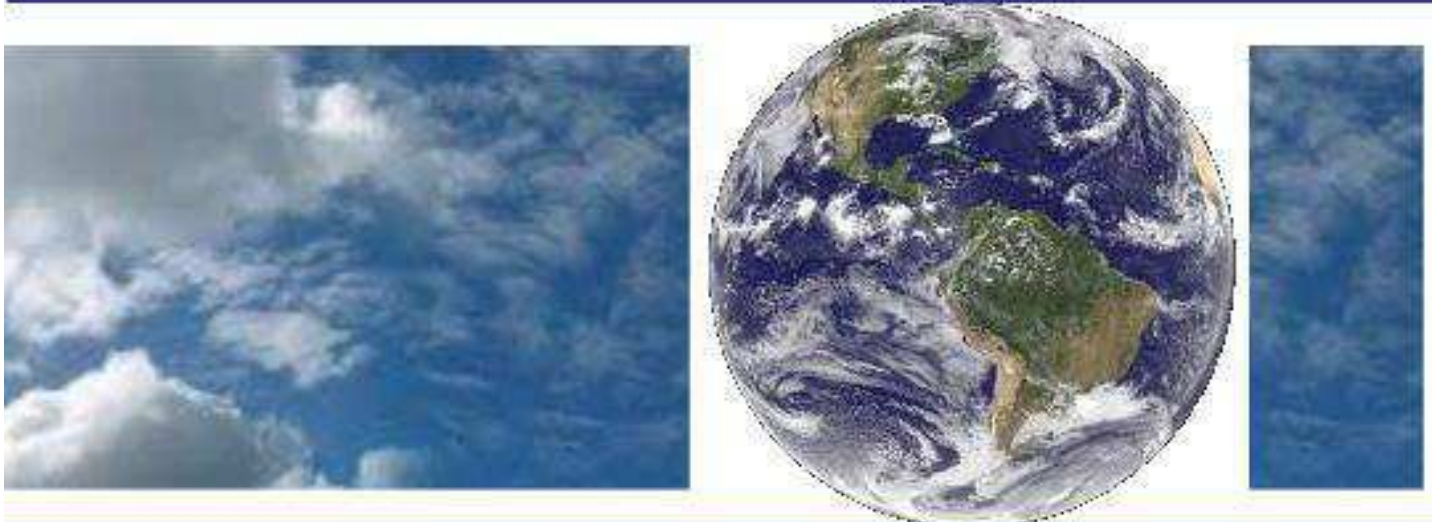


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



Tese de Doutorado

Aldinete Bezerra Barreto

**EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA EM SALVADOR:
UMA ABORDAGEM MATEMÁTICO-ESTATÍSTICA
DO AMBIENTE ATMOSFÉRICO**

Campina Grande, Maio de 2012

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

**EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA EM SALVADOR: UMA
ABORDAGEM MATEMÁTICO-ESTATÍSTICA DO AMBIENTE
ATMOSFÉRICO**

ALDINETE BEZERRA BARRETO

CAMPINA GRANDE – PB
MAIO DE 2012

ALDINETE BEZERRA BARRETO

**EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA EM SALVADOR: UMA
ABORDAGEM MATEMÁTICO-ESTATÍSTICA DO AMBIENTE
ATMOSFÉRICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Meteorologia da Universidade Federal de Campina
Grande - UFCG em cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de Doutor em Meteorologia.

Orientadoras: Maria Regina da Silva Aragão
Magaly de Fatima Correia

CAMPINA GRANDE – PB
MAIO DE 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B273e Barreto, Aldinete Bezerra.
Eventos extremos de chuva em Salvador: uma abordagem matemático-estática do ambiente atmosférico / Aldinete Bezerra Barreto. - Campina Grande, 2012.
149 f. : il.

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Orientadoras: Profa. Maria Regina da Silva Aragão, Profa. Magaly de Fatima Correia.
Referências.

1. Precipitação. 2. Área Urbana. 3. Análise de Ondeletas. 4. Análise Multivariada. I. Título.

CDU 551.577(043)


**EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA EM SALVADOR: UMA
ABORDAGEM MATEMÁTICO-ESTATÍSTICA DO AMBIENTE
ATMOSFÉRICO**

ALDINETE BEZERRA BARRETO


EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA EM SALVADOR: UMA ABORDAGEM
MATEMÁTICO- ESTATÍSTICA DO AMBIENTE ATMOSFÉRICO


TESE APROVADA EM 08/05/2012

BANCA EXAMINADORA



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


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


Prof.ª Dra. CELIA CAMPOS BRAGA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


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


Prof.ª Dra. IRACEMA FONSECA DE ALBUQUERQUE CAVALCANTI
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais


Prof.ª Dra. MARIA ISABEL VITORINO
Faculdade de Meteorologia
Universidade Federal do Pará

DEDICATÓRIA

*A Minha Mãe **Maria do Céu**, que zelou, cuidou e orou por mim em todos os momentos. A sua dedicação foi parte decisiva neste trabalho.*

*Ao meu pai **Antônio Diniz Barreto** e minha vó **Nanzinha**, pelo seu amor incondicional.*

*Pelo grande amor que tenho por eles:
Aos meus irmãos **Roberto, Adélcia e Roberval**. Aos
amigos **Giovânia, Silêde, Aninha, Leomaques,**
Giselma, Vânia e Washigton.
Aos meus sobrinhos **Sheina, Déborha e Randerson**.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais uma etapa vencida em minha vida.

Ao programa de Pós-Graduação em Meteorologia e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo.

À professora Dr^a Maria Regina da Silva Aragão e Dr^a Magaly de Fatima Correia pela valiosa orientação científica e acessibilidade, fundamentais para elaboração deste trabalho, a quem sou muito grata.

Aos membros da Banca Examinadora pelas sugestões recebidas.

Agradeço em especial aos professores Enilson Palmeira Cavalcanti e Enio Pereira de Souza; aos amigos Paulo Medeiros, Ewerton Cleudson de Sousa Melo, Polyana Kely de Oliveira Silva, Rodrigo Vieira de Lima e Carlos Diego de Sousa Gurjão, por suas contribuições na área de informática e na obtenção de dados.

Aos professores e funcionários da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (DCA-UFCG), fundamental na construção do aprendizado. Em especial a Divanete Cruz Rocha, pela atenção e assistência em diversos momentos.

Aos amados e queridos amigos da “HISTÓRIA” (são muitos) que me incentivaram a prosseguir, por me dedicarem tamanho carinho e afeto.

De forma geral, a todos os familiares e amigos que compartilharam desse desejo.

RESUMO

O objetivo deste estudo é caracterizar o regime de chuvas de Salvador em várias escalas de tempo, com foco em eventos extremos de chuva, e identificar padrões da circulação atmosférica de grande escala relacionados com tais eventos. O período de estudo é de 1964 a 2009. Métodos matemático-estatísticos (Percentil, Correlação Linear, Análise de Ondeletas, Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Agrupamento) foram aplicados a dados observacionais de precipitação e dados em ponto de grade de reanálise. A técnica do percentil aplicada à série temporal dos dados diários de precipitação possibilitou classificar como eventos extremos os totais diários com valor igual ou maior do que 50 mm. O principal período chuvoso, abril a julho, detém 61% de todos os eventos da série. A análise de correlação linear mostrou uma relação direta entre a ocorrência dos eventos extremos e total mensal de chuva acima da média. A análise de ondeletas indicou que os eventos estão relacionados com, pelo menos, três tipos de oscilação na escala intrassazonal: de até 12 dias, de 12-24 dias e de 48-96 dias, o que sugere a contribuição de sistemas de escala sinótica como os distúrbios de leste e os sistemas frontais, e de circulações de escala planetária como a Oscilação de Madden-Julian. A ACP aplicada a dados de reanálise identificou padrões nos baixos níveis com configuração indicativa da presença do cavado equatorial/ZCIT, ondas de latitudes médias austrais e ZCAS, essa última relacionada com eventos dos meses de verão (dezembro-janeiro-fevereiro). O padrão do principal período chuvoso tem estrutura ondulatória no escoamento de oeste do hemisfério sul. Todos os padrões apresentam um cavado invertido no leste do Nordeste e área oceânica próxima, resultante da propagação/interação de sistemas atmosféricos da área tropical-extratropical. Nos altos níveis (200 hpa), o padrão relacionado com os eventos de verão mostra a Alta da Bolívia deslocada para nordeste, e o cavado de ar superior posicionado sobre o Atlântico tropical. A estrutura dominante nos padrões de inverno (junho-julho-agosto) é: (a) ondas de latitudes médias austrais com propagação em latitudes baixas, ou (b) uma área de difluência próxima ao equador relacionada com a ZCIT.

Palavras chaves: Área Urbana, Precipitação, Análise de Ondeletas, Análise Multivariada, Padrão Atmosférico, Grande Escala

ABSTRACT

The objective in this study is to characterize the rainfall regime of Salvador on various time scales, with a focus on extreme rainfall events, and to identify large scale atmospheric circulation patterns related to such events. The period of study is from 1964 to 2009. Mathematical-statistical methods (Percentiles, Linear Correlation, Wavelet Analysis, Principal Component Analysis (PCA), Cluster Analysis) were applied to observational precipitation and gridpoint reanalysis data. The percentile technique applied to daily precipitation time series allowed to classify as extreme events daily rainfall totals equal to or greater than 50 mm. The main rainy period, from April to July, has 61% of all events. The linear correlation analysis identified a direct relation between the occurrence of extreme events and above-normal monthly rainfall totals. The wavelet analysis indicated that the events are related to, at least, three types of oscillations on the intraseasonal time scale: up to 12 days, 12-24 days and 48-96 days, suggesting the contribution of synoptic scale systems such as easterly disturbances and frontal systems, and planetary scale circulations as the Madden-Julian Oscillation. The PCA applied to reanalysis data identified low level patterns depicting the equatorial trough/ITCZ, southern mid-latitude waves and SACZ, the last one related to summer month events (December-January-February). The pattern of the main rainy period has a wavelike structure in the southern westerlies. All patterns show an inverted trough in eastern Northeast and the nearby oceanic area, a result of the propagation /interaction of tropical-extratropical atmospheric systems. At high levels (200 hpa), the summer pattern shows the Bolivian high displaced northeastward, and the upper level trough located over the tropical Atlantic. The dominating structure in the winter patterns (June-July-August) is: (a) southern mid-latitude waves propagating toward low latitudes, or (b) a diffluence area close to the equator related to the ITCZ.

Keywords: Urban Area, Precipitation, Wavelet Analysis, Multivariate Analysis, Atmospheric Pattern, Large Scale

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

I. LISTA DE FIGURAS	11
II. LISTA DE TABELAS	20
III. LISTA DE QUADROS	21
IV. LISTA DE ABREVIATURAS	22
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	24
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS	27
2.1 - Objetivo Geral	27
2.2 – Objetivos Específicos	27
CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
3.1 - Climatologia das Precipitações da Região Nordeste	28
3.2 - Sistemas de Circulação e o Nordeste do Brasil	29
3.2.1 - Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico e Atlântico e a Circulação Atmosférica	29
3.2.2 - Oscilação de Madden-Julian	32
3.2.3 - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	33
3.2.4 - Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	34
3.2.5 - Sistema Frontal.....	35
3.2.6 - Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS)/Cavado do Atlântico Sul (CAS)	36
3.2.7- Distúrbio de Leste	37
3.2.8 - Sistemas Convectivos de Mesoescala	38
3.3 - Características da Variabilidade da Precipitação	39
CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.1 - Características da Cidade de Salvador	47
4.2 - Materiais.....	50
4.3 - Metodologia	53
4.3.1 - Técnica do Percentil	53
4.3.2 - Desvio Padronizado de Precipitação	54
4.3.3 - Transformada de Ondeletas (TO) ou Análise em Ondeletas (AO)	55

4.3.4 - Análise de Componentes Principais (ACP)	58
4.3.5 - Análise de Agrupamento (AA)	61
4.3.6 - Correlações e Campos Médios	61
CAPÍTULO 5 – PRECIPITAÇÃO EM SALVADOR: VARIABILIDADE TEMPORAL E EVENTOS EXTREMOS	63
5.1- Características do Regime Pluviométrico	63
5.2- Escalas de Tempo da Precipitação e a Análise de Ondeletas.....	75
CAPÍTULO 6 - PADRÕES ATMOSFÉRICOS DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA	80
6.1- Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM).....	82
6. 2- Componente Zonal do Vento (CZV) em 200 hpa.....	96
6. 3- Componente Meridional do Vento (CMV) em 200 hpa	107
6. 4- Componente Zonal e Meridional do Vento (CZMV) em 200 hpa.....	116
6.5- Componente Zonal e Meridional do Vento (CZMV) em 850 hpa.....	127
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141

I. LISTA DE FIGURAS

- Figura 4.1- Mapa da cidade de Salvador com detalhamento dos seus limites e das zonas político-administrativas incluindo as ilhas: I – Centro, II – Itapagipe, III – São Caetano, IV – Liberdade, V – Brotas, VI – Barra, VII – Rio Vermelho, VIII – Pituba / Costa Azul, IX – Boca do Rio / Patamares, X – Itapuã, XI – Cabula, XII – Tancredo Neves, XIII – Pau da Lima, XIV – Cajazeiras, XV – Ipitanga, XVI – Valéria, XVII – Subúrbios Ferroviários e XVIII – Ilhas.....49
- Figura 4.2- Crescimento Populacional de Salvador-BA no período de 1960-2010. (Fonte dos dados: [SEPLAM - Secretaria Municipal do Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente](#) e IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)50
- Figura 4.3- Localização da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na cidade de Salvador-BA. O círculo verde assinala a estação do INMET. (Fonte da imagem: adaptado de <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br>)52
- Figura 4.4- Área de análise dos dados de pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM) e das componentes zonal (CZV) e meridional (CMV) do vento no nível de 200 e 850 hpa 53
- Figura 5.1- Distribuição do total anual de precipitação e média climatológica do período de estudo da estação de Salvador (*Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*).....65
- Figura 5.2- Distribuição mensal da normal climatológica de precipitação (1961-1990) e da precipitação média e desvio padrão (DP) do período de estudo da estação de Salvador (*Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*) 65
- Figura 5.3-Normal climatológica de precipitação (1961-1990) e variabilidade interanual da precipitação mensal e do número de eventos extremos de precipitação para o período de estudo em Salvador no mês de: (a) abril, (b) maio, (c) junho, (d) julho, (e) agosto, (f) setembro, (g) outubro, (h) novembro, (i) dezembro, (j) janeiro, (k) fevereiro e (l) março. As escalas de (a) a (d) diferem das demais (*Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*).....71

Figura 5.4- (a) Série de precipitação mensal do período de 1964-2009, (b) Espectro de potência de ondeletas, (c) Espectro global. A escala de cores representa a energia de ondeletas (mm^2) no escalograma em (b). Os valores situados sobre e à direita da linha pontilhada em (c) são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95%.....77

Figura 5.5- (a) Série temporal de precipitação acumulada de três dias do período 1991-2009, (b) Espectro de potência de ondeletas, (c) Espectro global. A escala de cores representa a energia de ondeletas (mm^2) no escalograma em (b). Os valores situados sobre e à direita da linha pontilhada em (c) são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95%..... 80

Fig. 6.1- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da pressão ao nível médio do mar (PNMM) do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o *método de Ward e a distância euclidiana*.....84

Fig.6.2- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o quinto fator de dois antes do evento (F5-2), o primeiro fator de um dia antes do evento (F1-1) e o primeiro fator do dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....86

Fig. 6.3- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do evento (F5-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F100). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F100 em (c)..... 87

Fig. 6.4- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o primeiro fator de dois antes do evento (F1-2), o segundo fator de um dia antes do evento (F2-1) e o segundo fator do dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....88

Fig. 6.5- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do

evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F200). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F200 em (c).....89

Fig. 6.6- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o terceiro fator de dois antes do evento (F3-2), o quinto fator de um dia antes do evento (F5-1) e o terceiro fator do dia do evento (F300). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....91

Fig. 6.7- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F5-1) e (c) no dia do evento (F300). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F300 em (c).....92

Fig. 6.8- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 4 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o quarto fator de dois antes do evento (F4-2), o terceiro fator de um dia antes do evento (F3-1) e o quarto fator do dia do evento (F400). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....93

Fig. 6.9- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 4 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do evento (F4-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F400). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F400 em (c).....94

Fig. 6.10- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 5 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o segundo fator de dois antes do evento (F2-2), o quarto fator de um dia antes do evento (F4-1) e o quinto fator do dia do evento (F500). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....95

Fig. 6.11- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 5 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F4-1) e (c) no dia do evento (F500). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F500 em (c)..... 96

Figura 6.12- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o *método de Ward e distância euclidiana*.....100

Fig. 6.13- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa para o primeiro fator de: dois dias antes do evento (F1-2), um dia antes do evento (F1-1) e no dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....100

Fig. 6.14- Distribuição espacial do primeiro fator comum temporal (F1), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F100). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os anticiclones (A) estão indicados no campo do vento médio do F100 em (c).....101

Fig. 6.15- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa para o segundo fator de: dois dias antes do evento (F2-2) um dia antes do evento (F2-1) e no dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....102

Fig. 6.16- Distribuição espacial do segundo fator comum temporal (F2), e das linhas de corrente e velocidade (MS^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F200). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F200 em (c).....104

Fig. 6.17- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa para o terceiro fator de: dois dias antes do evento (F3-2) um dia antes do evento (F3-1) e no dia do evento (F300). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....105

Fig. 6.18- Distribuição espacial do terceiro fator comum temporal (F3), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F200 em (c).....107

Fig. 6.19- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o *método de Ward e distância euclidiana*.....109

Fig. 6.20. Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa para o terceiro fator de dois dias antes do evento (F3-2), segundo fator de um dia antes do evento (F2-1) e o primeiro fator do dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....110

Fig. 6.21- Distribuição espacial dos fatores, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F100). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F100 em (c).....112

Fig. 6.22- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa para o primeiro fator de dois dias antes do evento (F1-2), primeiro fator de um dia antes do evento (F1-1) e o segundo fator do dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico113

Fig. 6.23- Distribuição espacial dos fatores, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F200). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F200 em (c)114

Fig. 6.24- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa para o segundo fator de dois dias antes do evento (F2-2), terceiro fator de um dia antes do evento (F3-1) e o terceiro fator do dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....115

Fig. 6.25- Distribuição espacial dos fatores, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F300 em (c).....116

Fig. 6.26- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o *método de Ward e distância euclidiana*118

Fig. 6.27- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa para o primeiro fator de: dois dias antes do evento (F1-2), um dia antes do evento (F1-1) e no dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....119

Fig. 6.28- Distribuição espacial do primeiro fator comum temporal (F1), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F100). As escalas de cores são

vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F100 em (c)120

Fig. 6.29- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa para o segundo fator de: dois dias antes do evento (F2-2), um dia antes do evento (F2-1) e no dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....121

Fig. 6.30- Distribuição espacial do segundo fator comum temporal (F1), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da componente zonal e meridional do vento em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F200). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão no campo do vento médio no F200 em (c)..... 122

Fig. 6.31- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa para o terceiro fator de: dois dias antes do evento (F3-2), um dia antes do evento (F3-1) e no dia do evento (F300). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....124

Fig. 6.32- Distribuição espacial do terceiro fator comum temporal (F3), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da componente zonal e meridional do vento em 200 hpa: (a) dois dia antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão no campo do vento médio no F300 em (c).....125

Fig. 6.33- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 4 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa para o quarto fator de: dois dias antes do evento (F4-2), um dia antes do evento (F4-1) e no dia do evento (F400). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....126

Fig. 6.34- Distribuição espacial do quarto fator comum temporal (F4), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 4 da componente zonal e meridional do vento em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F4-2), (b) um

dia antes do evento (F4-1) e (c) no dia do evento (F400). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão no campo do vento médio ao F400 em (c)127

Fig. 6.35- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o *método de Ward e a distância euclidiana*.....130

Fig. 6.36- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa para dois dias antes do evento (F3-2), um dia antes do evento (F2-1) e no dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....131

Fig. 6.37- Distribuição espacial do fator comum temporal, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da componente zonal e meridional do vento em 850 hpa: (a) dois dias antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F100). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os centros anticiclônicos (A), os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas pretas tracejadas) e de cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo do vento médio no F100 em (c)132

Fig. 6.38- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa para dois dias antes do evento (F1-2), um dia antes do evento (F1-1) e no dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico131

Fig. 6.39- Distribuição espacial dos fatores comuns temporais, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da componente zonal e meridional do vento em 850 hpa: (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F200). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os centros anticiclônicos (A), os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas pretas tracejadas) e de cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo do vento médio no F200 em (c).....135

Fig. 6.40- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa para dois dias antes do evento (F2-2), um dia antes do evento (F3-1) e no dia do evento (F300). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.....136

Fig. 6.41- Distribuição espacial dos fatores comuns temporais, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da componente zonal e meridional do vento em 850 hpa: (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão no campo do vento médio no F300 em (c).....137

II. LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1- Distribuição mensal da normal climatológica da temperatura do ar e precipitação do período de 1961-1990 da estação climatológica principal de Salvador-BA, (RAMOS <i>et al.</i> , 2009).....	57
Tabela 5.1. Frequência (número mensal e anual) de dias com chuva no período de estudo	66
Tabela 5.2 Frequência (número mensal e anual) de eventos extremos de chuva (total diário igual ou maior que 50 mm) no período de estudo	67
Tabela 5.3- Desvio Padronizado de Precipitação (DPP) da estação do INMET em Salvador-BA. (Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia)	74
Tabela 5.4. Correlação entre Desvio Padronizado de Precipitação (DPP) e Número de Eventos Extremos de Precipitação (NEE) ao nível de significância de 95%	76
Tabela 5.5. Escalas de tempo usadas no escalograma de energia de ondeletas da série de precipitação acumulada de três dias do período 1991-2009 (Figura 5.5b)	79
Tabela 6.1 Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da pressão ao nível médio do mar (PNMM).....	83
Tabela 6.2. Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Acumulada da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa.....	98
Tabela 6.3- Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa.....	108
TABELA 6.4- Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa	117
Tabela 6.5- Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa.....	129

III. LISTA DE QUADROS

Quadro 6.1. Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da pressão ao nível médio do mar (PNMM)	85
Quadro 6.2. Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa.....	98
Quadro 6.3. Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa.....	110
Quadro 6.4. Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa.....	118
Quadro 6.5. Relação dos fatores pertencentes a cada Tipo de Padrão da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa.....	130

IV. LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Alta pressão
AA	Análise de Agrupamento
AB	Alta da Bolívia
ACP	Análise de Componentes Principais
AF	Análise Fatorial
AO	Análise de Ondeletas
AS	América do Sul
ASAN	Alta Subtropical do Atlântico Norte
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASPS	Alta Subtropical do Pacífico Sul
B	Baixa pressão
BA	Bahia
CAS	Cavado do Atlântico Sul
CMV	Componente meridional do vento
CODESAL	COORDENADORIA DE DEFESA CIVIL DE SALVADOR
CZV	Componente zonal do vento
CZMV	Componentes zonal e meridional do vento
DPP	Desvio Padronizado de Precipitação Mensal
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FOE	Funções Ortogonais Empírica
GRADS	Grid Analysis and Display System
HN	Hemisfério Norte
hPa	HectoPascals
HS	Hemisfério Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JBN	Jato de Baixos Níveis
JST	Jato subtropical
LN	La Niña
NCEP	National Centers for Environmental Prediction

NEB	Nordeste Brasileiro
NEE	Número de eventos extremos de precipitação
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
S	Sul
SQD	Soma dos Quadrados dos Desvios
SF	Sistema Frontal
TF	Transformada de Fourier
TFCD	Transformada de Fourier de curta duração
TO	Transformada em Ondeletas
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UTC	Universal Time Coordinated
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
W	Oeste
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No cinturão tropical do globo a chuva é o elemento meteorológico cuja variabilidade tem maior impacto sobre os ecossistemas e as atividades humanas. De maneira geral, a deficiência de chuva tem recebido mais atenção dos pesquisadores, já que muitas áreas tropicais dependem fortemente das águas da estação chuvosa. Isso é particularmente verdadeiro para regiões semiáridas como a área central do Nordeste do Brasil, foco de muitos estudos sobre secas e, em menor grau, sobre inundações (RAO *et al.*, 1986, 1995; SILVA ARAGÃO *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2010).

Os totais pluviométricos anuais do semiárido nordestino são da ordem de 750 mm, e contrastam com os do litoral leste, que ficam em torno de 2000 mm (RAMOS *et al.*, 2009). As secas não são problemas frequentes na área litorânea, apesar da ocorrência de anos com chuva muito abaixo da média. Em contrapartida, eventos intensos de chuva são relativamente frequentes e causam grande impacto, notadamente em áreas urbanas. É nas cidades, principalmente nas capitais, que se concentra a maioria da população, que ocupa o espaço urbano de forma muitas vezes desordenada, provocando alterações nas suas características físicas, tornando-as mais vulneráveis a desastres sócio-ambientais em eventos de chuvas intensas: deslizamentos, soterramentos, enchentes, alagamentos e outros.

O ano de 2010 traz lembranças recentes de tragédias associadas a chuvas intensas no Brasil. No estado do Rio de Janeiro o ano começou com deslizamentos de encosta na Ilha do Bananal e na Ilha Grande e, o pior deles, em Angra dos Reis. No mês de abril e maio, novos registros de destruição e vítimas fatais nos estados do Rio de Janeiro e da Bahia. Na cidade de Niterói-RJ, o deslizamento no Morro do Bumba, um lixão desativado, foi uma tragédia anunciada. Na região metropolitana de Salvador-BA, o Rio Ipitanga transbordou e deixou parte da cidade de Lauro de Freitas debaixo d'água. No mês de junho, uma das tragédias mais impressionantes atingiu os estados de Pernambuco e Alagoas. A cidade de Água Preta-PE chegou a ficar submersa. Na cidade de União dos Palmares-AL, o Rio Mundaú e o Rio Paraíba transbordaram.

Chuvas intensas têm consequências particularmente graves na cidade de Salvador. Situada no litoral leste da Região Nordeste a capital baiana, que tem cerca de três milhões de habitantes (IBGE, 2010), é uma das cidades brasileiras de maior pluviosidade anual, tendo seu período chuvoso principal no quadrimestre de abril a julho (BARRETO *et al.*, 2008). Sendo a terceira cidade do Brasil em número de habitantes, Salvador é particularmente vulnerável a eventos intensos de chuva, não somente pela ocupação precária e desordenada do solo urbano, mas também por seu relevo acidentado formado por vales e colinas com altitudes que variam de 10 a 110 m.

O espaço urbano de Salvador é distinto e oposto: as ruas estreitas e construções antigas tombadas pelo Patrimônio Histórico coexistem com avenidas largas e prédios modernos, que contrastam com as ocupações em áreas de encosta e várzea. É conhecido que as chuvas fortes que caem sobre a cidade atingem diversas camadas sociais, principalmente pelas situações inusitadas de alagamentos. No entanto, a parte mais atingida é a população que vive em habitações precariamente construídas em áreas de risco, sem infraestrutura de drenagem adequada ou, até mesmo, com sua total inexistência. Consequentemente, deslizamentos de terra, desabamento de moradias, inundações estão geralmente associados com os eventos de chuva intensa na cidade, a despeito das medidas preventivas e emergenciais adotadas pela Coordenadoria de Defesa Civil de Salvador (CODESAL).

É sabido que o esforço para minimizar as consequências das chuvas fortes em área urbana requer uma abordagem multifatorial que envolve, desde a implantação de políticas públicas para o uso e a ocupação do solo urbano, até um conhecimento mais profundo do regime pluviométrico e das circulações atmosféricas que o condicionam. Neste estudo, que tem como foco principal os eventos extremos de chuva de Salvador, é investigada a variabilidade da precipitação em várias escalas de tempo e as circulações atmosféricas associadas, bem como identificados padrões da circulação atmosférica de grande escala associados a tais eventos. Espera-se que os resultados obtidos sirvam de base para comparações com futuros estudos observacionais e de modelagem numérica, além de contribuir no planejamento urbano e nas atividades de monitoramento e previsão do tempo e clima de Salvador.

O trabalho está organizado em 7 capítulos. No Capítulo 2 são apresentados os objetivos deste estudo. No Capítulo 3 é apresentada a revisão bibliográfica da climatologia da precipitação no Nordeste, dos sistemas de circulação que influenciam a região, da aplicação da

Análise de Componentes Principais, da Análise de Agrupamento e da Análise de Ondeletas, e também de estudos que investigaram as causas e os impactos de eventos intensos de precipitação. No Capítulo 4 é feita uma breve discussão das características físicas e climatológicas da cidade de Salvador, bem como a descrição dos dados e metodologias utilizados. A discussão dos resultados está subdividida em dois capítulos: no Capítulo 5 é discutida a variabilidade temporal da precipitação em Salvador e, no Capítulo 6, os padrões atmosféricos relacionados aos dias dos eventos extremos de chuva em Salvador. As conclusões são apresentadas no Capítulo 7.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Neste estudo o objetivo geral é caracterizar a variabilidade da chuva e os padrões atmosféricos relacionados com a ocorrência de eventos extremos de precipitação em Salvador, através de métodos de análise meteorológica e matemático-estatística aplicados a dados de âmbito global, regional e local.

2.2 Objetivos Específicos

Os *objetivos específicos* são:

- a) analisar a variabilidade da chuva em várias escalas de tempo;
- b) identificar eventos de chuva intensa com ênfase em casos extremos;
- c) investigar a existência de padrões atmosféricos relacionados com os eventos extremos de precipitação;
- d) identificar sistemas meteorológicos de grande escala favoráveis a ocorrência de eventos extremos de precipitação com base nos eventos identificados para estudo;
- e) avaliar a contribuição relativa de circulações atmosféricas de diversas escalas para a precipitação em Salvador, a exemplo dos sistemas frontais e da Oscilação de Madden-Julian (OMJ);

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Climatologia das Precipitações da Região Nordeste

As chuvas, assim como a falta delas, estão relacionadas com fenômenos atmosféricos pertencentes às várias escalas temporais e espaciais, que vão desde a escala global e interdecadal às locais.

É conhecido atualmente que parte da variabilidade temporal da precipitação no Nordeste é explicada em escala interanual por padrões climáticos de escala planetária provocados por variações lentas na temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico e Pacífico Tropical (ANDREOLI & KAYANO, 2007; UVO *et al.*, 1998; ROPELEWSKI & HALPERT, 1987). As secas severas (chuvas excessivas) têm sido relacionadas à ocorrência do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) durante o evento El Niño (La Niña), fase quente (fria) do ENOS. Na escala interdecadal, a variabilidade da precipitação pode estar associada à Oscilação Decadal do Pacífico (ANDREOLI *et al.*, 2004). Oscilações atmosféricas intra-sazonais também têm sido associadas à variabilidade da precipitação no Nordeste, a exemplo da Oscilação de Madden-Julian (OMJ), de escala planetária. Outros fenômenos, de escala planetária e sinótica, também influenciam a Região Nordeste: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas Frontais Austrais (SF), Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), Distúrbios de Leste (DL), entre outros. Os sistemas de mesoescala também são responsáveis pela ocorrência de chuvas no Nordeste e podem se apresentar sob a forma de aglomerados convectivos, complexos convectivos, linhas de instabilidade, sistemas de brisa e circulações não convencionais.

Essa diversidade de sistemas de circulação atmosférica, em várias escalas, que atuam na Região Nordeste causa grande variabilidade temporal e espacial na distribuição de chuva. É possível identificar três regimes de chuva principais na região Nordeste: na parte norte, o quadrimestre mais chuvoso é fevereiro, março, abril e maio; na parte sul, de dezembro a março, e na parte leste é de abril a julho (MOLION & BERNARDO, 2002). A área urbana foco deste trabalho está situada na última, no litoral leste. O principal período chuvoso (abril a julho) foi

associado, por Kousky (1979), a maior atividade de circulação de brisa que advecta bandas de nebulosidade para o continente e à ação de zonas de convergência associadas a frentes frias em dissipação que avançam ao longo da costa. Esse período chuvoso também é associado aos distúrbios de leste que atuam no litoral leste do Nordeste (RATISBONA, 1976). As precipitações neste setor estão também relacionadas com os alísios de sudeste, que são modulados pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (Rao *et al.*, 1993). Quanto à variabilidade diária, a máxima atividade convectiva acontece no período noturno em consequência da convergência entre os ventos alísios de sudeste e os ventos locais (Kousky, 1980). Num estudo que teve por base dados horários de precipitação da cidade de Salvador, Silva Aragão *et al.* (2008) determinaram que a frequência da chuva nessa cidade é mínima no período da tarde, e máxima no período da madrugada e início da manhã, sugerindo a importância da interação entre a brisa terrestre e os ventos alísios. Na análise também ficou evidente que a distribuição da frequência horária tem caráter bimodal, no ano e quadrimestre chuvoso, o que sugere que outros mecanismos dinâmicos têm papel importante na produção da chuva nesses meses.

Brito *et al.* (1994) concluíram que a precipitação no leste do Nordeste não é consequência de um fenômeno de escala local, mas sim de um fenômeno de escala sinótica que ocorre na estação de inverno: uma zona de convergência quase zonal que se estende do leste da região até o meridiano de Greenwich, por eles denominada zona de convergência secundária.

A discussão acima indica que a interação entre mecanismos atmosféricos de diversas escalas atuantes sobre o Nordeste é essencial na determinação da climatologia da precipitação. Ainda são poucos os estudos voltados para a determinação desses mecanismos e sua importância relativa em eventos chuvosos extremos causadores de danos sócio-ambientais em área urbana do litoral leste da Região Nordeste.

3.2 Sistemas de Circulação e o Nordeste do Brasil

3.2.1 Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico e Atlântico e a Circulação Atmosférica

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de grande escala, caracterizado por anomalias no padrão de temperatura e sua região de origem está situada no Oceano Pacífico Tropical. O fenômeno é constituído por dois componentes: um de natureza oceânica (El Niño),

associado a mudanças na temperatura das águas da camada de mistura e outro de natureza atmosférica (Oscilação Sul) caracterizado por uma gangorra barométrica no campo da anomalia de pressão ao nível médio do mar no Pacífico Tropical Sul. O ENOS causa mudanças na circulação geral da atmosfera, enfraquecendo/intensificando e/ou deslocando a circulação atmosférica de grande escala nos planos meridional e zonal, principalmente aquela relacionada à circulação de Hadley e Walker.

O El Niño corresponde, basicamente, ao aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico Equatorial (entre a costa da América do Sul na altura do Equador e Peru e a costa da Indonésia). O fenômeno oposto ao El Niño é o La Niña, que corresponde ao resfriamento anormal daquelas águas. Esses eventos climáticos, dependendo da intensidade do fenômeno, podem ter efeitos em escala global, provocando secas em algumas regiões e enchentes em outras (Varejão-Silva, 2001). Nos anos de El Niño há o enfraquecimento dos ventos alísios. Nos anos de La Niña os efeitos climáticos são aproximadamente opostos aos do El Niño e os ventos alísios são mais intensos.

A Oscilação Sul é caracterizada por uma oscilação na pressão atmosférica ao nível médio do mar (PNMM), em duas regiões distintas do Oceano Pacífico (Tahiti e Darwin). Ela é representada pelo Índice de Oscilação Sul (IOS), determinado pela diferença entre os desvios, em relação à média, da PNMM no Pacífico Central (Tahiti) e no oeste do Pacífico (Darwin/Austrália). Esse índice está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos baixos níveis da atmosfera, consequência do aquecimento/esfriamento das águas superficiais na região. O IOS é positivo quando a PNMM está acima da média no Tahiti e abaixo da média em Darwin, caracterizando a fase fria. Na fase quente (IOS negativo) o comportamento é inverso. Valores positivos (fase fria) e negativos (fase quente) do IOS são indicadores da ocorrência do La Niña (LN) e El Niño (EN), respectivamente.

As anomalias de precipitação têm sido relacionadas aos padrões oceânicos e atmosféricos anômalos provocados pelo aparecimento dos eventos ENOS. Estudos indicam que as áreas do Brasil mais atingidas pelos episódios El Niño são: o Sertão do Nordeste (semiárido), o norte e o leste da Amazônia e o sul do Brasil. A região sul é afetada pelo aumento de chuvas; a região Amazônica, assim como o Nordeste, apresenta uma diminuição das chuvas, principalmente entre fevereiro e maio, época do período chuvoso no sertão nordestino. Porém, essa diminuição das chuvas não se limita apenas à região do semiárido, ela também pode atingir o

setor leste do Nordeste (Agreste, Zona da Mata e Litoral), caso o El Niño aconteça conjuntamente com o Dipolo do Atlântico Sul negativo (*fonte: <http://www7.cptec.inpe.br/noticias/faces/noticias.jsp?idConsulta=8530&idQuadros=>*).

O Dipolo do Atlântico é outro fenômeno oceânico-atmosférico, caracterizado por mudança anômala na temperatura da água do mar no Oceano Atlântico Tropical. Esse fenômeno muda a circulação meridional da atmosfera (Hadley) e inibe ou aumenta a formação de nuvens sobre o Nordeste do Brasil e alguns países da África, diminuindo ou aumentando a precipitação. Quando a temperatura da superfície do mar (TSM) se encontra abaixo da média no Atlântico Tropical Sul e acima da média no Atlântico Tropical Norte, existem movimentos descendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil e alguns países da África Ocidental, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação, algumas vezes ocasionando secas (Aragão, 1998). Esse padrão de anomalias é conhecido como dipolo positivo. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes, dipolo negativo, existem movimentos ascendentes anômalos sobre o Nordeste do Brasil e países da África Ocidental, favorecendo a formação de nuvens e o aumento da precipitação o que provoca enchentes, em muitas ocasiões.

Os episódios La Niña podem favorecer a ocorrência de chuvas acima da média no semiárido do Nordeste se ocorrem simultaneamente com o Dipolo do Atlântico negativo (ou favorável). Um dos efeitos dos episódios de La Niña é o maior número de frentes frias que chegam a Região Nordeste, notadamente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas (OLIVEIRA, 1986).

Moura *et al.* (2000) analisaram como as anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSM) nos oceanos Atlântico (área do Dipolo) e Pacífico (área do ENOS 3) influenciam o regime de precipitação da costa leste do Nordeste do Brasil (NEB) do Rio Grande do Norte à Bahia. Eles constataram que a ATSM do Pacífico tem correlação muito baixa com a precipitação. Já a correlação entre a precipitação e a ATSM do Atlântico é significativa. Eles observaram nos casos em que a diferença entre a anomalia de temperatura do Atlântico Sul e a anomalia de temperatura do Atlântico Norte é positiva que os estados de Alagoas, Sergipe e Bahia são os de maior percentual de anos com chuvas na média e acima da média (73%). Observaram também que o Atlântico Sul explica melhor o comportamento das chuvas do setor leste do NEB, indicando que os sistemas meteorológicos mais importantes para essa área como os sistemas

frontais austrais, as ondas de leste, e as brisas, são mais frequentes e intensos quando as águas do Atlântico Sul estão mais quentes do que o normal, de forma que as chuvas são mais frequentes e com maior intensidade. O contrário ocorre quando as águas estão com anomalias negativas, ou seja, as chuvas são reduzidas. Ainda no litoral leste do NEB, do Rio Grande do Norte à Bahia, Anjos e Moreira (2000) confirmaram a influência do Dipolo do Oceano Atlântico durante anos de El Niño no regime de precipitação da costa leste do Nordeste.

Dada a importância da variabilidade de TSM no regime de precipitação do NEB e as relações entre as ATSM dos oceanos Pacífico e Atlântico, Andreoli & Kayano (2007) investigaram a importância do Atlântico Tropical Sul na variabilidade de precipitação no NEB reexaminando as anomalias de precipitação no NEB considerando os efeitos do El Niño-Oscilação do Sul (ENOS) e do Atlântico Tropical (AT) na estação anterior à estação chuvosa do NEB. As autoras observaram que na ausência de ATSM significativas no AT, durante a fase inicial e de desenvolvimento do ENOS, nos meses de dezembro a fevereiro, as anomalias na precipitação são ocasionadas, possivelmente, por padrões de teleconexões associados ao rearranjo da célula de Walker e, no período de março a maio, por padrões de teleconexões extratropicais. Observaram também que a ocorrência simultânea do ENOS e de ATSM significativas no AT atuou para aumentar ou diminuir as anomalias de precipitação. ATSM de mesmo sinal no AT e Pacífico leste, enfraqueceram os padrões de precipitação no NEB.

3.2.2 Oscilação de Madden-Julian

Em 1971 Roland Madden e Paul Julian, analisando séries históricas de 10 anos de dados de radiossondagem de várias estações próximas da Indonésia, observaram que num período entre 30 e 60 dias os sistemas meteorológicos que atuavam em diversos locais na região tropical, eram intensificados e enfraquecidos, favorecendo e desfavorecendo, respectivamente, a precipitação. Eles verificaram que este comportamento estava associado à atuação de uma circulação de escala planetária, que se desloca de oeste para leste, em torno do Equador, contornando o globo num período que pode variar entre 30 e 60 dias. Essas oscilações de 30-60 dias são conhecidas como Oscilação de Madden-Julian (OMJ) que consistem de uma onda atmosférica planetária cuja propagação ocorre de forma relativamente uniforme nos Oceanos Índico e Pacífico Equatorial Oeste (Severo, 2007). A OMJ foi inicialmente detectada como um

sinal na componente zonal do vento e pressão na superfície, mas também se manifesta em outras variáveis, tais como, radiação de onda longa (ROL), geopotencial, potencial de velocidade, entre outras (Madden & Julian, 1994).

Alguns estudos indicam a influência da OMJ na variabilidade intrassazonal das chuvas sobre o Nordeste do Brasil, a exemplo do trabalho de Repelli *et al.* (1998) que mostraram evidências dos efeitos das OMJ no regime de precipitação do Nordeste em março de 1997. Eles diagnosticaram que a passagem da oscilação sobre a América do Sul interferiu nas condições meteorológicas, resultando na ocorrência de chuvas intensas em praticamente todo o NEB.

Nobre *et al.* (2000), através da análise da evolução temporal dos campos de ROL e do escoamento em altos níveis, indicaram que as interrupções dos períodos chuvosos na Região Nordeste, durante os meses de março a junho de 1999, podem ter sido causadas, em parte, pela atuação de oscilações de 30-60 dias (OMJ).

Souza e Ambrizzi (2006) afirmam que, na escala global, a passagem da OMJ sobre a América do Sul é o principal mecanismo atmosférico modulador das variações pluviométricas na escala intrassazonal, que influenciam diretamente na precipitação do Leste da Amazônia e Nordeste do Brasil.

3.2.3 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um fenômeno de escala planetária que se faz presente em toda a faixa equatorial do globo. Esta zona é um cinturão de baixa pressão formado sobre os oceanos equatoriais e se encontra inserida numa região onde ocorre a interação de características marcantes atmosféricas e oceânicas, tais como: Zona de Confluência dos Alísios (ZCA), Zona do Cavado Equatorial, Zona de Máxima Temperatura da Superfície do Mar, Zona de Máxima Convergência de Massa e Zona da Banda de Máxima Cobertura de Nuvens Convectivas.

A ZCIT, na área do Atlântico, migra de sua posição mais ao norte, cerca de 14°N em agosto-setembro, para a posição mais ao sul, cerca de 4°S, durante março-abril. É o principal mecanismo responsável pelas chuvas que ocorrem no norte do Nordeste do Brasil (NNE) (Molion & Bernardo, 2002).

Esse fenômeno meteorológico está estreitamente relacionado à Temperatura da Superfície do Mar. A ZCIT geralmente está situada sobre, ou próxima da área de TSM mais elevadas. O Dipolo do Atlântico, como já foi dito antes, se caracteriza pela manifestação simultânea de anomalias positivas e negativas de TSM, configurando-se espacialmente sobre as bacias norte e sul do Oceano Atlântico Tropical. Tal padrão de anomalias (positivas ou negativas) de TSM possibilita a existência de gradientes meridionais de anomalias de TSM, os quais influenciam bastante na posição latitudinal da ZCIT, alterando assim a distribuição sazonal de precipitação pluviométrica sobre o Atlântico Equatorial, e sobre a área norte do Nordeste do Brasil, até a área leste da Amazônia (Nobre & Shukla, 1996).

3.2.4 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um fenômeno atmosférico, de escala sinótica, com atuação bem caracterizada nos meses de verão (dezembro a março), que tem papel importante nos altos índices pluviométricos em grande parte do território brasileiro. A ZCAS é identificada como uma zona de convergência na baixa troposfera e sua principal característica é uma larga faixa de nebulosidade convectiva que se estende desde o sul da Região Amazônica até o Oceano Atlântico Subtropical. O fato da ZCAS ocorrer durante o período de verão do hemisfério sul ressalta a importância da convecção tropical, e consequente liberação de calor latente, na Região Amazônica, tanto para a geração como manutenção do fenômeno (Quadro, 1994).

Alves *et al.* (2006), ao investigarem os principais mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa na área do NEB durante o mês de janeiro de 2004, detectaram a interação de quatro sistemas de circulação atmosférica no Nordeste: ZCIT, VCAS, Frentes Frias que avançaram até o centro-sul do NEB e a Oscilação de 30-60 dias. Essa interação associou-se ao estabelecimento da ZCAS ao norte de sua posição climatológica, potencializando a persistência das chuvas no centro-norte do Nordeste.

3.2.5 Sistema Frontal

Os sistemas frontais (frentes) são estruturas atmosféricas de mesoescala que se deslocam associados a ciclones e anticiclones de escala sinótica que alteram os campos da pressão, da temperatura, do vento e de outras variáveis atmosféricas, ao longo de sua trajetória.

Um importante mecanismo causador de chuvas no leste do Nordeste está ligado à penetração de sistemas frontais. No inverno os sistemas frontais tendem a provocar chuvas apenas nas áreas litorâneas, enquanto que no verão eles têm papel fundamental na formação da convecção tropical no interior da região, onde está localizada a maior parte do semiárido nordestino (Chaves, 1999). Kousky (1979) mostrou que os sistemas frontais influenciam a precipitação na parte sul do nordeste brasileiro, onde penetram durante todo o ano, e que causam aumento da precipitação ao longo da costa leste do Nordeste durante os meses de outono e inverno. Esse tipo de influência foi diagnosticado por Santos (2008) ao investigar as causas do evento intenso de precipitação ocorrido na manhã do dia 21 de abril de 2006, na cidade de Salvador. O avanço de um sistema frontal induziu a formação de um cavado na área oceânica a leste da Região Nordeste, ocasionando convergência de umidade em baixos níveis e movimentos verticais ascendentes, o que resultou num total diário de 110,6 mm de precipitação, valor que representa 34% da normal climatológica do mês.

Correia *et al.* (1996) detectaram a passagem de um sistema frontal em Caravelas-BA no dia 4 de junho de 1985 e sugeriram sua influência sobre Petrolina-PE, localizada no semiárido nordestino. Ele mudou significativamente o tempo na área de Petrolina, o que motivou Souza (2003) a investigar as formas de atuação desse sistema que avançou sobre a zona semiárida do Nordeste do Brasil no início de junho de 1985. Ela atribui as mudanças acentuadas no cenário de grande escala a um ciclone que se desenvolveu, a partir do dia 3, ao longo de uma banda frontal situada a leste da Região Sudeste. No cenário de mesoescala analisou as condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de sistemas convectivos precipitantes utilizando como índice de estabilidade a energia máxima da parcela à superfície (E_{MAX}). A autora concluiu que a convergência de umidade nos baixos níveis relacionada com o sistema frontal que penetrou na região foi o mecanismo dinâmico responsável pelo desenvolvimento e intensificação dos sistemas precipitantes.

3.2.6 Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS)/Cavado do Atlântico Sul (CAS)

Os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), também chamados de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), são sistemas de baixa pressão em grande escala, formados na alta troposfera e cuja circulação ciclônica fechada caracteriza-se por baixas temperaturas em seu núcleo (com movimento subsidente de ar seco e frio) e temperaturas mais elevadas em sua periferia (com movimento ascendente de ar quente e úmido) (Varejão-Silva, 2001).

Os mecanismos de formação dos VCAS de origem tropical não são totalmente conhecidos. Alguns estudos já realizados mostraram que a formação de um VCAS é provocada pela intensificação da Alta da Bolívia (AB), que ocorre devido à penetração de sistemas frontais austrais. Kousky & Gan (1981) sugerem que a penetração de sistemas frontais induz a formação dos VCAS devido à forte advecção quente que os precede. Esta advecção amplifica a crista de nível superior e, conseqüentemente, o cavado a leste. Dependendo da magnitude da intensificação do cavado, uma circulação ciclônica fechada se forma na sua extremidade equatorial, constituindo um VCAS. Esse cavado de ar superior é chamado de Cavado de Altos Níveis (CAN) ou Cavado do Atlântico Sul (CAS), uma configuração vista nos meses de novembro a março.

Os VCAS são sistemas que se movem lentamente e de forma irregular, embora seu deslocamento seja, em geral, de leste para oeste. É comum eles provocarem estiagem na região de atuação do seu núcleo e atividade convectiva e precipitação na sua periferia oeste e norte. Esse padrão pode perdurar por dias, dependendo do seu tempo de permanência.

O deslocamento de um VCAS sobre o Nordeste normalmente mantém parte da região com precipitação e parte sob céu claro. Em vários casos observados, o centro de subsidência dos vórtices fica posicionado sobre o nordeste da Bahia, Sergipe, Alagoas, litoral de Pernambuco e Paraíba, enquanto que sua área de convecção permanece sobre os estados do Piauí, Ceará, oeste do Rio Grande do Norte e de Pernambuco (Conde & Silva Dias, 2000).

Bandeira & Melo (2006) avaliaram a contribuição dos VCAS no regime pluviométrico do Nordeste do Brasil no mês de janeiro dos anos de 2004 e 2006. Eles observaram que no ano de 2004 a posição da Alta da Bolívia favoreceu o posicionamento do centro do VCAS mais para norte, contribuindo para que sua borda convectiva permanecesse sobre o NEB, o que resultou em chuvas acima da média em toda a região. Já o posicionamento da

Alta da Bolívia no ano de 2006, para oeste, contribuiu para que o centro do VCAS permanecesse sobre o NEB, o que resultou em chuvas abaixo da média.

É conhecido que o VCAS se destaca como um importante sistema precipitante do Nordeste. No entanto, antes mesmo da formação de um VCAS, a existência do CAS pode também favorecer a ocorrência de chuva. Silva Aragão *et al.* (2007) mostraram que durante a maior parte do mês de janeiro de 1985 o semiárido do Nordeste, que apresentou um elevado total de precipitação, foi influenciado pelo CAS. No dia 24 de janeiro, em particular, esse cavado superior apresentou grande amplitude, enquanto que a Alta Subtropical do Atlântico Sul esteve fraca. Nesse dia foram registradas extensas e duradouras áreas de precipitação predominantemente estratiforme com núcleos de precipitação intensa, indicando a presença de Sistemas Convectivos de Mesoescala na área de Petrolina-PE.

3.2.7 Distúrbios de Leste

Os distúrbios de leste, também chamados de Ondas de Leste, são ondas que se deslocam de leste para oeste na área dos ventos alísios, com características detectáveis nos campos de vento e pressão. Os distúrbios de leste do Atlântico Tropical Sul são o principal sistema atmosférico que provoca chuva no litoral leste do NEB, na faixa costeira que se estende do Rio Grande do Norte à Mesorregião Metropolitana de Salvador (Bahia), no período de maio a agosto.

Quando um distúrbio de leste atinge o litoral do Nordeste, aglomerados convectivos podem se formar e, dependendo de sua área de atuação, causar inundações em centros urbanos da região. Um desses casos foi diagnosticado por Santos (2008), que estudou um evento extremo de precipitação ocorrido na madrugada do dia 12 de junho de 2006, na cidade de Salvador. Ela observou que esse evento intenso foi causado por aglomerados convectivos decorrentes da configuração de um distúrbio de leste, o que resultou em deslizamentos de terra e alagamentos na cidade.

Rodrigues *et al.* (2006) estudaram a interação entre um distúrbio de leste e um VCAS, que provocaram chuvas e trovoadas no estado de Alagoas, no dia 15 de março de 2003. O distúrbio de leste que teve origem na costa da África, atingiu a costa do Nordeste. A sua interação com um VCAS, modificou a estrutura dos movimentos verticais, resultando em movimentos

ascendentes no centro do VCAS, onde geralmente predominam os movimentos descendentes. Esses movimentos ascendentes com convergência de umidade em baixos níveis foram considerados como os principais responsáveis pela formação das nuvens convectivas na costa leste do Nordeste.

3.2.8 Sistemas Convectivos de Mesoescala

Os sistemas convectivos de mesoescala (SCM) que atuam sobre o Nordeste provocam chuvas intensas tanto no interior quanto no litoral (Sousa *et al.*, 1998, Vitorino *et al.*, 1997). Esses sistemas podem se apresentar sob a forma de frentes frias, aglomerados convectivos, linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala (CCM), etc.

Alves *et al.* (2001) diagnosticaram as características dinâmicas e termodinâmicas da atmosfera na área de atuação de um intenso SCM no período de 20 a 21 de maio de 1999. Esse sistema se formou junto à costa norte do Nordeste e causou chuvas intensas no litoral e áreas adjacentes dos estados da Paraíba e Pernambuco. Esse evento esteve dinamicamente associado à instabilidade decorrente da presença de uma frente fria estacionária sobre o centro-sul da Bahia, e de uma onda curta que se deslocou de leste para oeste abaixo do equador, atingindo a costa leste do NEB, evoluindo para um ciclone fechado (em 700 hPa) quando da maturação do SCM. Os autores observaram ainda condições ambientais termodinamicamente favoráveis ao desenvolvimento de atividade convectiva na área em que o sistema atuou.

O CCM é um tipo particular de sistema convectivo que foi definido por Maddox (1980) como um conjunto de nuvens cumulonimbos (Cbs) frias e espessas que apresenta forma aproximadamente circular e perdura por um período de tempo entre 6 e 12 horas. A sua passagem ou existência vem geralmente associada a precipitação intensa e fortes rajadas de vento.

Sousa *et al.* (1998) diagnosticaram um CCM que se formou no dia 24/04/97. Esse sistema de mesoescala ocasionou precipitação intensa na faixa litorânea norte do Nordeste do Brasil, incluindo Fortaleza e vizinhança. Após 12 horas consecutivas (entre 01:00 HL e 13:00 HL), a estação meteorológica de superfície da FUNCEME registrou um total de 270 mm, correspondendo a 79% da média climatológica do mês de abril. Essa precipitação intensa ocasionou enorme transtorno e prejuízo à população e à cidade de Fortaleza.

3.3 Características da Variabilidade da Precipitação

A vulnerabilidade das áreas urbanas aos eventos intensos de precipitação é agravada quando associada a problemas de infraestrutura urbana, a exemplo do sistema de drenagem que não suporta o grande volume de água, não só por causa das chuvas em excesso, mas também devido ao acúmulo de lixo e entulho, que dificulta o escoamento da água, provocando alagamentos, interditando vias, e impossibilitando o tráfego de pessoas e de veículos, o que causa transtornos e prejuízos à população. Outros problemas bastante comuns são os deslizamentos de encostas devido à saturação do solo e alagamentos em ocupações de áreas de várzea. O crescimento urbano desordenado e sem planejamento público intensifica e diversifica esses desastres nas áreas urbanas.

O estudo das condições atmosféricas que influenciam na ocorrência de eventos extremos de chuva pode identificar características específicas de algumas variáveis meteorológicas determinadas como padrão. O conhecimento da existência de padrões é importante na prevenção dos desastres naturais relacionados com esses eventos. Para verificar a existência de um padrão, a Análise de Componentes Principais (ACP) é uma das técnicas de análise multivariada mais utilizada.

Fragoso & Gomes (2008) utilizaram a Análise de Componentes Principais com o objetivo de identificar os principais padrões de precipitação associados a eventos intensos de chuva, bem como padrões da circulação atmosférica de grande escala associados aos eventos, no sul de Portugal. Usando dados de precipitação de um período de 15 anos (1983 a 1998) identificaram 199 dias de chuvas intensas (limiar de 40 mm/h). Na Análise das Componentes Principais desses dados de precipitação intensa foram identificados 4 padrões diferentes de chuvas, cada um apresentando características específicas importantes. A ACP aplicada a dados de reanálise de pressão ao nível médio do mar (PNMM) identificou 5 padrões de circulação, indicando uma diversidade considerável entre as condições de circulação atmosférica favoráveis à ocorrência de chuvas intensas no sul de Portugal. Para uma melhor compreensão desses padrões, também foram usados campos de PNMM, água precipitável e altura geopotencial. As características comuns a todos os padrões de circulação, em resumo, são: a atividade dinâmica de um sistema de baixa pressão, que contribui para o desenvolvimento de convecção profunda; e a

influência de fluxos de baixos níveis com componente de sul, proporcionando advecção de ar quente e úmido.

Esteban *et al.* (2006) utilizaram a Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento para caracterizar padrões de circulação diária de superfície em escala sinótica, na Europa Ocidental, usando dados diários de reanálise da PNMM para as 18:00 UTC no período 1960-2001. Através da ACP foram identificados 10 padrões que explicaram 92,5% da variância total dos dados. A partir dos resultados da ACP, a aplicação da técnica da Análise de Agrupamento resultou em 20 grupos que representam os padrões mais relevantes para a área de estudo.

Com o objetivo de auxiliar na identificação de padrões atmosféricos associados com atividade convectiva intensa na área da CHESF, em episódios de El Niño (EL) e La Niña (LN), Farias & Correia (2008) aplicaram a ACP aos dados de vento nos níveis de 925, 500 e 200 hPa, e da umidade específica e temperatura em 925 hPa, dos dias e horários com eventos de falhas por descarga atmosférica nos meses de dezembro de 1997 (ano de El Niño) e janeiro de 2000 (ano de La Niña). As três componentes (CP_1 , CP_2 e CP_3) de cada variável explicaram uma variância acumulada de 72 a 94%. Verificou-se que nos eventos do EN, existe forte associação entre as variáveis U200, U500, V925 (componente zonal do vento em 200 e 500 hPa e componente meridional do vento em 925 hPa) e umidade específica em 925 hPa. Já para os eventos do LN os grupos caracterizados pela CP_1 mostram forte associação entre as variáveis U200, U500, U925 (componente zonal em 200, 500 e 925 hPa), umidade específica e temperatura do ar em 925 hPa. Estas características representam um indicativo de que estes são elementos importantes na geração e desenvolvimento de sistemas convectivos intensos.

Pscheidt (2006) estudou o impacto dos episódios El Niño (EN) e La Niña (LN) sobre a frequência de eventos extremos de chuva nos meses de novembro e julho no período de 1950-2000, sobre a Região Sul do Brasil. Através da ACP da altura geopotencial em 850 e 250 hPa foram obtidos os padrões mais recorrentes da circulação atmosférica em baixos e altos níveis, durante eventos severos. Os resultados mostraram, de maneira geral, que as condições atmosféricas necessárias para a ocorrência de chuva extrema são semelhantes tanto em anos de episódios quentes e frios, quanto em anos normais, pois as condições atmosféricas que produzem chuvas intensas são basicamente as mesmas. Também foram submetidos à ACP os números de eventos severos de chuva que foram filtrados utilizando o filtro gaussiano para retirar frequências

iguais ou maiores que a do ENOS. A análise revelou os modos de baixa frequência. Algumas regiões apresentaram redução de eventos severos no período de 1950 a 1973 e aumento de 1974 a 2000. Composições de anomalias mensais mostraram a existência de condições dinâmicas mais favoráveis à ocorrência de chuvas intensas durante a segunda fase da variabilidade interdecadal (1974 a 2000).

Chaves (1999), através da Análise de Componentes Principais, Análise de Agrupamento e análise de eventos extremos de precipitação, determinou as características da circulação atmosférica associada à variabilidade da precipitação durante o período chuvoso principal (novembro a janeiro) de 1979 a 1997, do sul do NEB. A ACP foi aplicada separadamente aos dados diários normalizados das variáveis umidade específica em 700 hPa, ROL, vorticidade e divergência em 200 hPa e omega em 700, 500 e 200 hPa, e conjuntamente para as componentes zonal e meridional do vento em 850 e 200 hPa. Ela observou que anomalias positivas e negativas de precipitação sobre o sul do Nordeste estão associadas à fase positiva e negativa do fenômeno ENSO, respectivamente. Observou também que anomalias positivas de precipitação estão associadas com a intensificação e deslocamento da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) para leste e posicionamento da ZCAS para norte. O padrão seco está associado com enfraquecimento da ZCPS e deslocamento da ZCAS para sul. Sobre o leste do Atlântico Tropical Sul as anomalias apresentam sinal contrário às observadas sobre a região da ZCPS e da ZCAS, associadas aos VCAS ou CAS, sendo que o posicionamento da ZCAS para norte está associado ao cavado sobre o oceano.

Além da importância de caracterizar padrões atmosféricos, conhecendo a influência dos sistemas meteorológicos sobre as chuvas de uma região, também é importante determinar a periodicidade das chuvas intensas. Dessa forma, talvez seja possível prever a ocorrência dos eventos com um grau maior de certeza e, portanto, adotar medidas que reduzam os impactos causados à sociedade. Uma metodologia muito usada para estudar a periodicidade da precipitação é a Análise de Ondeletas (AO), que é particularmente útil para detectar sinais não estacionários ou flutuações de caráter episódico. Assim, a AO torna-se ideal para a análise da precipitação, que é altamente não estacionária com características episódicas e de múltipla escala.

Desde a década de 90 que a Transformada de Ondeletas (TO), também conhecida como Transformada de Wavelet, vem sendo utilizada em diversas áreas da ciência, das ciências médicas às ciências exatas, da eletrônica à ótica aplicada (Vitorino, 2003). A TO demonstra ser

uma ferramenta matemática útil e robusta para análise de sinais com características não-estacionárias, a exemplo das variáveis meteorológicas (Bolzan, 2004; 2006).

Datsenko *et al.* (1995) analisaram as características das variações da série de precipitação diária de Fortaleza-CE (setor norte do NEB) através da utilização da Transformada de Ondeletas. As análises mostraram que a partir dos anos 20 foi evidente uma tendência de aumento da precipitação até o ano de 1994. No entanto, para os 10 a 15 anos seguintes, indicaram uma diminuição, média decadal, na precipitação, sendo que esta diminuição encontra-se inserida em um pequeno período que constitui parte das variações naturais do clima. Os autores alertaram para o fato de que os estudos climatológicos utilizando a metodologia de "Ondeletast" ainda eram recentes, na época, porém indicaram perspectivas interessantes para pesquisas futuras.

Obregón Párraga (2001) aplicou a Análise de Ondeletas em séries pluviométricas diárias com o intuito de analisar a variabilidade climática espaço-temporal em escala intrassazonal sobre o Brasil. A análise mostrou que as séries da precipitação diária do sul da Amazônia, Sudeste e Sul do Brasil contêm sinal significativo nas diferentes escalas de oscilação, de 2 a 64 dias, mostrando característica de não estacionaridade e intermitência, determinando com bastante precisão o início e fim de cada um dos eventos. Os sinais apresentaram conexões entre baixas e altas frequências, indicando influências nos dois sentidos e interação dinâmica desde escalas sinóticas até escalas sazonais. O autor observou que o uso de séries longas poderia produzir evidências da dinâmica da interação entre as oscilações intrassazonais da precipitação e eventos interanuais de grande escala, como o fenômeno ENOS, com muito mais clareza. Observou ainda que a habilidade da Análise de Ondeletas para mostrar o início e evolução das oscilações poderia gerar informações importantes a respeito da dinâmica associada com cada um dos processos e também servir como ferramenta para prognósticos de médio e longo prazo.

Andreoli *et al.* (2004), usando a Transformada de Ondeletas para identificar as escalas dominantes de variabilidade da precipitação em Fortaleza-CE e das TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico no período de 1856 a 1991, diagnosticaram que a quase-periodicidade do índice de precipitação na escala decadal implica que as anomalias climáticas no norte do Nordeste podem ser previstas com antecedência de alguns anos.

Salvador *et al.* (2006) estudaram a tendência da precipitação anual na costa leste do Nordeste do Brasil durante duas fases da ODP. Por meio da Transformada de Ondeletas, eles identificaram escalas dominantes de variabilidade da precipitação com períodos de 2-4, 16-32 e

40-60 anos. Sugeriram que os ciclos interanuais de 2,5 e 3,5 anos podem estar relacionados à variabilidade interanual (ENOS), e os ciclos decadais, de 23 e 53 anos, podem estar associados à duração de uma fase e de um ciclo completo da ODP, respectivamente.

Aplicando a Wavelet de Morlet, Kayano & Oliveira (2008) analisaram os padrões de correlação entre a precipitação sobre a América do Sul e índices de TSM nos oceanos tropicais adjacentes (Pacífico equatorial leste, Atlântico tropical norte, Atlântico tropical sul e Atlântico sudoeste) para a fase fria e quente da ODP do período de 1948-2002. Sugeriram que os efeitos das TSM dos oceanos adjacentes à América do Sul nas variações interanuais de precipitação sobre este continente, bem como as inter-relações entre os índices de TSM dependem das fases da ODP. Sugeriram também que a fase da ODP deve ser considerada nas atividades de monitoramento.

Conhecer a variabilidade da precipitação de uma região possibilita estabelecer interpretações que ajudam a entender melhor suas características climáticas, a exemplo da frequência das chuvas intensas, para o que é necessário definir limiares de precipitação que possibilitem identificar tais situações de chuvas fortes. Os limites são bastante variáveis, pois seus valores dependem das características climáticas do lugar.

Higgins *et al.* (2000), utilizando a precipitação acumulada de três dias em áreas da costa oeste dos Estados Unidos, classificaram como evento de precipitação extrema aqueles acima do percentil 90. Teixeira & Satyamurty (2007) adotaram como critério de seleção de casos de chuvas intensas na Região Sul do Brasil, eventos nos quais a isoietal de 50 mm em 24 h cobrisse uma área de, no mínimo, 10.000 km². Já para a área da Serra do Mar, Teixeira & Satyamurty (2006), utilizando a técnica dos quantis, assumiram que qualquer evento de precipitação cuja chuva acumulada em um dia seja igual ou superior a 50 mm tem caráter extremo. Dereczynski *et al.* (2009) estudaram 160 eventos de chuva intensa no município do Rio de Janeiro, definindo evento de precipitação intensa como aquele em que a precipitação diária fosse igual ou superior ao $P_{99} = 30$ mm (percentil 99) em, pelo menos, 5 estações pluviométricas.

Vários autores estudaram casos de eventos intensos de precipitação em diversas regiões do globo. Gaza & Bosart (1985) estudaram a tempestade severa de 04 de junho de 1979 sobre o estado de Kansas nos Estados Unidos. Ma & Bosart (1987) fizeram um estudo sinótico de um evento de chuvas fortes no sudeste da China. Magaña *et al.* (2003) diagnosticaram eventos

de precipitação extrema para a cidade do México. Lyon (2002) estudou um evento intenso ocorrido no norte da Venezuela no mês de dezembro de 1999.

Kelkar (2005) estudou o evento intenso de precipitação do dia 26 de julho de 2005 na cidade de Mumbai, na Índia, que ocasionou grandes inundações e muitos transtornos à população. Ele diagnosticou que o elevado total diário de chuva registrado (94,4 mm) foi resultado de uma combinação de sistemas meteorológicos de escala sinótica e mesoescala. O autor assinalou que se esse mesmo valor de precipitação diária tivesse ocorrido um século antes em Mumbai, certamente a gravidade dos problemas seria menor, isso em consequência das modificações ambientais causadas pela urbanização.

Ainda na Índia, Francis & Gadgil (2006) estudaram os eventos de precipitação intensa ocorridos na costa oeste desse país durante a monção de verão (junho-setembro) no período de 1951-1987. Analisando a percentagem de dias em que a chuva foi superior a determinado limite em uma ou mais estações na região, definiram os eventos de precipitação intensa com base nos dias em que a chuva excedeu os valores limite de 15 ou 20 mm/dia, sendo que alguns desses eventos atingiram valores entre 150 mm e 200 mm em um dia. Eles diagnosticaram que 62% dos eventos estudados estão associados com sistemas organizados em grande e mesoescala, ligados diretamente a condições atmosféricas sobre o Oceano Índico Equatorial.

Eventos intensos de precipitação também são observados em regiões secas e até mesmo desérticas, como é o caso de uma grande tempestade de outono que afetou áreas desérticas do Oriente Médio entre 17 e 19 de outubro de 1997, associada a um cavado situado sobre o Mar Vermelho (Dayan *et al.*, 2001). A tempestade foi caracterizada pela extensão da área atingida (Egito, Israel e Jordânia simultaneamente) e pela ocorrência de trovoadas, chuva com granizo e ventos fortes. As precipitações intensas excederam 100 mm/h, o que resultou em 26 mortes, perdas e danos de bens e propriedades, causados pelas inundações. Segundo os autores, este tipo de tempestade ocorre em ambientes geográficos específicos, representando um caso especial de interação tropical/extratropical. Eles observaram também que características de mesoescala, particularmente a topografia, desempenharam papel importante na evolução, intensidade e organização espacial da atividade convectiva.

Casos de eventos intensos de precipitação registrados em várias regiões do Brasil também foram estudados. Espírito Santo & Satyamurty (2002) estudaram os eventos de

precipitação intensa sobre o Sudeste do Brasil e redondezas durante o período de 1997 a 2001, diagnosticando que a grande maioria desses eventos esteve associada à ZCAS. Calheiros *et al.* (2006) observaram que a ocorrência dos eventos extremos de precipitação sobre a costa leste do Nordeste do Brasil (ENE), no mês de junho de 2004, foi causada por uma série de distúrbios ondulatórios no campo dos ventos alísios e águas anormalmente quentes ao longo da costa que aumentaram a convergência do fluxo de umidade, intensificando os complexos convectivos de escala subsinótica sobre o continente. Moscati & Gan (2007) diagnosticaram eventos extremos de chuva na zona semiárida do Nordeste do Brasil, relacionando-os com a atuação isolada ou simultânea de vários sistemas de escala sinótica.

Considerando que a cidade de Salvador sofre graves danos em consequência de chuvas intensas e sendo Salvador o foco específico do nosso estudo, a seguir são apresentados alguns trabalhos relacionados à chuva forte nessa área.

Num estudo preliminar Silva Aragão *et al.* (2006) investigaram um evento chuvoso extremo com valor diário de chuva acima de 80 mm, que teve início na tarde do dia 11 de junho de 2006, e provocou danos de variados tipos e intensidades. O ambiente sinótico favorável ao evento foi propiciado por um cavado formado na baixamédia troposfera que penetrou no Nordeste vindo de leste.

Santos (2008) também estudou o evento extremo de precipitação ocorrido em 12 de junho de 2006 e observou que as áreas de convecção profunda organizada em mesoescala caracterizaram esse evento provocado pela penetração de um distúrbio de leste. No mesmo estudo, Santos (2008) investigou outro evento intenso de precipitação com total diário de 110,6 mm, ocorrido na manhã do dia 21 de abril de 2006, na cidade de Salvador. O evento foi causado por um cavado formado na área oceânica a leste da Região Nordeste devido à penetração de um sistema frontal.

Apesar da época preferencial, chuvas intensas também são registradas fora do quadrimestre chuvoso, como no caso do evento intenso de precipitação dos dias 12 e 13 de novembro de 2006, analisado por Santos *et al.* (2008a). Esse evento destacou-se pela intensidade e volume das chuvas diárias (acima de 70 mm) observadas em quatro estações meteorológicas da cidade, o que ocasionou alagamentos e deslizamentos de terra. O evento foi causado pela convecção profunda organizada na forma de aglomerados convectivos, cuja formação foi

favorecida pela penetração de um sistema frontal que se manteve semiestacionário sobre a Bahia, contribuindo para dar início a um episódio da ZCAS. Num outro estudo, Santos *et al.* (2008b) analisaram um evento de chuva extrema em Salvador ocorrido nos dias 28 e 29 de fevereiro de 2008. Elas indicaram que convergência frontal nos baixos níveis e divergência nos altos níveis parece ter favorecido a formação dos aglomerados convectivos responsáveis pela chuva de extrema intensidade: 130,8 mm em apenas 24 horas.

Já é fato que os eventos extremos de chuva afetam a população de Salvador e, assim, cada vez mais se faz necessário desenvolver estudos que investiguem os diversos aspectos da variabilidade da chuva na cidade e a existência de características de outras variáveis meteorológicas que possam estar relacionadas à ocorrência de eventos intensos de precipitação. Desta forma, este estudo é importante para um possível aprimoramento no monitoramento e da previsão dos eventos extremos de chuva na cidade de Salvador, o que irá auxiliar no aprimoramento do sistema de alerta fundamentado em medidas preventivas, possibilitando a minimização de danos materiais e a perda de vidas.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Características da Cidade de Salvador

É fato que as características físicas locais desempenham papel importante na precipitação de uma região. Assim, o conhecimento de características físicas e climatológicas da cidade de Salvador, é de fundamental importância para o entendimento da variabilidade da precipitação e seus possíveis impactos no aspecto físico e social.

O dia 29 de março de 1549 marca a data de fundação da cidade de São Salvador da Baía de Todos os Santos que foi declarada pelo primeiro governador-geral do Brasil, Tomé de Sousa, como a sede da primeira capital do Brasil. Hoje, a cidade, chamada apenas de Salvador é a capital do estado da Bahia da Região Nordeste.

A cidade de Salvador está localizada no litoral do estado com coordenadas geográficas na latitude de 12° 58' 15"S e na longitude de 38° 30' 39"W. Sua área total é de aproximadamente 707 km². Salvador faz limite ao norte com os municípios de Simões Filho e Lauro de Freitas, a leste/sul com o Oceano Atlântico e a oeste com Madre de Deus e a Baía de Todos os Santos (Fig. 4.1). Salvador fica a uma distância de aproximadamente 1.531 km da capital do Brasil, Brasília. A topografia é acidentada, formada por colinas e vales, com destaque para a falha geológica que originou o relevo em degrau, separando fisicamente a Cidade Alta da Cidade Baixa. A parte insular está compreendida pelo conjunto de ilhas situado a noroeste da Cidade Baixa, destacando-se as ilhas de Maré e dos Frades. Além das ilhas, há diversas outras praias como a de Itapuã, Farol da Barra, Ondina, Rio Vermelho e Pituba. Para fins de gestão territorial, Salvador está dividida em 17 zonas político-administrativas com limites definidos pela Lei nº 6.586/04 (PDDU), como mostra a Figura 4.1.

Salvador, com 2.675.656 habitantes (IBGE, 2010), é a terceira cidade em população do Brasil. O crescimento populacional é ilustrado na Figura 4.2. Nas décadas de 1960 a 1990 observa-se um crescimento acelerado da população. Esse fato decorreu do crescimento econômico impulsionado pela implantação dos pólos industriais, o que ocasionou uma rápida

expansão da área urbana de Salvador (Regis, 2007). No censo de 2000 (vigente em 2001) a contagem da população foi de 2.443.107 habitantes e a contagem no censo de 2010 indica um crescimento populacional de 9,5%, ou seja, um total de 2.675.656 habitantes.

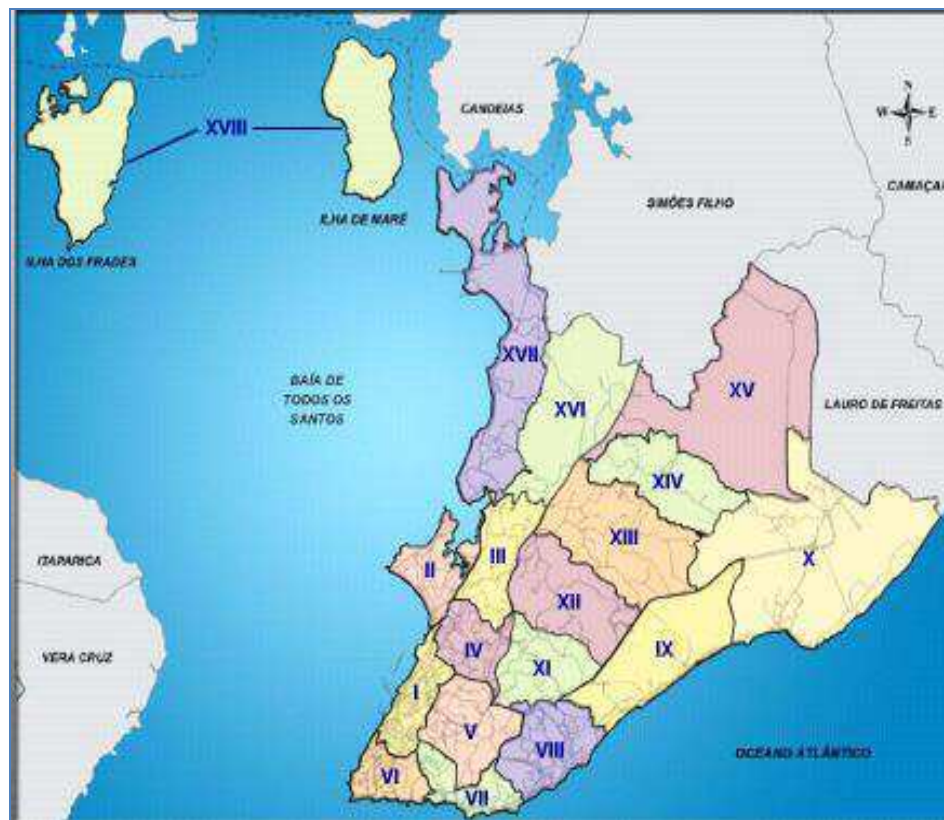


Figura 4.1- Mapa da cidade de Salvador com detalhamento dos seus limites e das zonas político-administrativas incluindo as ilhas: I – Centro, II – Itapagipe, III – São Caetano, IV – Liberdade, V – Brotas, VI – Barra, VII – Rio Vermelho, VIII – Pituba / Costa Azul, IX – Boca do Rio / Patamares, X – Itapuã, XI – Cabula, XII – Tancredo Neves, XIII – Pau da Lima, XIV – Cajazeiras, XV – Ipitanga, XVI – Valéria, XVII – Subúrbios Ferroviários e XVIII – Ilhas
Fonte: [SEPLAM - Secretaria Municipal do Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente](#)

A partir do início da década de 90, a população de Salvador tem aumentado num ritmo mais lento, mas a expansão urbana ainda é um dos sérios problemas sociais da cidade. Essa expansão ocasionou uma intensa transformação física em Salvador, devido à utilização de práticas inadequadas do uso do solo. Processos como o desmatamento com a retirada da proteção vegetal, a realização de cortes para nivelar o terreno que alteram seu perfil natural, os aterros e impermeabilização de vias são alguns dos principais agentes responsáveis por essas

modificações, contribuindo para a ocorrência de deslizamentos e alagamentos em época de chuvas intensas.

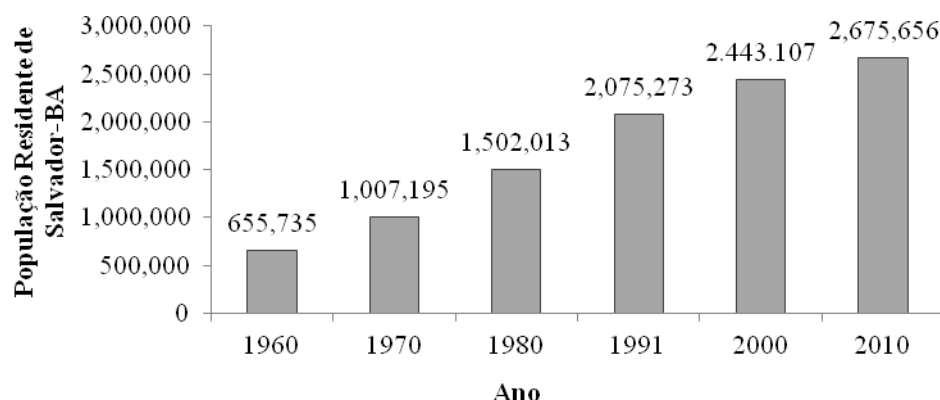


Figura 4.2- Crescimento Populacional de Salvador-BA no período de 1960-2010

Fonte dos dados: [SEPLAM - Secretaria Municipal do Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente](#) e IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Elaboração: Aldinete Bezerra Barreto

As chuvas em Salvador ocorrem durante todo o ano, com total médio anual de 2.144,1 mm. Entretanto, elas apresentam maior volume no período de abril a julho. O clima da cidade é quente e úmido e a temperatura média é de 25,2°C que pouco varia durante o ano. Esses dados representam médias climatológicas anuais da temperatura do ar e da precipitação do período de 1961 a 1990, obtidas pelo INMET (RAMOS *et al.*, 2009), apresentados na Tabela 4.1.

Além dessas médias anuais, na Tabela 4.1, no caso da temperatura há as médias mensais, e as médias da temperatura máxima e mínima de cada mês e também o valor máximo absoluto e o mínimo absoluto da temperatura e a respectiva data de ocorrência. É evidente a pequena variação sazonal das médias, entre 2°C e 4°C. Os meses de fevereiro e março são os que registram a média mais elevada da temperatura máxima (30°C), enquanto que a média mais baixa da temperatura mínima é vista no mês de agosto (21,2°C). O valor máximo mais elevado se deu em 03/1973, quando os termômetros atingiram 34,3°C, e o valor mínimo mais baixo em 11/1968: 16,2°C.

No caso da precipitação, ainda na Tabela 4.1, além do valor médio mensal há também o maior total diário de precipitação registrado. Os meses mais chuvosos são de abril a

julho e a maior média é a do mês de maio (359,9 mm), seguido pelo mês de abril (309,7 mm). Os meses de máxima pluviosidade diária registrada são 05/1970 (161,1 mm) e 02/1980 (159,0 mm).

Tabela 4.1- Distribuição mensal da normal climatológica da temperatura do ar e precipitação do período de 1961-1990 da estação climatológica principal de Salvador-BA (RAMOS *et al.*, 2009).

Mês	TEMPERATURA MÉDIA (°C)					PRECIPITAÇÃO (mm)	
	Média	Máxima Média	Mínima Média	Máxima Absoluta	Mínima Absoluta	Média	Máxima em 24 horas
Jan	26,4	29,9	23,6	32,8 (1974)	20,0 (1969)	138,0	130,8 (1988)
Fev	26,5	30,0	23,7	33,3 (1973)	20,7 (1978)	142,0	159,0 (1980)
Mar	26,6	30,0	23,9	34,3 (1973)	20,8 (1978)	151,6	100,9 (1969)
Abr	26,2	28,6	23,7	32,8 (1977)	20,7 (1970)	309,7	139,2 (1974)
Mai	25,2	27,7	22,9	31,5 (1973)	20,2 (1975)	359,9	161,1 (1970)
Jun	24,3	26,5	22,0	30,4 (1969)	18,7 (1964)	243,7	134,6 (1977)
Jul	23,7	26,2	21,4	29,6 (1987)	19,0 (1967)	175,0	97,8 (1990)
Ago	23,6	26,4	21,2	31,3 (1987)	19,0 (1963)	127,4	66,7 (1976)
Set	24,3	27,2	21,7	29,8 (1965)	19,5 (1976)	102,0	79,2 (1977)
Out	25,1	28,1	22,5	32,2 (1987)	20,0 (1976)	114,9	141,6 (1964)
Nov	25,5	28,9	22,9	32,1 (1969)	16,2 (1968)	137,1	126,5 (1964)
Dez	25,9	29,0	23,2	32,4 (1963)	20,0 (1968)	142,8	89,2 (1977)
Ano	25,3	28,2	22,7	34,3 (1973)	16,2 (1968)	2144,0	161,1 (1970)

4.2 Materiais

Neste trabalho são utilizados dados de precipitação da estação climatológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Salvador (13°00'S, 38°30'W, 51,41m). A Figura 4.3 indica a localização da estação utilizada.

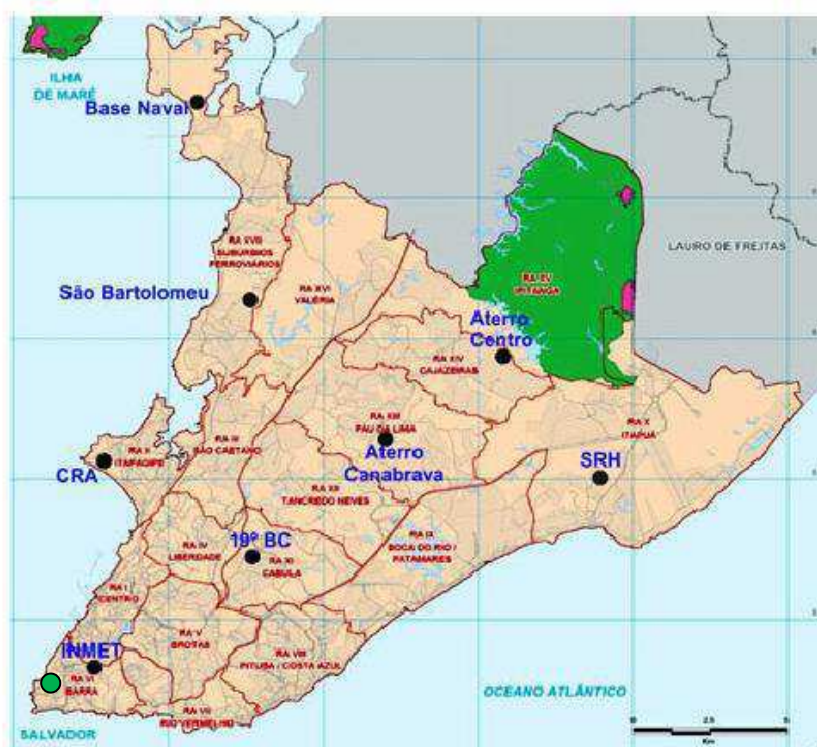


Figura 4.3- Localização da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na cidade de Salvador–BA. O círculo verde assinala a estação do INMET. (Fonte da imagem: adaptado de <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br>).

Foram analisados:

- a) dados de precipitação diária no período de 1964 a 2009. Foram excluídos 11 anos da análise, dos quais 7 com total ausência de dados diários (1971-1972, 1981-1985) e os anos de 1986, 1988, 1989 e 1990 por apresentarem alguns meses sem dados diários, correspondendo a 35 anos. Esses dados foram usados para analisar o número de dias com chuva, os totais acumulados de chuva, as médias climatológicas, o desvio padrão e o Desvio Padronizado de Precipitação (DPP), bem como identificar os eventos extremos de precipitação. Também foram submetidos à Análise de Ondeletas para estudar a variabilidade (em tempo-escala) da precipitação. Ressalta-se que a série de precipitação diária utilizada na Análise de Ondeletas corresponde ao período de 1991-2009, por apresentar uma sequência anual de dados, sem interrupções, importante condição para o estudo das Ondeletas. Essa série temporal é formada pela soma de três totais diários de

precipitação, de tal modo que cada valor da série representa a precipitação acumulada em três dias consecutivos, do período de 1991 a 2009, da seguinte forma: o primeiro valor representa a soma do dia 1 ao dia 3 de janeiro de 1991, o segundo valor é a soma do dia 4 ao dia 6 do mesmo mês, e assim por diante, totalizando 2313 valores.

b) dados de precipitação mensal, de todo o período de 1964 a 2009 (46 anos), que também foram submetidos à Análise de Ondeletras.

Foram utilizados ainda dados de pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM) e das componentes zonal (CZV) e meridional (CMV) do vento no nível de 200 e 850 hpa, obtidos do conjunto de dados de reanálise do NCEP/NCAR, cuja resolução é de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ de longitude-latitude. A área delimitada para análise desses dados encontra-se situada entre as latitudes de 40°S e 30°N e entre as longitudes de 100°W e 0°W , correspondendo a 1189 pontos de grade. Na Figura 4.4 pode-se observar os limites dessa área que abrange parte do Oceano Pacífico, Oceano Atlântico, América do Sul, África e Golfo do México.

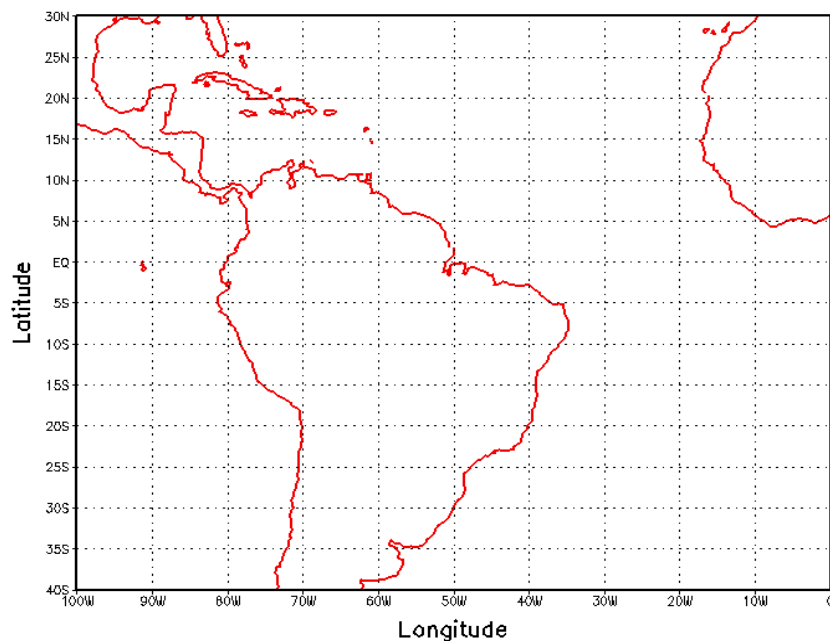


Figura 4.4 - Área de análise dos dados de pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM) e das componentes zonal (CZV) e meridional (CMV) do vento no nível de 200 e 850 hpa.

Os dados de reanálises foram analisados para identificação de padrões atmosféricos associados aos eventos extremos de precipitação através da Análise em Componentes Principais. A análise foi realizada para as 6 UTC (3 horas, horário local) de dois

dias antes do evento extremo de precipitação, um dia antes do evento e do dia do evento. É importante ressaltar que a escolha do horário das 6 UTC decorre do fato de que a chuva da cidade de Salvador tem frequência máxima no período da madrugada e início da manhã (Silva Aragão *et al.*, 2008).

4.3 Metodologia

Os dados citados na seção 4.2 são utilizados a fim de identificar variações diárias, sazonais e interanuais da chuva e também seus períodos cíclicos e variações aleatórias, como também os possíveis padrões atmosféricos associados à ocorrência de eventos extremos de precipitação em Salvador. Nessa etapa, foram utilizadas métodos matemático-estatísticos (Percentis, Correlações Lineares, Análise de Ondeletras, Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento).

4.3.1 Técnica dos Percentis

Tendo por base os estudos dos vários índices de precipitação extrema encontrados na literatura e discutidos no capítulo 3, a escolha do limiar do evento extremo de precipitação foi feita usando a técnica do percentil aplicada aos dados diários de chuva, do período de 1964 a 2009. Na determinação dos eventos onze anos foram excluídos da análise, conforme discutidos na seção 4.2. Inicialmente, decidiu-se que o evento seria considerado como extremo se o total pluviométrico diário fosse igual ou maior do que o percentil $p=98$. O percentil é determinado da maneira a seguir.

Considere a notação $P_{[(n)x(p)]+}$, onde n é o total de valores da série, p o percentil em decimais e $[(n)x(p)]$ a **posição** daquele valor após os dados terem sido ordenados de **modo crescente**, de forma que $P_{[(n)x(p)]+}$ é o ponto percentílico do percentil desejado. Se a posição np não é um número inteiro, então $P_{[(n)x(p)]+}$ é o valor da observação que ocupa a posição seguinte, e se np é inteiro, então $P_{[(n)x(p)]+}$ é o valor da média desta e da observação seguinte.

A técnica do percentil aplicada à série temporal dos dados diários permitiu identificar um total de 255 eventos e o valor observado é igual a 47,6 mm. A partir desse valor

observado, optou-se por considerar como evento extremo o total diário igual ou superior a 50 mm (228 casos). As datas dos dias desses eventos são critérios para a obtenção dos dados de reanálises.

4.3.2 Desvio Padronizado de Precipitação

Para estudar a variabilidade mensal da precipitação e identificar os desvios em relação à climatologia, a princípio, foram obtidos os totais mensais de precipitação (x_i) para cada ano, para então calcular a Média Mensal Climatológica (μ_i) da série

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}}{n} \quad (1)$$

na qual $i=1, 2, 3, \dots, 12$ identifica o mês e $j=1,2,3, \dots, n$ identifica o ano.

O Desvio Padrão Mensal (σ_i), que permite a observação da variação dos dados em relação à média aritmética da série, foi calculado considerando um grau de liberdade ($n-1$), recomendado para uma série de dados superior a 30 anos:

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(x_{ij} - \mu_i)^2}{n-1}} \quad (2)$$

Usando a equação (1) e (2) foi calculado o Desvio Padronizado de Precipitação Mensal (DPP_{ij}), que permite alocar os dados em classes positivas e negativas, fornecendo informações quanto à magnitude da anomalia. DPP_{ij} negativo (positivo) indica que a chuva acumulada num determinado mês esteve abaixo (acima) da média mensal do período. O DPP_{ij} (doravante denominado DPP ou DPPs) é dado por

$$DPP_{ij} = \left(\frac{x_{ij} - \mu_i}{\sigma_i} \right) \quad (3)$$

Os DPPs também foram utilizados para investigar a existência de possíveis relações entre a ocorrência de eventos e total mensal de chuva abaixo ou acima da média. Para tanto foram calculadas correlações entre os DPPs e o número de eventos extremos em cada mês.

4.3.3 Transformada de Ondeletas (TO) ou Análise em Ondeletas (AO)

A Transformada de Fourier (TF) e a Transformada de Fourier de curta duração (TFCD) são técnicas usadas para estudar as frequências das séries temporais. A TF extrai a informação global de sinais de ondas equivalentes, e a TFCD extrai informação da janela de curta duração considerada. Se um sinal é alterado em uma pequena vizinhança em certo instante de tempo, esses processos não mostram a localização temporal da alteração, e não são adequados para analisar os sinais *não estacionários* ou sinais fracos que aparecem apenas em curtos intervalos de tempo. Tal deficiência não existe na técnica conhecida com Transformada em Ondeletas (TO), a qual possui janelas móveis, no tempo ou no espaço, que se dilatam ou se comprimem para capturar sinais de baixa e alta frequência, respectivamente. Portanto, alguns sinais fracos ou sinais não estacionários que são geralmente ignorados por TF podem ser detectados por TO.

A transformada em ondeletas foi desenvolvida na década de 1980 por pesquisadores como Morlet, Grossmann, Meyer e Daubechies. É uma ferramenta (técnica) importante na investigação de fenômenos *não estacionários*, para os quais a análise de Fourier tradicional não é eficiente (Farge, 1992). Entende-se como *não-estacionária* uma série temporal em que momentos estatísticos como *médias* e *variâncias*, para diferentes intervalos de período constante, apresentam-se estatisticamente distintas. Caso contrário, assume-se que a série é *estacionária*.

O termo ondeleta (*wavelet*) refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas geradas por dilatação ($\psi(t) \rightarrow \psi(2t)$) e translação (compressão) [$\psi(t) \rightarrow \psi(t+1)$] de uma única função base geradora $\psi(t)$, que é quadraticamente integrável sobre o campo dos reais ou espaço [$L^2(R)$] e possui energia finita.

A função $\psi(t)$ é às vezes chamada de “wavelet mother ou wavelet mãe”, enquanto que as “wavelets ou wavelet filhas” são funções construídas por dilatações e translações derivadas da wavelet mãe que tem energia definida.

Matematicamente, a transformada de ondeleta contínua é definida em termos de uma integral de convolução entre o sinal analisado $f(t)$ e uma ondeleta conhecida como “ondeletamãe”, ondeleta-geratriz ou ainda ondeleta analisadora, expressa por:

$$(W\psi f)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (4)$$

na qual os parâmetros a e b variam continuamente em \mathbb{R} , com $a \neq 0$, e

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right); \quad a \in \mathbb{R}^+ \text{ e } b \in \mathbb{R} \quad (5)$$

sendo as funções $\psi_{a,b}$ as ondeletas filhas, geradas a partir de dilatações e translações da ondeletamãe $\psi(t)$.

A análise em ondeletas (AO) é feita pela aplicação sucessiva da transformada em ondeletas (TO) a diversos valores de a e b , o que representa a decomposição do sinal original da série temporal em diversas componentes localizadas no tempo e em frequência (período) de acordo com os parâmetros de translação e de escala. A principal característica da Análise de Wavelet é a detecção de sinais não estacionários ou flutuações de caráter episódico. Uma wavelet que é adequada para capturar variações nas periodicidades dos sinais geofísicos é a wavelet de Morlet, pois esta possui um grande número de oscilações. A função de Morlet é dada pela seguinte expressão:

$$\psi(t) = e^{iw_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (6)$$

que representa uma onda modulada por um envelope Gaussiano. São: i = parâmetro de dilatação e compressão da onda; w_0 = parâmetro de frequência e t = tempo. O envelope gaussiano é

definido pela segunda exponencial do produto da equação (6), enquanto que a onda exponencial complexa é a primeira exponencial. Esta é a função de Wavelet básica.

Para que a Wavelet de Morlet percorra toda a série temporal utiliza-se a equação (7):

$$\psi\left[\frac{(n'-n)\delta t}{s}\right] = \left(\frac{\delta t}{s}\right)^{1/2} \psi_0\left[\frac{(n'-n)\delta t}{s}\right] \quad (7)$$

na qual s é o parâmetro de dilatação usado para mudar a escala, e n é o parâmetro de translação usado para deslizar no tempo. O fator $s^{-1/2}$ é a normalização para manter constante o total da energia da ondeleta escalonada. A transformação do conjunto da onda é dada por:

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \psi^*\left[\frac{(n'-n)\delta t}{s}\right] \quad (8)$$

na qual (*) denota o complexo conjugado. A somatória de $W_n(s)$ é feita em n' , variando de 0 a $N-1$ (n' é o índice do tempo, com N igual ao número de pontos no tempo). Variando a escala da ondeleta s e transladando ao longo do índice de tempo localizado n , se constrói uma figura bidimensional mostrando a amplitude versus a escala e como a mesma varia com o tempo. Note que n' é diferente de n e que ψ é a função da Wavelet, enquanto W_n é a Transformada de Wavelet.

A Análise de Ondeletas foi aplicada a dados de chuva, sendo totais diários do período de 1991-2009 e totais mensais do período de 1964-2009. Essa metodologia foi usada dada a necessidade de se utilizar uma ferramenta capaz de mostrar as reais características do sinal a ser estudado visando a detecção, análise e caracterização das escalas de tempo dos sistemas atmosféricos que influenciam na variabilidade da chuva. As ondeletas decompõem as séries temporais no tempo e frequência simultaneamente. Assim, é possível obter informações como a amplitude de qualquer sinal periódico dentro da série e como esta varia com o tempo.

4.3.4 Análise de Componentes Principais (ACP)

Um dos objetivos desse trabalho é investigar a existência de padrões atmosféricos associados à ocorrência de eventos extremos de precipitação em Salvador. Para tal, a técnica estatística empregada foi a de Análise Fatorial em Componentes Principais.

A Análise Fatorial é uma técnica multivariada, que consiste em reduzir o número de variáveis de uma base de dados, identificando o padrão de correlações ou de covariância entre elas e gerando um número menor de novas variáveis, apresentadas através de fatores. Esses fatores são combinações lineares das variáveis (estatísticas) originais, e a extração desses fatores pode ser feita através da Análise de Componentes Principais (Hair et al., 2005). O principal objetivo da Análise de Componentes Principais (ACP) é reduzir o número de variáveis de um conjunto de dados, preservando a maior parte das informações contidas nesses dados. Assim sendo, as componentes principais são combinações lineares das variáveis originais e obtidas em ordem decrescente de importância.

A Análise das Componentes Principais inicia-se com o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variância-covariância $[S]$ ou uma matriz de correlação entre variáveis. Neste trabalho propôs-se a realização da ACP através da matriz de correlações. Para tanto foi necessário realizar o teste de Esfericidade de Bartlett que determina se as variáveis estão correlacionadas e se estas correlações são significativas. Outro teste realizado foi o *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO), que mostra a adequação dos dados para a realização da ACP quando os valores obtidos estão no intervalo de 0,5 a 1 (Hair et al., 2005).

A ACP pode ser representada geometricamente sob a forma de uma nuvem de pontos individuais no espaço das variáveis. Os fatores ou eixos principais extraídos de uma ACP fornecem imagens aproximadas dessa nuvem de pontos e a ACP propõe-se a medir a qualidade dessa aproximação. Por meio de uma rotação nos eixos fatoriais é possível obter uma melhor forma de interpretar esses dados. Daí optou-se por usar a rotação ortogonal dos eixos fatoriais via *Varimax*, que possibilitou uma melhor distribuição das variáveis em relação aos fatores, de forma a facilitar a sua interpretação.

Na definição do número de fatores retidos, o critério utilizado foi o Método de *Kaiser* que considera como mais significativos os autovalores cujos valores sejam superiores à

unidade (Garayalde *et al.*, 1986). Entretanto, quando o número de dados de uma matriz é elevado este método tende a elevar o número de fatores retidos. Assim utilizou-se o Método *Scree Plot* para fazer uma análise gráfica comparativa com o Método de Kaiser e então determinar o número de fatores a serem analisados. O Método *Scree Plot* é baseado num gráfico construído com valores dos autovalores versus seu número. Neste caso, o número de fatores retidos é tomado como o ponto onde os autovalores passam a ser pequenos e têm valores aproximadamente iguais. Vale ressaltar, que um fator associado a um autovalor pequeno (próximo de zero) será pouco importante, mas indica alguma dependência linear nos dados.

Esses fatores foram determinados separadamente para cada uma das variáveis: PNMM, da CZV e CMV em 200 hpa e da CZV e CMV em 850 hpa. No entanto, também foram determinados conjuntamente para as componentes zonal e meridional (CZMV) no nível de 200 hpa e 850 hpa. Com isso, a determinação dos padrões atmosféricos associados aos eventos extremos foi realizada para sete conjuntos de variáveis na maneira a seguir.

A partir das datas (dias) dos eventos extremos de precipitação em Salvador, obtidas com a aplicação da técnica do percentil, foram selecionados os dados de reanálises (PNMM, CZV e CMV em 200 hpa e 800 hpa), provenientes do NCEP. De forma semelhante, os dados de reanálises também foram selecionados para as datas referentes a dois dias antes do evento e um dia antes do evento. Com a obtenção desses dados, foram formadas três matrizes para cada um dos sete conjuntos de variáveis: para dois dias antes do evento, um dia antes e o dia do evento. Foi organizado um total de 21 matrizes, cada uma com 1189 linhas (pontos de grade da área delimitada) e 228 colunas (datas relacionadas com os eventos). Posteriormente, a técnica da Análise de Componentes Principais foi aplicada a cada uma dessas matrizes, na forma descrita a seguir.

Nessa análise é considerada uma matriz $[X]$ de dados, de dimensão $(m \times n)$, na qual m representa o número de pontos de grade e n o período de análise. Os elementos da matriz $[X]$ são normalizados com média zero e variância um. A normalização dos desvios garante que cada ponto de observação dentro da área de estudo tem a mesma importância na determinação dos padrões espaciais.

A matriz de correlação $[R]$ é obtida a partir da matriz $[X]$ das variáveis padronizadas pelos desvios padrões, sendo dada por:

$$[R] = \frac{1}{n} [X]^T [X] \quad (9)$$

Tendo-se a matriz de correlações determina-se os autovalores e autovetores associados.

Os autovalores e os autovetores de uma matriz $[S]$ são n escalares e um vetor não nulo $[E]$ de dimensão $(n \times 1)$ que satisfaz a relação:

$$[S][E] = \lambda[E] \quad (10)$$

$$([S] - \lambda[I]) \cdot [E] = [0] \quad (11)$$

Os autovalores de $[S]$ são obtidos da solução permitida acima:

$$[S] - \lambda[I] = 0 \quad (12)$$

$$| [S] - \lambda[I] | = 0 \quad (13)$$

Como a matriz $[S]$ é simétrica, os autovalores desta serão ortogonais, ou seja:

$$[E]^T [E] = [I] \quad (14)$$

A soma dos autovalores define a variância total dos dados. A variância explicada por cada autovetor é calculada pelo autovalor dividido pela soma dos autovalores. Pode-se obter uma nova matriz de dados a partir da combinação linear entre a matriz dos dados originais normalizados e a matriz transposta dos autovetores. Os elementos dessa nova matriz recebem o nome de componentes principais e é dado por:

$$[C] = [E]^T [X] \quad (15)$$

As componentes são calculadas de modo que a primeira componente principal C_1 tenha variância máxima. Calcula-se C_2 , procurando, novamente, maximizar a variância da segunda componente que não deverá ser correlacionada com C_1 . Calcula-se C_3 que é obtido maximizando-se a variância, desde que não seja correlacionada com C_1 e C_2 . Assim, a variância de C_1, C_2, \dots, C_m decresce e frequentemente grande parte da variância dos dados é explicada por um número reduzido de componentes. Neste caso, é possível descartar as últimas componentes principais, sem grande perda de informação.

4.3.5 Análise de Agrupamento (AA)

A Análise de Agrupamento (AA) ou “Cluster Analysis” é uma técnica de análise multivariada que tem por objetivo a classificação de variáveis em grupos, baseando-se na identificação de suas características comuns. A Análise de Agrupamento foi aplicada aos fatores rotacionados retidos na ACP na tentativa de classificar grupos de fatores formados por configurações semelhantes. A identificação destes grupos permitiu diagnosticar Tipos de Padrões que indicam um comportamento particular da atmosfera favorável à ocorrência de eventos extremos de chuva em Salvador. A estrutura final dos grupos é apresentada sob forma de dendrograma, que representa uma síntese objetiva dos resultados.

O sucesso de uma Análise de Agrupamento depende da medida numérica de similaridade ou dissimilaridade utilizada. Uma das medidas mais usadas na AA baseia-se na distância Euclidiana. Uma discussão detalhada dessa medida pode ser vista em Wilks (1995). A distância Euclidiana entre duas variáveis x_i e x_j é dada por:

$$d(x_i - x_j) = |x_i - x_j| = \left[\sum_{k=1}^k (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right]^{1/2} \quad (16)$$

O método de agrupamento usado neste trabalho é o método de Ward. Esse método propõe que em qualquer fase da análise a perda de informação que resulta do agrupamento de indivíduos em grupos é medida pela Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) de cada objeto em relação à média do grupo ao qual o objeto pertence. A cada passo do agrupamento é considerada a união de todo possível par de agrupamento, e são combinados os dois agrupamentos cuja fusão resulta na perda mínima de informação (Everitt, 1974). O método de Ward é dado por:

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2 \quad (17)$$

em que x_i é o n -ésimo indivíduo do grupo.

4.3.6 Correlações e Campos Médios

Outra técnica estatística utilizada para analisar as características dos grupos (Tipos de Padrões) foi a correlação temporal entre os fatores e as variáveis originais. Essa correlação é o meio de interpretar o papel que cada variável tem na definição de cada fator. Assim, os

coeficientes máximos da correlação indicam os casos de eventos extremos mais representativos no fator, ou seja, os meses que estão associados a cada Tipo de Padrão..

A representatividade dessas correlações é determinada pelo coeficiente de correlação (r) que é uma medida de associação linear e que, diferentemente da regressão, permite a comparação de duas variáveis aleatórias ou independentes com o objetivo de examinar até que ponto essas variáveis são interdependentes. Quanto mais próximo de $r=1$, maior o grau de relação entre as duas variáveis. Isso significa que, quanto mais próximo de 1, os Padrões (fatores) e as situações sinóticas reais (variáveis originais) têm configurações similares.

A medida de associação entre o fator e a variável original é o coeficiente de correlação linear ou de Pearson. Tendo-se dois vetores X_i e Y_i , com $i=1, \dots, n$ e n representa a dimensão destes vetores, o coeficiente de correlação linear é dado pela fórmula abaixo:

$$r_{xy} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_m)(y_i - y_m)}{\sqrt{(x_i - x_m)^2 (y_i - y_m)^2}} \quad (18)$$

x_m e y_m é a média dos elementos de x_i e y_i respectivamente.

O resultado dessa correlação linear permite avaliar a representatividade dos Padrões como situações sinóticas reais. A identificação desses casos permitiu construir o campo médio das variáveis originais associadas ao seu respectivo fator. Esses campos foram encontrados através da composição média dessas variáveis obtidas a partir da ordenação de cada valor do coeficiente de correlação em ordem decrescente e também pelo número de autovalores associado a cada fator.

A análise da configuração espacial dos fatores e os seus respectivos campos médios permitiu inferir as características de alguns sistemas atmosféricos que podem ter contribuído com as fortes chuvas de Salvador. Essas configurações espaciais foram obtidas utilizando o pacote gráfico *Grid Analysis and Display System* (GrADS).

CAPÍTULO 5

PRECIPITAÇÃO EM SALVADOR: VARIABILIDADE TEMPORAL E EVENTOS EXTREMOS

Neste capítulo a série histórica de precipitação da estação climatológica principal do INMET é analisada para caracterizar o regime de chuvas de Salvador em várias escalas de tempo, com foco em eventos de chuva com magnitude para causar desastres sócio-ambientais na cidade.

5.1. Características do Regime Pluviométrico

Tendo como objetivo estudar a variabilidade temporal da chuva na cidade de Salvador, foram realizadas análises considerando a escala diária, mensal e anual. Foi calculado o número de dias com chuva, os totais acumulados de chuva, as médias climatológicas, o desvio padrão, o Desvio Padronizado de Precipitação (DPP) e identificados os eventos extremos de chuva.

A Figura 5.1 apresenta a distribuição anual da precipitação, considerando os totais anuais e a média anual de todo o período. A média foi 1997,2 mm. O ano com maior total anual foi 1964 (3.223,20 mm), seguido por 1999 (2677,9 mm) e 1975 (2672,9 mm). Os episódios de La Niña registrados nesses anos podem ter contribuído para esses valores elevados. O menor total anual de precipitação foi registrado em 1993 (1233,2 mm), ano de El Niño.

A Figura 5.2 ilustra as normais mensais de precipitação do período 1961-1990 (RAMOS et al., 2009), e as médias mensais e os desvios padrões do período 1964-2009. Na figura, a climatologia mensal da precipitação apresenta valores bem próximos dos valores médios mensais observados no período em estudo, e identifica os meses de abril a julho como os mais chuvosos. Assim, o quadrimestre mais chuvoso apresenta uma precipitação média mensal que varia de 175,0 mm a 359,9 mm, representando quase 51% (1088,4 mm) do total anual das chuvas na cidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Rao *et al.* (1993), que constataram que a estação chuvosa na faixa litorânea leste do Nordeste do Brasil é de abril a julho (60% da precipitação anual), e por Barreto *et al.* (2008), que encontraram o mesmo quadrimestre chuvoso para a cidade de Salvador no período 1964-2007. O mês de maio é o mais chuvoso do ano (359,9

mm). O desvio padrão mostra valores muito próximos da média nos meses de dezembro e janeiro, o que representa uma maior diferença entre os valores mensais da série, indicando a ocorrência de chuvas atípicas nesses meses.

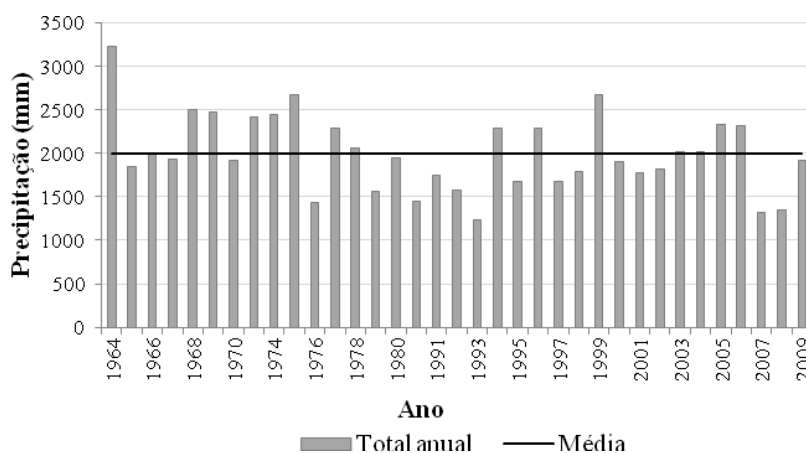


Figura 5.1. Distribuição do total anual de precipitação e média climatológica do período 1964-2009 da estação de Salvador (*Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*).

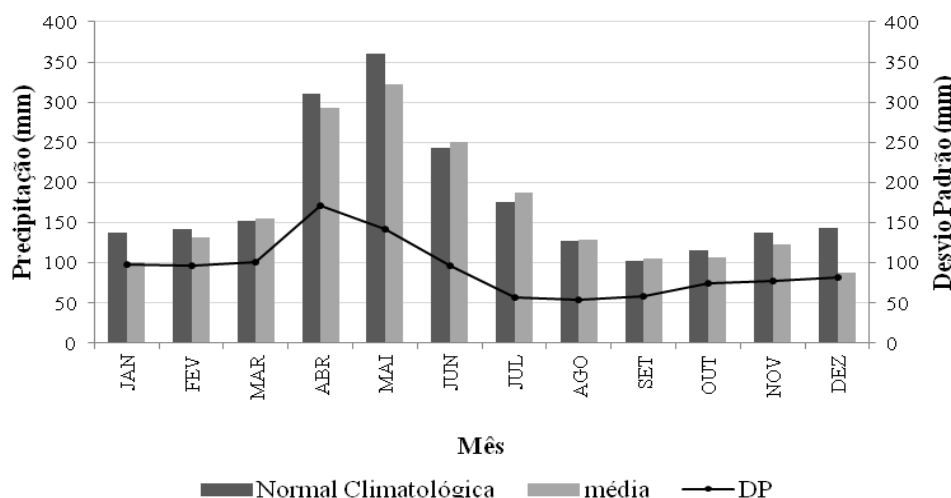


Figura 5.2. Distribuição mensal da normal climatológica de precipitação (1961-1990) e da precipitação média e desvio padrão (DP) do período 1964-2009 da estação de Salvador (*Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*).

A tabela 5.1 apresenta o número de dias com chuva quando considerado o período mensal e anual. Essa Tabela mostra que o número médio anual de dias com chuva é 206. O valor máximo do número de dias com chuva é visto em 1964 (254), e o mínimo em 1993 (164).

Analisando o quadrimestre chuvoso, observa-se que o valor médio mensal varia entre 21 e 23 dias. O valor máximo, 29 dias, é visto nos meses de maio, junho e julho, e o valor mínimo, 3 dias, em dezembro de 1993.

TABELA 5.1. Frequência (número mensal e anual) de dias com chuva no período de estudo

Ano/Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	Dez	Total anual
1964	21	17	24	27	29	22	21	26	24	15	17	11	254
1965	16	6	14	27	22	27	21	18	13	9	12	13	198
1966	14	23	17	19	24	26	29	20	22	12	21	17	244
1967	8	17	24	21	28	21	24	28	15	14	12	16	228
1968	14	19	24	17	26	27	19	19	16	10	18	12	221
1969	14	15	23	22	25	25	24	19	11	14	8	18	218
1970	13	16	21	16	20	23	26	24	9	10	14	10	202
1973	13	8	8	22	25	27	22	17	19	18	16	10	205
1974	15	22	20	23	28	24	28	23	22	12	15	17	249
1975	17	13	21	21	29	18	24	24	23	13	15	22	240
1976	16	21	20	22	12	19	20	17	11	17	12	5	192
1977	17	23	14	22	25	25	25	14	19	24	8	18	234
1978	15	14	24	18	21	20	27	17	19	12	12	17	216
1979	7	20	14	22	18	28	22	22	9	9	8	13	192
1980	16	21	19	14	24	15	21	16	21	14	12	10	203
1987	7	13	19	19	19	24	23	12	22	8	15	10	191
1991	11	15	20	21	28	29	23	24	17	12	10	9	219
1992	14	23	17	16	15	24	22	14	18	5	11	8	187
1993	6	11	7	15	23	21	17	18	10	21	12	3	164
1994	9	14	17	24	24	25	25	22	17	13	8	9	207
1995	7	8	12	17	21	24	22	16	17	5	18	6	173
1996	10	9	10	24	21	19	19	18	18	9	16	8	181
1997	9	27	22	22	26	17	21	20	8	9	7	7	195
1998	17	10	10	16	22	22	22	20	17	11	10	11	188
1999	13	19	11	20	22	22	26	22	16	14	19	20	224
2000	11	15	21	25	24	25	23	20	23	9	12	13	221
2001	18	9	16	22	18	27	20	26	15	16	7	15	209
2002	22	7	19	21	19	29	25	22	20	9	10	6	209
2003	8	13	22	18	22	23	22	21	17	11	17	8	202
2004	20	13	16	21	22	28	27	20	13	18	15	4	217
2005	12	16	13	26	21	25	22	27	10	11	10	12	205
2006	13	5	11	25	21	22	15	20	12	20	12	10	186
2007	7	20	21	16	16	19	20	22	16	11	9	8	185
2008	8	11	15	17	15	22	24	16	12	13	6	16	175
2009	11	18	8	20	24	17	20	20	11	11	5	5	170
Valor médio	13	15	17	21	22	23	23	20	16	13	12	11	206
Valor máximo	22	27	24	27	29	29	29	28	24	24	21	22	254
Valor mínimo	6	5	7	14	12	15	15	12	8	5	5	3	164
Desvio Padrão	4,3	5,5	5,1	3,5	4,1	3,6	3,0	3,8	4,6	4,2	4,0	4,8	

Já a Tabela 5.2 contém dados relativos ao número mensal e anual dos eventos extremos (NEE) de chuva determinados pela técnica do percentil. Foram considerados como eventos extremos os totais diários com valor igual ou maior que 50 mm.

TABELA 5.2. Frequência (número mensal e anual) de eventos extremos de chuva (total diário igual ou maior que 50 mm) no período de estudo

Ano/Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total	Total Acumulado
1964	3		2	1	1	2				1	1	2	13	13
1965				1	1						2		4	17
1966					3					1			4	21
1967				2	2							1	5	26
1968	1	2		1	3	2	1				1		11	37
1969			1	1	5	2		1				2	12	49
1970	1	2			1		1		1	1	1		8	57
1973					3	3				1	1		8	65
1974		1		2	2							1	6	71
1975				5	2								7	78
1976					1		1	1					3	81
1977	1			1	1	1			2	1		2	9	90
1978				2	3	1		1		2			9	99
1979				2			1						3	102
1980		1						1			1		3	105
1987					1	1	1				1		4	109
1991	1			2		1							4	113
1992		1									1	1	3	116
1993					2		1						3	119
1994			2	2		3	1	1					9	128
1995				1	2	1	1						5	133
1996				5	1	1			1				8	141
1997		1		1			1			1			4	145
1998				1		2	2						5	150
1999	1		2	3	1		1	2	1	1	3		15	165
2000				1		2			1		1		5	170
2001							1			1			2	172
2002	1				2	1	1	1	1				7	179
2003				1	3	1	1						6	185
2004	2	1	1	2		2					1		9	194
2005		3	3	3									9	203
2006				5	2	2				1	2		12	215
2007		1			1								2	217
2008		1			1								2	219
2009				4	4					1			9	228
TOTAL	11	14	11	49	48	28	15	8	7	12	16	9	228	

Analisando o quadrimestre chuvoso, observa-se que o valor médio mensal varia entre 21 e 23 dias. O valor máximo, 29 dias, é visto nos meses de maio, junho e julho, e o valor mínimo, 3 dias, em dezembro de 1993.

A Tabela 5.2 evidencia que nos anos que compõem a série de precipitação diária foram observados 228 eventos extremos de precipitação, dos quais 140 ocorreram nos meses de abril, maio, junho e julho, com valores de 49, 48, 28 e 15, respectivamente. Os eventos extremos do quadrimestre chuvoso equivalem a 61% de todos os eventos da série. Entretanto, é importante destacar os meses de novembro e fevereiro por apresentarem número relativamente elevado de eventos (16 e 14, respectivamente), e destacar também que nesses meses o VCAN é um sistema atmosférico importante na geração de chuvas intensas no Nordeste (Ramirez, 1996).

A Figura 5.3 mostra os resultados da análise dos dados mensais da precipitação de Salvador, em conjunto com a normal climatológica e com o número de eventos extremos de precipitação, observados em cada mês da série em estudo. A cidade de Salvador, que tem um relevo bastante acidentado, expandiu-se sobre áreas de encosta, com ocupações desordenadas devido à falta de políticas públicas. Essas áreas são consideradas “áreas de risco”, principalmente em época de precipitação intensa que, muitas vezes, ocasiona graves danos à população, inclusive com a perda de vida. No período de abril a julho, os riscos de acidente são potencializados com as fortes chuvas. Daí a motivação para analisar a variabilidade temporal da precipitação de Salvador, tendo como foco principal a precipitação do quadrimestre chuvoso.

No total de quatro, os meses com o número máximo de eventos estão no bimestre abril-maio. O máximo (5 eventos) é visto em abril de 1975, 1996 e 2006 (Fig. 5.3a) e maio de 1969 (Fig. 5.3b).

Há apenas 13 anos com chuva acima da normal climatológica (309,7 mm) do mês de abril (Fig. 5.3a), nos quais há um total de 39 eventos extremos de precipitação, correspondendo a 80% do número total de eventos desse mês. Os valores máximos da série são vistos no ano de 1975 (737,9 mm), 1996 (757,8 mm) e 2006 (587,4 mm), todos com 5 eventos.

O Boletim de Monitoramento e Análise Climática (CLIMANÁLISE, 2006) destacou as enchentes ocorridas no litoral da Região Nordeste no mês de abril de 1996, e associou as chuvas intensas à atuação de distúrbios de leste e de sistemas frontais. Foi dado destaque à chuva forte (232,5 mm) que ocorreu em Salvador no dia 21 de abril de 1996, quando

14 pessoas perderam a vida em um soterramento na favela do Barro Branco, região do Retiro. Os sistemas frontais também contribuíram para as fortes chuvas de abril de 2006. Santos (2008) mostrou que esse evento foi provocado por um sistema frontal que avançou sobre o estado da Bahia.

A Figura 5.3b, que ilustra os totais pluviométricos do mês de maio, apresenta 15 anos em que a chuva está acima da normal climatológica (359,9 mm). O número de eventos extremos desse mês é 48, sendo que um total de 36 (75%) é visto nos anos que apresentam total mensal acima da normal. Os máximos mensais (valores acima de 500 mm) estão nos anos de 1969 (592,2 mm), 1973 (599,9 mm), 1975 (560,4 mm), 2003 (550,5 mm) e 2009 (549,3 mm).

No mês de maio de 1973, em apenas três dias consecutivos choveu 309,3 mm, o que representa mais de 95% da normal mensal. Esse total corresponde aos eventos extremos de chuva dos dias 14 (88,3 mm), 15 (93,6 mm) e 16 (127,4 mm). O mês de maio de 2009 também se caracterizou por fortes chuvas. Houve quatro (4) eventos extremos de precipitação. O Relatório Final da Operação Chuva 2009, elaborado pela COORDENADORIA DE DEFESA CIVIL DE SALVADOR (CODESAL), documenta que as chuvas intensas e contínuas provocaram a saturação do solo, o que ocasionou inúmeros acidentes tais como deslizamento de encostas, desabamento de imóveis e alagamento de áreas. Houve vítimas fatais em alguns desses acidentes, além da grande quantidade de famílias desabrigadas e desalojadas. Nos registros da CODESAL, foi o mês que teve o maior número de solicitações (7.550), vistorias (5.652) e famílias cadastradas (2.117), nos últimos anos. A ZCIT e os distúrbios de leste foram os principais sistemas responsáveis pelas chuvas de maio de 2009, na região Nordeste (CLIMANÁLISE, 2009).

Na série temporal do mês de junho (Fig. 5.3c) são observados 18 meses com chuvas muito próximas ou acima da normal (243,7 mm). Os valores máximos mensais são vistos em 1973 (479,3 mm), 1994 (477,8 mm) e 2006 (401,4 mm), os dois primeiros com três (3) eventos, e o último com dois (2). Vale destacar que, embora junho de 2005 não apresente nenhum evento extremo, seu total mensal (421,1 mm) representa valor superior a 73% da normal climatológica.

No total, é observado um número menor de eventos extremos (28) na série temporal do mês de junho. Um deles, registrado em 2006, foi objeto de estudo de Santos (2008). Ela observou que a chuva teve início na tarde do dia 11, mas foi intensa na madrugada do dia 12.

Totais diários acima de 80 mm foram observados em três estações meteorológicas da cidade na manhã desse dia, causados por aglomerados convectivos decorrentes da configuração de um distúrbio de leste. Os danos causados pela chuva forte que castigou a capital baiana foram resultantes de acidentes como deslizamentos de terra, desabamento de imóveis, rompimento de fiação elétrica e queda de árvores. Transtornos também foram enfrentados no trânsito, com a obstrução da pista da Ladeira do Contorno, principal ligação rodoviária entre a Cidade Alta e a Cidade Baixa, que foi interditada devido a um deslizamento de encosta na Rua Visconde de Mauá, na Cidade Alta (http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=29&Itemid=82&limit=10&limitstart=280).

Julho é o último mês do quadrimestre chuvoso e está representado na Figura 5.3d. O valor da normal climatológica desse mês é 175,0 mm e são observados 21 meses com chuva acima desse valor. Grande parte dos totais mensais da série varia entre 178 e 336,5 mm, com valores máximos no ano de 1994 (336,5 mm), 1998 (306,5 mm) e 2002 (254,8 mm). Dentre os 35 meses, apenas 14 apresentaram eventos extremos de precipitação, com apenas um máximo (2 eventos) em 1998.

No período compreendido entre os meses de agosto e março os totais pluviométricos são menores, com normal climatológica variando entre 102,0 e 142,8 mm (Fig. 5.3e-1). O máximo (481,2 mm) da série é visto em janeiro de 1964 e o mínimo (5,5 mm) em fevereiro de 1993. Foi observado um total de 88 eventos extremos de precipitação nesses meses, com mínimo de um evento (1) nos meses de agosto, setembro e dezembro. O máximo de três (3) eventos é visto em novembro de 1999, janeiro de 1964, fevereiro de 2005 e março de 2005.

De maneira geral, é possível concluir que a chuva esteve acima da normal climatológica na maior parte dos meses em que houve eventos extremos. Dessa forma, dentre os 228 eventos, 192 deles (84%) são vistos em meses com chuva acima da normal. Vale destacar que foram registrados 113 eventos apenas no quadrimestre chuvoso, o que evidencia a alta frequência de eventos nessa época do ano.

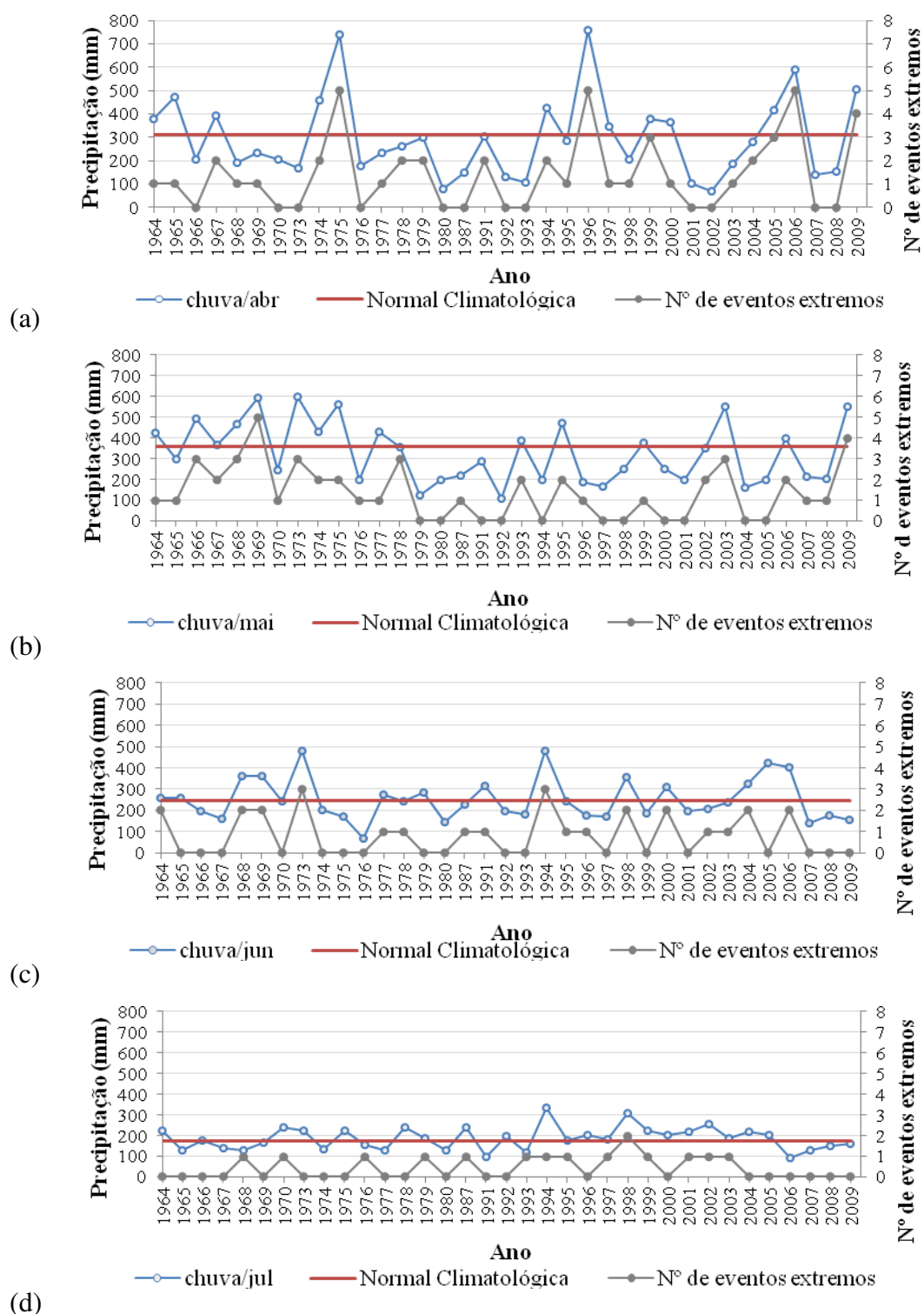


Figura 5.3. Normal climatológica de precipitação (1961-1990) e variabilidade interanual da precipitação mensal e do número de eventos extremos de precipitação para o período de estudo em Salvador no mês de: (a) abril, (b) maio, (c) junho, (d) julho, (e) agosto, (f) setembro, (g) outubro, (h) novembro, (i) dezembro, (j) janeiro, (k) fevereiro e (l) março. As escalas de (a) a (d) diferem das demais (*Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*).

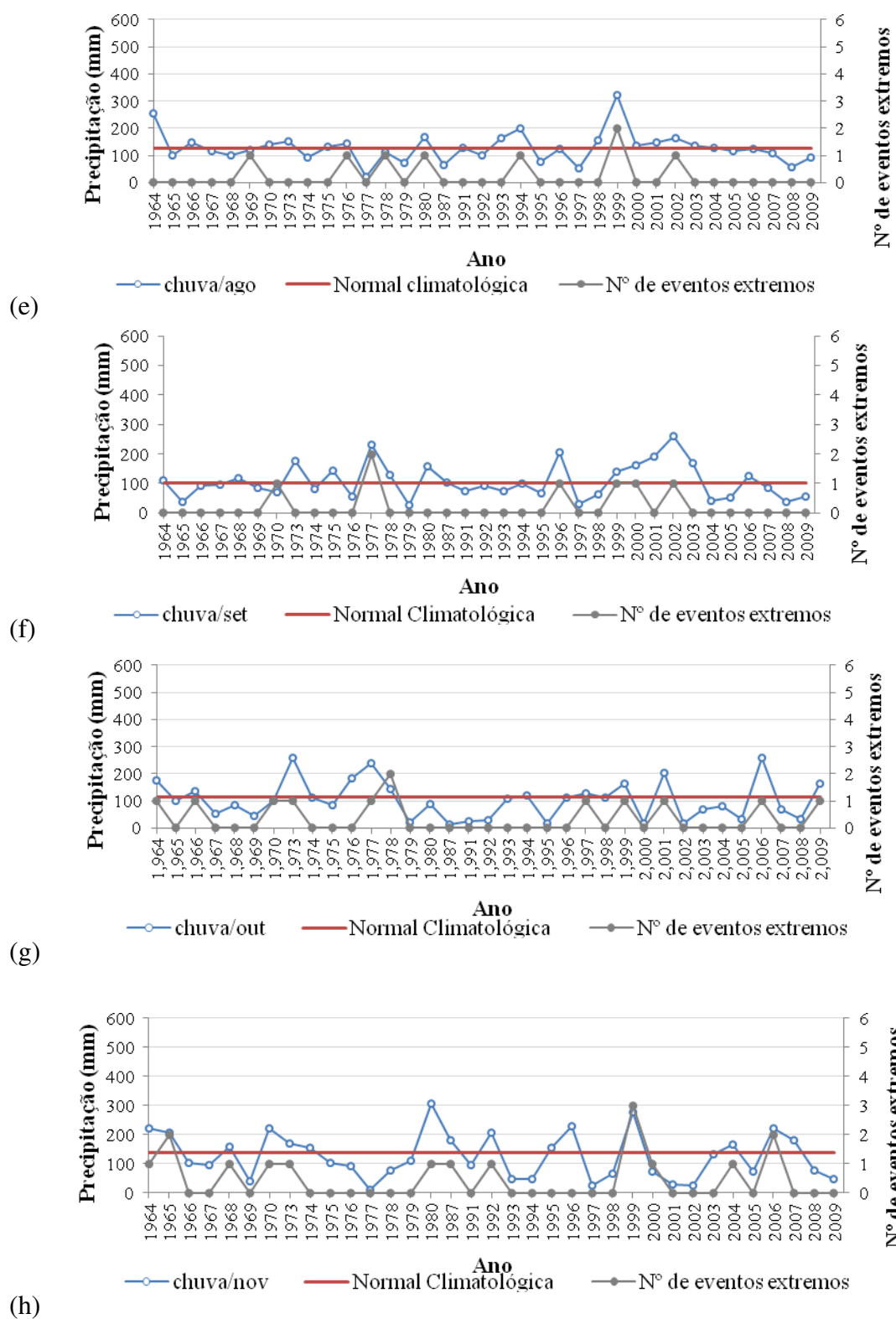
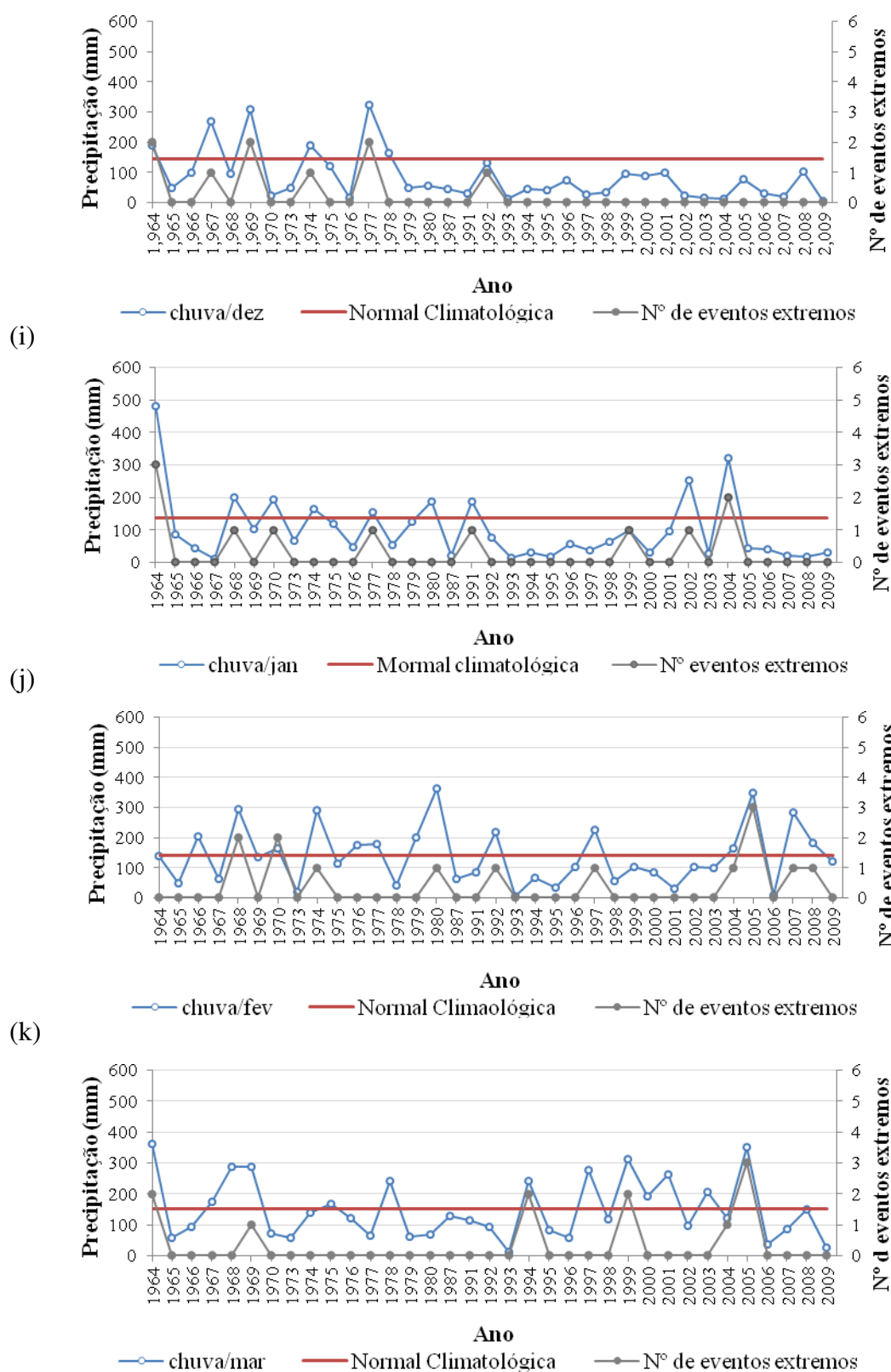


Figura 5.3. continuação



(l) Figura 5.3. conclusão

Outra técnica também utilizada para analisar a variabilidade da precipitação foi o Desvio Padronizado de Precipitação Mensal (*DPP*), que permite alocar os dados em classes positivas e negativas, fornecendo informações quanto à magnitude da anomalia. *DPP* negativo (positivo) indica que a chuva acumulada num determinado mês esteve abaixo (acima) da média mensal do período. Esses *DPPs* são vistos na Tabela 5.3 que apresenta valores negativos e positivos que variam de -2,0 a 3,8.

TABELA 5.3. Desvio Padronizado de Precipitação (*DPP*) da estação do INMET em Salvador-BA. (Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia).

ANO	DPP	DPP	DPP	DPP	DPP	DPP	DPP	DPP	DPP	DPP	DPP	DPP
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1964	3,8	0,0	2,2	0,5	0,7	0,1	0,7	2,3	0,1	1,0	1,2	1,3
1965	-0,1	-0,9	-0,9	1,0	-0,2	0,1	-1,1	-0,5	-1,2	0,0	1,0	-0,5
1966	-0,5	0,7	-0,6	-0,5	1,1	-0,6	-0,1	0,4	-0,2	0,5	-0,3	0,1
1967	-0,9	-0,8	0,3	0,6	0,2	-0,9	-0,9	-0,2	-0,2	-0,6	-0,4	2,2
1968	1,0	1,6	1,4	-0,6	1,0	1,1	-1,1	-0,5	0,2	-0,3	0,4	0,1
1969	0,0	0,0	1,4	-0,4	1,8	1,1	-0,4	-0,1	-0,4	-0,7	-1,1	2,7
1970	0,9	0,3	-0,8	-0,5	-0,6	-0,1	0,9	0,2	-0,6	0,0	1,2	-0,7
1973	-0,3	-1,2	-0,9	-0,8	1,9	2,3	0,7	0,4	1,2	2,0	0,6	-0,4
1974	0,6	1,6	-0,1	0,9	0,7	-0,5	-0,9	-0,7	-0,4	0,1	0,4	1,3
1975	0,2	-0,2	0,2	2,6	1,6	-0,8	0,6	0,1	0,6	-0,3	-0,3	0,4
1976	-0,5	0,4	-0,3	-0,7	-0,9	-1,9	-0,6	0,3	-0,9	1,1	-0,4	-0,9
1977	0,5	0,4	-0,9	-0,4	0,7	0,2	-1,0	-2,0	2,1	1,7	-1,5	2,9
1978	-0,5	-1,0	0,9	-0,2	0,2	-0,1	1,0	-0,3	0,4	0,5	-0,6	0,9
1979	0,3	0,6	-0,9	0,0	-1,4	0,3	0,0	-1,0	-1,4	-1,0	-0,2	-0,5
1980	0,9	2,3	-0,8	-1,3	-0,9	-1,1	-1,1	0,7	0,9	-0,2	2,3	-0,4
1987	-0,8	-0,8	-0,2	-0,9	-0,8	-0,2	0,9	-1,2	-0,1	-1,1	0,7	-0,5
1991	0,9	-0,5	-0,4	0,0	-0,3	0,7	-1,6	0,0	-0,6	-1,0	-0,4	-0,7
1992	-0,2	0,8	-0,6	-1,0	-1,5	-0,6	0,2	-0,5	-0,2	-0,9	1,0	0,6
1993	-0,9	-1,4	-1,4	-1,1	0,4	-0,7	-1,2	0,7	-0,6	0,1	-1,0	-0,9
1994	-0,7	-0,7	0,9	0,7	-0,9	2,3	2,7	1,3	-0,1	0,2	-1,0	-0,5
1995	-0,8	-1,1	-0,7	-0,1	1,0	-0,1	-0,2	-0,9	-0,7	-1,1	0,4	-0,5
1996	-0,4	-0,4	-0,9	2,7	-1,0	-0,7	0,3	-0,1	1,7	0,1	1,3	-0,1
1997	-0,6	0,9	1,3	0,3	-1,1	-0,8	-0,1	-1,4	-1,3	0,3	-1,3	-0,7
1998	-0,4	-0,8	-0,3	-0,5	-0,5	1,1	2,1	0,5	-0,7	0,1	-0,8	-0,6
1999	0,0	-0,4	1,7	0,5	0,3	-0,7	0,7	3,5	0,6	0,8	1,9	0,1
2000	-0,7	-0,5	0,4	0,4	-0,6	0,6	0,3	0,1	0,9	-1,1	-0,7	0,0
2001	-0,1	-1,1	1,2	-1,1	-0,9	-0,6	0,6	0,4	1,4	1,3	-1,2	0,1
2002	1,5	-0,4	-0,5	-1,3	0,2	-0,4	1,2	0,6	2,6	-1,1	-1,3	-0,8
2003	-0,7	-0,4	0,6	-0,6	1,5	-0,1	0,0	0,2	1,1	-0,4	0,1	-0,9
2004	2,2	0,3	-0,3	-0,1	-1,2	0,8	0,6	0,0	-1,1	-0,3	0,5	-0,9
2005	-0,6	2,2	2,1	0,7	-0,9	1,7	0,3	-0,2	-1,0	-0,9	-0,7	-0,1
2006	-0,6	-1,3	-1,2	1,7	0,5	1,5	-1,7	-0,1	0,3	2,0	1,2	-0,7
2007	-0,8	1,5	-0,6	-0,9	-0,8	-1,1	-1,0	-0,3	-0,4	-0,4	0,7	-0,8
2008	-0,8	0,5	0,0	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7	-1,3	-1,2	-0,9	-0,6	0,2
2009	-0,7	-0,2	-1,3	1,2	1,5	-1,0	-0,5	-0,6	-0,9	0,8	-1,0	-1,0

Nos anos de 1976, 1987, 1993, 1995, 2007 e 2008 predominam DPPs negativos que são vistos em 9 a 10 meses de cada ano. O número de eventos extremos é pequeno (Tabela 5.2), o que implica em chuvas anuais abaixo da média. No que diz respeito ao ano de 1993, Rao *et al.* (1995) sugerem que os três anos de seca registrados no Nordeste do Brasil em 1990-1993 estariam associados com o El Niño prolongado desse período. O contrário pode ter ocorrido nos anos de 1964 e 1999, anos de La Niña, que apresentam $DPP > 0$ em todos os meses, exceto em fevereiro e junho de 1999. Os valores máximos da série são vistos em janeiro de 1964 (3,8) e agosto de 1999 (3,5). Os anos de 1964 e 1999 também apresentam os maiores totais de eventos extremos de toda a série, 13 e 15, respectivamente (Tabela 5.2).

O ano de 2009 se destaca por apresentar 9 meses com DPP negativo e 9 eventos extremos: 4 em abril, 4 em maio e 1 em outubro (meses com DPP positivo).

Comparando as Tabelas 5.2 e 5.3, o que se observa é que dentre os 57 meses com $DPP \leq -1$ apenas 3, todos da estação chuvosa, apresentam evento extremo de precipitação: maio de 1996 (1 evento), julho de 1968 (1 evento) e julho de 1993 (1 evento). Já para os meses em que o $DPP \geq 1$ observa-se o contrário, ou seja, dentre os 68 meses encontrados, 57 apresentam eventos intensos. Esse resultado indica uma relação direta entre a ocorrência de eventos intensos de precipitação e a magnitude e sinal do DPP.

Assim, visando estudar as relações existentes entre o número de eventos extremos de precipitação (NEE) e os DPP da área de Salvador, calculou-se a correlação entre os DPPs de cada mês e o número de eventos correspondentes, com nível de significância de 95%, mostrada na Tabela 5.4.

Nos meses de abril, maio e junho a correlação entre o DPP e o NEE é alta ($> 0,8$). São meses que apresentam os totais máximos mensais de chuva e também os números máximos de eventos extremos. Os meses de dezembro e janeiro também apresentam coeficiente máximo de correlação (0,9), embora seus totais mensais de chuva sejam os mínimos da série. Por outro lado, são meses que apresentam valores máximos de desvio padrão e DPP, indicando a ocorrência de chuvas atípicas, como já discutido em relação à Figura 5.2 da sessão anterior.

A correlação no mês de julho é pequena (0,4). Portanto, em julho não há indicação de relação entre a magnitude do DPP e o número de eventos extremos de chuva, diferentemente do que foi encontrado nos outros meses. Esse resultado está associado ao fato de que, apesar de

fazer parte do quadrimestre chuvoso e apresentar totais mensais de chuva elevados, o mês de julho tem número reduzido de eventos extremos.

TABELA 5.4. Correlação entre Desvio Padronizado de Precipitação (DPP) e Número de Eventos Extremos de Precipitação (NEE) ao nível de significância de 95%

Mês	Correlação entre DPP e NEE
Janeiro	0,9
Fevereiro	0,7
Março	0,7
Abril	0,9
Mai	0,8
Junho	0,8
Julho	0,4
Agosto	0,6
Setembro	0,6
Outubro	0,7
Novembro	0,7
Dezembro	0,9

5.2 Escalas de Tempo da Precipitação e a Análise de Ondeletas

Tendo como objetivo analisar a variabilidade intrassazonal da precipitação na cidade de Salvador foi utilizada a técnica da Análise de Ondeleta de Morlet aplicada a dados mensais de precipitação do período de 1964 a 2009, bem como a dados diários de precipitação de 1991 a 2009, conforme metodologia descrita por Torrence e Compo (1998). A principal característica da Análise de Ondeleta é detectar flutuações de caráter episódico. O seu resultado permite analisar e caracterizar as escalas temporais de oscilações presentes na precipitação.

A análise de Ondeletas aplicada aos dados mensais de precipitação cobre o período de 1964 a 2009 (552 meses). Os resultados da análise são ilustrados na Figura 5.4.

A série temporal de precipitação (Fig. 5.4a) apresenta altos índices pluviométricos, com máximo de 889,8 mm em abril de 1984. Ressalta-se que os valores mensais mais elevados são mais frequentes nos meses de abril e maio; em alguns meses o acréscimo na quantidade mensal de precipitação é superior ao dobro da normal climatológica mensal.

A Figura 5.4c mostra a aplicação do espectro global em Ondeletas. Esta análise é importante para verificar a contribuição média dos picos espectrais considerando todo o domínio temporal da variável (Torrence e Compo, 1998). A série mensal da precipitação apresentou sinais significativos na escala anual. Já a escala intrassazonal não é tão marcante quanto a anual, mas apresenta picos no período de 3 e 6 meses, relacionados com a duração do período chuvoso de Salvador.

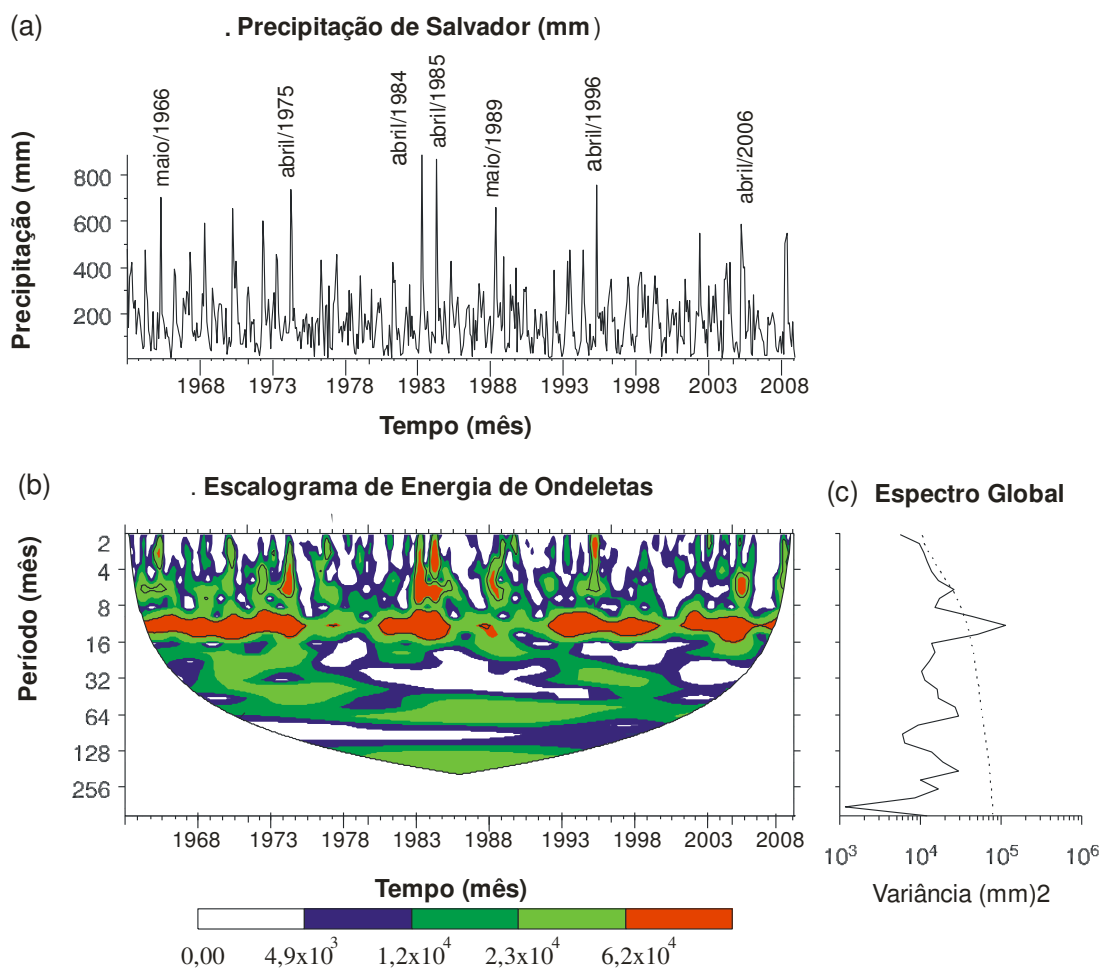


Figura 5.4. (a) Série de precipitação mensal do período de 1964-2009, (b) Espectro de potência de ondeletas, (c) Espectro global. A escala de cores representa a energia de ondeletas (mm^2) no escalograma em (b). Os valores situados sobre e à direita da linha pontilhada em (c) são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95%.

O escalograma de energia de ondeletas (Fig. 5.4b) apresenta no eixo das abscissas a escala temporal correspondente aos 552 meses, enquanto que no eixo das ordenadas estão os períodos mensais, no intervalo de 2 a 256 meses. A escala de cores indica a energia associada a cada período da série (amplitude). As periodicidades estatisticamente significativas com 95% de confiança são delimitadas por linhas de contorno contínuas pretas. A linha preta em forma de U delimita o cone de influência. A área branca em torno do cone representa a região onde o efeito de borda se torna importante, isto é, a região onde a análise dos coeficientes de ondeleta sofre alteração devido ao decaimento da função no início e final do sinal (isto porque a série temporal é finita). Os períodos fora do cone são desprezados por não possuírem uma confiança estatística adequada.

No escalograma da série temporal, grande parte dos valores máximos de energia está associada à escala anual. Entretanto, nota-se que nessa escala a energia é máxima somente em parte do período 1964-2009 e que também são observados picos de energia associados a escalas inferiores, com destaque para os meses de abril e maio. Na escala de 2 a 4 (até 4 meses), há núcleos de maior energia em maio de 1966, abril de 1985 e abril de 1996. Dentro da escala de 4-8 meses, os sinais são mais intensos em maio de 1989 e abril de 2006. Ainda se destaca um pico máximo de precipitação de 889,8 mm em abril de 1984, e outro de 737,9 mm em abril de 1975, com intenso núcleo de energia na escala de 3-7 meses.

A Figura 5.5 mostra a análise de ondeletas aplicada aos dados diários de precipitação. Foi utilizada uma série temporal de 19 anos, formada pela soma de três totais diários de precipitação, no período de 1991 a 2009.

A série temporal de precipitação descrita acima exhibe picos bastante expressivos (Fig. 5.5a). Muitos dos picos maiores do que 50 mm estão associados a eventos extremos de precipitação discutidos na seção anterior. No período de 1991 a 2009 há um total de 119 eventos. Dentre eles, 76 (64%) ocorrem nos meses de abril a julho, o quadrimestre mais chuvoso da cidade (BARRETO *et al.*, 2008). Os máximos da série temporal usada na Análise de Ondeleta são: a soma de 237,9 mm, de 19 a 21 de abril de 1996, que compreende um único evento, o de 21/04/1996 (232,5 mm); outro é a soma de 223 mm, de 04 a 06 de maio de 2003, que compreende dois eventos consecutivos, um em 04/05/2003 (107,60mm) e outro em 05/05/2003 (112,2 mm); o terceiro máximo é a soma de 222,2 mm, dos dias 20 a 22 de abril de 2009,

também compreendendo dois eventos extremos consecutivos, um em 21/04/2009 (123,0 mm) e outro em 22/04/2009 (67,4 mm).

A Figura 5.5b mostra o escalograma de energia de ondeletas da precipitação, que representa o resultado da transformada em ondeleta aplicada à série temporal. Neste caso o eixo x representa a escala temporal correspondente à série usada (2313 valores) e o eixo y representa os períodos presentes na série (equivalente à frequência), como mostra a Tabela 5.5.

TABELA 5.5. Escalas de tempo usadas no escalograma de energia de ondeletas da série de precipitação acumulada de três dias do período 1991-2009

Escala (eixo y)	Valor (em soma de três dias)
2	6 dias
4	12 dias
8	24 dias
16	48 dias
32	96 dias
64	192 dias
>128	384 a 768 dias

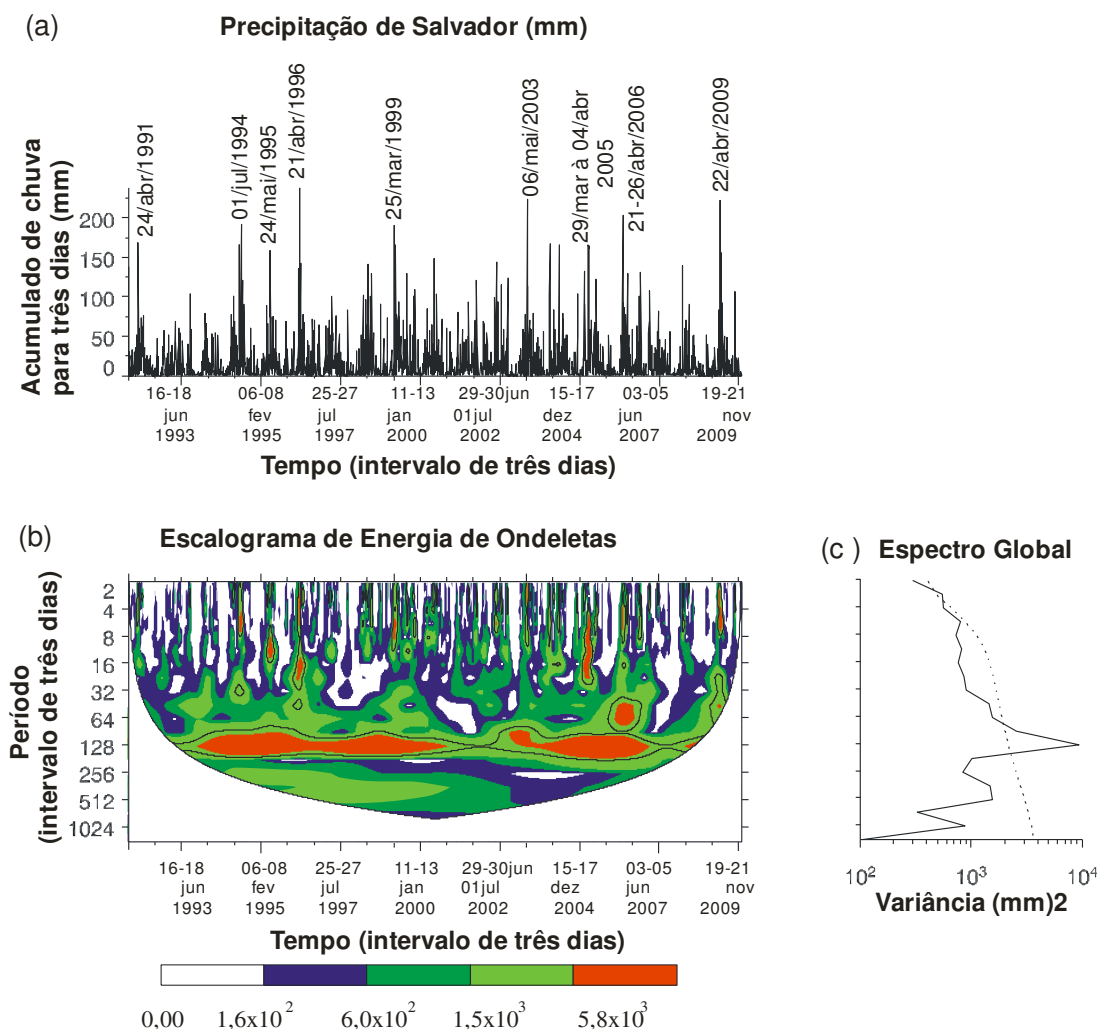


Figura 5.5 (a) Série temporal de precipitação acumulada de três dias do período 1991-2009, (b) Escalograma de energia de ondeletas, (c) Espectro global. Os valores situados sobre e à direita da linha pontilhada em (c) são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95%.

As variações de energia ilustradas na Figura 5.5b podem ser associadas aos eventos extremos de chuva. Picos de energia entre a escala 2 e 4 (até 12 dias) ocorrem em abril de 1996, maio de 2003, abril de 2006 e abril de 2009, com máximos de precipitação de 237,9 mm, 223 mm, 202 mm e 222,3 mm, respectivamente. Como o período dominante dentro dessa escala (2 a 4) é de 8 dias (Fig. 5.5c), isso indica que essas chuvas podem estar associadas a sistemas de escala de tempo sinótica como os sistemas frontais e os distúrbios de leste. Porém, entre as oscilações intrassazonais, as maiores frequências estão concentradas entre 4 e 8 (12-24 dias), sendo possível observar que alguns desses casos ocorrem em dias consecutivos, a exemplo

de abril de 1996, no qual em apenas dez dias (21/04/1996 a 30/04/1996) choveu um total de 523,3 mm, valor muito superior à normal climatológica do mês de abril (321,6 mm). Nesse período houve 4 eventos extremos de precipitação, sendo um deles com 232,5 mm (21/04/1996), o maior total diário de chuva dos últimos 20 anos na cidade de Salvador. Esse mês também se destacou pelos máximos de energia que esteve relacionada com a oscilação em torno da escala de 16 a 32 (48-96 dias), assim como os dias entre a última semana de março e a primeira semana de abril de 2005, uma indicação de que a OMJ contribuiu para essas chuvas.

A Figura 5.5c mostra a aplicação do espectro global em ondeletas. Nela o pico dominante está na escala anual. Entretanto, também são observadas oscilações intrassazonais, em praticamente todas as escalas de tempo. Os principais períodos são 8, 18, 36, 78 e 144 dias.

CAPÍTULO 6

PADRÕES ATMOSFÉRICOS DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA

A Análise Fatorial (AF) foi realizada separadamente para as variáveis: pressão ao nível médio do mar (PNMM), componente zonal do vento (CZV) no nível de 200 e 850 hpa e componente meridional do vento (CMV) no nível de 200 e 850 hpa; e realizada conjuntamente para as componentes zonal e meridional do vento (CZMV) no nível de 200 hpa e também de 850 hpa. Para averiguar a consistência dos dados originais na aplicação da técnica da AF foi utilizado o teste *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO). O método utilizado na Análise de Fatores foi o de Componentes Principais com rotação ortogonal dos eixos fatoriais via *Varimax*, que possibilita uma melhor distribuição das variáveis em relação aos fatores, de forma a facilitar a sua interpretação.

Na definição do número de fatores retidos o critério empregado foi o Método de *Kaiser* juntamente com o critério do *Scree Plot*, que permitiram a observação da ordem dos autovalores e verificação da maior porcentagem da variação total explicada pelos primeiros fatores.

Na identificação de grupos de fatores formados por configurações semelhantes foi utilizada a Análise de Agrupamento aplicada aos fatores comuns temporais rotacionados. No agrupamento foi adotado o método de Ward, e a distância euclidiana. A identificação destes grupos permitiu diagnosticar Tipos de Padrões que indicam um comportamento particular da atmosfera favorável à ocorrência de eventos extremos de chuva em Salvador.

Outra técnica estatística utilizada para analisar as características dos padrões atmosféricos foi a correlação temporal entre os fatores e a pressão ao nível médio do mar, bem como entre os fatores e as componentes do vento. Com base nos coeficientes máximos da correlação, também foram construídos os campos médios das variáveis em estudo. O número de casos representados nos campos médios é igual ao valor próprio (autovalor) do fator rotacionado.

6.1 Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM)

Na Análise Fatorial realizada para a PNMM, o resultado pelo teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) foi de 0,96, indicando que a covariância da matriz é bastante acentuada e que a análise das Componentes Principais é apropriada.

Na análise das Componentes Principais aplicada à PNMM foram considerados os seis primeiros fatores rotacionados para o dia do evento (Fx00), um dia antes do evento (Fx-1) e dois dias antes do evento (Fx-2), somando um total de dezoito fatores, os quais contêm grande parte das informações importantes sobre os dados originais.

A Tabela 6.1 mostra as porcentagens da variância explicada por cada um dos fatores, rotacionados e não rotacionados, bem as respectivas porcentagens da variância explicada acumulada.

TABELA 6.1 Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da pressão ao nível médio do mar (PNMM).

Fator	Não Rotacionado			Rotacionado (VARIMAX)		
	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
F100	101,7	44,6	44,6	39,2	17,2	17,2
F200	23,9	10,5	55,1	36,9	16,2	33,4
F300	15,6	6,8	61,9	33,8	14,8	48,2
F400	13,9	6,1	68,0	27,8	12,2	60,4
F500	12,0	5,3	73,3	27,8	12,2	72,6
F600	8,0	3,5	76,8	9,6	4,2	76,8
F1-1	100,9	44,3	44,3	41,2	18,1	18,1
F2-1	23,4	10,3	54,5	40,7	17,9	35,9
F3-1	18,9	8,3	62,8	32,0	14,0	49,9
F4-1	15,0	6,6	69,4	31,2	13,7	63,6
F5-1	11,4	5,0	74,4	21,8	9,5	73,2
F6-1	7,5	3,3	77,6	10,2	4,5	77,6
F1-2	98,4	43,1	43,1	49,4	21,7	21,7
F2-2	22,8	10,0	53,1	37,8	16,6	38,2
F3-2	19,4	8,5	61,6	27,5	12,0	50,3
F4-2	16,5	7,2	68,9	26,7	11,7	62,0
F5-2	11,1	4,9	73,8	25,9	11,4	73,3
F6-2	8,4	3,7	77,4	9,4	4,1	77,4

Na Tabela 6.1 observa-se que os seis primeiros fatores explicam aproximadamente 77% da variância total. Observa-se também que, após a rotação, a maior distribuição das variáveis em relação aos fatores ocorre no primeiro fator comum temporal que explica o máximo da variância dos dados: 44,6% para 17,2% (F100), 44,3% para 18,1% (F1-1) e 43,1% para 21,7% (F1-2). O sexto fator tem o menor valor de variância explicada, tendo em vista que a variância explicada obedece a uma ordem decrescente de valores. É importante ressaltar que cada fator contém o máximo da variância explicada que não foi explicada no fator anterior.

A análise de agrupamento foi utilizada para identificar, dentre os dezoito fatores comuns temporais rotacionados mais significativos da PNMM, os grupos formados com configurações semelhantes. O número de grupos foi determinado através da curva de inércia (Fig. 6.1a) e do dendrograma (Fig. 6.1b).

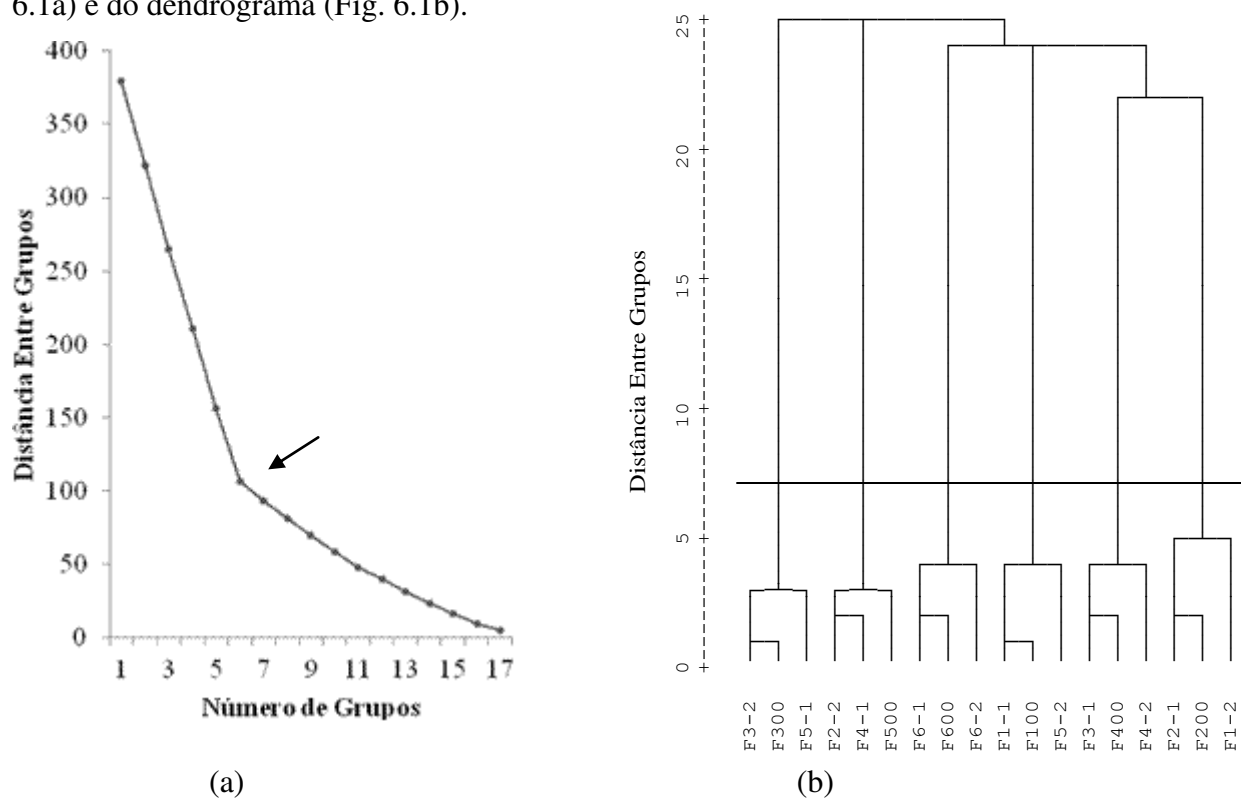


Figura 6.1- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da pressão ao nível médio do mar (PNMM) do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o método de Ward e a distância euclidiana.

O dendrograma dividiu os dezoito fatores em seis (6) Tipos de Padrão (grupos): Padrão Tipo 1, Padrão Tipo 2, Padrão Tipo 3, Padrão Tipo 4, Padrão Tipo 5 e Padrão Tipo 6. A relação dos fatores pertencentes a cada Tipo de Padrão é apresentada no Quadro 6.1.

QUADRO 6.1. Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da pressão ao nível médio do mar (PNMM)

PADRÃO	dia00	dia-1	dia-2
TIPO 1	F100	F1-1	F5-2
TIPO 2	F200	F2-1	F1-2
TIPO 3	F300	F5-1	F3-2
TIPO 4	F400	F3-1	F4-2
TIPO 5	F500	F4-1	F2-2
TIPO 6	F600	F6-1	F6-2

A escolha do nome de cada grupo foi feita de acordo com o fator associado ao dia em que ocorreu o evento extremo de chuva (dia00), a exemplo do Padrão Tipo 1 que recebe esse nome porque está relacionado com o primeiro fator do dia00 (F100), Padrão Tipo 4 que está relacionado com o quarto fator do dia00 (F400), etc.

Na distribuição espacial desses fatores observa-se que, em geral, os núcleos com contribuições positivas estão relacionados com áreas de alta pressão e os negativos com áreas de baixa pressão. A seguir são discutidas as características dos cinco primeiros Padrões, pois embora tenham sido selecionados seis (6) tipos, o Padrão Tipo 6 foi excluído devido à dificuldade na interpretação da configuração espacial dos fatores. A discussão é feita juntamente com as correlações temporais e os campos médios da PNMM.

Padrão Tipo 1

O Padrão Tipo 1 é formado pelos fatores F100, F1-1 e F5-2, que explicam 17,2%, 18,1% e 11,4%, respectivamente, da variância (Tabela 6.1). A Figura 6.2 mostra as correlações temporais entre cada fator e a PNMM. A série temporal destes fatores (Fig. 6.2) apresenta no eixo das abscissas o número de ordem de ocorrência do evento extremo de precipitação correspondente ao total acumulado visto na Tabela 5.2, enquanto que no eixo das ordenadas estão

os coeficientes de correlação entre o fator e a PNMM. Os casos (dias) com valores de correlação $\geq 0,5$ ocorrem nos meses de novembro a maio. No caso do F5-2, grande parte desses casos está no trimestre de novembro a janeiro. Considerando as correlações $\geq 0,5$ para os três fatores, observa-se que os casos encontrados de novembro a janeiro do F5-2 também são vistos no F1-1 e no F00, o que explica a presença do F5-2 nesse grupo, apesar da diferença no valor da sua variância explicada em relação a F100 e F1-1.

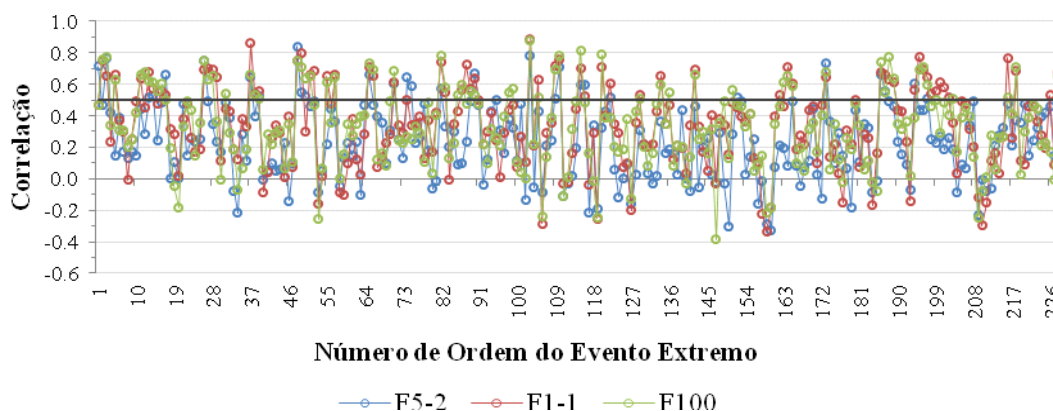


Figura 6.2- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o quinto fator de dois antes do evento (F5-2), o primeiro fator de um dia antes do evento (F1-1) e o primeiro fator do dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

Na distribuição espacial do F100, F1-1 e F5-2 (Fig. 6.3) uma área negativa, que representa baixa pressão, domina quase toda a América do Sul (AS) e a faixa equatorial do Atlântico, estendendo-se na área oceânica a leste do Brasil até 30°S; no F5-2 a área negativa se estende até 40°S e 25°W. Áreas positivas (alta pressão) são vistas no Golfo do México e norte da África; no F5-2 a área positiva abrange toda a faixa latitudinal entre 30°N e 15°N. Os campos médios da PNMM relacionados com esses fatores (Fig. 6.3) apresentam configurações semelhantes aos mesmos, evidenciando a presença do cavado equatorial (e da ZCIT), delimitado pela isóbara de 1012 hpa. Outra área de baixa pressão (cavado), cuja configuração é indicativa da presença da ZCAS, se estende na direção noroeste-sudeste sobre o norte e o centro do Brasil e Atlântico subtropical. A sequência dos mapas médios mostra ainda a desintensificação da alta subtropical do Pacífico Sul (ASPS) no extremo sul do mapa devido ao avanço de uma baixa frontal.

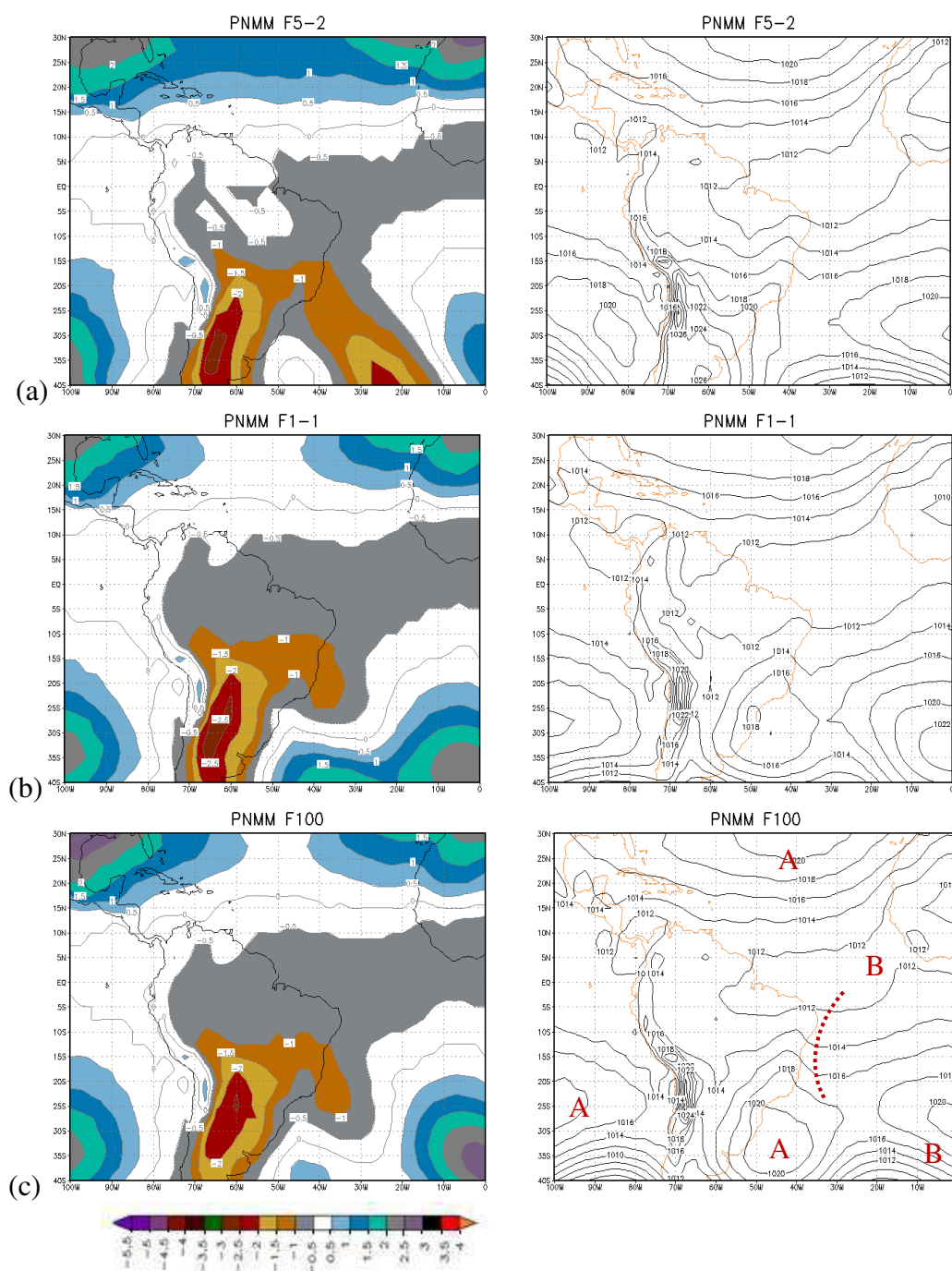


Figura 6.3- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do evento (F5-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F100). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F100 em (c).

Os mapas médios mostram também a alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS) centrada no leste do Atlântico subtropical e o domínio da alta subtropical do Atlântico Norte (ASAN) ao norte de 15°N.

Outra configuração que merece destaque é o cavado invertido no leste do Nordeste e área oceânica próxima, possivelmente resultante da queda de pressão provocada pelo avanço em direção ao equador do sistema frontal centrado no extremo sul da área de estudo, sobre o Atlântico. Tendo em vista a localização desse cavado, sua configuração indica convergência e ascensão do ar na área costeira leste do Nordeste, condições dinâmicas favoráveis à ocorrência de chuva intensa na cidade de Salvador.

Padrão Tipo 2

O Padrão Tipo 2 é formado pelos fatores F200, F2-1 e F1-2 (Quadro 6.1), que explicam 16,2%, 17,9% e 21,7%, respectivamente, da variância total dos dados (Tabela 6.1). Nas correlações temporais entre os dados da PNMM e os fatores F200, F2-1 e F1-2 (Fig. 6.4), os valores maiores ou iguais a 0,5 são mais frequentes nos meses de abril a agosto, com alguns casos também em setembro, outubro e novembro. Esse Padrão também mostra as configurações relacionadas a ASAN, o cavado equatorial (e a ZCIT), a ASPS e a ASAS (Fig. 6.5).

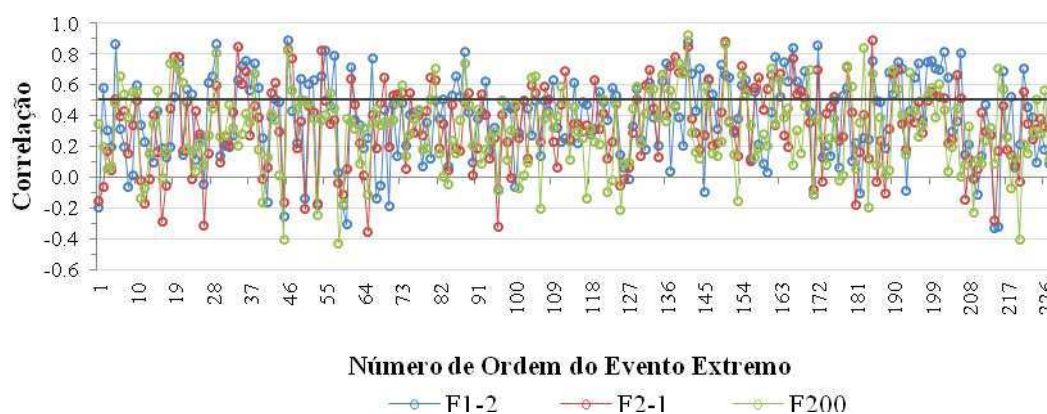


Figura 6.4- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o primeiro fator de dois antes do evento (F1-2), o segundo fator de um dia antes do evento (F2-1) e o segundo fator do dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

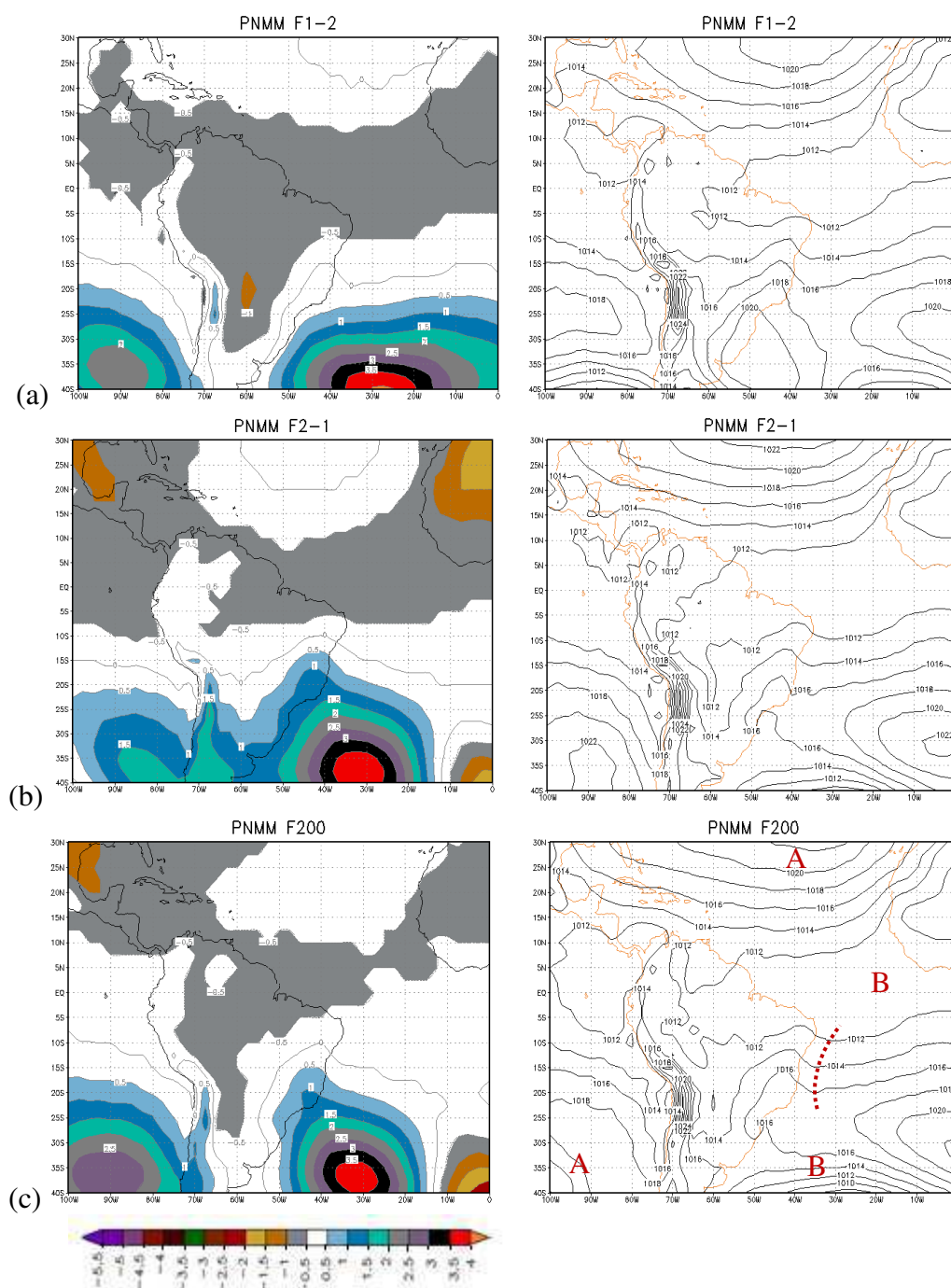


Figura. 6.5- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F200). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F200 em (c).

Nas distribuições espaciais do Padrão Tipo 2 (Fig. 6.5) observa-se uma área negativa representando um cinturão de baixa pressão que domina a faixa latitudinal entre 15°N e 10°S, o que sugere a presença da ZCIT. Vale ressaltar que essa área negativa se estende sobre a África, o Golfo do México, a América Central, o Caribe e grande parte da metade norte da América do Sul (AS): da Amazônia e Região Nordeste (exceto o centro-sul e o sul da Bahia) até a Região Centro-oeste. Em destaque duas áreas de mesmo sinal (positivo), uma no Pacífico (ASPS) e outra no Atlântico.

A existência da alta pressão no extremo leste da Região Sudeste e de baixa pressão na maior parte da AS pode ser visualizada nos campos médios da PNMM, como também o domínio da alta subtropical do Atlântico Norte (ASAN) na área oceânica do HN. Esses campos evidenciam ainda a presença de um cavado invertido (visto também no Padrão Tipo 1) no leste do Nordeste e área oceânica próxima, que pode estar relacionado com a frente fria da baixa frontal no extremo sul do Atlântico, um tipo de interação trópicos-extratrópicos discutido por Kousky (1979).

Padrão Tipo 3

O Padrão Tipo 3 é formado por três fatores comuns temporais rotacionados, F300, F5-1 e F3-2 (Quadro 6.1), que explicam 14,8%, 9,5% e 12% da variância total dos dados (Tabela 6.1). As séries temporais desses fatores (Fig. 6.6) apresentam correlações positivas ($\geq 0,5$) nos meses de abril a agosto, com maior frequência de casos, comuns aos três fatores, no mês de maio.

As distribuições espaciais desse padrão (Fig.6.7) mostram um núcleo positivo sobre o Atlântico Norte subtropical e sobre a área subtropical do Atlântico Sul, que se estende até as Regiões Sul e Sudeste do Brasil e o sudeste da Bahia, ressaltando o domínio de alta pressão na área subtropical do Atlântico e no centro-leste da América do sul, incluindo regiões do Brasil. Nesse padrão também é vista uma área negativa que domina o Pacífico Sul e parte do sudoeste da América do Sul. Em particular, no F300 (Fig. 6.7c) áreas negativas também são vistas sobre o Pacífico, entre as latitudes de 15°N e 10°S, e numa faixa latitudinal da África até o litoral norte do Nordeste.

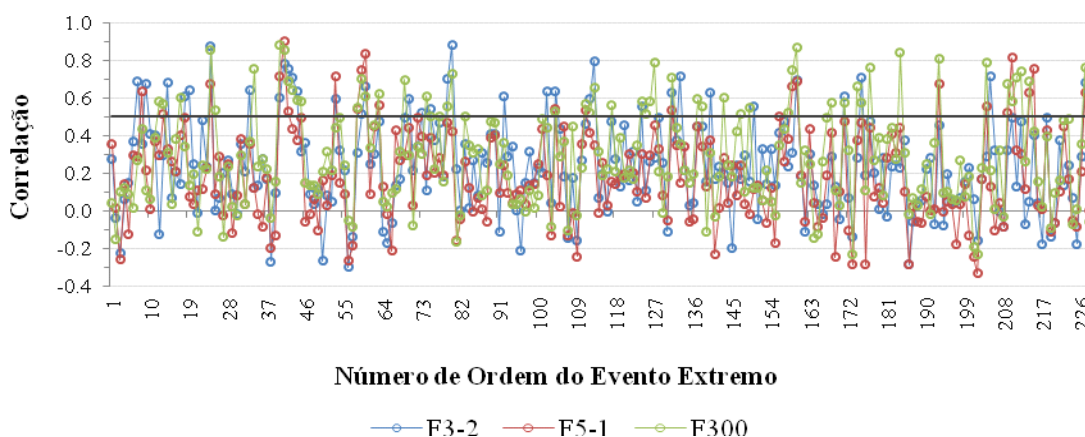


Figura 6.6- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o terceiro fator de dois dias antes do evento (F3-2), o quinto fator de um dia antes do evento (F5-1) e o terceiro fator do dia do evento (F300). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

Comparando a configuração dos campos médios da PNMM com a dos três fatores correspondentes (Fig. 6.7), tendo como critério a semelhança entre elas, observa-se uma correspondência evidente na área da América do Sul e do Atlântico. Nela merece destaque uma configuração vista também nos dois padrões já discutidos: o cavado invertido que se estende sobre todo o leste do Nordeste e área oceânica adjacente. Os campos sugerem que o cavado teve origem em latitudes tropicais, na área dos ventos alísios. Vale assinalar que faz parte deste padrão, com 0,7 de correlação, o evento de 12 de junho de 2006 diagnosticado por Santos (2008).

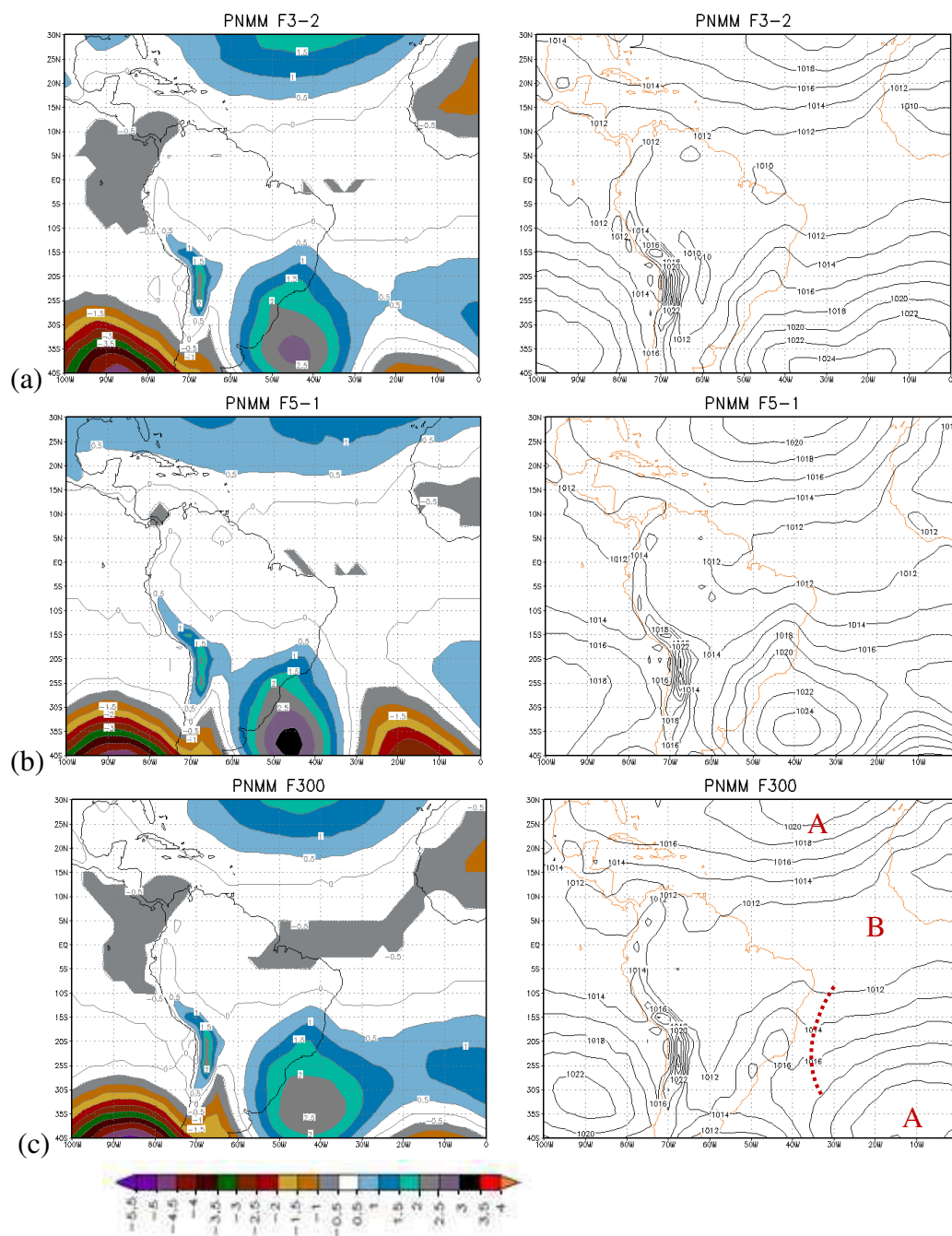
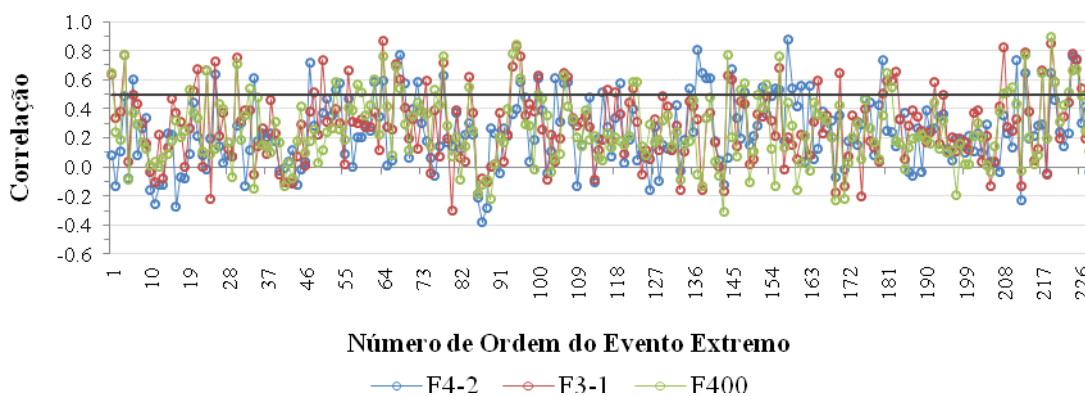


Figura 6.7- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F5-1) e (c) no dia do evento (F300). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F300 em (c).

Padrão Tipo 4

Os três fatores comuns temporais rotacionados F400, F3-1 e F4-2 formam o Padrão Tipo 4 (Quadro 6.1), que explicam 12,2%, 14,0% e 11,7% da variância, respectivamente (Tabela 6.1). Nas séries temporais ilustradas na Figura 6.8 as correlações positivas ($> 0,5$) ocorrem nos meses de abril a junho.



Figura

6.8- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 4 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o quarto fator de dois antes do evento (F4-2), o terceiro fator de um dia antes do evento (F3-1) e o quarto fator do dia do evento (F400). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

A configuração espacial (Fig. 6.9) na faixa latitudinal de 15°S a 40°S mostra uma área positiva que abrange o Pacífico leste e a parte sul da América do Sul, e que se prolonga sobre a área oceânica a leste do Brasil, Uruguai e Argentina. No Atlântico central observa-se o oposto, ou seja, um núcleo negativo. Essa configuração mostra características de ondas baroclínicas em latitudes subtropicais do hemisfério sul. Na África e no Atlântico equatorial observam-se valores negativos, enquanto que uma área positiva é vista sobre o Atlântico Norte subtropical.

A sequência dos campos médios sugere a intensificação do cavado equatorial (delimitado pela isóbara de 1010 hpa no dia 0). No hemisfério sul merece destaque a área de baixa pressão/cavado em latitudes médias e subtropicais do Atlântico Sul e o cavado invertido situado no leste do Nordeste e Sudeste e na área oceânica próxima, que se amplifica no decorrer

do período, provavelmente em resposta a interação entre sistemas atmosféricos ocorridos na área equatorial e em latitudes médias do hemisfério sul.

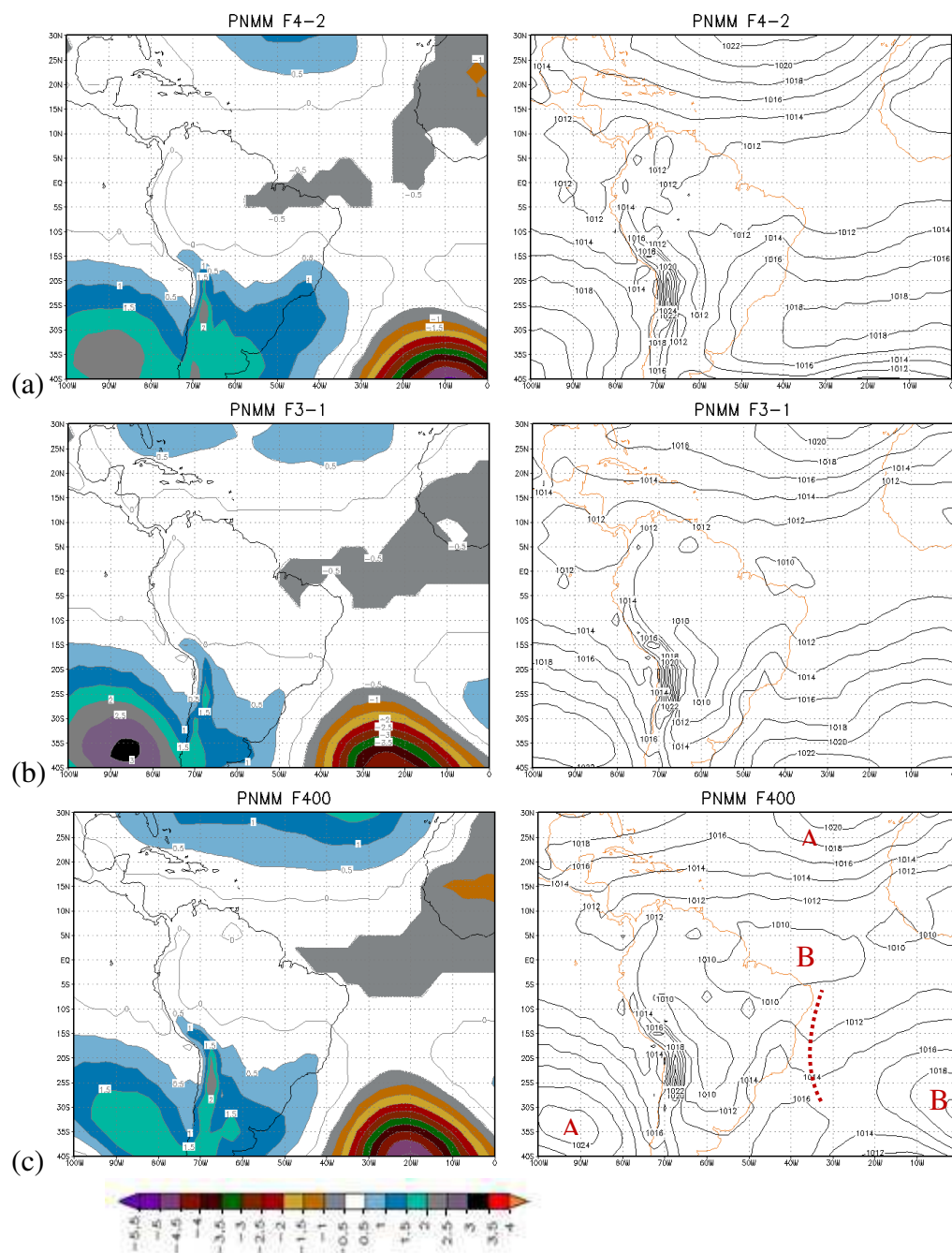


Figura 6.9- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 4 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do evento (F4-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F400). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em

hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F400 em (c).

Padrão Tipo 5

O Padrão Tipo 5 compreende o fator comum temporal rotacionado F500, F4-1 e F2-2, como mostra o Quadro 6.1. Esses fatores, cujas séries temporais são ilustradas na Figura 6.10, explicam 12,2%, 13,7% e 16,6% da variância total dos dados, respectivamente, (Tabela 6.1). As correlações são mais elevadas ($> 0,5$) nos meses de abril a junho.

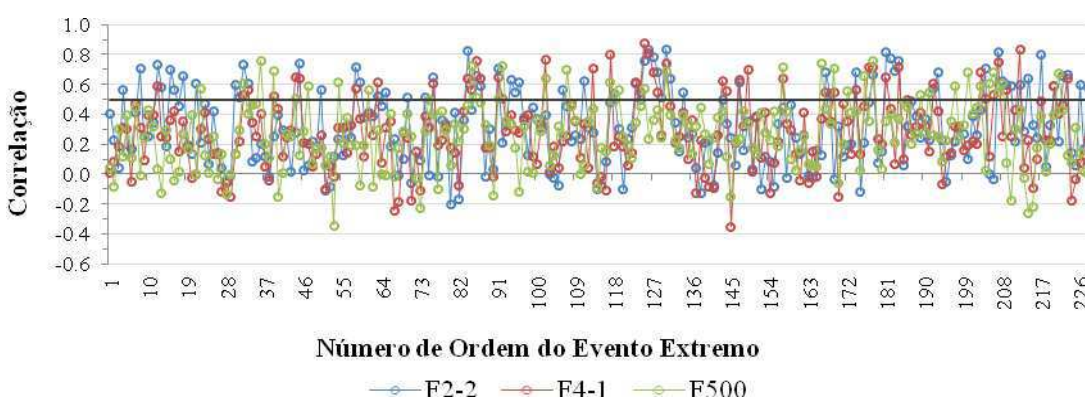


Figura 6.10- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 5 da pressão ao nível médio do mar (PNMM) para o segundo fator de dois antes do evento (F2-2), o quarto fator de um dia antes do evento (F4-1) e o quinto fator do dia do evento (F500). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

O destaque do Padrão Tipo 5 (Fig. 6.11) é a sequência alternada de núcleos negativos e positivos que ocupa toda a faixa latitudinal entre 15°S e 40°S, numa estrutura característica de ondas. No hemisfério norte um núcleo positivo (negativo) ocupa o Atlântico Norte subtropical (África). Os campos médios que correspondem a esses fatores sugerem uma situação sinótica na qual a área da Bahia (Salvador) é diretamente influenciada por uma frente fria. Sua presença é indicada pela área de cavado que se estende no Atlântico Sul, centrada em torno de 35°W. No dia 0, a amplitude do cavado é maior e o gradiente horizontal de pressão é mais intenso na área da Bahia. As configurações deste padrão parecem representar as passagens frontais analisadas por Kousky (1979). Dentre os eventos classificados neste padrão está o dia 21 de abril de 2006 analisado por Santos (2008). Este evento tem 0,6 de correlação.

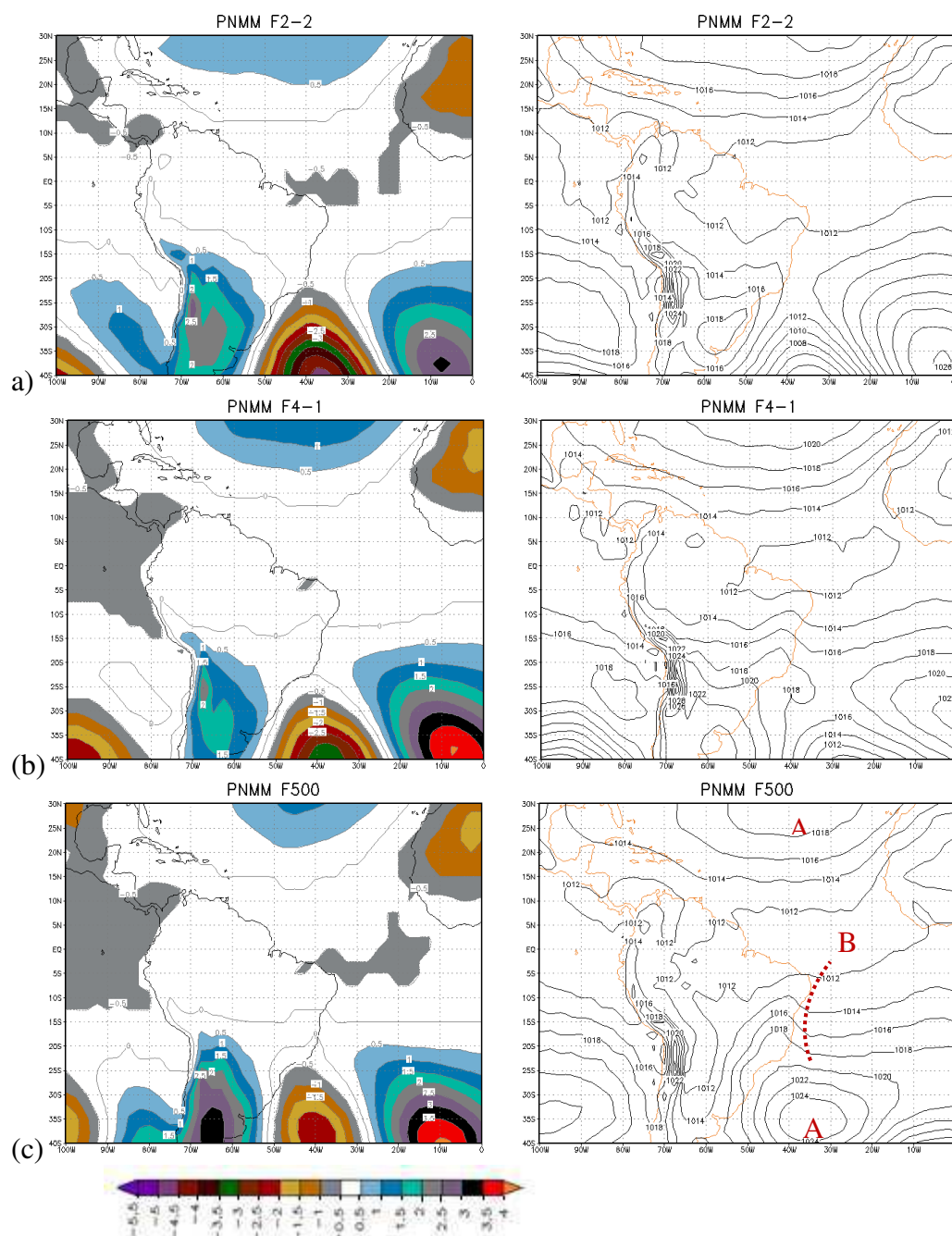


Figura 6.11- Distribuição espacial dos fatores (coluna da esquerda) e da média dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 5 da pressão ao nível médio do mar (PNMM): (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F4-1) e (c) no dia do evento (F500). A escala de cores é vista abaixo dos mapas correspondentes. O valor das isóbaras é dado em

hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B) e o eixo de um cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão no campo médio do F500 em (c).

De forma geral, as principais características dos Padrões atmosféricos (Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3, Tipo 4 e Tipo 5), associados à PNMM e relacionados com os eventos extremos de precipitação de Salvador, mostram configuração indicativa da presença da ZCAS, ZCIT, ondas baroclínicas e cavado equatorial, esse último presente em todos os padrões. Porém, a configuração que merece destaque é a de um cavado invertido sobre o leste do Nordeste e área oceânica próxima, possivelmente resultante do avanço/interação de sistemas atmosféricos da área tropical/extratropical. A presença desse cavado indica que há convergência de massa nessa área, o que induz movimento vertical ascendente, sugerindo assim, que a configuração do cavado invertido em baixos níveis é uma condição necessária para a ocorrência de eventos extremos de chuva de Salvador.

6.2 Componente Zonal do Vento (CZV) em 200 hpa

Na Análise Fatorial realizada para a componente zonal do vento (CZV), o teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) resultou no valor de 0,91, índice considerado ótimo, validando a aplicação da ACP. Para a definição do número de fatores foi considerado a relação entre os valores próprios (autovalores) e o número de fatores representado no gráfico do *Scree Plot*. Assim, foram retidos os três primeiros fatores rotacionados para o dia do evento (Fx00), um dia antes do evento (Fx-1) e dois dias antes do evento (Fx-2), somando um total de nove (9) fatores, os quais responderam conjuntamente pela maior porcentagem da variância total.

Na Tabela 6.2 observa-se que a ACP *não rotacionada* aplicada a CZV apresenta os três primeiros fatores comuns temporais que explicam em quase 65% da variância acumulada, sendo que os fatores 1, 2 e 3 tem pesos aproximados de 47%, 13% e 4%, respectivamente. Após a *rotação dos eixos das componentes principais*, observa-se uma melhor distribuição destas variâncias, resultando em aproximadamente 31% (F1), 19% (F2) e 14% (F3), enquanto que a variância total acumulada permanece inalterada.

Na Análise de Agrupamento (AA), através do *método de Ward e distância euclidiana*, os nove (9) fatores retidos na ACP puderam ser divididos em grupos de estreita

relação. Os resultados obtidos são mostrados através do corte no dendrograma (Fig. 6.12b) que foi efetuado com base na curva de inércia (Fig. 6.12a).

TABELA 6.2. Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa.

Fator	Não Rotacionado			Rotacionado (VARIMAX)		
	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
F100	107,7	47,3	47,3	71,6	31,4	31,4
F200	30,2	13,4	60,7	44,4	19,5	50,9
F300	9,4	4,1	64,8	31,7	13,9	64,8
F1-1	107,5	47,2	47,2	70,9	31,1	31,1
F2-1	30,7	13,4	60,6	43,4	19,0	50,1
F3-1	8,8	3,9	64,5	32,7	14,3	64,4
F1-2	107,9	47,3	47,3	71,6	31,4	31,4
F2-2	31,3	13,7	61,1	43,1	19,0	50,4
F3-2	8,7	3,8	64,9	33,1	14,5	64,9

A identificação dos grupos permitiu diagnosticar três Tipos de Padrões que foram nomeados da seguinte forma: Padrão Tipo 1, Padrão Tipo 2 e Padrão Tipo 3. A relação dos fatores pertencentes a cada Tipo de Padrão (grupo) é apresentada no Quadro 6.2. Observando a distribuição dos fatores nos grupos (Quadro 6.2), nota-se que cada Tipo de Padrão corresponde ao mesmo fator para o dia00, dia-1 e dia-2.

A seguir são discutidas as características dos três (3) Padrões relacionados à CZV, juntamente com as correlações temporais, que se referem aos valores obtidos através da correlação entre os fatores e a CZV, e o campo médio do vento dos casos (dias) que apresentam maior correlação com cada fator do grupo. Os eixos do gráfico que ilustra as correlações

temporais já foram discutidos na seção 6.1. Na distribuição espacial de cada padrão da CZV observa-se que as áreas negativas correspondem a componente de leste e as áreas positivas a componente de oeste.

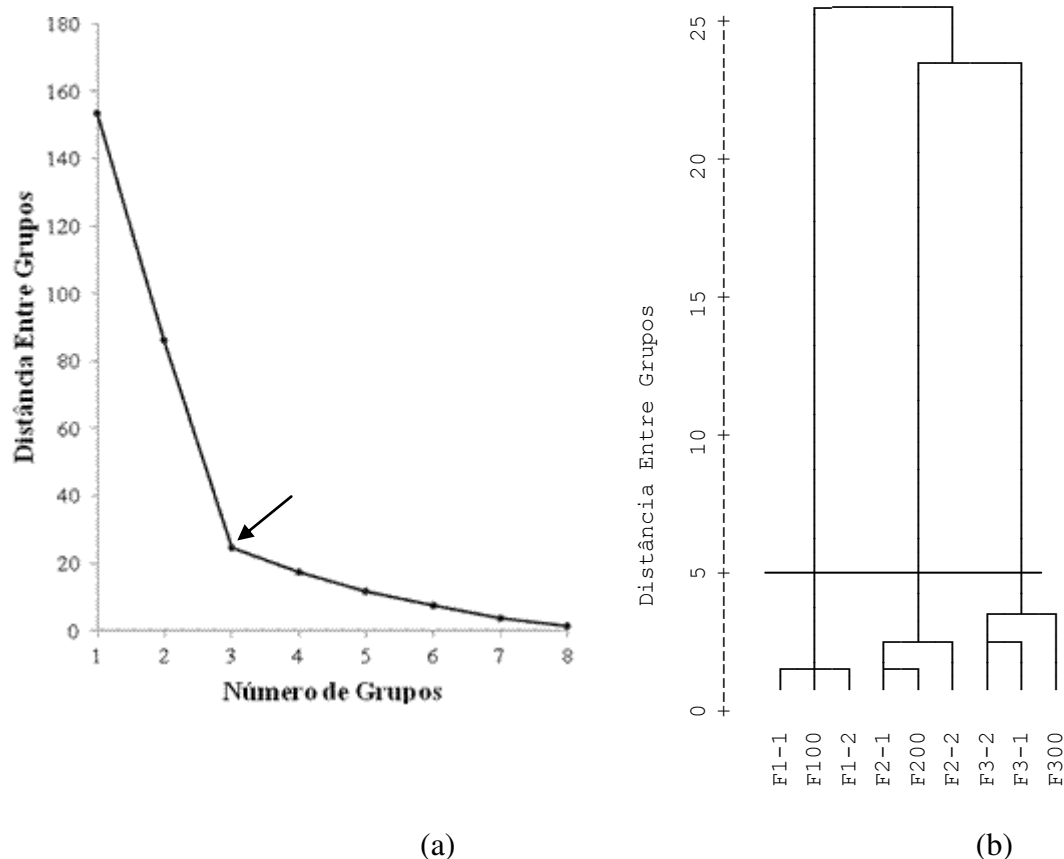


Figura 6.12- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o *método de Ward* e a *distância euclidiana*.

QUADRO 6.2. Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa

PADRÃO	dia 00	dia -1	dia -2
TIPO 1	F100	F1-1	F1-2
TIPO 2	F200	F2-1	F2-2
TIPO 3	F300	F3-1	F3-2

Padrão Tipo 1

O Padrão Tipo 1 corresponde ao primeiro fator comum temporal rotacionado do dia00 (F100), do dia-1 (F1-1) e do dia-2 (F1-2). Para cada fator, as correlações da série temporal entre F1 e a CZV (Fig. 6.13) são maiores que 0,5 em 118 casos (52%), e quase todas ocorrem nos meses de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro, sendo que as máximas ($> 0,8$) ocorrem nos meses de junho a agosto.

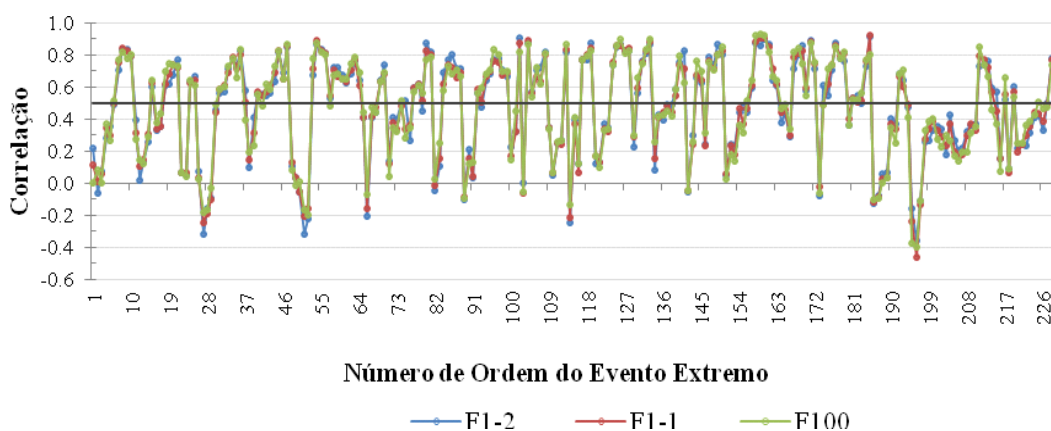


Figura 6.13- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa para o primeiro fator de: dois dias antes do evento (F1-2), um dia antes do evento (F1-1) e no dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

Na distribuição espacial dos fatores deste padrão (Fig. 6.14) observa-se uma área positiva que domina a faixa latitudinal entre 15°S e 40°S. O máximo dessa área, situado em torno de 25° S na faixa longitudinal entre 85°W e 30°W no F1-2 (Fig. 6.14a), é o sinal do eixo do jato subtropical (JST). No F1-1 e F100 (Fig. 6.14b, c) o jato enfraquece sobre a área continental, numa evolução temporal indicativa do aprofundamento/penetração de um cavado em latitudes subtropicais da América do Sul. Nos campos médios do vento (Fig. 6.14) que representam esses fatores, a área positiva é representada pela configuração quase zonal dos ventos de oeste, que atingem máxima intensidade ao sul de 20°S.

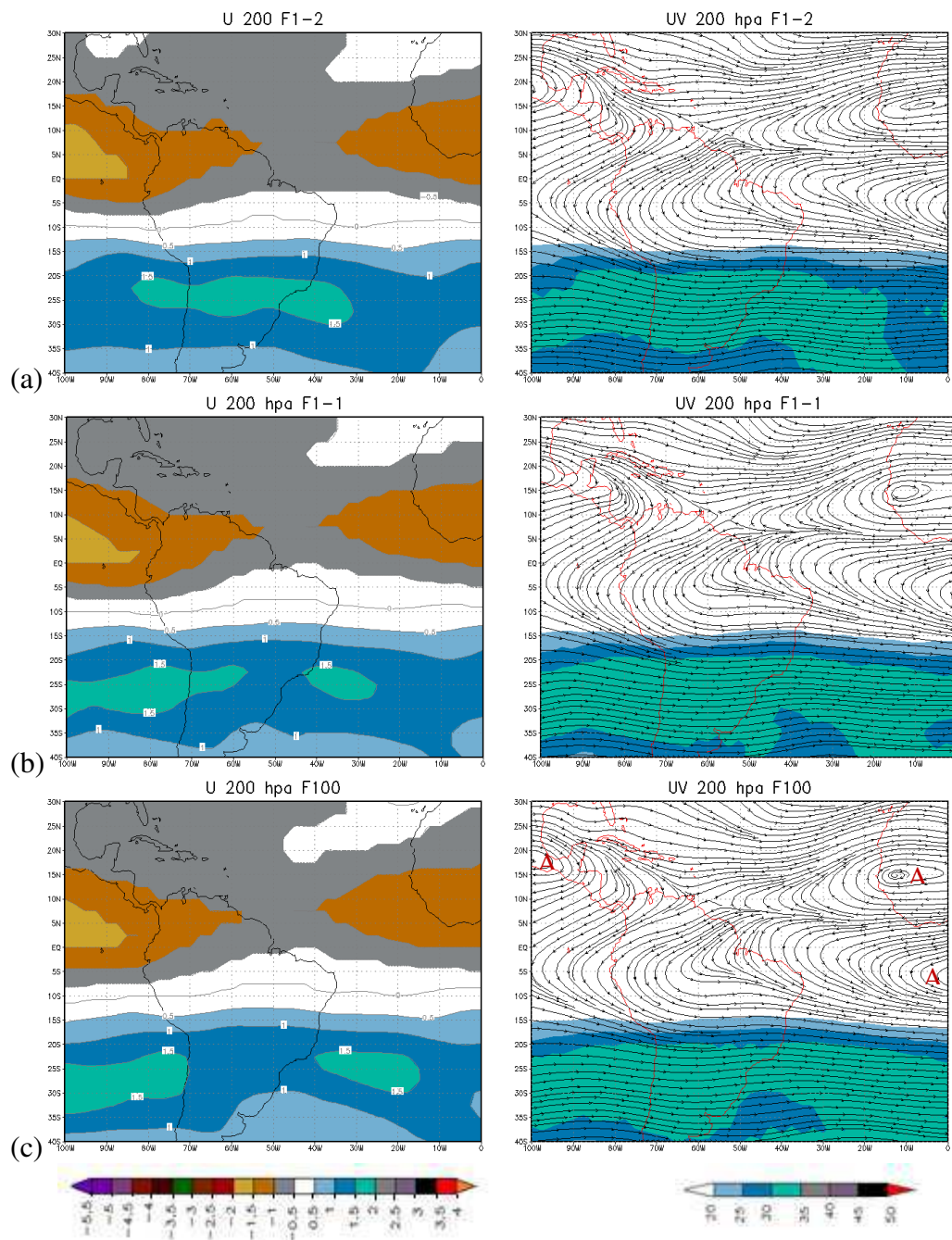


Figura 6.14- Distribuição espacial do primeiro fator comum temporal (F1), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F100). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os anticiclones (A) estão indicados no campo do vento médio do F100 em (c).

Na distribuição espacial dos fatores do *Padrão Tipo 1* também há uma área negativa que abrange quase toda a faixa latitudinal ao norte de 7°S e apresenta dois fortes núcleos entre as latitudes de 15°N e 5°S: um deles se estende do norte da América do Sul ao Oceano Pacífico e outro da África ao Oceano Atlântico. A distribuição desses núcleos está relacionada com três centros anticiclônicos nos campos do vento médio: um centrado em torno de 20°N na costa oeste da América do Norte-América central e os demais na área da África-Atlântico, sendo um centrado em 15°N e o outro em 5°S, aproximadamente. Na área de transição sobre a África-leste do Atlântico os ventos de leste têm máxima intensidade. Na área da África/Atlântico a configuração é típica do período de inverno do hemisfério sul, mas o mesmo não acontece na América do Sul. Ainda nos campos médios do vento (Fig. 6.14), observa-se ao norte do equador e leste de 50°W uma área de difluência dos ventos de leste, indicando uma condição de ZCIT intensa posicionada em 5°N. O evento extremo de 12 de junho de 2006 (Santos, 2008) faz parte deste padrão, com 0,85 de correlação.

Padrão Tipo 2

O *Padrão Tipo 2* é formado pelo segundo fator comum temporal rotacionado F200, F2-1 e F2-2 do dia00, dia-1 e dia-2, respectivamente (Quadro 6.2). As séries temporais desses fatores são ilustradas na Figura 6.15.

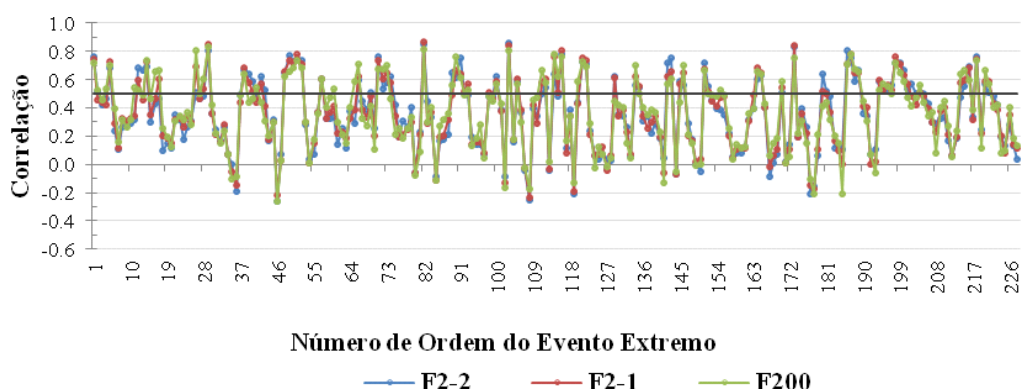


Figura 6.15- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa para o segundo fator de: dois dias antes do evento (F2-2) um dia antes do evento (F2-1) e no dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

A correlação entre esses fatores e a CZV é maior que 0,5 nos meses de novembro a maio. Entretanto, as maiores correlações ($> 0,8$) ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

A distribuição espacial dos fatores do Padrão Tipo 2 (Fig. 6.16) mostra duas áreas positivas no hemisfério norte: uma que abrange o Golfo do México e parte do Atlântico, e outra que se estende do noroeste da África ao Atlântico em direção ao litoral norte do Brasil. Ao sul dessas áreas positivas observa-se uma área negativa também com dois núcleos; um deles se estende na faixa equatorial do Pacífico e América do Sul (AS), centrado em torno de (5°S , 70°W), e outro sobre o Atlântico Sul, próximo a (20°S , 15°W). A distribuição espacial também mostra uma configuração de onda na área positiva do HS. No F2-2 a área positiva abrange o Atlântico (nas latitudes médias) e avança sobre o continente, cruzando a Região Sul do Brasil (Fig. 6.16a). Apesar dessa área positiva também ser vista no F2-1 e F200, ela se apresenta dividida em dois núcleos em consequência da amplificação do cavado de latitudes médias com eixo sobre o Atlântico, ao sul de 20°S , visualizada nos campos do vento médio. Essa evolução está diretamente relacionada com a amplificação do cavado com eixo em latitudes baixas sobre o Atlântico Sul, seguindo o modelo conceitual proposto por Kousky & Gan (1981).

Um aspecto importante da distribuição espacial dos fatores do Padrão Tipo 2 é a relação entre a posição dos núcleos de sinais opostos. Essa relação define uma estrutura de onda, tanto no HN quanto no HS. No oeste da América do Sul, a área de transição entre os núcleos de sinais opostos indica de uma circulação anticiclônica fechada (alta da Bolívia), centrada ao norte de 20°S . Uma circulação ciclônica é sugerida corrente abaixo, sobre o Nordeste-Atlântico Sul. Essa configuração em altos níveis (Alta da Bolívia e cavado sobre o nordeste do Brasil-Atlântico Sul), no verão da América do Sul, favorece a formação de VCAN (Kousky & Gan, 1981).

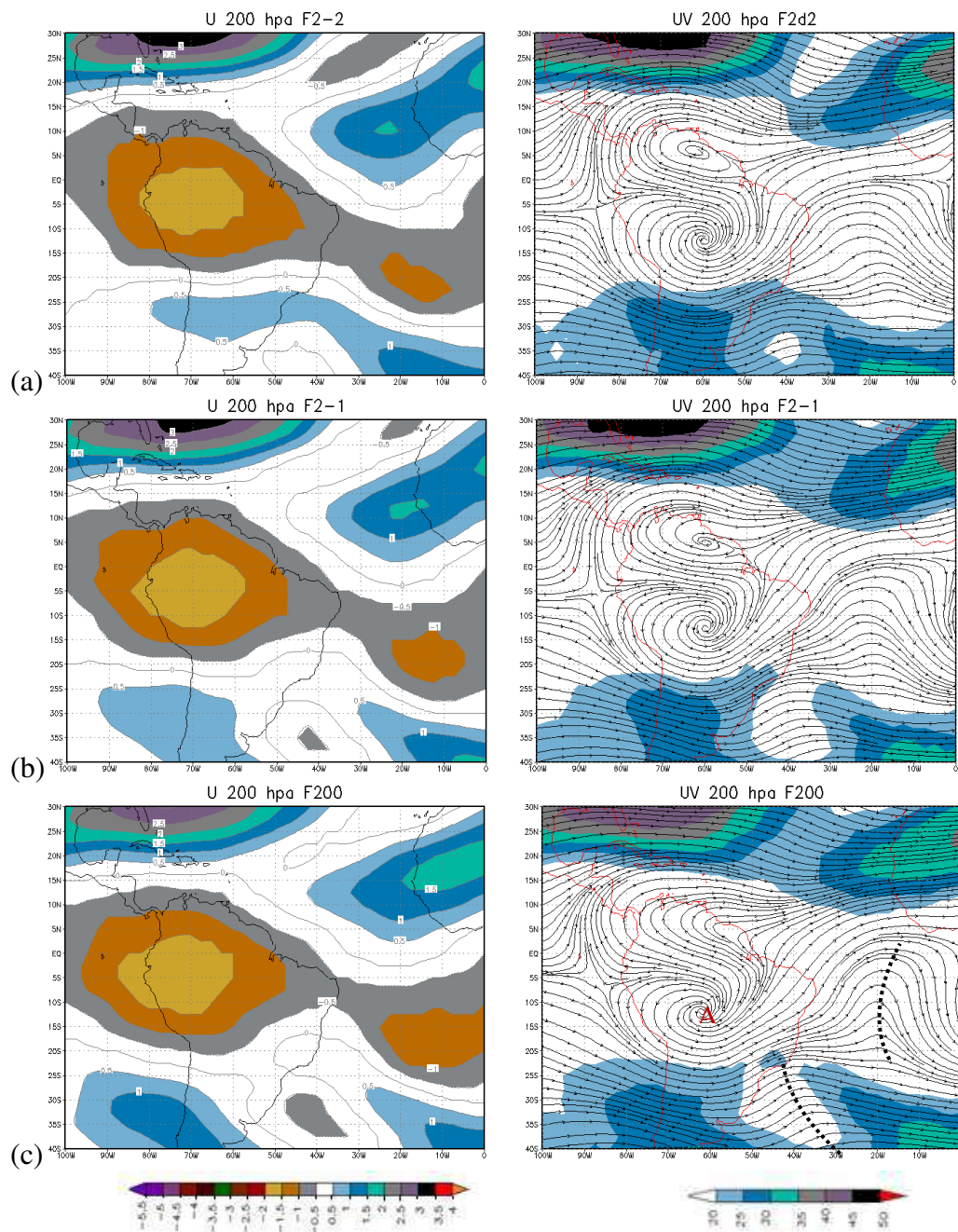


Figura 6.16- Distribuição espacial do segundo fator comum temporal (F2), e das linhas de corrente e velocidade (MS^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F200). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F200 em (c).

Vale destacar que os campos do vento médio (Fig. 6.16) apresentam configuração de onda nos dois hemisférios, sendo evidente o domínio do escoamento de oeste em quase toda a área de estudo, exceto por duas circulações anticiclônicas, uma situada no extremo norte da AS, e outra sobre a Bolívia e parte das Regiões Norte e Centro-Oeste. Sobre o Nordeste, observa-se a influência do setor oeste do cavado de ar superior do Atlântico Sul que amplifica no decorrer do período. A posição relativa dessas duas circulações opostas também foi encontrada no estudo de verões chuvosos no Nordeste do Brasil de Chaves & Cavalcanti (2001).

Padrão Tipo 3

O terceiro fator comum temporal rotacionado, F300, F3-1 e F3-2, forma o Padrão Tipo 3 (Quadro 6.2). A correlação temporal entre os fatores e a CZV são ilustradas na Figura 6.17.

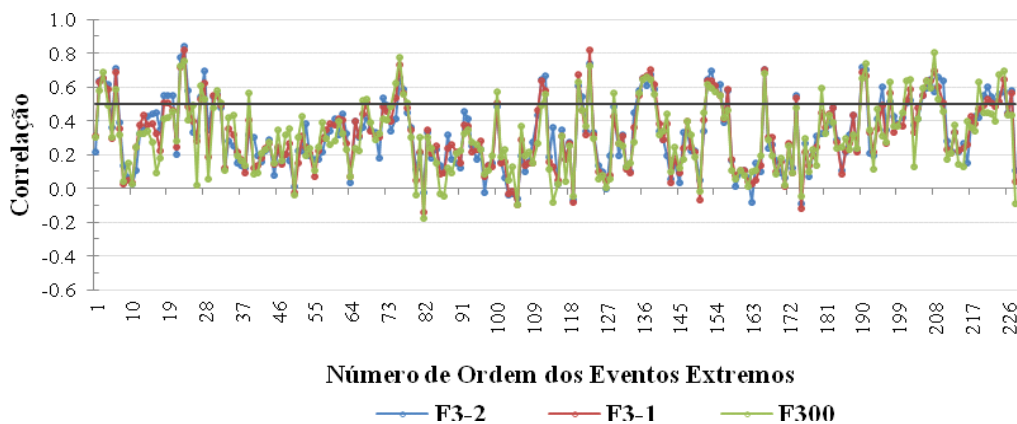


Figura 6.17- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa para o terceiro fator de: dois dias antes do evento (F3-2) um dia antes do evento (F3-1) e no dia do evento (F300). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

As correlações são maiores que 0,5 nos meses de janeiro a maio, sendo a maioria dos casos nos meses de abril e maio. Um aspecto importante desse Padrão é que os eventos extremos que apresentam as maiores correlações são aqueles que ocorrem em dias consecutivos.

No Padrão Tipo 3 (Fig. 6.18) destacam-se duas áreas de sinais opostos. A área de sinal positivo (ventos de oeste) se estende sobre o noroeste da África, Atlântico Norte e mar do Caribe. Esse núcleo assinala a presença do jato subtropical no HN que mostra intensificação no decorrer do período. A área de sinal negativo (ventos de leste) domina a faixa latitudinal entre 10°N e 15°S abrangendo parte da África, Atlântico e grande parte do Brasil (Região Norte, Região Nordeste e Região Centro-oeste), sendo que no F300 esta área se estende sobre parte da Região Sudeste (Fig. 6.18c). O sinal mais intenso desse núcleo, situado sobre o Atlântico, está situado entre duas áreas positivas (ventos de oeste). Esta configuração indica a presença de uma circulação horária centrada ao norte do núcleo negativo e de uma circulação antihorária centrada ao sul, conforme visualizado nos campos do vento médio correspondentes (Fig. 6.18).

As circulações anticiclônicas também são vistas no Padrão Tipo 1, mas se apresentam deslocadas para sul neste padrão, conforme evidenciado pela comparação entre os campos médios. A área de difluência entre os dois anticiclones se estende sobre o Atlântico e a AS, entre o equador e 5°S. Essa difluência indica uma ZCIT intensa, que se localiza ao sul do equador nos meses que apresentam coeficientes máximos com esse Padrão (janeiro a maio). Essa mudança na posição latitudinal da ZCIT altera a distribuição sazonal da precipitação sobre o Atlântico Equatorial (Nobre & Shukla, 1996).

Neste padrão também é evidente a amplificação de um cavado em latitudes baixas sobre o Brasil. A ocorrência de eventos extremos em dias sucessivos é favorecida pela persistência deste padrão que se caracteriza pela interação entre a ZCIT e perturbações ondulatórias no escoamento de oeste austral. O evento extremo de 21 de abril de 2006, associado com o avanço de um sistema frontal na Bahia (Santos, 2008), faz parte deste padrão com correlação 0,6

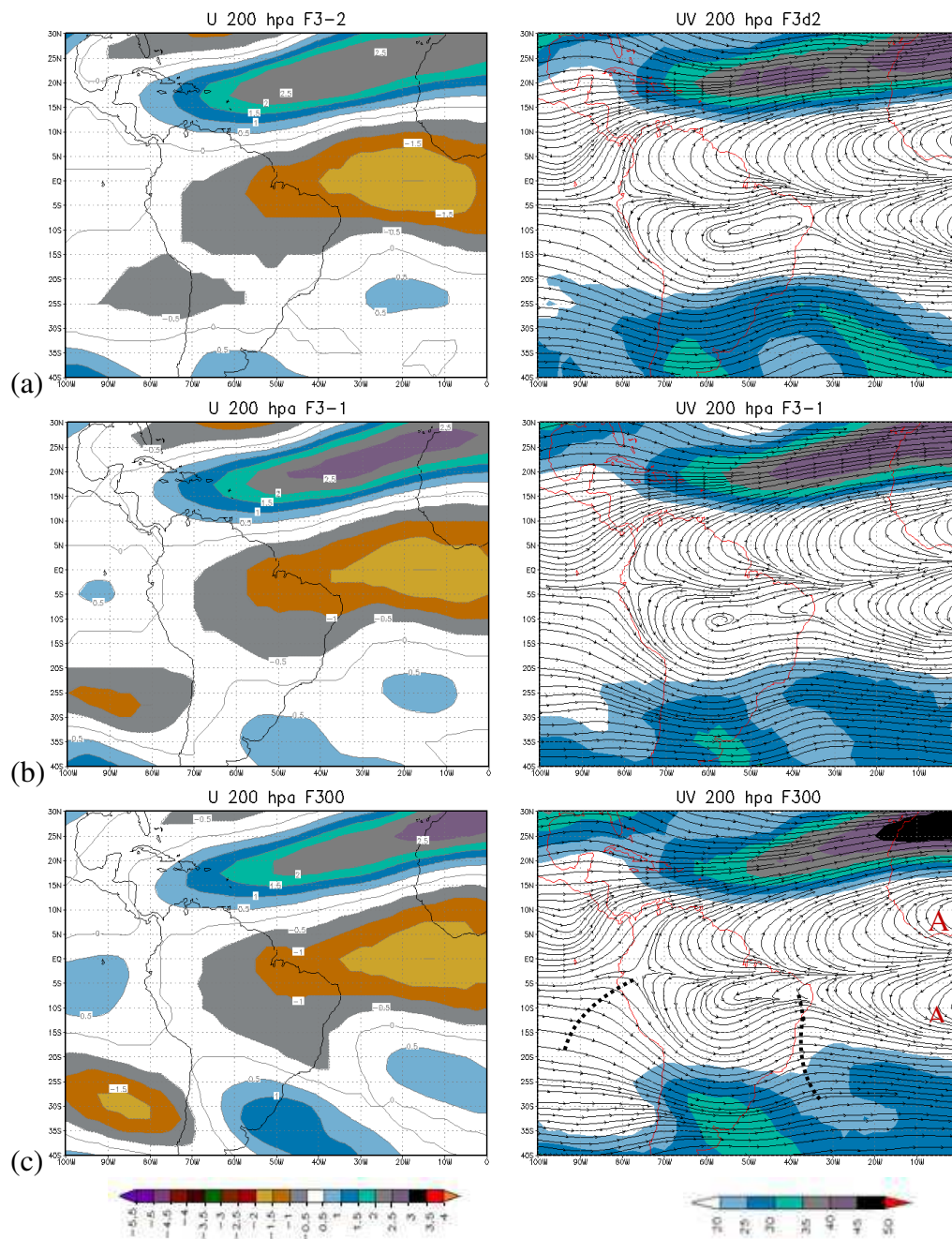


Figura 6.18- Distribuição espacial do terceiro fator comum temporal (F3), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da componente zonal do vento (CZV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F200 em (c).

6.3 Componente Meridional do Vento (CMV) em 200 hpa

Na Análise Fatorial aplicada à componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa, o valor obtido no teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) foi de 0,6, o que nos mostra uma adequação *razoável* desses dados com o método da ACP.

A Tabela 6.3 apresenta os resultados obtidos através da Análise das Componentes Principais para a CMV. Ela contém informações dos autovalores, variância explicada e da variância explicada acumulada para cada componente retida.

TABELA 6.3- Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa

Fator	Não Rotacionado			Rotacionado (VARIMAX)		
	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
F100	29,3	12,5	12,5	24,2	10,3	10,3
F200	21,3	9,0	21,5	20,2	8,6	18,9
F300	15,6	6,7	28,2	15,8	6,7	25,6
F400	13,9	5,9	34,1	14,8	6,3	31,9
F500	12,3	5,2	39,3	14,0	5,9	37,8
F600	11,8	5,0	44,4	13,5	5,8	43,6
F700	10,6	4,5	48,9	12,5	5,3	48,9
F1-1	29,3	12,8	12,8	19,3	8,5	8,5
F2-1	22,8	10,0	22,8	17,8	7,8	16,3
F3-1	13,2	5,8	28,6	17,4	7,6	23,9
F4-1	12,6	5,5	34,1	14,7	6,5	30,3
F5-1	12,2	5,3	39,5	13,8	6,1	36,4
F6-1	9,7	4,3	43,7	13,3	5,8	42,2
F7-1	9,5	4,2	47,9	13,0	5,7	47,9
F1-2	28,6	12,5	12,5	22,4	9,8	9,8
F2-2	23,9	10,5	23,0	20,8	9,1	18,9
F3-2	14,7	6,4	29,4	17,4	7,6	26,6
F4-2	13,3	5,8	35,3	15,3	6,7	33,3
F5-2	11,6	5,1	40,4	12,9	5,7	38,9
F6-2	10,6	4,7	45,1	11,7	5,1	44,1
F7-2	8,8	3,9	48,9	11,0	4,8	48,9

Para a análise da CMV foram retidos os sete (7) primeiros fatores comuns temporais rotacionados. No dia do evento, os sete primeiros fatores representam 48,9% da variância acumulada; o percentual é de 47,9% para um dia antes do evento e de 48,9% para dois dias antes do evento. De acordo com a técnica da ACP, o valor máximo da variância é explicado pelo primeiro fator. Neste caso o máximo da variância explicada é de 10,3% para o F100, de 8,5% para o F1-1 e 9,8% para o F1-2.

Quanto à Análise de Agrupamento, optou-se por analisar apenas os três primeiros fatores comuns rotacionados. Um dos critérios para a exclusão dos demais fatores é o fato de apresentarem grande parte dos casos com correlações menores que 0,3 e distribuição espacial indefinível. Assim, o agrupamento dividiu os fatores em três (3) grupos, que foram obtidos através do dendrograma, com base na curva de inércia (Fig. 6.19a, b). Esses grupos foram denominados Padrão Tipo 1, Padrão Tipo 2 e Padrão Tipo 3, e sua composição é mostrada no Quadro 6.3.

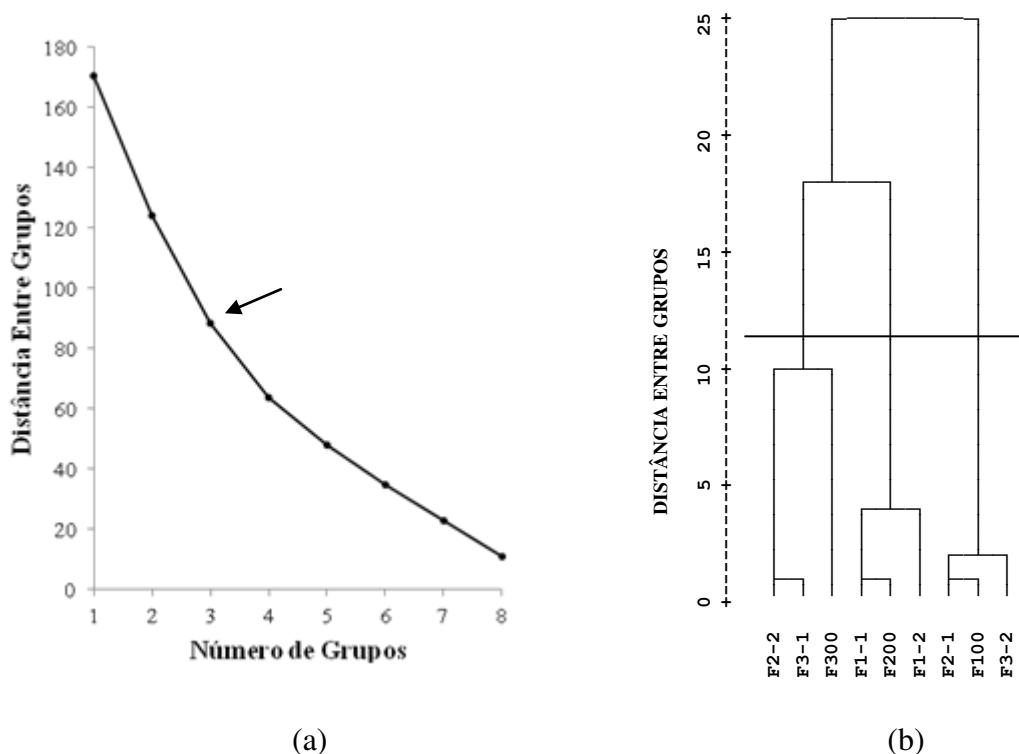


Figura 6.19- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o *método de Ward* e a *distância euclidiana*.

QUADRO 6.3. Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa

PADRÃO	dia 00	dia -1	dia -2
TIPO 1	F100	F2-1	F3-2
TIPO 2	F200	F1-1	F1-2
TIPO 3	F300	F3-1	F2-2

De acordo com a distribuição dos fatores no Quadro 6.3 são discutidas as correlações temporais, que se referem aos valores obtidos através da correlação entre os fatores e a CMV, e as características dos padrões atmosféricos, juntamente com o campo médio do vento dos casos (dias) que apresentam maior correlação com cada fator do grupo. Os eixos do gráfico que ilustra as correlações temporais já foram discutidos na seção 6.1. A distribuição espacial dos fatores de cada padrão é caracterizada por núcleos negativos e positivos, que correspondem componente meridional de norte e sul, respectivamente.

Padrão Tipo 1

O Padrão Tipo 1 corresponde aos fatores F3-2, F2-1 e F100 (Quadro 3). As séries temporais desses fatores são ilustradas na Figura 6.20.

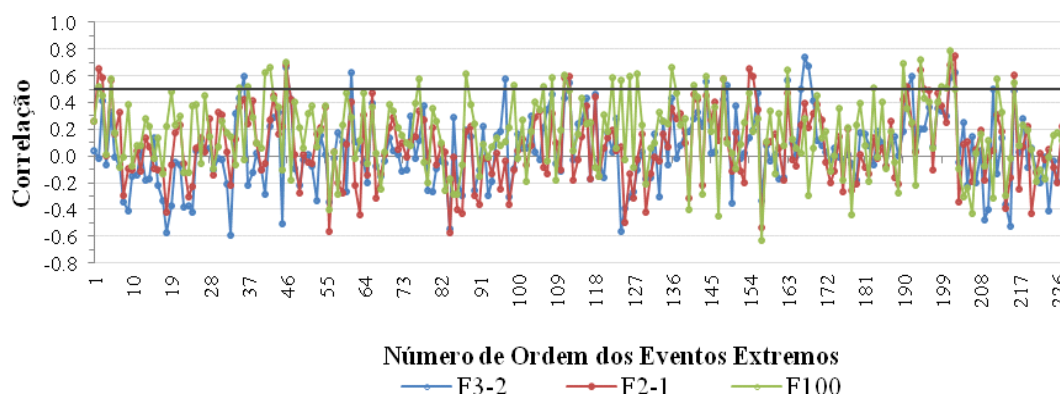


Figura 6.20- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa para o terceiro fator de dois dias antes do evento (F3-2), segundo fator de um dia antes do evento (F2-1) e o primeiro fator do dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

As correlações positivas ($> 0,5$) são mais frequentes nos meses de abril a julho, com correlações mais elevadas ($> 0,7$) no mês de abril, exceto pelo F3-2 que apresenta contribuição máxima no mês de junho.

Na distribuição espacial dos fatores desse padrão (Fig. 6.21) observa-se núcleos positivos e negativos em áreas alternadas (Fig. 6.21), o que configura uma onda. Essa distribuição de núcleos intensos e de sinais opostos é indicativa de ondas de grande amplitude que dominam todo o HS e se propagam em direção ao equador conforme indica a inclinação dos núcleos positivos e negativos. Cavalcanti & Kayano (1999) já haviam mostrado, através de Funções Ortogonais Empíricas (FOEs) de alta frequência da componente meridional do vento em 250 hPa, configurações de trens de ondas com propagação em direção ao equador sobre a América do Sul, que estariam associados a sistemas sinóticos.

Na zona tropical, a área de transição entre os dois núcleos de sinais opostos sobre o Atlântico, sugere a presença de um cavado com eixo centrado sobre o Nordeste. A sequência de campos do vento médio evidencia que o cavado sobre o Nordeste e Atlântico Sul amplifica no decorrer do período devido à penetração/amplificação de um cavado de latitudes médias, ao sul de 20°S .

Na faixa equatorial, circulações anticiclônicas dominam a oeste de 50°W (grande parte da AS) e a leste de 30°W (África e Atlântico). Nessa última a área de transição entre dois núcleos está centrada no equador. Estes anticiclones também são vistos nos campos médios do vento de dois padrões da CZV, nos quais ocupam uma área consideravelmente maior: o Padrão Tipo 1 (Fig. 6.14) e o Padrão Tipo 3 (Fig. 6.18). O Padrão Tipo 1 da CMV indica a importância de processos relacionados com cavados no escoamento de oeste que penetram em latitudes baixas da AS.

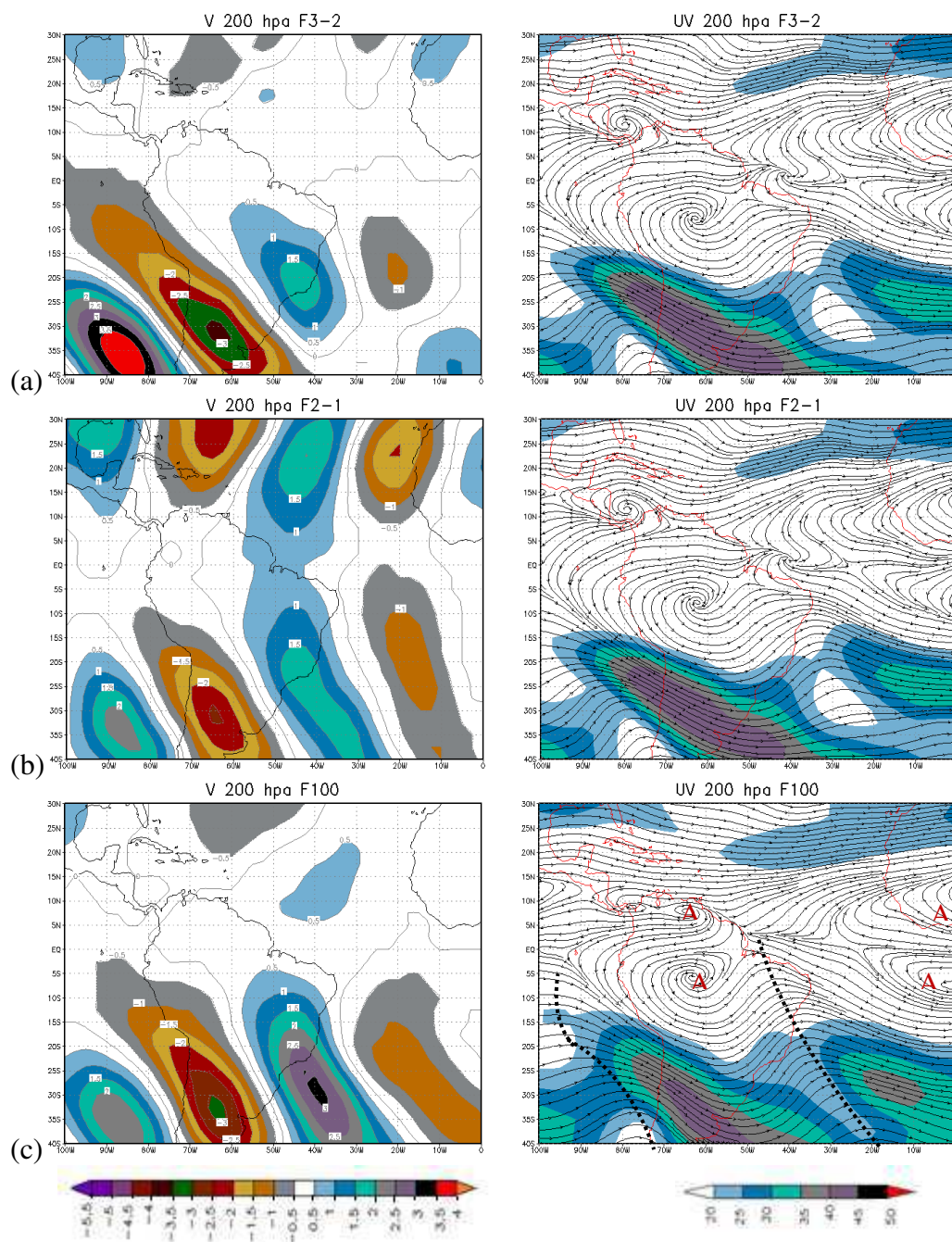


Figura 6.21- Distribuição espacial dos fatores, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F100). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclonicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F100 em (c).

Padrão Tipo 2

Os fatores F1-2, F1-1 e F200 estão associados ao Padrão Tipo 2 (Fig. 6.23). As correlações positivas ($> 0,5$) se apresentam nos meses de fevereiro a novembro, sendo que a maior parte delas ocorre de março a julho (Fig. 6.22). Essas correlações são máximas ($> 0,7$) no mês de julho no F1-2, em março no F1-1 e em novembro no F200.

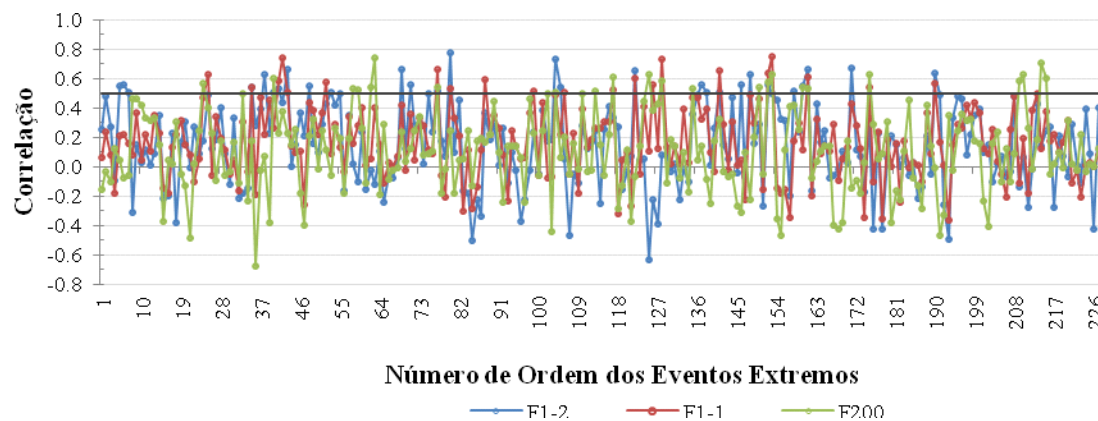


Figura 6.22- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa para o primeiro fator de dois dias antes do evento (F1-2), primeiro fator de um dia antes do evento (F1-1) e o segundo fator do dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

A configuração dos fatores que compõem o Padrão Tipo 2 da CMV também apresenta núcleos positivos e negativos alternados no HS, mas sua orientação indica propagação predominantemente zonal (para leste), e em latitudes médias e subtropicais de uma onda (Fig. 6.23) cuja amplitude aumenta no decorrer do período. Na área equatorial, os campos do vento médio indicam a propagação para oeste das circulações anticiclônicas inicialmente centradas no extremo leste da área de estudo. No F200, na área do Atlântico e Região Nordeste, há forte difluência na área de transição entre os dois anticiclones (Fig. 6.23c), indicando uma condição de divergência de massa na alta troposfera sobre a região.

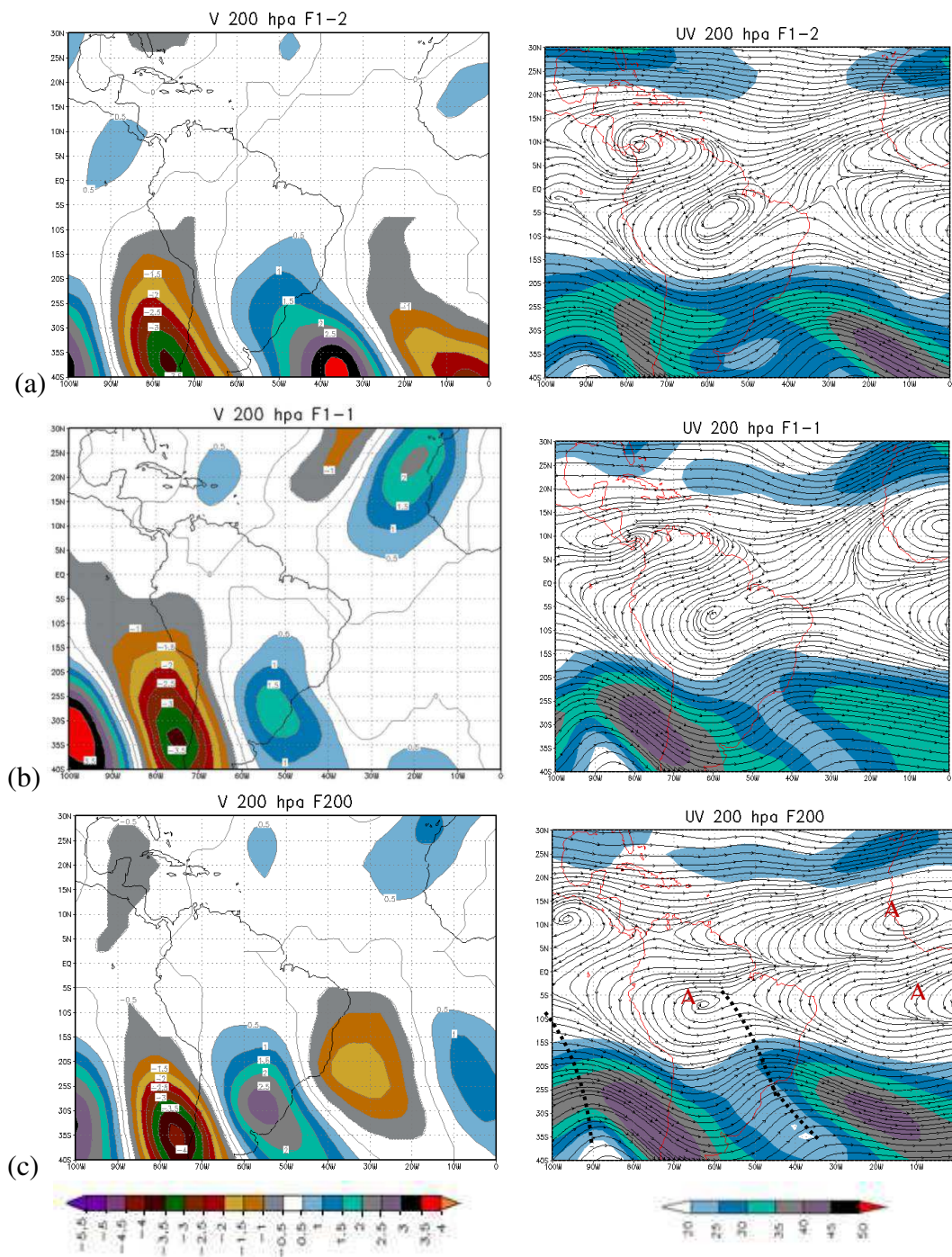


Figura 6.23- Distribuição espacial dos fatores, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dias antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F200). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas

correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F200 em (c).

Padrão Tipo 3

Na Figura 6.25 está representada a distribuição espacial dos fatores que correspondem ao Padrão Tipo 3 (F2-2, F3-1 e F300), bem como os campos do vento médio associados a esses fatores, enquanto que na Figura 6.24 são representadas as suas correlações temporais. A maior parte das correlações positivas ($> 0,5$) ocorre de abril a junho, para o F2-2 e o F3-1; e de abril a maio para o F300. Outro fato importante é que mais da metade dessas correlações ocorre no mês de maio.

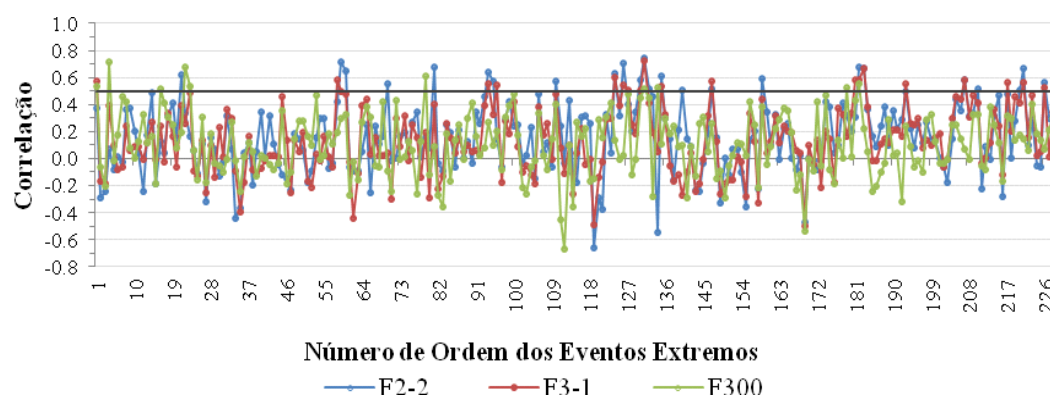


Figura 6.24- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa para o segundo fator de dois dias antes do evento (F2-2), terceiro fator de um dia antes do evento (F3-1) e o terceiro fator do dia do evento (F300). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

Na distribuição espacial do Padrão Tipo 3 também se observa núcleos negativos e positivos em áreas alternadas, mas a configuração ondulatória na área subtropical do HS mostra menor amplitude que as dos padrões 1 e 2. Além disso, a onda não é evidente como nos padrões 1 e 2. Na área subtropical do HN observa-se a amplificação das ondas no decorrer do período. Na faixa equatorial, o eixo de difluência na área da AS (Fig. 6.25^a, b indica uma condição de divergência de massa, também presente no F300 (Fig. 6.25c), o que favorece uma ZCIT intensa.

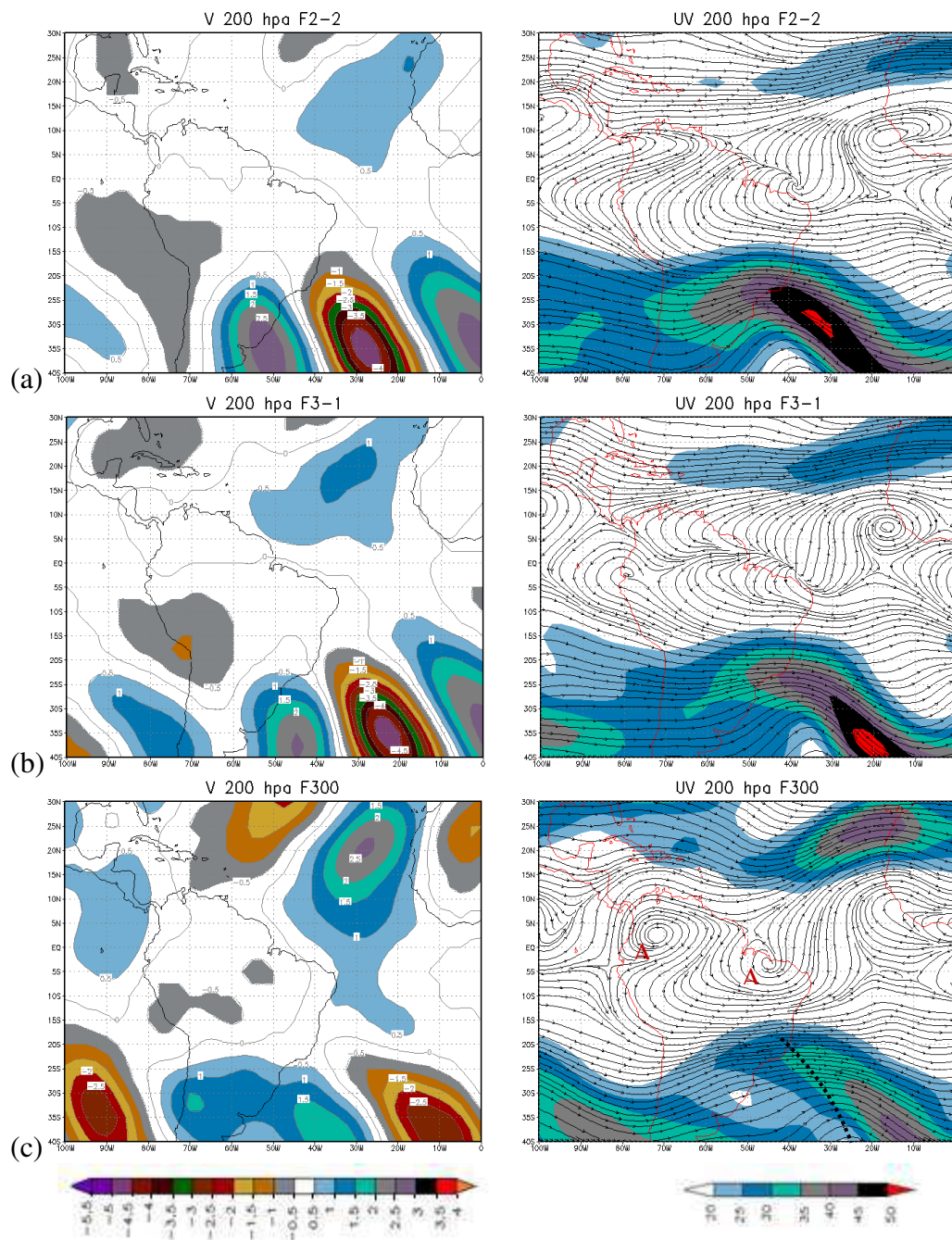


Figura 6.25- Distribuição espacial dos fatores, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da componente meridional do vento (CMV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclonicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F300 em (c).

6.4 Componente Zonal e Meridional do Vento (CZMV) em 200 hpa

Na Análise Fatorial realizada para a componente zonal e meridional do vento, o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) resultou no valor de 0,9, índice considerado ótimo, validando a aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP).

Na aplicação da ACP foram retidos os cinco (5) primeiros fatores comuns temporais rotacionados para o dia do evento, um dia antes do evento e dois dias antes do evento, somando um total de (quinze) 15 fatores. Esses fatores explicam quase 49% da variância total, como mostra a Tabela 6.4, sendo que os fatores 1, 2, 3, 4 e 5 tem variância explicada aproximada de 19%, 13%, 6,5%, 6% e 4,5%, respectivamente (Tabela 6.4).

TABELA 6.4- Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa

Fator	Não Rotacionado			Rotacionado (VARIMAX)		
	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
F100	111,4	24,4	24,4	84,9	18,6	18,6
F200	35,8	7,9	32,3	60,1	13,2	31,8
F300	29,0	6,3	38,6	28,9	6,3	38,1
F400	24,9	5,5	44,1	25,9	5,7	43,8
F500	17,3	3,8	47,9	18,6	4,1	47,9
F1-1	111,0	24,3	24,3	84,2	18,5	18,5
F2-1	37,0	8,1	32,4	60,0	13,2	31,6
F3-1	28,7	6,3	38,7	29,8	6,5	38,2
F4-1	26,8	5,9	44,6	25,3	5,6	43,7
F5-1	16,6	3,6	48,2	20,5	4,5	48,2
F1-2	111,4	24,4	24,4	84,8	18,6	18,6
F2-2	37,6	8,2	32,7	59,8	13,1	31,7
F3-2	28,5	6,3	38,9	29,6	6,5	38,2
F4-2	27,0	5,9	44,8	25,9	5,7	43,9
F5-2	17,8	3,9	48,7	22,1	4,8	48,7

Após analisar a configuração espacial dos quinze (15) fatores retidos na ACP e as suas correlações temporais associadas a cada caso, optou-se por discutir os quatro primeiros fatores, tendo em vista a baixa contribuição do quinto fator ($< 0,5$). Assim, apenas os quatro primeiros fatores foram utilizados na aplicação da Análise de Agrupamento, os quais foram

divididos em quatro grupos. A divisão desses grupos teve por base a curva de inércia e o dendrograma representados na Figura 6.26. O Quadro 6.4 mostra a composição de cada grupo, que foram identificados como: Padrão Tipo 1, Padrão Tipo 2, Padrão Tipo 3 e Padrão Tipo 4.

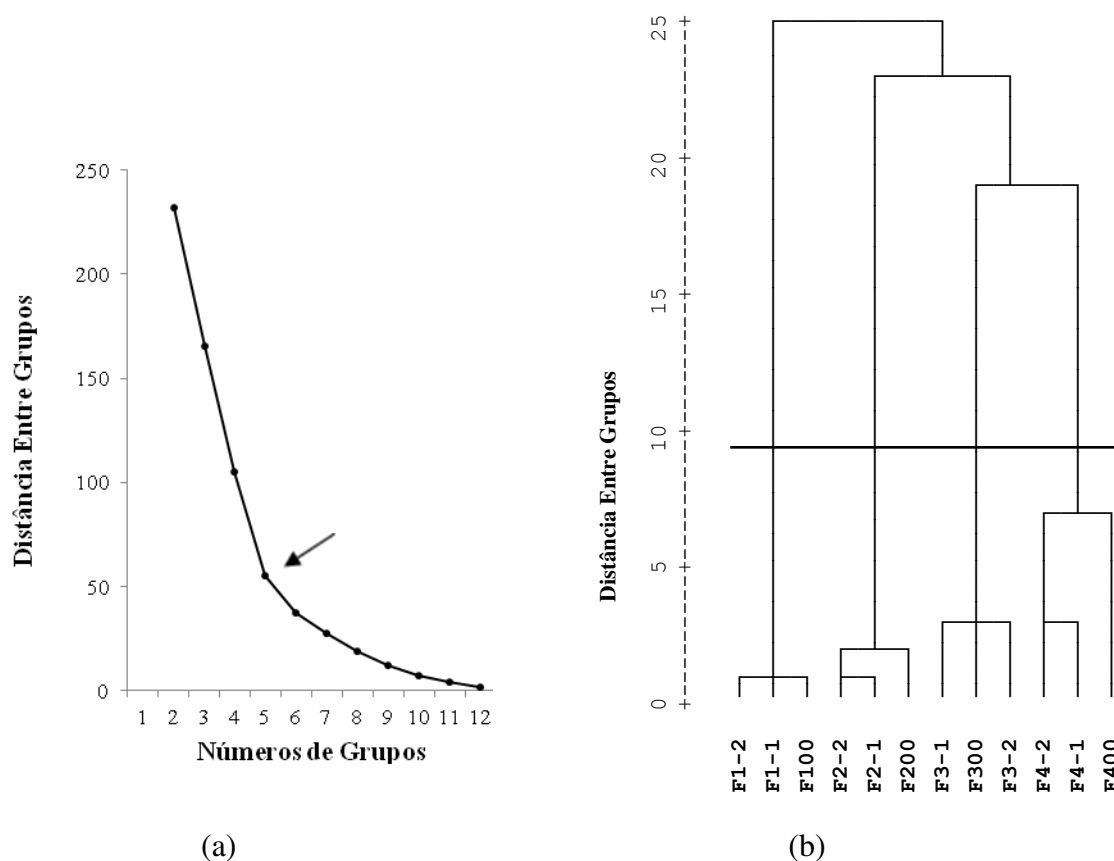


Figura 6.26- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o *método de Ward* e a *distância euclidiana*.

QUADRO 6.4. Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa

PADRÃO	dia 00	dia -1	dia -2
TIPO 1	F100	F1-1	F1-2
TIPO 2	F200	F2-1	F2-2
TIPO 3	F300	F3-1	F3-2
TIPO 4	F400	F4-1	F4-2

O Quadro 6.4 mostra a mesma composição de fatores para o dia00, dia-1 e dia-2. As características dos quatro (4) Padrões relacionados à CZMV são discutidas juntamente com as correlações temporais e os campos médio do vento dos casos (dias) que apresentam maior correlação com cada fator do grupo. Os eixos do gráfico que ilustra as correlações temporais já foram discutidos na seção 6.1.

Padrão Tipo 1

O Padrão Tipo 1 corresponde aos fatores F1-2, F1-1 e F100. As correlações da série temporal são maiores que 0,5 em 60% dos casos associados a CZV (Fig. 6.27), com maior frequência nos meses de maio a outubro, com máximas ($> 0,9$) nos meses de junho e julho. As correlações com a CMV são da ordem de 0,2 em grande parte dos casos, indicando o domínio da CZV nesse Padrão.

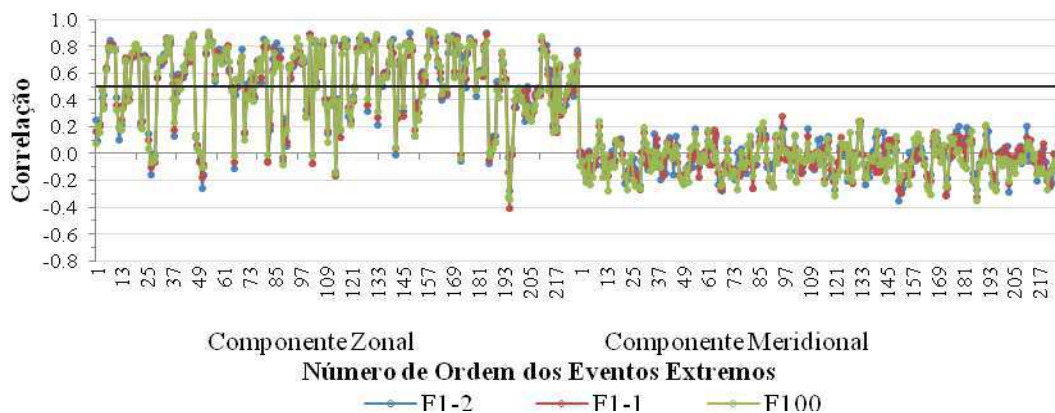


Figura 6.27- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa para o primeiro fator de: dois dias antes do evento (F1-2), um dia antes do evento (F1-1) e no dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

A distribuição espacial dos fatores do Padrão Tipo 1 (Fig. 6.28) guarda grande semelhança com a que é vista no Padrão Tipo 1 da CZV (Fig. 6.14), ressalvando pequenas diferenças como a maior intensidade do núcleo negativo sobre a África e o Oceano Atlântico, centrado em 5°N.

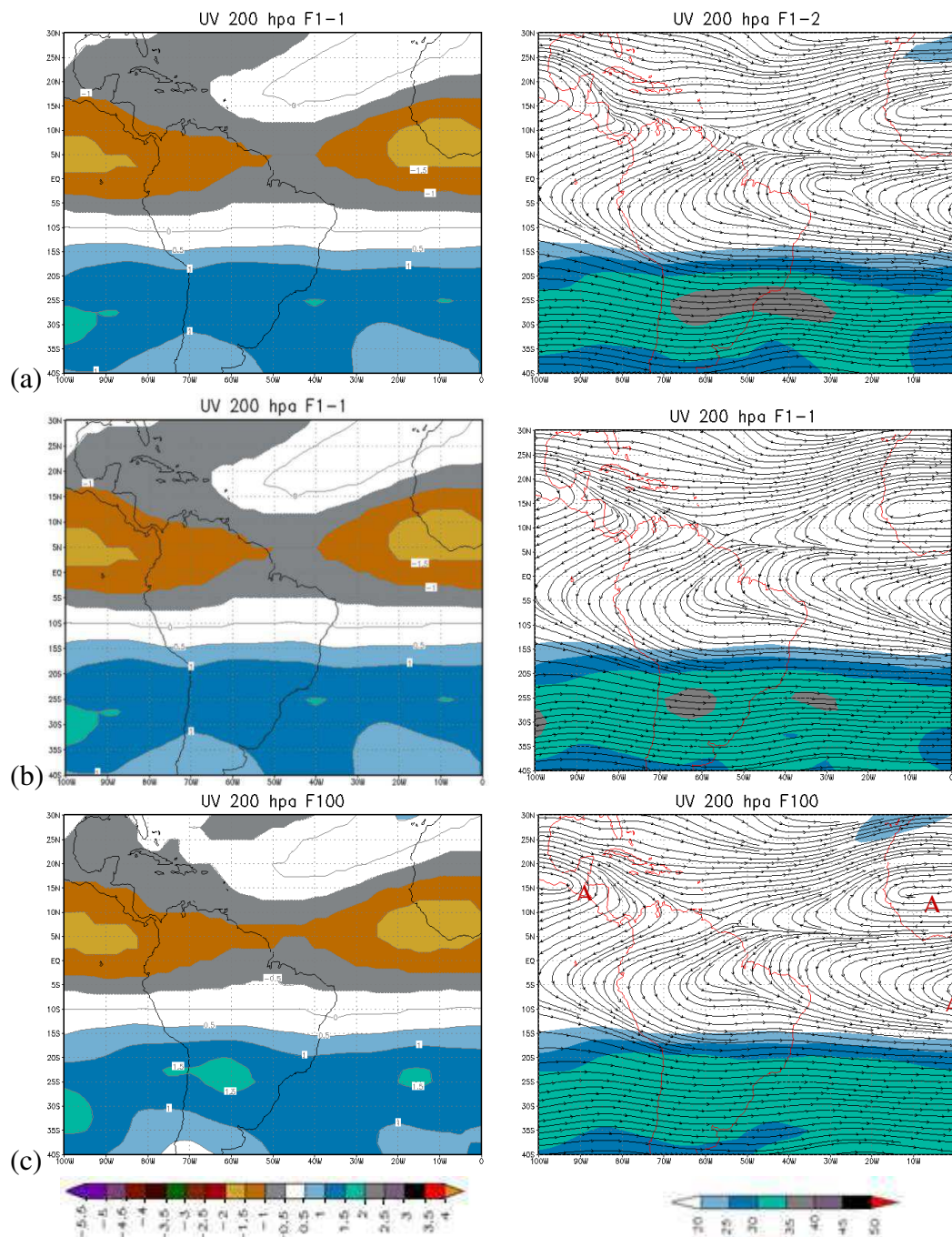


Figura 6.28- Distribuição espacial do primeiro fator comum temporal (F1), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F100). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F100 em (c).

No campo do vento médio (Fig. 6.28), é evidente o domínio da componente zonal do vento na área positiva, onde a distribuição dos ventos de oeste indica a presença do JST centrado em torno de 25°S, favorecendo a difluência ao norte dessa latitude. Na área equatorial a configuração também apresenta uma área de difluência nos ventos de leste, indicando uma condição de ZCIT posicionada em 5°N. O JST atingindo latitudes baixas e a difluência na área da ZCIT são as estruturas dominantes no Padrão Tipo 1 da CZMV e da CZV. Vale destacar que, em linhas gerais, essas características principais são vistas no evento de 12 de junho de 2006 estudado por Santos (2008).

Padrão Tipo 2

O Padrão Tipo 2 corresponde aos fatores F2-2, F2-1 e F200 (Fig. 6.30). Os coeficientes máximos das correlações temporais estão associados à CZV, sendo maiores que 0,5 nos meses de dezembro a abril e maiores que 0,8 nos meses de fevereiro e março (Fig. 6.29). Para a componente meridional, na maioria dos casos, as correlações são da ordem de 0,2. O resultado dessas correlações indica o domínio da CZV nesse *Padrão*.

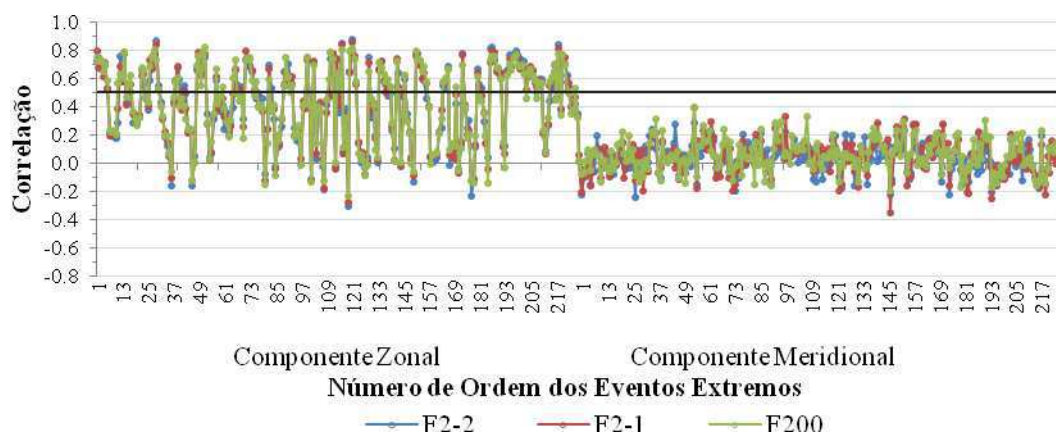


Figura 6.29- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa para o segundo fator de: dois dias antes do evento (F2-2), um dia antes do evento (F2-1) e no dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

As configurações deste padrão são semelhantes às do Padrão Tipo 2 da CZV (Fig. 6.16), mas apresentam ventos de oeste menos intensos nos dois hemisférios e maior amplitude do cavado sobre o Atlântico tropical.

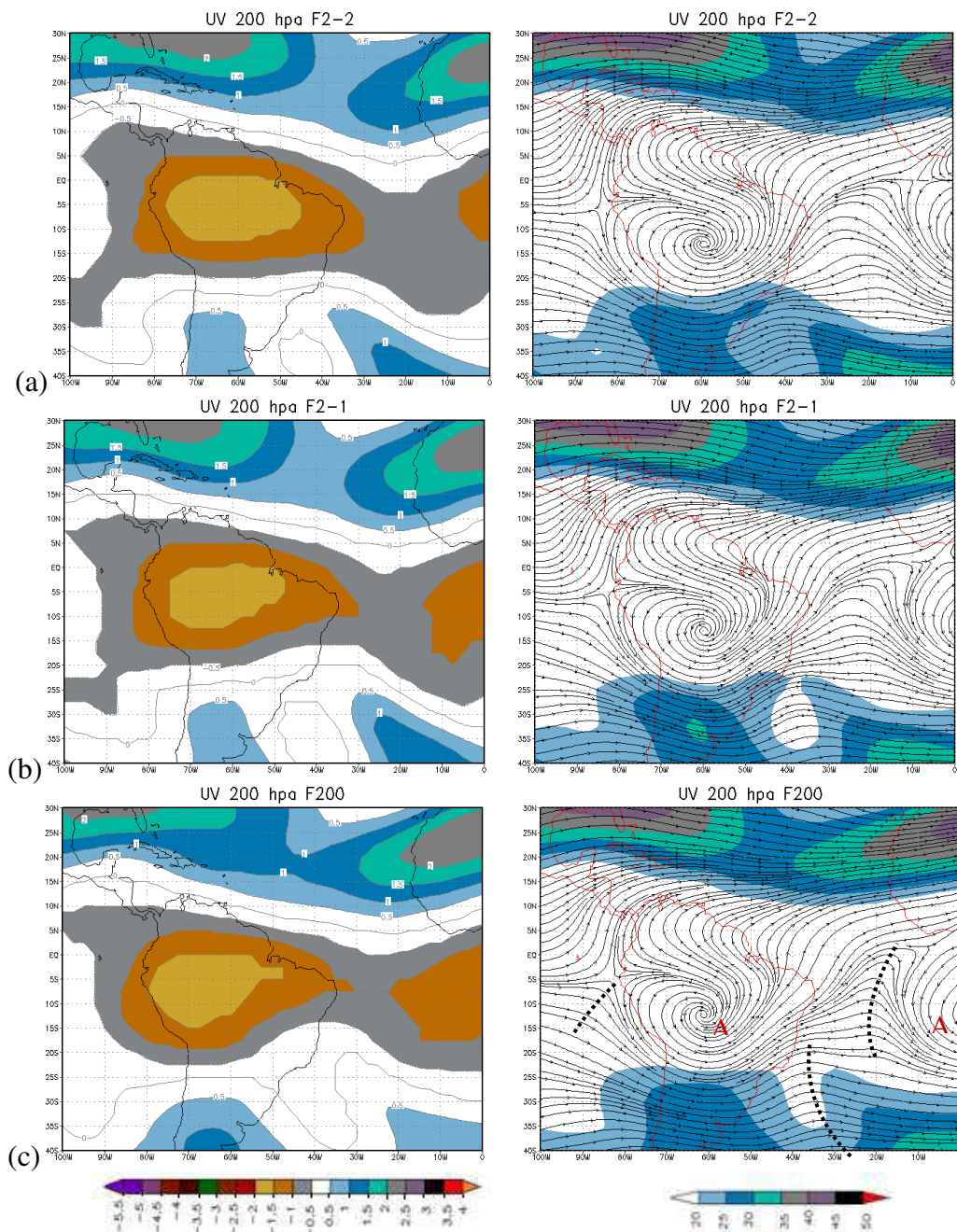


Figura 6.30- Distribuição espacial do segundo fator comum temporal (F1), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da componente zonal e meridional do vento em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F200). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F200 em (c).

Na distribuição espacial dos fatores do Padrão Tipo 2, a configuração da área positiva nas latitudes subtropicais do HN apresenta dois fortes núcleos. Esses máximos são o sinal do eixo do JST nos meses de inverno do hemisfério norte. O campo do vento médio (Fig. 6.30) que representa essas áreas positivas mostra o escoamento quase zonal, com intensidades máximas nos centros dos núcleos. A mesma análise nas áreas positivas do HS permite identificar um cavado de latitudes médias com eixo na faixa longitudinal de 30°W-40°W, cuja amplitude aumenta no decorrer do período. Na faixa equatorial, a área de núcleos negativos indica configuração ondulatória que se estreita sobre o Atlântico. No campo do vento médio, essa configuração é representada por uma circulação anticiclônica fechada sobre o continente e outra sobre o Atlântico, com centro em 12°S. Na área de transição entre esses dois centros anticiclônicos há o cavado do Nordeste-Atlântico Sul que amplifica no decorrer do período. De forma geral, o Padrão Tipo 2 mostra uma configuração típica do período de inverno nas latitudes subtropicais do HN e típica de verões chuvosos no sul do Nordeste (Chaves & Cavalcanti, 2001): o cavado de ar superior posicionado sobre a área tropical do Atlântico e a Alta (anticiclone) da Bolívia deslocada para nordeste em relação à climatologia. O evento de 21 de abril de 2006 (Santos, 2008), com 0,7 de correlação neste padrão, apresenta circulação anticiclônica (alta) da Bolívia vista neste Padrão, e um cavado sobre o Atlântico central, mas deslocado para sul em relação ao Padrão.

Padrão Tipo 3

Os fatores F3-2, F3-1 e F300 formam o Padrão Tipo 3 (Fig. 6.32) e, diferentemente dos Padrões Tipo 1 e Tipo 2, os coeficientes positivos ($> 0,5$) das correlações temporais estão associados à CMV (Fig. 6.31) com representações nos meses de outono e inverno, com maior frequência no mês de abril. Já as correlações associadas à componente zonal não apresentam nenhum caso de correlações maiores que 0,5, e a maior parte dos valores estão entre -0,2 e 0,2. O resultado dessas correlações indica o domínio da CMV neste padrão.

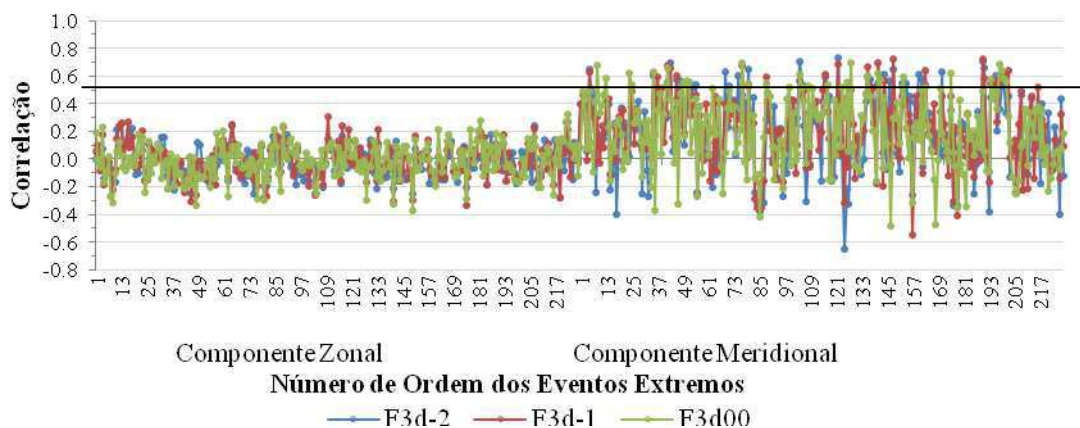


Figura 6.31- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa para o terceiro fator de: dois dias antes do evento (F3-2), um dia antes do evento (F3-1) e no dia do evento (F300). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

A configuração espacial dos fatores do Padrão Tipo 3 é caracterizada por núcleos positivos e negativos em áreas alternadas. Esse padrão apresenta semelhanças com o Tipo 1 da CMV (Fig. 6.21): a intensidade e inclinação dos núcleos opostos vistos no HS definem a configuração de ondas de latitudes médias de grande amplitude, enquanto que no HN a configuração ondulatória é de pequena amplitude. Na faixa equatorial os ventos são mais fracos, tendo em vista as baixas contribuições dos núcleos. Ainda na área equatorial, nos campos do vento médio pares de anticiclones são vistos no norte da AS e na África-Atlântico Sul, enquanto que cavados dominam a circulação sobre o Pacífico Sul e o Nordeste-Atlântico Sul. O último, em particular, é indicativo da interação entre o cavado de latitudes médias e o cavado situado corrente abaixo do anticiclone continental. Esse anticiclone, situado ao norte de sua posição climatológica de verão (alta da Bolívia), aliado ao cavado e à distribuição da velocidade favorecem a difluência na área norte do Brasil, importante característica do Padrão Tipo 3 da CZMV.

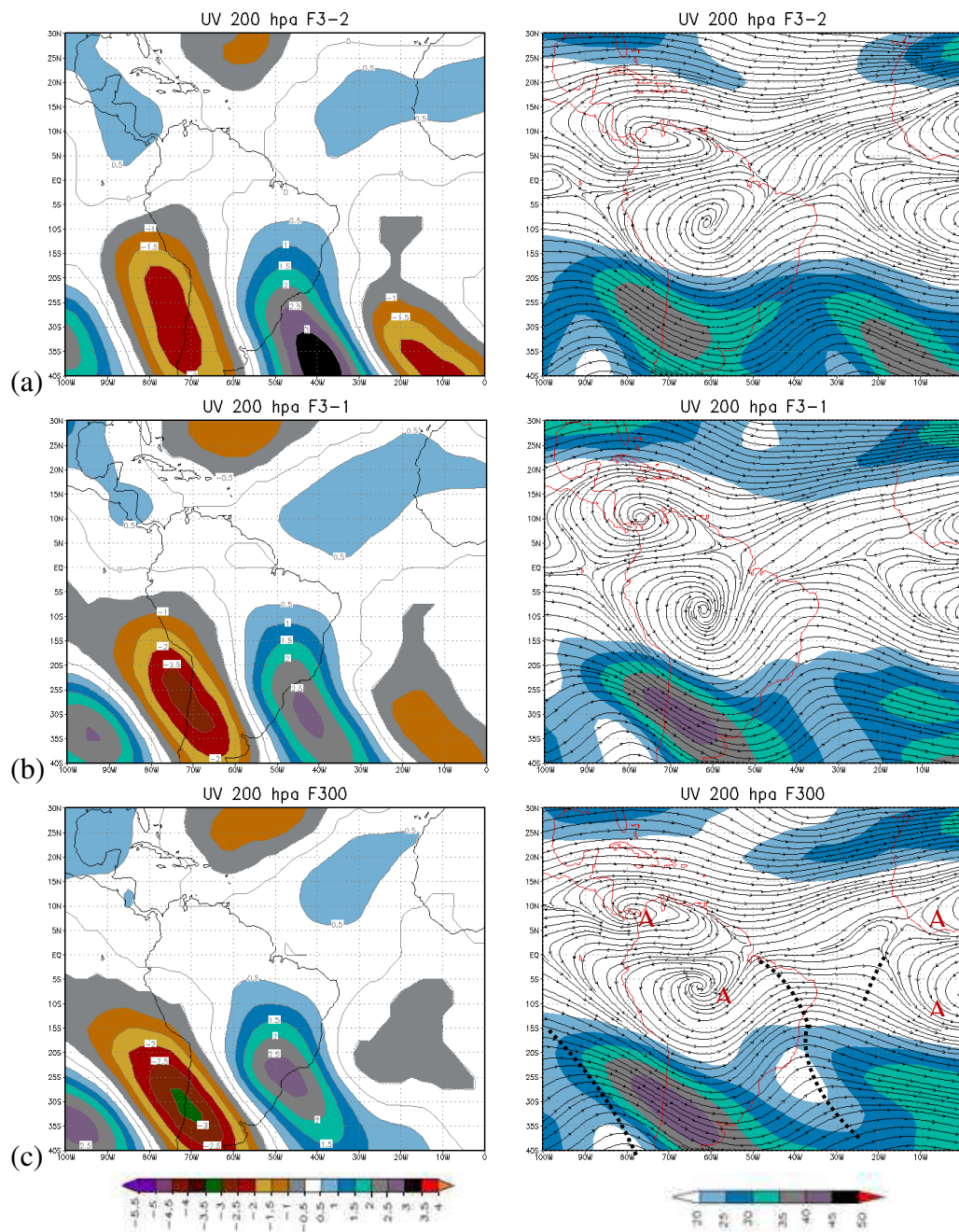


Figura 6.32- Distribuição espacial do terceiro fator comum temporal (F3), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da componente zonal e meridional do vento em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F300 em (c).

Padrão Tipo 4

Na distribuição espacial do Padrão Tipo 4 (Fig. 6.34), formado pelos fatores F4-2, F4-1 e F400, as correlações positivas ($> 0,5$) estão associadas a CMV (Fig. 6.33), com maiores frequências nos meses de abril a julho. Em todos os casos, as correlações associadas à CZV são menores que 0,4.

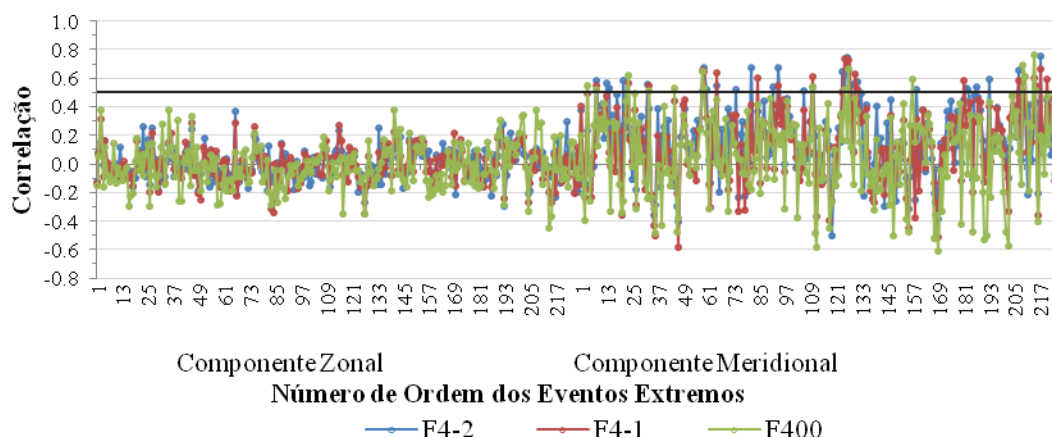
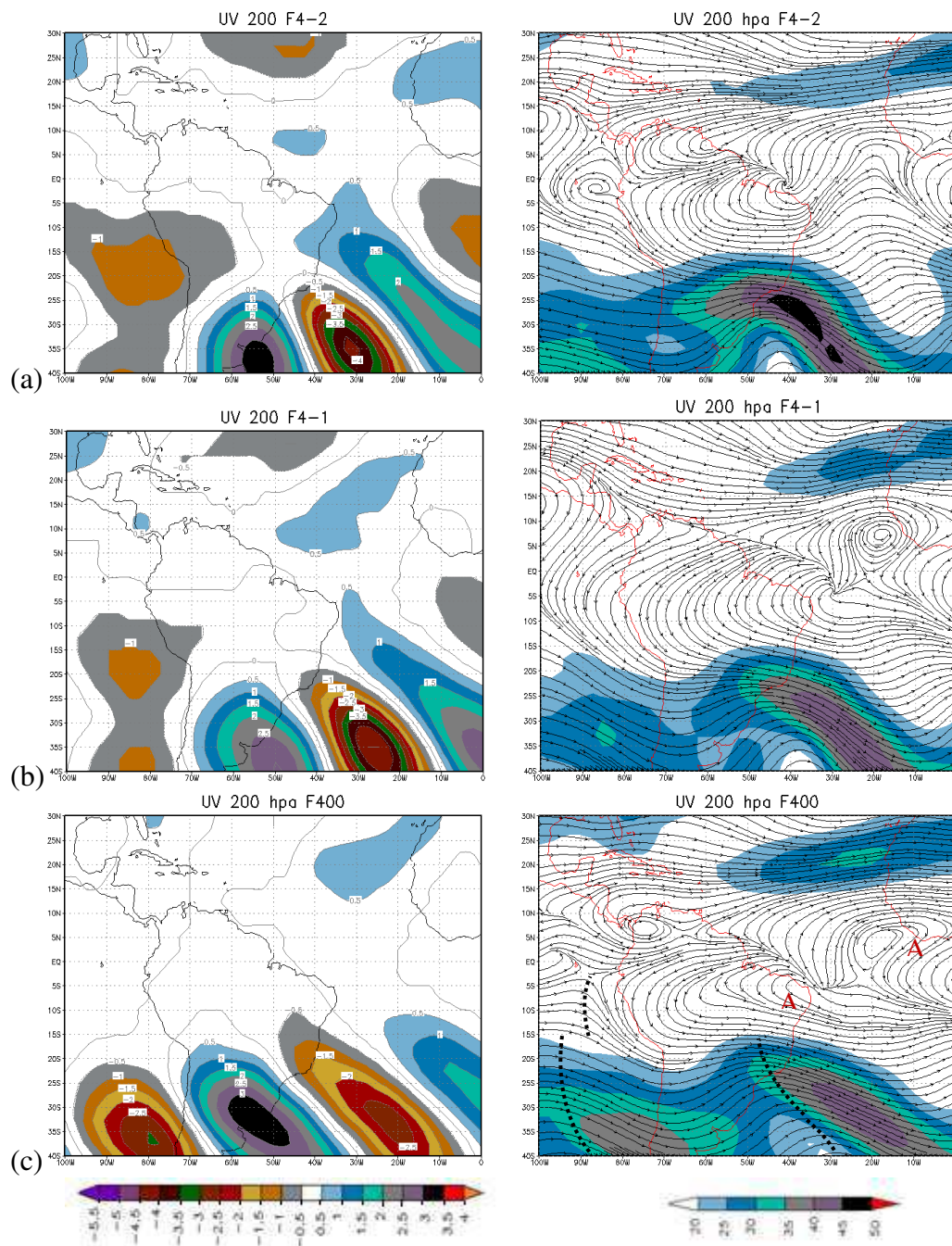


Figura 6.33- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 4 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa para o quarto fator de: dois dias antes do evento (F4-2), um dia antes do evento (F4-1) e no dia do evento (F400). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

A configuração espacial do Padrão Tipo 4 tem alguma semelhança com o Tipo 3 da CMV (Fig. 6.25). Na área subtropical, os núcleos de sinal oposto centrados na América do Sul/Atlântico Sul, sugerem a configuração de um cavado de latitudes médias que se estende até 20°S, com deslocamento para leste no decorrer do período. O campo do vento médio (Fig. 6.34) mostra a configuração desse cavado com ventos intensos a leste do seu eixo. Outro cavado domina toda a extensão norte-sul na área central do Atlântico Sul no início do período. Ainda no campo do vento médio também merece destaque o eixo de difluência na área litorânea da Região Norte e Nordeste do Brasil relacionada com a ZCIT.



6.34- Distribuição espacial do quarto fator comum temporal (F4), e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 4 da componente zonal e meridional do vento em 200 hpa: (a) dois dias antes do evento (F4-2), (b) um dia antes do evento (F4-1) e (c) no dia do evento (F400). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F400 em (c).

De modo geral, da análise das principais características da circulação atmosférica em 200 hpa associada a chuvas extremas em Salvador, pode-se destacar três configurações dominantes. Uma delas é a área de difluência relacionada com a ZCIT. Essa difluência caracteriza uma condição de divergência de massa em altos níveis. Esses movimentos divergentes em 200 hpa implicam em movimento vertical ascendente de compensação, resultando em convergência em baixos níveis, uma condição de ZCIT intensa. Outra configuração em destaque é uma circulação anticiclônica fechada sobre o continente (alta da Bolívia) e outra no Atlântico Sul; na área de transição entre esses dois centros anticiclônicos há o cavado do Nordeste-Atlântico Sul. Esse padrão com a Alta da Bolívia deslocada para nordeste, e o cavado de ar superior posicionado sobre o Atlântico tropical é semelhante à estrutura encontrada para verões chuvosos no sul do Nordeste por Chaves & Cavalcanti (2001). A terceira configuração é a de um cavado de latitudes médias austrais localizado no leste da América do Sul e a área oceânica próxima, que se estende em latitudes baixas atingindo 20°S, no mínimo, em todos os padrões.

6.4 Componente Zonal e Meridional do Vento (CZMV) em 850 hpa

Nas sessões 6.2 e 6.3 a ACP foi aplicada, separadamente, a CZV e CMV no nível de 200 hpa e encontraram-se padrões dos sistemas atmosféricos atuantes, que apresentaram relação mais evidente com a precipitação na área estudada. Já na ACP aplicada separadamente à CZV e CMV em 850 hpa, não foi possível analisar satisfatoriamente os resultados correspondentes a essas variáveis, devido à dificuldade na interpretação dos padrões espaciais. Assim, nesta seção são mostrados apenas os resultados da ACP aplicada, conjuntamente, a CZV e CMV no nível de 850 hpa, o que permite obter uma resposta mais clara da relação entre os sistemas atmosféricos atuantes em baixos níveis.

Na análise, o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) apresentou valor de 0,9, de forma que os dados das componentes zonal e meridional em 850 hpa para a análise conjunta apresentam ótima adequação à ACP.

Na aplicação da ACP foram retidos cinco (5) fatores comuns temporais rotacionados para o dia do evento, um dia antes do evento e dois antes do evento, totalizando 15

fatores. Os cinco primeiros fatores representam 50% da variância acumulada dos dados, como mostra a Tabela 6.5. A variância explicada associada a cada fator também é apresentada nessa tabela. Em particular, o primeiro fator comum temporal rotacionado corresponde a 25% da variância explicada, enquanto que os demais fatores somam os 25% restantes.

TABELA 6.5- Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa

Não Rotacionado				Rotacionado (VARIMAX)		
Fator	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
F100	115,4	25,3	25,3	113,7	24,9	24,9
F200	51,2	11,2	36,5	41,5	9,1	34,0
F300	23,7	5,2	41,7	27,3	6,0	40,0
F400	20,4	4,5	46,2	25,4	5,6	45,6
F500	16,6	3,6	49,8	19,5	4,3	49,8
F1-1	113,1	24,8	24,8	111,5	24,5	24,5
F2-1	50,1	11,0	35,8	42,4	9,3	33,8
F3-1	25,8	5,7	41,4	32,9	7,2	41,0
F4-1	22,4	4,9	46,4	24,2	5,3	46,3
F5-1	16,9	3,7	50,1	17,3	3,8	50,1
F1-2	114,7	25,2	25,2	112,7	24,7	24,7
F2-2	46,3	10,1	35,3	36,0	7,9	32,6
F3-2	29,6	6,5	41,8	35,0	7,7	40,3
F4-2	24,8	5,4	47,2	30,1	6,6	46,9
F5-2	15,8	3,5	50,7	17,3	3,8	50,7

Embora tenham sido retidos os cinco primeiros fatores rotacionados, optou-se por analisar apenas os três primeiros (F1, F2 e F3), totalizando nove (9) fatores. Essa escolha foi motivada pelo fato de que as interpretações subjetivas associadas ao quarto (F4-2, F4-1, F400) e quinto (F5-2, F5-1 e F500) fatores não foram satisfatórias, além de que mais de 80% dos casos observados apresentaram correlações menores que 0,3.

Os nove (9) fatores rotacionados foram utilizados na aplicação da Análise de Agrupamento, através do *método de Ward* e *distância euclidiana*. O agrupamento dividiu os

fatores em três (3) grupos, que foram obtidos através do corte do dendrograma com base na curva de inércia (Fig. 6.35). Esses grupos foram denominados Padrão Tipo 1, Padrão Tipo 2 e Padrão Tipo 3. O Quadro 6.5 mostra os fatores associados a cada Tipo de Padrão.

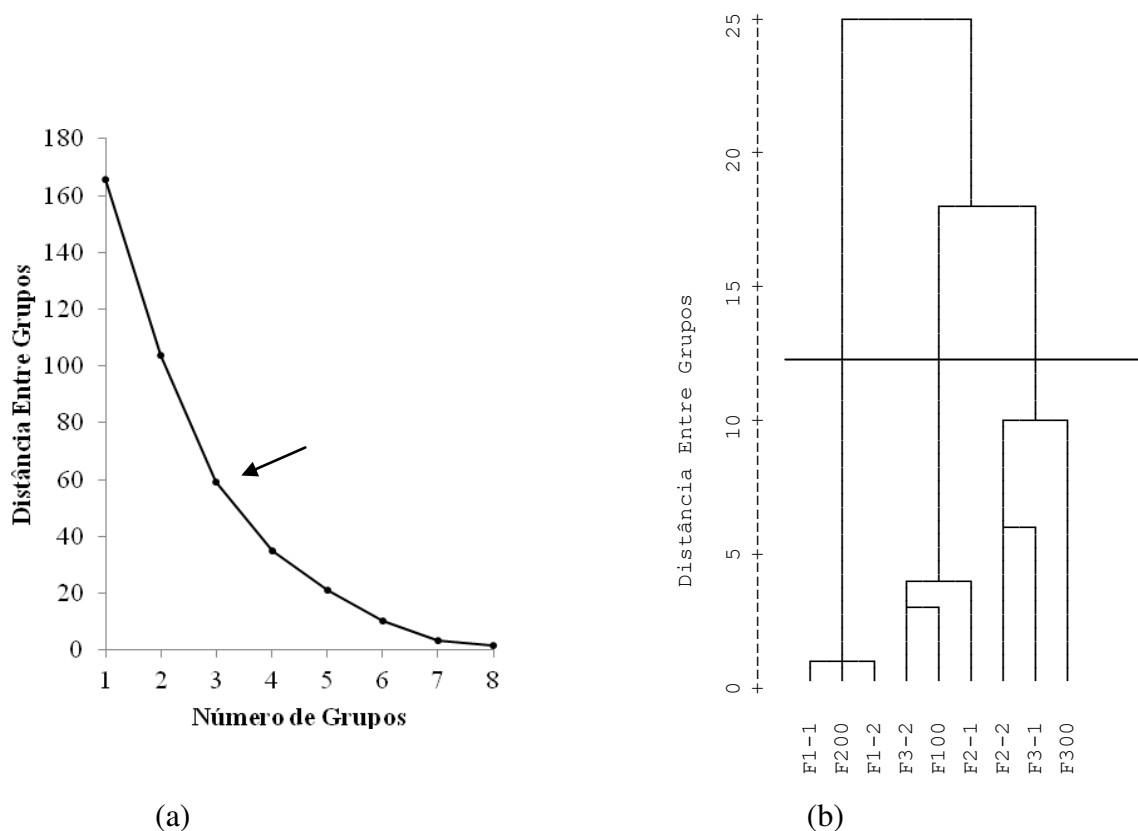


Figura 6.35- Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o *método de Ward e a distância euclidiana*.

QUADRO 6.5. Relação dos fatores pertencentes a cada Tipo de Padrão da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa

PADRÃO	dia 00	dia -1	dia -2
TIPO 1	F100	F2-1	F3-2
TIPO 2	F200	F1-1	F1-2
TIPO 3	F300	F3-1	F2-2

Padrão Tipo 1

O *Padrão Tipo 1* corresponde ao F3-2, F2-1 e F100. As correlações temporais positivas ($> 0,5$) estão associadas apenas a CMV (Fig. 6.36), nos meses de verão, outono e inverno, com maior frequência nos meses de abril a junho. Na maior parte dos casos, as correlações com a CZV são da ordem de 0,2. Na distribuição espacial dos fatores as áreas negativas (positivas) correspondem a componente de norte (sul) (Fig. 6.37).

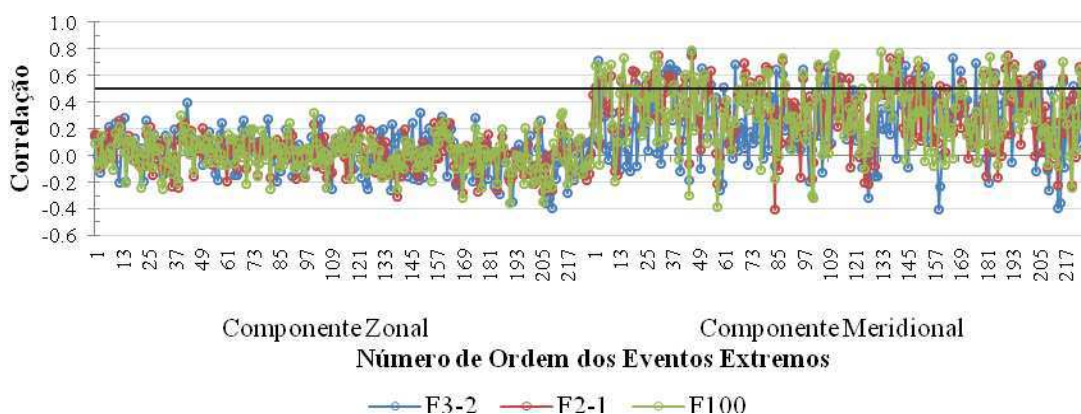


Figura 6.36- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 1 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa para dois dias antes do evento (F3-2), um dia antes do evento (F2-1) e no dia do evento (F100). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

A configuração espacial dos fatores do *Padrão Tipo 1* (Fig. 6.37) apresenta, no HS, núcleos positivos e negativos que se apresentam de forma alternada, o que implica em mudança de 180° na direção do vento, uma distribuição relacionada com circulações fechadas. O campo médio do vento associado a essa distribuição (Fig. 6.37) apresenta um núcleo anticiclônico centrado em cada oceano, em torno de 30° de latitude. No Atlântico Sul, o centro do anticiclone ocupa a faixa longitudinal de 40°W – 30°W . Essa posição geográfica indica que ele é resultante da interação entre um anticiclone de origem polar e a ASAS. Sua circulação domina a AS, com exceção da área oeste do continente, apresentando máximos de velocidade nos ventos de leste sobre o sul do Nordeste e parte do Sudeste, e nos ventos de norte sobre o sul do Brasil, o Uruguai e o Paraguai.

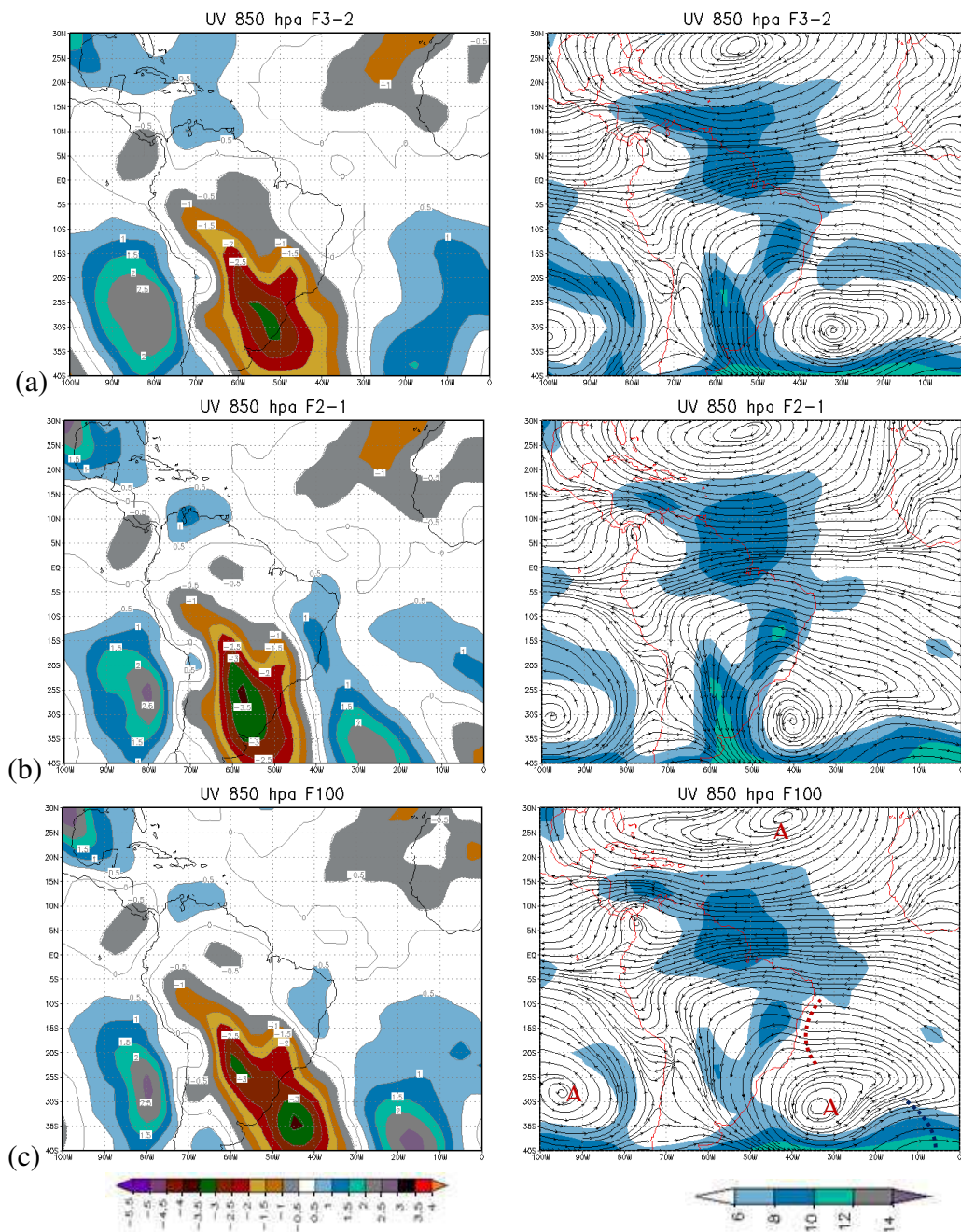


Figura 6.37- Distribuição espacial do fator comum temporal, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 1 da componente zonal e meridional do vento em 850 hpa: (a) dois dias antes do evento (F3-2), (b) um dia antes do evento (F2-1) e (c) no dia do evento (F100). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os centros anticiclônicos (A), os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas pretas tracejadas) e de cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão indicados no campo do vento médio no F100 em (c).

Máximos de velocidade também são vistos sobre áreas oceânicas, na borda equatorial do ASAS e do ASPS, no F3-2 (Fig. 6.37a). No Pacífico Sul e Atlântico Norte esses núcleos são os anticiclones (altas) subtropicais. Nesse último o domínio do ASAN é evidente. Na faixa equatorial o escoamento é quase zonal, de leste, exceto pelo ciclone no extremo noroeste da AS situado na área de transição entre dois pequenos núcleos de sinais opostos vistos na distribuição espacial dos fatores. É importante observar ainda neste Padrão o cavado de pequena amplitude na área dos ventos alísios, próximo ao Nordeste, cujo eixo é indicado pela linha vermelha tracejada no campo médio do vento do F100 (Fig. 6.37c). Esse cavado é mais evidente nos padrões de PNMM discutidos na sessão 6.1.

Outras características importantes do Padrão Tipo 1 sugeridas pelos campos do vento médio são o transporte de umidade do Oceano Atlântico para o continente na borda equatorial do ASAS, como também o transporte de umidade da região da Amazônia para a área da bacia hidrográfica do Rio da Prata, no centro-leste da AS.

Padrão Tipo 2

O Padrão Tipo 2 está associado aos fatores F1-2, F1-1 e F200 (Fig. 6.39). As séries temporais desses fatores são ilustradas na Figura 6.38.

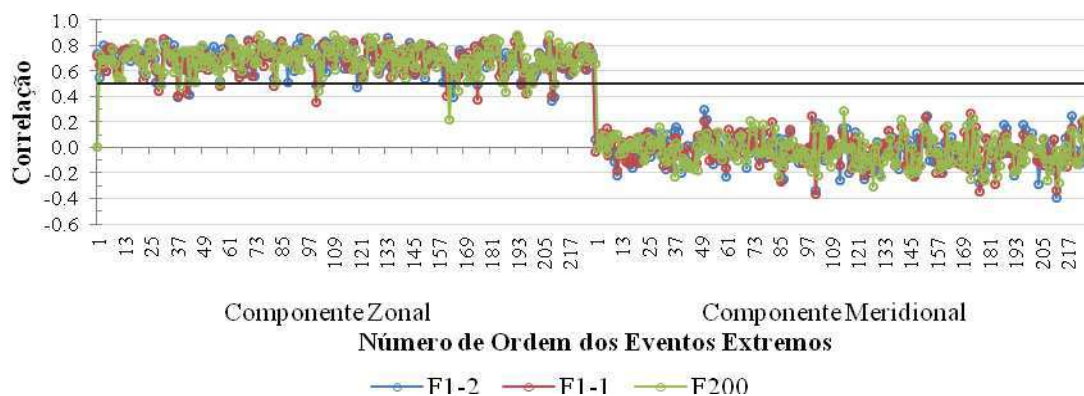


Figura 6.38- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 2 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa para dois dias antes do evento (F1-2), um dia antes do evento (F1-1) e no dia do evento (F200). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

As correlações positivas ($> 0,5$) com a quase totalidade da CZV, enquanto que as correlações com a CMV são da ordem de 0,2 em grande parte dos casos (Fig. 6.38). A maior frequência de casos ocorre nos meses de abril a julho.

Na distribuição espacial dos fatores do padrão Tipo 2 (Fig. 6.39), as áreas negativas correspondem à componente de leste e as positivas à componente de oeste. Esse Padrão apresenta características semelhantes às do Padrão Tipo 1 (Fig. 6.37) na circulação atmosférica na área do HN, apesar da aparente dissimilaridade na distribuição espacial dos fatores.

Na distribuição espacial do vento médio (Fig. 6.39) a circulação da ASAN domina todo o HN, exceto pelas circulações ciclônicas localizadas ao sul de 15°N , sobre o noroeste da AS e a África. Também há uma área de máxima velocidade do vento no Mar do Caribe e Atlântico Norte tropical. Essa área, que se estende sobre o norte da AS e parte do Atlântico Sul equatorial, aumenta no decorrer do período e apresentando valores mais elevados sobre a Bahia no terceiro dia.

No restante do HS os campos evidenciam a presença de um sistema de latitudes médias ao sul de 15°S , sobre o sudoeste do Atlântico Sul e a AS. O cavado, que se estende até 20°S , induz a formação de um cavado invertido na área dos ventos alísios, a leste da Bahia, um indicativo da entrada da convergência frontal (“frente fria”) no estado. Essa evolução ocorre paralelamente à intensificação do vento na Bahia, como pode ser visto na sequência de mapas, que também mostra o ASAS, centrado em torno de (27°S , 10°W), e o anticiclone polar sobre o Sul-Sudeste, nos dois primeiros dias. No terceiro dia há apenas um centro anticiclônico, resultante da interação favorecida pelo enfraquecimento do sistema frontal, evidenciado pela menor amplitude do cavado. De maneira geral, a configuração do campo médio do vento dos dois primeiros dias é similar àquela diagnosticada por Santos (2008) no evento extremo de chuva registrado no dia 21 de abril de 2006 em Salvador. A evolução temporal da circulação atmosférica na área da AS e Atlântico Sul vista neste padrão é indicativa de uma passagem frontal que provoca mudanças no vento, mas não altera a temperatura do bulbo úmido média diária, uma situação denominada “mudança no vento” por Kousky (1979). Outro aspecto a observar neste padrão são os ventos mais fracos associados ao ASPS, em comparação com o Padrão Tipo 1 (Fig. 6.37).

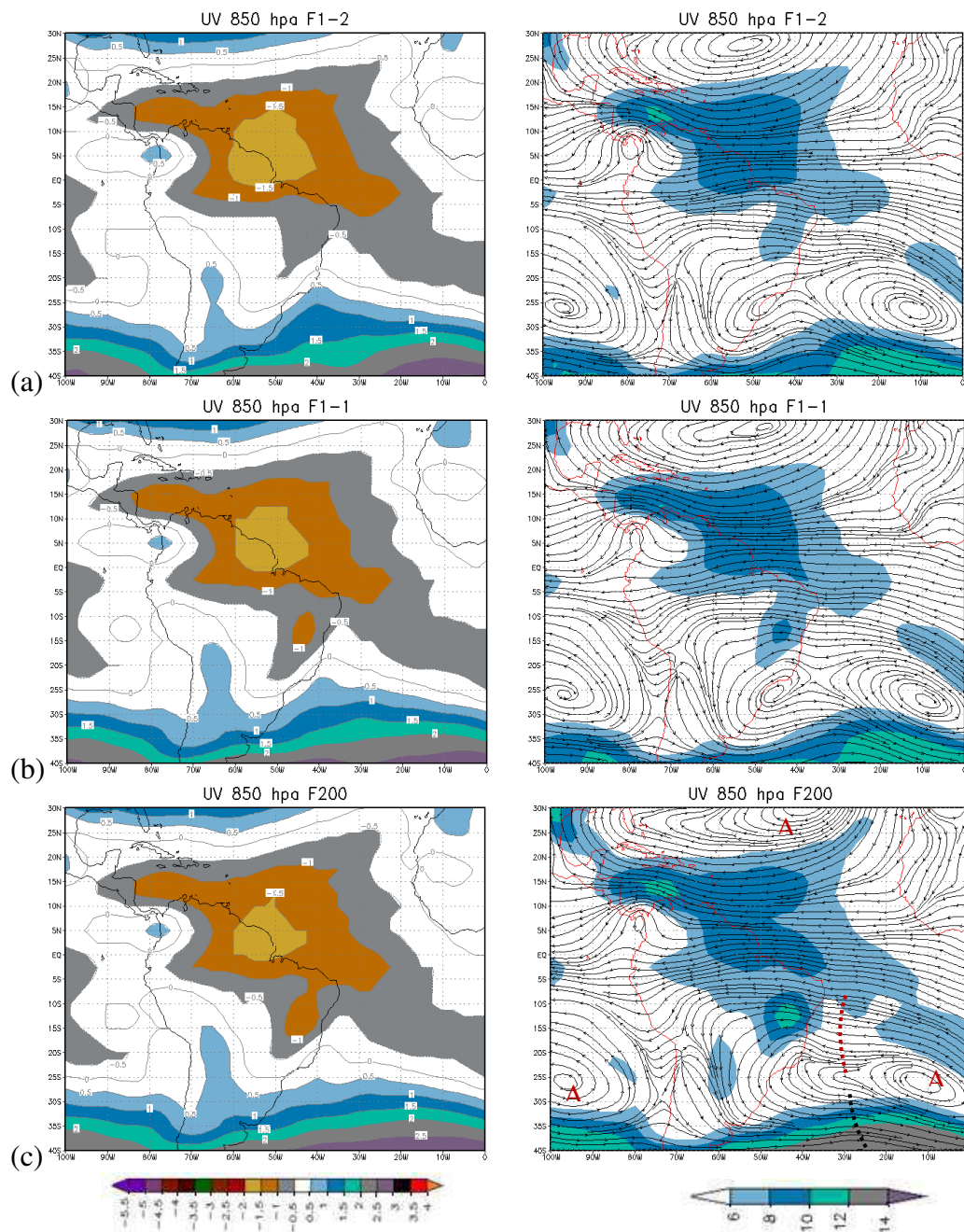


Figura 6.39- Distribuição espacial dos fatores comuns temporais, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 2 da componente zonal e meridional do vento em 850 hpa: (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F200). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os centros anticiclônicos (A), os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas pretas tracejadas) e de cavado invertido (linha vermelha tracejada) estão indicados no campo do vento médio no F200 em (c).

Padrão Tipo 3

O Padrão Tipo 3 está associado aos fatores F2-2, F3-1 e F300 (Fig. 6.41). As correlações temporais (Fig. 6.40) associadas a esses fatores apresentam grande parte dos casos com correlação menor que 0,4. As correlações positivas ($> 0,5$) são mais frequentes nos meses de abril a julho e estão associadas a CMV. A CZV apresenta correlações da ordem de 0,2 em grande parte dos casos. Na distribuição espacial dos fatores as áreas negativas (positivas) correspondem a componente de norte (sul).

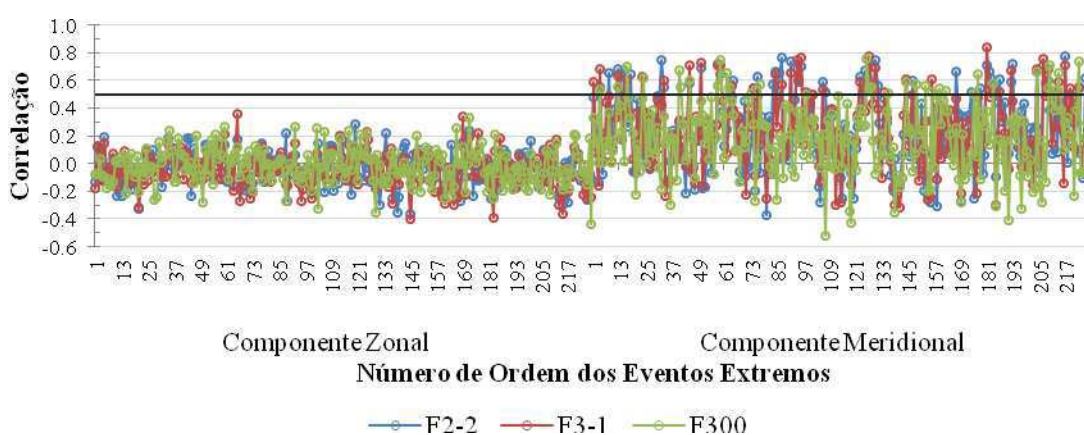


Figura 6.40- Fatores comuns temporais (correlações) do Padrão Tipo 3 da componente zonal e meridional do vento (CZMV) em 850 hpa para dois dias antes do evento (F2-2), um dia antes do evento (F3-1) e no dia do evento (F300). A linha preta horizontal assinala 0,5 de correlação. A simbologia utilizada é vista na parte inferior do gráfico.

O Padrão Tipo 3 (Fig. 6.41) apresenta, de maneira geral, características semelhantes às do Padrão Tipo 1 (Fig. 6.37) na área do HN, tanto na distribuição espacial dos fatores quanto na do vento médio. Nessa última também é evidente o domínio do ASAN em toda a área de estudo, à exceção da circulação ciclônica localizada sobre o extremo noroeste da AS e a África, ao sul de 15°N . Além disso, esse padrão também mostra a área de máxima velocidade do vento no Mar do Caribe e Atlântico Norte tropical, que se estende sobre o norte da AS e parte do Atlântico Sul equatorial.

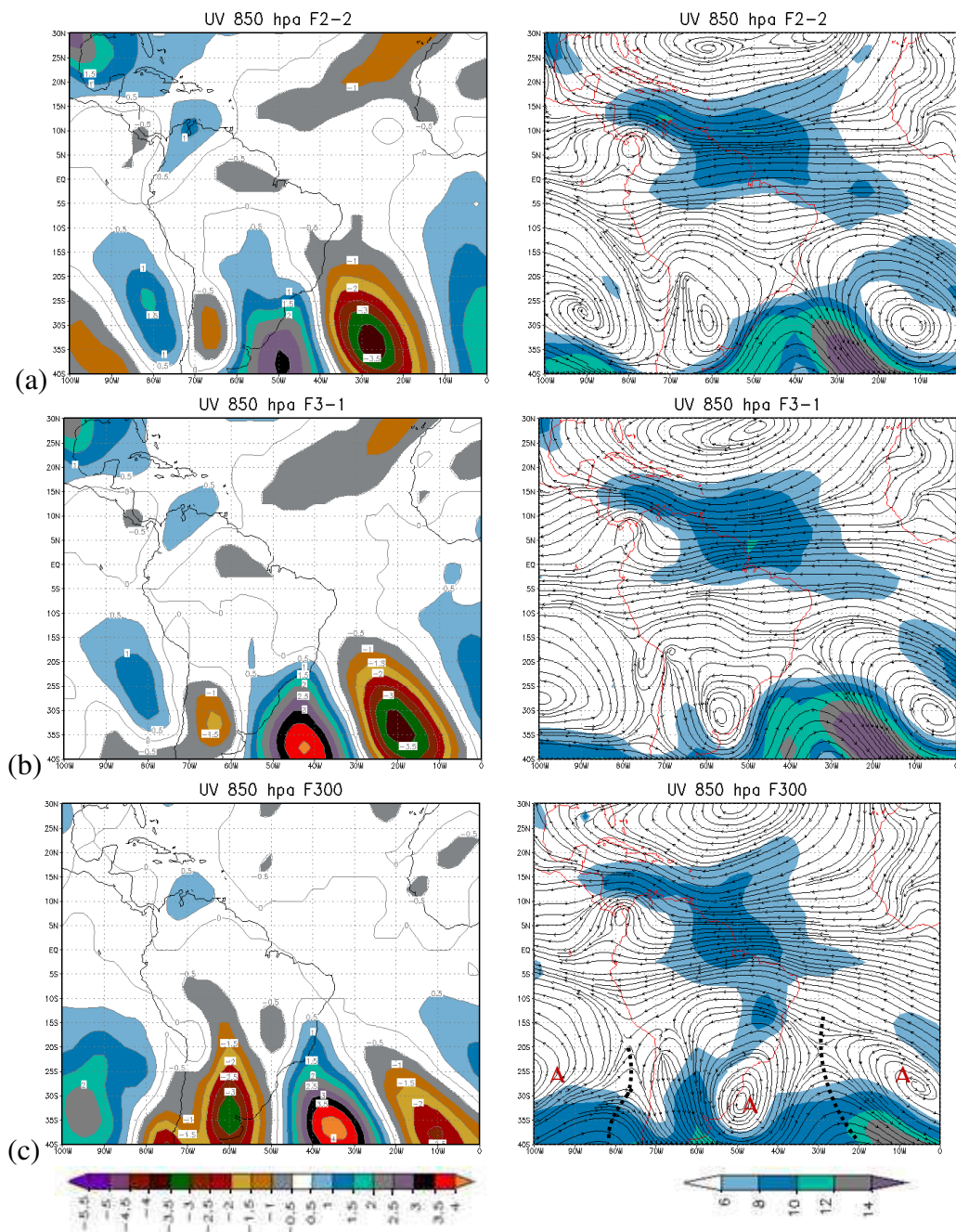


Figura 6.41- Distribuição espacial dos fatores comuns temporais, e das linhas de corrente e velocidade (ms^{-1}) do vento médio dos correspondentes autovalores do Padrão Tipo 3 da componente zonal e meridional do vento em 850 hpa: (a) dois dias antes do evento (F2-2), (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300). As escalas de cores são vistas abaixo dos mapas correspondentes. Os eixos de cavado no hemisfério sul (linhas tracejadas) e os centros anticiclônicos (A) estão indicados no campo do vento médio no F300 em (c).

No HS a configuração da distribuição espacial dos fatores e do vento médio evidencia os anticiclones subtropicais (ASAS e ASPs) e uma onda frontal de grande amplitude sobre a AS (anticiclone polar) e o sudoeste do Atlântico Sul (cavado frontal), caracterizando um sistema mais intenso, se comparado com o visto no Padrão Tipo 2 (Fig. 6.39). Neste caso, o cavado invertido é induzido no escoamento de leste sobre o continente (norte do Sudeste e o Nordeste), o que indica o avanço do sistema frontal para latitudes baixas, causando mudanças no vento e na temperatura, uma situação de passagem de “frente fria” discutida por Kousky (1979). A formação do cavado invertido também pode ser vista no estudo de caso de Souza (2003) que investigou os impactos causados no semiárido nordestino por um sistema frontal austral em junho de 1985. Neste padrão o máximo nos ventos de leste é visto apenas no terceiro dia sobre a Bahia. Nele também são evidentes os ventos mais intensos na borda equatorial do ASAS.

De modo geral, as configurações espaciais dos padrões atmosféricos da CZMV em 850 hpa estão associadas ao quadrimestre chuvoso de Salvador (abril-julho). Um aspecto importante dessas características é o cavado invertido localizado no leste da Bahia. Característica semelhante também foi apresentada e discutida nos padrões atmosféricos da PNMM na seção 6.1. Outro destaque é o domínio do ASAN na área oceânica do HN e o cavado de latitudes médias na área subtropical do Atlântico.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

A área de interesse para este estudo foi Salvador, capital da Bahia, localizada no litoral do Nordeste do Brasil. Os objetivos fundamentais foram estudar a variabilidade temporal das chuvas de Salvador, com foco em eventos extremos de precipitação, bem como investigar a existência de padrões da circulação atmosférica associados a esses eventos extremos. A abordagem principal do trabalho foi realizada combinando diferentes métodos matemático-estatísticos (Percentis, Correlações Lineares, Análise de Ondeletas, Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento) aplicados a dados observacionais de precipitação e dados em ponto de grade de reanálise.

Na análise da variabilidade temporal foi observado que o quadrimestre chuvoso é de abril a julho, representando 51% (1088,3 mm) do total anual das chuvas. O mês de maio é o mais chuvoso do ano (359,9 mm). A técnica do percentil aplicada à série temporal dos dados diários de precipitação classificou como eventos extremos os totais diários maiores do que o percentil $p=98$. Foram considerados extremos os totais diários com valor igual ou maior que 50 mm. O maior número de eventos extremos é observado no quadrimestre chuvoso, correspondendo a 61% de todos os eventos da série. O estudo da correlação entre o número de eventos extremos e o Desvio Padronizado de Precipitação identificou uma relação direta entre a ocorrência de eventos e total mensal de chuva acima da média. Na análise de ondeletas foi possível observar que os eventos estão associados com, pelo menos, três tipos de oscilação na escala intrassazonal: de até 12 dias, de 12-24 dias e de 48-96 dias. Esse resultado indica a contribuição de sistemas de escala sinótica como os distúrbios de leste e os sistemas frontais, e também de circulações de escala planetária como a Oscilação de Madden-Julian.

A Análise de Componentes Principais e a Análise de Agrupamento, aplicadas à pressão ao nível médio do mar (PNMM) e às componentes zonal e meridional do vento (CZMV) em 200 hpa e 850 hpa, permitiram identificar padrões atmosféricos relacionados com os eventos extremos de chuva em Salvador. As análises foram realizadas para a área situada entre as latitudes de 40°S e 30°N e as longitudes de 100°W e 0°W.

Os Padrões, tanto da PNMM quanto da CZMV em 850 hpa, evidenciam a configuração de um cavado invertido no leste do Nordeste e área oceânica próxima, possivelmente resultante do avanço/interação de sistemas atmosféricos da área tropical/extratropical. Ainda no Padrão da PNMM, observa-se também configuração indicativa da presença do cavado equatorial/ZCIT, ondas de latitudes médias, e ZCAS. Essa última se estende na direção noroeste-sudeste sobre o norte e o centro do Brasil e Atlântico subtropical e está associada a eventos extremos de chuva identificados nos meses de novembro a março. Nos Padrões associados a eventos extremos do quadrimestre chuvoso (abril a julho) a configuração espacial da PNMM e da CZMV em 850 hpa mostra configurações com características ondulatórias.

Nos altos níveis (200 hpa), o Padrão para os meses de junho-julho-agosto é a configuração de difluência próximo ao equador, numa área de convergência em baixos níveis, uma estrutura vertical favorável à situação de ZCIT intensa. Essa difluência caracteriza uma condição de divergência de massa em altos níveis. Noutro Padrão a configuração evidencia trens de ondas que se propagam em direção ao equador no hemisfério sul, relacionados com cavados no escoamento de oeste que penetram em latitudes baixas da América do Sul. Observa-se para o Padrão dos meses de dezembro-janeiro-fevereiro uma circulação anticiclônica fechada sobre o continente (alta da Bolívia) e um cavado sobre o Atlântico Sul. Nesse Padrão a Alta da Bolívia está deslocada para nordeste, e o cavado do Nordeste-Atlântico Sul está posicionado sobre o Atlântico tropical, uma configuração típica de verões chuvosos no Nordeste.

Os métodos matemático-estatísticos possibilitaram analisar o regime de chuvas de Salvador e identificar as características de padrões de circulação atmosférica relacionados com os eventos extremos de chuva. Os resultados encontrados podem ser utilizados para comparação com estudos observacionais, para validação em estudos de modelagem numérica e como suporte em atividades dos centros operacionais de monitoramento e previsão do tempo e clima da área do Nordeste.

Uma extensão deste trabalho seria:

- Determinar, usando as mesmas técnicas, os padrões espaciais de outras variáveis atmosféricas como umidade específica, vorticidade relativa e radiação de onda longa (ROL).

- Realizar estudos de caso dos eventos de maior e menor correlação de cada padrão.
- Estudar a relação entre a precipitação na área de Salvador e fenômenos de escala interanual, a exemplo do ENOS.
- Estudar a influência das oscilações de 30-60 dias na variabilidade sazonal da precipitação na cidade de Salvador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. B.; TEIXEIRA, R. F. B.; FERREIRA, A. G. Um intenso Sistema Convectivo de Mesoescala no setor leste da Região Nordeste: O caso de 20 a 21 de maio de 1999. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.16, n.1, p. 19-31, 2001.

ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; ASSIS, F. S. F.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J.; SERVAIN, J.; STUDART, T. M. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o nordeste do Brasil durante janeiro-2004. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.1, p. 56-57, 2006.

ANJOS, R. J.; MOREIRA, A. A. Eventos do Fenômeno El Niño em casos de atuação do Dipolo Negativo e Positivo no Oceano Atlântico Tropical e a precipitação no litoral oriental da Região Nordeste do Brasil. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; GUEDES, R. L.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. A Influência da Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade de Precipitação em Fortaleza. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.2, p.113-122, 2004.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A Importância Relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na Variabilidade de Precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22, n.1, 63-74, 2007.

ARAGÃO, J. O. R. O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. *Bull Inst. Fr. Études Andines, Grécia*, v. 27, n. 3, p. 839-844, 1998.

BANDEIRA, M. M.; MELO, E. C. S. Atuação do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis Sobre o Nordeste do Brasil no Mês de Janeiro nos Anos de 2004 e 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis.

BARRETO, A. B.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; SANTOS, A. H. M. Uma investigação sobre eventos de chuva intensa na cidade de Salvador, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008. Anais... São Paulo, 2008. 1 CD.

BOLZAN, M. J. Análise da Transformada em Ondeletas Aplicada em Sinal Geofísico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 1, p. 37-41, 2004.

BOLZAN, M. J. Transformada em Ondelela: uma necessidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 563-567, 2006.

BRITO, J. I. B.; NOBRE, C. SILVA; A. M. Modelo de Previsão Estatística da Precipitação de Inverno no Leste do Nordeste. CPTEC/INPE. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7., 1994, Belo Horizonte.

CALHEIROS, A. J. P.; MOLION, L. C. B.; VAZ, J. C. M.; TENÓRIO, R. S. Um evento de precipitação extrema sobre a costa leste do Nordeste do Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis.

CAVALCANTI, I. F. A.; KAYANO, M. T. High-frequency patterns of the atmospheric circulation over the Southern Hemisphere and South America. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.69, p. 179-183, 1999.

CHAVES, R. R. *Variabilidade da precipitação na região sul do Nordeste e sua associação com padrões atmosféricos*. São José dos Campos, 1999, 159p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São Paulo. 1999.

CHAVES, R. R.; CAVALCANTI, I. F. A. Atmospheric circulation features associated with rainfall variability over southern Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.129, p. 2614-2626, 2001.

CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática- INPE/CPTEC, v.11, n.04., 1996, São José dos Campos - SP, Brasil.

CONDE, F. C.; SILVA DIAS, M. A. Vórtices Ciclônicos de Ar Superior: Um Estudo de Caso através de Balanço de Vorticidade. CONGRESSO DE METEOROLOGIA, 11., 2000. Rio de Janeiro.

CORREIA, M. F.; SILVA ARAGÃO, M. R.; ARAÚJO, H. A. Ecos de Radar Meteorológico no Semi-Árido Nordeste e a Penetração de um Sistema de Origem Frontal. CONGRSSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 1996. Campos do Jordão.

DAYAN, U.; ZIV, V., MORIM, E.; SHARON, D. A severe autumn storm over the middle-east: synoptic and mesoscale convection analysis. *Theoretical and Applied Climatology*. v.69, 103-122, 2001.

DATSENKO, N. M.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. R. Variações Pluviométricas no Nordeste Brasileiro: Comparações com Mudanças Climáticas Globais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.10, n.1, p.42-47, 1995.

DEFESA CIVIL DE SALVADOR (CODESAL). Relatório Final da Operação Chuva 2005. 2005 (disponível em <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/>).

DEFESA CIVIL DE SALVADOR (CODESAL). Relatório Final da Operação Chuva 2006. 2006 (disponível em <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/>).

DEFESA CIVIL DE SALVADOR (CODESAL). Relatório Final da Operação Chuva 2007. 2007 (disponível em <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/>).

DEFESA CIVIL DE SALVADOR (CODESAL). Relatório Final da Operação Chuva 2008. 2008 (disponível em <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/>).

DERECZYNSKI., C. P.; OLIVEIRA., J. S.; MACHADO., C. O. Climatologia da Precipitação no Município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.1, p.24-38, 2009.

DNMET. *Normais Climatológicas (1961-1990)*. Departamento Nacional de Meteorologia. Brasília-Brasil. 1992. 84f.

ESPÍRITO SANTO, C. M.; SATYAMURTY, P. Eventos extremos de precipitação na região sudeste do Brasil e redondezas no período de 1997-2001. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002. Foz de Iguaçu.

ESTEBAN, P.; MARTEN-VIDE, J.; MASSES, M. Daily Atmospheric Circulation Catalogue for Western Europe using Multivariate Techniques. *International Journal of Climatology*, v. 26, p. 1501-1515, 2006.

EVERITT, B. **Cluster Analysis**. Heinemann Educational Books, London, 1974. 135p.

FARGE, M. Wavelet Transforms and their Applications to Turbulence. *Journal of the Atmospheric Sciences, Palo Alto*, v. 24, p. 395-457, 1992.

FARIAS, W. R. G.; CORREIA, M. F. Descargas Atmosféricas e Interrupções de Energia Elétrica na Área da Chesf: Relação das Variáveis Atmosféricas em Anos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 3, 270-281, 2008.

FRAGOSO, M., GOMES, P. T. Classification of daily abundant rainfall patterns and associated large-scale atmospheric circulation types in Southern Portugal. *International Journal of Climatology*, v. 28, p. 537-544, 2008.

FRANCIS, P. A.; GADGIL, S. Intense rainfall events over the west coast of India. *Meteorology and Atmospheric Physics*. v. 94, p. 27-42, 2006.

GALVÃO, M.V. *Geografia do Brasil – Região Nordeste*. Rio de Janeiro: SERGRAF – IBGE, 1977. 454 p.

GAZA, R. S.; BOSART, L. F. The Kansas City Severe Weather Event of 4 June 1979. *Monthly Weather Review*, v. 113, p. 1300-1320, 1985.

HAIR, Jr. J. F; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. *Análise Multivariada de Dados*. Ed. Bookman. 5ª edição, 593 pag..Porto Alegre, 2005.ISBN 85-363-0482-0.

HIGGINS, R. W., J.-K. E. SCHEMM, W. SHI, LEETMAA. A. Extreme Precipitation Events in the Western United States Related to Tropical Forcing. *Journal of Climate*, v. 13, p. 793–820, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – 2010.

KAYANO, M. T.; OLIVEIRA, C. P. Diferenças associadas à oscilação decenal do Pacífico nas relações interanuais de precipitação na América do Sul e temperatura da superfície do mar. In: ENCUENTRO HISPANO-LUSO DE METEOROLOGIA, 9., 2008 e CONGRESO LATINOAMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 12., 2008. Zaragoza. JORNADAS CIENTIFICAS DE LA ASOCIACION METEOROLOGICA ESPANOLA, 30., 2008.

KELKAR, R. R. Understanding the Extreme Weather Events . *IWRS News Letter*, Nov. 2005.

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

KOUSKY, V.E. Diurnal Rainfall Variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, v. 108, p. 488-498, 1980.

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

LYON, B. Enhanced Seasonal Rainfall in Northern Venezuela and the Extreme Events of December 1999. *Journal of Climate*, v. 16, p. 2302-2306, 2002.

MA, K., BOSART, L. F. A Synoptic Overview of a Heavy Rain Event in Souther China. *Weather and Forecasting*. v. 2, p. 89-112, 1987.

MADDEN, R.A.; JULIAN, P. R. Observations of the 40-50 day Tropical Oscillation – A Review. *Monthy Weather Review*, v.122, p.814-837, 1994.

MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. *Bull Amer Meteor Soc*. v. 61, p. 1374-138, 1980.

MAGAÑA, V.; MÉNDEZ, M. Diagnosis and Prognosis of Extreme Precipitation Events in the México City Basin. *Geofísica Internacional*, v. 41, n. 2, p. 247-259, 2003.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira Meteorologia*, v.17, n.1, p.1-10, 2002.

MOSCATI, M. C. L.; GAN, M. A. Rainfall Variability in the Rainy Season of Semiarid Zone of Northeast Brazil (NEB) and its Relation to Wind Regime. *International Journal of Climatology*, v. 27, p. 493-512, 2007.

MOURA, G. B. A.; ARAGÃO, J. O. R.; LACERDA, F. F.; PASSAVANTE, J. Z. O. Relação entre a Precipitação no Setor Leste do Nordeste do Brasil e a Temperatura da Superfície nos Oceanos Atlântico e Pacífico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 2, p. 247-251, 2000.

NOBRE, P.; MELO, A. B. C; BEZERRA, P. C. Oscilações Intrazonais nos Trópicos e Variações Pluviométricas sobre o Nordeste do Brasil em 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000. Rio de Janeiro.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v.10, p.2464-2479, 1996.

OBREGÓN PÁRRAGA, G. P. *Dinâmica da variabilidade climática da precipitação sobre a América do Sul*. São José dos Campos. 2001. 187 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos. 2001.

OLIVEIRA, A. S. *Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia*. 1986. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos. 1986.

PSCHIEDT, I. *Influência de Episódios El Niño e La Niña na Frequência de Eventos Extremos de Precipitação no Sul do Brasil*. 2006. 167 f. Dissertação (mestrado em Meteorologia), Universidade de São Paulo - USP, São Paulo. 2006.

QUADRO, M. F. L. *Estudo de episódios de zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul*. 1994. 94 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos. 1994.

RAMIREZ, M. C. V. *Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos de altos níveis no Nordeste do Brasil*. 1996. 132 f. Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos. 1996.

RAMOS, A. M., SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. (Org.). Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília: INMET, 2009.

RAO, V. B, SATYAMURTY P, BRITO J. I. B. On the 1983 drought in Northeast Brazil. *Journal of Climate*, v. 6, p. 43–51, 1986.

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

RAO, V. B.; HADA, K.; HERDIES, D. L. On the Severe Drought of 1993 in North-east Brazil. *International Journal of Climatology*, v. 15, p. 697–704, 1995.

RATISBONA, C. R. The climate of Brazil. In: *Climates of Central and South America*. World Survey of Climatology, Elsevier, v.12, p. 219-293, 1976.

REPELLI, C. A.; SOUZA, E. B.; QUADRO, M. F. L.; ALVES, J. M. B.; SAKAMOTO, M. S. O Episódio de Chuvas Intensas no Nordeste Brasileiro no Final de Março/1997: Influência da Oscilação 30-60 Dias. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 13, n. 1, p. 09-18, 1998.

RODRIGUES, L. R. L.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. Trovoadas na Costa Leste do Nordeste do Brasil Associadas a Interação entre Ondas nos Ventos de Leste e VCAN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis-RS.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño Southern/Oscillation. *Monthly Weather Review*, v. 115, p. 1606-1626, 1987.

SALVADOR, M. A; LUCIO, P. S.; MOLION, L. C. B. Tendência Da Precipitação Anual Na Costa Leste Do Nordeste Do Brasil Durante Duas Fases Da Oscilação Decadal Do Pacífico. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis-RS.

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-UFCG, Campina Grande. 2008c.

SANTOS, A. H. M.; SILVA ARAGÃO, M. F.; BARRETO, A. B. Chuvas intensas na cidade de Salvador, Bahia: o evento de novembro de 2006. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008. Anais... São Paulo, 2008a. 1 CD.

SANTOS, A. H. M.; SILVA ARAGÃO, M. R.; ARAÚJO, H. A. Evento Extremo de Chuva na Cidade de Salvador, Bahia: Fevereiro de 2008. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008. Anais... São Paulo, 2008b. 1 CD.

SANTOS, C. P. L. Análise geofísica das características hidráulicas da Falha de Salvador na Região de Arembepe-Ba. 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Geofísica)– Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador. 2003.

SANTOS, S. A.; CORREIA, M. F.; BRAGA, C.C.; SILVA ARAGÃO, M. R. Análise Estatística de Chuvas Intensas e Inundações no Semi-Árido da Bacia do Rio São Francisco: A Cheia De 1985. Engenharia Ambiental (Online), v. 7, p. 23, 2010.

SEVERO, D. L. *Padrões de circulação anômala associados a episódios úmidos e secos no sul do Brasil*. 2007, 255 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos. 2007.

SILVA ARAGÃO, M.R.; BARRETO, A.B.; ARAÚJO, H.A.; CORREIA, M.F. Desastres Naturais na Cidade do Salvador, Bahia: Evento Chuvoso Extremo em Junho de 2006. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis-RS.

SILVA ARAGÃO, M.R.; BARRETO, A.B.; CORREIA, M.F.; ARAÚJO, H.A. Variabilidade Sazonal e Horária da Chuva na Cidade de Salvador, Bahia. SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., 2008. SALVADOR-BA.

SILVA ARAGÃO, M. R.; MENDES, M. C. D.; CAVALCANTI, I. F. A.; CORREIA, M. F. Observational study of a rainy January day in the Northeast Brazil semi-arid region: synoptic and

mesoscale characteristics. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 133, p. 1127-1141, 2007.

SILVA, E.J.N. *Mudanças Sócio-Espaciais no Município de Salvador Decorrentes da Industrialização*. 2002. 138 f. Dissertação (Curso de Mestrado em Análise Regional)-Universidade de Salvador – UNIFACS, Salvador. 2002.

SOUSA, E.B.; ALVES, J.M.B.; REPELLI, C.A. Um Complexo Convectivo de Mesoescala Associado à Precipitação Intensa sobre Fortaleza. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 13, n. 2, p. 01–14, 1998.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden–Julian oscillation. *International Journal of Climatology*, v. 26, p. 1759–1776, 2006.

SOUZA, P. P. *Estudo da Atuação de um Sistema de Latitudes Médias no Semi-Árido do Nordeste do Brasil: Aspectos de Meso e Grande Escalas*. 2003. 102 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, Campina Grande. 2003.

REGIS, I. S. R. *Lobato e Paripe no contexto da Avenida Suburbana: uma análise socioespacial*. 2007. 141f. Dissertação (Mestrado em Geografia Instituto de Geociências) - Universidade Federal da Bahia, 2007.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Eventos extremos de precipitação na região da Serra do Mar. Parte I – Descrição estatística da precipitação diária. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis-RS.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. *Monthly Weather Review*, v. 135, p. 598-617, 2007.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. 1998: A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, 61-78, 1998.

TORRENCE, C.; WEBSTER, P. J. Interdecadal Changes in the ENSO–Monsoon System. *Journal of Climate*. v. 12, p. 2679-2690, 1999.

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

WILKS, D. S. *Statistical Methods in the atmospheric Sciences*. Academic Press, San Diego, 1995, 467p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Brasília, DF: Ed. Pax, INMET, 2001. 352 p.

VITORINO, M.I. *Análise das Oscilações Intra-sazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes Utilizando a Análise de Ondeletras*. 2003. 344 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos. 2003.

VITORINO, M.I.; SILVA, M. E. S.; ALVES, J. M.B. Classificação de Sistemas Convectivos de Mesoescala no Setor Norte do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 12, n. 1, p. 21-32, 1997.

Endereços eletrônicos:

- <http://www.cprm.gov.br>.
- <http://www.cptec.inpe.br/cgi-bin/webpub/noticia.cgi?8530>
- <http://www7.cptec.inpe.br/noticias/faces/noticias.jsp?idConsulta=8530&idQuadros=>
- <http://www.salvador.ba.gov.br>
- <http://tao.atmos.washington.edu/pdo/>
- <http://www.sat.dundee.ac.uk/>
- <http://www.cptec.inpe.br/>
- <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>
- http://www.cpc.ncep.noaa.gov/research_papers/ncep_cpc_atlas/8/ensoyrs.txt
- <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>
- <http://www.ibge.gov.br>

- (http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=29&Itemid=82&limit=10&limitstart=280)
- <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0496/index.htm>