006; CHANGNON 1996).

Os desastres naturais podem ocorrer em qualquer continente, país, região, ou cidade, visto que os fenômenos naturais que os desencadeiam, como as tempestades, os terremotos e os vulcões, existem em diversas partes do globo. Entretanto, algumas regiões são mais afetadas em função da magnitude e frequência dos fenômenos e da vulnerabilidade do sistema social.

Informações do Banco de Dados de Desastres Naturais no Mundo (EM-DAT) mostram que, entre 1900 e 2006, os desastres naturais com maior número de registros foram deflagrados por inundações (35%), seguidas das tempestades (31%). Isso significa que a maior parte (66%) dos desastres naturais registrados no mundo em mais de cem anos foram causados por eventos meteorológicos extremos (SCHEUREN et al., 2007).

No Brasil, os extremos meteorológicos também são a principal causa dos desastres naturais. A Figura 1.1 mostra que as inundações foram o tipo de desastre natural mais frequentemente registrado (59%), seguidas pelos escorregamentos de massa (14%). Esses dados mostram que mais de 70% dos desastres naturais registrados no Brasil em mais de um século foram causados por eventos extremos de precipitação. Apesar das inundações serem a causa das maiores perdas econômicas e dos impactos mais significativos na saúde

pública, são os escorregamentos que geram o maior número de vítimas fatais (CARVALHO & GALVÃO, 2006). Entre 1900 e 2006 foram registrados 150 desastres naturais no País, sendo contabilizadas 8.183 vítimas fatais e perdas econômicas da ordem de 10 bilhões de dólares (SCHEUREN et al., 2007).

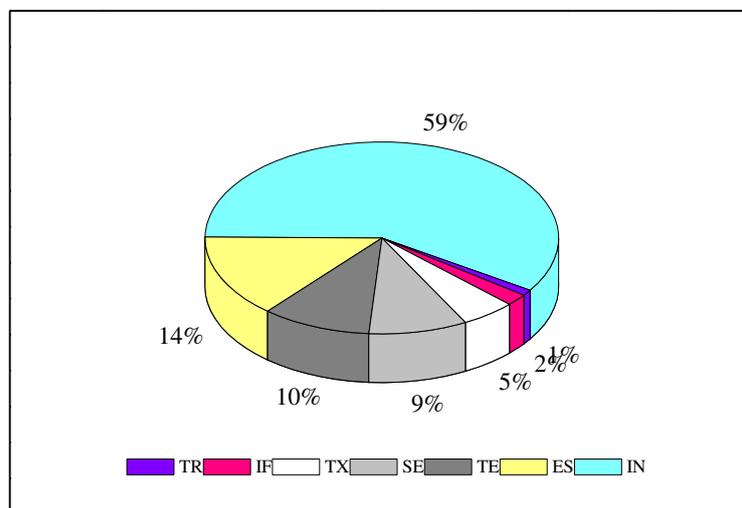


Figura 1.1 - Deflagradores de Desastres Naturais no Brasil no período 1900-2006. (TR – terremoto, IF - Incêndio Florestal, TX - Temperatura Extrema, SE – Seca, TE – Tempestade, ES – Escorregamento e IN - Inundação). Fonte: Adaptado de Marcelino (2008).

Com o passar dos séculos, a humanidade desenvolveu uma boa percepção sobre a frequência dos eventos climáticos extremos, e sobre as áreas nas quais eles têm maior probabilidade de ocorrer. Por outro lado, como resultado das mudanças climáticas a frequência dos eventos climáticos extremos aumentou, tanto em quantidade quanto em intensidade, o que vem sendo observado de forma mais evidente a partir da segunda metade do século XX (MARENGO, 2011).

Dados revelam uma tendência de aumento na frequência desses desastres no Brasil. A maior parte deles (84%) foi registrada a partir dos anos 70, mostrando um considerável aumento no número de registros de desastres naturais nas últimas décadas. Mais recentemente, Teixeira & Satyamurti (2011) encontraram um aumento na frequência de eventos extremos de chuva no Sul e Sudeste do Brasil. A distribuição espacial dos desastres naturais no Brasil mostra que a região que apresenta o maior número de registros é a Sudeste, com 40%, seguida pela Região Nordeste, com 32% do total, como pode ser visto na Figura 1.2.

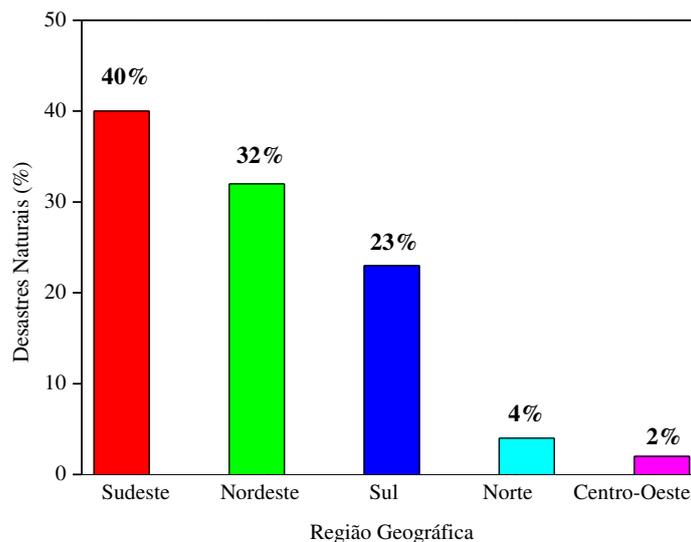


Figura 1.2 - Distribuição dos desastres naturais por região geográfica do Brasil no período 1900-2006. Fonte: Adaptado de Marcelino (2008).

Salvador, capital da Bahia, é uma das cidades da Região Nordeste com números mais elevados de desastres naturais. A topografia da cidade, com encostas íngremes e vales profundos, aliada à ocupação desordenada do solo, torna Salvador particularmente vulnerável a impactos adversos causados por chuvas fortes (SANTOS, 2008). Os transtornos causados por eventos de precipitação intensa são marcas históricas da cidade, que foi fundada no alto da escarpa, debruçada sobre o mar e assentada ao longo da zona de influência de uma falha geológica.

O presente trabalho, portanto, propõe uma contribuição ao estudo da precipitação em Salvador, por meio da classificação pluviométrica e investigação das características sinóticas e dinâmicas associadas a um evento climático extremo.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é analisar a série histórica de precipitação de Salvador para classificar os eventos de chuva, além de caracterizar as condições sinóticas e dinâmicas associadas a um evento climático extremo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a variabilidade temporal da precipitação pluviométrica anual, quadrimestral e mensal em Salvador e identificar as tendências ou mudanças na distribuição de precipitação.
- b) Determinar e classificar os totais de precipitação anual, quadrimestral e mensal em Salvador, através do Método dos Percentis.
- c) Selecionar um evento extremo chuvoso (climático) e diagnosticar as condições oceânicas e atmosféricas em grande escala desse mês, e analisar as condições climáticas que antecederam a ocorrência desse evento.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL

Xavier et al. (2003) e Santos & Brito (2007) mostraram que a precipitação sobre o Nordeste do Brasil (NEB) é influenciada pelas anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial associadas ao evento El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987), e anomalias de TSM no Atlântico Tropical associadas ao Dipolo do Atlântico, ou seja, a variabilidade na distribuição da chuva no NEB, tanto em escala espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com alterações na circulação atmosférica de grande escala, devido à interação entre os oceanos Pacífico, Atlântico e a atmosfera. O impacto causado pelo fenômeno El Niño (La Niña), um exemplo de perturbação climática de escala global, pode ser observado principalmente pela modificação no regime e no total de precipitação que, dependendo da intensidade do evento, pode resultar em secas (chuvas) severas.

Andreoli & Kayano (2006) analisaram a influência dos padrões de TSM dos Oceanos Pacífico Tropical (ENOS) e Atlântico Tropical Sul (ATS) sobre as chuvas no NEB. Os padrões de TSM foram considerados em conjunto com o objetivo de inferir a importância relativa das duas bacias oceânicas sobre a precipitação no NEB. As análises foram feitas para as estações do verão e outono austral. Utilizando a técnica de composição, seis casos foram examinados: El Niño e condições neutras no ATS, La Niña e condições neutras no ATS, ENOS neutro e ATS quente, ENOS neutro e ATS frio, El Niño e ATS quente, La Niña e ATS frio. Os resultados mais importantes foram obtidos para as composições com influências opostas entre o Pacífico e o ATS, havendo casos em que a variabilidade da TSM no ATS determina o clima do NEB.

De Souza et al. (1998) investigaram a configuração espacial das anomalias de precipitação durante a pré-estação e estação chuvosa dos setores norte e leste do NEB, em situações de configuração do Padrão de Dipolo no Atlântico. Os compostos das anomalias de precipitação indicaram que, durante os meses da pré-estação e estação chuvosa, os anos da fase positiva do Dipolo (anomalias positivas de TSM no Atlântico Norte e negativas no Atlântico Sul) estão associados à ocorrência de precipitação abaixo da média sobre os estados que compõem o setor norte e leste do NEB (exceto Sergipe, Alagoas e Bahia). Por

outro lado, nos anos da fase negativa do Dipolo (anomalias negativas de TSM no Atlântico Norte e positivas no Atlântico Sul) observou-se a ocorrência generalizada de chuvas acima da média em todos os estados do norte e leste do NEB. É importante ressaltar que os primeiros estudos sobre a relação entre a precipitação no NEB e as anomalias de TSM no Atlântico Tropical foram desenvolvidos por Hastenrath & Heller (1977) e Moura & Shukla (1981).

Sistemas frontais, convergência de umidade pelos alísios e circulações de brisa influenciam o regime pluviométrico do NEB durante todo o ano. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), os Aglomerados Convectivos e as Linhas de Instabilidade (LI) também atuam na região em épocas e áreas específicas. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Alta da Bolívia (AB) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) / cavado do Nordeste (CN) favorecem a precipitação no período de verão quando há um deslocamento para norte da ZCAS, o VCAN / CN situado sobre o Oceano Atlântico e a AB deslocada para leste em relação a sua posição climatológica (MOLION & BERNARDO, 2002; CHAVES & CAVALCANTI, 2001; KOUSKY, 1979).

Usando os dados de precipitação para o período de 1914-1983, Rao et al. (1993) determinaram os períodos secos e chuvosos do leste do Nordeste. A estação chuvosa abrange o período de abril a julho, e representa 60% da precipitação anual. A estação seca abrange os meses de setembro a dezembro, e representa 10% da precipitação anual. As chuvas de outono e inverno são associadas com ventos de sudeste, perpendiculares à costa. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) modula a intensidade e a direção dos ventos alísios ao longo da costa e, dessa forma, tem uma influência determinante sobre as variações da chuva no leste do NEB.

3.2 EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA

O NEB é muito susceptível à ocorrência de desastres naturais, motivando vários pesquisadores a direcionar seus estudos para a compreensão e previsão de eventos extremos de precipitação, e de suas consequências para a sociedade. As conclusões de alguns desses trabalhos são apresentadas a seguir.

Barbosa & Correia (2005) investigaram a natureza e distribuição dos sistemas convectivos responsáveis por altos índices pluviométricos e inundações em áreas do NEB.

Episódios extremos no período chuvoso da região e um evento incomum de intensa atividade convectiva registrado no mês de junho foram analisados. Os resultados mostraram que o ambiente sinótico foi determinante na evolução dos sistemas precipitantes observados, e que a convergência do fluxo de umidade em baixos níveis foi fundamental para a ocorrência da convecção profunda. Observaram também que os sistemas convectivos intensos que se desenvolveram no dia 05 de junho de 1985 tiveram origem em um sistema frontal que atingiu o sul do NEB.

Com o objetivo de diagnosticar a evolução do cenário sinótico-dinâmico em superfície e em altitude e mostrar impactos ocasionados por eventos de chuva intensa na cidade de Salvador-BA, Santos (2008) analisou dois eventos ocorridos no ano de 2006. O primeiro evento extremo de chuva foi ocasionado pelo avanço de um sistema frontal austral, e o segundo por aglomerados convectivos cujo desenvolvimento na área costeira leste do NEB foi favorecido por um distúrbio de leste detectado no escoamento de 500 hPa. Nos dois eventos, as chuvas fortes ocorreram durante a madrugada e o início da manhã e causaram vários tipos de problema na cidade, como deslizamento de terra, desabamento de imóvel, obstrução de rua e desabamento de muro.

Nos dias 17, 18 e 19 de junho de 2010, um sistema convectivo de escala subsinótica provocou chuvas intensas em cidades localizadas nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba, em Alagoas. As chuvas, em particular a do dia 18, também foram registradas no nordeste de Pernambuco, na bacia do Rio Capibaribe, e causaram inundações, mortes, danos materiais e outros transtornos para a população local (MARENGO, 2011; FIALHO & MOLION, 2011).

A ocorrência desses episódios de chuva intensa ao longo dos anos motivou o desenvolvimento de metodologias que possibilitaram diferenciar as intensidades de precipitação como, por exemplo, chuva acima da média e chuva muito acima da média, sendo esta última classe denominada de extremo. Algumas dessas metodologias são discutidas a seguir.

3.3 AVALIAÇÃO DE SECA OU CHUVA EXTREMA

No decorrer dos anos, diferentes métodos foram desenvolvidos e utilizados para analisar a intensidade de períodos secos e chuvosos. Dentre os principais usados para quantificar e monitorar eventos extremos de excesso ou escassez de chuva pode-se citar:

Índice de Anomalia de Precipitação, Índice de Porcentagem Normal, Método dos Percentis, Índice de Severidade de Seca de Palmer e Índice Padronizado de Precipitação, dentre outros.

A Técnica dos Percentis (quantis) proposta por Pinkayan (1966), amplamente utilizada por Xavier (2001) para estabelecer a classificação e monitoramento de períodos secos e chuvosos, baseia-se na distribuição da frequência acumulada, sendo que a aproximação da função densidade de probabilidade que descreve o fenômeno é tanto melhor quanto maior é o número de observações disponíveis. Os intervalos de cada percentil representam as probabilidades ou frequências esperadas para cada um dos eventos que podem ocorrer na sequência da série temporal de uma variável X.

Ananias et al. (2010) realizaram um estudo diagnóstico da estrutura vertical da atmosfera na cidade de Belém-PA, usando perfis verticais de temperatura, temperatura do ponto de orvalho e umidade relativa do mês de novembro. As análises foram realizadas para duas composições contrastantes no que se refere ao regime de precipitação: a composição dos anos chuvosos e a composição dos anos secos, objetivamente determinados pelo método dos percentis. As composições mostraram que os perfis de temperatura e umidade apresentam condições anormalmente mais quentes (frias) e úmidas (secas) nos anos com registro de chuva acima (abaixo) da normal da região.

Lopes (2009) analisou a climatologia do Estado do Pará classificando a precipitação com o uso do Método do Percentil. Ele concluiu que o estado apresenta heterogeneidade pluviométrica, e que o nordeste paraense é a área mais chuvosa durante todo o ano. Por outro lado, diferentemente do que se conhecia até então, foi evidenciado um núcleo de precipitação significativa no noroeste do Estado, e a possibilidade da existência de outros núcleos no outono, apesar de menos intensos. Paralelamente, a ilha do Marajó apresenta certa variabilidade espacial na estação chuvosa, com índices mais expressivos na porção leste, acentuadamente influenciada por circulações de brisa e pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Num estudo climatológico é possível identificar características da chuva ao longo do tempo em uma determinada região, a também chamada “tendência da precipitação”. Alguns trabalhos que usam essa abordagem são apresentados a seguir.

3.4 TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO

Vários estudos já foram realizados com o objetivo de analisar a tendência da precipitação em diversas regiões do mundo. Dentre esses estudos alguns investigam a tendência no NEB.

Estudos realizados por Dai et al. (1997), IPCC (2007), Alexander et al. (2006), Alley et al. (2007) e Del Río et al. (2011) indicam mudanças na precipitação em diversas áreas continentais do globo durante o século XX, majoritariamente com tendências positivas estatisticamente significativas na área leste da América do Sul e América do Norte, norte da Europa e Ásia).

A análise de dados coletados em estações de superfície no período de 1960 a 2000 mostram que houve tendência positiva em casos extremos de precipitação mostrados por índices, no Sul e Sudeste do Brasil, enquanto que no NEB a tendência foi negativa (HAYLOCK et al., 2006). Contudo, Lacerda et al. (2010) mostram que na década de 2000 houve recordes históricos de totais diários de chuva no estado de Pernambuco, especificamente nas bacias hidrográficas do Una e do Mundaú. Tendências positivas no número de casos no Sul e Sudeste do Brasil também foram registradas por Marengo et al. (2007, 2010a), Penalba & Robledo (2010) e Rusticucci et al. (2010).

Marengo et al. (2009) e Groisman et al. (2005) identificaram tendência de aumento da precipitação a partir da década de 1950 nas Regiões Nordeste e Sul do Brasil (que tem maior quantidade de registros pluviométricos históricos), detectando um aumento na frequência dos eventos pluviais extremos, principalmente sobre a região Sudeste, e que esses eventos, segundo Carvalho et al. (2002), ocorrem mais durante períodos de El Niño, principalmente sobre o Estado de São Paulo.

Em síntese, de acordo com as avaliações contidas no Relatório de 2007 do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) haverá, no decorrer deste século, aumento de chuva nas regiões que já são bem providas de chuvas e diminuição nas regiões que já sofrem com a escassez de água, além do aumento tanto na frequência quanto na intensidade dos eventos extremos, como furacões, inundações e secas prolongadas. Todavia, o quadro geral de mudanças no regime de chuvas não se aplica a todas as regiões do globo terrestre.

No Brasil, é esperado aumento na precipitação da Região Sul, Amazônia ocidental e região litorânea entre o Amapá e Ceará, para o início do século XXI. Redução nas chuvas é esperada no sul e centro da Amazônia, no Centro-oeste e na maior parte do NEB,

enquanto que o número de dias chuvosos consecutivos tende a diminuir na maior parte do NEB, no Centro-oeste e no oeste e sul da Amazônia. Já em relação aos índices extremos de chuva, é observada tendência de aumento, tanto na frequência quanto na intensidade de eventos de chuva extrema no Sul e Sudeste do Brasil e também, embora menor, na área ocidental e oriental-litorânea da Amazônia, e no norte do NEB. Por outro lado, no sul da Amazônia e em grande parte do NEB é detectada redução nos extremos de chuva (IPCC, 2007).

CAPÍTULO 4

DADOS E METODOLOGIA

4.1 DADOS

Os dados de precipitação utilizados neste trabalho são provenientes do banco de dados de superfície da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na cidade de Salvador (12,97°S; 38,57°W; 51,41m). Foram analisados 51 (cinquenta e um) anos de registros mensais, compreendendo o período de 1961 a 2011.

Dados globais atmosféricos e oceânicos mensais, de reanálise, das componentes zonal e meridional do vento, do movimento vertical, da temperatura da superfície do mar (TSM), da pressão ao nível médio do mar (PNMM), e da radiação de onda longa (ROL), dos *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR), foram utilizados para caracterizar as condições médias e anômalas da atmosfera e dos oceanos, para o período em estudo. Esses dados encontram-se dispostos em uma grade regular com resolução espacial de 2,5° latitude x 2,5° longitude e abrangem o período de 1979 a 2010. A Figura 4.1 mostra a área das análises de grande escala, que se estende de 45°N a 45°S de latitude, e de 180°W a 180°E de longitude.

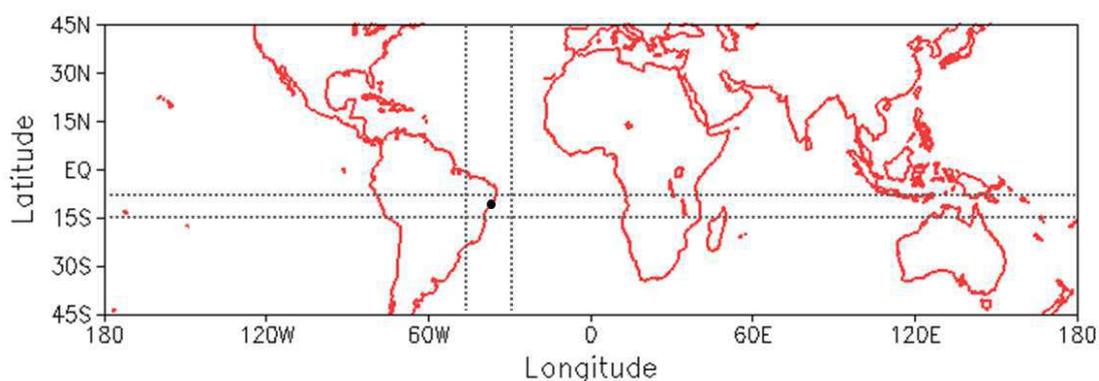


Figura 4.1 – Área geográfica das análises de grande escala. O ponto preto no mapa assinala a localização da cidade de Salvador-BA. As faixas limitadas por linhas pontilhadas são as áreas nas quais foram obtidos valores ilustrados em seções verticais.

Localizada no litoral leste da Região Nordeste, a cidade de Salvador (12°S/38°W) ocupa uma área em torno de 700 km², onde vivem aproximadamente 2.675.656 pessoas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE). Apresenta clima quente e úmido e

total anual de chuva em torno de 2000 mm. Salvador divide-se em Cidade Baixa e Cidade Alta. A primeira compreende uma estreita planície litorânea que se estende ao longo do mar e se alonga na altura da península de Itapagipe, e a segunda é composta por uma escarpa de 60 a 80 m de altura, que conduz à parte mais elevada do relevo, que na maior parte da cidade apresenta-se acidentado e com vales profundos.

O crescimento urbano tem causado grandes transformações em Salvador, principalmente devido a práticas inadequadas de ocupação e uso do solo. Associado a essa expansão há um fator de grande importância que é a estação chuvosa da cidade. As chuvas fortes propiciam condições extremamente favoráveis ao escoamento superficial, pois reduzem significativamente a capacidade de infiltração da água no solo. Esse processo de saturação do terreno, em associação com os tipos de solo da cidade (massapé na área do subúrbio ferroviário) e com a ocupação desordenada das encostas, potencializa a ocorrência dos deslizamentos (Álvares Neto, 2006).

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Método dos Percentis (MP)

Os dados de precipitação passaram por um tratamento estatístico visando distribuir em classes a variável em estudo, de modo a caracterizar os períodos de anomalia de acordo com a intensidade do evento.

A técnica dos quantis é uma metodologia que consiste estritamente na distribuição em ordenamento crescente de uma série amostral contínua. Neste trabalho a série está constituída pelos totais de chuva (anuais, quadrimestrais ou mensais), de um período de cinquenta e um anos de dados, para a qual se atribui uma probabilidade p univocamente para cada valor amostral (XAVIER, 1999; XAVIER et al., 2002). Assim, a série temporal pode ser distribuída sob a forma $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, na qual x_1 representa o menor valor e x_n o maior valor da série. O índice n , portanto, representa o tamanho da amostra. Por fim, são calculados os quantis sendo que, neste caso em particular, percentis, visto que a divisão considera cem partes. Logo, a equação usada para obter o p -ésimo percentil de n valores

ordenados é correspondente ao valor que ocupa a posição $k = \frac{p(n+1)}{100}$, arredondada para o inteiro mais próximo. sendo $k = k$ -ésimo percentil de valores em um intervalo sendo que k está no intervalo 0...1.

A seguir, são obtidas as ordens quantílicas e a classificação em grupos propriamente dita. Este trabalho utiliza as ordens quantílicas $q_{0,15}$; $q_{0,35}$; $q_{0,65}$ e $q_{0,85}$ para estabelecer as classes com relação aos valores observados (x_i) de precipitação (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Intervalos de classe para categorização da precipitação

Classes de Precipitação		
Muito Seco “MS”	quando	$x_i \leq q_{0,15}$
Seco “S”	quando	$q_{0,15} < x_i \leq q_{0,35}$
Normal “N”	quando	$q_{0,35} < x_i < q_{0,65}$
Chuvoso “C”	quando	$q_{0,65} \leq x_i < q_{0,85}$
Muito chuvoso “MC”	quando	$x_i \geq q_{0,85}$

As classes acima permitem, portanto, selecionar de forma objetiva e rápida os eventos climáticos anômalos e de interesse para estudo em um determinado período, tais como episódios de extremos secos e chuvosos, bem como o padrão normal. Vale ressaltar que, para o cálculo do quadrimestre DJFM do primeiro ano em estudo, 1961, foram considerados apenas os meses de janeiro, fevereiro e março, já que o volume pluviométrico de dezembro de 1960 não estava disponível. É mostrado nos resultados que o fato de usar apenas três meses não alterou o resultado da classe para este quadrimestre, já que 1961 foi um ano extremo seco, além de que o total pluviométrico desse quadrimestre ficou bem próximo do observado nos anos seguintes, com diferença em torno de 15 mm.

As classes obtidas, em particular os extremos MC e MS, foram relacionadas com os eventos ENOS identificados no Pacífico Equatorial disponíveis na página eletrônica do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) (Tabela 4.1). As classes também foram relacionadas com a classificação (conjunta) para o Atlântico Tropical Sul e a mesma área do Pacífico de Andreoli & Kayano (2006) (Tabela 4.2). Vale destacar que essas duas fontes de informação utilizam critérios distintos na identificação de eventos ENOS, o que acarreta dissimilaridade entre as respectivas classificações em alguns anos.

Tabela 4.1 - Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña para o período de 1963-2010. (Fonte: Adaptado do CPTEC).

Ocorrência de El Niño		Ocorrência de La Niña	
-	1963	1964 -1965	1970 -1971
1965 - 1966	1968 - 1970	1973 - 1976	1983 -1984
1972 -1973	1976 - 1977	1984 - 1985	1988 -1989
1977 - 1978	1979 – 1980	1995 - 1996	1998 - 2001
1982 - 1983	1986 – 1988	2007 -2008	-
1990 - 1993	1994 - 1995	-	-
1997 - 1998	2002 - 2003	-	-
2004 - 2005	2006 – 2007	-	-
2009 - 2010	-	-	-

Tabela 4.2 – Padrões de TSM do Pacífico Equatorial e do Atlântico Tropical Sul combinados, para o período de 1963-1999. (As abreviaturas são: ATSQ: Atlântico Tropical Sul Quente; ATSN: Atlântico Tropical Sul Neutro; ATSF: Atlântico Tropical Sul Frio). (Fonte: Adaptado de Andreoli & Kayano, 2006).

El Niño, ATSQ	El Niño, ATSN	La Niña, ATSF	La Niña, ATSN	ENOS Neutro, ATSQ	ENOS Neutro, ATSF
1972 - 73	1986 - 87	1975 - 76	1967 - 68	1963 - 64	1969 - 70
1982 - 83	1991 - 92	1996 - 97	1970 - 71	1983 - 84	1977 - 78
1997 - 98	-	-	1973 - 74	1987 - 88	1980 - 81
-	-	-	1984 - 85	1994 - 95	-
-	-	-	1988 - 89	-	-
-	-	-	1998 - 99	-	-

4.2.2 Diagnóstico de Evento Climático Extremo (ECE)

Após a classificação da precipitação por meio do MP, foi selecionado como evento climático extremo (ECE), o mês que apresentou o maior total pluviométrico da série observada com o objetivo de caracterizar as condições atmosféricas e oceânicas nessa situação extrema. As variáveis mencionadas na seção 4.1 foram analisadas através de seus valores médios mensais e respectivas anomalias, calculadas a partir de uma base climatológica de 32 anos, compreendendo o período de 1979 a 2010. Também foram analisadas as condições atmosféricas e oceânicas dos quatro meses que antecederam o ECE

selecionado, para investigar a influência de condições de meses anteriores no desenvolvimento do ECE.

Inicialmente, foram elaborados mapas com a distribuição horizontal das anomalias de TSM e seções retas verticais para ilustrar a circulação anômala zonal e meridional. Na seção reta vertical zonal foram utilizadas as anomalias da componente zonal do vento e do movimento vertical, sendo representada a média calculada para a faixa latitudinal de 9°S a 15°S, de forma que a latitude de Salvador (12°S) está no ponto médio da faixa. Analogamente, foi selecionada a faixa longitudinal de 30°W a 50°W para obtenção das médias das anomalias da componente meridional do vento e do movimento vertical representadas nas seções retas verticais meridionais. Este tipo de representação possibilitou diagnosticar as áreas com movimentos verticais anômalos na troposfera, tendo como ponto de referência as coordenadas geográficas de Salvador. Posteriormente, foram elaborados mapas para ilustrar as condições médias e anômalas da circulação atmosférica em níveis representativos da baixa e alta troposfera (850 e 200 hPa), da pressão ao nível médio do mar (PNMM), e da radiação de onda longa (ROL), uma vez que essa última variável possibilita identificar a presença de nuvens com grande desenvolvimento vertical.

Os mapas e seções retas verticais para a análise em grande escala foram gerados usando o software GrADS, que consiste em um sistema interativo de visualização e análise de dados em pontos de grade utilizado nas tarefas de acesso, manipulação e visualização de dados geofísicos em geral. O GrADS trabalha com matrizes de dados nos formatos BINÁRIO, GRIB, NetCDF ou HDF-SDS, nas quais as variáveis podem possuir até 4 dimensões (longitude, latitude, níveis verticais e tempo) especificadas por um arquivo descritor.ctl. (Fonte: <http://grads.iges.org/grads/grads.html>). Atualmente, o GrADS é o software mais utilizado nos centros operacionais e de pesquisa meteorológica do mundo, inclusive no Brasil.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 VARIABILIDADE TEMPORAL E CLASSES DA PRECIPITAÇÃO

5.1.1 Análise Anual

A Figura 5.1 ilustra a variabilidade dos totais anuais de precipitação, e a média anual e tendência no período em estudo, juntamente com o valor da normal anual para comparação. Observa-se uma tendência negativa, com uma redução de aproximadamente 4,0 mm/ano. A quase totalidade dos maiores volumes de chuva ocorreu até a década de 80. É possível verificar também que a média da série temporal (2014,9 mm) ficou 111,2 mm abaixo da normal climatológica (2126,1 mm). Os anos com maiores volumes de chuva foram 1964 e 1989. Nesses anos o fenômeno La Niña estava configurado no Oceano Pacífico segundo tabela disponível na página eletrônica do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE. No Oceano Atlântico Sul, a temperatura da superfície do mar nos primeiros cinco meses do ano esteve acima da média em 1964 e em torno da normalidade em 1989, segundo Andreoli e Kayano (2006). Sendo assim, as condições nos dois oceanos favoreciam chuvas acima da média na área do Nordeste. Observa-se ainda que os anos com menores volumes de chuva foram 1961 com 946,1 mm, e 1993 com 1235,4 mm. Nesse último ano o fenômeno El Niño estava configurado no Oceano Pacífico segundo o CPTEC/INPE, uma condição que inibe a ocorrência de precipitação na região. No ano de 1961 a TSM esteve dentro dos padrões de neutralidade.

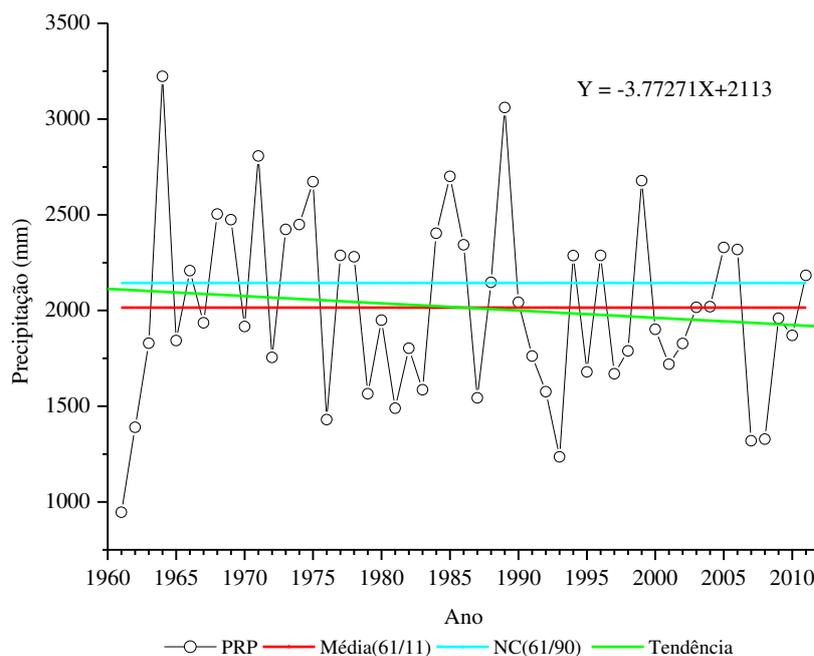
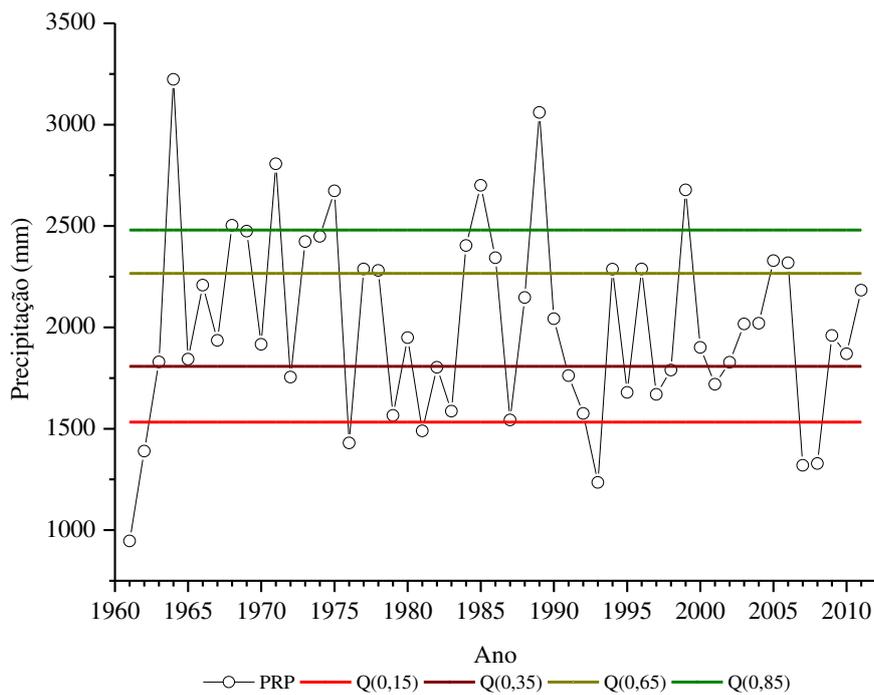
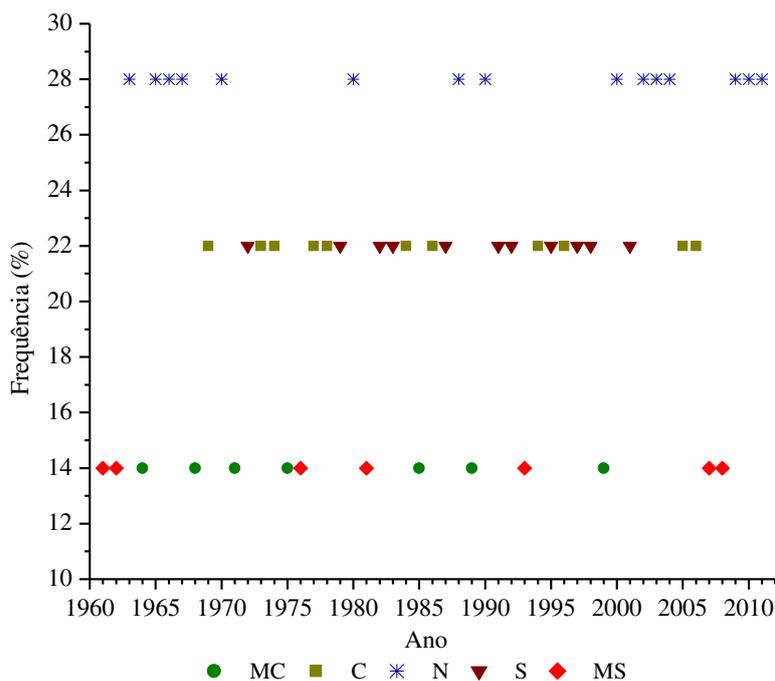


Figura 5.1 - Série temporal dos totais anuais de precipitação do período 1961-2011 da cidade de Salvador. A normal climatológica anual (NC), e a média anual e tendência do período de estudo também são representadas através da simbologia vista abaixo do gráfico. (Fonte de dados: INMET).

A Figura 5.2a mostra as classes de precipitação obtidas usando o MP. Observa-se que, além dos anos já citados como mais chuvosos, os anos de 1968, 1971, 1975, 1985 e 1999 foram classificados como “muito chuvosos”. Em contrapartida, além dos anos citados como mais secos, os anos de 1962, 1976, 1981, 2007 e 2008 também foram classificados como “muito secos”. O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência na Figura 5.2b: 14% “muito chuvoso” (MC), 22% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 22% “seco” (S) e 14% “muito seco” (MS). A figura também mostra a classe de precipitação correspondente a cada ano do período 1961-2011, evidenciando que os eventos extremos (“muito seco” e “muito chuvoso”) ocorreram em maior número nas décadas de 60 e 80. Na década de 90 predominaram os eventos “secos”. O Quadro 5.1 também mostra uma síntese das classes de precipitação anual.



(a)



(b)

Figura 5.2 - Classificação dos totais anuais de chuva da cidade de Salvador: (a) classes obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).

Quadro 5.1 – Classes de precipitação da cidade de Salvador nos anos do período 1961-2011 (As abreviaturas são: MC: muito chuvoso; C: chuvoso; N: normal; S: seco; MS: muito seco).

Ano	Ano/Classe de Precipitação				
	MC	C	N	S	MS
1961					
1962					
1963					
1964					
1965					
1966					
1967					
1968					
1969					
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978					
1979					
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986					
1987					
1988					
1989					
1990					
1991					
1992					
1993					
1994					
1995					
1996					
1997					
1998					
1999					
2000					
2001					
2002					
2003					
2004					
2005					
2006					
2007					
2008					
2009					
2010					
2011					

5.1.2 Análise Sazonal

A climatologia da precipitação em Salvador é ilustrada na Figura 5.3 que mostra o desvio padrão e a média mensal para o período de 1961 a 2011, e a normal climatológica (NC) do período de 1961-1990. O gráfico evidencia que o quadrimestre abril-maio-junho-julho (AMJJ) é o mais chuvoso, em concordância com o resultado encontrado por Rao et al. (1993) para o leste do Nordeste. Nota-se que os menores valores de desvio padrão do período em estudo ocorreram nos quadrimestres menos chuvosos, constituídos pelos meses de agosto a novembro (ASON) e de dezembro a março (DJFM). Isto significa que houve menos variação nos volumes de precipitação nos meses em que esta variável apresenta-se em menor quantidade. Entretanto, em vários meses o desvio padrão está próximo da média, particularmente em dezembro e janeiro.

No quadrimestre chuvoso (abril a julho) observam-se os maiores valores de desvio padrão, com mínimo de 81,3 mm em julho e máximo de 200,5 mm em abril, ou seja, ocorreu uma maior variação nos volumes pluviométricos dos meses deste quadrimestre, mostrando assim, um contraste em relação aos resultados obtidos no período menos chuvoso discutido anteriormente. Em relação à média de precipitação dos anos em estudo e à normal climatológica (NC), verifica-se que não há grandes diferenças, com máximo de 44 mm no mês de janeiro. Vale destacar também que nos meses do quadrimestre AMJJ a média (1961/2011) aumentou em relação à NC, com exceção do mês de maio.

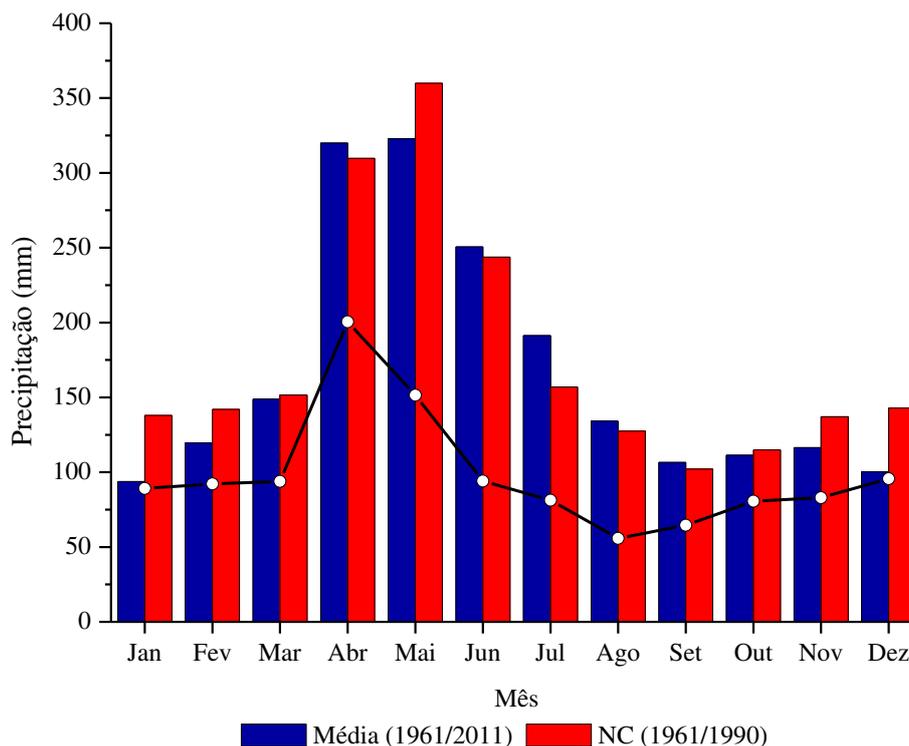


Figura 5.3 - Série temporal dos valores mensais de precipitação (mm) correspondentes à normal climatológica (vermelho), e à média mensal (azul) e desvio padrão (linha preta) do período 1961-2011 na cidade de Salvador. (Fonte de dados: INMET).

Tendo em vista essas características climatológicas, a seguir são analisados os totais dos três quadrimestres (AMJJ, ASON, DJFM) e os totais mensais do quadrimestre chuvoso. A variabilidade interanual dos totais quadrimestrais de precipitação, a respectiva média e tendência no período em estudo, e as classes de precipitação obtidas pelo MP, para cada quadrimestre do ano, são ilustradas nas Figuras 5.4 a 5.9.

Verifica-se que os valores máximos de chuva no quadrimestre DJFM ocorreram nas décadas de 60 e 70, com destaque para o ano de 1964 com 1288,2 mm (Figura 5.4). Observa-se também que o regime de chuva apresentou uma tendência de decréscimo no decorrer do período. O valor mínimo de precipitação foi de 132,1 mm registrado no ano de 1961. A média deste quadrimestre foi de 460,0 mm. A Figura 5.5 mostra as classes de precipitação para este quadrimestre. Nota-se que, além do ano citado como extremo chuvoso, também foram classificados como MC os anos de 1968, 1970, 1974, 1978, 1980 e 2005. Os anos MS, além de 1961, foram 1973, 1982, 1993, 1995, 2006 e 2010 (Figura 5.5a). O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência, no período de 1961-2011 na Figura 5.5b: 14% “muito chuvoso” (MC), 22% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 22% “seco” (S) e 14% “muito seco” (MS). Destaca-se também que

quase todos os eventos “muito chuvosos” ocorreram nas décadas de 60 e 70, e que nas décadas de 80 e 90 predominaram os eventos “chuvosos” e “secos”.

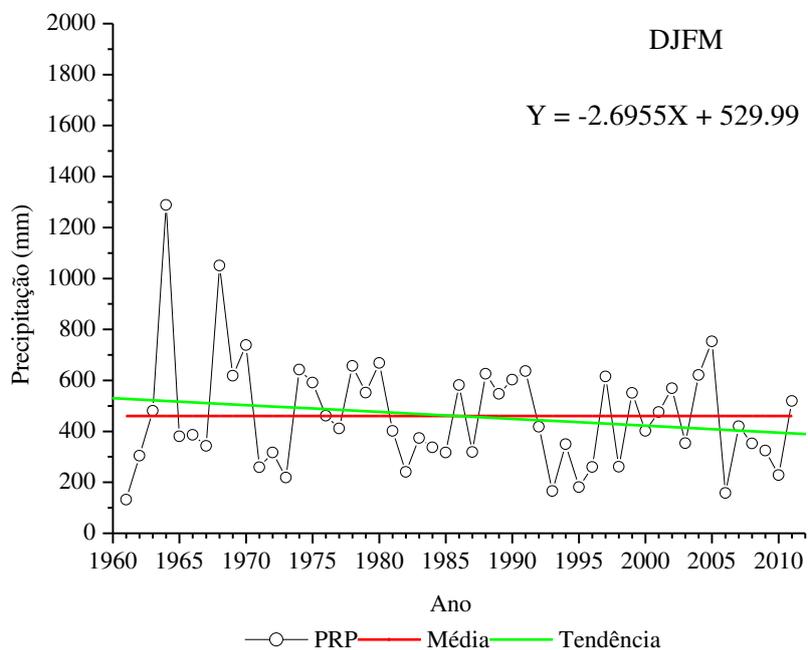
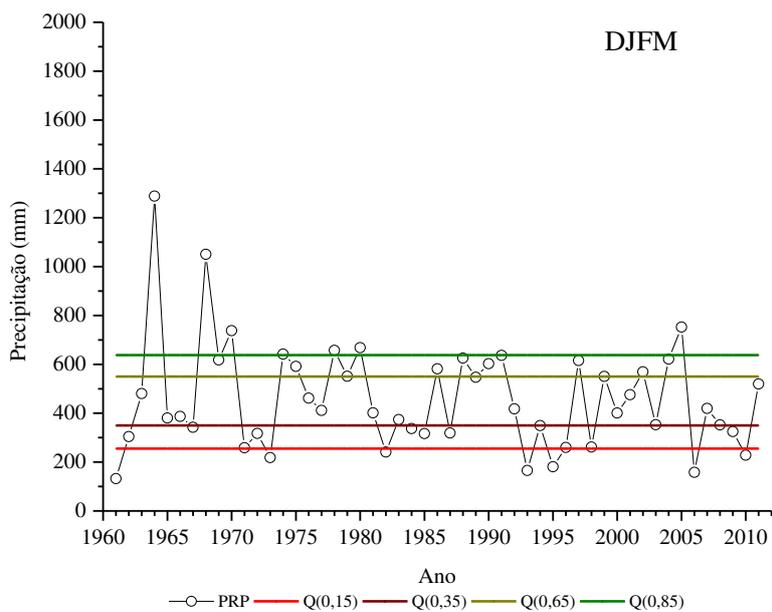
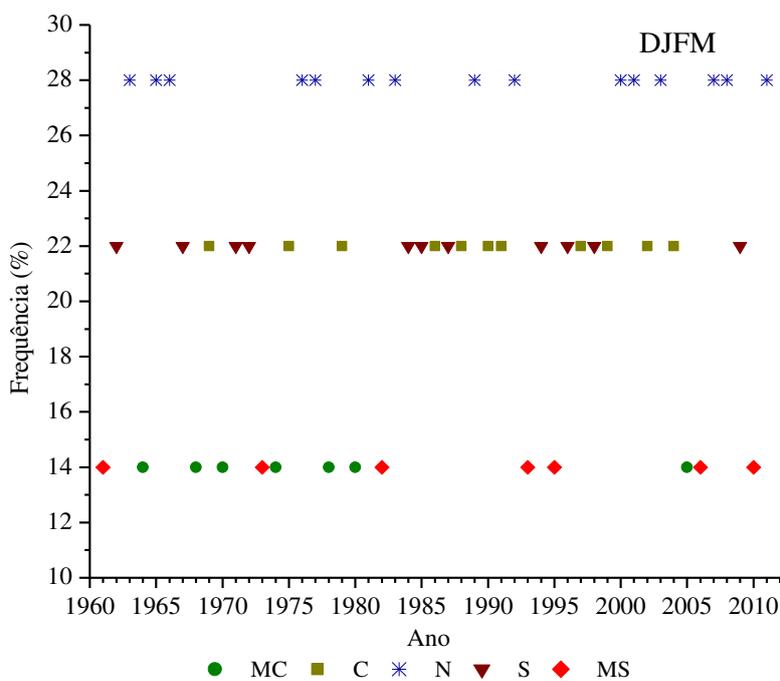


Figura 5.4 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no quadrimestre DJFM (dezembro-janeiro-fevereiro-março) do período de 1961-2011. A média e a tendência do quadrimestre estão representadas através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).



(a)



(b)

Figura 5.5 – Classificação dos totais de precipitação do quadrimestre DJFM (dezembro-janeiro-fevereiro-março) na cidade de Salvador: (a) classes obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).

O quadrimestre AMJJ, com média de 1084,6 mm e uma amplitude de 1278,1 mm entre o ano mais chuvoso e o menos chuvoso, apresentou uma pequena tendência de decréscimo na precipitação (Figura 5.6). Os maiores volumes pluviométricos foram

registrados entre as décadas de 70 e 90. No decorrer deste período, o ano com total mais elevado foi 1971, com o volume de chuva alcançando 1830,4 mm no quadrimestre. Segundo Andreoli & Kayano (2006), neste ano houve influência do fenômeno La Niña (favorável ao aumento da chuva sobre a região) e condições de neutralidade no Atlântico Sul (Tabela 4.2). Além deste, os anos classificados como MC para este quadrimestre foram 1973, 1975, 1984, 1985, 1989, 1994 e 2006 (Figura 5.7a). Sob influência do El Niño, e de TSM anômala fria no Atlântico Sul, cenários estes que desfavorecem a chuva sobre a região, o ano de 1980 foi o mais seco do quadrimestre, registrando 552,3 mm. Além deste, os anos classificados com MS foram 1961, 1976, 1983, 1992, 2001, 2007 e 2008. O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência no período de 1961-2011 na Figura 5.7b: 16% “muito chuvoso” (MC), 20% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 20% “seco” (S) e 16% “muito seco” (MS). Vale destacar a concentração de eventos “muito chuvosos” nas décadas de 70 e 80, e o número relativamente elevado de eventos “muito secos” na década de 2000.

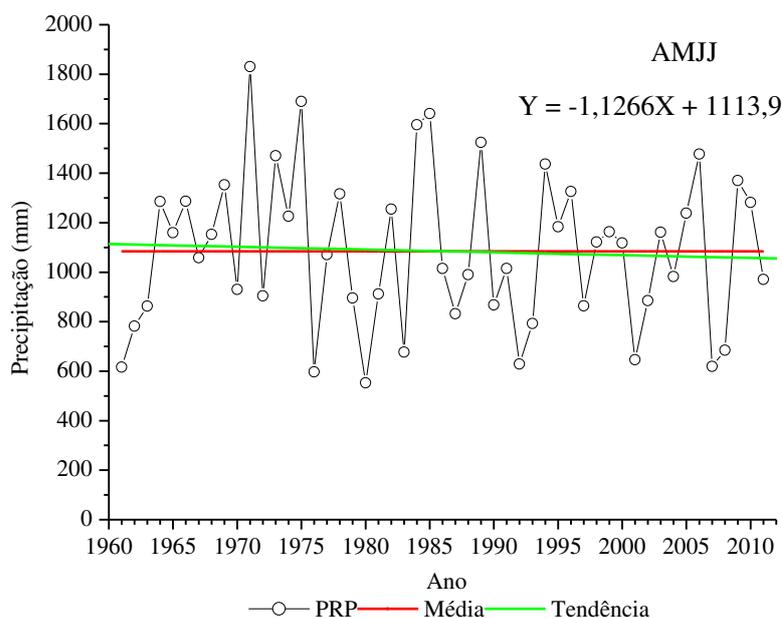
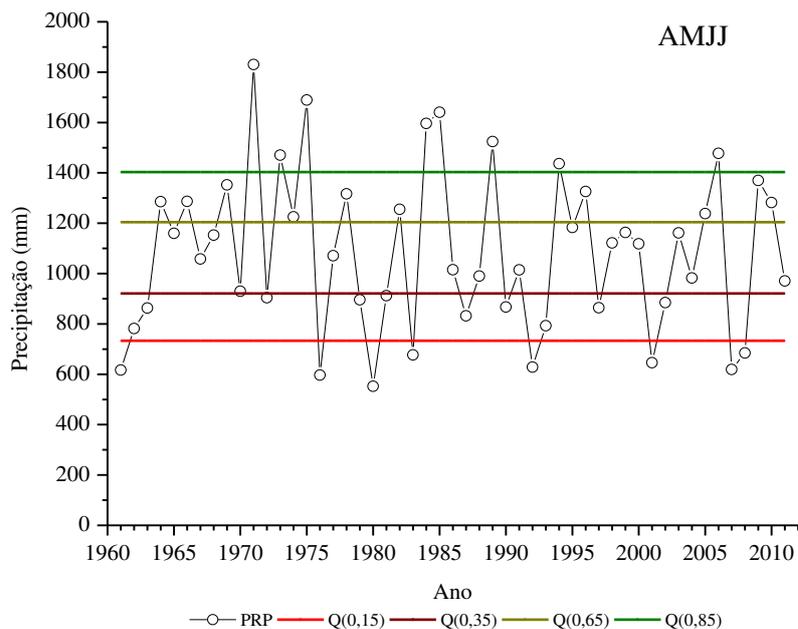
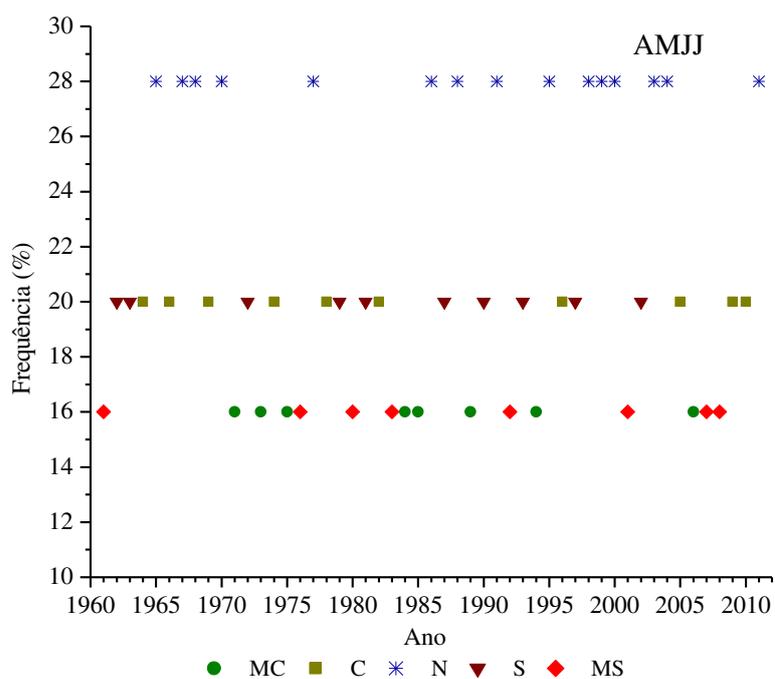


Figura 5.6 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no quadrimestre AMJJ (abril-maio-junho-julho) do período de 1961-2011. A média e a tendência do quadrimestre estão representadas através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).



(a)



(b)

Figura 5.7 – Classificação dos totais de precipitação do quadrimestre AMJJ (abril-maio-junho-julho) na cidade de Salvador: (a) classes obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).

A Figura 5.8 ilustra a variabilidade interanual dos totais de precipitação, e a média e tendência do quadrimestre ASON. Observa-se pequena variabilidade na precipitação, quase não se observando tendência no período. Porém ressalta-se que, embora pequena, foi

o único quadrimestre a apresentar tendência positiva, indicando assim um leve aumento dos totais pluviométricos no período. O máximo chuvoso ocorreu no ano de 1999 (904,1 mm), sob condições de La Niña configurado no Pacífico, e neutralidade da TSM no Atlântico Sul (Tabela 4.2). Os anos de 1964, 1973, 1980, 1986, 1989, 1990 e 2006 também foram classificados como MC (Figura 5.9a). Os anos de 1961, 1963, 1979, 1981, 1997, 2005, 2008, e 2010 foram classificados como MS, com destaque para 1961, com 130,9 mm (Figura 5.9a). O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência no período de 1961-2011 na Figura 5.9b: 16% “muito chuvoso” (MC), 20% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 20% “seco” (S) e 16% “muito seco” (MS). A figura também evidencia o número relativamente elevado de eventos “muito chuvosos” na década de 80 e início da década de 90, e a sucessão de eventos “muito secos” e “muito chuvosos” no final do período de estudo.

Destaca-se que o quadrimestre mais chuvoso foi AMJJ (conforme visto anteriormente), e o menos chuvoso foi ASON. Uma síntese das classes de precipitação quadrimestral é vista no Quadro 5.2.

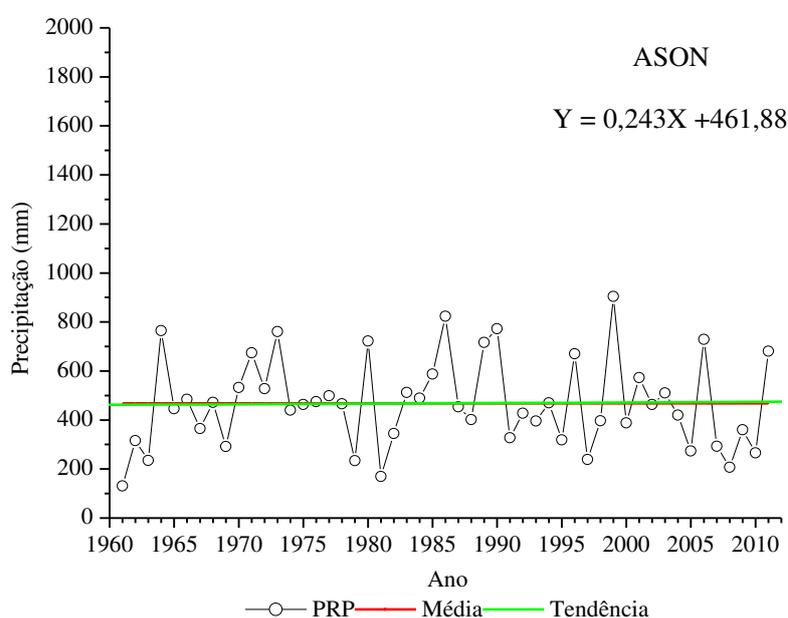
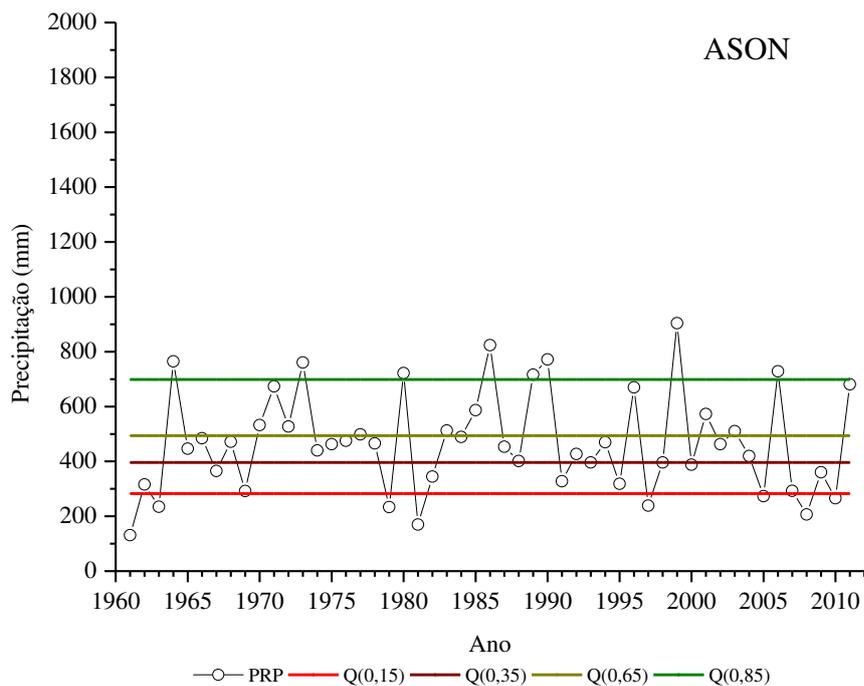
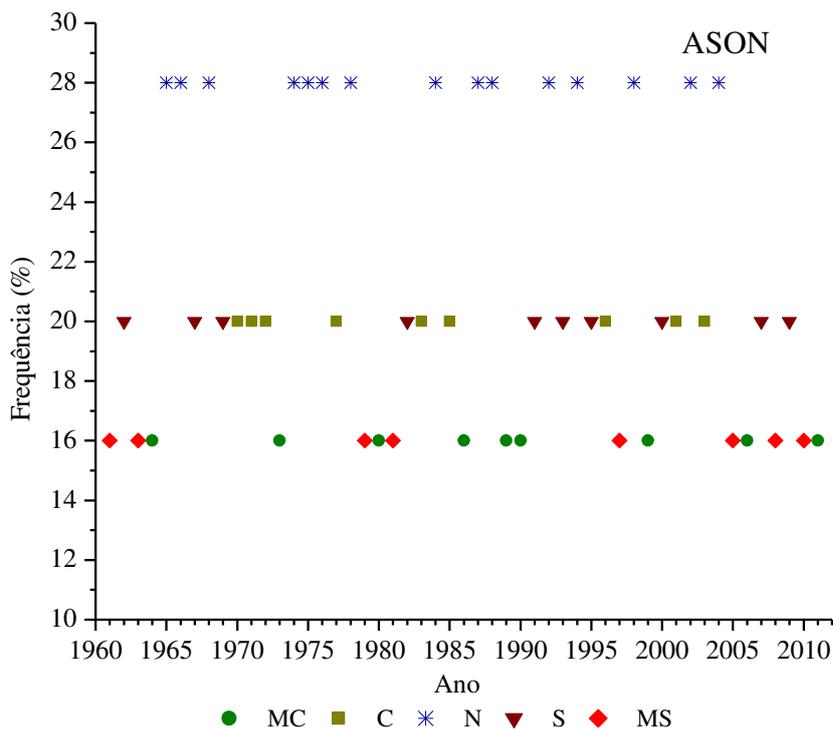


Figura 5.8 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no quadrimestre ASON (agosto-setembro-outubro-novembro) do período de 1961-2011. A média e a tendência do quadrimestre estão representadas através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).



(a)



(b)

Figura 5.9 – Classificação dos totais de precipitação do quadrimestre ASON (agosto-setembro-outubro-novembro) na cidade de Salvador: (a) classes obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).

Tendo em vista os resultados obtidos, compatíveis com estudos anteriores que identificam o período de abril a julho como o quadrimestre chuvoso de Salvador, foi decidido analisar esses meses individualmente, tendo como objetivo identificar eventos mensais de chuva extrema em uma época do ano na qual as condições climáticas representam um fator favorável à ocorrência de desastres naturais.

Observa-se que o mês de abril foi o que apresentou volumes pluviométricos mais elevados, com média de 319,89 mm, e tendência positiva, o que indica um aumento no volume de chuva no decorrer do período (Figura 5.10). O destaque são os anos de 1984 e 1985 com 889,8 mm e 869,0 mm, respectivamente, valores esses que representam mais de 100% acima da média. Além destes, foram classificados como MC os anos de 1971, 1975, 1996, 2006 e 2009 (Figura 5.11a). Os anos classificados como MS foram 1961, 1980, 1990, 1992, 1993, 2001 e 2002, com destaque para 1990 com apenas 52,0 mm. O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência no período de 1961-2011 na Figura 5.11b: 14% “muito chuvoso” (MC), 22% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 22% “seco” (S) e 14% “muito seco” (MS). A figura evidencia dois eventos “muito secos” em sequência no início das décadas de 1990 e 2000, os dois eventos “muito chuvosos” em sequência na década de 1980, e a predominância de eventos “secos” e “chuvosos” na década de 60.

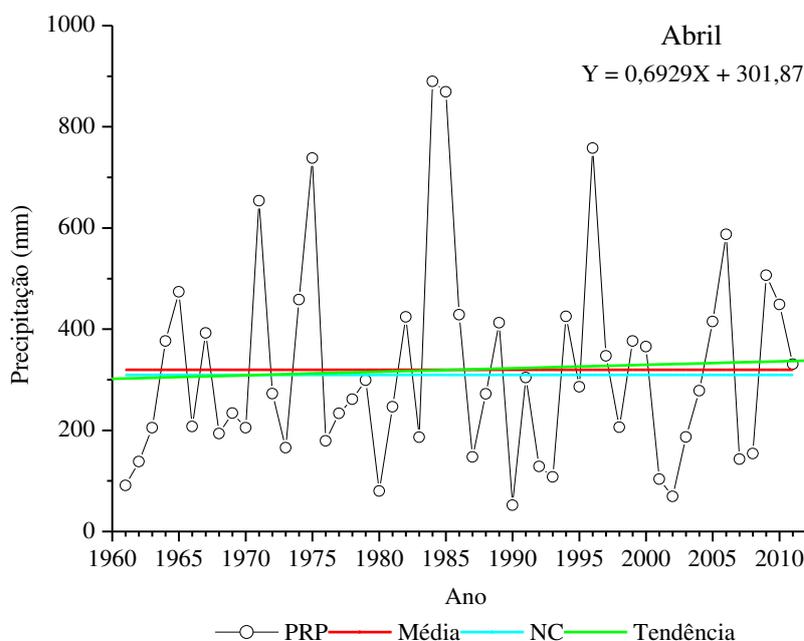
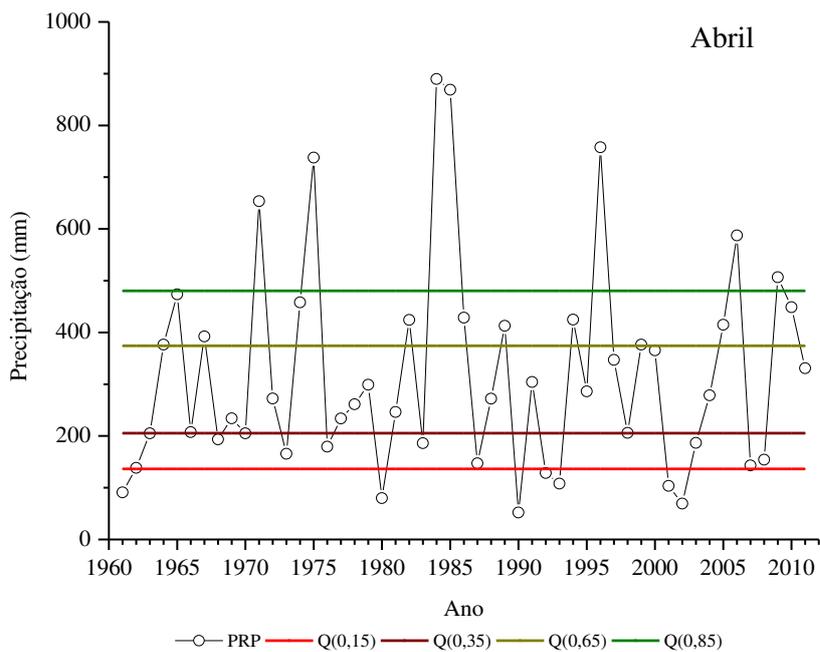
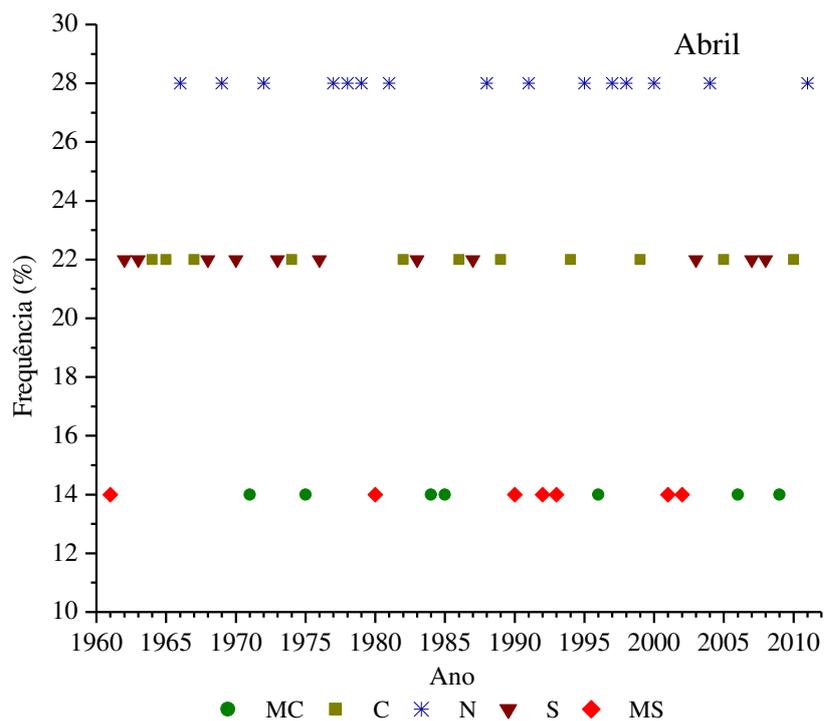


Figura 5.10 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no mês de abril do período 1961-2011. A normal climatológica (NC), a média e a tendência do mês estão representados através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).



(a)



(b)

Figura 5.11 – Classificação dos totais de precipitação do mês de abril na cidade de Salvador: (a) classes de precipitação obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).

Dentre os meses do quadrimestre AMJJ, maio foi o que apresentou maior tendência (negativa), mostrando assim uma diminuição no total pluviométrico no decorrer do período, como pode ser visto na Figura 5.12. Este mês apresentou média de 322,8 mm. O destaque MC foi 1966 com o acumulado de 703,7 mm. Outros anos também classificados como MC foram 1969, 1973, 1975, 1989, 2003 e 2009 (Figura 5.13a). O ano de 1983, com condições de El Niño e temperaturas anormalmente quentes no Atlântico Tropical Sul (Tabela 4.2), destacou-se por apresentar 63,1 mm, sendo assim o menor volume de chuva registrado no mês de maio nos 51 anos analisados. Os demais anos na classe MS foram 1962, 1979, 1992, 1997, 2001 e 2004. O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência no período de 1961-2011 na Figura 5.13b: 14% “muito chuvoso” (MC), 22% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 22% “seco” (S) e 14% “muito seco” (MS). Vale destacar neste mês as décadas de 1990 e 2000 com predominância de eventos “chuvosos” e “secos”.

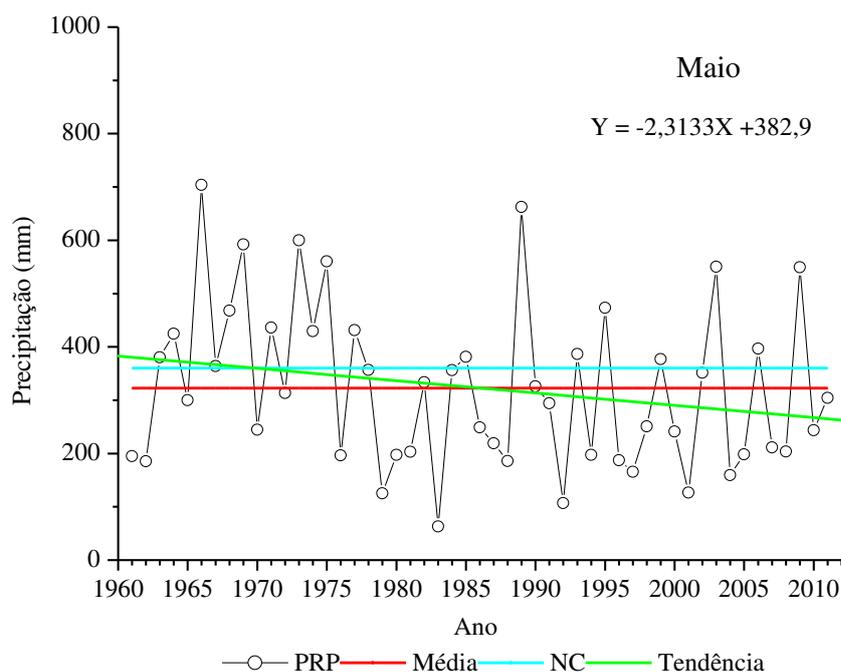
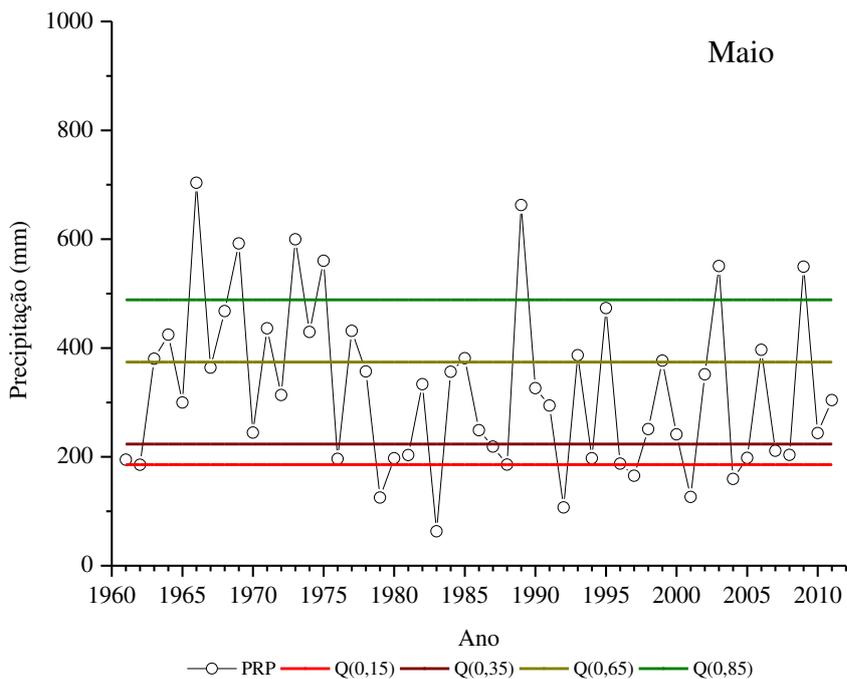
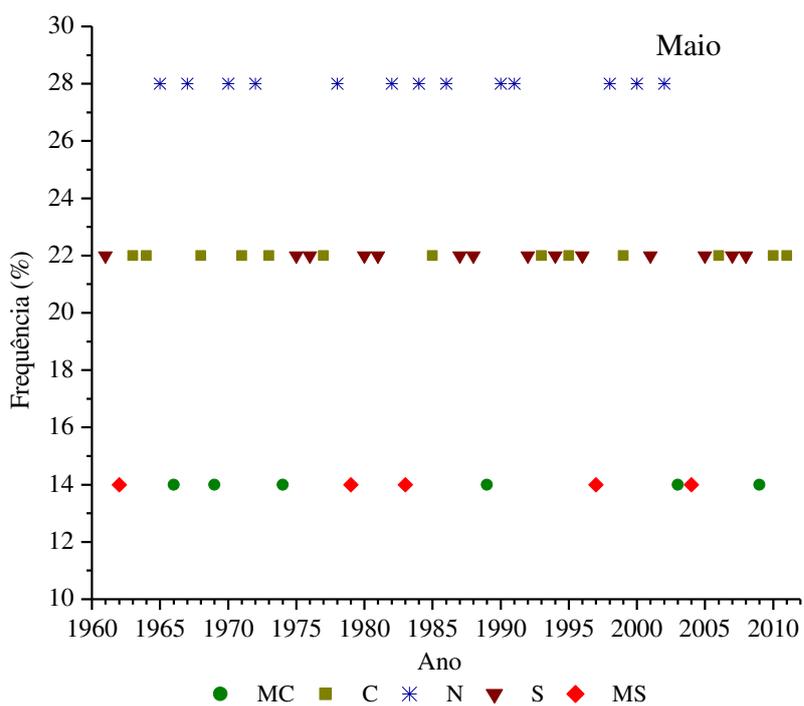


Figura 5.12 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no mês de maio do período 1961-2011. A normal climatológica (NC), a média e a tendência do mês estão representados através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).



(a)



(b)

Figura 5.13 – Classificação dos totais de precipitação do mês de maio na cidade de Salvador: (a) classes de precipitação obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).

O mês de junho apresentou uma pequena tendência negativa, aproximadamente 0,2 mm (Figura 5.14). Os anos MC foram 1968, 1969, 1973, 1978, 1994, 2005 e 2006, com máximo de 477,8 mm em 1994 (Figura 5.15a). Os anos MS foram 1963, 1967, 1976, 1980, 2007, 2009 e 2010, com mínimo de 67,5 mm em 1976. Destaca-se que a diferença entre o máximo e o mínimo é aproximadamente 50% (64%) daquela encontrada em abril (maio). O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência no período de 1961-2011 na Figura 5.15b: 14% “muito chuvoso” (MC), 22% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 22% “seco” (S) e 14% “muito seco” (MS). Merece destaque a ausência quase total de eventos “muito chuvosos” e “muito secos” nas décadas de 80 e 90, e o número relativamente elevado desses eventos nas décadas de 1960 e 2000. Na década de 90 (80) predominam os eventos “chuvosos” e “secos” (“normais”).

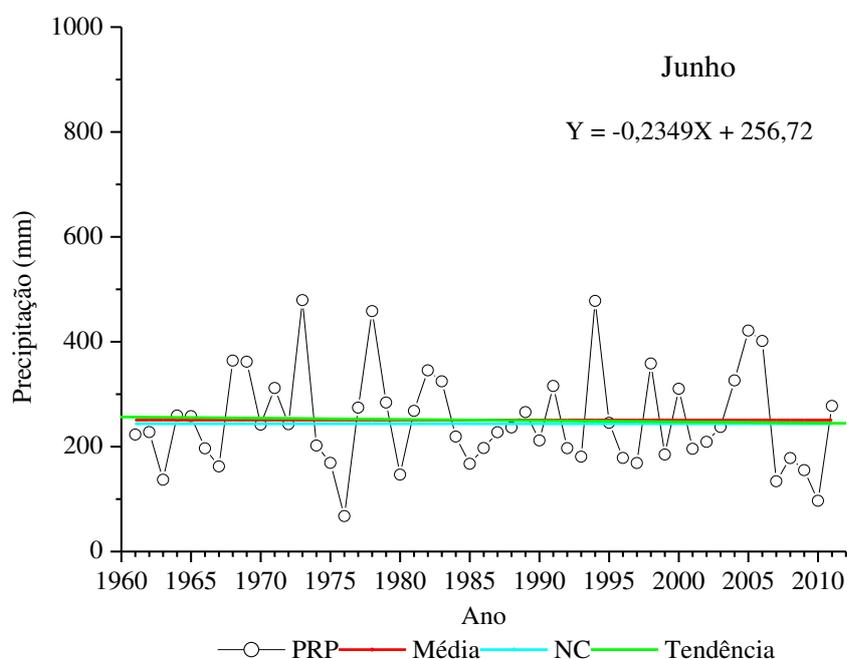
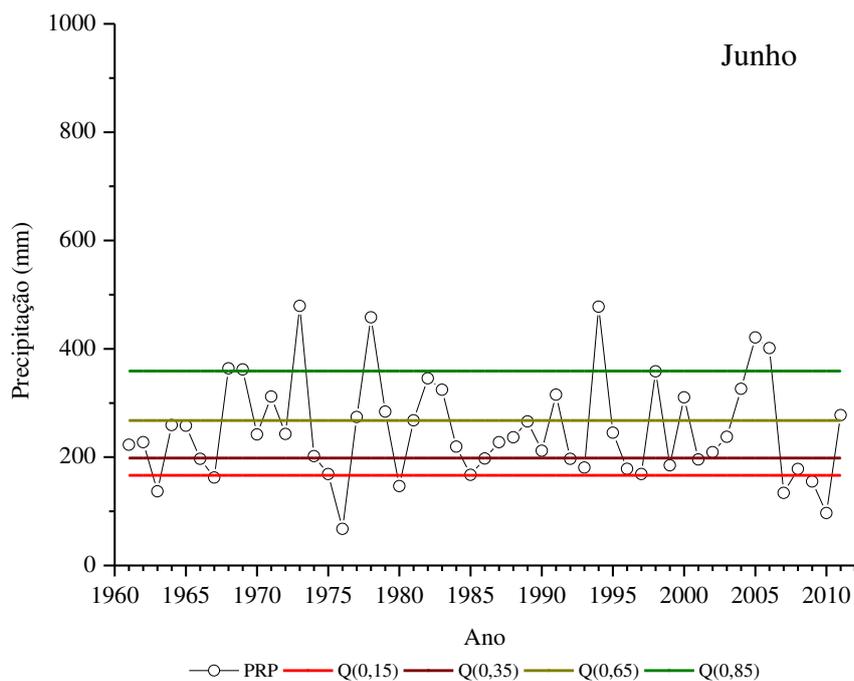
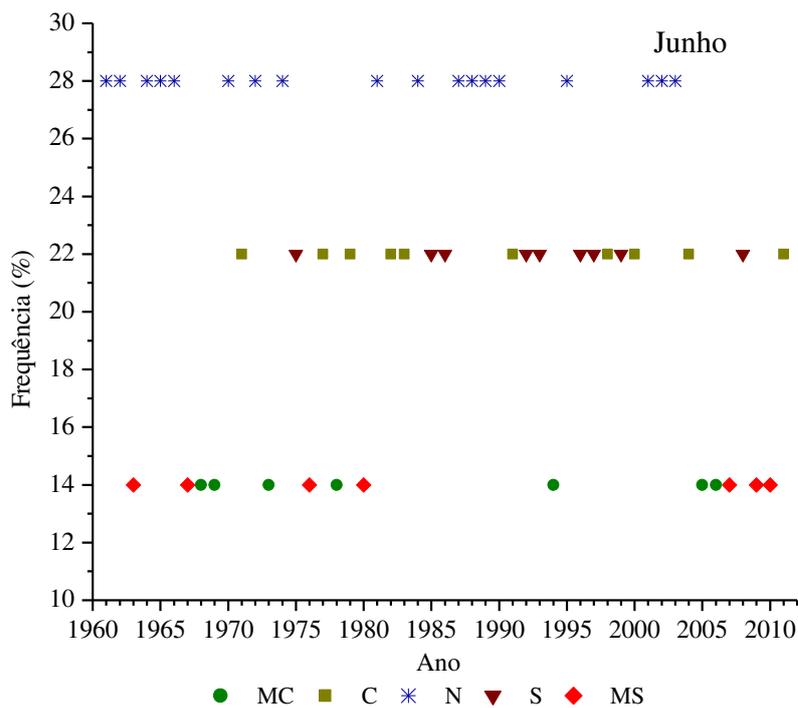


Figura 5.14 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no mês de junho do período 1961-2011. A normal climatológica (NC), a média e a tendência do mês estão representados através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).



(a)



(b)

Figura 5.15 – Classificação dos totais de precipitação do mês de junho na cidade de Salvador: (a) classes de precipitação obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).

Dentre os meses do quadrimestre AMJJ, julho foi o mês com os menores valores de precipitação (Figura 5.16). Essa característica está relacionada com a sazonalidade, pois é inverno no hemisfério sul, época do ano em que a atmosfera está mais estável, o que desfavorece a convecção e, conseqüentemente, maiores volumes de chuva. O ano de 2010 apresentou o máximo de precipitação do período (492,5 mm), enquanto que o ano seguinte (2011) teve volume de chuva inferior a 60 mm. Outro ano que se destacou com volume de chuva muito acima da média no mês de julho foi 1971, registrando 428,6 mm. Os demais eventos chuvosos não apresentaram valores muito elevados de precipitação. O mês de julho foi classificado como MC nos anos de 1988, 1990, 1994, 1998 e 2002 (Figura 5.17a). Os anos MS, além de 2011 citado anteriormente, foram 1961, 1972, 1983, 1991 e 2006. O número de anos de cada classe pluviométrica é representado como frequência no período de 1961-2011 na Figura 5.17b: 14% “muito chuvoso” (MC), 22% “chuvoso” (C), 28% “normal” (N), 22% “seco” (S) e 14% “muito seco” (MS). É evidente na figura a concentração de eventos “muito chuvosos” e “muito secos” a partir do final da década de 80 e a predominância de eventos “chuvosos” e “secos” no período anterior.

Uma síntese das classes de precipitação dos meses do quadrimestre AMJJ é vista no Quadro 5.3.

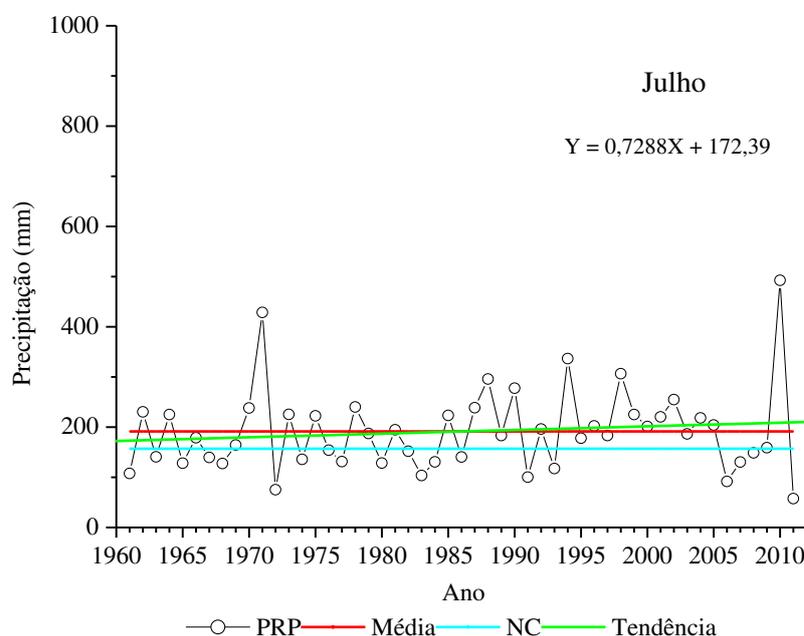
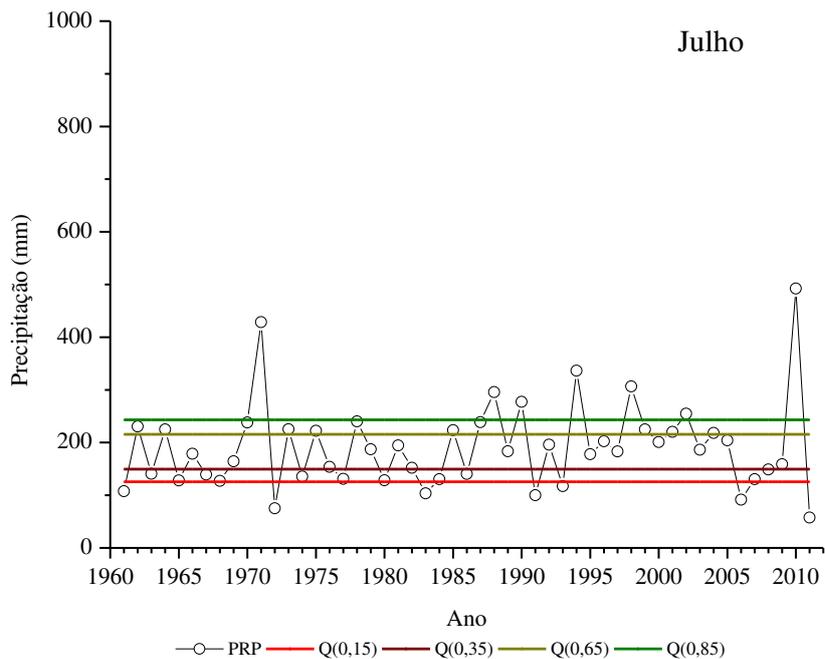
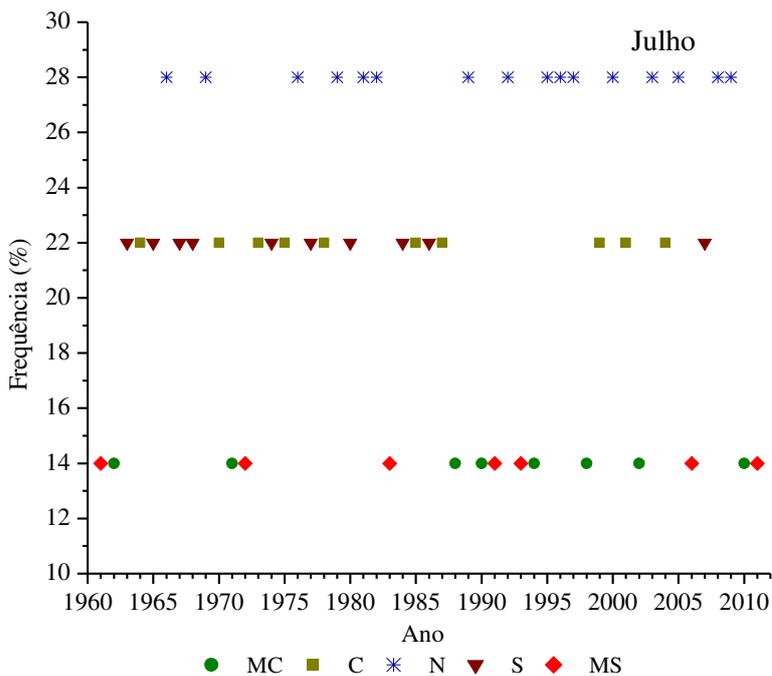


Figura 5.16 – Série temporal dos totais de precipitação (mm) da cidade de Salvador no mês de julho do período 1961-2011. A normal climatológica (NC), a média e a tendência do mês estão representados através da simbologia vista abaixo do gráfico (Fonte de dados: INMET).



(a)



(b)

Figura 5.17 – Classificação dos totais de precipitação do mês de julho na cidade de Salvador: (a) classes de precipitação obtidas pelo método dos percentis e (b) frequência (em porcentagem) das classes no período de 1961-2011. O significado das cores é visto abaixo dos gráficos, e também no Quadro 4.1 para (b) (Fonte de dados: INMET).

Quadro 5.3 – Classes de precipitação da cidade de Salvador nos meses do quadrimestre AMJJ do período 1961-2011. (As abreviaturas são: AMJJ: abril-maio-junho-julho; MC: muito chuvoso; C: chuvoso; N: normal; S: seco; MS: muito seco).

Ano	Mês/Classe de Precipitação																			
	Abril					Maio					Junho					Julho				
	MC	C	N	S	MS	MC	C	N	S	MS	MC	C	N	S	MS	MC	C	N	S	MS
1961					MS					S					MS					S
1962				S						S					S					
1963				S						S					S					S
1964	S									S					S					S
1965	S									S					S					S
1966	S									S					S					S
1967	S									S					S					S
1968				S						S					S					S
1969				S						S					S					S
1970				S						S					S					S
1971	S									S					S					S
1972				S						S					S					S
1973				S						S					S					S
1974	S									S					S					S
1975	S									S					S					S
1976				S						S					S					S
1977				S						S					S					S
1978				S						S					S					S
1979				S						S					S					S
1980				S						S					S					S
1981				S						S					S					S
1982	S									S					S					S
1983				S						S					S					S
1984	S									S					S					S
1985	S									S					S					S
1986	S									S					S					S
1987				S						S					S					S
1988				S						S					S					S
1989	S									S					S					S
1990				S						S					S					S
1991				S						S					S					S
1992				S						S					S					S
1993				S						S					S					S
1994	S									S					S					S
1995				S						S					S					S
1996	S									S					S					S
1997				S						S					S					S
1998				S						S					S					S
1999	S									S					S					S
2000				S						S					S					S
2001				S						S					S					S
2002				S						S					S					S
2003				S						S					S					S
2004				S						S					S					S
2005				S						S					S					S
2006	S									S					S					S
2007				S						S					S					S
2008				S						S					S					S
2009	S									S					S					S
2010				S						S					S					S
2011				S						S					S					S

5.2 ESTUDO DE CASO

Na série histórica de precipitação em estudo, o mês com maior volume de chuva foi abril de 1984, com um acumulado de 889,8 mm, caracterizando um evento climático extremo, uma vez que a média deste mês fica em torno de 320,0 mm. Vale destacar que abril de 1984 foi classificado como MC, enquanto que maio e junho tiveram classificação N, e julho, S (Quadro 5.3). Também merece destaque o fato de que os quadrimestres DJFM e AMJJ de 1984 foram classificados, respectivamente, como S e MC (Quadro 5.2), sendo o último devido às chuvas de abril. No que diz respeito às TSM, Andreoli & Kayano (2006) identificaram condições neutras do ENOS e anomalias positivas no Atlântico Sul, nos trimestres DJF de 1983 – 1984 e MAM de 1984.

O volume de chuva neste evento climático extremo causou, dentre outros desastres, o escorregamento de encosta que entrou para a história de grandes acidentes registrados no Brasil, principalmente pelo número de mortos (17) na cidade de Salvador, conforme descrito em Rosa Filho & Cortez (2010).

Visando compreender a evolução das condições sinóticas e dinâmicas envolvidas neste evento, também foram estudados os quatro meses que o antecederam (dezembro, janeiro, fevereiro e março), com o objetivo de verificar se condições anteriores influenciaram no elevado volume de chuva observado em abril de 1984. Inicialmente, é discutida a distribuição horizontal das anomalias de TSM, e a circulação anômala zonal e meridional através de seções retas verticais. Posteriormente, são analisadas as condições médias e anômalas da circulação atmosférica em níveis atmosféricos representativos da baixa e alta troposfera.

5.2.1 Aspectos Oceânicos e da Circulação Atmosférica Zonal e Meridional

As Figuras 5.18 a 5.22 ilustram a distribuição horizontal das anomalias de TSM observadas entre dezembro de 1983 e abril de 1984, e também seções retas verticais do movimento anômalo, elaboradas de acordo com a metodologia descrita na subseção 4.2.2.

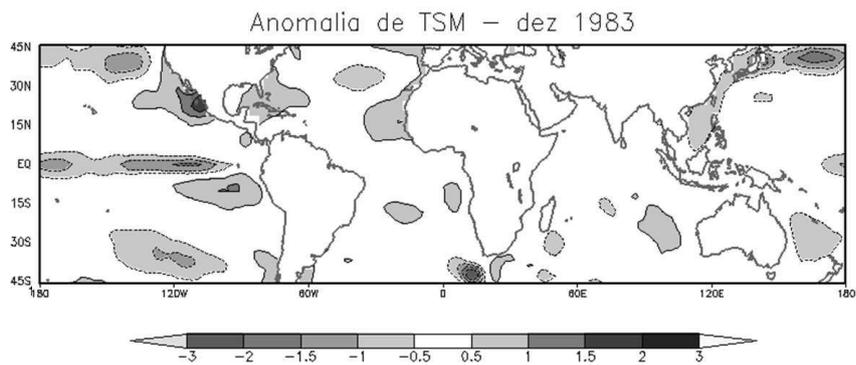
No mês de dezembro de 1983 havia anomalias negativas de TSM ao longo de todo o Pacífico equatorial, com valores de até -2°C (Figura 5.18a). Dependendo do tempo de permanência, essa condição oceânica altera o padrão de circulação atmosférica zonal resultando, em geral, em movimentos ascendentes anômalos do ar sobre as Regiões Norte

e Nordeste do Brasil, favorecendo a formação de nuvens. No Atlântico Sul havia duas áreas de águas mais quentes que o normal (em torno de 1°C), localizadas entre 10°S e 20°S , aproximadamente.

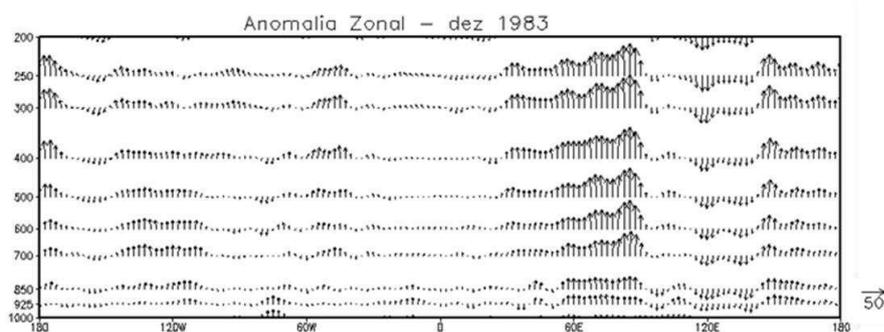
Na seção reta vertical zonal ilustrada na Figura 5.18b é possível observar movimentos ascendentes anômalos fracos em torno da longitude de Salvador (38°W), acima do nível de 700 hPa. Analogamente, a seção reta vertical meridional ilustrada na Figura 5.18c também mostra movimentos ascendentes anômalos fracos, em torno da latitude de Salvador (12°S), acima do nível de 850 hPa. Dois outros aspectos merecem destaque nesse campo de anomalias: (a) a subsidência forte em torno de 30°N , o que sugere maior intensidade da alta subtropical do Atlântico Norte e (b) a ascendência, de fraca a moderada, em torno de 30°S , possivelmente relacionada com o jato subtropical.

No mês de janeiro de 1984 ainda havia anomalias negativas de TSM no Pacífico equatorial, porém menos intensas (1°C abaixo da média, aproximadamente) e com área menor (Figura 5.19a). No Atlântico Sul, as anomalias de TSM estavam mais intensas do que em dezembro (até $1,5^{\circ}\text{C}$ acima da média), e ocupavam grande parte da área entre 10°S e 30°S . Outra área extensa de anomalias positivas (de até 1°C) é vista a partir do litoral da Região Sul, Uruguai e Argentina. Em contrapartida, um extenso núcleo de anomalias negativas dominava a área central do Atlântico Sul, ao sul de 30°S .

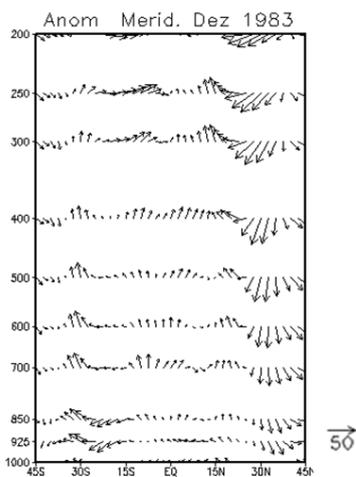
Na seção reta vertical zonal permanecem movimentos ascendentes anômalos fracos em torno da longitude de Salvador (38°W), acima do nível de 700 hPa (Figura 5.19b). A seção reta vertical meridional também mostra movimentos ascendentes anômalos fracos, em torno da latitude de Salvador (12°S), acima do nível de 850 hPa (Figura 5.19c). Quatro outros aspectos merecem destaque nesse campo de anomalias: (a) a subsidência em torno de 30°N , com intensidade consideravelmente menor, (b) a ascendência forte, em torno de 15°N , possivelmente relacionada com o jato subtropical e processos ciclogênicos, (c) a ascendência, de fraca a moderada, ao sul de 15°N e acima de 700 hPa e (d) a subsidência moderada ao sul de 15°S . A orientação dos vetores nas áreas de ascendência indica convergência de massa em vários níveis da atmosfera nessas latitudes do hemisfério norte.



(a)

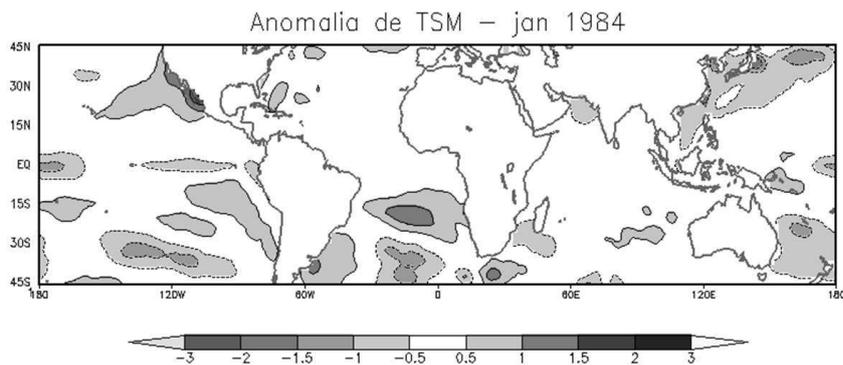


(b)

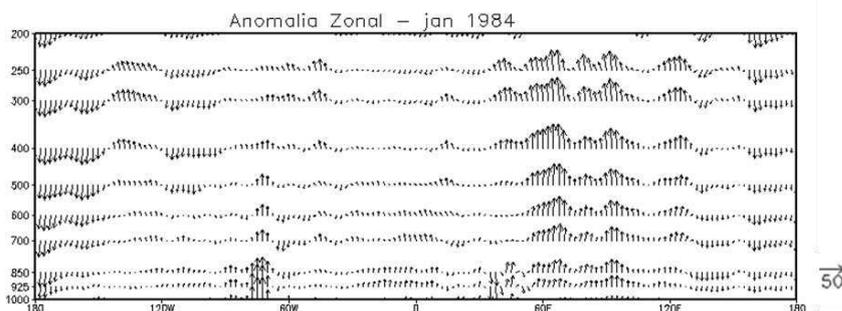


(c)

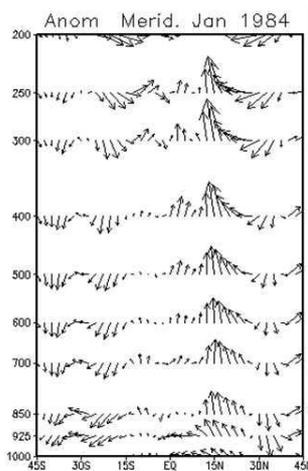
Figura 5.18 – Anomalias mensais de dezembro de 1983 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no lado direito de cada figura (Fonte de dados: NCEP/NCAR).



(a)



(b)

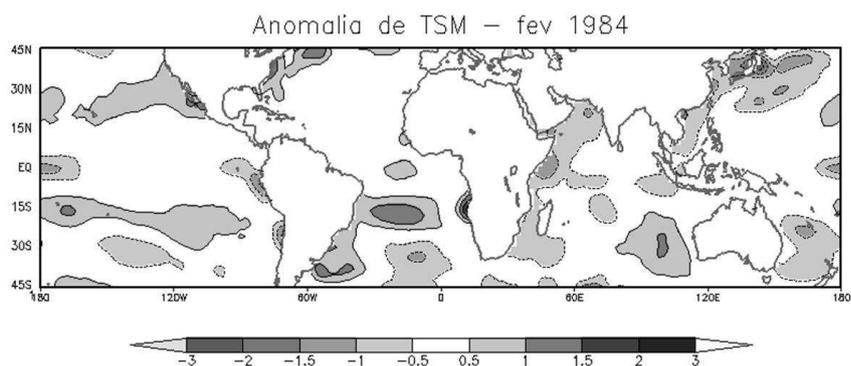


(c)

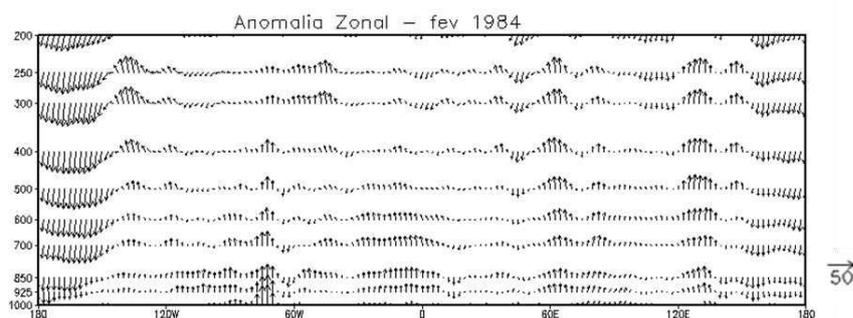
Figura 5.19 – Anomalias mensais de janeiro de 1984 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no lado direito de cada figura (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

No mês de fevereiro, a área de anomalias negativas de TSM no Pacífico equatorial estava ainda menor se comparada com os meses anteriores, localizando-se apenas próximo ao litoral da América do Sul, e em torno de 180°W (Figura 5.20a), com valores de até -2°C na área costeira. No Atlântico Sul as anomalias positivas ocupavam quase toda a extensão oceânica costeira do continente, e avançavam até o meridiano de Greenwich numa larga faixa latitudinal centrada em torno de 15°S , aproximadamente. Outra área com extensão longitudinal maior era vista a leste do Uruguai e do nordeste da Argentina. A presença dessas anomalias quentes em uma extensa área contínua representava um fator favorável a um maior teor de umidade da atmosfera e ao desenvolvimento de nuvens. Na área adjacente à costa oeste da África também foi observado um aquecimento, em torno de 3°C , um padrão indicativo de maior frequência de distúrbios ondulatórios de leste com propagação sobre o Atlântico Sul (Souza, comunicação pessoal). O núcleo de anomalias negativas permanecia na área central do Atlântico Sul, porém menos intenso que no mês anterior.

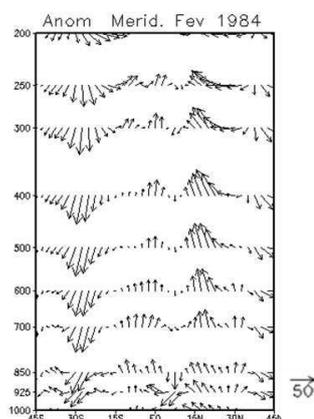
Na seção reta vertical zonal ainda permanecem movimentos ascendentes anômalos fracos em torno da longitude de Salvador (38°W), porém acima de 850 hPa e com intensidade um pouco maior em alguns níveis neste mês (Figura 5.20b). A seção reta vertical meridional também mostra movimentos ascendentes anômalos fracos em torno da latitude de Salvador (12°S), com intensidade um pouco maior na baixa troposfera (Figura 5.20c). De maneira geral, três das principais configurações vistas na Figura 5.19c também são vistas nesta seção vertical, mas abrangem uma faixa latitudinal maior e/ou estão deslocadas para sul: (a) a ascendência forte, em torno de 15°N , possivelmente relacionada com o jato subtropical e processos ciclogênicos, atinge latitudes ao sul de 15°N , (b) a área de movimentos ascendentes anômalos vista no mês anterior ao sul de 15°N e acima de 700 hPa, está centrada no equador e se estende sobre latitudes austrais na baixa troposfera, características que indicam relação com a ZCIT, e (c) a subsidência moderada situada ao sul de 15°S na Figura 5.19c está centrada em 30°S e muito intensa, indicando a presença de uma circulação anticiclônica anômala forte em latitudes subtropicais. Vale destacar ainda neste mês a presença de movimentos descendentes (moderados entre 1000 e 850 hPa, e fracos acima) entre as duas áreas de movimentos ascendentes mencionadas acima.



(a)



(b)



(c)

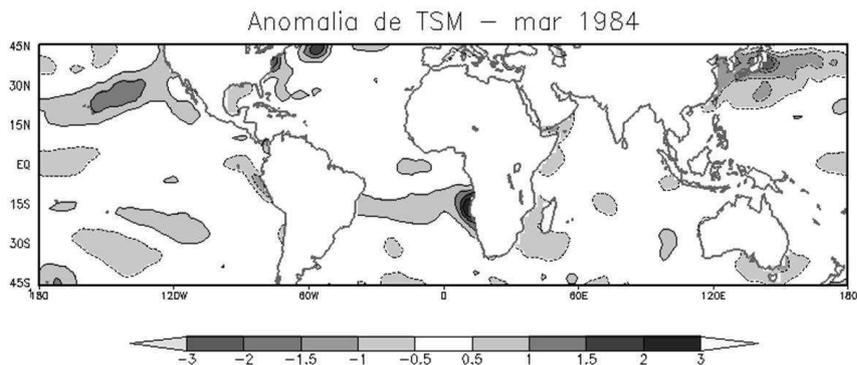
Figura 5.20 – Anomalias mensais de fevereiro de 1984 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no lado direito de cada figura (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

O campo das anomalias de TSM do mês de março é, em linhas gerais, semelhante ao de fevereiro na área do Pacífico equatorial (Figura 5.21a). Em contrapartida, no Atlântico Sul merece destaque a área contínua de anomalias positivas com extensão menor do que no mês anterior e configuração zonal, se estendendo da América do Sul à África, centrada em torno de 15°S. Permanecem as anomalias quentes mais elevadas próximo à costa oeste da África. Anomalias negativas são vistas em duas pequenas áreas do Atlântico subtropical.

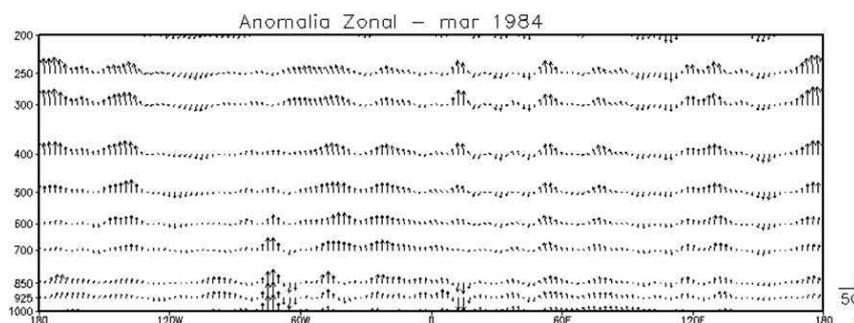
Na seção reta vertical zonal são evidentes os movimentos ascendentes, de fracos a moderados, que ocupam quase toda a faixa longitudinal entre 60°W e o meridiano de Greenwich, notadamente em 700 hPa e nos níveis acima (Figura 5.21b). Movimentos ascendentes mais fortes e organizados também são vistos na seção reta vertical meridional, entre o equador e 15°S, também notadamente em 700 hPa e nos níveis acima (Figura 5.21c). O desenvolvimento desse padrão de movimentos ascendentes anômalos, indicativo da atuação da ZCIT ao sul do equador, foi favorecido pela superfície oceânica anormalmente quente do Atlântico Sul, observada desde janeiro de 1984. Outra característica marcante dessa seção reta vertical meridional é a área de movimentos descendentes intensos centrados próximo de 30°N, característicos de uma anomalia anticiclônica forte. Uma estrutura semelhante, porém com intensidade e extensão latitudinal consideravelmente menor, é ilustrada pela Figura 5.18c de dezembro de 1983. Contrastando com o mês de fevereiro, os movimentos descendentes centrados em torno de 30°S são de fracos a moderados, em toda a coluna atmosférica.

No mês do evento climático extremo em Salvador, abril de 1984 (Figura 5.22), as anomalias negativas de TSM no Pacífico equatorial se restringiam a sua porção centro-oeste, com valores de até -1°C. No Atlântico Sul, a área de anomalias positivas diminuiu consideravelmente, se restringindo à área oceânica próxima ao continente africano, com valores de até 2°C. Outra diferença marcante em relação ao mês anterior é a extensa área de anomalias negativas que ocupa grande parte do Atlântico subtropical, ao sul de 25°S.

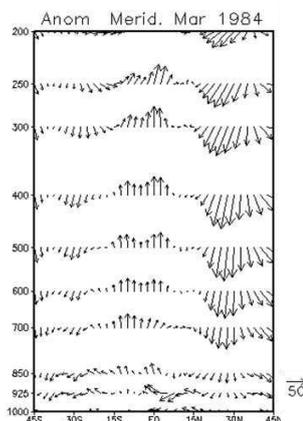
Apesar das mudanças no campo das anomalias de TSM, a seção reta vertical zonal apresenta movimentos ascendentes mais intensos, porém em uma faixa longitudinal mais estreita, entre 20°W e 50°W, aproximadamente. Movimentos ascendentes mais intensos que em março também são vistos na seção reta meridional, ao norte de 15°S, um indicativo da atuação da ZCIT ao sul do equador. Movimentos descendentes moderados são vistos próximo de 30°S.



(a)

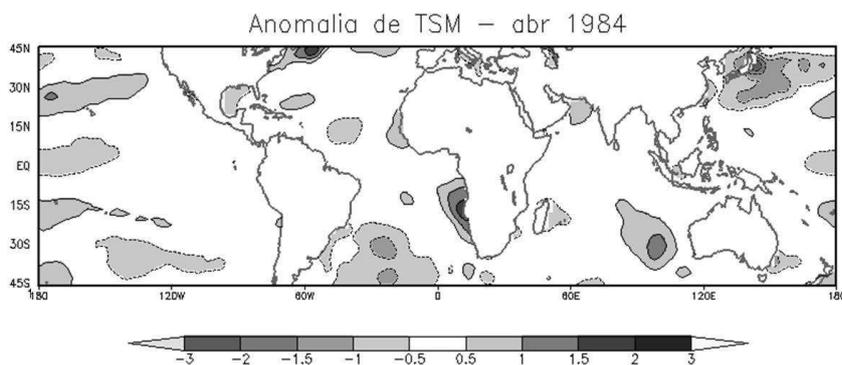


(b)

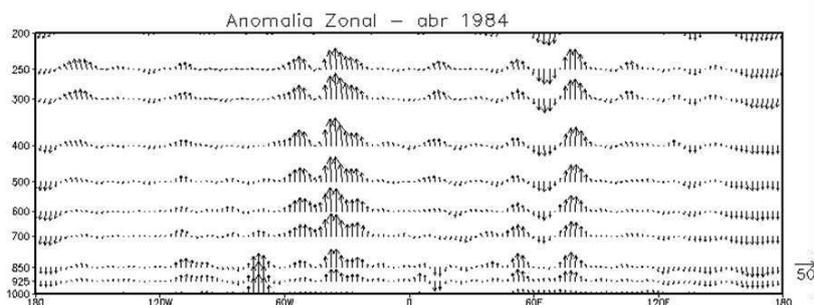


(c)

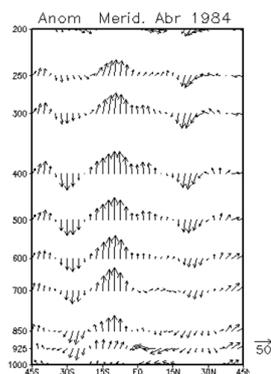
Figura 5.21 – Anomalias mensais de março de 1984 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no lado direito de cada figura (Fonte de dados: NCEP/NCAR).



(a)



(b)



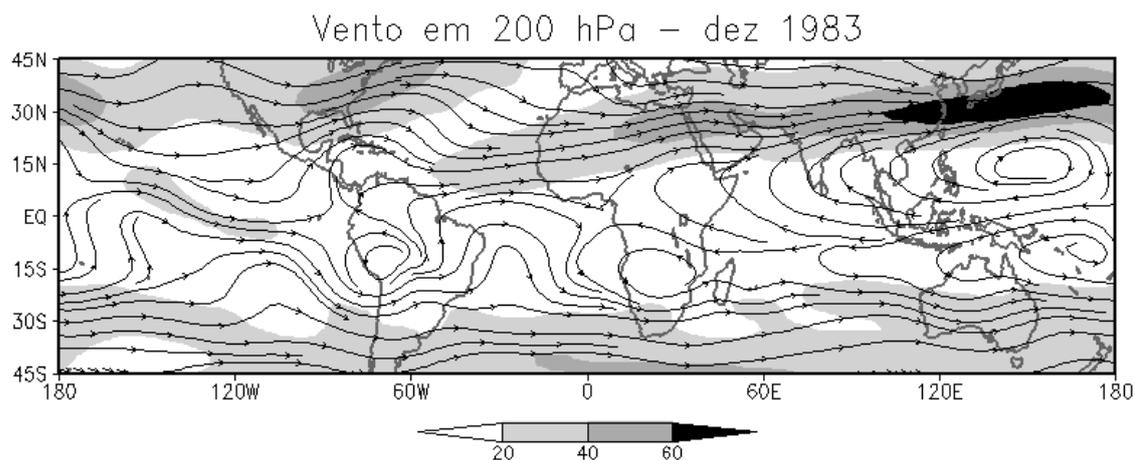
(c)

Figura 5.22 – Anomalias mensais de abril de 1984 ilustradas por: (a) distribuição horizontal relativa à temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$); (b) seção reta vertical zonal (média entre 9°S e 15°S) da componente zonal do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); (c) seção reta vertical meridional (média entre 30°W e 50°W) da componente meridional do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e do movimento vertical ($50 \times 10^{-3} \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). As linhas contínuas (pontilhadas) em (a) representam valores positivos (negativos) de acordo com a escala de tons de cinza vista abaixo do mapa. A escala dos vetores em (b) e (c) é vista no lado direito de cada figura. (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

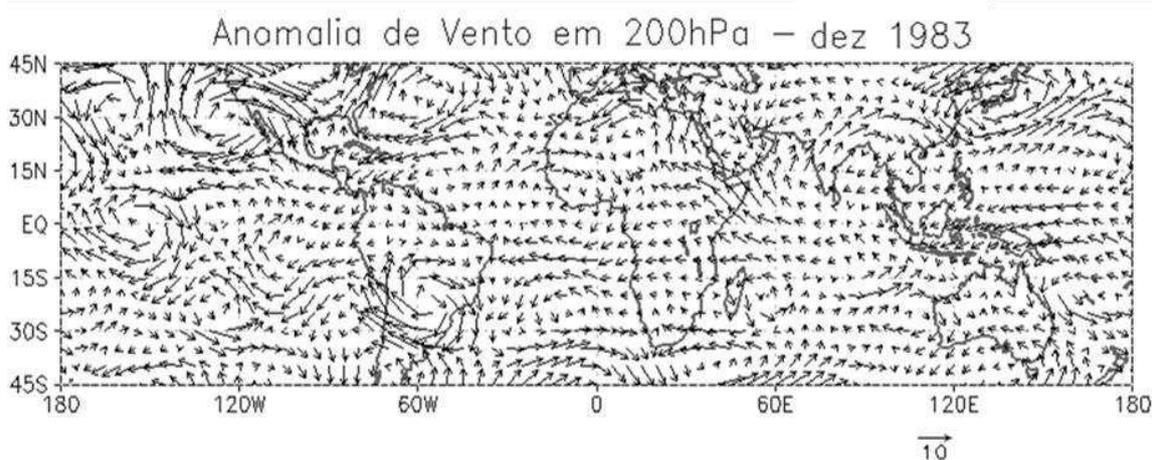
5.2.2 Análise Sinótica

5.2.2.1 Dezembro de 1983

Na análise do campo médio do vento em 200 hPa nota-se a configuração do cavado do Nordeste (CN), com eixo estendido desde o norte da Região Amazônica, passando pelo Nordeste brasileiro, até o Atlântico adjacente (Figura 5.23a). Observa-se ainda uma área de circulação anticiclônica, com centro posicionado em torno de $10^{\circ}\text{S}/70^{\circ}\text{W}$. Esta circulação representa a Alta da Bolívia (AB), sistema meteorológico típico da alta troposfera no verão do hemisfério sul. Na interface entre os dois sistemas (CN e AB), é possível perceber uma área de difluência. Essa difluência na alta troposfera favorece confluência em superfície, o que resulta em convergência de massa, e possível formação de nuvens. Na Figura 5.23b, que ilustra a anomalia do vento em 200 hPa, destaca-se uma circulação ciclônica intensa sobre o centro-sul do América do Sul. Rocha (2012) também encontrou um ciclone anômalo, no mês de dezembro de 2005, em seu estudo do evento extremo de abril de 2006, outro mês classificado como MC (Quadro 5.3). Entretanto, nesse caso o ciclone anômalo estava centrado sobre a área oceânica próximo da Argentina. Outra área bem configurada de anomalias é a da circulação (anticiclônica) sobre o Atlântico subtropical. Os ventos anômalos de leste na faixa equatorial do Atlântico Sul indicam o enfraquecimento do escoamento de oeste e, conseqüentemente, do CN.



(a)



(b)

Figura 5.23 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para dezembro de 1983, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

A Figura 5.24a ilustra a circulação atmosférica média no nível de 850 hPa, evidenciando a atuação dos anticiclones subtropicais. Nota-se também a confluência dos ventos alísios sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico equatorial, representando a área de atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Sobre o continente Sul Americano, o escoamento é canalizado pela Cordilheira dos Andes e muda para noroeste, definindo uma área de confluência sobre o Centro-oeste e o Sudeste, indicativa da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Os ventos anômalos na região da América do Sul são, de maneira geral, fracos, mas sua orientação indica ventos alísios mais intensos na área costeira leste do Brasil (Figura 5.24b). Há confluência anômala na área litorânea do Sudeste. Destaca-se também o cavado com ventos fortes associados na área subtropical do Atlântico Sul.

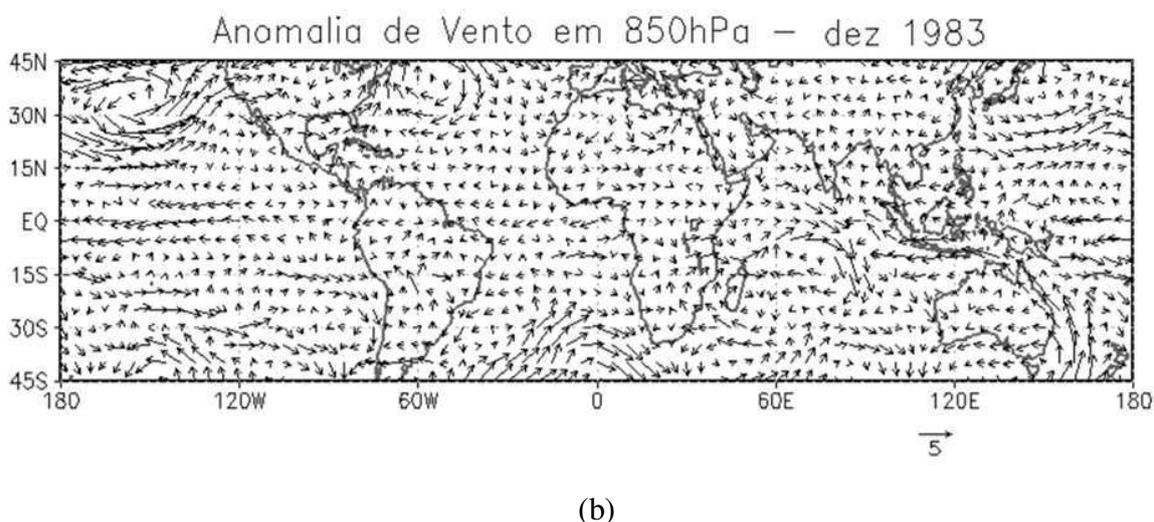
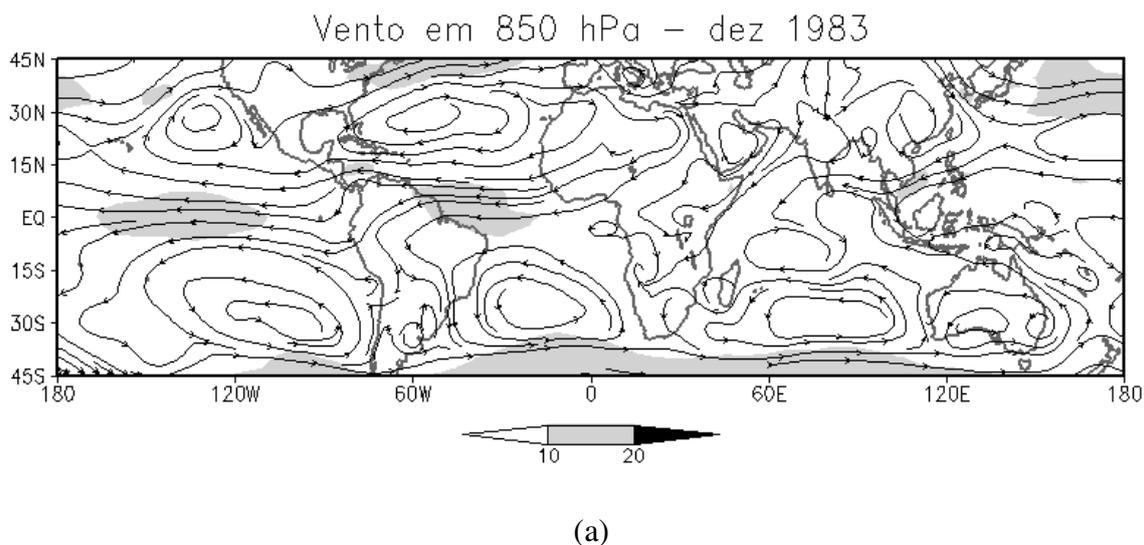
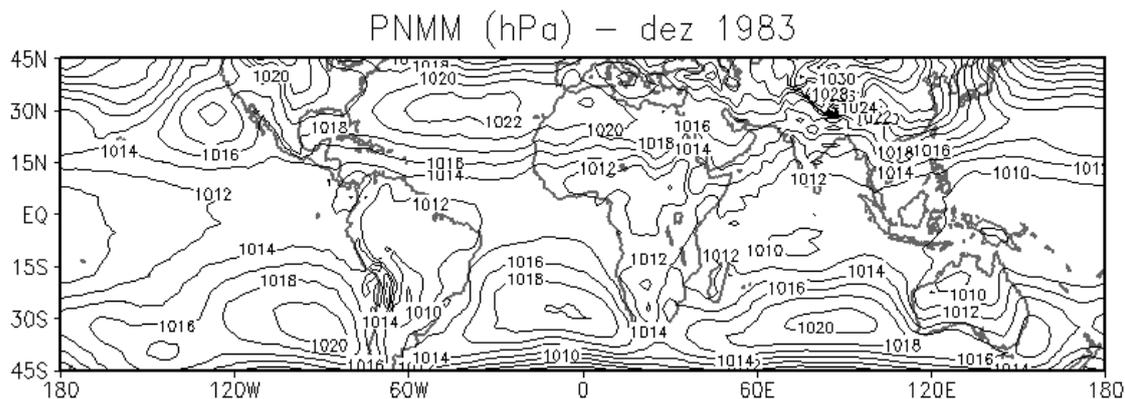
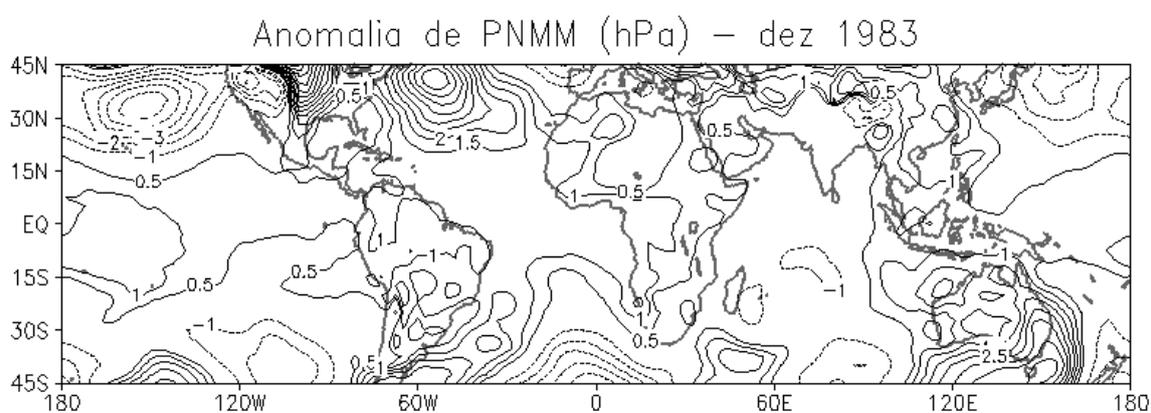


Figura 5.24 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para dezembro de 1983, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

No campo médio da pressão ao nível médio do mar é evidente o domínio de pressão relativamente baixa na América do Sul e de um cavado de pequena amplitude no centro-leste do continente, indicativo da localização da ZCAS (Figura 5.25a). Também é possível observar a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), com núcleo de 1020 hPa, centrado em torno de $30^{\circ}\text{S}/10^{\circ}\text{W}$. Neste mês, a Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) também atuou com núcleo de 1020 hPa, centrado em torno de $35^{\circ}\text{S}/85^{\circ}\text{W}$. As anomalias indicam que a pressão esteve abaixo da média na ASPS e acima da média na área da América do Sul e em quase todo o Oceano Atlântico, indicando o enfraquecimento da baixa pressão continental e a intensificação da ASAS e da Alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) (Figura 5.25b).



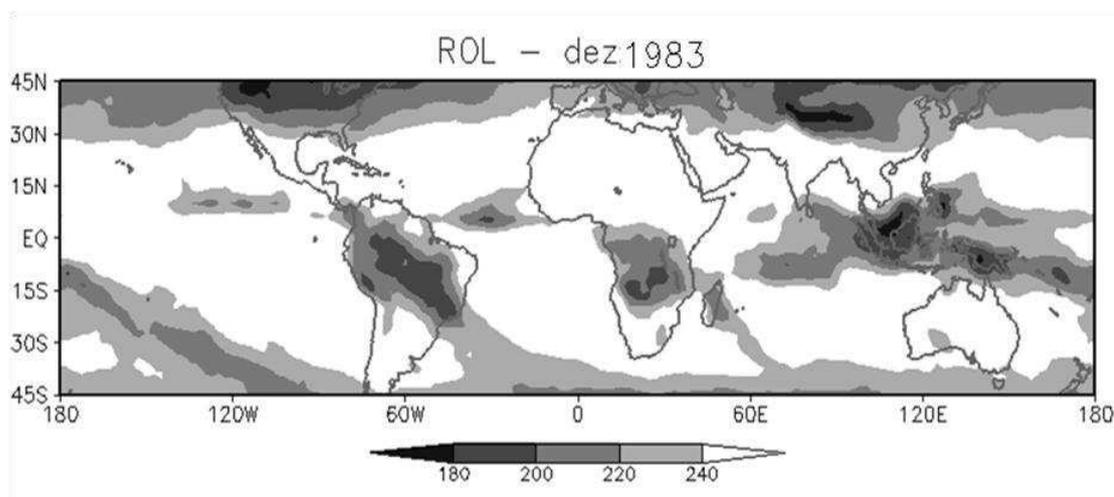
(a)



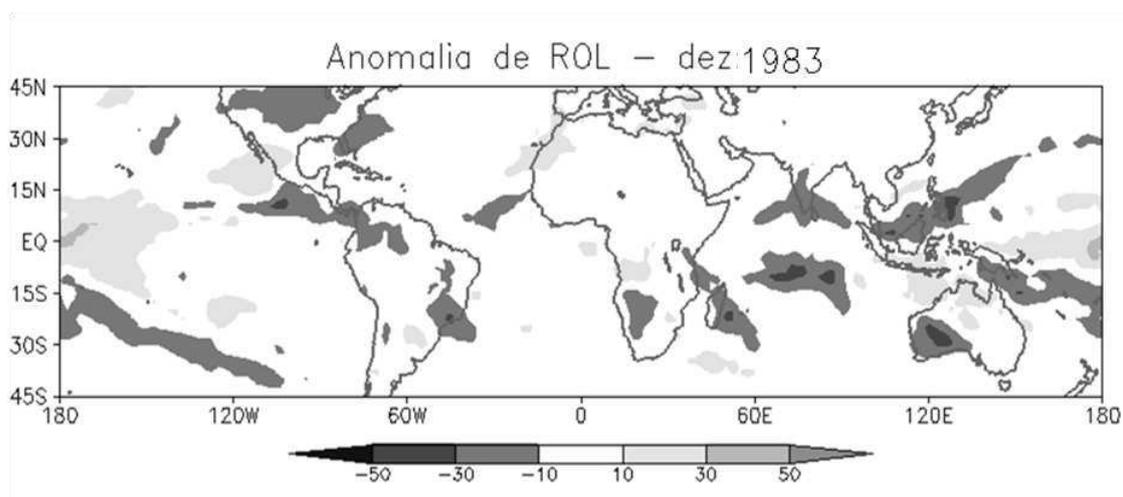
(b)

Figura 5.25 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para dezembro de 1983: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). As isolinhas contínuas (pontilhadas) representam anomalias positivas (negativas) em (b) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

No campo da Radiação de Onda Longa (ROL), os valores abaixo de 240 Wm^{-2} , indicativos da presença de nebulosidade convectiva, são vistos em uma área alongada, com orientação noroeste/sudeste, que se estende da Amazônia ao Atlântico subtropical (Figura 5.26a). Essa área pode ser associada à ZCAS, não só pela orientação como também pelo padrão da pressão ao nível médio do mar (PNMM) e do vento em baixos e altos níveis da troposfera. Vale destacar sobre o continente os valores entre 180 Wm^{-2} e 200 Wm^{-2} (associados com convecção profunda). No campo das anomalias há valores negativos de até -50 Wm^{-2} sobre parte das Regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, além do noroeste do continente, indicando nebulosidade acima da média nessas áreas (Figura 5.26b).



(a)



(b)

Figura 5.26 – Radiação de onda longa (Wm^{-2}) em dezembro de 1983: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

5.2.2.2 Janeiro de 1984

Neste mês o campo médio do vento em 200 hPa também evidencia o CN, com eixo estendido sobre o Amapá, nordeste do Pará, Nordeste e Atlântico adjacente, onde se acopla a um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), centrado sobre a área oceânica ao leste do Nordeste (Figura 5.27a). Essa configuração sugere que a área de Salvador é influenciada pela periferia oeste do VCAN. Tipicamente, movimentos ascendentes (descendentes) predominam na periferia (área central) dos VCAN. No campo das anomalias há indicação de uma circulação oposta à do VCAN (Figura 5.27b), o que pode

ter contribuído para os movimentos fracos vistos nas seções verticais da Figura 5.19. Ainda na Figura 5.27a, é evidente a predominância da circulação da AB sobre grande parte do continente sul-americano, centrada ao sudeste de sua posição climatológica. Uma circulação anticiclônica anômala, localizada ao sul de 15°S e centrada ao leste do Uruguai, é responsável pela subsidência moderada vista na Figura 5.19c.

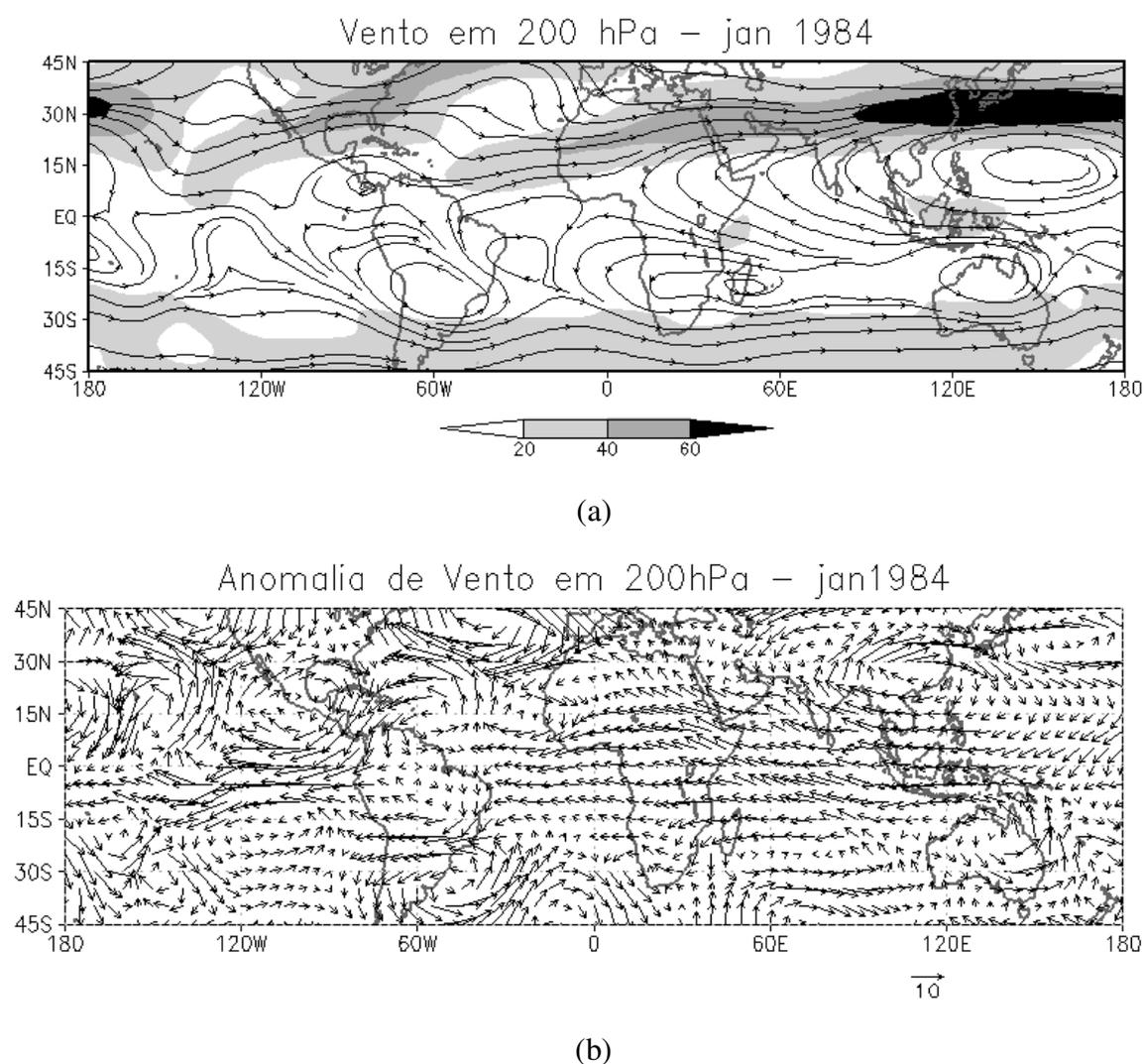


Figura 5.27 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para janeiro de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

A Figura 5.28a ilustra a circulação atmosférica média no nível de 850 hPa. Nota-se o escoamento de leste na área equatorial do Atlântico, que muda para nordeste no norte da América do Sul. No oeste dessa área os ventos são de noroeste devido à presença da Cordilheira dos Andes. A configuração do escoamento sugere confluência no centro-norte do continente, uma condição que, aliada ao calor e umidade da região, representam

condições dinâmicas e termodinâmicas favoráveis à formação de nuvens. No campo das anomalias há ventos de sudoeste moderados no noroeste da Amazônia, ventos de sudeste (fracos a moderados) sobre o Nordeste e o Centro-Oeste, e ventos fortes de noroeste sobre o Paraguai, Uruguai e Região Sul (Figura 5.28b). Destaca-se também o cavado com ventos fortes associados na área subtropical do Atlântico Sul e a circulação anticiclônica intensa em latitudes subtropicais do Atlântico Norte.

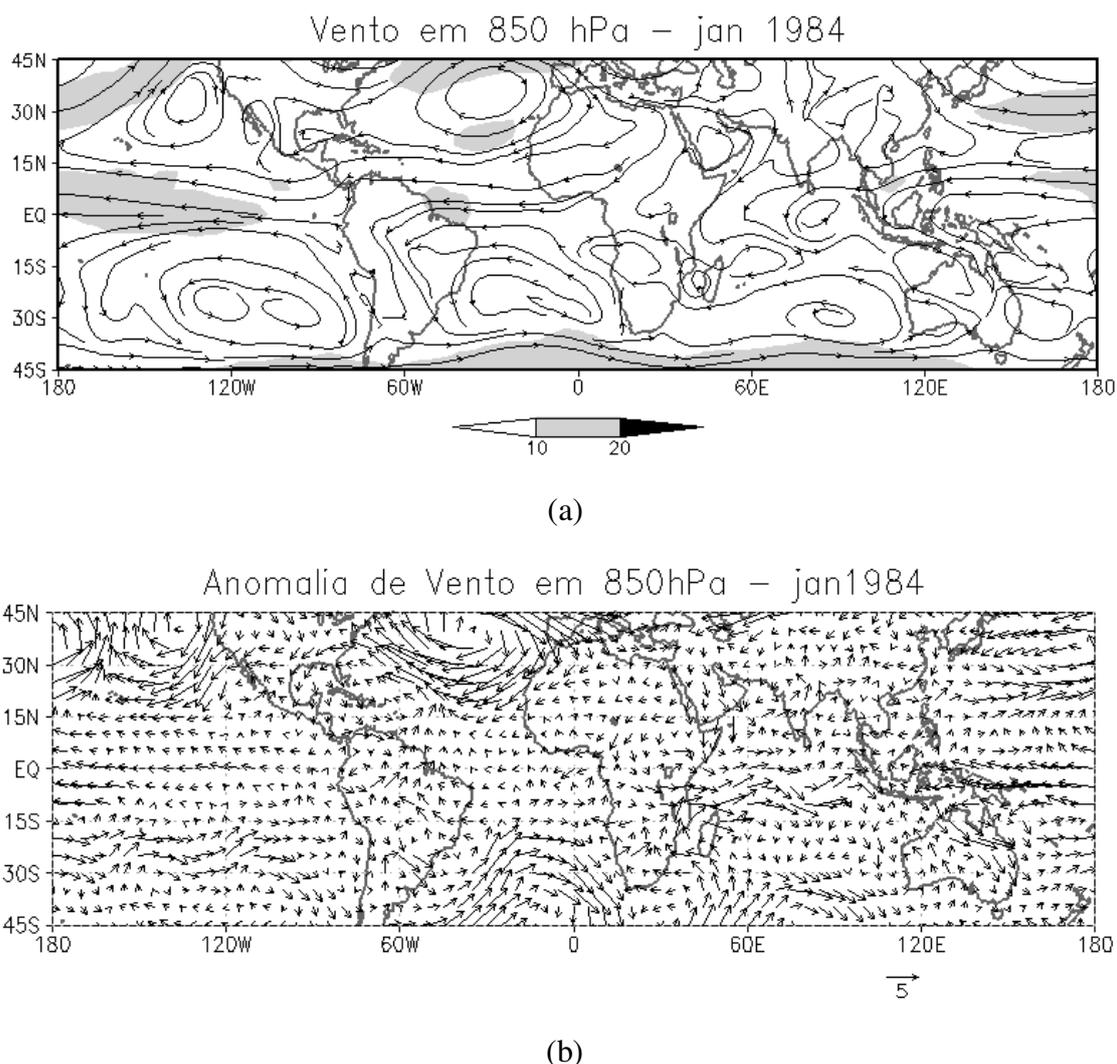


Figura 5.28 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para janeiro de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

No campo médio da pressão ao nível médio do mar (Figura 5.29a) ainda é possível observar o domínio de pressão relativamente baixa sobre a América do Sul e de um cavado de pequena amplitude sobre o centro-leste do continente, na periferia oeste da ASAS, que apresenta pressão central de 1018 hPa, próximo de 0° . A ASPS está bem configurada, com

núcleo de 1020 hPa, centrado em 35°S/90°W, aproximadamente. O campo das anomalias indica que a ASAS e a ASPS tem pressão abaixo da média, enquanto que a ASAN e a Alta Subtropical do Pacífico Norte (ASPN) estão mais intensas (Figura 5.29b). Como seria de esperar, esse padrão de anomalias está diretamente relacionado com o do nível de 850 hPa (Figura 5.28b).

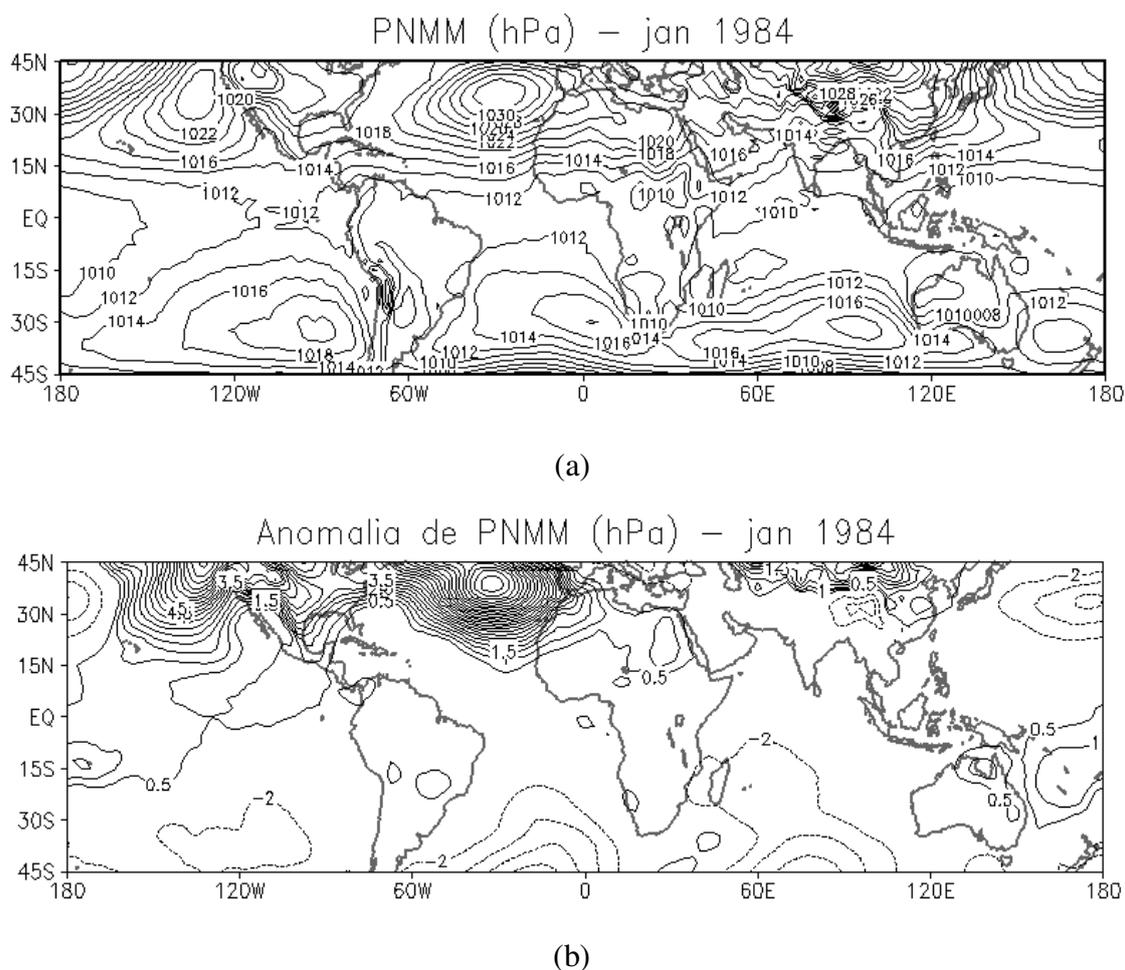
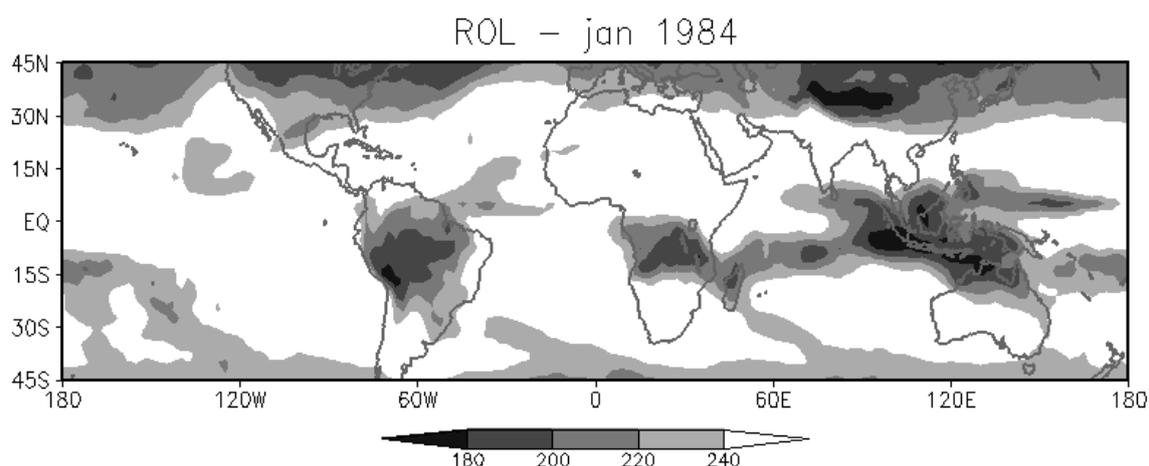


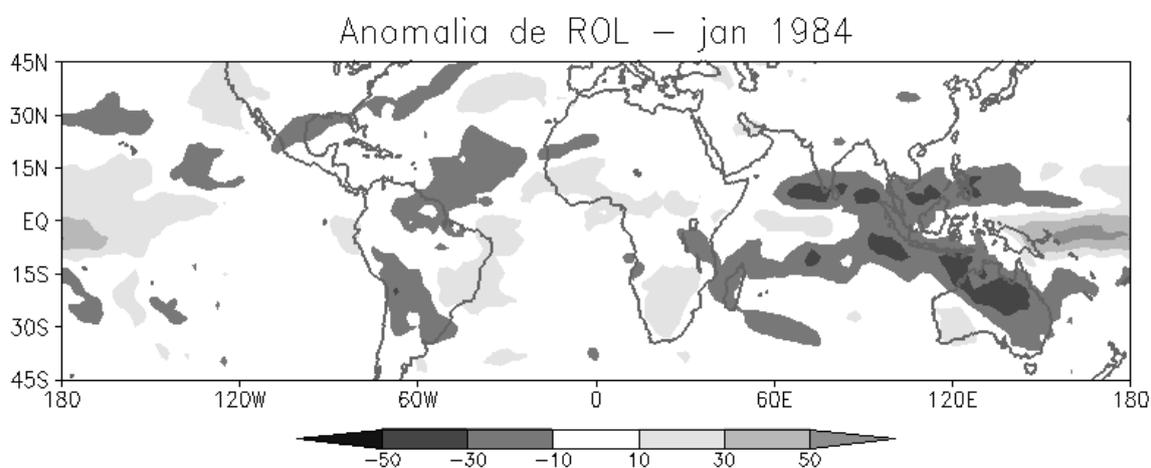
Figura 5.29 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para janeiro de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). As isolinhas contínuas (pontilhadas) representam anomalias positivas (negativas) em (b) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

No campo da ROL os valores são inferiores a 240 Wm^{-2} sobre toda a América do Sul, ao norte de 30°S, com exceção da Colômbia, Venezuela, metade leste do NEB e parte do Sudeste, e também sobre o centro-oeste do Atlântico Norte equatorial, área de atuação da ZCIT (Figura 5.30a). Vale destacar ainda que no centro-oeste do continente há uma área extensa de valores inferiores a 200 Wm^{-2} que indicam a presença de nuvens convectivas profundas, padrão típico do verão. Essa distribuição de valores também pode ser associada ao padrão de ventos em baixos níveis (850 hPa) e à difluência em altitude (200 hPa), como

comentado anteriormente. O campo das anomalias apresenta valores abaixo da média sobre o norte do continente e em uma banda alongada no sentido noroeste-sudeste, que se estende do Peru ao sul do Brasil (Figura 5.30b). No leste do NEB e em parte do Sudeste a ROL apresenta valores acima da média, representando assim, uma menor quantidade de nuvens nesse mês.



(a)



(b)

Figura 5.30 – Radiação de onda longa (Wm^{-2}) em abril de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

5.2.2.3 Fevereiro de 1984

No campo médio do vento em 200 hPa ilustrado na Figura 5.31a, circulação anticiclônica da AB está bem configurada e se apresenta ainda mais deslocada para sudeste (em relação ao mês anterior) em comparação com a climatologia. Destaca-se também, a permanência do VCAN, com núcleo posicionado entre a faixa leste do NEB e o Atlântico adjacente, ao norte de 15°S. Da mesma forma que em janeiro, que também apresenta o VCAN (Figura 5.27a), espera-se pouca nebulosidade na sua área central, enquanto que nuvens convectivas profundas organizadas podem ser encontradas na sua periferia. Também como na análise do mês anterior, este sistema é parte integrante do eixo de um cavado que atua no extremo norte da América do Sul, da Venezuela ao NEB. De maneira geral, na região do continente sul-americano a circulação anômala em 200 hPa é semelhante à de janeiro (Figura 5.27b), com destaque para o anticiclone centrado ao leste do Uruguai, cujos ventos fortes de leste na área continental indicam o enfraquecimento do escoamento de oeste nessas latitudes e, conseqüentemente, o posicionamento anômalo da AB.

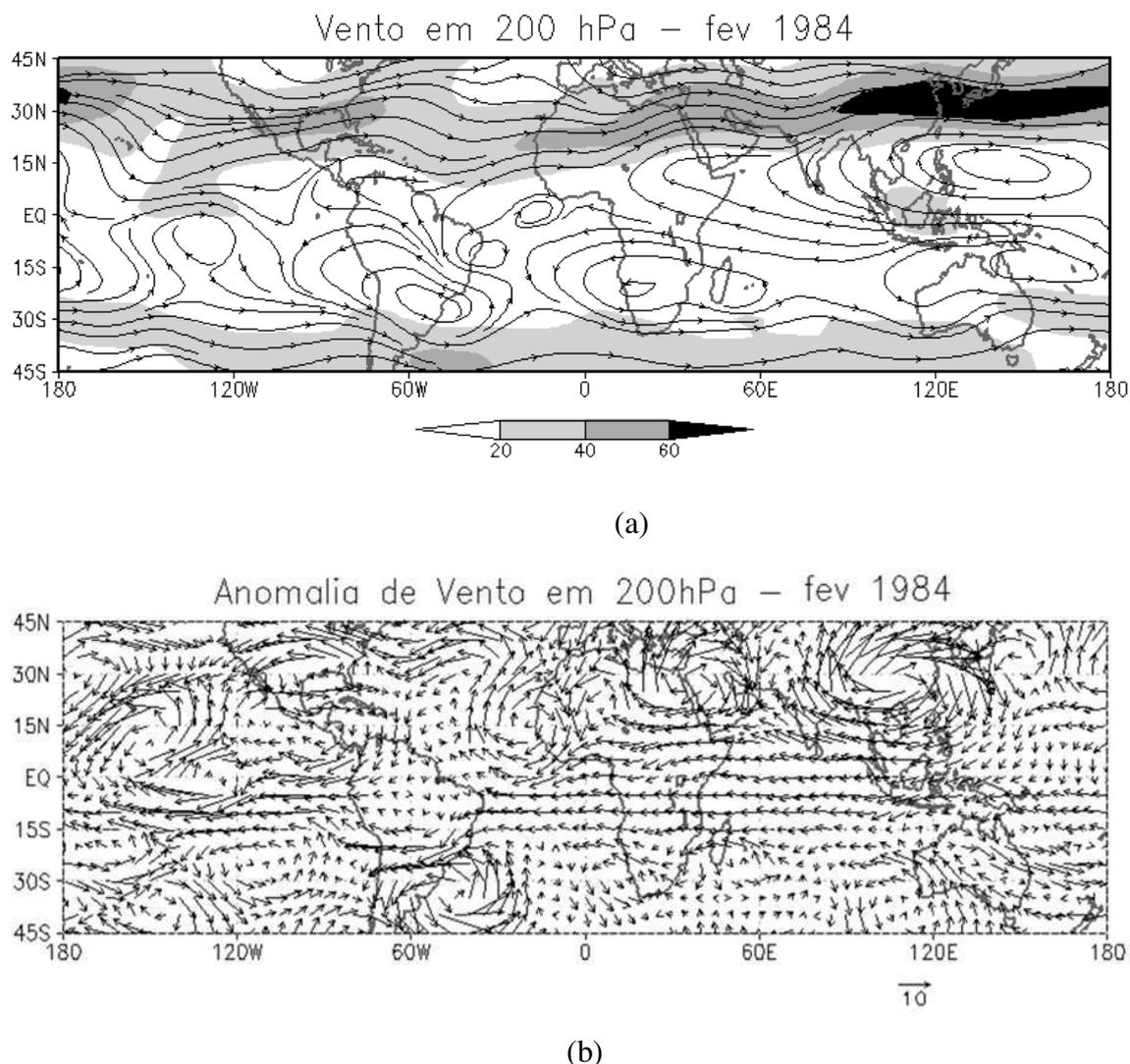


Figura 5.31 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para fevereiro de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

A análise conjunta dos campos médio e anômalo do vento em 850 hPa (Figura 5.32a,b) indica que as altas subtropicais estão mais/menos intensas em determinadas áreas nesse mês de fevereiro. A ASAS é um exemplo; ela apresenta um núcleo na área oceânica adjacente às Regiões Sul e Sudeste (Figura 5.32a), onde um anticiclone anômalo está centrado (Figura 5.32b). Por outro lado, ao leste desse anticiclone há ventos anômalos de sudoeste, oeste, noroeste, configurando um cavado na área de atuação da ASAS. Dessa forma, o setor oeste (leste) da ASAS se apresenta intensificado (enfraquecido). De maneira geral, isso também pode ser observado em relação à ASPS, à ASAN e à Alta Subtropical do Índico. No campo médio esses sistemas se apresentam subdivididos em dois núcleos (Figura 5.32a).

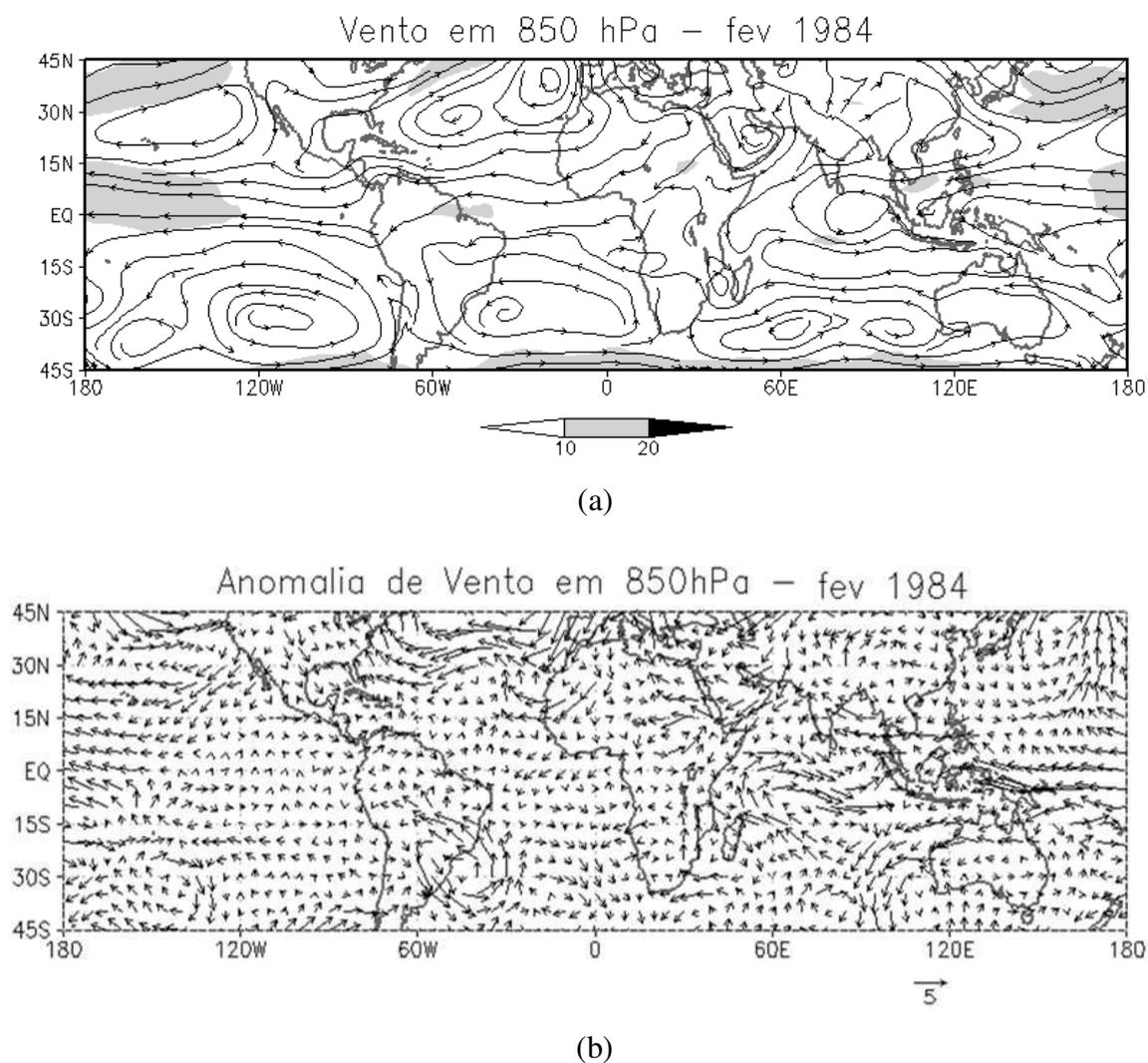


Figura 5.32 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para fevereiro de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

Na Figura 5.33a, que ilustra o campo médio da pressão ao nível médio do mar (PNMM), é mais evidente o que foi discutido no parágrafo anterior devido à presença de dois núcleos de alta pressão na área de atuação da ASAS, da ASPs e da Alta Subtropical do Índico. No caso da ASAS nota-se um núcleo sobre o setor oeste do Atlântico Sul subtropical, em torno de 30°S , e outro núcleo em torno do meridiano de Greenwich. De maneira geral, a localização dos núcleos de alta pressão no hemisfério sul coincide com a posição das anomalias positivas da PNMM vistas na Figura 5.33b. Sobre o centro-sul do continente, e demais áreas do Atlântico Sul, os valores de pressão são abaixo da média.

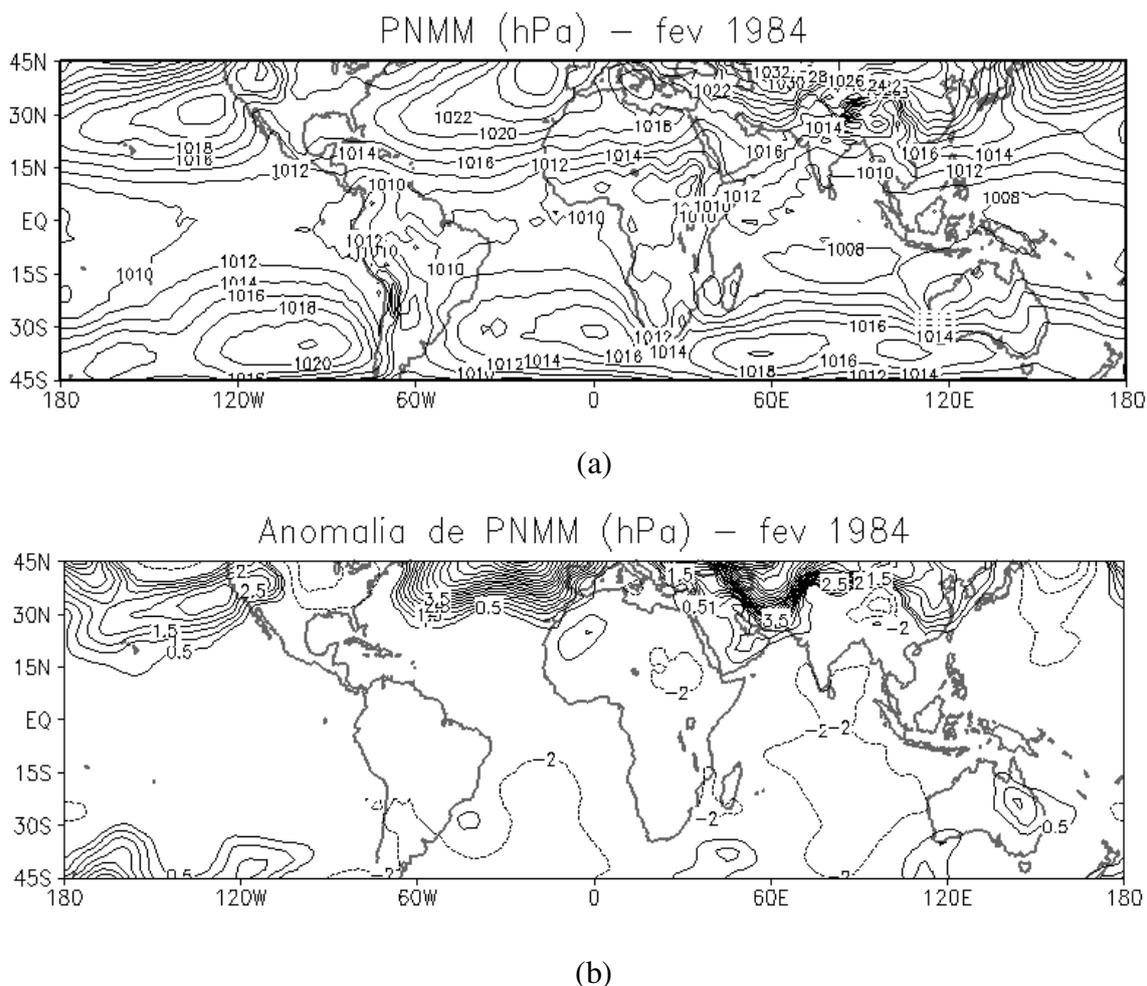


Figura 5.33 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para fevereiro de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

Semelhantemente ao observado em janeiro (Figura 5.30a), o campo médio da ROL apresenta valores inferiores a 240 Wm^{-2} sobre a maior parte do continente, ao norte de 30°S , e também sobre o centro-oeste do Atlântico Norte equatorial (Figura 5.34a). Entretanto, neste mês a ROL acima de 240 Wm^{-2} ocupa uma área mais extensa do NEB, do Sudeste e do extremo norte do continente, o que é evidente no campo médio (Figura 5.34a). No centro-oeste do continente, há uma área extensa de valores inferiores a 200 Wm^{-2} que indicam a presença de nuvens convectivas profundas, padrão típico do verão, associado à área de difluência entre a AB e o CN (VCAN). Além disso, destaca-se que os valores elevados (e anomalias positivas) da ROL no NEB estão relacionados com o posicionamento do núcleo do VCAN ilustrado na Figura 5.31a. Ainda no campo das anomalias, valores negativos são vistos em áreas do norte do continente e em uma banda alongada no sentido noroeste-sudeste, que se estende do Peru ao Uruguai e sul do Brasil (Figura 5.34b).

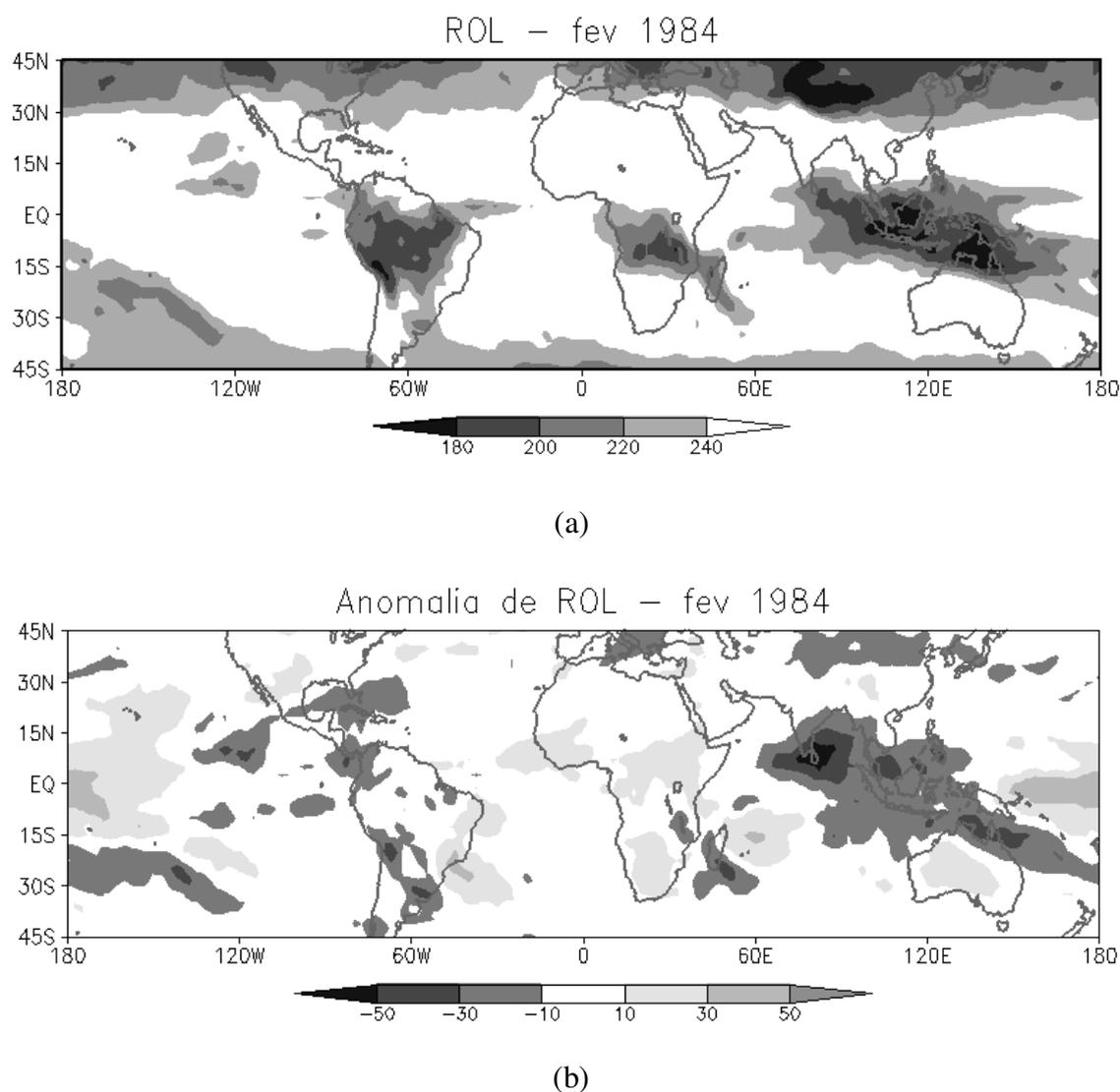


Figura 5.34 – Radiação de onda longa (Wm^{-2}) em fevereiro de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

5.2.2.4 Março de 1984

Contrastando com janeiro e fevereiro, em março o VCAN não é observado sobre o leste do NEB e Atlântico adjacente no campo médio do vento em 200 hPa (Figura 5.35a). Por outro lado, é possível observar o CN, com eixo inclinado na direção noroeste-sudeste sobre o extremo norte da América do Sul e área oceânica a leste do NEB. Outra dessemelhança está relacionada com a AB, que se apresenta ao noroeste da posição ocupada no mês anterior, uma posição mais próxima da climatologia. Nessa configuração a

área de difluência entre o CN e a AB atua sobre parte do NEB, favorecendo o levantamento e a instabilidade do ar nessa área. Esse levantamento se reflete nas anomalias encontradas nas coordenadas geográficas de Salvador na Figura 5.21b,c. Outro padrão relevante nesse campo é o par de anticiclones centrado na África, cuja circulação se estende sobre o Atlântico. Na área de transição entre esses sistemas há difluência, o que induz movimentos ascendentes do ar e formação de nuvens. É importante observar que o anticiclone do norte da África não está presente em janeiro (Figura 5.27a) e fevereiro (Figura 5.31a). Outro par de anticiclones é visto dominando o oeste do Pacífico, a Austrália, a Oceania e o leste do Índico. No campo das anomalias há circulações anticiclônicas bem configuradas nessa área e também no norte da África (Figura 5.35b). Por outro lado, permanece o anticiclone anômalo na área da América do Sul, agora deslocado para noroeste e com centro no estado de São Paulo, aproximadamente. Esse sistema favoreceu o posicionamento da AB ilustrado no campo médio (Figura 5.35a). Corrente abaixo, ao sul de 30°S, há uma nova configuração: um cavado cujo eixo está meridionalmente alinhado ao longo de 30°W.

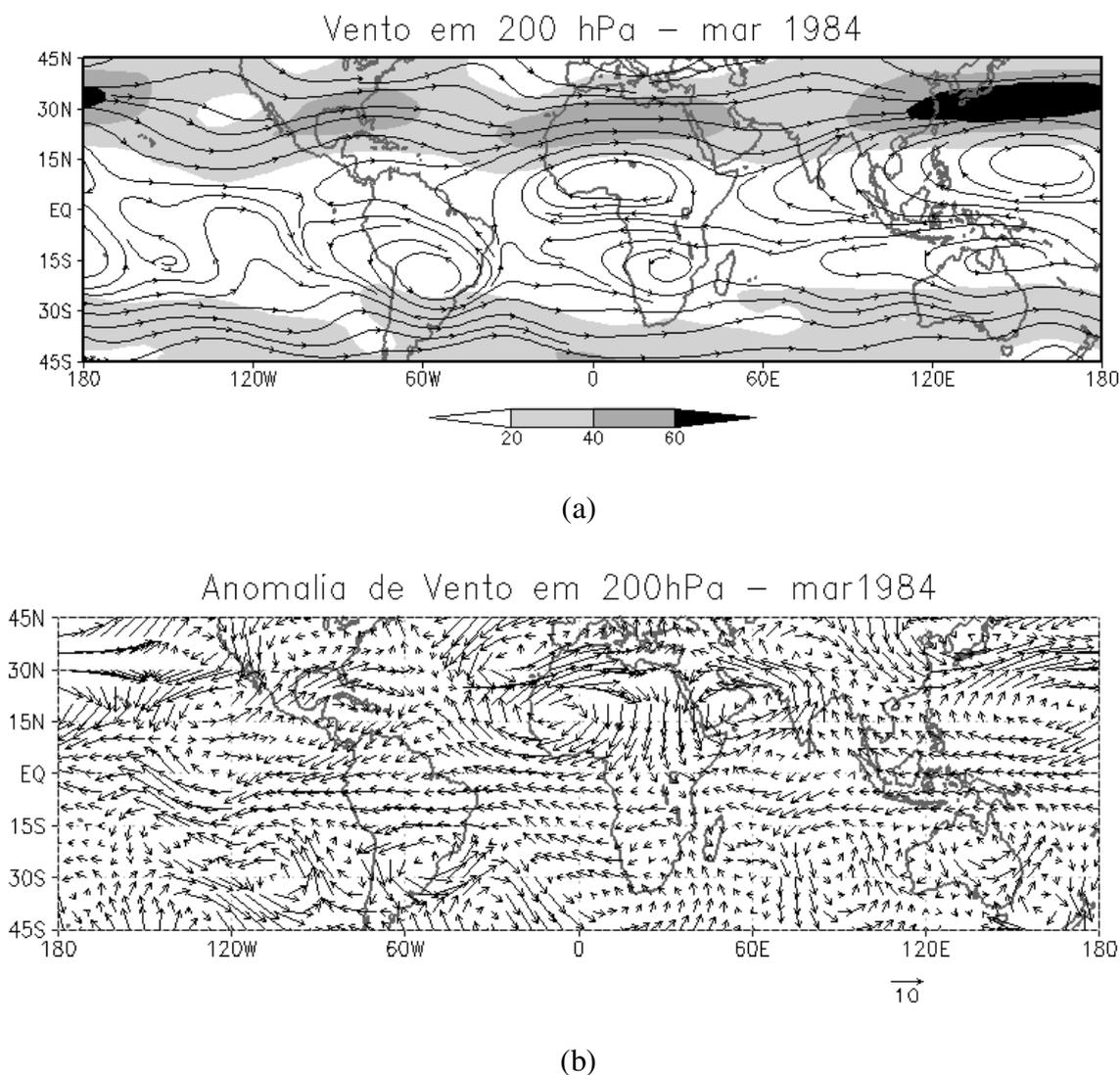


Figura 5.35 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para março de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

O campo da circulação média em 850 hPa indica que o ASAS atua com menor intensidade sobre a América do Sul, enquanto que a circulação da ASPS está melhor definida (Figura 5.36a). No norte da África e no Atlântico equatorial a confluência é evidente, o que favorece os movimentos ascendentes e a formação de nuvens. Essa configuração na baixa troposfera, aliada àquela discutida para a alta troposfera, possibilita a presença de uma ZCIT intensa conforme indicado pelas anomalias na seção reta vertical da Figura 5.21c. A menor intensidade do ASAS fica mais evidenciada através do campo das anomalias devido à circulação ciclônica que atua sobre o centro-leste do continente e o oeste do Atlântico (Figura 5.36b), uma indicação de confluência anômala nessa área.

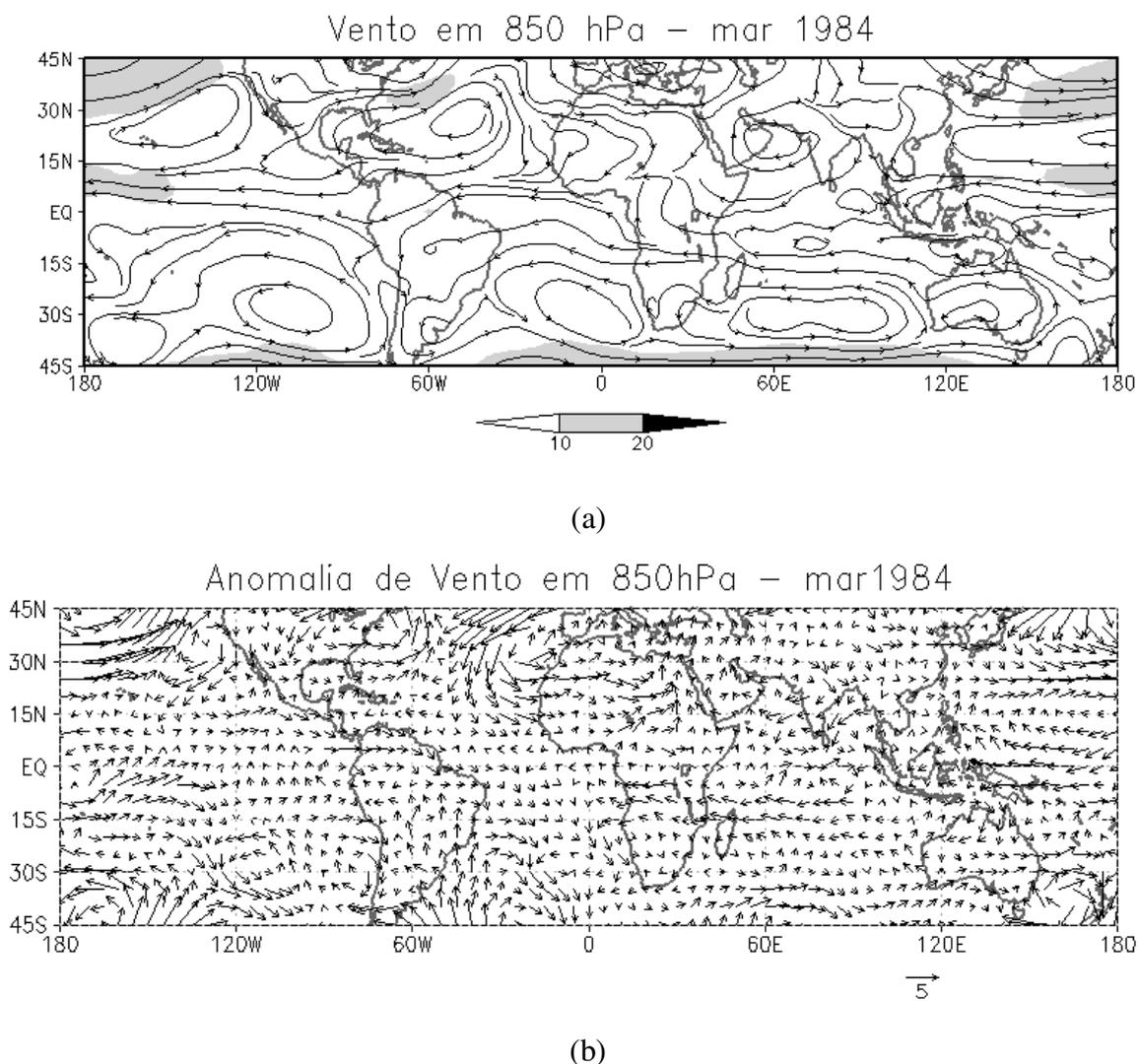


Figura 5.36 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para março de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

No campo médio da pressão ao nível médio do mar (Figura 5.37a) é possível observar a ASAS com centro ao leste do meridiano de Greenwich. O enfraquecimento desse sistema, evidenciado pela área de anomalias negativas da PNMM na Figura 5.37b, e pelo cavado anômalo visto na Figura 5.36b, explica essa nova posição. A ASPS tem configuração semelhante a do mês de fevereiro, com núcleo de 1020 hPa, centrado ao sul de 30°S e em torno de 90°W. No norte da África, as anomalias negativas indicam a intensidade acima da média do centro de baixa pressão situado nessa área (Figura 5.37a,b).

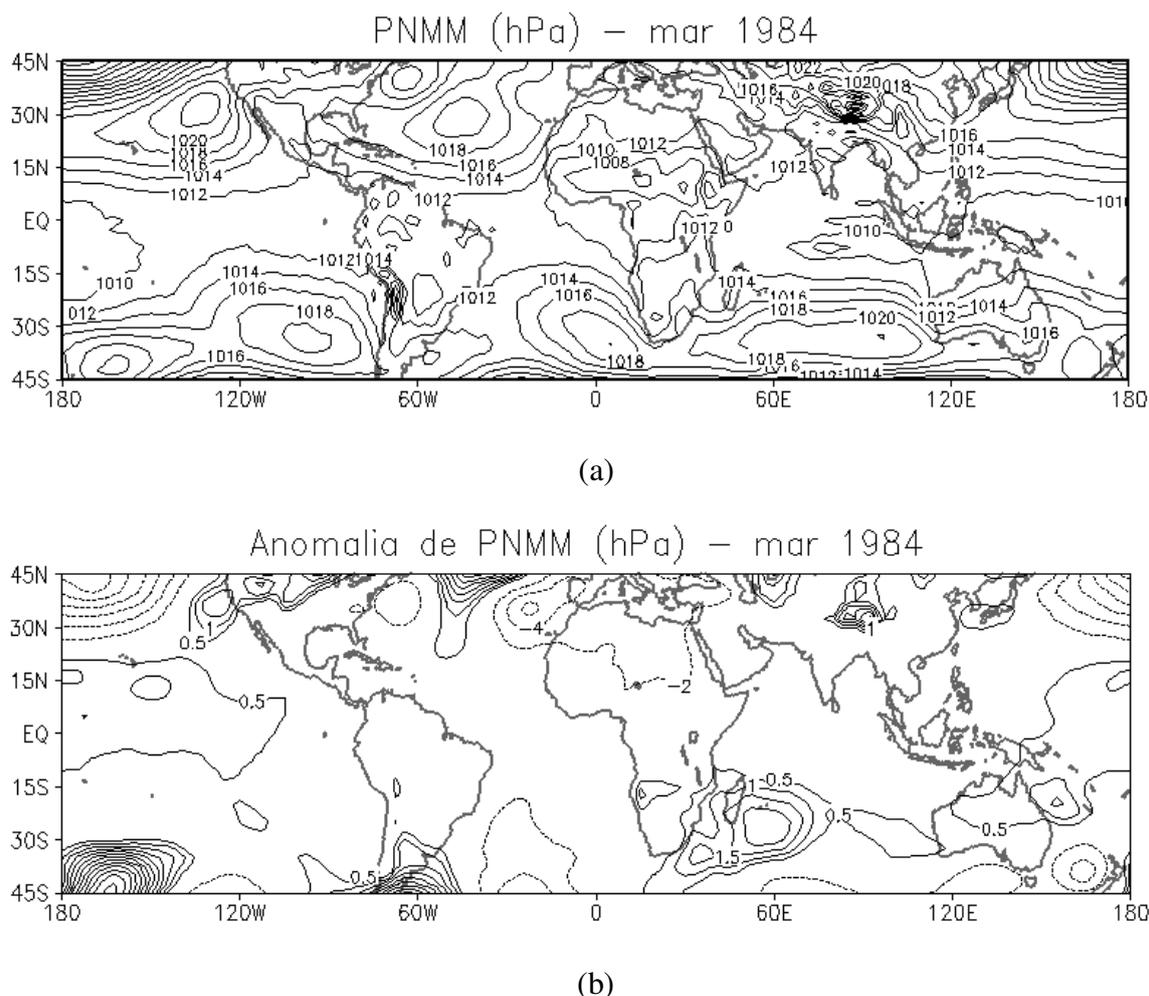


Figura 5.37 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para março de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

O campo médio da ROL apresenta três características que são distintas daquelas observadas nos dois meses anteriores (Figuras 5.30a e 5.34a), em relação aos valores inferiores a 240 Wm^{-2} : (a) eles são vistos em todo o NEB, à exceção de uma estreita faixa no leste da região, (b) na África, eles se estendem para noroeste sobre o continente, cruzando o equador, e (c) eles cobrem uma faixa zonalmente orientada que se estende sobre o Atlântico equatorial, da América do Sul à África (Figura 5.38a). Em particular, valores inferiores a 220 Wm^{-2} cobrem grande parte do NEB e a área oceânica adjacente ao litoral norte da região. É importante observar que essas mudanças foram provocadas pelas alterações nos padrões de circulação discutidas anteriormente. No campo das anomalias, os valores negativos na área do Atlântico indicam maior atividade convectiva na ZCIT (Figura 5.38b). Outro aspecto importante relacionado com esse campo é a ausência de

valores positivos da ROL vistos em janeiro (Figura 5.30b) e fevereiro (Figura 5.34b) no leste do NEB, o que indica cobertura de nuvens dentro da média na região de Salvador.

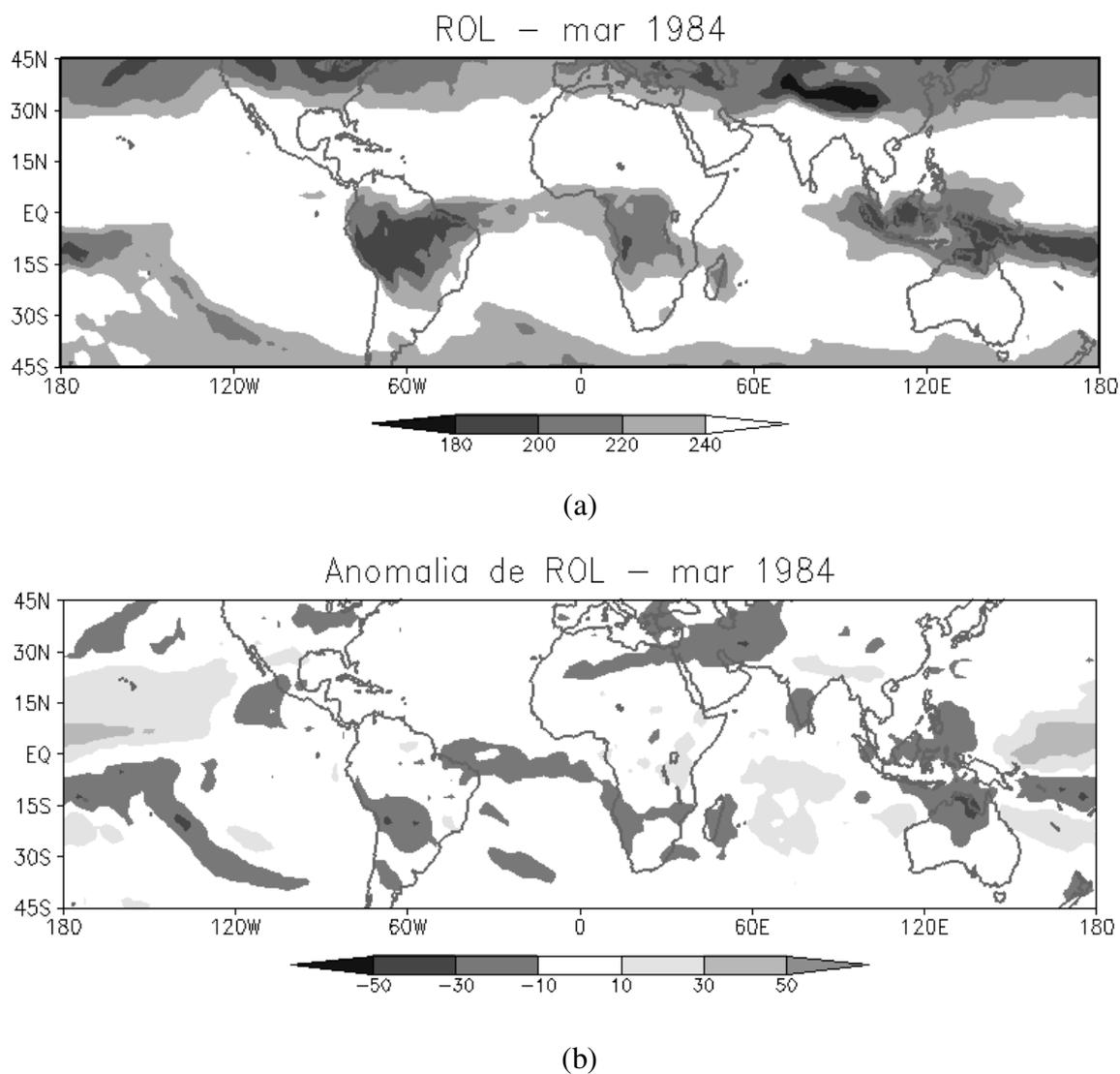
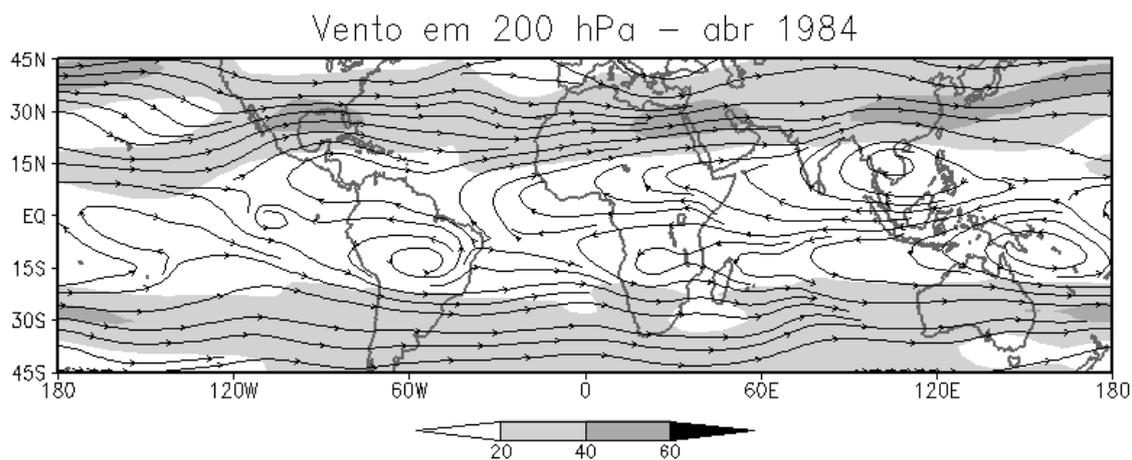


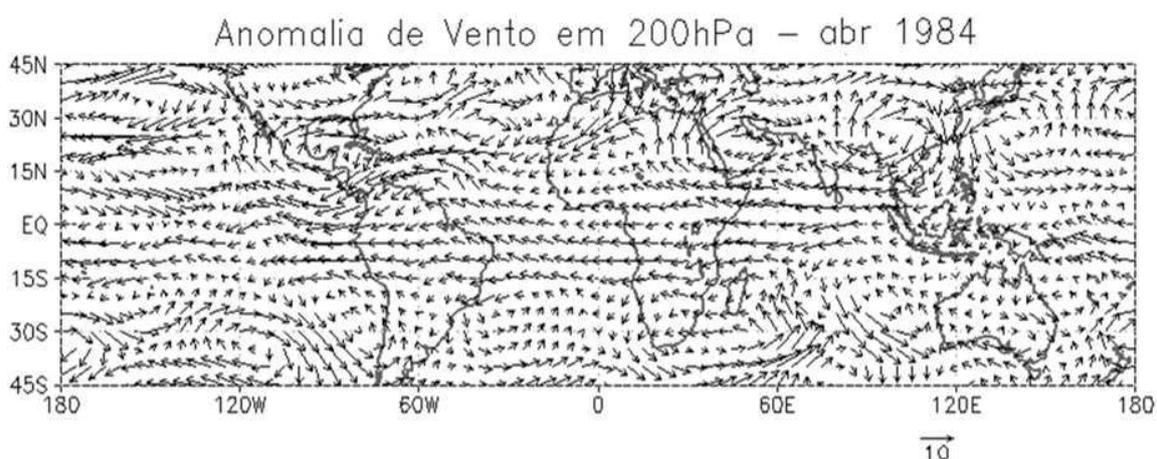
Figura 5.38 – Radiação de onda longa (Wm^{-2}) em fevereiro de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

5.2.2.5 Abril de 1984 (Evento Climático Extremo)

O campo médio de vento em 200 hPa evidencia a AB posicionada ao norte de 15°S, sobre a área central do continente, com a sua periferia leste influenciando o NEB (Figura 5.39a). Paralelamente, permanece o par de anticiclones centrado na África, cuja circulação se estende sobre o Atlântico. Dessa forma, continua o padrão de difluência identificado nessas áreas no mês anterior (Figura 5.35a). Entretanto, os movimentos anômalos ilustrados nas seções retas verticais da Figura 5.22 indicam que esse padrão se acentuou, já que a ascendência é mais forte na região de Salvador, em comparação com o mês anterior (Figura 5.21). Também permanece o par de anticiclones do oeste do Pacífico, Austrália, Oceania e leste do Índico, embora com menor intensidade e mudança na posição central, conforme indicam as anomalias na Figura 5.39b. Ainda no campo das anomalias, destaca-se a circulação anticiclônica que se estende sobre o Sudeste, o Sul e o Atlântico Sul, até o meridiano de Greenwich. O conjunto de análises discutido a seguir indica que essa anomalia está presente em toda a troposfera, até o nível médio do mar, ao sul de 30°S. Na faixa latitudinal entre o equador e 15°S, os ventos são de leste ou leste-sudeste, com velocidade entre 5ms^{-1} e 10ms^{-1} , sobre a América do Sul, África e Atlântico. Esses ventos anômalos também são vistos em março (Figura 5.35b), e sobre a África e o Atlântico em janeiro (Figura 5.27b) e fevereiro (Figura 5.31b).



(a)



(b)

Figura 5.39 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 200 hPa para abril de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

O campo médio da circulação atmosférica em 850 hPa indica que a circulação associada às altas subtropicais do Pacífico e Atlântico ocupa uma área maior e é mais intensa neste mês (Figura 5.40a), em comparação com março (Figura 5.36a), à exceção da ASAN. No campo das anomalias, é possível identificar circulações anticiclônicas nessas áreas (Figura 5.40b). Em particular, merece destaque o centro anticiclônico que domina o litoral leste do Brasil, e o litoral do Uruguai e do norte da Argentina, e que se estende até o meridiano de Greenwich, apresentando ventos de sudeste de intensidade moderada no Sudeste e no sul do NEB (Figura 5.40b). A presença desses ventos representa um fator que pode ter contribuído para o aumento da advecção de umidade do oceano para o continente, o que contribuiria para o elevado total pluviométrico de Salvador nesse mês. Outro fator

seria as anomalias de temperatura acima de $0,5^{\circ}\text{C}$ na superfície do Atlântico Sul tropical, no período de janeiro a março (Figuras 5.19, 5.20 e 5.21), o que favoreceria o aumento da evaporação e, conseqüentemente, um maior teor de umidade do ar sobre essa superfície oceânica. Ainda no campo médio, permanece a confluência no norte da África e no Atlântico equatorial (também presente no campo das anomalias), o que favorece os movimentos ascendentes e a formação de nuvens (Figura 5.40a). Semelhantemente ao mês anterior, essa configuração na baixa troposfera, aliada àquela discutida para a alta troposfera, possibilita a presença de uma ZCIT intensa conforme indicado pelas anomalias na seção reta vertical da Figura 5.22c.

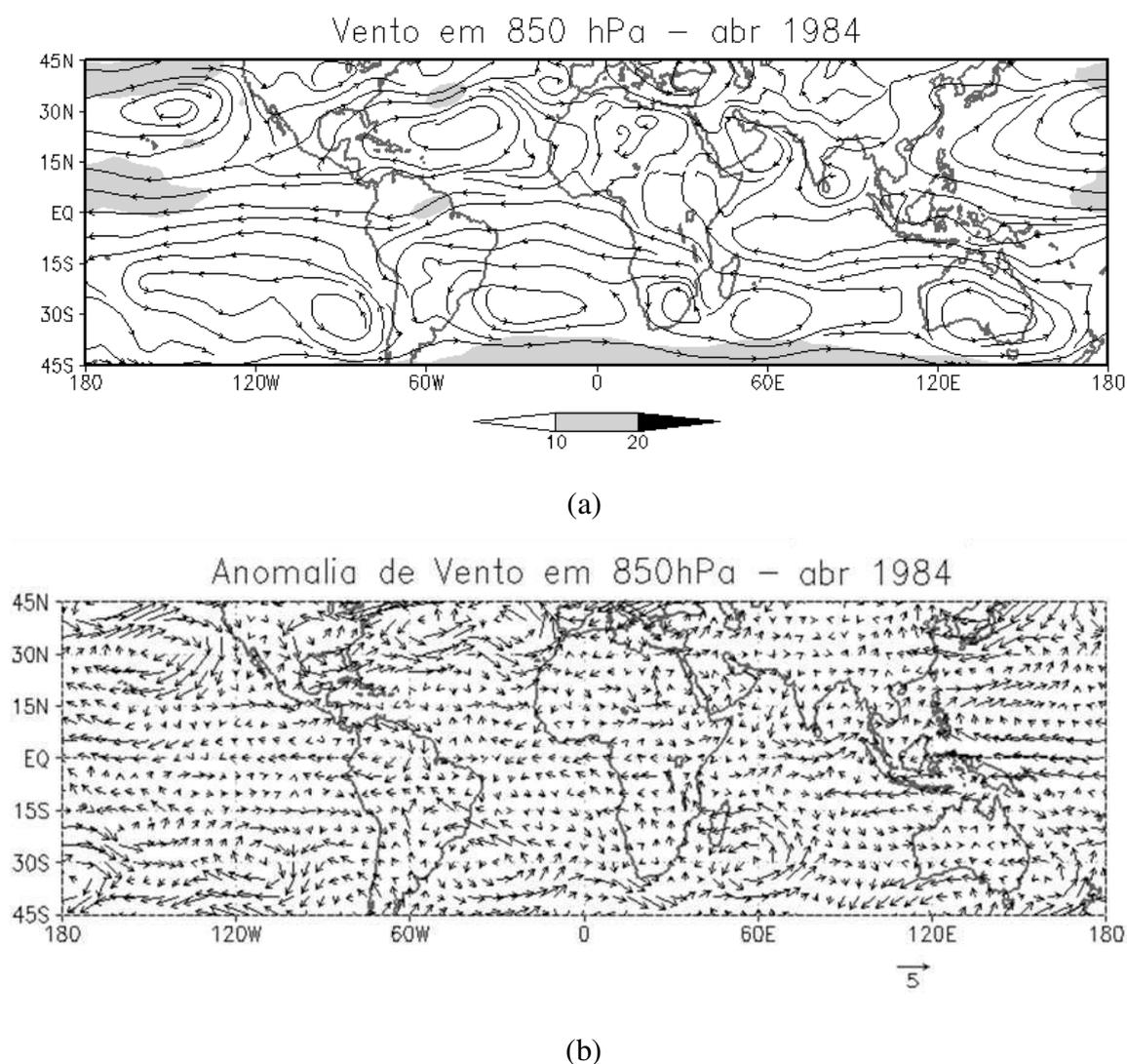


Figura 5.40 – (a) Linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio em 850 hPa para abril de 1984, e (b) anomalia (ms^{-1}) em relação à média de 1979-2010. A magnitude do vento é vista em escala de cinza abaixo do mapa para (a) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

No campo médio da pressão ao nível médio do mar a ASAS se apresenta mais intensa, com núcleos de 1020 hPa, em torno de 35°S (Figura 5.41a). A ASPS, também mais intensa, com núcleo de 1022 hPa, está centrada em torno de 35°S/80°W. Essas altas tem pressão central acima da média do período, conforme comprovam as anomalias positivas na Figura 5.41b. O oposto é visto na área da ASAN. No norte da África, a configuração do campo médio se assemelha à do mês anterior, o que implica em que não houve grandes mudanças na área do centro de baixa pressão (Figura 5.41a,b).

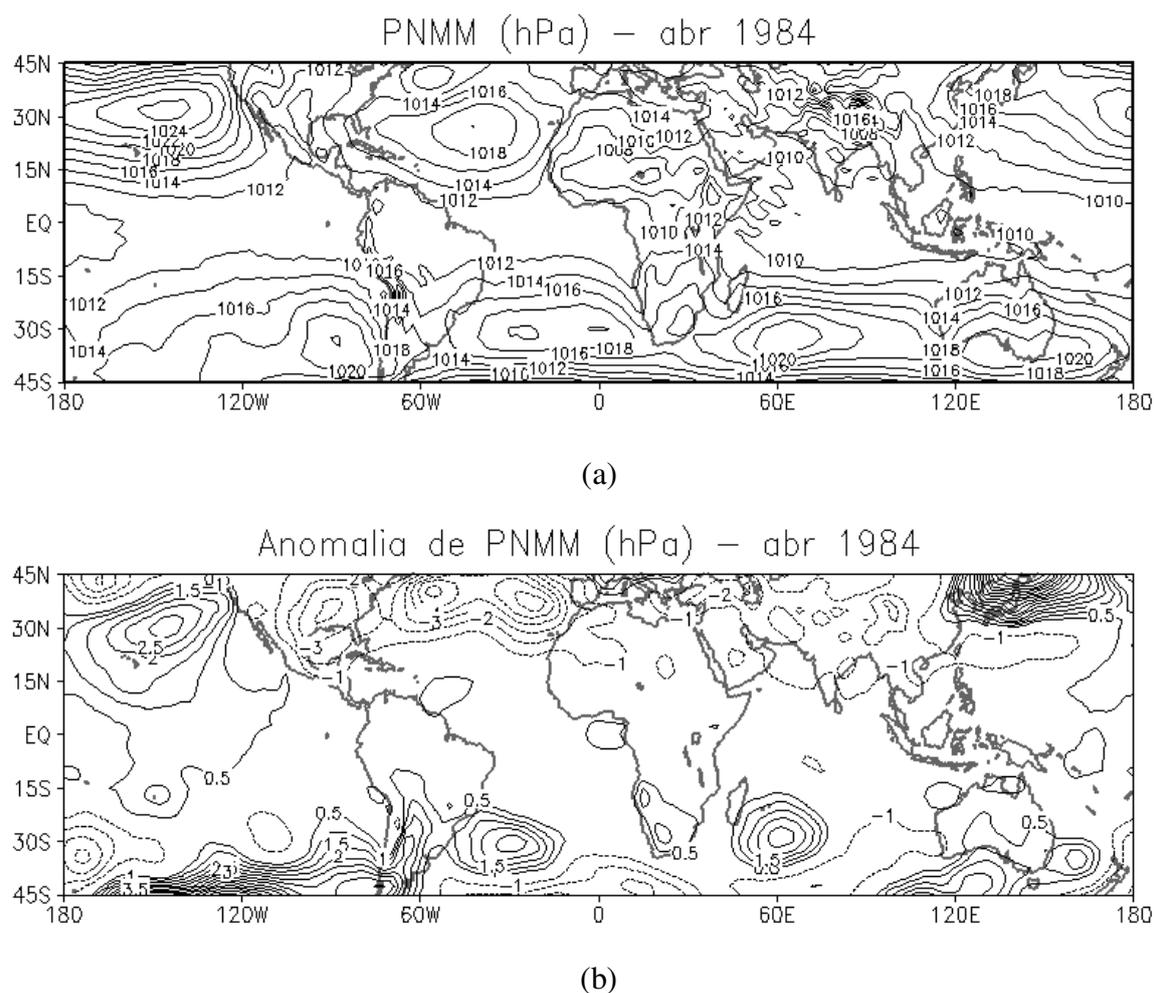


Figura 5.41 – Pressão ao nível médio do mar (hPa) para abril de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). As isolinhas contínuas (pontilhadas) representam anomalias positivas (negativas) em (b) (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

No campo médio da ROL, a área com valores inferiores a 240 Wm^{-2} se apresenta deslocada para norte sobre os continentes sul-americano e africano (Figura 5.42a), enquanto que sobre o Atlântico há valores de ROL mais baixos (inferiores a 220 Wm^{-2}), em comparação com o mês anterior (Figura 5.38a). Esses valores sobre o Atlântico

indicam maior atividade convectiva na área da ZCIT. Um aspecto fundamental do campo médio é a presença da ROL inferior a 240 Wm^{-2} na região de Salvador. No campo das anomalias uma área negativa zonalmente orientada se estende por todo o Atlântico, cobrindo também grande parte das regiões Norte, Nordeste, e Centro-oeste do Brasil. Essa área de anomalias negativas sugere que a interação da ZCIT com sistemas de escala sinótica e sub-sinótica, que atuaram de forma frequente e persistente, favoreceu a intensificação e organização da convecção na região de Salvador.

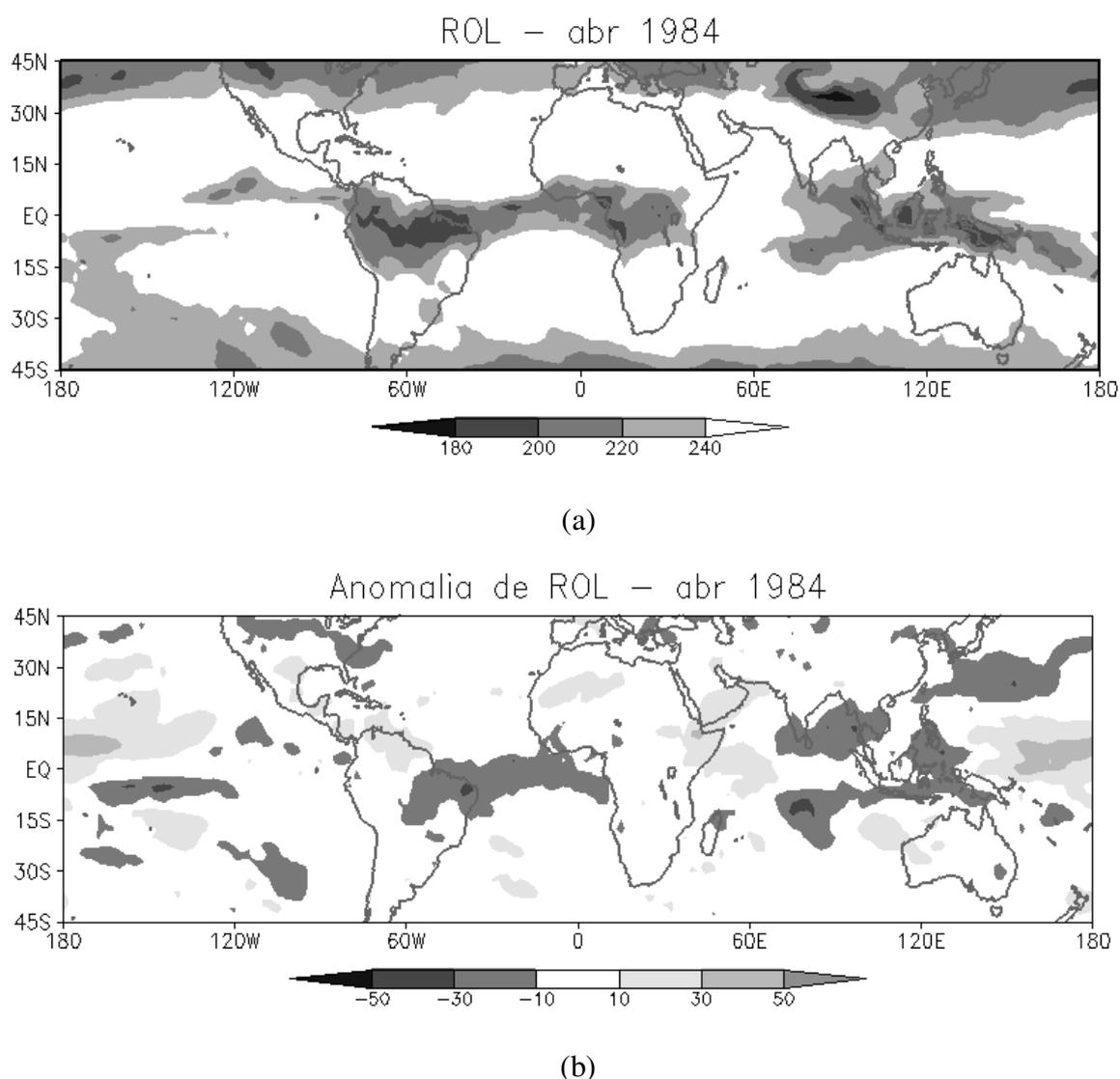


Figura 5.42 – Radiação de onda longa (Wm^{-2}) em abril de 1984: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979 – 2010. A escala de tons de cinza é vista abaixo dos mapas (Fonte de dados: NCEP/NCAR).

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou o estudo da precipitação, associada às condições climáticas, em uma área propícia à ocorrência de desastres naturais no Nordeste do Brasil: Salvador, capital do estado da Bahia. Tendo por base a série histórica (1961-2011) dos totais mensais de chuva dessa cidade, foi aplicada a técnica dos percentis (quantis) para classificar os eventos de chuva em escala anual, quadrimestral e mensal. Na análise anual, 1964 (1961) é o ano mais extremo “muito chuvoso” (“muito seco”). O maior número desses eventos extremos está nas décadas de 1960 e 1980. Na análise do quadrimestre 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. O resultado da análise dos meses individuais possibilitou identificar o extremo climático com o total pluviométrico mensal mais elevado: abril de 1984. De maneira geral, os eventos mais chuvosos e mais secos ocorreram com condições oceânicas favoráveis no Pacífico equatorial e/ou Atlântico Sul tropical.

No mês de abril de 1984, a difluência associada à Alta da Bolívia posicionada ao norte de 15°S na área central da América do Sul favoreceu o levantamento do ar no leste do Nordeste do Brasil. Um fator adicional foi a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul com intensidade acima da média. Uma hipótese a ser verificada, relacionada com a alta, é a de que o transporte de umidade para o continente foi acima da média nesse mês devido a ventos alísios mais intensos, e a um maior teor de umidade na atmosfera proporcionado por temperaturas anormalmente quentes na superfície do Atlântico Sul em meses anteriores. Assim, condições dinâmicas propícias na alta e baixa troposfera, em conjunto com uma estrutura termodinâmica favorável, teriam propiciado o levantamento na coluna de ar abaixo de 200 hPa e a formação de nebulosidade convectiva profunda.

O volume de chuva observado nesse evento climático extremo causou, dentre outros desastres, o escorregamento que entrou para a história de grandes acidentes ocorridos no Brasil, principalmente pelas dezessete mortes registradas em Salvador.

O avanço no conhecimento das condições climáticas associadas à ocorrência de eventos extremos de chuva possibilita o aperfeiçoamento das previsões sazonais, fundamental para a tomada de decisão dos órgãos envolvidos em evitar ou minimizar desastres naturais. O presente trabalho representa uma contribuição nessa direção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L. V. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, 2006.

ALLEY et al. Summary for policymakers. In: **Climate change 2007**. The physical Science basis. Cambridge: Cambridge University Press: United Kingdom and New York, 2007. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

ÁLVARES NETO, E. Problemática da drenagem em Salvador. **Revista VeraCidade** – Ano I. nº 01 – Dezembro, 2006.

ANANIAS, D.S. DE SOUZA, E.B. SOUZA, P.F.S., SOUZA, A.M.L. VITORINO, M.I., TEIXEIRA. G.M., FERREIRA, D.B.S. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 218 - 226, 2010.

ANDREOLI, R. V., KAYANO, M. T. Tropical Pacific and South Atlantic effects on rainfall variability over northeast Brazil. **International Journal of Climatology** 26: 1895–1912, 2006.

BARBOSA, T. F., CORREIA, M. F. Sistemas Convectivos Intensos no Semi-Árido Brasileiro: O Controle da Grande Escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, 395-410, 2005.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v.15, p.2377–2394. 2002.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas: guia para elaboração de políticas municipais. Brasília, 2006. 111 p. 2

CHANGNON AS. 1996. The Great Flood of 1993: Causes, Impacts, and Responses. **Westview Press: Boulder**; 321pp.1996.

CHAVES, R.R., CAVALCANTI, I.F.A. Atmospheric Circulation Features Associated with Rainfall Variability over Southern Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 126, p. 2614-2626, 2001.

CPTEC/INPE. *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*. Disponível em http://enos.cptec.inpe.br/tab_lanina.shtml e http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml respectivamente. Acesso em: julho de 2012.

DAI, A.; FUNG, I. Y.; DEL GENIO, A. D. 1997. Surface observed global land Precipitation variations during 1900-1988. **Journal Climate**, v.10, p.2943-2962, 1997.

DEL RÍO, S.; HERRERO, L.; FRAILEB, R.; PENASA. A. Spatial distribution of recent rainfall trends in Spain (1961–2006). **International Journal of Climatology**, v.31, p.656–667, 2011.

DE SOUZA, E. B., ALVES, J. M. B., NOBRE, P. Anomalias de Precipitação nos Setores Norte e Leste do Nordeste Brasileiro em Associação aos Eventos do Padrão de Dipolo Observados na Bacia do Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.13, n2, 45-55, 1998.

FIALHO, W.M.B., MOLION, L.C.B. Eventos extremos: Alagoas junho de 2010. In: IV Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia, 2011. Rio Grande do Sul, **Anais...** Pelotas, 11 a 15 de Abril.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. **Journal of Climate**, v.18. p.1326-1350. 2005.

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

HAYLOCK, M.R., T.C. PETERSON, L.M. ALVES, T. AMBRIZZI, Y.M.T. ANUNCIACAO, J. BAEZ, V.R. BARROS, M.A. BERLATO, M. BIDEGAIN, G. CORONEL, V. CORRADI, V.J. GARCIA, A.M. GRIMM, D. KAROLY, J.A. MARENGO, M.B. MARINO, D.F. MONCUNILL, D. NECHET, J. QUINTANA, E. REBELLO, M. RUSTICUCCI, J.L. SANTOS, I. TREBEJO, AND L.A. VINCENT: Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, 19, 1490-1512, 2006.

IBGE - *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: agosto de 2012.

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability Summary for Policymakers, 2007. 23p.

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

KOBIYAMA, M.; CA, M. M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. de O.; MARCELINO, E. V.; CALVES, E. F. G.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. de M. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. 1. ed. Curitiba: Editora Organic Trading, 2006. 109 p. 1

LACERDA, F. F.; DIAS, H.; ASSAD, EDUARDO DELGADO; ASSIS, J. M. O.; MOURA, M. S. B., Extremos e Variabilidade Climática no Nordeste Brasileiro e em Pernambuco. In: II Workshop de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos de Pernambuco, 2010, **Anais...** Recife. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos de Pernambuco.

LOPES, M.N.G. **Aspectos Regionais da Variabilidade de Precipitação no Estado do Pará: Estudo Observacional e Modelagem Climática em Alta Resolução**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. Santa Maria, RS, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais(INPE) e Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), 2008. 38 p. 1, 2, 3

MARENGO, J.; CAMARGO, C. G. C. Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, **International Journal Climatology**. DOI:10.1002/joc.1863. 2007.

MARENGO et al. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Clim Dyn**. v.35, n.6, p.1073-1097, 2009. DOI: 10.1007/s00382-009-0721-6

MARENGO, J., RUSTICUCCI, M., PENALBA, O. AND RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**. DOI 10.1007/s10584-009-9743-7, 2010 (a).

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas, Condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. (2011) Disponível em: <http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>. Acesso em: março de 2012.

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

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation mode. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.38, n.12, p.2653-2675. 1981.

PENALBA, O.C., ROBLEDO F. Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. **Climatic Change** (DOI 10.1007/s10584-009-9743-7). Volume 98, Issue 3, 531-550, 2010.

PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966.p. (**Hidrology Papers**, 12).

RAO, V.B., LIMA, M. C., FRANCHITO, S.H. Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**. 6: 1754-1763, 1993.

ROCHA, F. G. **Evolução Temporal de Padrões Atmosféricos em Ano Chuvoso na Cidade de Salvador**. 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

ROPELEWSKI, C. F., HALPERT, M. S. Global and Regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, 1606-1626, 1987.

ROSA FILHO, A.; CORTEZ, A.T.C. A Problemática Sócioambiental da Ocupação Urbana em Áreas de Risco de Deslizamento da “Suíça Brasileira”. **Revista Brasileira de Geografia Física** 03. p. 33-40, 2010.

RUSTICUCCI, M., MARENGO J., PENALBA O. AND RENOM M. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Part 1: mean values and variability. **Climatic Change**. 2010.

SANTOS, C. A. C., BRITO, J. I. B. Análise dos Índices de Extremos para o Semi-Árido do Brasil e suas Relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.

SANTOS, A. H. M. **Eventos Extremos de Chuva em Salvador, Bahia: Condições Atmosféricas e Impactos Ambientais**. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

SANTOS, E. P., CORREIA, M.F., SILVA ARAGÃO, M.R., SILVA, F.D.S. Eventos extremos de chuva e alterações no regime hidrológico da bacia hidrográfica do Rio São Francisco: uma aplicação do índice RAI (rainfall anomaly index). **Engenharia Ambiental**, v. 8, p. 315/2-330, 2011.

SCHEUREN, J.-M.; POLAIN, O. le; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D.; PONSERRE, S. Annual disaster statistics review. 2007. World Wide Web, <http://www.emdat.be/Publications/publications.html>. 1, 3.

TEIXEIRA, M. d. S.; SATYAMURTI, P. Trends in the frequency of intense precipitation events in southern and southeastern Brazil during 1960-2004. **Journal of Climate**, v. 24, p. 1913-1921, 2011.

XAVIER, T. M. B. S. Caracterização de Períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n.2, p.63-78. 1999.

XAVIER, T. de Ma. B.S. Tempo de Chuva – Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional, **ABC Editora**, Fortaleza-Ceará, 478 pp. (2001).

XAVIER, T. M. B. S. A técnica dos quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras. Brasília, DF: **Thesaurus**, 2002. 143p.

XAVIER, T. M. B. S., XAVIER, A. F. S., DIAS, M A F S., DIAS, P. L. S. Interrelações entre eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a chuva nas bacias hidrográficas do Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, p. 111-126, 2003.