

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

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Francisco das Chagas Araújo do Nascimento

**Padrões climáticos associados à periodicidade de eventos
extremos de precipitação no Estado do Maranhão**

Campina Grande, Dezembro de 2014.



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

**Padrões climáticos associados à periodicidade de eventos extremos de
precipitação no Estado do Maranhão**

Francisco das Chagas Araújo do Nascimento

Campina Grande – Paraíba

Dezembro de 2014.

FRANCISCO DAS CHAGAS ARAÚJO DO NASCIMENTO

Padrões climáticos associados à periodicidade de eventos extremos de precipitação no Estado do Maranhão

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do grau de mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Subárea: Climatologia

Orientadora: Professora Dra. Célia Campos Braga

Campina Grande – Paraíba

Dezembro de 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

N244p Nascimento, Francisco das Chagas Araújo do.
Padrões climáticos associados à periodicidade de eventos extremos de precipitação no estado do Maranhão / Francisco das Chagas Araújo do Nascimento. – Campina Grande, 2014.
92 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.

"Orientação: Prof.^a Dr.^a Célia Campos Braga".
Referências.

1. Regime Pluviométrico. 2. Standardized Precipitation Index (SPI).
3. Análise Multivariada. 4. Braga, Célia Campos. II. Título.

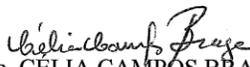
CDU 551.577.21(043)

FRANCISCO DAS CHAGAS ARAÚJO DO NASCIMENTO

PADRÕES CLIMÁTICOS ASSOCIADOS À PERIODICIDADE DE EVENTOS
EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO MARANHÃO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 18/12/2014

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. CÉLIA 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. Dr. CLÓVIS ANGELI SANSIGOLO
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MÃE-NATUREZA

Vamos fazer a nossa parte
para preservar a Natureza
evitando o desperdício de água,
energia, combustível, papel,
alimentos e outros recursos.
Preservar é viver!

Vamos reduzir o lixo,
fazendo a reciclagem
e a coleta seletiva para
o seu reaproveitamento.
Vamos impedir a poluição
de nossos rios e oceanos.

Vamos proteger nossa fauna,
os bichos exóticos e os comuns,
a Floresta Amazônica
e também a nossa flora
transformando nosso planeta,
num planeta azul e verde.
A Mãe-Natureza agradece!

Não deixe o Meio-Ambiente desaparecer.
Proteção Ambiental com consciência
é uma questão de sobrevivência.
Trate a Terra e tudo o que nela habita
com respeito, amor e consideração,
pensando em seus filhos e netos
que nela viverão.

©Verluci Almeida

Dedicatória

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus que é o centro e fundamento de tudo em minha vida. A todos meus familiares, em especial, Fabiane Regina (esposa), Arthur (filho), Elisa (mãe), Cícero (pai), Webber (sobrinho) e Socorro e Fernando (sogros) pelo carinho, incentivo e compreensão.

Agradecimentos

À **DEUS**, pela presença constante em minha vida e por renovar a cada momento a minha força e disposição na execução deste trabalho.

À Fabiane Regina, pelo companheirismo, incentivo, apoio, carinho, paciência, amor e pelo meu melhor presente (Arthur).

Aos meus queridos pais, irmãos e sobrinho, por todo amor, companheirismo, apoio e incentivo.

Aos meus sogros Fernando e Socorro e meu cunhado Nando que me deram apoio incondicional nessa jornada.

À Professora Célia Campos Braga, minha orientadora, sem a qual, não estaria concluindo este trabalho e por todo apoio durante o mestrado.

Ao Professor Carlos Antônio Costa dos Santos, pelo exemplo de profissionalismo, pelos conselhos, amizade, compreensão e atenção dispensada durante todo o curso.

Ao professor José Ivaldo da Silva Brito pelas sugestões e ensinamentos muito valiosos a todos os seus alunos.

Aos amigos de mestrado que sempre compartilharam conhecimentos e informações e me ajudaram a seguir em frente

A Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados utilizados nesta pesquisa.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior) pela bolsa de estudo oferecida durante o curso.

A todos os professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas pela atenção, amizade, companheirismo e pelos ensinamentos ministrados com zelo e carinho.

A coordenação da Pós Graduação em Meteorologia pela atenção e apoio.

A secretária Divanete Rocha da Cruz pela dedicação ao Programa de Pós Graduação em Meteorologia da UFGC.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Aspectos gerais do clima e principais fenômenos meteorológicos atuantes no Estado do Maranhão	4
3.2 Anomalias de TSM que influenciam na precipitação no Estado do Maranhão	6
3.3 Índice de Precipitação Normalizada – Standardized Precipitation Index (SPI)	8
3.4 Aplicações da técnica do SPI	10
3.5 Análise de Componentes Principais (ACP) e Agrupamentos	14
3.6 Aplicação da ACP e Agrupamentos em dados meteorológicos	14
4 MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Área de estudo	17
4.2 Dados de precipitação e TSM	18
4.3 Metodologia	19
4.3.1 Cálculo do Standardized Precipitation Index (SPI)	19
4.3.2 Análise Fatorial em Componentes Principais	22
4.3.3 Aplicação da ACP ao SPI	24
4.3.4 Análise de Agrupamentos	25
4.3.5 Método dos Mínimos Quadrados	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1 Análises espacial e temporal da precipitação no Maranhão	27
5.1.1 Regiões Homogêneas (RH) da Precipitação	32
5.2 Aplicações da ACP ao SPI-3, SPI-6 e SPI-12 no Maranhão	35

5.2.1	Análise da Variabilidade Sazonal – SPI-3	35
5.2.1.1	Regiões Homogêneas do SPI-3	45
5.2.1.2	Características dos eventos secos e chuvosos para o SPI-3	46
5.2.1.3	Relações entre Anomalias de TSM e médias dos SPI-3	51
5.2.2	Análise da Variabilidade Semestral – SPI-6	51
5.2.2.1	Regiões Homogêneas do SPI-6	61
5.2.2.2	Características dos eventos secos e chuvosos para o SPI-6	62
5.2.2.3	Relações entre Anomalias de TSM e médias dos SPI-6	67
5.2.3	Padrões de variabilidade anual para o SPI-12	68
5.2.3.1	Regiões Homogêneas do SPI-12	74
5.2.3.2	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-12 entre 1987 e 2013 no estado do Maranhão.	75
5.2.3.3	Correlação entre Anomalias de TSM e médias dos SPI-12 nos grupos	76
6	CONCLUSÕES	78
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	APÊNDICES	87

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1	Distribuição espacial dos postos pluviométricos no estado do Maranhão.	17
FIGURA 4.2	Tipos de vegetação do Maranhão e localidades de coletas: 1) Açailândia, 2) Alto Parnaíba, 3) Araguaianã, 4) Carolina, 5) Caxias, 6) Codó, 7) Mirador, 8) Pastos Bons, 9) Paço do Lumiar, 10) Santa Inês, 11) São Bento, 12) São João do Sóter, 13) São Pedro da Água Branca, 14) Vila Nova dos Martírios.	18
FIGURA 4.3	Espacialização dos totais médios anuais da precipitação pluvial para o período de 1987 a 2013 no estado do Maranhão.	19
FIGURA 5.1	Correlações dos três primeiros fatores comuns temporais que explicam 92,8% da variância total dos dados da precipitação no Estado do Maranhão.	27
FIGURA 5.2a	Padrão espacial do primeiro fator comum da precipitação (escores), no Estado do Maranhão para o período de 1987 a 2013.	28
FIGURA 5.2b	Padrão espacial do segundo fator comum da precipitação (escores), no Estado do Maranhão para o período de 1987 a 2013.	29
FIGURA 5.3	Imagem do satélite GOES no canal infravermelho para o dia 12 de novembro de 2012.	29
FIGURA 5.4	Imagem do satélite GOES-10 no canal infravermelho para o dia 6 de julho de 2008 às 20:45 UTC.	30
FIGURA 5.2bc	Padrão espacial do terceiro fator comum da precipitação (escores), no Estado do Maranhão para o período de 1987 a 2013.	31
FIGURA 5.5	Regiões homogêneas da precipitação para estado do Maranhão usando o método aglomerativo de Ward.	32
FIGURA 5.6	Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1987-2013 para as estações da RH1.	33
FIGURA 5.7	Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1987-2013, para estações da RH2.	33
FIGURA 5.8	Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos	34

	desvios padrões no período de 1987-2013, para as estações da RH3.	
FIGURA 5.9	Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1987-2013, para as estações da RH4.	34
FIGURA 5.10	Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1987-2013, para as estações da RH5.	35
FIGURA 5.11a	Padrão espacial da correlação do primeiro fator para o SPI-3 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	36
FIGURA 5.11b	Série temporal do primeiro fator do SPI-3 no período de 1987 a 2013 no estado do Maranhão.	38
FIGURA 5.12 ^a	Padrão espacial da correlação do segundo fator para o SPI-3 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	39
FIGURA 5.12b	Série temporal do segundo fator do SPI-3 no período de 1987 a 2013 no estado do Maranhão.	41
FIGURA 5.13 ^a	Padrão espacial da correlação do terceiro fator para o SPI-3 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	42
FIGURA 5.13b	Série temporal do segundo fator do SPI-3 no período de 1987 a 2013 no estado do Maranhão.	44
FIGURA 5.14	Regiões homogêneas do SPI-3 para o estado do Maranhão no período de 1987 a 2013 usando o método aglomerativo de Ward.	45
FIGURA 5.15 ^a	Padrão espacial da correlação do primeiro fator para o SPI-6 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	52
FIGURA 5.15b	Série temporal do primeiro fator comum espacial do SPI-6 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	54
FIGURA 5.16 ^a	Padrão espacial da correlação do segundo fator para o SPI-6 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	55
FIGURA 5.16b	Série temporal do segundo fator comum espacial do SPI-6 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	57
FIGURA 5.17 ^a	Padrão espacial da correlação do terceiro fator para o SPI-6 no	58

	período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	
FIGURA 5.17b	Série temporal do terceiro fator comum espacial do SPI-6 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	60
FIGURA 5.18	Regiões homogêneas do SPI-6 para o estado do Maranhão no período de 1987 a 2013 usando o método aglomerativo de Ward.	61
FIGURA 5.19a	Padrão espacial da correlação do primeiro fator para o SPI-12 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	68
FIGURA 5.19b	Série temporal do primeiro fator comum espacial do SPI-12 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	70
FIGURA 5.20a	Padrão espacial da correlação do segundo fator para o SPI-12 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	71
FIGURA 5.20b	Série temporal do segundo fator comum espacial do SPI-12 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.	73
FIGURA 5.21	Regiões homogêneas do SPI-12 para o estado do Maranhão no período de 1987 a 2013 usando o método aglomerativo de Ward.	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1	Classificação do SPI para períodos secos e chuvosos.	22
TABELA 5.1	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-3, na RH-1 no período de 1987 a 2013.	47
TABELA 5.2	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-3, na RH-2 no período de 1987 a 2013.	48
TABELA 5.3	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-3, na RH-3 no período de 1987 a 2013.	49
TABELA 5.4	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-3, na RH-4 no período de 1987 a 2013.	50
TABELA 5.5	Correlações entre anomalias de TSM e SPI-3 para as Regiões Homogêneas no estado do Maranhão para nível de significância estatística de 95% (valores sombreados).	51
TABELA 5.6	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-1 no período de 1987 a 2013.	62
TABELA 5.7	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-2 no período de 1987 a 2013.	63
TABELA 5.8	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-3 no período de 1987 a 2013.	64
TABELA 5.9	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-4 no período de 1987 a 2013.	65
TABELA 5.10	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-5 no período de 1987 a 2013.	66
TABELA 5.11	Correlações entre anomalias de TSM e SPI-6 para as Regiões Homogêneas no estado do Maranhão para nível de significância estatística de 95%.	67
TABELA 5.12	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-12, na RH-1 no período de 1987 a 2013.	75
TABELA 5.13	Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-12, na RH-2 no período de 1987 a 2013.	76

TABELA 5.14 Correlações entre anomalias de TSM e SPI-12 para as Regiões Homogêneas no estado do Maranhão para o nível de significância estatística de 95%. 76

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ACP	Análise em Componentes Principais
ANA	Agência Nacional de Águas
AT	Atlântico Tropical
CP	Componentes Principais
CRU	Climate Research Unit
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
ENOS	El Nino Oscilação Sul
EPQ	Estimativas de Precipitação Quantitativa
EUA	Estados Unidos da América
GPPC	Global Precipitation Climatology Center
HS	Hemisfério Sul
HN	Hemisfério Norte
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPER	Índice Padronizado de Evapotranspiração Real
LI	Linhas de Instabilidade
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NEB	Nordeste Brasileiro
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PB	Paraíba
PDSI	Índice de Severidade de Seca de Palmer
RH	Regiões Homogêneas
SPI	Standardized Precipitation Index
SQD	Soma dos Quadrados dos Desvios
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul

RESUMO

O estado do Maranhão está localizado numa zona de transição entre o semiárido nordestino, a Amazônia quente e úmida e os chapadões do Brasil central, dando ao Estado características peculiares. Porém, apresenta condições climáticas bem definidas, com inverno normalmente seco e chuvas predominantes no outono e verão. Considerando a importância de detectar e precisar as anomalias de chuva no estado, o presente trabalho objetiva definir padrões espaciais e correlações temporais da precipitação e do Standardized Precipitation Index - SPI nas escalas de tempo de 3, 6 e 12 meses. Para isso, empregou-se o método da análise fatorial em Componentes Principais. A partir dos fatores comuns selecionados encontraram-se as regiões homogêneas nas diferentes escalas do SPI. Para cada região homogênea dos SPI foram caracterizados os eventos secos e chuvosos, assim como quantificadas as frequências dos mesmos no Estado do Maranhão. Também foi encontrada a relação entre os eventos secos e chuvosos com os possíveis sistemas meteorológicos atuantes na região. Os resultados mostraram que a maior incidência de secas ocorreram no sul e as maiores de chuvas foram registradas no norte do estado do Maranhão. Na escala sazonal do SPI o estado foi dividido em quatro regiões homogêneas (RH), as regiões do norte e noroeste apresentaram boas correlações com as anomalias de TSM do Oceano Pacífico e Atlântico Tropical Sul. Na escala semestral encontraram-se cinco RH do SPI, com padrão similar ao regime pluviométrico médio mensal, confirmando que o estado apresenta duas estações no ano bem definidas. Para o SPI-12, o Estado foi dividido em duas regiões (Norte-Sul). Os maiores períodos de eventos secos (chuvosos) corresponderam aos períodos de eventos fortes de El Niño (La Niña). Observou-se ainda, que as chuvas na região são propiciadas na sua maioria pela atuação de diversos sistemas meteorológicos, tais como, Zona de Convergência Intertropical, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, Zona de Convergência do Atlântico Sul e Sistemas Frontais.

Palavras-chave: Regime pluviométrico, Standardized Precipitation Index (SPI), Análise Multivariada.

ABSTRACT

The state of Maranhão is located in a transition zone receiving climatic influences the semi-arid northeast, the hot and humid Amazon and plateaus of central Brazil, giving the State peculiar characteristics. However, it has well-defined climatic conditions, with normally dry winter and rains prevalent in the fall and summer. Considering the importance of detecting and need rain anomalies in the state, this study aims to define spatial patterns and temporal correlations of precipitation and the Standardized Precipitation Index - SPI in 3 time scales, 6 and 12 months. For this, we used the method of factor analysis in principal components. From the common factors selected met the homogeneous regions in different scales of the SPI. For each homogeneous region of SPI were characterized dry and rainy events, as well as quantified the frequency of the same in the state of Maranhão. Also found the ratio of dry and wet events with the possible weather systems operating in the region. The results showed the highest incidence of dry occurred in the South and the highest rainfall were recorded in the northern state of Maranhão. In seasonal scale SPI the state was divided into four homogeneous regions (RH), The results showed the highest incidence of dry occurred in the South and the highest rainfall were recorded in the northern state of Maranhão. In seasonal scale SPI the state was divided into four homogeneous regions (RH) the northern and northwestern regions showed good correlation with SST anomalies in the Pacific and the Atlantic Ocean South. In the six months scale met five HR the SPI, with similar pattern the average monthly rainfall, confirming the state has two stations in well defined year. For the SPI-12, the state was divided into two regions (north-south). The longer periods of dry events (rainy) corresponded to periods of strong event El Niño (La Nina). It was also observed, the rains in the region are afforded mostly by the performance of various weather systems, such as, the Intertropical Convergence Zone, cyclonic vortices of High levels, South Atlantic Convergence Zone and Frontal Systems.

1 – INTRODUÇÃO

No estado do Maranhão predomina clima tropical com temperaturas médias anuais superiores a 26°C e índices pluviométricos anuais que variam desde aproximadamente 700 mm na região central a superior a 2200 mm na região norte. Um fator condicionante do clima do Estado é a sua posição geográfica situada numa zona de transição que recebe influências do complexo amazônico, ao norte e noroeste, onde o clima tende a ter características equatoriais (quente e úmido), e outra na região semiárida do Nordeste Brasileiro – NEB dando ao estado características peculiares. A grande extensão territorial no sentido latitudinal contribui anualmente para a atuação de diferentes sistemas meteorológicos, contando ainda com a influência das condições dos Oceanos Atlântico e Pacífico Tropical. Outro aspecto responsável por essa variabilidade está relacionado à diversidade de ecossistemas que compõem o seu espaço geográfico, onde são encontradas áreas com formações de floresta, várzeas, cerrado, manguezais, dunas e chapadões. (MENEZES, 2009).

A distribuição espacial e temporal da precipitação por ser um dos elementos climáticos mais importantes na região precisa ser melhor compreendida. Contudo, entender essas distribuições em uma região, requer uma boa gama de dados observacionais de longo prazo. Neste sentido este estudo aplica a precipitação pluvial técnicas estatísticas apropriadas, que possibilitam conhecer e entender os aspectos climatológicos da precipitação em diferentes escalas temporal. Assim, com o monitoramento do regime climático da precipitação no Maranhão, as tomadas de decisões que minimizem os impactos associados a um período extremamente chuvoso ou seco serão facilitadas. Esse conhecimento permite ações planejadas, que torna possível a racionalização no uso dos recursos disponíveis, evitando com isso, perdas decorrentes da improvisação na busca das soluções.

Diante dos inúmeros trabalhos de pesquisas realizados para quantificar, monitorar e avaliar a distribuição das chuvas em diversas regiões do globo, McKee et al. (1993) propuseram o Standardized Precipitation Index – SPI, para quantificar o excesso e déficit de precipitação em diversas escalas de tempo e separar as regiões com características climáticas distintas. Devido a sua flexibilidade esse índice tem se tornado um forte aliado no monitoramento de secas em todo mundo sendo recomendado pela Organização

Meteorológica Mundial – OMM (SILVA et al., 2005; SEQUEIRA, 2006; BLAIN & BRUNINI, 2007; SUBASH & MOHAN 2011). O seu cálculo é dado pela diferença entre a precipitação observada e a média climatológica dividida pelo desvio padrão, num determinado período de tempo. Tecnicamente, o SPI corresponde ao número de desvios padrão de que a precipitação cumulativa observada se afasta da média climatológica para uma variável aleatória distribuída normalmente. Como a precipitação não segue uma distribuição normal aplica-se inicialmente uma transformação tal que os valores transformados tenham distribuição gaussiana.

O SPI apresenta uma vantagem em relação aos demais índices, por exemplo, Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) porque utiliza apenas dados mensais de precipitação, ou seja, não se faz necessário a utilização de outras variáveis meteorológicas na detecção de eventos secos e chuvosos. Com o monitoramento da ocorrência de secas e chuvas pode-se diagnosticar e evitar consequências graves à população local e regional. Os índices diagnosticam os períodos secos ou úmidos em uma área pontual ou regional a partir de equações empíricas. Atualmente, o SPI é amplamente utilizado para monitorar secas nos Estados Unidos da América – EUA, Argentina, Cuba, Brasil, dentre outros (ALTAMIRANO, 2010).

Considerando a importância de detectar e precisar as anomalias de chuva, este estudo propõe utilizar a análise multivariada e o SPI para espacializar e quantificar a ocorrência de eventos secos e chuvosos no Estado do Maranhão, a partir de series de dados pluviométricos, assim como relacioná-los com os possíveis sistemas meteorológicos atuantes no estado.

2 – OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo encontrar padrões espaciais e temporais da precipitação de eventos secos e chuvosos, assim como quantificar as frequências dos mesmos em diferentes escalas de tempo (3, 6 e 12 meses) no Estado do Maranhão no período de 1987 a 2013.

2.2 Objetivos Específicos

Verificar os padrões de precipitação pluvial no estado do Maranhão utilizando técnicas estatísticas da análise em multivariadas e relacioná-los com os principais fenômenos meteorológicos atuantes;

Construir séries temporais do Standardized Precipitation Index (SPI) nas escalas de 3, 6 e 12 meses para o estado do Maranhão;

Definir padrões sazonais, semestrais e anuais da variabilidade espacial e temporal do SPI no estado do Maranhão utilizando técnicas estatísticas da análise em multivariadas;

Analisar as frequências dos eventos secos e chuvosos nas diferentes escalas de tempo (3, 6 e 12 meses) em Regiões Homogêneas (RH) do SPI predeterminadas anteriormente.

Examinar a atuação dos principais fenômenos meteorológicos responsáveis pelas chuvas no Maranhão sobre os eventos de precipitação observados nas diferentes Regiões Homogêneas do SPI.

Correlacionar as séries temporais do SPI nas RH com as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical (AT).

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos gerais do clima e principais fenômenos meteorológicos atuantes no Estado do Maranhão

No Maranhão, existem três tipos distintos de clima: o tropical superúmido de monção, o tropical com chuvas de outono e o tropical com chuvas de verão. Por conta da grande distância entre seus extremos Norte/Sul e Leste/Oeste o estado sofre influências de distintos sistemas atmosféricos a depender da área e época do ano.

Os principais sistemas de precipitação atuantes no Maranhão são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Sistemas frontais. As anomalias de TSM também influenciam na variação da precipitação na região, dentre elas destacam-se os eventos de El Nino/La Nina, e o resfriamento/aquecimento das águas da superfície do Oceano Atlântico Tropical (AT).

A ZCIT é o sistema meteorológico mais importante na determinação do total da precipitação no setor Norte do Nordeste do Brasil. Esta se caracteriza pela presença de áreas de nebulosidade convectivas constituídas por aglomerados convectivos de mesoescala. É resultante da interação da confluência dos alísios de sudeste e nordeste, resultando em movimento ascendente do ar com alto teor de vapor d'água (SOUZA & CAVALCANTI, 2009). A ascensão desses ventos provoca um resfriamento em níveis mais altos, perdendo umidade por condensação e precipitação, e ocorre em altitude um movimento em sentido contrário até a zona dos cinturões anticiclônicos, onde se tem movimento subsidente aquecendo-se para formar novamente os alísios. Esta célula que se forma é chamada de Hadley (FERREIRA, 1996). No estado do Maranhão a ZCIT tem atuação nos meses de março, abril e maio.

Os VCAN provocam alteração no tempo e podem dependendo de sua intensidade e duração causar graves transtornos locais e regionais. Estes são sistemas de circulação ciclônica definido como sistema de baixa pressão em escala sinótica, ocorre de forma muito irregular em termo de seu posicionamento podendo produzir tanto chuvas intensas como estiagens. As chuvas ocorrem nas bandas de nebulosidade de sua periferia, enquanto que no centro, o movimento subsidente inibe a formação de nuvens e pode atuar durante o período

de duas a três semanas (KOUSKY & GAN, 1981). Os VCAN que penetram no NEB se formam no Oceano Atlântico sul (20°W - 45°W) entre os meses de setembro e abril e ocorrem em maior número nos meses de verão, principalmente no mês de janeiro. Quando penetra no Brasil produz tempo bom na região sul e central do Nordeste e chuvas no setor norte do Nordeste (GAN & KOUSKY, 1986).

O tempo de vida médio dos VCAN pode durar apenas algumas horas ou perdurar por um período de até mais de duas semanas. A formação desses sistemas ciclônicos coincide com a época do ano onde o escoamento em altos níveis (200 hPa) apresenta-se meridional, de sul a norte, sobre o Brasil a leste do meridiano de 50° W (FIGUEROA et al., 1994). No verão o intenso aquecimento do continente causa desenvolvimento de um anticiclone (Alta da Bolívia) sobre a América do Sul tropical, e um cavado no Oceano Atlântico próximo ao litoral nordeste do Brasil, nos altos níveis. A intensidade do anticiclone sobre o continente em 200 hPa, determina a formação dos vórtices ciclônicos sobre o oceano (LYRA et al., 2014).

A ZCAS pode ser considerada como o principal sistema de grande escala responsável pelo regime de chuvas sobre o Brasil durante o verão austral. É caracterizada como uma banda de nebulosidade que se estende do Noroeste da Amazônia até o Atlântico Sul Central no sentido noroeste-sudeste (KOUSKY, 1988). A melhor forma de identificá-la é através de imagens de satélites ou em padrões de distribuição de radiação de onda longa (CARVALHO et al., 2004). As observações indicam que ela tende a se posicionar mais ao norte no início do verão, deslocando-se posteriormente para o sul, podendo variar de 10 a 15 graus de latitude. Isto resulta em situações distintas para determinados locais, conforme a região onde ela estaciona. Ela é uma zona de convergência em uma camada inferior úmida, espessa e baroclínica que está localizada na fronteira de massas de ar tropical úmida, em regiões de forte gradiente de umidade em baixos níveis, com geração de instabilidade convectiva por processo de advecção diferencial (FERREIRA & CHAO, 2012).

Em sua formação sofre influências remotas como a convecção na Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) que modulam o início, duração e localização da ZCAS e fatores locais como a convecção na região amazônica e o efeito local dos Andes (FIGUEROA et al., 1994; GANDU & GEISLER, 1991). As variações da ZCAS podem ser

atribuídas às frentes (escala sinótica), mudanças dentro de uma estação (escala intra-sazonal), El Nino e La Nina (escala interanual), variações nas temperaturas do oceano em longo tempo (escala interdecadal), dentre outros.

As frentes frias são regiões de descontinuidade térmica separando duas massas de ar de características diferentes. São delgadas zonas de transição entre uma massa de ar quente (menos densa) e uma massa de ar frio (mais densa). Elas possuem curvatura ciclônica e nuvens convectivas com topos altos e frios quando fortes e ativas. A penetração de sistemas frontais no NEB ocasiona prolongados períodos de chuvas no centro-sul da Bahia e no sul do estados do Piauí e Maranhão e desempenham um importante papel no seu regime de precipitação cujo máximo é atingido durante os meses de novembro e janeiro. Nos mesmo período os máximos de precipitação são observados na parte Sul do Maranhão (MENEZES, 2009).

3.2 Anomalias de TSM que influenciam na precipitação no Estado do Maranhão

Dentre as anomalias de TSM que influenciam as chuvas no estado do Maranhão destacam-se os eventos de El Nino/La Nina e as anomalias no Atlântico Tropical (AT). O El Nino Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de interação oceano-atmosfera, que possui duas fases, a fase fria (La Nina) e fase quente (El Nino). As condições de El Nino associam-se ao aquecimento anômalo em grande-escala nas águas oceânicas sobre o Pacífico Equatorial centro-leste, perdurando por pelo menos cinco meses entre o verão e outono. Inversamente, as condições de La Nina se relacionam com o resfriamento anormal das águas oceânicas equatoriais sobre a bacia centro-leste do oceano Pacífico equatorial (TRENBERTH, 1997).

Kousky et al. (1984) detalharam a forma de como o fenômeno El Nino influencia na precipitação da região Amazônica, mostrando que as anomalias sobre a América do Sul estão associadas principalmente ao deslocamento da célula de Walker, do fortalecimento do jato subtropical e de uma possível sequência de ondas que se estende do Pacífico até o sul da América do Sul. O deslocamento da célula de Walker, para leste, tem influência sobre o nordeste do Brasil e parte da Amazônia, regiões que ficam sobre o ramo descendente dessa célula. O fenômeno La Nina ocorre quando há anomalias negativas da TSM sobre as águas do Oceano Pacífico Centro-Leste, alísios mais intensos que o normal que intensificam a

célula de Walker, então influenciam no aumento do volume de precipitação sobre a região Norte (SOUZA et al., 1998).

Por sua vez, vários trabalhos evidenciam as fortes relações entre a precipitação no Nordeste Brasileiro (NEB) com anomalias no AT. Modelagem e estudos observacionais têm mostrado que essas relações ocorrem através de associações entre as anomalias de TSM no AT e os deslocamentos meridional da ZCIT. O padrão dominante do modo de variabilidade do AT é caracterizado por anomalias zonais simétricas coerentes de TSM, o vento de superfície, e o fluxo organizado de calor da superfície do oceano na direção meridional (NOBRE & SHUKLA, 1996). Esta variabilidade está atribuída a interações oceano-atmosfera com uma realimentação positiva entre o fluxo de calor da superfície e as anomalias de TSM (CHANG et al., 1997). O gradiente térmico que cruza o equador afeta a posição da ZCIT, que por sua vez afeta a variabilidade da precipitação no NEB. A excursão meridional sazonal da ZCIT do Atlântico para o Hemisfério Sul (HS) pode ser atrasada durante a estação chuvosa (de março a maio) no NEB, devido à presença de anomalias positivas de TSM do AT Norte, resultando assim, em secas no NEB. Por outro lado, a presença de anomalias positivas de TSM no AT Sul favorece o deslocamento para sul da ZCIT, que em casos extremos pode causar inundações.

Andreolli e Kayano (2006) analisaram a influência do AT e do Oceano Pacífico na precipitação do NEB durante o verão austral, os resultados mostraram que sob condições neutras do ENOS, o efeito isolado da variabilidade da TSM no AT Sul sobre a chuva no NEB é mais pronunciado e estatisticamente mais significativo para o AT Sul quente durante março, abril e maio. Neste caso, as anomalias de TSM no AT Sul são responsáveis pelo posicionamento anômalo da ZCIT, o que afeta a precipitação no NEB. Para o AT Sul Frio, os ventos de sudeste intensificaram-se durante dezembro, janeiro e fevereiro inibindo o deslocamento da ZCIT para Sul, causando chuvas reduzidas sobre o NEB. Andreolli e Kayano (2006) também examinaram o efeito combinado das anomalias de TSM no Pacífico tropical e AT Sul na variabilidade da precipitação sobre o NEB, considerando as mesmas condições de TSM em ambas as bacias (quente ou frio). Concluiu-se que o El Niño (La Niña) favorece condições secas (úmidas) no NEB, enquanto o AT Sul Quente (AT Sul Frio) favorece condições úmidas (secas). Além disso, os compostos de precipitação no NEB para La Niña e AT Sul Frio apresentam anomalias negativas no setor norte do NEB,

que mostram grandes magnitudes significativas durante março, abril e maio. Neste caso, a variabilidade local da TSM no AT Sul é dominante forçando à variabilidade da precipitação no NEB. Em algumas situações o Pacífico tropical pode ter uma influência secundária na variabilidade da precipitação no NEB enquanto o AT Sul determina a variabilidade climática na região. Assim, o monitoramento das anomalias de TSM sobre o AT Sul é essencial para fins de previsão climática na região.

3.3 Índice de Precipitação Normalizada – Standardized Precipitation Index (SPI)

O Standardized Precipitation Index (SPI) que traduzido significa “Índice de Precipitação Normalizada” foi desenvolvido por McKee et al. (1993) com o objetivo de monitorar e analisar a seca em diferentes escalas de tempo, utilizando apenas dados mensais de precipitação no estado do Colorado nos Estados Unidos da América (EUA). Segundo os autores o índice se baseia na padronização da precipitação, correspondendo ao desvio da precipitação em relação à média, representando o número de desvios-padrão que o valor observado se desvia em relação à média de uma variável. Conceitualmente, o SPI está relacionado ao número de desvios padrão que a precipitação acumulada para uma determinada série de tempo (1 mês, 3 meses, 6 meses, 12 meses, etc) se afasta da média climatológica para uma variável aleatória com distribuição normal. A cada valor de SPI, que é diretamente proporcional ao déficit de precipitação está associado à sua probabilidade de ocorrência (ALTAMIRANO, 2010). O uso do SPI não é afetado por fatores topográficos e tem validade em todas as localidades (LANA et al., 2001).

Para o cálculo do SPI, faz-se necessário uma distribuição normal, como a precipitação não apresenta tal distribuição aplica-se uma transformação de modo que a média do SPI para uma determinada região e período assuma valor zero. Com isso, os valores positivos (negativos) do SPI indicarão precipitação acima (abaixo) da mediana. Nesse contexto o SPI é capaz de identificar eventos secos e chuvosos para múltiplas escalas de tempo.

As principais vantagens do uso do SPI consistem na simplicidade, pois é baseado unicamente na precipitação evitando a dependência das condições de umidade do solo (HAYES et al., 1999); na independência da topografia da área de estudo; na capacidade de monitorar períodos secos e chuvosos em uma ampla escala de tempo de 1 a 72 meses

(TURKES & TATLI, 2009); e na sua padronização, que garante que a frequência de eventos em qualquer local e a qualquer escala de tempo sejam consistentes (ALTAMIRANO, 2010).

Dentre as desvantagens do SPI três merecem destaques, sendo a primeira hipótese de que uma adequada distribuição de probabilidade teórica pode ser encontrada para modelar os dados de precipitação antes de padronizar. Um problema associado é a quantidade e confiabilidade dos dados utilizados para ajustar a distribuição (MCKEE et al., 1993). A segunda provém da necessidade de se aplicar o SPI em longas escalas de tempo em regiões com baixa precipitação sazonal, quando aplicado em escalas de tempo de curta duração os resultados podem apresentar valores elevados positivos e negativos (HAYES et al., 1999). O terceiro fator de desvantagem decorre da natureza do índice padronizado propriamente dito; a saber, que as secas extremas (ou qualquer outro limiar de seca) medido pelo SPI, quando considerados por um longo período de tempo, irá ocorrer com a mesmas frequências em todos os locais.

Quando proposto, o SPI visava à classificação de eventos secos, porém outros autores o utilizaram na detecção de eventos chuvosos, dentre eles: Lana et al. (2001) analisaram os comportamentos espaciais e temporais de escassez de chuvas e excesso para a região da Catalunha (Espanha NE), no mesmo ano Wu et al. (2001) avaliaram o SPI, CZI e Z -Score em 1 -, 3 -, 6 -, 9 - em escalas de tempo de 12 meses usando os totais de precipitação mensal para quatro locais na China de janeiro 1951 a dezembro de 1998 representando climas úmidos e áridos, e os casos de secas e enchentes.

Kangas e Brown (2007) analisaram as características espaciais e temporais de precipitação anômala em todas as regiões dos Estados Unidos para obter uma maior compreensão dos regimes pluviais, incluindo intensidade, duração e cobertura espacial com base em um conjunto de dados de precipitação de alta resolução.

Mckee et al. (1993) usando o SPI como o indicador de seca para qualquer escala de tempo, definiu que a seca começa quando o SPI cai abaixo de zero e atinge intensidade -1,0 e termina com o valor positivo de SPI.

3.4 Aplicações da técnica do SPI

Bonaccorso et al. (2003) analisaram as secas na Sicília (Itália) através do SPI. Foram usados dados de reanálises de NCEP/NCAR e dados observados de 43 pluviômetros distribuídos uniformemente sobre a região. Os autores estudaram a variabilidade das secas a longo prazo com a técnica de ACP. Os resultados sugerem que a ilha inteira é caracterizada por uma variabilidade nas secas com flutuações multianuais e uma tendência para períodos secos a partir da década de setenta. No entanto, algumas discrepâncias na magnitude da variabilidade entre as duas séries de tempo mencionadas ocorrem. Isto pode está associado à sensibilidade da precipitação observada e as flutuações climáticas locais. Apesar destas falhas, o estudo sugere que a utilização de dados meteorológicos, que tem baixa resolução espacial, pode dar informações sobre a ocorrência da seca, concordando de uma forma geral com as observações locais.

Sansigolo (2004) fez análise comparativa das principais características espectrais simples e cruzadas dos índices de seca PDSI e SPI em Piracicaba-SP, no período de 1917 a 2001. Visando também, por meio de uma climatologia desses índices, a obtenção das características dos principais eventos secos e chuvosos no período considerado. Os resultados mostraram uma boa concordância entre as séries das médias móveis anuais desses índices e que o PDSI e os SPI entre 1 e 60 meses são linearmente relacionados.

Blain (2005) analisou a variabilidade da série temporal do SPI mensal em Campinas entre os anos de 1890 a 2007. A análise em ondeletas indicou uma variabilidade na escala de três a quatro anos nos picos de potência da série temporal do SPI. Esses picos foram especialmente devido a variabilidades localizadas nos anos de 1920, 1940, 1970 e 1990. De acordo com os autores a capacidade de padronizar déficits/excessos de precipitação pluvial oriundos de distribuições com formas ou escalas consideravelmente distintas, além de conferir ao SPI uma importante característica no monitoramento e conseqüentemente na mitigação do fenômeno seca, torna esse índice uma interessante alternativa na investigação de forçantes condicionantes/moduladora do clima, especialmente as relacionados ao evento seca de determinada região.

Vicente-Serrano (2006) analisou com o SPI a estabilidade dos padrões espaciais de seca em função das escalas de tempo. O cenário para o estudo foi a Península Ibérica (Espanha e Portugal), uma área com padrões de precipitação complexos e secas frequentes.

Para a análise da seca, foram utilizadas 51 séries de precipitação com dados entre 1910 e 2000 obtidos do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos em Portugal e do Instituto Nacional de Meteorologia da Espanha. Foi verificado que o comportamento espacial dos índices de seca na Península Ibérica também deve ser testado em outras regiões em que a variabilidade climática não é tão alta, para determinar com mais precisão a sua utilidade. Ele constatou que o SPI tem ferramentas eficazes no tocante ao controle e mitigação da seca.

Blain e Brunini (2007) analisaram as comparações dos índices SPI, PDSI e PDSI adaptado para o Estado de São Paulo. Eles concluíram que, o SPI deve ser utilizado na análise dos riscos e mitigação da seca, devido a sua versatilidade, consistência espacial e a fácil interpretação de seus resultados. Já no estudo de Blain e Brunini (2007b), os autores compararam os índices SPI, PDSI adaptado e Índice Padronizado de Evapotranspiração Real (IPER) para São Paulo. Eles concluíram, que os índices que quantificam a seca sob o ponto de vista meteorológico (SPI e PDSI adaptado) são restritos a escalas temporais maiores ou iguais à mensal. Em pequenos intervalos de tempo (10 dias, por exemplo), a grande variabilidade temporal da precipitação dificulta o estabelecimento de um patamar esperado e consistente, que possa ser usado no cálculo de uma possível anomalia ou déficit.

Li et al. (2008) através de dados do Climate Research Unit (CRU) observaram que o SPI sobre a região sul da Amazônia diminuiu no período 1970-1999, o que indica um aumento em condições secas. Verificou-se nesse estudo uma baixa probabilidade nas tendências devido à variabilidade do clima interno. Os resultados sugerem uma possível influência antrópica no aumento de eventos de seca na região amazônica no final do século XX. A maioria dos modelos utilizados não projeta alterações na frequência de ocorrência de baixos valores de SPI, porém, aqueles modelos que produzem uma tendência negativa do SPI projetam valores ainda mais negativos do SPI no futuro.

Vidal e Wade (2009) apresentaram uma avaliação detalhada dos futuros padrões de chuva/seca sobre o Reino Unido. Os resultados mostraram que os invernos serão mais úmidos, porém as secas severas e extremas (12 e 24 meses) ainda serão uma característica do Reino Unido e que a frequência e magnitude de eventos extremos secos podem aumentar até o final do século (SPI<2).

Zhai et al. (2010) utilizaram o PDSI e o SPI na China para o período de 1961- 2005. Os resultados mostram que as frequências de ambos os anos secos e chuvosos para todo o período são menores para as bacias do sul comparados com as do norte, quando estimados pelo PDSI, mas muito semelhante para todas as bacias, quando calculados pelo SPI. Os resultados confirmam que PDSI e índices de SPI podem ser usados para descrever a tendência dos extremos de chuva e de seca.

Macedo et al. (2011) realizaram uma análise da variabilidade temporal das chuvas e secas em diferentes escalas temporais na cidade de Campina Grande – PB. Para tanto foi utilizada uma série histórica de totais mensais precipitados entre os anos de 1962 e 2009 observados na estação da Embrapa do município em estudo, para o cálculo do índice SPI nas escalas temporais de 1, 3, 6, 12 e 24 meses. Os resultados revelaram que os SPI's analisados não detectaram, segundo a intensidade média, categorias de secas e chuvas extremas na cidade de Campina Grande. A categoria mais frequente entre os SPI's foi à de chuva normal. Em termos quantitativos as chuvas anuais na cidade de Campina Grande sempre ocorrem em torno do valor esperado. Essa esperança matemática ocorre com maior frequência pelo lado negativo da escala em torno do valor médio. Esse é o motivo da característica semiárida da cidade. Os anos que apresentaram maiores e menores índices de pluviometria foram detectados pelo SPI-12 meses e guardam uma boa relação com os eventos de La Nina e El Nino, respectivamente, revelando uma boa representatividade em relação às condições reais da pluviometria local. As secas dos períodos de 1968 a 1971, de 1968 a 1971, de 1988 a 1989 e de 1997 a 2000 foram identificadas por todos os SPI's estudados. Da mesma forma, os períodos de 1963 a 1969 e de 2004 a 2005 foram detectados como chuvosos por todos os SPI's.

Guedes et al. (2012) utilizaram o SPI, em diferentes escalas temporais para identificar e quantificar a intensidade e duração das secas ocorridas no Estado do Piauí. Foi analisada a relação entre as secas e sub-regiões delimitadas pelos métodos de agrupamentos K-means e Ward. Apenas alguns eventos de seca permaneceram nas escalas maiores do SPI 12 e 24 meses, sendo que a maioria deles ocorreu entre as partes centrais e sul do Estado. A comparação de eventos de seca com os de El-Nino mostrou que há correlação positiva entre eles, principalmente quando se trata dos eventos de seca mais intensos.

Spinoni et al. (2013) apresentaram os mapas de frequência global de seca, duração e severidade para os períodos 1951-1970, 1971-1990 e 1991-2010. Os autores escolheram o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) como o indicador de base para derivar quantidades relacionadas com a seca. O SPI-12 foi calculado sobre uma base mensal usando uma distribuição Gama equipado com um período inicial de 60 anos (1951-2010). Os dados foram extraídos da Reanálise do Global Precipitation Climatology Center (GPCC) em pontos de grade de $(0,5^\circ \times 0,5^\circ)$. As regiões mais expostas a secas prolongadas e graves durante 1951-1970 ocorreram na parte Central dos Estados Unidos, nos Pampas argentinos, na Rússia e Austrália central; durante 1971-1990 ocorreram no sul do Chile, no Sahel e na Sibéria; durante 1991-2010 os locais mais atingidos foram a Floresta Amazônica, a Bacia do Rio Congo, a Mongólia, a região Nordeste da China, e Bornéu. A análise de tendência linear entre 1951 e 2010 mostra um pequeno aumento global em cada componente da seca, mas a frequência de secas diminuiu no Hemisfério Norte. O aumento da frequência de secas, a duração e a gravidade são vistos de forma mais significativas na África, Ásia Oriental, região do Mediterrâneo, e do sul da Austrália, enquanto as Américas e Rússia mostram uma diminuição em cada componente da seca.

Kim et al. (2014) estimaram a distribuição espacial das áreas com potenciais de risco de seca na Coreia pela análise de frequência de condução com o (SPI), os autores fizeram uma previsão das mudanças no potencial das secas nas áreas de risco que surgiram por causa das mudanças climáticas. Utilizaram no estudo dados observados de precipitação no período compreendido entre 1976 e 2010 e dados de precipitação projetados de 2011 a 2099. Foram analisadas a severidade, duração e frequência das secas. A análise da distribuição espacial para as potenciais áreas de risco de seca mostrou que a seca na bacia do rio Nakdong, que era uma área de perigo de seca frequente no passado, foi mais agravada, e secas mais severas foram previstas para o futuro na bacia do rio Han (Han River, Anseong Corrente, Oeste do Rio Han), que está localizado na parte central do país. A partir da análise, a seca mais grave é esperada por toda a Península da Coreia, no futuro. Os autores verificaram também que as áreas com maiores potenciais de secas migrariam do Sul para o Leste e centro do país no futuro próximo.

3.5 Análise de Componentes Principais (ACP) e Agrupamento

A Análise de Componentes Principais é um método que tem por finalidade básica, a análise dos dados usados visando sua redução, eliminação de sobreposições e a escolha da forma mais representativa de dados a partir de combinações lineares das variáveis ortogonais. A técnica da ACP é um ramo da análise multivariada que possibilita levantar questões específicas de considerável complexidade em cenários naturais. Isso viabiliza a condução de pesquisas teoricamente importantes e a avaliação dos efeitos de variações paramétricas que naturalmente ocorrem no contexto em que elas normalmente aparecem. A ACP é um método estatístico que reduz o número de variáveis originais relacionadas entre si em um pequeno número de novas variáveis linearmente correlacionadas que explicam a maior parte da variância total dos dados (BONACCORSO et al., 2003).

O resultado da análise fornece dois parâmetros: cargas fatoriais (correlações), que correspondem aos autovetores da matriz da ACP e indica a principal direção da variação dos dados, isto é, o modo principal como os dados variam no espaço; e os escores ou Componentes Principais (CP), que indica a variação temporal dos dados para cada modo. O primeiro modo é uma combinação linear normalizada das variáveis originais e representa a máxima fração ou porcentagem da variância explicada o segundo modo é ortogonal ao primeiro e o segundo em importância, e assim sucessivamente (WILKS, 2006). São vários os estudos que abordam a técnica para fins ambientais.

3.6 Aplicação da ACP e Agrupamento em dados meteorológicos

Bhowmik e Roy (2006) aplicaram ACP para investigar a variabilidade espacial dos erros das Estimativas de Precipitação Quantitativa (EPQ) do INSAT na região das monções indianas. Mostraram que os erros das EPQ têm alguma variabilidade espacial, e que as chuvas orográficas são subestimadas. A primeira componente principal corresponde à fase inicial das monções. A segunda componente principal representa a presença positiva intermitente do sistema de baixa pressão na parte central do país. A terceira componente principal está associada com o cavado de monção em sua posição normal, e a quarta componente principal, está associada com o cavado de monção na posição sul.

Fragoso e Gomes (2008) aplicaram ACP em dados de chuva para identificar padrões espaciais de precipitação associados aos eventos intensos de chuva no sul de Portugal. Os resultados evidenciaram que na região do Algarve as chuvas de forte caráter torrencial foram mais frequentes. A maior frequência de dias com chuvas ocorre no outono e no início do inverno. Através da combinação da ACP e do método de agrupamento K-means, quatro diferentes padrões de precipitação foram identificados, e cada um apresenta uma especificidade. Cinco tipos de sistemas de circulação foram identificados, indicando uma diversidade considerável entre as condições de circulação atmosférica em grande escala, que são favoráveis à ocorrência de chuvas torrenciais no sul de Portugal.

Santos et al., (2010) usaram ACP afim de encontrar relações entre padrões atmosféricos específicos, temporal e espacial da precipitação e formação de cheias no semiárido da bacia do Rio São Francisco em 1985. Com um modelo de três componentes ficou bem representado a estrutura das variáveis, retendo 60% da variância total. A atuação dos VCAN e da ZCIT foi determinante para o desenvolvimento de sistemas precipitantes intensos e ocorrência de inundações nos meses de janeiro e abril de 1985.

Pampuch e Ferraz (2011) apresentaram o estudo de um modo de variabilidade que influencia a precipitação no Sul do Brasil chamado Modo Sul de precipitação. Foi mostrado que a ocorrência de máximos e mínimos do Modo Sul de precipitação pode estar relacionada à ocorrência de eventos extremos no Rio Grande do Sul, como vendavais, enchentes, granizo e estiagens. Utilizando a análise de componentes principais em dados de precipitação diária filtrados na banda 10-50 dias, foram encontrados campos espaciais e temporais que representam a máxima variância de determinadas variabilidades, e neles são detectados Modos de Variabilidade de precipitação. Desta maneira, foi possível determinar este modo de variabilidade, que aparece bem configurado na região do Rio Grande do Sul. A série de componentes principais foi usada para a determinação desses eventos. Foi possível identificar que os eventos extremos chuvosos ocorreram em maior número do que os eventos extremos secos.

Amanajás e Braga (2012) através do método da ACP analisaram os principais padrões climatológicos da precipitação na Amazônia Oriental e relacionou-os com os principais mecanismos climáticos dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical. Os resultados obtidos pela ACP mostraram a existência de três padrões pluviométricos bem definidos que

explicaram aproximadamente 92% da variância total dos dados. O padrão dominante definiu áreas de chuva que são influenciadas pela atuação da ZCIT. O segundo padrão espacial está associado a eventos de mesoescala, tal como as LI que favorecem as chuvas na região nos meses de maio a agosto. Já o terceiro padrão espacial evidencia a influência da atuação da ZCAS, sistema atuante no final da primavera e início do verão, bem como sistemas de escala local.

Jones et al. (2014) utilizaram a ACP para apresentar uma representação das regiões que descrevem especificamente as características espaciais e temporais de chuvas extremas no Reino Unido. Os resultados confirmaram as tendências encontradas por outros autores, com o aumento do tempo de duração das chuvas nas últimas décadas no norte e oeste, e reduções no Sul. Os mesmos refletiram bem a climatologia da precipitação na região do estudo.

4 – MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O Estado do Maranhão está localizado na região Nordeste do Brasil, fazendo fronteiras com os estados brasileiros do Piauí a Leste, do Tocantins a Sul e Sudoeste, do Pará a Oeste, além do Oceano Atlântico a Norte. Possui uma área de aproximadamente 331.937,450 km², sendo o segundo maior estado da região. Cerca de 75% do seu território apresenta altitudes inferiores a 200m e 10% superiores a 300m, conforme mostrado na Figura 4.1. Em relação à vegetação, esta apresenta-se de forma bastante diversificada, com a presença massiva da floresta amazônica no setor noroeste; cerrado do setor sul e campos, manguezais e vegetação de restinga no setor norte (Figura 4.2).

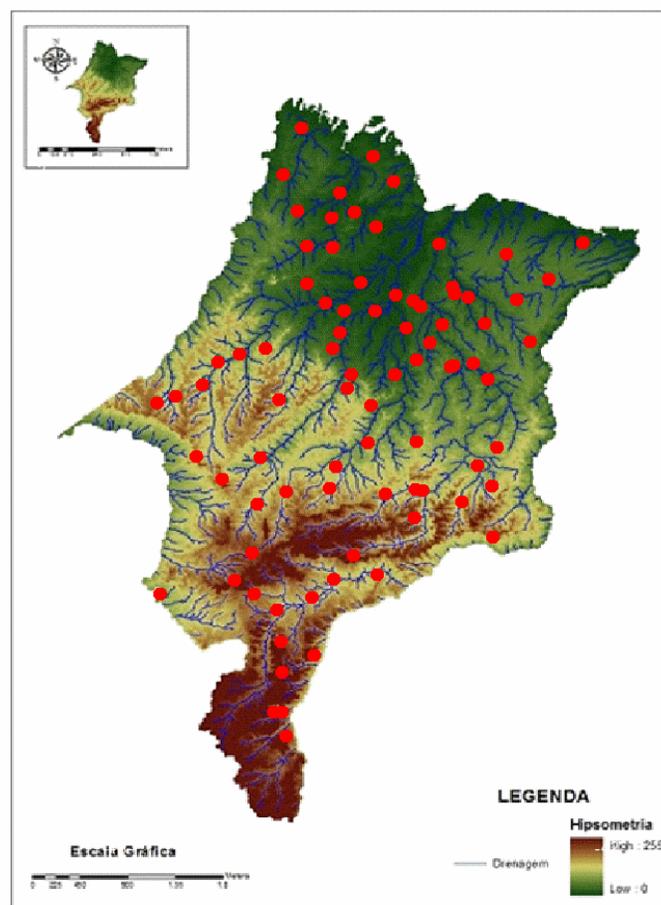


Figura 4.1 – Distribuição espacial dos postos pluviométricos no estado do Maranhão.

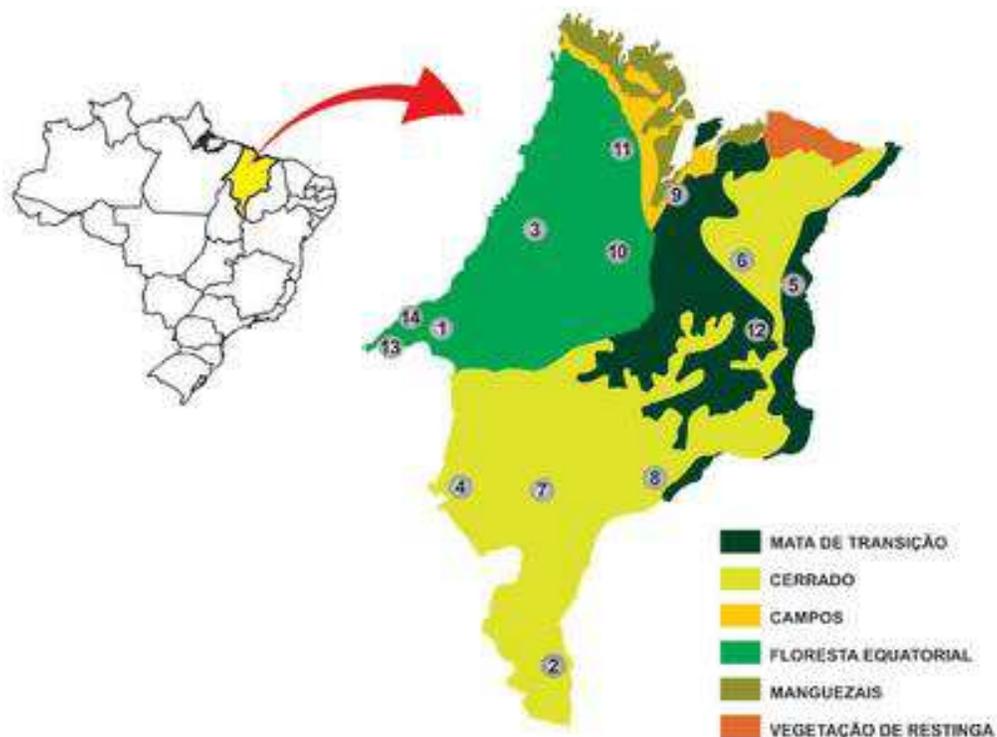


Figura 4.2 – Tipos de vegetação do Maranhão e localidades de coletas: 1) Açailândia, 2) Alto Parnaíba, 3) Araguanã, 4) Carolina, 5) Caxias, 6) Codó, 7) Mirador, 8) Pastos Bons, 9) Paço do Lumiar, 10) Santa Inês, 11) São Bento, 12) São João do Sóter, 13) São Pedro da Água Branca, 14) Vila Nova dos Martírios. (modificado de www.ma.gov.br/imagens/mpvegetação.gif)

4.2 Dados de precipitação e TSM

Utilizou-se dados mensais de precipitação pluvial de 84 postos pluviométricos distribuídos ao longo do estado. Esses dados foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional Meteorologia (INMET). Os dados das anomalias de TSM das áreas do Atlântico e Pacífico correlacionados com os índices climáticos foram obtidos através do website <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>.

A Figura 4.3 mostra a variabilidade espacial dos totais médios anuais da precipitação no estado do Maranhão do período de 1985 a 2013, a qual a variabilidade da precipitação no estado está intimamente relacionada com a atuação de diversos sistemas meteorológicos que atuam na região em diferentes escalas espaço e tempo, conforme descrito nas seções 3.1 e 3.2. Os maiores índices pluviométricos superiores a 2000 mm encontram-se na região

noroeste e norte do Estado, e os menores valores são registrados próximo a região centro-sul com valores inferiores a 1000 mm, conforme observado na Figura 4.3.

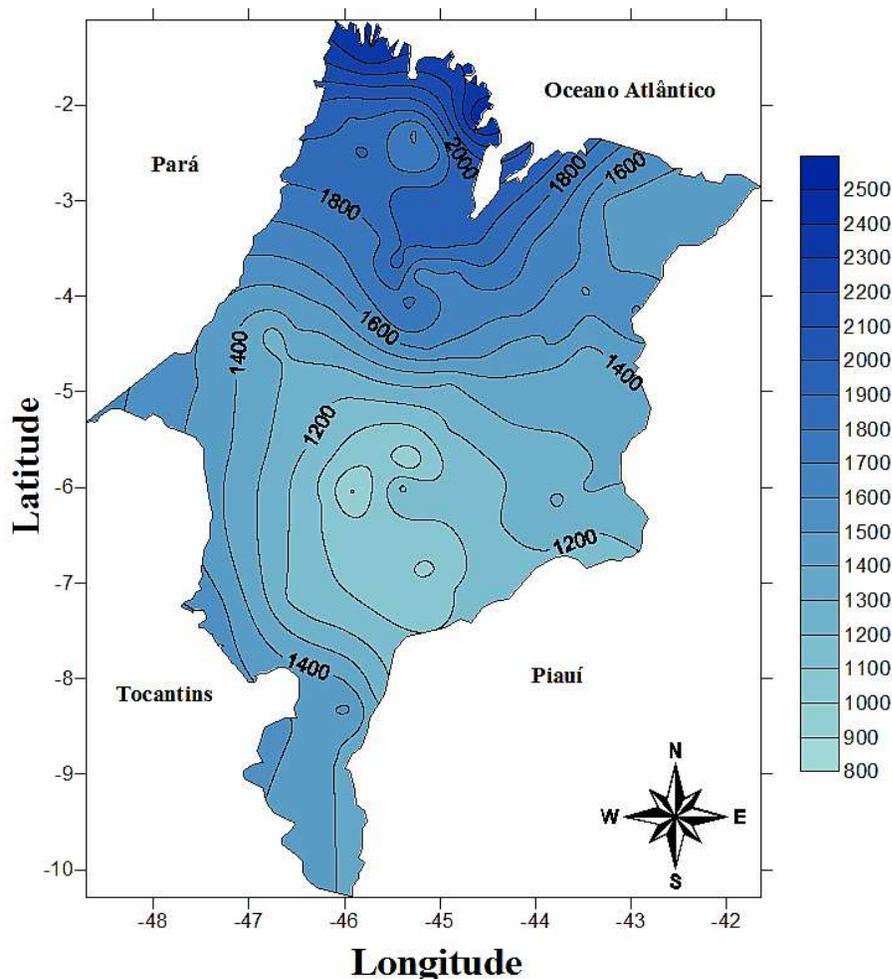


Figura 4.3 – Espacialização dos totais médios anuais da precipitação pluviométrica para o período de 1987 a 2013 no estado do Maranhão.

4.3 Metodologia

4.3.1 Cálculo do Standardized Precipitation Index (SPI)

O SPI foi desenvolvido de modo a ser um indicador de seca que reconhece a importância das escalas de tempo que afetam vários tipos de necessidades de água. Assim o SPI é calculado considerando séries e períodos selecionados de modo a se determinar o índice de seca ou chuva em diferentes escalas de tempo (1, 3, 6, 12, 24..., meses).

O cálculo do SPI se inicia a partir dos dados da precipitação total mensal, de preferência um período contínuo de pelo menos 30 anos (HAYES et al., 1999). Um exemplo de obtenção de uma série de tempo de três meses, construída a partir de um acumulado de três meses, é feito somando os três primeiros totais mensais 1, 2 e 3, depois somando os totais nos meses 2, 3 e 4, depois a soma dos totais nos meses 3, 4 e 5 e assim sucessivamente. O novo conjunto de dados está se movendo no sentido de que cada mês um novo valor é determinado a partir do mês anterior. Então, o SPI-3 meses é calculado a partir desta nova série temporal acumulada de três meses.

No presente trabalho foram usadas as escalas de tempo do SPI de 3, 6 e 12 meses, para as quais se constroem médias móveis das séries temporais de SPI trimestral (SPI-3), semestral (SPI-6) e anual (SPI-12) centrada nos 12 meses do ano. O SPI trimestral reflete as condições de curto prazo, é importante para monitoramento das precipitações sazonais. A escala de 6 meses do SPI representa os eventos de média duração, ou seja, semestral, a qual é importante para monitoramento do período de transição entre estação seca e a chuvosa. O SPI anual reflete padrões de precipitação de escala interanual. É uma importante ferramenta para monitorar a variabilidade anual e interanual (SANTOS, 2013).

O cálculo do SPI consiste inicialmente em ajustar a função densidade de probabilidade Gama à distribuição de frequência da precipitação de uma estação/posto. A distribuição Gama envolve apenas dois parâmetros (forma e escala) sendo útil em estudos de climatologia da precipitação (WILKS, 2006). A distribuição gama possui bom ajuste para variáveis contínuas que tenham limite inferior igual a zero e não possuem limite superior, por isto é largamente utilizada para o estudo de séries históricas de precipitação. A distribuição gama é do tipo “j” que comumente é aplicada a dados de precipitação (PEDRON e KLOSOKSWI, 2008).

A função de densidade de probabilidade para a distribuição gama é dada por:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

Sendo: $\alpha > 0$ → parâmetro de forma;

$\beta > 0$ → parâmetro de escala;

$x > 0$ → quantidade de precipitação; e

$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy$ → função gama

Os parâmetros α e β da função densidade de probabilidade Gama são estimados para cada posto pelo método da Máxima Verossimilhança (THOM, 1966).

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (3)$$

Com \bar{x} sendo o total de precipitação no tempo de análise;

$$A = \ln(\hat{x}) - \frac{\sum_i^n x_i}{n} \quad (4)$$

com n representando o número de observações.

Os parâmetros de forma e escala foram calculados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de precipitação observado para a escala de tempo mensal. Em que a probabilidade cumulativa é dada por:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx \quad (5)$$

Fazendo a substituição de $\frac{x}{\hat{\beta}}$ por t a equação 5 torna-se:

$$G(t) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^t t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad (6)$$

A equação 6 representa a função gama incompleta e não admite valores nulos. Desse modo, no caso da precipitação que considera valores nulos a distribuição da probabilidade gama é determinada pela equação 7:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (7)$$

sendo q a probabilidade de ocorrência de precipitação zero.

Deste modo a distribuição cumulativa é então transformada em distribuição de probabilidade normal com média zero e desvio padrão de um, então os valores do SPI são realmente em desvio padrões, que é o valor do SPI (EDWARDS e MCKEE, 1997; WILKS, 2006). Para situações onde a precipitação pluviométrica de um determinado período se ajusta à distribuição normal, o SPI torna-se simplesmente a variável reduzida $Z_{i,j}$ de tal distribuição, em que i é igual a 3, 6 e 12 meses.

$$SPI = Z_{i,j} = \frac{P_{i,j} - \bar{P}_{i,j}}{\sigma_{i,j}} \quad (8)$$

Em que $P_{i,j}$ é a precipitação acumulada no período, $\bar{P}_{i,j}$ é a precipitação média do período estudado e $\sigma_{i,j}$ é o desvio padrão da série histórica de precipitação na escala correspondente.

A precipitação total mensal para um período de tempo específico é identificada com um valor de SPI consistente com a probabilidade. O valor zero de SPI corresponde à precipitação média. Se o SPI apresentar valores positivos, isso significa ser superior à média da precipitação, enquanto valores negativos significam serem menores que a média da precipitação.. As séries temporais do SPI podem ser usadas para monitoramento de eventos secos ou chuvosos, definindo limites de aplicação específica do SPI para a definição desses eventos. Na Tabela 4.1 estão ilustradas as categorias de SPI. Nesse estudo o cálculo do SPI iniciou-se com a escolha da escala de tempo que melhor se adequasse ao monitoramento de escassez e excessos de precipitação, ou seja, as escalas de 3, 6 e 12 meses, consideradas úteis para efeitos de correlações com os eventos atmosféricos atuante no Maranhão.

Tabela 4.1: Classificação do SPI para períodos secos e chuvosos.

Fonte: (MCKEE et al. 1993) adaptado

Valores do SPI	Categorias
$\geq 2,00$	Extremamente chuvoso
1,50 a 1,99	Severamente chuvoso
1,00 a 1,49	Moderadamente chuvoso
0,50 a 0,99	Quase normal
0,49 a - 0,49	Normal
0,50 a - 0,99	Quase normal
-1,00 a - 1,49	Moderadamente seco
-1,50 a - 1,99	Severamente seco
$\leq -2,00$	Extremamente seco

4.3.2 Análise Fatorial em Componentes Principais

A Análise fatorial não é um método único, mas uma família de métodos, cujo principal objetivo é resumir informações abordadas em um grande número de variáveis, por um número mais restrito de variáveis. O método de Análise Fatorial (AF) em Componentes

Principais foi introduzida em estudos meteorológicos por Lorenz, em 1956, que as denominou de Funções Ortogonais Empíricas (FOE) para destacar sua natureza não analítica. (BRAGA, 2000). Esse método transforma p variáveis originais correlacionadas em componentes não correlacionadas ou ortogonais, sendo estes componentes funções lineares, em que p variáveis originais são medidas em n indivíduos (BOUROCHE e SAPORTA, 1982).

A ACP consiste em projetar uma nuvem de indivíduos situados em um espaço afim de dimensão p , em um subespaço afim de dimensão q , de tal forma que sua projeção sofra a menor deformação possível.

A partir da matriz de dados X (n indivíduos \times p caracteres) obtêm-se a matriz de variâncias e covariância S através de:

$$S = \frac{1}{n} X \cdot X^t \quad (9)$$

Em que $X = x - \bar{x}$

X^t é a transposta de X .

Sendo R uma matriz simétrica positiva de dimensão ($k \times k$), ela é diagonalizável por uma matriz A , de mudança de base, denominada de autovetores. Logo:

$$D = A^{-1} \cdot R \cdot A \quad (10)$$

D é a matriz diagonal, cujos elementos λ_i são os autovalores de $a_{j,i}$. Pela ortogonalidade dos autovetores, a inversa de A (A^{-1}) é igual a sua transposta (A^t). Logo, as CPs U_1, U_2, \dots, U_p são obtidas por combinações lineares entre a transposta dos autovetores (A^t) e a matriz de observações (X) padronizada, ou seja:

$$U = A^t \cdot X = U_i = a_{i1} \cdot X_1 + a_{i2} \cdot X_2 + \dots + a_{ip} \cdot X_p \quad (11)$$

Cada linha de U corresponde a uma Componente Principal que forma as séries temporais associadas aos autovalores. Os valores de X_j do n -ésimo local pode ser estimado por:

$$X = A \cdot U \quad (12)$$

$$X_j = a_{1j} \cdot U_1 + a_{2j} \cdot U_2 + \dots + a_{pj} \cdot U_p \quad (13)$$

A solução desta equação é única. Esta solução considera a variação total presente no conjunto das variáveis iniciais, onde a CP1 explica o máximo possível da variância dos dados iniciais, enquanto a CP2 explica o máximo possível da variância ainda não explicada

e assim por diante, até a última CP que contribui com a menor parcela de explicação da variância total dos dados iniciais.

Cada CP tem uma porção da variância total dos dados de uma determinada variável e são ordenadas por ordem decrescente dos autovalores mais significativos de a_j em A , dada por:

$$U_k = \sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot X_k \quad (14)$$

A partir da explicação da variância pela ordem decrescente dos autovalores se determina o melhor ajuste das CPs. A soma dos valores próprios é a soma das variâncias centradas e normalizadas.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \sum_{i=1}^n var(X_i) \quad (15)$$

Desse modo, a porcentagem da variância dos autovalores em ordem decrescente é dada por:

$$var(X) = \frac{\sum_{i=1}^q \lambda_i}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \quad (16)$$

A correlação entre a i -ésima variável original e a i -ésima componente principal é dada por:

$$cor(X_i, U_j) = a_{ij} \cdot \sqrt{\lambda_i} \quad (17)$$

Onde, a_{ij} é o j -ésimo elemento do i -ésimo autovetor e λ_i o i -ésimo autovalor.

4.3.3 Aplicação da ACP ao SPI

O propósito deste estudo é aplicar a ACP para encontrar padrões espaciais e temporais da precipitação e SPI no estado do Maranhão. Para isso utilizaram-se dados da precipitação anual e do SPI nas escalas de tempo sazonal (SPI-3) e semestral (SPI-6) de janeiro de 1987 a dezembro de 2013. O modo S está relacionado com a análise de séries temporais correspondentes a pontos no espaço. Isto significa que a variável estatística analisada corresponde a séries temporais de uma variável meteorológica que pode ser considerada contínua no espaço e no tempo (RICHMAN, 1983). O modo T (T- mode factor analysis), que em síntese é utilizado quando se busca obter a evolução dos principais modos dominantes de circulação que permitam analisar a trajetória e comportamento dos sistemas sinóticos sobre determinadas áreas (RICHMAN, 1983). Neste caso a matriz de dados será montada de modo que as colunas representem os meses do ano e as linhas as estações

pluviométricas. Para os dados de precipitação utilizar-se-á o modo T e S afim de observar os sistemas dominantes no tempo (modo T), e a variabilidade da precipitação no espaço (modo S).

Serão elaborados mapas das distribuições espaciais dos principais fatores comuns temporais (escore espacial) e correlações temporais, que representam a contribuição destes em relação à variância total do conjunto de dados da precipitação e do SPI no Estado do Maranhão, assim como gráficos mensais das correlações temporais e fatores comuns espaciais (escore temporal).

4.3.4 Análise de agrupamentos

A análise de Agrupamentos é uma técnica estatística, conhecida como técnica de classificação, usada para gerar uma estrutura de categoria que ajusta um conjunto de observações realizadas sobre diferentes indivíduos. Consiste em dividir um sistema multidimensional em grupos, em cada um dos quais se reúnem os indivíduos que apresentam maior similaridade entre si e dissimilaridade entre grupos.

Existem dois tipos de métodos de classificação de grupos. O primeiro é o método hierárquico, em que a partição dos grupos se dá a partir de um mínimo de grupos não definidos inicialmente. Os grupos majoritários são divididos em subgrupos minoritários agrupando aqueles indivíduos que apresentam características semelhantes. A estrutura final das classes é apresentada sob a forma de uma árvore de classificação (dendograma) que apresenta uma síntese objetiva dos resultados (GUEDES et al., 2012). Enquanto, o segundo é o método não hierárquico de classificação onde o número de grupos é definido a priori. Nos métodos de agrupamentos a classificação dos indivíduos em grupos distintos é feita a partir de uma função de agrupamento e de um critério matemático de agrupamento (WILKS, 2006).

Dentre os métodos testados neste estudo utilizou-se o método hierárquico de Ward o qual utiliza a distância euclidiana (equação 18) para medir a similaridade ou dissimilaridade entre os indivíduos. Propõe ainda que em qualquer fase da análise a perda de informação que resulta do agrupamento de elementos entre grupos seja medida pela Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) de cada ponto à média dos elementos do grupo à qual pertence (equação 19).

$$DE = \sqrt{\sum_{i=2}^n (p_i - q_i)^2} \quad (18)$$

$$SQD = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \|X_i - \bar{X}_g\|^2 \quad (19)$$

4.3.5 Método dos Mínimos Quadrados

Para encontrar a relação existente entre as diferentes escalas de tempo da precipitação (SPI-3, SPI-6 e SPI-12) e as anomalias de TSM no Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical, utilizou-se o método da regressão linear dos Mínimos Quadrados.

O método dos mínimos quadrados são determinados os coeficientes de regressão (a) angular e (b) linear pela equação 20. A partir da estimativa de Y_{est} se faz o cálculo da correlação r . O teste de significância do r amostral, fez-se pelo teste unilateral de Student, considerando p como sendo o coeficiente de correlação de uma população teórica avaliada a partir do coeficiente de correlação amostral, para $p=0$ (hipótese nula), dada por:

$$y = a + b_x \quad (20)$$

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (21)$$

No caso da hipótese nula ser rejeitada, num determinado nível de significância, o r amostral encontra-se na área de aceitação, ou seja, existe uma correlação entre as populações, caso contrário, se a hipótese nula for aceita a correlação entre as populações estudadas é igual a zero situando-se na área de rejeição.

5 - RESULTADOS PARCIAIS

5.1 Análises espacial e temporal da precipitação no Maranhão

A seguir são apresentados e discutidos os resultados dos principais padrões espaciais e temporais da precipitação expressos pelos fatores comuns mais significativos obtidos a partir da Análise Fatorial em Componentes Principais e as regiões homogêneas determinadas a partir dos fatores comum espacial e temporal da precipitação retidos segundo critério de Kaiser. Os três primeiros fatores comuns temporais rotacionados explicaram 92,8% da variância total da precipitação mensal (Apêndice B).

O primeiro fator que explica 34,6% da variância total apresenta correlações superiores a 0,8 nos meses de setembro a dezembro (Figura 5.1). O padrão espacial associado a este fator apresenta contribuições superiores a 1,0 no sul e extremo sudoeste; em um pequeno núcleo próximo a latitude -3°S e no extremo noroeste na divisa com o estado do Pará, as contribuições são superiores a 0,5, nas demais regiões os valores são menores que -0,5 (Figura 5.2a).

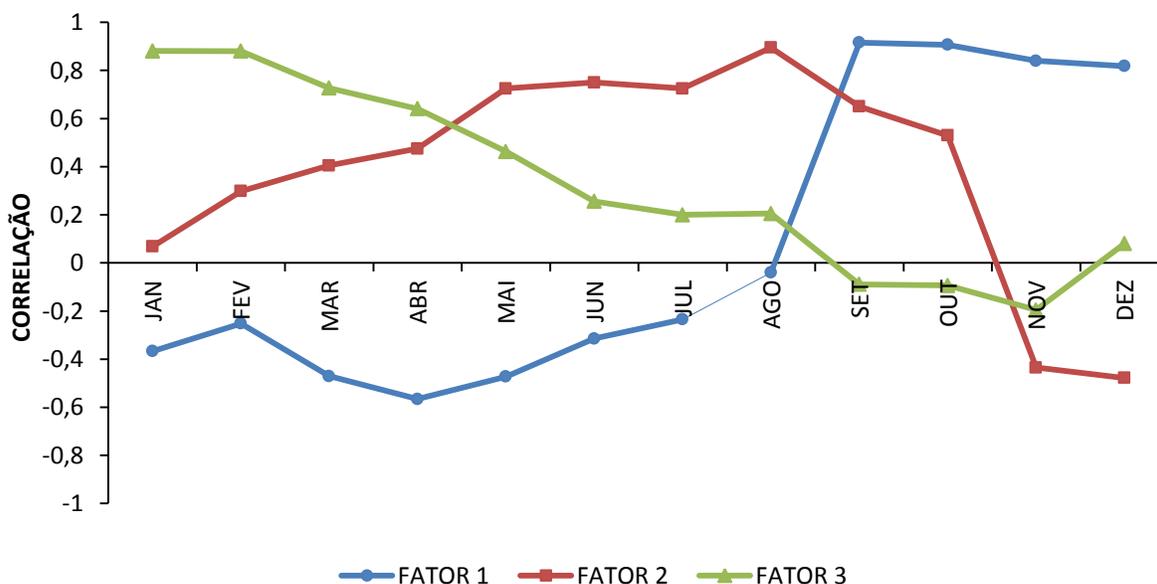


Figura 5.1 – Correlações dos três primeiros fatores comuns temporais que explicam 92,8% da variância total dos dados da precipitação no Estado do Maranhão.

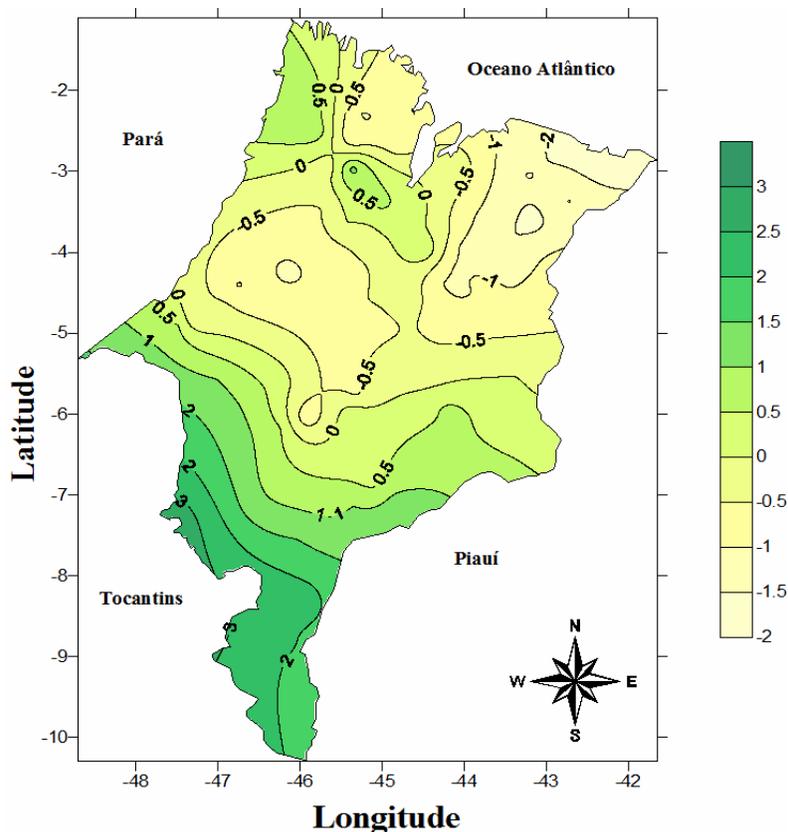


Figura 5.2a – Padrão espacial do primeiro fator comum da precipitação (escores), no Estado do Maranhão para o período de 1987 a 2013.

O regime climatológico nos meses de setembro a dezembro na região Sul do Maranhão sofre influência da ZCAS, a qual é formada por um canal de umidade em baixos e médios níveis da troposfera. A ZCAS se estende desde o noroeste da Amazônia até o Atlântico Sul Central no sentido noroeste-sudeste (KOUSKY, 1988) e está associada a uma banda de nebulosidade e chuva. Em virtude dessa orientação para o sudeste ocorrem chuvas elevadas na parte sul e sudoeste do Estado. Em associação com a ZCAS existe na região uma outra contribuição importante, a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), que tem características parecidas com a ZCAS, atuando em dias diferentes. Outro fator contribuinte para a formação de chuvas na região são as frentes. A Figura 5.3 mostra um caso isolado da atuação da ZCAS no Sul do Maranhão no dia 12 de novembro de 2012 (Figura 5.3).

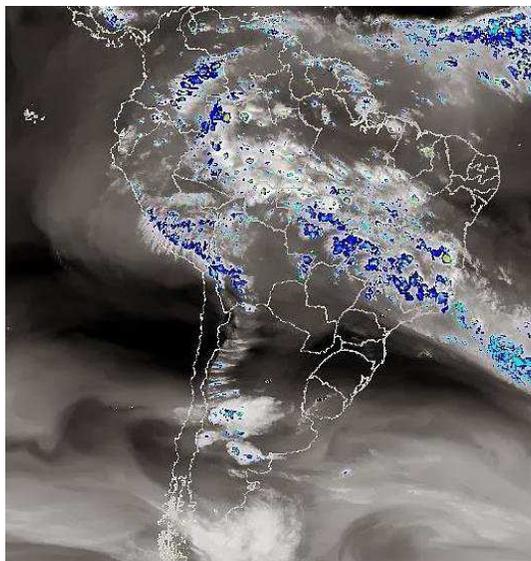


Figura 5.3 – Imagem do satélite GOES no canal infravermelho para o dia 12 de novembro de 2012.

O segundo fator comum, que explica 33,9% da variância dos dados, tem altas correlações acima de 0,7 nos meses de maio a agosto (Figura 5.2b).

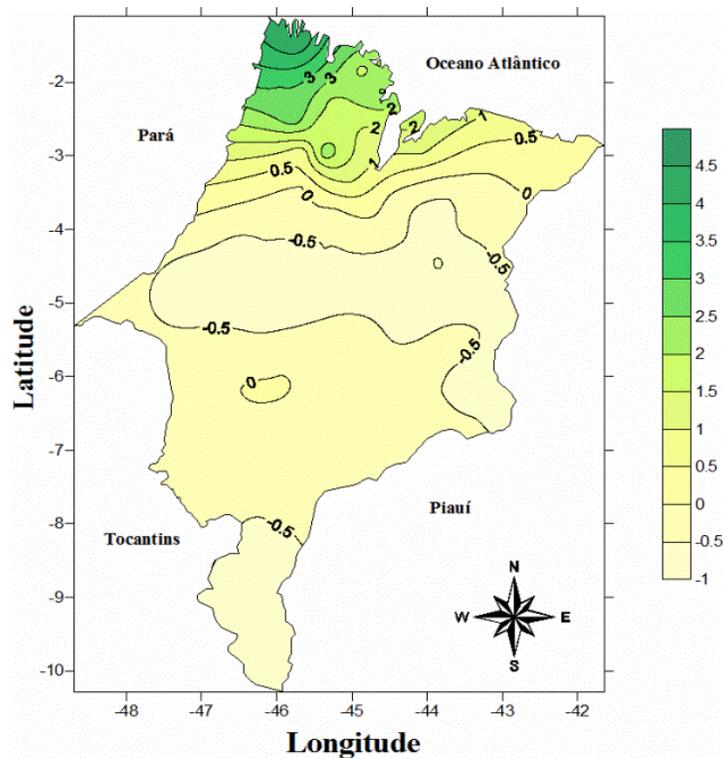


Figura 5.2b – Padrão espacial do segundo fator comum da precipitação (escores), no Estado do Maranhão para o período de 1987 a 2013.

A configuração espacial deste fator, têm contribuições elevadas acima de 2,0 no extremo noroeste. No restante do estado são menores que 0,5, atingindo valores inferiores a -0,5 no extremo sul (Figura 5.2b). Isto se explica porque no mês de maio a região norte do Maranhão ainda sofre influência da ZCIT, devido a sua proximidade com o Equador.

Na faixa equatorial, o aquecimento da radiação solar é bastante uniforme e intenso, o que provoca baixas pressões à superfície, fazendo com que os ventos alísios de sudeste e nordeste convirjam em baixos níveis (CAVALCANTI, 2012). Outro sistema que influencia o norte do Maranhão são as Linhas de Instabilidade (LI), estas consistem em uma banda de nebulosidade de convecção profunda, que pode ser contínua ou não e atuam no trimestre junho, julho e agosto. No mês de julho, não ocorre precipitação associada à ZCIT (que é o principal sistema indutor de precipitação na região) logo, a contribuição do segundo fator se deve as LI e Distúrbios Ondulatórios de Leste – DOL que são os principais sistemas produtores de precipitação no referido mês (BARROS e OYAMA, 2010). As LI correspondem aproximadamente 25% a 33% do total de precipitação anual neste período no setor noroeste do Maranhão (BARROS, 2008). A Figura 5.4 mostra um caso isolado da atuação das LI na região norte do Maranhão no dia 6 de julho de 2008.

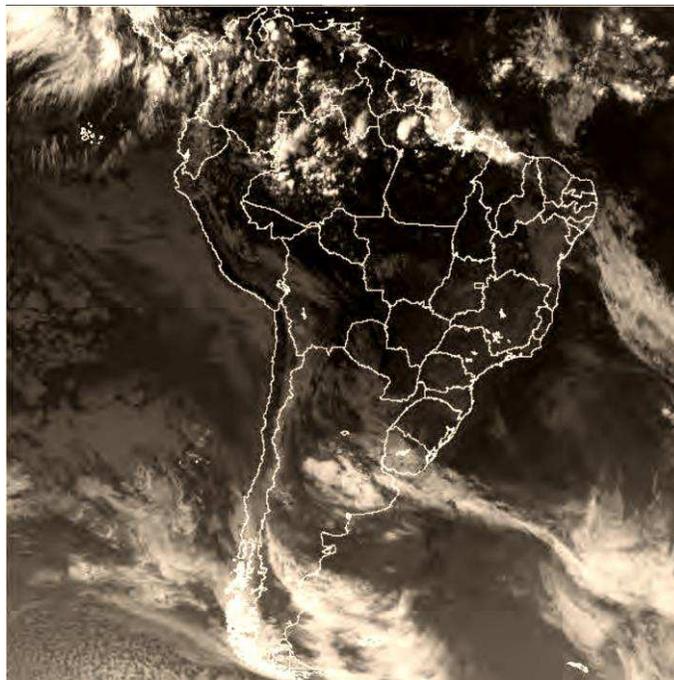


Figura 5.4 – Imagem do satélite GOES-10 no canal infravermelho para o dia 6 de julho de 2008 às 20:45 UTC.

Ressalta-se ainda, que as contribuições negativas na porção sul do estado podem estar relacionadas com o deslocamento sazonal da ZCIT em direção ao Hemisfério Norte, junto com a atuação do ramo descendente da circulação de Hadley, inibindo a formação de nebulosidade no setor sul do Estado (MOLION e BERNARDO, 2002).

Finalmente o terceiro fator comum que explica 24,3% da variância total dos dados, apresenta correlações superiores a 0,6 nos meses de janeiro a abril. A configuração espacial do terceiro fator tem contribuições positivas em quase toda área ao norte, com exceção de uma pequena área no extremo nordeste e outro no centro noroeste do estado (Figura 5.2c). Contribuições positivas com valores acima de 0,5 são visualizadas na parte sul do Maranhão no limite com o estado do Tocantins. Os sistemas de precipitação mais importantes atuantes nesse período são os VCAN e a ZCIT. Na região costeira as chuvas estão relacionadas ao deslocamento norte-sul da ZCIT sobre o Atlântico, que durante os meses de março e abril está posicionada em torno de 4° S.

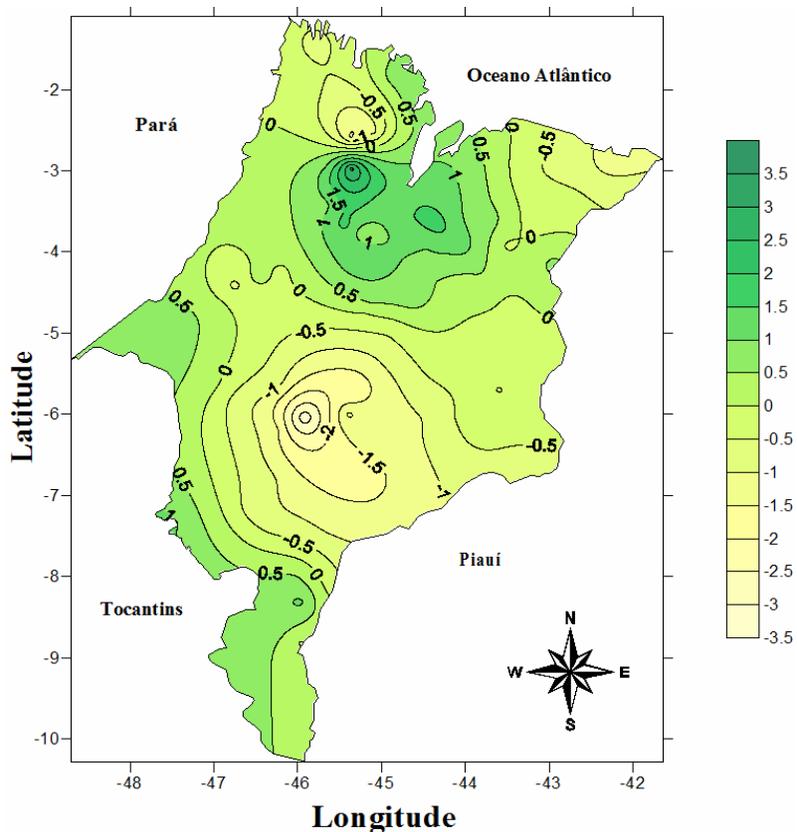


Figura 5.2c – Padrão espacial do terceiro fator comum da precipitação (escores), no Estado do Maranhão para o período de 1987 a 2013.

5.1.1 Regiões Homogêneas (RH) da Precipitação

A determinação das 5 subregiões homogêneas da precipitação foi feita a partir dos fatores comuns temporais e espaciais mais significativos que explicaram 92,8% da variância total dos dados. Para tanto, utilizou-se o método de agrupamento proposto por Ward (1963), por ser mais realístico com o regime pluviométrico do Estado (Figura 5.5). A seguir são apresentadas a descrição e características de cada uma das 5 regiões homogêneas.

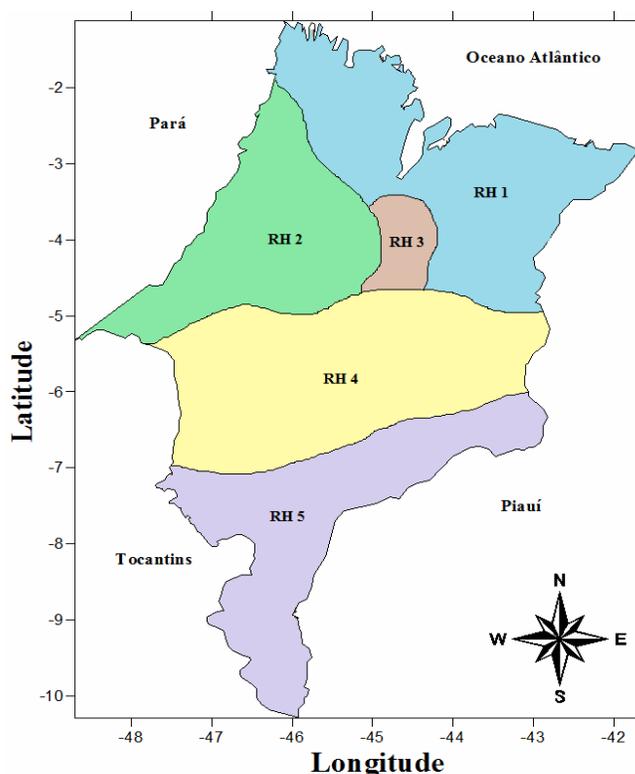


Figura 5.5 – Regiões homogêneas da precipitação mensal para estado do Maranhão usando o método aglomerativo de Ward.

A região homogênea RH1 situada na parte norte e nordeste do Estado é composta por 28 estações com precipitação média anual de 1955 mm. A Figura 5.6 mostra o ciclo médio mensal da precipitação e seus respectivos desvios padrões. Observa-se que a precipitação média mensal máxima é de 359,2 mm com desvio padrão de 76,6 mm ocorre em março e a mínima de 12,3 mm com desvio padrão de 9,9 mm em setembro. Constata-se que os

maiores índices pluviométricos ocorrem de janeiro a maio, provavelmente devido à atuação dos VCAN e da ZCIT, respectivamente.

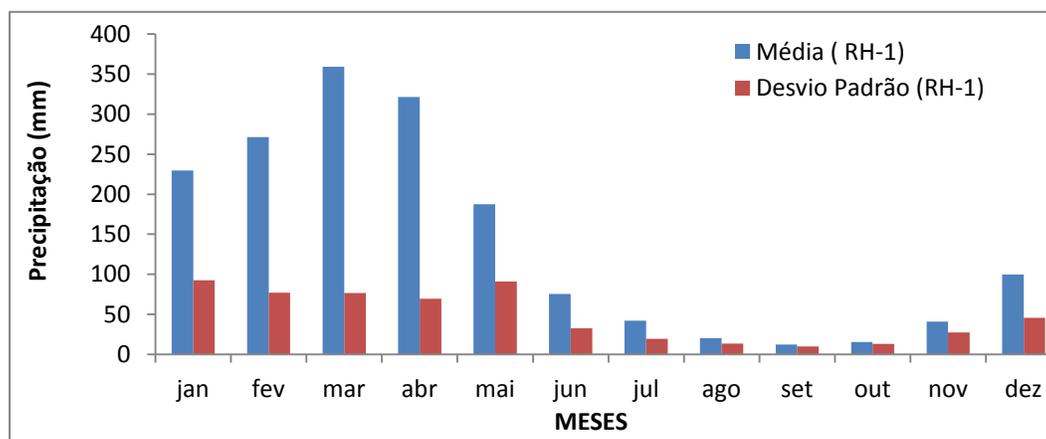


Figura 5.6 – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1987-2013 para as estações da RH1.

A região homogênea RH2 possui 13 estações, estende-se desde a latitude de -2° a $-5,5^{\circ}\text{S}$, com precipitação média anual da ordem de 1597,8 mm, em algumas localidades dessa sub-região os totais médios anuais superam os 1800 mm. A máxima precipitação ocorre em março e a mínima em setembro. A maior concentração de chuvas ocorre nos primeiros meses do ano oriundos da atuação também dos VCAN em janeiro e fevereiro e da ZCIT em março e abril. Apresenta comportamento médio semelhante ao da RH1, no entanto, no mês de dezembro a RH2 tem pluviosidade média superior a RH1 (Figura 5.7).

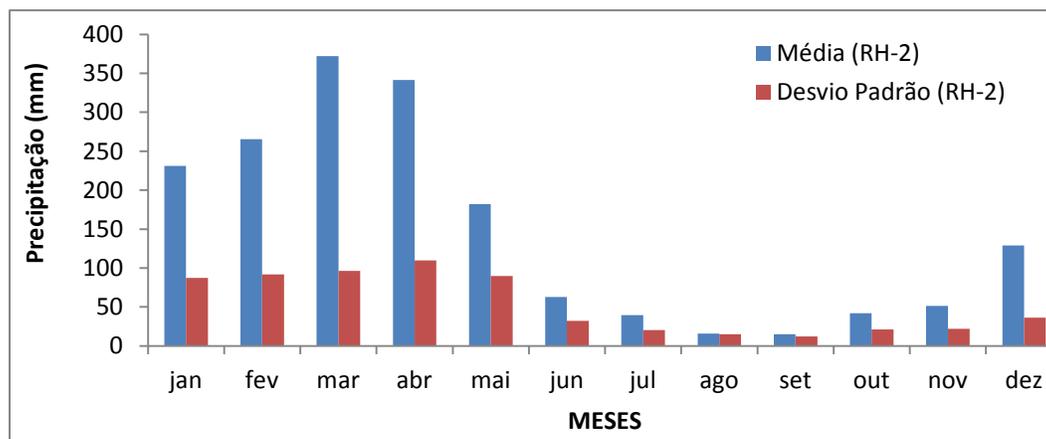


Figura 5.7 – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1987-2013, para estações da RH2.

A região RH3 se encontra na parte central-norte do Estado constituído por 11 estações, com total médio anual de 1173,3 mm. A Figura 5.8 mostra o comportamento médio mensal da precipitação e seus respectivos desvios padrões. O período de maiores índices pluviométricos começa em dezembro e estendem-se até maio, sendo março o mês mais chuvoso com 298,7 mm. Estes valores de precipitação pluvial são oriundos da atuação dos VCAN e ZCIT na região.

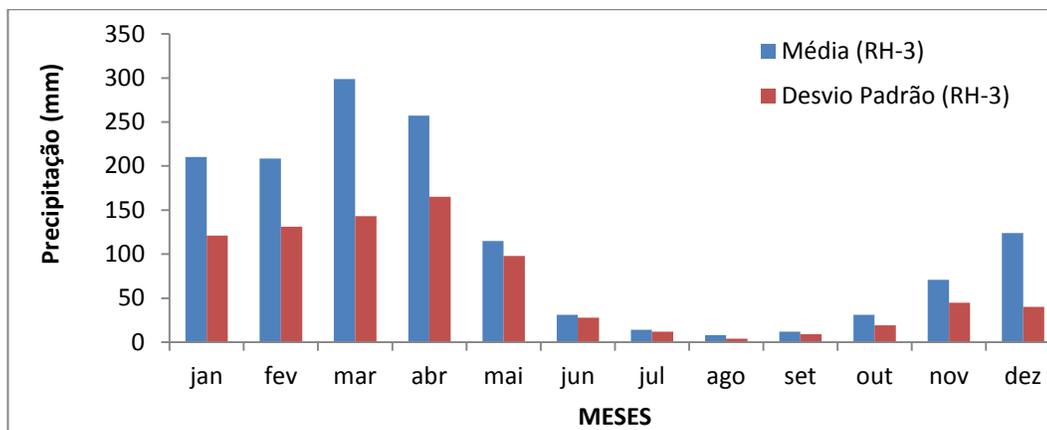


Figura 5.8 – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1987-2013, para as estações da RH3.

A quarta região RH4 composta por 18 estações pluviométricas localiza-se na parte central-sul do estado. Apresenta total médio anual de 1190 mm. Pode-se observar na Figura 5.9 que o máximo de precipitação ocorre em março e mínimo em agosto. Nesta região o regime pluviométrico é influenciado pela atuação da ZCAS, Frentes, VCAN e ZCIT.

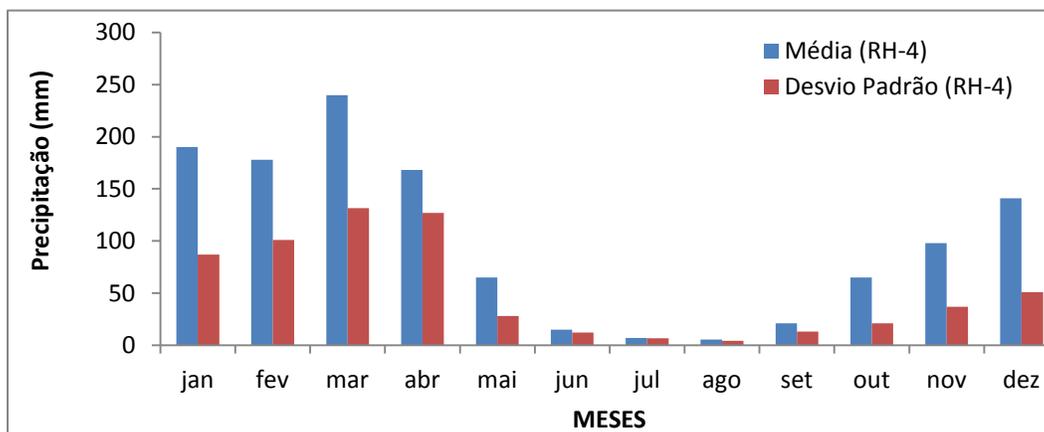


Figura 5.9 – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1987-2013, para as estações da RH4.

A região RH5 é formada por 15 estações e está localizada na parte Sul do estado. Essa região nos meses de novembro e dezembro sofre a influência da ZCAS e Frentes justificando as chuvas no período; em janeiro e fevereiro a precipitação na região está associada aos VCAN. Os maiores índices pluviométricos médios mensais são registrados de novembro a abril conforme Figura 5.10.

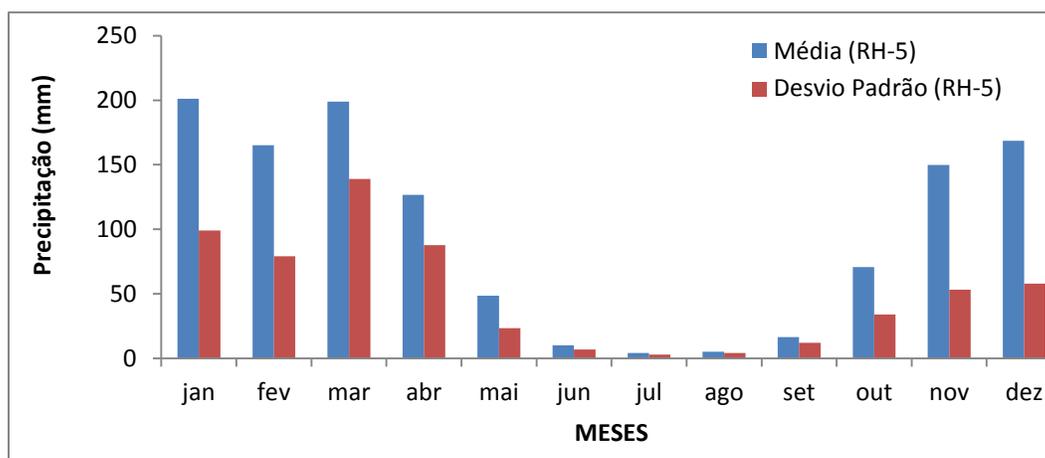


Figura 5.10 – Valores médios mensais das precipitações e seus respectivos desvios padrões no período de 1987-2013, para as estações da RH5.

5.2 Aplicações da ACP ao SPI-3, SPI-6 e SPI-12 no Maranhão

Nesta seção são analisados e discutidos os resultados da aplicação da ACP para o SPI nas escalas de tempo de 3, 6 e 12 meses para o período de 1987 a 2013 no estado do Maranhão. A ACP permite que características comuns sejam identificadas e as características específicas locais sejam determinadas, possibilitando assim mostrar a variabilidade espacial e temporal da variável em questão.

5.2.1 Análise da Variabilidade Sazonal - SPI-3

Para o SPI-3 foram retidos os quinze primeiros fatores que explicaram aproximadamente 73% da variância total dos dados, aqui serão apresentados, apenas os três primeiros fatores que explicam 51% dessa variância, (vide Apêndice B).

A correlação espacial do primeiro fator na escala sazonal que explica aproximadamente 40% da variância total dos dados é mostrada na Figura 5.11a. As maiores correlações superiores a 0,75, são encontradas na região litorânea. Um núcleo de correlações acima de 0,85 é observado entre 2 e 3,5°S; acima de -3,5°S são verificado correlações acima de 0,7, nessa região encontra-se o Rio Pericumã, que banha a cidade de Pinheiro. Normalmente o rio sofre cheias no período chuvoso (verão e outono) e mantém-se perene durante todo o resto do ano. Na parte sudeste do Estado são registradas as menores correlações entre 6 e 7°S exatamente nas proximidades da barragem de Boa Esperança que acumula um grande volume das águas do Rio Parnaíba. Nessa parte do estado há uma elevada taxa de evaporação da barragem que ocorre em particular nos períodos mais quentes do ano, as quais podem contribuir para formação de nuvens. Provavelmente nessa região, devido à presença desse reservatório, os efeitos de brisa local provoquem algumas chuvas, assim os eventos extremos de secas não são tão evidenciados nesta escala do SPI.

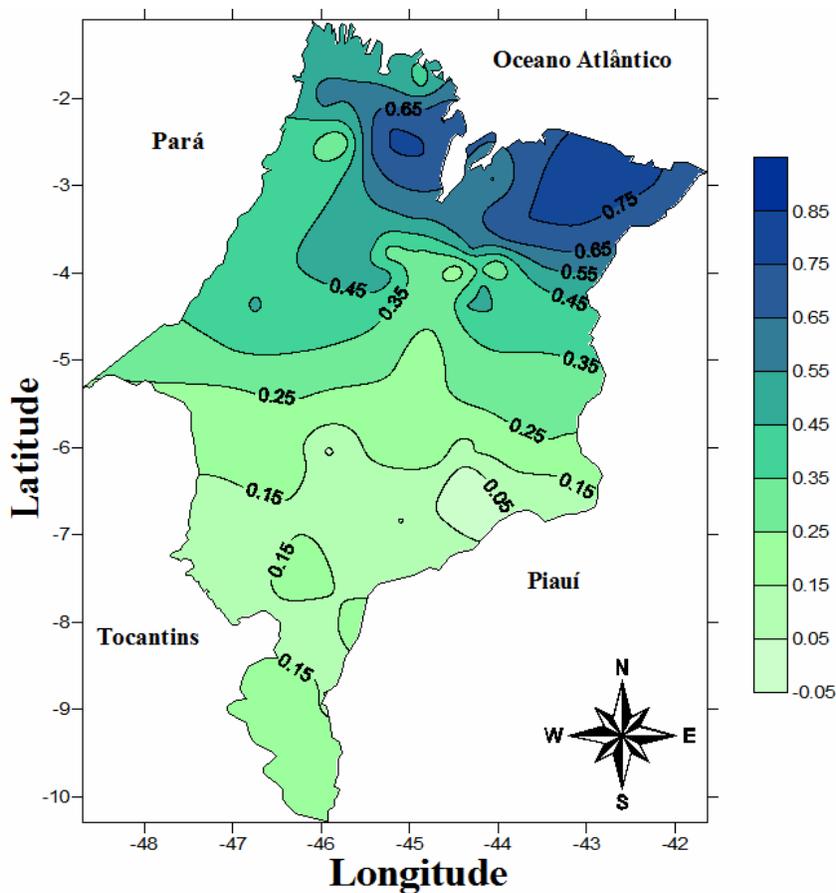


Figura 5.11a – Padrão espacial da correlação do primeiro fator para o SPI-3 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A série temporal associada a esse primeiro fator tem valores de SPI-3 de chuva moderada (1,0 a 1,49), severas (1,5 a 1,99) e extremas ($\geq 2,0$). Os valores acima de 1,49 são registrados em: fevereiro a abril de 1988, julho a dezembro de 1989, agosto e setembro de 2000, abril de 2003, dezembro de 2010 a fevereiro de 2011 e outubro a novembro de 2011. Valores de SPI-3 inferiores a -1,5 considerados de seca severa ou extrema foram registrados em: dezembro de 1987, maio de 1990, setembro de 1991, janeiro a agosto de 1992, junho e julho de 1993, agosto de 1997, janeiro a março de 2005, janeiro e setembro, fevereiro a julho de 2012 e janeiro e março de 2013 (Figura 5.11b).

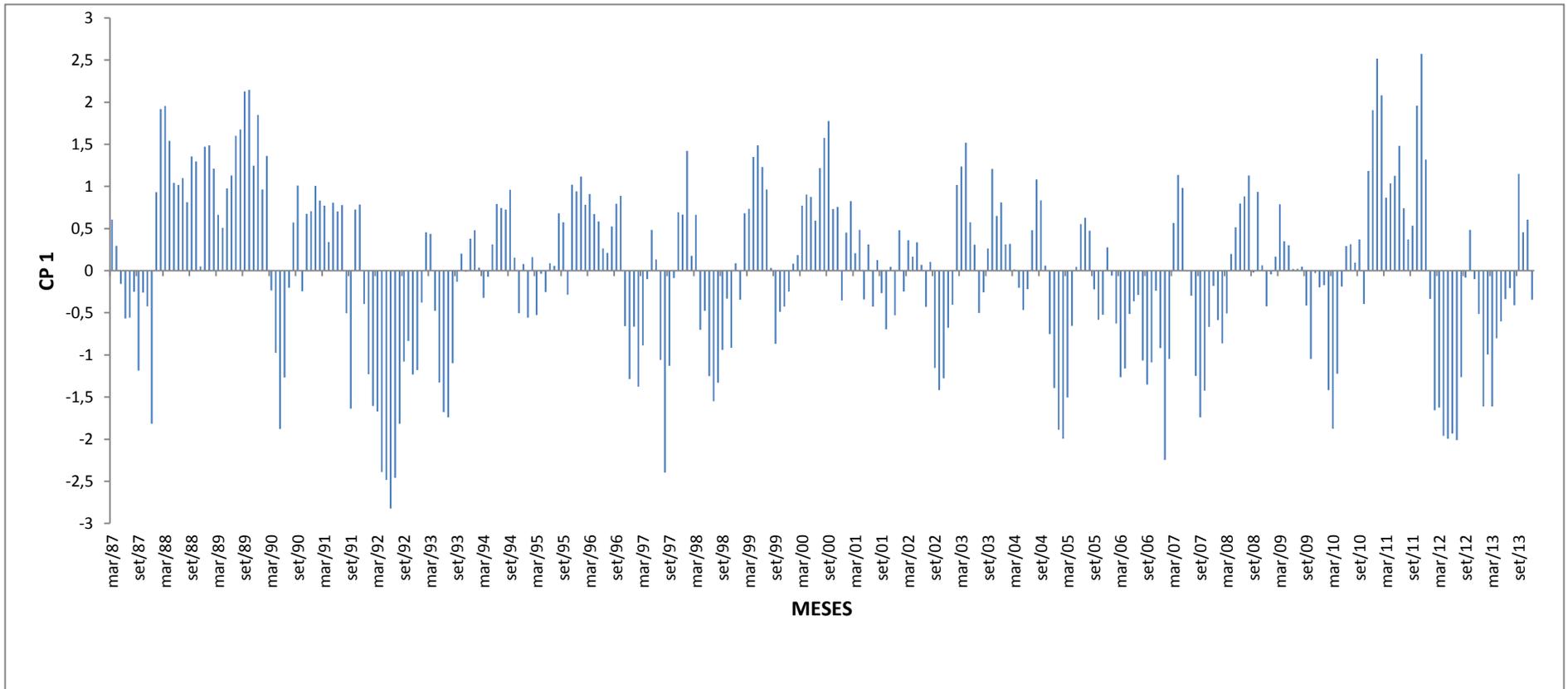


Figura 5.11b – Série temporal do primeiro fator do SPI-3 no período de 1987 a 2013 no estado do Maranhão.

As correlações espaciais do segundo fator do SPI-3 que explicam 8% da variância total dos dados são mostradas na Figura 5.12a. Este fator tem correlações mais elevadas superiores a 0,65, num núcleo no sudeste da região, nas proximidades do vale do Rio Balsas e Rio Parnaíba, este núcleo está quase totalmente circundado por esses rios, logo por conta da evaporação presente na região chuvas são registradas pontualmente. No noroeste e norte do Estado são observadas as menores correlações nas cidades de Pindaré Mirim e Monções. Nesta região destaca-se a presença dos lagos Viana, Aquarí e Cajari a noroeste, a sudoeste o Lago Jacareí e a sudeste o lago Açú e Verde, o local é cortado pelo Rio Pindaré que deságua no Rio Mearim. Isso evidencia a presença de fortes efeitos de brisa local, assim como a presença da floresta amazônica que provoca chuvas constantes na região.

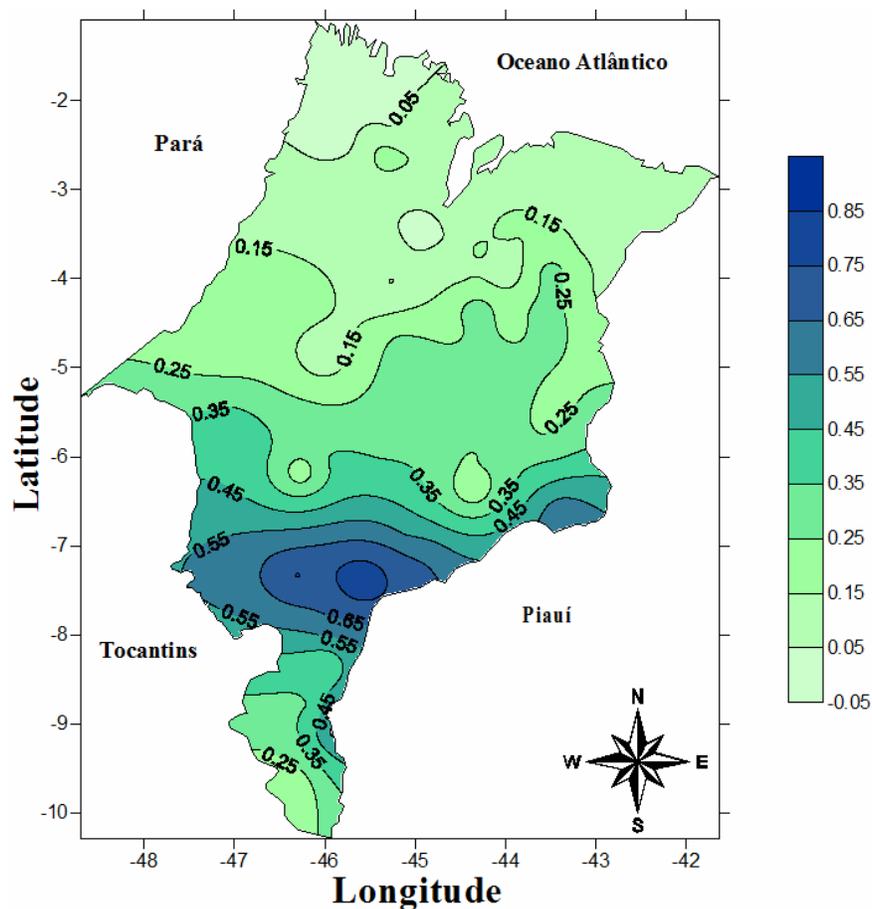


Figura 5.12a – Padrão espacial da correlação do segundo fator para o SPI-3 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A Figura 5.12b ilustra a variabilidade temporal do SPI-3 associada ao segundo fator comum. Os maiores valores do SPI-3 correspondente a meses severamente e extremamente chuvosos ($SPI-3 \geq 1,5$) se verifica em: agosto e setembro de 1990, maio de 1997, setembro de 1999, janeiro e fevereiro de 2000, janeiro a março de 2002, agosto de 2003, fevereiro e março de 2004, setembro a novembro de 2006, junho e julho de 2009, outubro de 2010, abril de 2011, novembro de 2012 a janeiro de 2013 e novembro a dezembro de 2013.

Os valores menores -1,5 foram registrados em: julho de 1988, maio de 1993, janeiro a abril de 1994, novembro de 1997 a maio de 1998, fevereiro de 1999, outubro de 2002, novembro de 2003, junho de 2004, outubro a dezembro de 2007 e março de 2009 (Figura 5.12b). Os locais que apresentaram altos valores de correlação nesses meses foram prejudicados com eventos severos e extremos de secas.

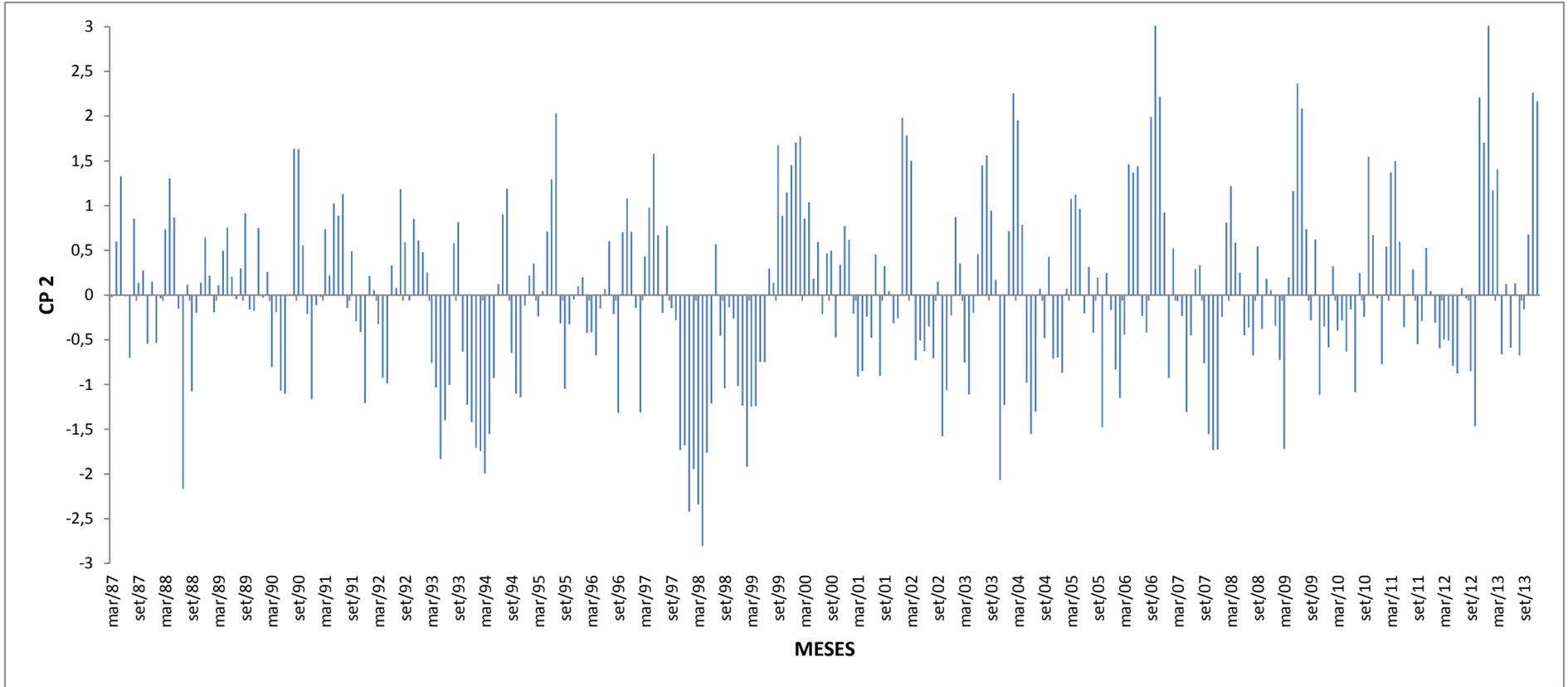


Figura 5.12b – Série temporal do segundo fator do SPI-3 no período de 1987 a 2013 no estado do Maranhão.

O terceiro fator que explica aproximadamente 3% da variância total dos dados, apresenta correlações acima de 0,6 na região central leste do estado, decrescendo positivamente nas demais áreas (Figura 5.13a). Vale salientar que neste setor do Maranhão localiza-se a zona de transição entre a vegetação com características semiáridas no sul e as florestas desiduais, cerrado e floresta estacionárias. Nesta região têm-se muitas nascentes de água em quase toda extensão. É conhecida como zona dos cocais onde predomina o babaçu, muito importante na economia do Estado.

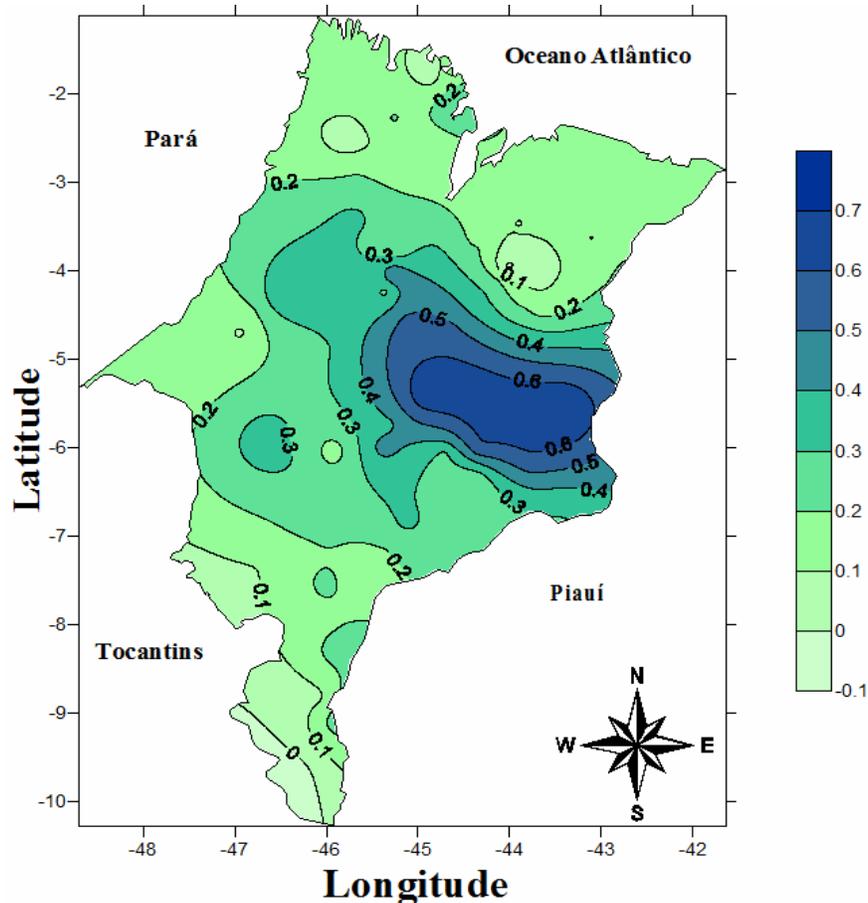
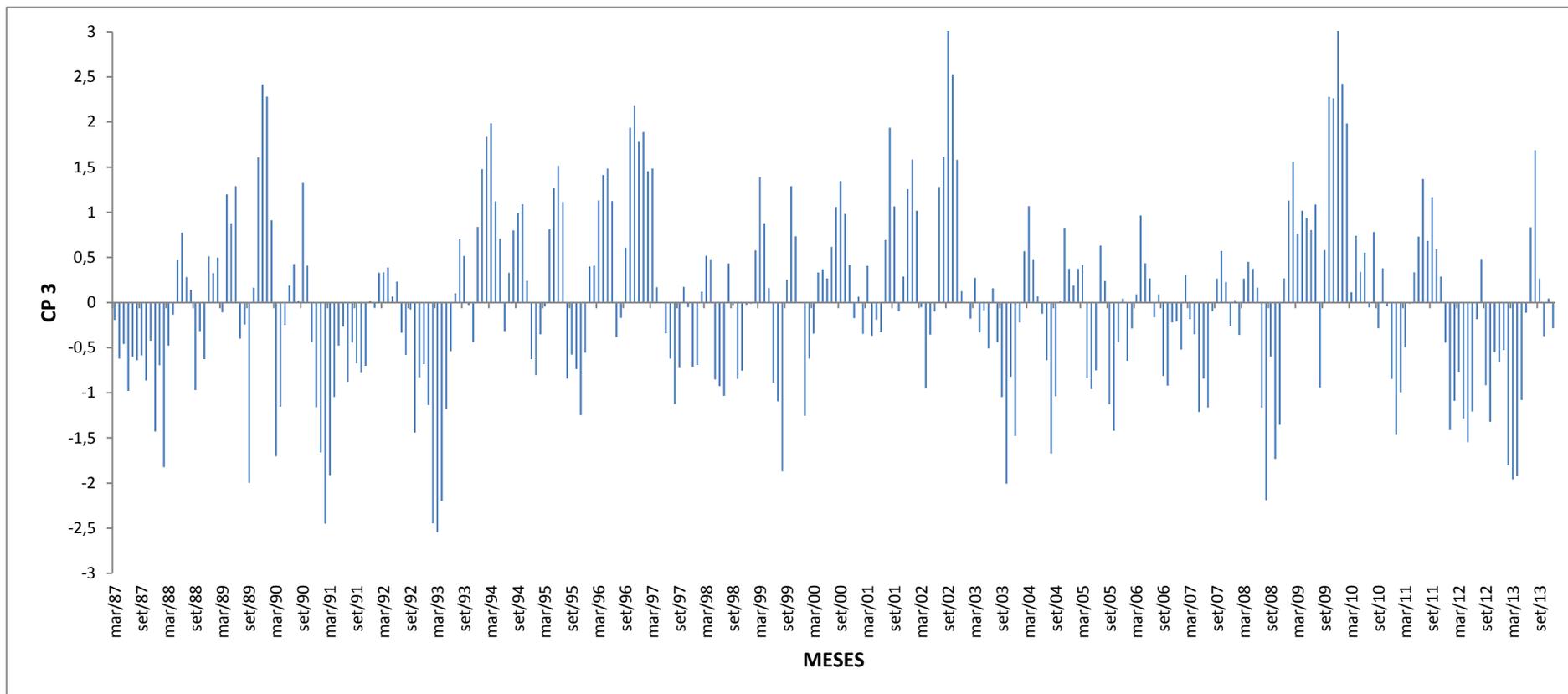


Figura 5.13a – Padrão espacial da correlação do terceiro fator para o SPI-3 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A série temporal (escores) associada ao terceiro fator evidencia valores positivos maiores que 1,5 em: novembro de 1989 a janeiro de 1990, fevereiro e março de 1994, outubro de 1996 a janeiro de 1997, janeiro de 2002, agosto a novembro de 2002, fevereiro de 2009 e outubro de 2009 a fevereiro de 2010 (Figura 5.13b). Nesses meses os locais que apresentam altas correlações tiveram eventos severos e extremos de chuvas. Os meses que

apresentaram valores de SPI-3 abaixo de -1,5 foram: fevereiro de 2008, setembro de 2009, janeiro a março de 1991, fevereiro a maio de 1993, agosto de 1999, outubro de 2003, agosto de 2004, agosto a novembro de 2008 e fevereiro a abril de 2013.



b)

Figura 5.13b – Série temporal do segundo fator do SPI-3 no período de 1987 a 2013 no estado do Maranhão.

A variabilidade temporal deste fator no período apresenta a alternância dos eventos secos e chuvosos na região central leste, os quais se assemelham aos períodos já discutidos nos dois primeiros fatores dispensando maiores comentários.

5.2.1.1 Regiões Homogêneas do SPI-3

Para a determinação das regiões homogêneas da escala sazonal do SPI adotou-se o mesmo procedimento utilizado para precipitação. Ou seja, dentre os vários métodos testados optou-se pelo método de Agrupamento de Ward, porque o mesmo apresentou resultados condizentes com a realidade pluviométrica da região. Dessa forma, o estado foi classificado em quatro regiões homogêneas do SPI-3. A delimitação dessas regiões é exibida na Figura 5.14 e suas principais características estão sintetizadas nas Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4.

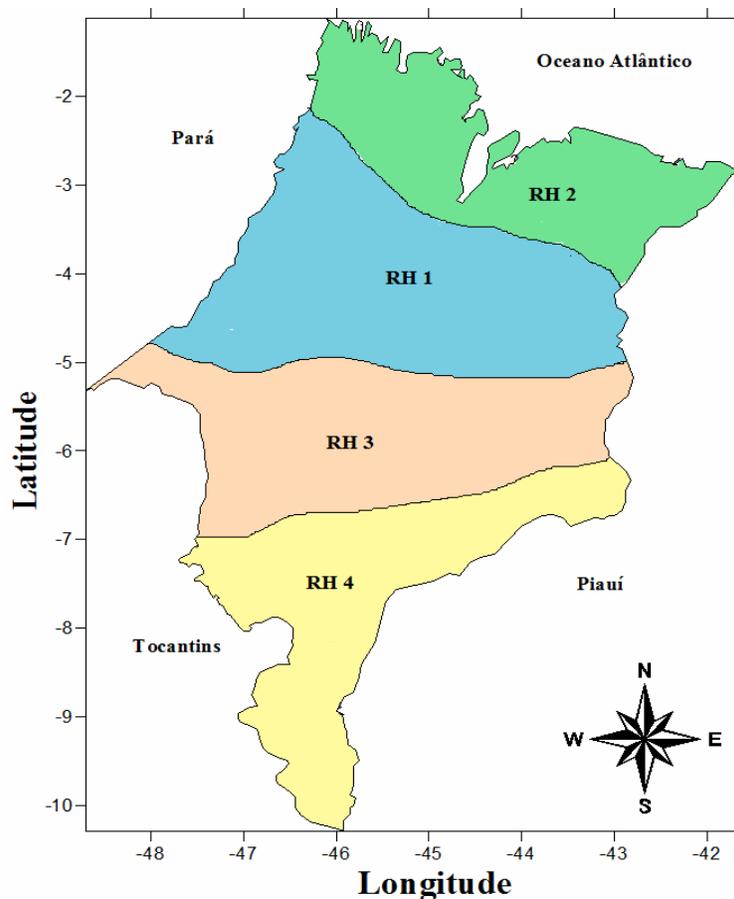


Figura 5.14 – Regiões homogêneas do SPI-3 para o estado do Maranhão no período de 1987 a 2013 usando o método aglomerativo de Ward.

5.2.1.2 Características dos eventos secos e chuvosos para o SPI-3

As Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 apresentam as características (início, fim, duração, pico máximo e índice médio) dos principais eventos secos e chuvosos no estado do Maranhão obtidos pelo SPI-3. Para tanto, a análise em cada RH foi baseada na média dos SPI-3 de cada região.

Pela Tabela 5.1 pode-se observar que nos anos estudados na análise sazonal do SPI, ocorreram 22 eventos de seca e 23 chuvosos. A maior sequência de eventos secos aconteceu de novembro de 1991 a agosto de 1993 com 22 eventos. Os valores médios da escala sazonal do SPI indicaram intensidades de secas moderadas, fraca e normal na maior parte dos meses, com valores variando de -0,35 a -1,38. As sequências de: novembro de 1991 a agosto de 1993, junho a setembro de 2002, dezembro de 2011 a agosto de 2012, novembro de 2012 a maio de 2013 e novembro a dezembro de 2013, apresentaram valores médios de secas severas, com picos mensais de até -2,61 no início do último ano da série. A maior sequência chuvosa ocorreu entre novembro de 1998 a março de 1991, com duração de 29 meses e intensidade média de SPI-3 de 1,62 (chuva severa) e pico máximo de 2,65. Situações com sequências de eventos similares também ocorreram de novembro de 1988 a janeiro de 1989, de abril a dezembro de 1989 e fevereiro a outubro de 1991. No entanto, a maior parte das sequências chuvosas na RH-1 do SPI-3 foram de eventos de chuva fraca, normal e moderada, com valores médios oscilando de 0,12 a 1,37 (Tabela 5.1).

Tabela 5.1. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-3, na RH-1 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 3					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 3				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO		INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO	
			MÁXIMO	MÉDIA				MÁXIMO	MÉDIA
mar/87	nov/87	9	-1,83	-1,38	dez/87	set/88	10	1,75	1,37
fev/89	mar/89	2	-0,87	-0,55	nov/88	jan/89	3	2,56	1,53
jan/90	abr/90	4	-0,67	-0,47	abr/89	dez/89	9	2,65	1,59
dez/90	jan/91	2	-1,37	-1,04	mai/90	nov/90	7	0,64	0,46
nov/91	ago/93	22	-2,56	-1,63	fev/91	out/91	9	2,32	1,55
abr/94	out/94	7	0,94	-0,65	set/93	mai/94	9	1,45	0,65
jul/95	fev/96	8	-1,61	-1,32	nov/94	jun/95	8	0,98	0,65
jul/96	out/97	16	-1,89	-1,21	mar/96	jun/96	4	0,74	0,45
mar/98	out/98	8	-1,9	-0,85	nov/97	fev/98	4	1,28	0,44
abr/01	nov/01	8	-1,17	-0,37	nov/98	mar/01	29	2,65	1,62
jun/02	set/02	4	-2,03	-1,54	dez/01	mai/02	6	0,76	0,29
mai/03	nov/03	7	-1,85	-1,38	out/02	abr/03	7	1,38	0,94
abr/04	jun/04	3	-0,84	-0,35	dez/03	mar/04	4	0,94	0,88
nov/04	abr/04	6	-1,88	-1,23	jul/04	out/04	4	0,75	0,51
ago/05	out/05	3	-1,02	-0,76	mai/05	jul/05	3	0,34	0,21
mai/06	ago/06	4	-0,69	-0,46	nov/05	abr/06	6	0,84	0,63
nov/06	set/07	11	-1,74	-1,30	set/06	out/06	2	0,15	0,12
set/08	nov/08	3	-1,25	-0,55	out/07	ago/08	11	1,29	0,87
ago/09	abr/10	9	-1,23	-1,02	fev/08	ago/08	7	1,16	1,03
dez/11	ago/12	9	-2,41	-1,65	dez/08	jul/09	8	0,9	0,68
nov/12	mai/13	7	-2,61	-1,64	mai/10	nov/11	19	1,54	0,86
nov/13	dez/13	2	2,12	-1,92	set/12	out/12	2	0,76	0,61
					jun/13	out/13	5	2,55	1,14

A seguir são apresentadas as características do SPI-3 para a RH-2. Nesta região ocorreram 24 eventos secos e 23 eventos chuvosos. A maior duração de eventos secos ocorreu entre agosto de 1991 e setembro de 1993 com duração de 26 meses com média de -1,41 e pico máximo de -2,92. A RH-2 apresentou um evento severamente seco com duração de 9 meses nos meses de setembro de 1994 a maio de 1995 com valor médio de -1,54. Uma sequência extremamente seca com valor médio de -2,64 ocorreu nos dois meses finais da série estudada. Nos demais meses registrou-se secas normais e moderadas com SPI sazonal variando de -0,40 a -1,46 (Tabela 5.2).

Nesta região a maior sequência de chuva com duração de 43 meses foi registrada de dezembro 1998 a junho de 2002 e SPI-3 médio de 1,37 e máximo de 2,79. Entre abril de

2008 e julho de 2009; e entre junho de 2010 e dezembro de 2011, houveram sequências severamente chuvosas com valores médios de 1,55 e 1,63, respectivamente. Em termos médios na RH-2 predominaram eventos chuvosos normais e moderados com valores médios variando de 0,10 a 1,37 (Tabela 5.2).

Tabela 5.2. Características dos principais eventos e chuvosos, obtidos pelo SPI-3, na RH-2 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 3					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 3				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO		INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO	
			MÁXIMO	MÉDIA				MÁXIMO	MÉDIA
mar/87	jul/87	5	-0,79	-0,56	ago/87	out/87	3	0,44	0,41
nov/87	dez/87	2	-0,81	-0,71	jan/88	jan/89	13	1,27	0,84
fev/89	abr/89	3	-0,97	-0,44	mai/89	fev/90	10	2,4	0,94
mar/90	jul/90	5	-2,12	-1,32	ago/90	out/90	3	0,83	0,57
nov/90	dez/90	2	-0,79	-0,4	jan/91	jul/91	7	0,81	0,42
ago/91	set/93	26	-2,92	-1,41	out/93	ago/94	11	1,45	0,90
set/94	mai/95	9	-1,98	-1,54	jun/95	jan/96	8	0,8	0,58
fev/96	mar/96	2	-0,79	-0,56	abr/96	jan/97	10	1,32	0,97
fev/97	out/97	9	-2,42	-1,16	nov/97	jan/98	3	1,09	0,82
fev/98	jul/98	6	-1,39	-0,79	ago/98	set/98	2	0,13	0,1
out/98	nov/98	2	-0,67	-0,56	dez/98	jun/02	43	2,79	1,37
jul/02	dez/02	6	1,21	0,59	jan/03	mar/04	15	1,85	1,04
abr/04	jul/04	4	-0,5	-0,26	ago/04	out/04	3	0,45	0,33
nov/04	mai/05	7	-0,83	-0,55	jun/05	jul/05	2	0,64	0,6
ago/05	dez/05	5	-1,72	-0,65	jan/06	fev/06	2	0,36	0,27
mar/06	mai/06	3	-0,65	-0,45	jun/06	jul/06	2	1,05	0,63
ago/06	out/06	4	-1,5	-0,7	nov/06	dez/06	2	1,21	0,78
jan/07	fev/07	2	-1,62	-1,46	mar/07	mai/07	3	1,14	0,87
jun/07	mar/08	10	-1,96	-0,87	abr/08	jul/09	16	2,27	1,55
ago/09	nov/09	4	-0,96	-0,51	dez/09	jan/10	2	0,36	0,3
fev/10	mai/10	4	-1,45	-0,79	jun/10	dez/11	19	1,99	1,63
jan/12	jul/12	7	-2,07	-1,26	ago/12	set/12	2	0,72	0,61
out/12	abr/13	7	-3,38	-1,43	mai/13	out/13	6	1,81	1,11
nov/13	dez/13	2	-2,94	-2,64					

Para a região RH-3 aconteceram 20 eventos de seca e a maior sequência foi de 36 meses, tendo início na década de 1990 com média de SPI de -1,27. Observa-se uma sequência de eventos severamente secos de fevereiro a junho de 2013 com media -1,61 e máximo de -2,64. Dentre os anos estudados ocorreram muitos meses com secas severas e extremamente severas como foram os casos de alguns anos da década de 1990. Destacam-

se, por exemplo, o período de fevereiro de 1990 a junho de 1993, 2002/2003 e 2011/2012 onde ocorreram SPI máximos de -3,03, -2,84 -2,91 respectivamente. Predominaram na RH-3 os eventos de secas normais e moderadas com valores médios variando de -0,31a -1,41.

Foram registradas na RH-3, 18 sequências de eventos chuvosos, sendo a maior entre dezembro de 2009 e novembro de 2011, com valor médio de 1,06. Nesta região houve uma sequência de chuvas severas entre março e junho de 1996 com pico máximo de 2,17. De modo geral predominam os eventos de chuvas normais e moderadas com valores médios variando entre 0,35 e 1,42 (Tabela 5.3).

Tabela 5.3. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-3, na RH-3 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 3					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 3				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO		INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO	
			MÁXIMO	MÉDIA				MÁXIMO	MÉDIA
mar/87	fev/88	12	-1,89	-1,32	mar/88	jun/88	4	1,87	1,42
jul/88	mar/89	9	-1,89	-1,12	abr/89	jan/90	10	1,63	1,02
jul/89	set/89	3	-1,34	-0,86	jul/90	set/90	3	1	0,86
fev/90	jun/90	5	-3,03	-1,29	out/93	out/94	13	1,71	1,12
out/90	set/93	36	-2,32	-1,27	fev/95	jul/95	6	1,58	1,11
nov/94	jan/95	3	-1,32	-1,03	mar/96	jun/96	4	2,17	1,76
ago/95	fev/06	7	-1,41	-0,98	out/96	mai/97	8	1,92	1,07
jul/96	set/96	3	-1,45	-0,86	nov/98	jan/99	3	0,71	0,62
jun/97	out/98	17	-2,1	-1,41	set/99	nov/00	15	1,42	1,14
fev/99	ago/99	7	-1,45	-0,51	abr/01	mar/02	11	2,21	1,29
dez/00	mar/01	4	-0,69	-0,31	jun/02	nov/02	6	2,22	1,11
abr/02	mai/02	2	-1,12	-0,61	jan/04	abr/04	4	1,6	1,17
dez/02	dez/03	13	-2,84	-1,39	abr/06	jul/06	4	0,67	0,35
mai/04	mar/06	23	-1,71	-0,96	mar/08	jun/08	4	1,08	0,82
ago/06	fev/08	19	-1,87	-1,01	jan/09	jul/09	7	1,8	1,01
jul/08	dez/08	6	-1,68	-1,21	dez/09	nov/11	24	1,69	1,06
ago/09	nov/09	4	-1,17	-0,39	dez/12	jan/13	2	0,77	0,52
dez/11	nov/12	12	-2,91	-1,02	jul/13	set/13	3	1,61	0,91
fev/13	jun/13	5	-2,64	-1,61					
out/13	dez/13	3	-1,21	-1,11					

Na RH-4 ocorreram 19 eventos secos e 18 eventos chuvosos. O período da maior sequência seca foi verificado na década de 90, situação semelhante ao da região RH-3. Secas severas aconteceram nas duas décadas finais da série, mais precisamente de setembro

a dezembro de 2003, abril de 2012 a dezembro de 2013, com valores médios de -1,85 e -2,01, respectivamente. (Tabela 5.4)

A maior sequência chuvosa ocorreu entre duas secas longas, no período de setembro de 1993 a dezembro de 1994. Foram duas as sequências de chuvas severas, entre janeiro e agosto de 2004 e dezembro de 2008 a outubro de 2009. Assim como nas demais regiões predominaram eventos de chuvas normais e moderadas (Tabela 5.4).

Tabela 5.4. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-3, na RH-4 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 3					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 3				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO		INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO	
			MÁXIMO	MÉDIA				MÁXIMO	MÉDIA
mar/87	abr/87	2	-1,51	-1,21	1986	1986	3	1,22	0,7
fev/88	abr/89	15	-1,48	-0,95	mai/87	jan/88	9	0,98	0,55
out/89	nov/89	2	-1,18	-1,11	mai/89	set/89	6	1,25	0,8
ago/90	dez/90	3	-1,58	-1,01	dez/89	jul/90	8	1,74	0,92
jul/91	dez/91	6	-1,49	-1,12	jan/91	jun/91	6	1,69	1,02
mar/92	ago/93	18	-2,21	-1,39	jan/92	fev/92	2	0,99	0,56
jan/95	fev/97	26	-1,92	-1,02	set/93	dez/94	16	1,52	1,11
nov/97	set/98	11	-2,49	-1,49	mar/97	out/97	8	1,41	0,93
mar/99	set/99	5	-2,16	-1,29	out/98	fev/99	5	2,45	1,19
jan/01	dez/01	12	-2,12	-1,24	out/99	dez/00	15	1,95	0,96
mar/02	ago/02	6	-2,19	-1,15	set/02	out/02	2	0,95	0,8
nov/02	fev/03	4	-0,73	-0,45	mar/03	ago/03	6	1,01	0,39
set/03	dez/03	4	-2,12	-1,85	jan/04	ago/04	8	2,89	1,93
set/04	fev/05	6	-1,74	-0,68	mar/05	ago/05	6	1,81	1,35
set/05	abr/06	8	-1,88	-1,03	mai/06	fev/07	10	1,98	1,46
mar/07	mai/08	15	-2,49	-1,21	jun/08	set/08	4	0,61	0,37
out/08	nov/08	2	-1,54	-0,94	dez/08	out/09	11	2,99	1,68
nov/09	dez/10	14	-1,85	-0,95	jan/11	mar/12	15	1,02	0,56
abr/12	dez/13	21	-3,02	-2,01					

De um modo geral, verifica-se que em todas as regiões homogêneas do SPI-3, os eventos mais longos de secas ocorreram na década de 1990, em grande parte vê-se uma concordância entre períodos longos de seca (chuva) e eventos de El Nino (La Nina). Observa-se que a parte mais ao sul do Estado foi mais castigada pela seca do que a Região Norte em especial nos anos finais da série.

5.2.1.3 Relações entre Anomalias de TSM e médias dos SPI-3

São apresentadas nesta secção a relação funcional entre as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical com o SPI-3 médio em cada região homogênea. Para obter a significância estatística do r aplicou-se o teste de t-student para nível de significância de 90%.

Pela tabela 5.5 verifica-se que as regiões RH-1 e RH-2 são influenciadas pelas anomalias de TSM no Oceano Pacífico e Atlântico Sul. Como já esperado em situações onde o Atlântico Sul apresenta TSM maiores que a média, há maior favorecimento das chuvas nos setores mais a norte do Estado, tendo em vista que a ZCIT tende a se deslocar mais para o Sul. Quando a ZCIT encontra-se mais a Norte, significa que no Atlântico Sul as temperaturas podem estar abaixo da média provocando um enfraquecimento das chuvas nestas regiões. Os resultados deste estudo corroboram com os encontrados por Andreolli e Kayano, (2006) em trabalhos realizados para o NEB. Na região RH-4 as correlações entre anomalias de TSM no Oceano Pacífico não foram muito evidenciadas, porém, guarda uma pequena relação com o Atlântico Sul. Por sua vez as anomalias de TSM no Atlântico Norte não influenciam as chuvas no Estado.

Tabela 5.5. Correlações entre anomalias de TSM e SPI-3 para as Regiões Homogêneas no estado do Maranhão para nível de significância estatística de 95% (valores sombreados).

	Média dos SPI-3 na RH-1	Média dos SPI-3 na RH-2	Média dos SPI-3 na RH-3	Média dos SPI-3 na RH-4
Nino 1.2	0,29	0,30	0,29	0,09
Nino 3	0,31	0,29	0,25	0,05
Nino 3.4	0,24	0,26	0,23	0,04
Nino 4	0,26	0,26	0,18	0,04
AT Sul	0,33	0,33	0,19	0,26
AT Norte	0,09	0,04	0,01	0,02

5.2.2 Análise da Variabilidade Semestral – SPI-6

Na análise do SPI-6 foram retidos os 14 primeiros fatores comuns que explicam aproximadamente 78% da variância total dos dados. As configurações espaciais dos três primeiros fatores comuns são ilustradas nas Figuras 5.15a, 5.16a e 5.17a. As séries temporais associadas a esses fatores do SPI-6 constam nas Figuras 5.15b, 5.16b e 5.17b. O

primeiro fator comum do SPI-6 que explica 42,9% da variância total do dados, apresenta regime homogêneo de eventos extremos do SPI-6 com correlações superiores a 0,7 na região nordeste que se estende em diagonal até as proximidades de 6° de latitude sul (Figura 5.15a). No noroeste e parte da região central as correlações oscilam entre 0,6 e 0,7. Correlações inferiores a 0,5 são encontradas no sul do Estado com um pequeno núcleo de correlações abaixo de 0,4 nas proximidades da Barragem de Boa Esperança. Pode-se constatar que a variabilidade espacial das correlações sazonais e semestrais do primeiro fator são positivas em todo o Estado, porém apresentam configurações diferentes.

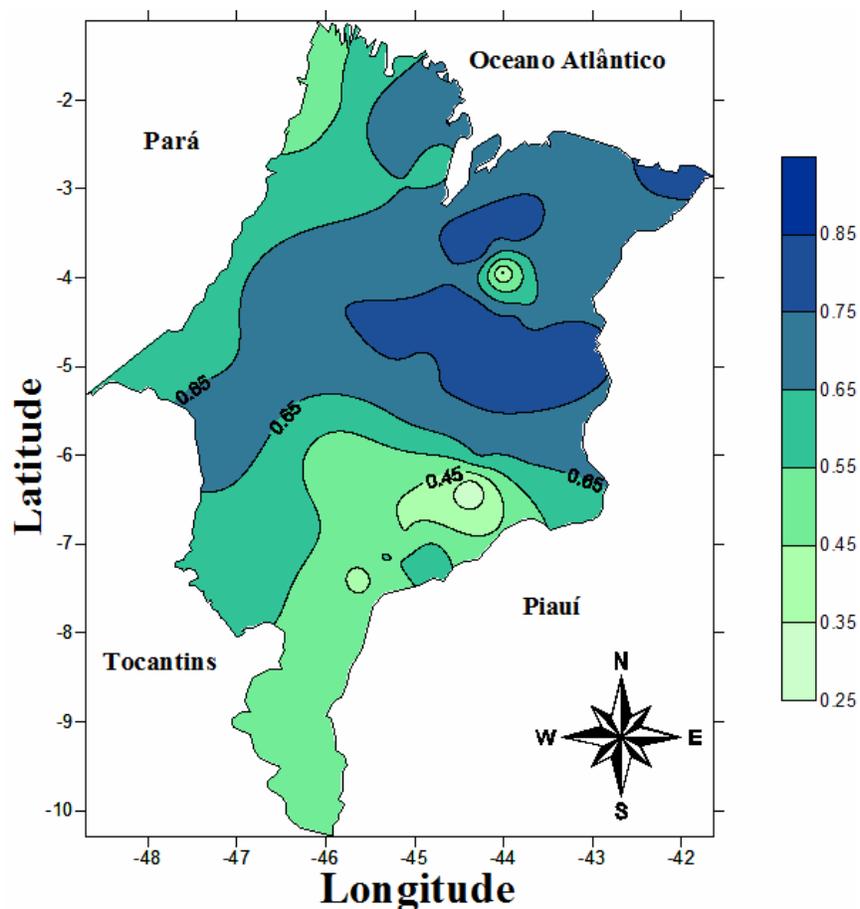


Figura 5.15a – Padrão espacial da correlação do primeiro fator para o SPI-6 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A primeira CP mostra valores médios positivos superiores a 1 para: janeiro de 1988 a janeiro de 1989; de maio de 1989 a fevereiro de 1990; novembro de 1990 a março de 1991, setembro a novembro de 1994, janeiro e março de 1998, abril a julho de 1999, junho e julho de 2003, junho a agosto de 2009, e janeiro e fevereiro de 2011. Os valores médios menores

que -1 foram registrados em novembro de 1991 a dezembro de 1992, novembro de 1996, fevereiro a agosto de 1997, outubro e novembro de 1997, dezembro de 2001, fevereiro de 2002, janeiro a abril de 2005, novembro de 2006 a fevereiro de 2007 outubro e novembro de 2007, fevereiro a julho de 2010, e fevereiro de 2012 a junho de 2013 (figura 5.15b).

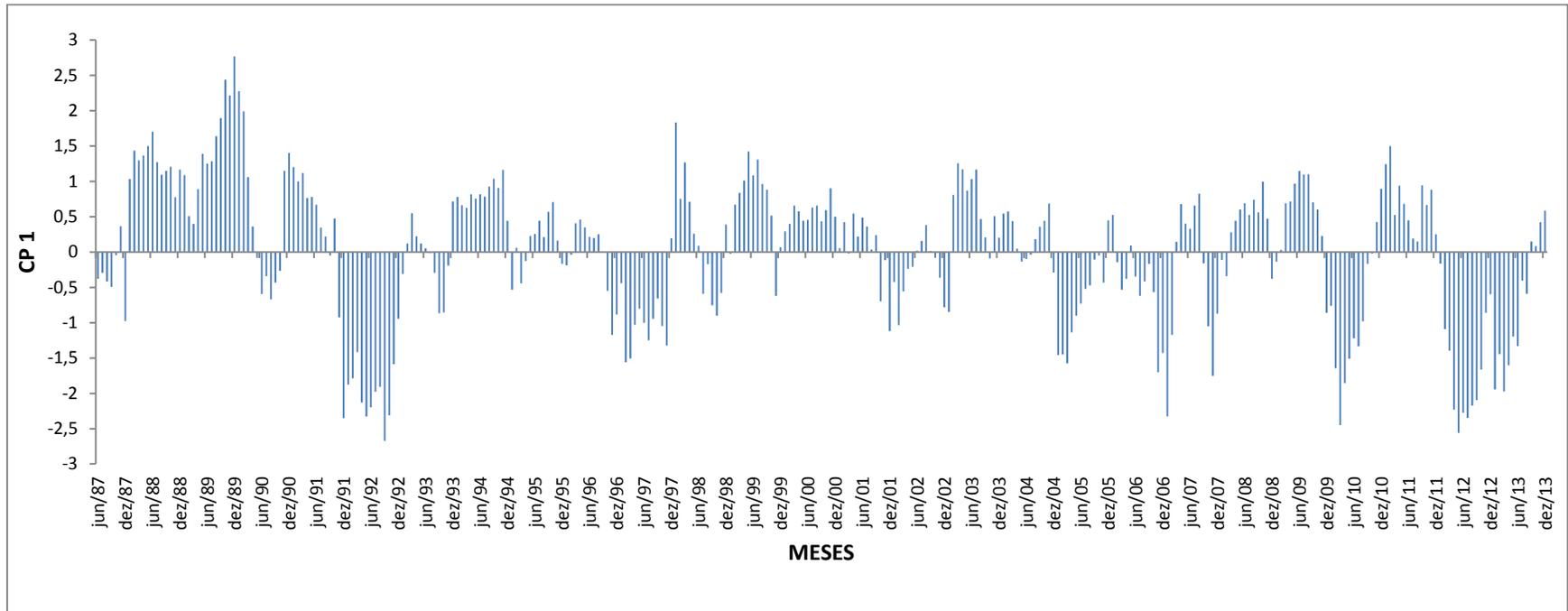


Figura 5.15b – Série temporal do primeiro fator comum espacial do SPI-6 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A variabilidade espacial do segundo fator comum explica 8,4% da variância total dos dados e apresenta correlações mais elevadas superiores 0,5 no extremo sudeste e sul, decrescendo em direção ao norte, atingindo valores mínimos negativos no extremo noroeste (Figura 5.16a). Assim este fator mostra uma distribuição meridional (Norte-Sul), mostrando uma separação entre as chuvas provenientes da ZCAS e Frentes (região sul) com as induzidas pela ZCIT, DOL e LI (região norte).

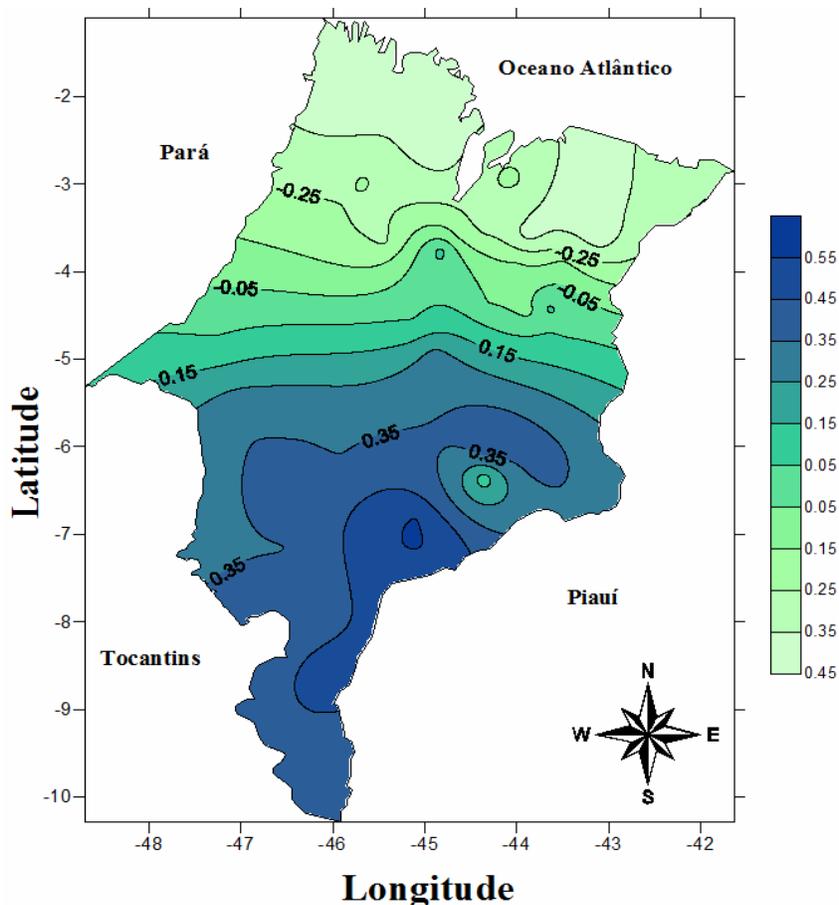


Figura 5.16a – Padrão espacial da correlação do segundo fator para o SPI-6 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A CP do segundo fator comum espacial evidencia contribuições positivas maiores que 1,0 em: dezembro de 1989, outubro de 1993 a agosto de 1994, maio a setembro de 1995, março a agosto de 1996, novembro de 1996 a março de 1997, novembro e dezembro de 1998, março e dezembro de 1999, novembro de 2001, janeiro, outubro e novembro de

2002, maio a outubro de 2009 e outubro de 2011. Desse modo, nos meses em que o valor do SPI-6 for maior que 1,0, a parte Sul do estado esteve mais propensa a eventos chuvosos.

As contribuições negativas menores que -1 aconteceram em: junho e julho de 1987, setembro de 1987 a março de 1988, junho e julho de 1990, dezembro de 1990 a novembro de 1991, janeiro a julho de 1993, dezembro de 2003, outubro de 2004, março a julho de 2007, outubro e novembro de 2008 e fevereiro a junho de 2013. (Figura 5.16b). Nestes períodos a parte Norte do estado não sofreu tanto com a seca, enquanto que os locais com altas correlações foram mais expostos à escassez de chuvas.

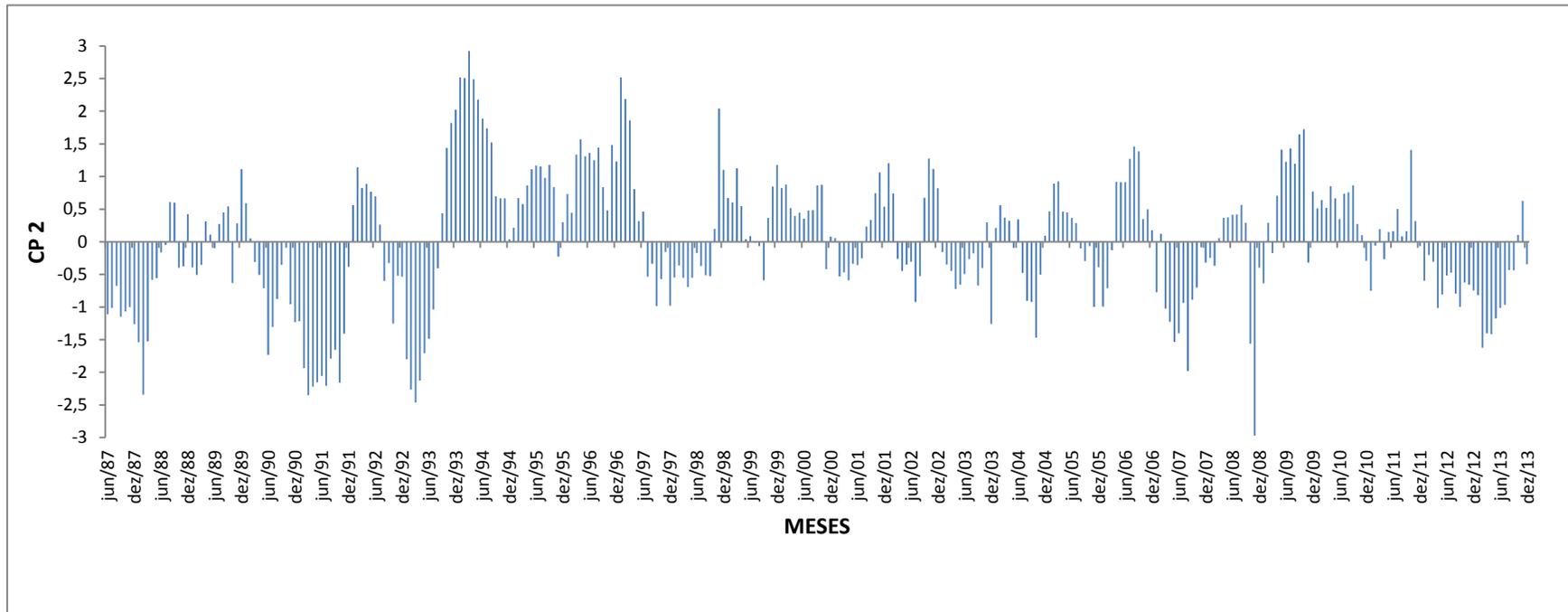


Figura 5.16b – Série temporal do segundo fator comum espacial do SPI-6 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A configuração espacial das correlações do terceiro fator que explica 4,4% da variância total dos dados é indefinida, com correlações baixas positivas e negativas em todo o estado, com exceção de três núcleos isolados, situados entre latitudes de 6°S e 7°S e um na região nordeste (Figura 5.17a). Isso evidencia que os fatores que geraram extremos de precipitação podem ter caráter local.

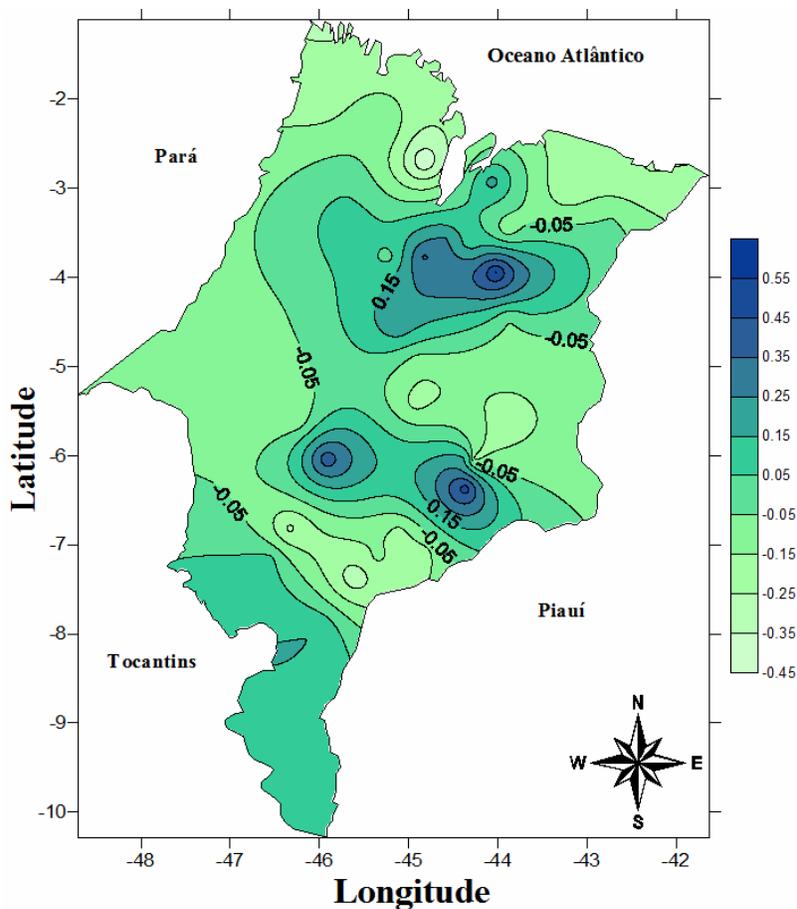


Figura 5.17a – Padrão espacial da correlação do terceiro fator para o SPI-6 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A série temporal do terceiro fator comum do SPI-6 evidencia contribuições positivas maiores que 1,0 em: agosto de 1987; agosto de 1989; maio a setembro de 1991; novembro de 1992; novembro de 2006; março a agosto de 1997; outubro de 1999 a maio de 2000; janeiro a março de 2002; janeiro a junho de 2004; junho a agosto de 2005; julho a novembro de 2006; julho a outubro de 2009; março, junho e julho de 2011 e novembro de

2012 a abril de 2013. As contribuições negativas menores que -1 ocorreram em: maio a agosto de 1993; janeiro a julho de 1994; novembro de 1997 a setembro de 1998; dezembro de 1998 a julho de 1999; outubro e novembro de 2002; novembro de 2003; setembro de 2004; janeiro e fevereiro de 2006; outubro a dezembro de 2007; novembro de 2009; e outubro de 2012 (figura 5.17b).

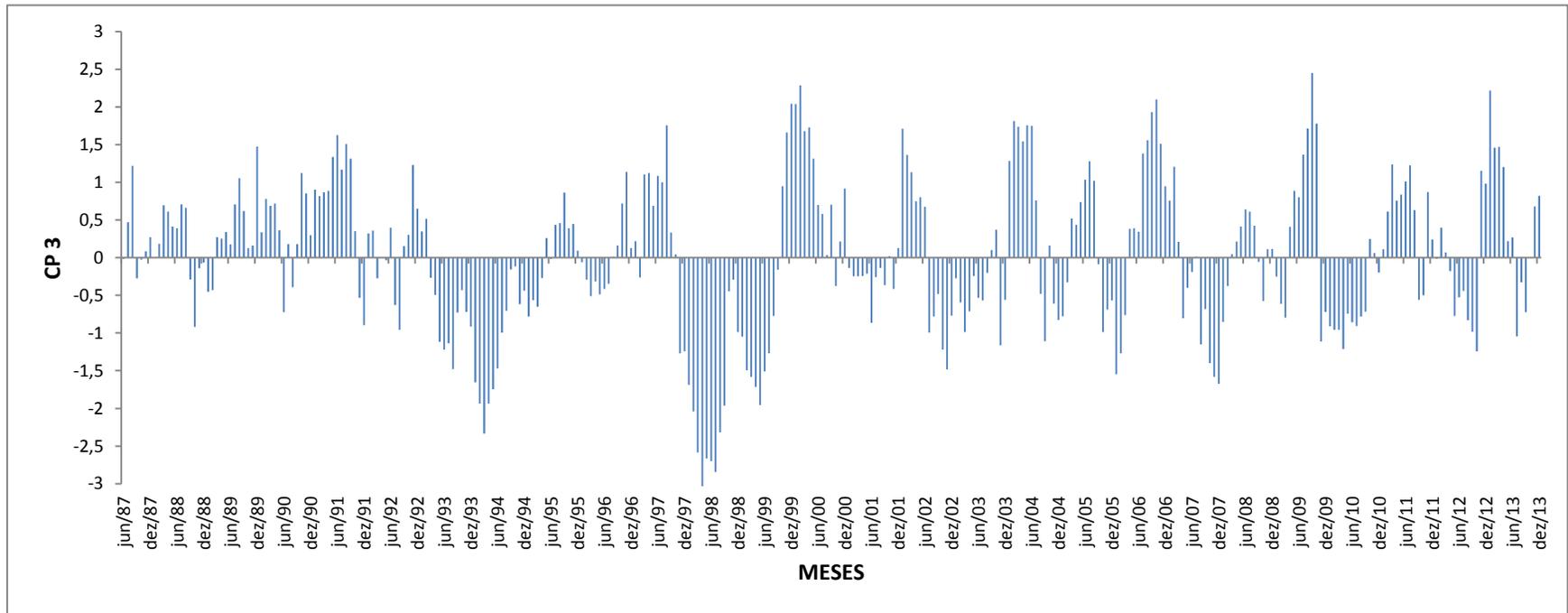


Figura 5.17b – Série temporal do segundo fator comum espacial do SPI-6 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

5.2.2.1 Regiões Homogêneas do SPI-6

Para determinação das regiões homogêneas do SPI-6 adotou-se o mesmo procedimento usado para o SPI-3, ou seja, a classificação foi feita a partir dos 14 fatores comuns espaciais utilizando o método de hierarquização proposto por Ward, 1963. O Estado foi delimitado em cinco Regiões Homogêneas do SPI-6. O padrão apresentado (Figura 5.18) é muito semelhante a distribuição espacial da precipitação (Figura 5.4). Isso sugere que a metodologia empregada para escala semestral do SPI é adequada ao regime pluviométrico do estado.

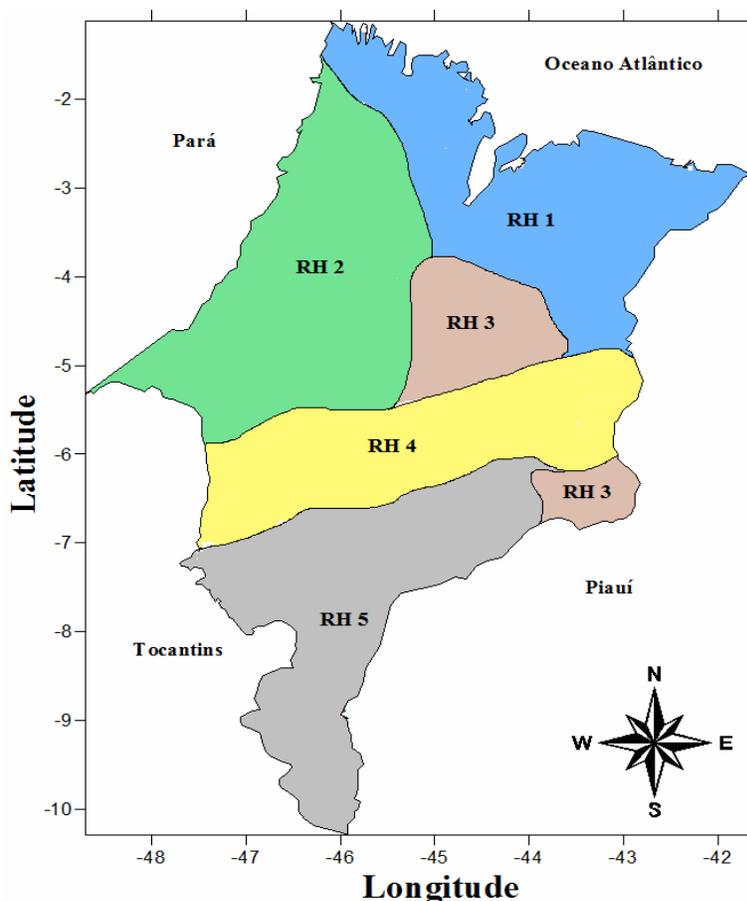


Figura 5.18 – Regiões homogêneas do SPI-6 para o estado do Maranhão no período de 1987 a 2013 usando o método aglomerativo de Ward.

5.2.2.2 Características dos eventos secos e chuvosos para o SPI-6

As principais características dos eventos secos e chuvosos das regiões homogêneas no estado do Maranhão estão sintetizadas nas Tabelas 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10. Na tabela 5.6 constam as sequências dos períodos secos e chuvosos do SPI-6 da RH 1 (Figura 5.18). Esta região apresenta 16 eventos de seca e 15 chuvosos. A maior sequência de eventos secos ocorreu de setembro de 1991 a setembro de 1993 com 25 meses. Os valores médios do SPI-6 indicaram intensidades de secas normal e moderadas, com valores variando de -0,28 a -1,31. Vale destacar os picos máximos ocorridos nas décadas de 1990 e 2010 com valores de seca extremas iguais a -2,98 e -3,01, respectivamente. A maior sequência chuvosa ocorreu de janeiro de 1988 a maio de 1990 com valor médio de 1,47. Outra longa sequência chuvosa ocorreu entre duas sequências secas entre outubro de 1993 e outubro 1995. Destacam-se nessa RH-1 os picos máximos na década de 2000 de 3,16 e 3,59, respectivamente, ambos em anos onde houve a ocorrência de La Nina forte.

Tabela 5.6. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-1 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 6					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 6				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO		INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO	
			MÁXIMO	MÉDIA				MÁXIMO	MÉDIA
jun/87	jul/87	2	-0,64	-0,47	ago/87	set/87	2	0,12	0,07
out/87	dez/87	3	-0,64	-0,3	jan/88	mai/90	29	1,94	1,47
jun/90	nov/90	6	-1,2	-0,72	dez/90	ago/91	9	2,96	1,46
set/91	set/93	25	-2,98	-1,24	out/93	out/95	25	2,91	1,32
nov/95	dez/96	14	-0,86	-0,29	Jan/97	mai/97	5	2,09	1,04
jun/97	dez/97	7	-1,57	-0,83	jan/98	abr/98	2	1,98	1,24
mai/98	nov/99	19	-0,85	-0,28	dez/99	mar/00	4	0,66	0,48
abr/00	nov/00	8	-0,75	-0,29	dez/00	fev/01	3	1,36	1,27
mar/01	jan/02	11	-0,97	-0,39	fev/02	ago/02	7	2,71	1,03
set/02	fev/03	6	-1,41	-0,79	mar/03	ago/03	6	1,69	1,08
set/03	dez/03	4	-1,79	-0,52	jan/04	ago/05	20	3,16	1,45
set/05	jun/07	22	-2,45	-0,97	jul/07	ago/07	2	1,48	0,95
set/07	dez/08	16	-1,85	-1,21	jan/09	out/09	10	3,59	1,42
nov/09	dez/10	14	-2,1	-1,18	jan/11	out/11	10	1,85	0,98
nov/11	jan/12	3	-2,3	-1,15	fev/12	ago/12	7	1,54	0,65
set/12	dez/13	16	-3,01	-1,31					

Para região RH-2, situada no noroeste e oeste do estado, fazendo fronteira com o estado do Pará ocorreram 14 eventos de seca e 12 chuvosos. A maior sequência de seca ocorreu entre janeiro de 1991 e novembro de 1993. Outro longo período onde a região sofreu com secas foi de agosto de 2005 a dezembro de 2007. Dentro dos anos estudados na escala semestral foi registrada uma sequência de 14 meses de seca severa nos anos 2012/2013 com um pico máximo de -3,78. A maior sequência chuvosa moderada de 27 meses, ocorreu de janeiro de 1988 a março de 1990 com intensidade média de 1,34 e máxima de 2,86. Dos eventos chuvosos do período estudado, todos tiveram valores médios de chuvas normal e moderada variando de 0,51 a 1,45 (Tabela 5.7).

Tabela 5.7. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-2 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 6					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 6				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO		INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO	
			MÁXIMO	MÉDIA				MÁXIMO	MÉDIA
jun/87	dez/87	7	-0,86	-0,5	jan/88	mar/90	27	2,86	1,34
abr/90	dez/90	9	-1,67	-0,95	dez/93	out/95	23	1,91	1,05
jan/91	nov/93	35	-2,93	-1,21	fev/96	jun/97	19	2,88	1,14
nov/95	jan/96	3	-1,86	-1,02	nov/98	out/00	24	2,98	1,04
jul/97	out/98	16	-2,24	-0,92	mar/01	set/01	7	2,82	0,95
nov/00	fev/01	4	-0,79	-0,41	mar/02	jul/02	5	1,85	0,51
out/01	fev/02	5	-1,47	-0,81	fev/03	nov/04	22	2,59	1,41
ago/02	jan/03	6	-1,84	-0,95	mar/05	jul/05	5	1,89	1,02
ago/05	dez/07	29	-2,86	-0,86	jan/08	ago/08	8	2,10	1,21
set/08	fev/08	6	-2,25	-0,93	mar/08	set/08	7	1,85	0,86
set/07	mar/08	7	-2,71	-1,2	mar/09	jul/10	17	2,96	1,45
out/08	fev/09	5	-2,27	-1,32	fev/12	set/12	8	2,15	1,07
ago/10	Jan/12	18	-2,72	-0,89					
out/12	dez/13	14	-3,78	-1,61					

Na tabela 5.8 para o SPI-6, são registrados 16 sequências de seca e 15 chuvosas na RH-3. A maior duração de seca moderada ocorreu entre janeiro de 1991 e setembro de 1993. Os valores médios do SPI-6 indicaram intensidades de secas moderadas, fraca e normal variando de -0,35 a -1,32. A maior sequência chuvosa moderada foi de 35 meses entre janeiro de 2008 a novembro de 2010, com intensidade média de 1,18 e pico máximo

de 2,94. Dos eventos chuvosos ocorridos no período em estudo, a maioria foram de chuvas normal e moderada, com valores médios variando de 0,18 a 1,29.

Tabela 5.8. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-3 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 6					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 6				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO		INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO	
			MÁXIMO	MÉDIA				MÁXIMO	MÉDIA
jun/87	dez/87	7	-1,66	-0,86	jan/88	set/88	9	1,67	0,46
out/88	nov/88	2	-0,63	-0,39	dez/88	abr/90	17	3,01	1,29
mai/90	out/90	6	-1,30	-0,55	nov/90	dez/90	2	0,94	0,50
jan/91	set/93	33	-2,36	-1,19	out/93	out/95	25	1,90	0,69
nov/95	mar/96	5	-1,98	-0,95	abr/96	set/96	6	0,33	0,18
out/96	dez/96	3	-0,85	-0,35	jan/97	fev/97	2	0,96	0,57
mar/97	out/98	20	-2,24	-1,02	nov/98	out/00	24	2,83	0,98
nov/00	mar/01	5	-0,89	-0,39	abr/01	nov/01	8	0,99	0,62
dez/01	ago/02	9	-1,54	-0,52	set/02	nov/02	3	0,72	0,65
dez/02	mai/03	6	-1,08	-0,46	jun/03	set/03	4	0,88	0,42
out/03	jan/04	4	-1,59	-0,69	fev/04	set/06	32	2,78	1,27
out/06	Jan/07	4	-1,41	-1,12	fev/07	jul/07	6	1,67	0,48
ago/07	dez/07	5	-1,53	-0,64	jan/08	nov/10	35	2,94	1,18
dez/10	jan/11	2	-1,35	-1,08	fev/11	ago/11	7	1,29	0,85
set/11	jan/12	5	-2,01	-1,32	fev/12	jul/12	6	1,81	1,02
ago/12	dez/13	17	-2,99	-1,01					

Na tabela 5.9 encontram-se os valores do SPI-6 para a região RH-4. Dentre as sequências dos meses na RH-4 ocorreram 18 eventos de seca e 17 chuvosos. A sequência de seca moderada de maior duração ocorreu entre fevereiro de 1991 e outubro de 1993 semelhante a RH-3. Os valores médios do SPI-6 indicaram intensidades de secas normal e moderadas, variando de -0,43 a -1,31 com exceção do período compreendido entre janeiro de 2012 a dezembro de 2013 que registraram valor médio de -1,57, dando a sequência o patamar de seca severa. A maior sequência chuvosa moderada de 26 meses ocorreu na década de 2000, com intensidade média de 1,14. Dos eventos chuvosos ocorridos no período em estudo, a maioria foi de chuva normal e moderada, com valores médios variando de 0,10 a 1,29.

Tabela 5.9. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-4 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 6					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 6				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO MÁXIMO	MÉDIA	INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO MÁXIMO	MÉDIA
jun/87	mai/88	12	-0,97	-0,43	abr/88	set/88	6	0,51	0,22
out/88	abr/89	7	-1,69	-0,97	mai/89	fev/90	10	1,62	0,72
mar/90	set/90	7	-1,27	-0,73	out/90	jan/91	4	0,66	0,42
fev/91	out/93	33	-2,60	-0,82	nov/93	set/94	11	1,94	1,19
out/94	jan/95	4	-1,50	-0,89	fev/95	nov/95	10	1,37	1,03
dez/95	jun/96	7	-1,50	-0,67	jul/96	set/96	3	0,39	0,32
out/96	jul/97	10	-1,82	-0,88	ago/97	set/97	2	0,18	0,12
out/97	out/98	13	-2,59	-1,12	nov/98	dez/98	2	0,62	0,59
fev/98	out/98	9	-2,24	-1,31	ago/99	dez/00	17	1,87	1,05
jan/99	jul/99	7	-0,70	-0,37	jul/01	ago/01	2	0,13	0,12
jan/01	jun/01	6	-1,03	-0,39	out/02	nov/02	2	0,70	0,52
set/01	set/02	13	-1,58	-0,94	out/03	nov/04	2	2,39	1,29
dez/02	set/03	9	-1,69	-1,02	dez/05	mai/07	18	2,07	0,94
dez/04	nov/05	12	-1,24	-0,81	jan/08	fev/10	26	2,59	1,14
abr/07	dez/07	9	-1,90	-0,54	set/10	dez/11	16	1,93	1,04
nov/09	dez/09	2	-1,52	-0,99	dez/12	jan/13	2	0,10	0,10
mar/10	ago/10	6	-1,92	-1,00	ago/13	dez/13	5	0,41	0,27
jan/12	dez/13	11	-2,94	-1,57					

A Tabela 5.10 refere-se às características do SPI-6 da região RH-5. Ocorreram 17 sequências de eventos de seca e 16 de chuvosos. A maior sequência de seca moderada ocorreu no início da década de 90, com 36 meses. Nessa região ocorreram 3 sequências de secas severas, uma em março a agosto de 90, outra de setembro de 1997 a outubro de 1998 e a última mais pronunciada na década de 2010 com valor máximo de -2,87 e médio de -2,02. Em geral, os valores médios do SPI-6 apontaram intensidades de seca normal e moderada, variando de -0,55 a -1,39. A maior sequência chuvosa de 18 meses ocorreu no período de março de 1996 a agosto de 1997. Dos eventos chuvosos ocorridos no período em estudo na RH-5, todos foram de chuva normal e moderada com valores médios variando de 0,30 a 1,20.

Tabela 5.10. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-6, na RH-5 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 6					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 6				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO MÁXIMO	MÉDIA	INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO MÁXIMO	MÉDIA
jun/87	fev/88	8	-2,56	-1,34	mar/88	set/88	7	1,61	1,19
out/88	nov/88	2	-1,86	-0,77	dez/88	fev/90	15	1,44	0,65
mar/90	ago/90	6	-2,14	-1,57	set/90	out/90	2	0,69	0,40
nov/90	out/93	36	-3,30	-1,24	nov/93	nov/94	13	1,28	0,65
nov/95	fev/96	4	-1,08	-0,67	mar/96	ago/97	18	1,99	1,20
set/97	out/98	14	-2,14	-1,58	nov/98	jan/99	3	0,48	0,34
fev/99	set/99	8	-1,71	-1,24	out/99	jan/01	16	1,36	0,98
fev/01	mai/01	4	-1,44	-0,68	jun/01	jun/02	13	1,95	1,03
jul/02	dez/03	18	-2,78	-1,39	jan/04	jul/04	7	1,36	0,77
ago/04	jun/06	23	-2,76	-1,04	jul/06	set/06	3	0,57	0,30
out/06	fev/08	17	-1,81	-0,84	mar/08	ago/08	6	0,80	0,56
set/08	jan/09	5	-2,02	-0,92	fev/09	out/09	9	1,61	1,06
nov/09	dez/09	2	-1,04	-0,55	jan/10	mai/10	5	1,32	0,53
jun/10	out/10	5	-1,98	-1,21	nov/10	fev/11	4	1,86	0,85
mar/11	set/11	7	-2,56	-0,78	out/11	dez/11	3	1,54	0,96
jan/12	nov/12	11	-1,97	-1,30	dez/12	fev/13	3	1,01	0,35
mar/13	dez/13	10	-2,87	-2,02					

Vale salientar que a maioria das longas sequências do SPI-6 de seca (chuvas), coincidem com períodos de El Nino (La Nina), em todas as regiões. De modo geral, todas as RH apresentaram as maiores sequências de secas na década de 1990. Notadamente, outro período de secas bastante evidente, ocorreu nos anos finais da série estudada. Verifica-se aqui, que as RH-3, RH-4 e RH-5 foram mais castigadas pela seca, enfatizando que a parte Sul e Central do Maranhão sofreram mais com a estiagem do que as RH-1 e RH-2 nos anos de 1987 a 2013.

As RH-1, RH-2 e RH-3 apresentaram as maiores sequências chuvosas do SPI-6, as quais podem estar associadas diretamente a ocorrência de eventos de La Nina, embora a maioria dos eventos extremos de chuvas tenham sido moderados nas regiões. No entanto, foram nas RH-1 e RH-2 que foram registrados os maiores picos na escala semestral do SPI. Isto mostra a diferenciação na variabilidade espacial da chuva no Estado, as quais podem estarem relacionadas à orografia, extensão territorial (Norte a Sul) e zona de transição entre

regime amazônico e semiárido proporcionado distintos regimes climáticos. Dessa forma, a parte Norte e Noroeste do estado estão mais sujeitas a eventos chuvosos do que a região Sul. Os resultados obtidos pelo SPI-6 corroboram com os encontrados por Santos (2013) em estudo semelhante realizado no estado do Pará e com os trabalhos realizados por Li et al. (2008) e Altamirano (2010) na Amazônia.

5.2.2.3 Relações entre Anomalias de TSM e médias dos SPI-6

A tabela 5.11 mostra as correlações entre as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical com os valores semestrais do SPI em cada uma das cinco RH apresentada na seção 5.2.2.1. Utilizou-se o mesmo procedimento adotado para o SPI-3, ou seja, o teste t-student para nível de significância de 95%.

Tabela 5.11. Correlações entre anomalias de TSM e SPI-6 para as Regiões Homogêneas no estado do Maranhão para nível de significância estatística de 95%.

	Média dos SPI-6 na RH-1	Média dos SPI-6 na RH-2	Média dos SPI-6 na RH-3	Média dos SPI-6 na RH-4	Média dos SPI-6 na RH-5
Nino 1.2	0,31	0,19	0,33	0,17	0,09
Nino 3	0,26	0,13	0,39	0,19	0,12
Nino 3.4	0,32	0,26	0,35	0,26	0,08
Nino 4	0,28	0,16	0,33	0,16	0,11
ATS	0,29	0,27	0,31	0,41	0,32
ATN	0,18	0,1	0,21	0,07	0,02

Da tabela 5.11 verifica-se que as RH-1 e RH-3 são influenciadas pelas anomalias de TSM no Oceano Pacífico e AT Sul. A primeira RH apresenta maiores correlações com as TSM do Pacífico, porém guarda uma certa relação com o AT Sul. Na RH-2 o maior valor de correlação ocorre com o AT Sul, enquanto que na RH-3 as maiores são com as anomalias de TSM no Oceano Pacífico. Dentre todas as RH do SPI-6 no Estado, a que mostrou maior correlação com as anomalias de TSM no AT Sul é a RH-4. A RH-5 não apresentou boas correlações entre os valores médios do SPI na escala semestral com as anomalias de TSM no Oceano Pacífico.

Dessa forma, observou-se que as chuvas na parte Norte e Nordeste do estado do Maranhão dependem diretamente das condições da TSM no Oceano Pacífico e Atlântico

Equatorial, enquanto que na parte noroeste essa dependência não se dar de forma tão consistente em relação às anomalias de TSM no Oceano Pacífico. A parte Sul do estado mostrou que os fenômenos de El Nino e La Nina não influenciam as chuvas na região de forma muito pronunciada.

5.2.3 Padrões de variabilidade anual para o SPI-12

Nesta seção são analisados e discutidos os resultados obtidos para o SPI na escala anual. Verificou-se que os 15 primeiros fatores explicaram aproximadamente 89% da variância total dos dados de acordo com o critério de Kaiser. São mostrados apenas os dois primeiros fatores que explicam 56% da variância total dos dados (APENDICE C).

A configuração espacial do primeiro fator, responsável por explicar 48% da variância dos dados, mostra correlações superiores a 0,5 em quase todo norte do Estado. No extremo nordeste e norte observam-se um núcleo que excede 0,8. Na parte Sul do estado às correlações são baixas, principalmente na região de fronteira com o estado do Tocantins (Figura 5.19a).

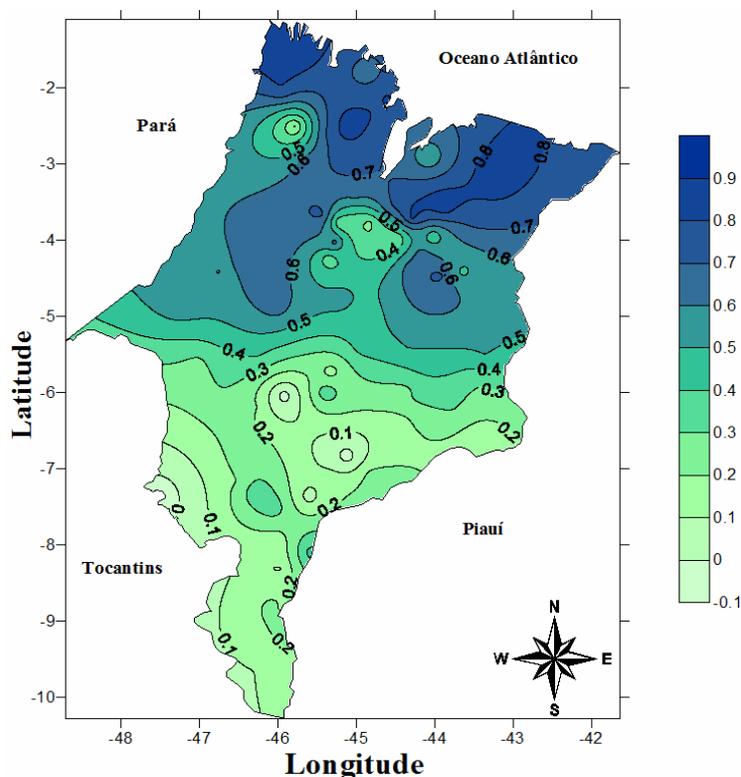


Figura 5.19a – Padrão espacial da correlação do primeiro fator para o SPI-12 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A série temporal do primeiro fator comum do SPI-12 evidencia contribuições positivas maiores que 1,0 em: abril de 1988 a abril de 1990, maio a novembro de 1991, maio de 1999 a março de 2000, fevereiro de 2001, dezembro de 2003 a janeiro de 2004 e abril a novembro de 2011. As contribuições negativas menores que -1 ocorreram em: abril de 1992 a abril de 1993, junho a outubro de 2007, março a dezembro de 2005, dezembro de 2006 a fevereiro de 2007, maio de 2012 a dezembro de 2013 (Figura 5.19b).

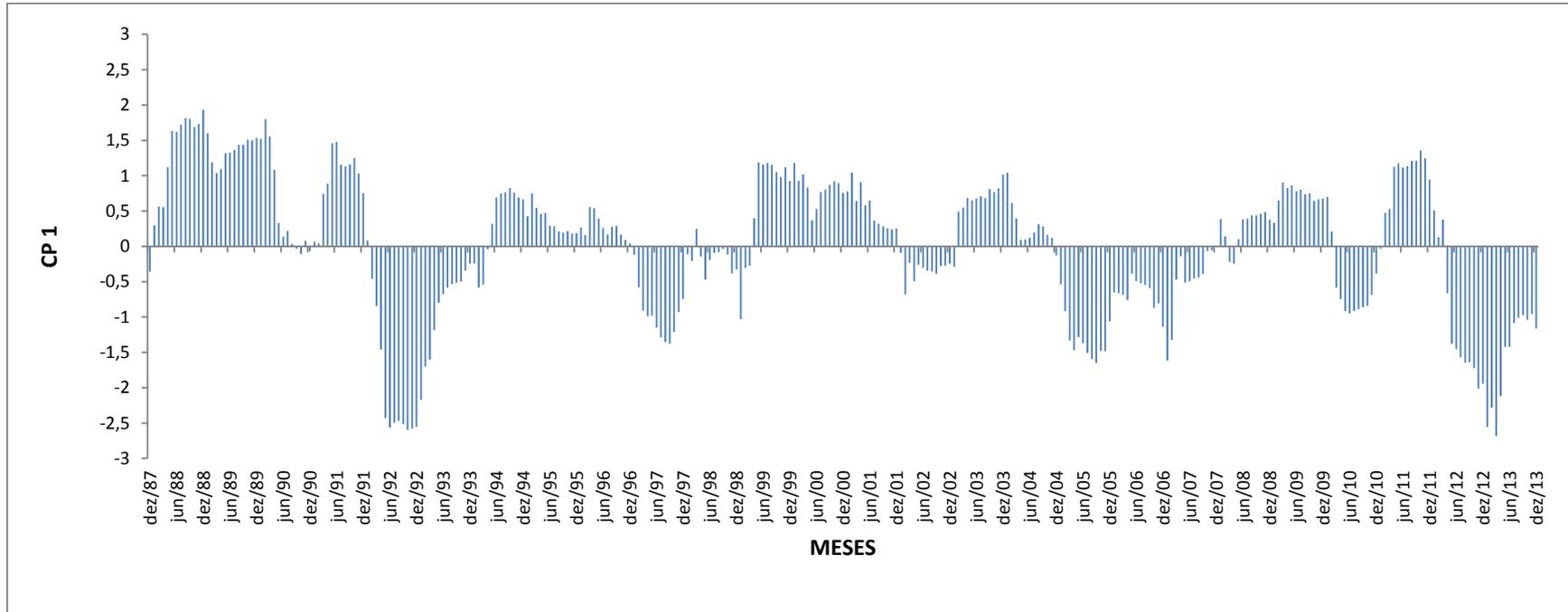
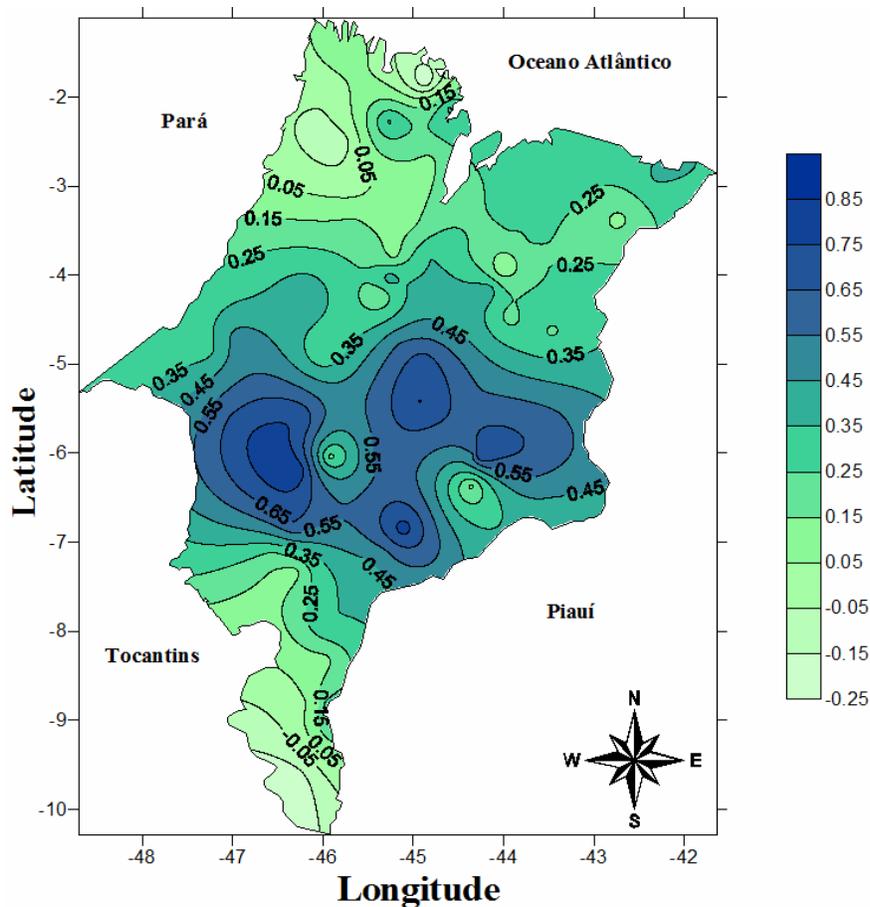


Figura 5.19b – Série temporal do primeiro fator comum espacial do SPI-12 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A variabilidade espacial do segundo fator comum espacial que explica aproximadamente 9% da variância total dos dados apresenta correlações da ordem de 0,55 na parte central do Estado, com quatro núcleos inseridos nessa região onde essas correlações passam de 0,6. No restante do Maranhão as correlações são baixas, principalmente no extremo Sul e extremo Noroeste. Nas demais áreas têm-se valores de correlações positivas, porém baixas (Figura 5.20a).



a)

Figura 5.20a – Padrão espacial da correlação do segundo fator para o SPI-12 no período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

A CP do segundo fator comum espacial evidencia contribuições positivas maiores que 1,0 em: novembro de 1995 a outubro de 1997, abril a dezembro de 2000, outubro a dezembro de 2009, março a abril de 2010 e março de 2011. Nesses meses nas regiões com alto de valor de correlação houve favorecimento das chuvas. As contribuições negativas menores que -1 ocorreram em: dezembro de 1987 a setembro de 1988, março de 1990 a

fevereiro de 1991, setembro novembro de 1991, fevereiro a dezembro de 1993, março a outubro de 1998, julho a dezembro de 2007, novembro de 2012 e fevereiro de 2013 (Figura 5.20b). Em regiões com altos valores de correlações houve escassez de chuvas.

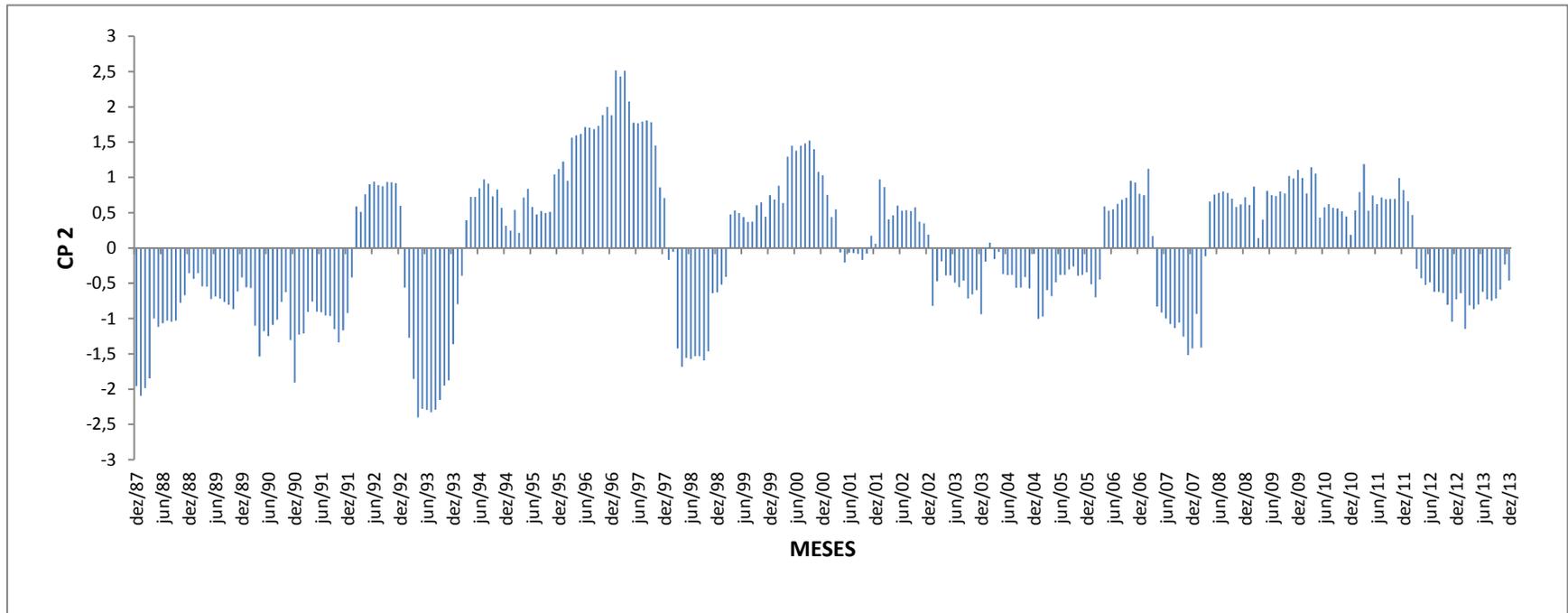


Figura 5.20b – Série temporal do segundo fator comum espacial do SPI-12 para o período de 1987 a 2013 no Estado do Maranhão.

5.2.3.1 Regiões Homogêneas do SPI-12

Utilizando o mesmo método do SPI-3 e SPI-6, o estado do Maranhão foi dividido em 2 regiões homogêneas do SPI-12, que foram obtidas a partir dos 15 fatores comuns espaciais (Figura 5.21). Esta configuração mostra a separação entre os regimes de chuva do Norte (ZCIT, LI e DOL) e do Sul (ZCAS e Frentes Frias Austrais). Estes regimes apresentam variabilidade interanual diferentes, assim sendo, o método separa o estado em dois grupos.

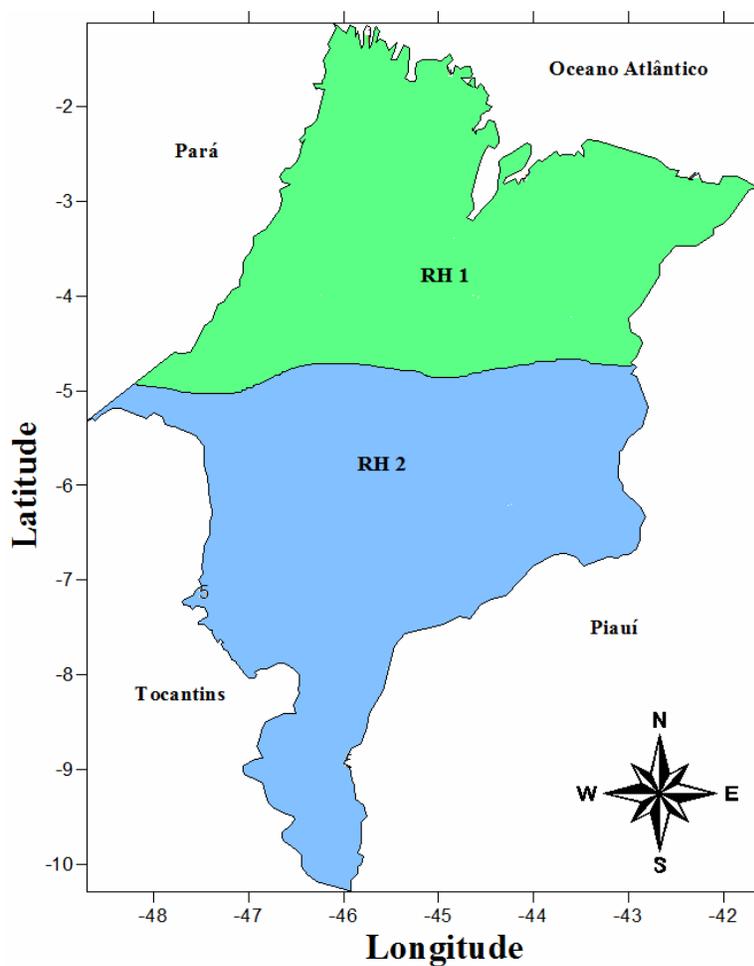


Figura 5.21 – Regiões homogêneas do SPI-12 para o estado do Maranhão no período de 1987 a 2013 usando o método aglomerativo de Ward.

5.2.3.2 Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-12 entre 1987 e 2013 no estado do Maranhão.

As Tabelas 5.12 e 5.13 mostram as características (início, fim, duração, pico máximo e índice médio) dos principais eventos secos e chuvosos no estado do Maranhão. Tomou-se assim, a média dos SPI nas regiões homogêneas 1 e 2, na escala anual, respectivamente.

Observa-se na Tabela 5.12, que ocorreram segundo o SPI-12, 6 eventos de seca e 6 eventos chuvosos. A maior sequência de eventos secos ocorreu entre maio de 1996 e fevereiro de 2002, no entanto, o valor médio foi de apenas -0,38. No final da série, têm-se a sequência com o maior valor médio de -1,39. A maior sequência chuvosa ocorreu de dezembro de 1987 a dezembro de 1991, porém nos meses compreendidos entre janeiro de 2008 e janeiro de 2010, a RH-1 do SPI-12 registrou a maior média chuvosa com intensidade média de 1,49. Predominam na RH-1 do SPI-12 os eventos de seca/chuva fraca, normal e moderada, com valores médios variando de -0,38/0,78 a -1,39/1,49.

Tabela 5.12. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-12, na RH-1 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 12					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 12				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO		INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO	
			MÁXIMO	MÉDIA				MÁXIMO	MÉDIA
jan/91	nov/93	35	-2,95	-1,29	dez/87	dez/91	49	2,21	1,2
mai/96	fev/02	70	-2,75	-0,38	dez/93	abr/96	29	3,01	1,25
jan/03	dez/03	12	-1,32	-0,95	mar/02	dez/02	10	1,75	0,78
mai/05	dez/07	32	-2,41	-1,25	jan/04	abr/05	16	2,58	1,09
fev/10	mar/11	14	-1,65	-0,96	jan/08	jan/10	25	2,91	1,49
jan/12	dez/13	24	-2,45	-1,39	abr/11	dez/11	9	1,56	0,62

A Tabela 5.13 mostra que segundo o SPI-12 na RH-2 ocorreram 9 eventos de secas e 9 eventos chuvosos. A maior sequência seca ocorreu no início da década de 90, com uma duração de 26 meses seguidos e valor médio de -1,03. A maior sequência chuvosa aconteceu na década de 2000, apresentando valor médio de 1,48. Na escala anual a RH-2 mostrou que ocorreram somente eventos de secas/chuvas fracas, normais e moderadas.

Tabela 5.13. Características dos principais eventos secos e chuvosos, obtidos pelo SPI-12, na RH-2 no período de 1987 a 2013.

SEQUÊNCIA SECA DO SPI – 12					SEQUÊNCIA CHUVOSA DO SPI - 12				
INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO		INICIO	FIM	DURAÇÃO	PICO	
			MÁXIMO	MÉDIA				MÁXIMO	MÉDIA
mai/88	nov/89	19	-1,95	-1,00	dez/87	abr/88	5	1,23	0,78
fev/92	mar/94	26	-2,75	-1,03	dez/89	jan/92	25	1,80	0,92
mar/95	fev/97	24	-2,32	-1,05	abr/94	fev/95	11	1,21	0,73
dez/97	dez/99	25	-2,31	-1,35	mar/97	nov/97	9	1,58	0,48
jan/01	dez/03	24	-2,65	-0,96	jan/99	dez/00	24	2,33	1,29
mar/06	set/06	8	-2,02	-1,19	jan/04	fev/06	26	2,56	1,48
jul/07	nov/08	17	-2,23	-0,99	out/06	jun/07	9	1,45	0,39
mai/10	fev/11	10	-1,93	-0,72	dez/08	abr/10	17	2,37	1,17
mar/12	dez/13	22	-2,40	-1,11	mar/11	fev/12	12	1,76	0,87

5.2.3.3 Correlação entre Anomalias de TSM e médias dos SPI-12 nos grupos

A Tabela 5.14 mostra as correlações entre as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical com o SPI-12 em cada região. Como nas demais situações utilizou-se o teste de t-student para o nível de significância de 95%.

Tabela 5.14. Correlações entre anomalias de TSM e SPI-12 para as Regiões Homogêneas no estado do Maranhão para o nível de significância estatística de 95%.

	Média dos SPI-12 na RH-1	Média dos SPI-12 na RH-2
Nino 1.2	0,40	0,28
Nino 3	0,29	0,29
Nino 3.4	0,31	0,25
Nino 4	0,46	0,16
ATS	0,19	0,39
ATN	0,11	0,10

Observa-se na Tabela 5.14 que a RH-1 apresenta boas correlações com a TSM do Oceano Pacífico na escala anual do SPI. Isso explica o fato dos períodos de secas (chuvas) presentes na Tabela 5.12 coincidirem em sua maioria com anos de El Nino (La Nina). Como mostrado na seção 5.1, grande parte das chuvas da parte Norte do estado se deve a presença da ZCIT que tem sua posição modulada pela TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical. Em relação a RH-2 do SPI-12 o maior valor de correlação, se dar com o

AT Sul, de modo que este influencia mais diretamente as chuvas nessa região. A ocorrência de secas na RH-2 se torna mais relevante por conta da ausência de fonte energéticas que produzam umidade, prejudicando assim, a dinâmica dos sistemas meteorológicos. A falta de recursos hídricos pode contribuir para a baixa precipitação, principalmente quando à umidade vindas de outras regiões forem reduzidas. Estes resultados corroboram com os encontrados por Macedo et al. (2010) e Guedes et al. (2012) em estudos realizados no vizinho estado do Piauí.

6. CONCLUSÕES

O uso da Análise Fatorial em Componentes Principais e agrupamentos, aplicados aos dados de precipitação pluvial permitiu extrair importantes informações a cerca da variabilidade climática do Estado do Maranhão – Brasil. Com a metodologia empregada foi possível identificar os padrões espaciais e temporais e relacioná-los com os principais fenômenos meteorológicos atuantes. Isto levou a conclusão de que a Zona de Convergência Intertropical é a principal indutora de chuvas no setor norte da área de estudo e juntamente com e as Linhas de Instabilidades, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis e os Distúrbios Ondulatórios de Leste respondem pelas chuvas nessa região durante o verão e outono austral. Na parte Sul, o estado sofre a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul e das Frentes Frias, sendo estes os maiores responsáveis pela precipitação pluvial neste setor nos meses de novembro e dezembro.

Pelo método de Ward o estado foi classificado em quatro regiões homogêneas do SPI-3, de modo que, as regiões localizadas mais a norte do Estado (RH-1 e RH-2) foram mais propensas a eventos chuvosos que as regiões ao sul (RH-3 e RH-4). Pelo SPI-6, o estado foi dividido em cinco regiões homogêneas, e o modo de variabilidade semestral do SPI foi similar ao da precipitação pluvial, enfatizando assim, que o estado tem duas estações bem definidas quanto ao regime de chuvas (uma seca outra chuvosa). Por fim, o SPI-12, mostrou o estado dividido em duas regiões (Norte e Sul).

De modo geral, no período de 1987 a 2013, o Maranhão apresentou as maiores frequências de eventos secos na década de 1990 em todas as escalas do SPI e as maiores sequências chuvosas foram registradas na década de 2000.

As correlações com anomalias de TSM mostraram uma forte influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical no padrão pluviométrico do estado. Notadamente, o SPI mostrou-se uma excelente ferramenta no estudo da variabilidade climática no estado do Maranhão, no entanto, exige-se um conhecimento prévio das características da região de estudo para uma melhor interpretação e análise dos resultados em suas diferentes escalas.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTAMIRANO, R. J. A. **Climatologia dos eventos chuvosos e secos severos, extremos e muito extremos usando o Índice de precipitação normalizada (SPI) para as regiões centro-oeste, sudeste e sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos- SP, 168 p. 2010.

ALTAMIRANO R. J. A.; SANSIGOLO, C. A. Variabilidade decenal da precipitação no Sul da Amazônia usando o SPI-6. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém-PA. **Anais**. 2010.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p. 323 – 338, 2012.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Tropical Pacific and South Atlantic effects on rainfall variability over Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1895-1912, 2006.

BARROS, S. S. **Precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara: aspectos observacionais e de modelagem**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, 112p. 2008.

BARROS, S. S.; OYAMA, M. D). Sistemas Meteorológicos Associados à Ocorrência de Precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 333-344, 2010.

BLAIN, G. C. **Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sub-tropical) Instituto Agronômico, Campinas-SP, 129p. 2005.

BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 255-261, 2007.

BHOWMIK, S. K. R.; ROY, S. S. Analysis of large-scale conditions associated with convection over the Indian monsoon region. **International Journal of Climatology**. v. 28, p. 797 – 821, 2006.

BONACCORSO, B.; BORDI, I.; CANCELLIERE, A.; ROSSI, A.; SUTERA, A. Spatial variability of drought an analysis of the SPI in Sicily. Kluwer Academic Publishers. **Water Resources Management**, v. 17, p. 273-296, 2003.

BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de Dados**. Rio de Janeiro, Zahar. 117p. 1982.

BRAGA, C. C.; (2000). **Inter-relação entre padrões de índice de vegetação e de pluviometria no Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal da Paraíba, Campin grande-PB, 101p. 2000.

CARVALHO, L.; JONES, C.; LIEBMAN B. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationship with intraseasonal to ineranual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v.17, p. 88-108, 2004.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. **Atmospheric Research** v.118, p. 27–40, 2012.

CHANG P, JI L, LI H. 1997. A decadal climate variation in the tropical Atlantic ocean from thermodynamic air-sea interactions. **Nature** **385**: 516–18.

EDWARDS, D. C.; McKEE, T. B. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. **Atmospheric Science Paper**, n. 634, p. 174, 1997.

FERREIRA, N. S. Zona de Convergência Intertropical. **Climanálise Especial. Edição Comemorativa de 10 anos**. INPE. p. 136-139, 1996.

FERREIRA R. N.; CHAO W. C. Aqua-planet simulations of the formation of the South Atlantic convergence zone. **International Journal of Climatology**. v. 33, p. 615-628, 2012.

FIGUEROA, S. N.; P. SATYAMURTY P. L.; SILVA DIAS. Simulations of the summer circulation over the South American region with an ETA coordinate model. **Journal Atmospheric Science**, v. 52, p. 1573-1584, 1994.

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.

GANDU, A. W.; J. E. GEISLER. A primitive equations model study of the effect of topography on the summer circulation over tropical South America. **Journal Atmospheric Science**. v. 48, p. 1822-1836, 1991.

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

GUEDES, R. V. S.; MACEDO M. J. H.; SOUSA F. A. S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. v. 23, p. 55-65, 2012.

HAYES, J. M.; SVOBODA, M.D.; WILHITE, D. A.; VANYARKHO, O.V. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 80, p. 429-438, 1999.

JONES M. R.; BLENKINSOP S.; FOWLER H. J.; KILSBY C. G. Objective classification of extreme rainfall regions for the UK and updated estimates of trends in regional extreme rainfall. **International Journal of Climatology**. v. 34, p. 751–765, 2014.

KANGAS, R. S.; BROWN, T. J. Characteristics of US drought and pluvials from a high-resolution spatial dataset. **International Journal of Climatology**. v. 27, p. 1303–1325, 2007.

KIM C. J., PARK M. J., LEE J. H. Analysis of climate change impacts on the spatial and frequency patterns of drought using a potential drought hazard mapping approach. **International Journal of Climatology**. v. 34, p. 61–80, 2014.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v. 36, p. 490-504, 1984.

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

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217-231, 1988.

LANA, X.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A. Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the SPI for Catalonia (NE Spain). **International Journal Climatology**, v. 21, p. 1669-1691, 2001.

LI, W.; FU, R.; JUAREZ, N.; FERNANDES, K. Observed change of the standardized precipitation index, its potential cause and implications to future climate change in the Amazon region. **Bull. Philosophical Transactions of The Royal Society**, v. 363, p. 1767-1772, 2008.

LYRA, G. B.; JÚNIOR, J. F. O.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**. v. 34, 2014.

MACEDO, M. J. H. **Análise do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) na caracterização das secas do Semiárido Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 119p. 2010.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SOUSA, F. A. S.; (2010). Monitoramento e intensidade das secas e chuvas na cidade de Campina Grande-PB. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 8, p. 105-117, 2011.

McKEE, T.B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationships of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA. Preprints. **Bull. American Meteorological Society**, p. 233-236. 1993.

MENEZES R. H. N. **Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil**. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 168p. 2009.

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

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.

PAMPUCH, L. A.; FERRAZ S. E. T. Investigação do modo sul em dados de precipitação no período de 1982 a 2006 no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p. 107 – 116, 2011.

PEDRON, I. T.; KLOSOWSKI, E. S. Distribuição de frequência de chuvas diárias no Estado de Paraná. Projeto Saber. **Revista Scientia Agrária Paranaensis**, v. 7, p. 55-63, 2008.

RICHMAN, M. Specification of complex modes of circulation with T-mode factor analysis. In: II International Conference on Statistics and Climate, Lisbon. National Institute of Meteorology and Geophysics, **Anais** p. 511-518, 1983.

SANSIGOLO, C. A. Análise comparativa do desempenho dos índices de seca de Palmer (PDSI) e da precipitação normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1971-2001). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, p. 237-242. 2004.

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**, v. 7, p. 23, 2010.

SANTOS, S. R.Q. **Determinação de regiões homogêneas do Índice de precipitação normalizada (SPI) no estado do Pará por meio da análise multivariada**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 96p. 2013.

SEQUEIRA, I. **Análise do SPI em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)**. Tese (Licenciatura em Meteorologia). Universidade de Lisboa, Portugal, 142p. 2006.

SILVA, J. L.C.; COSTA, L. C.; GOIS, G. Avaliação da Ocorrência de Seca em Seis Municípios do Estado de Minas Gerais - Brasil, Utilizando o Índice de Precipitação Padronizada - SPI. Congresso Argentino de Meteorologia (CONGREGMET), **Anais** 2005.

SOUZA P.; CAVALCANTI, I. F. A. Atmospheric centres of action associated with the Atlantic ITCZ position. **International Journal of Climatology**. V. 29, p. 2091–2105, 2009.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, M. A. Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Estação Chuvosa do Semi-Árido Nordeste. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 277-283, 1998.

SUBASH N.; MOHAN H. S. R. Trend detection in rainfall and evaluation of standardized precipitation index as a drought assessment index for rice–wheat productivity over IGR in India. **International Journal of Climatology**. v. 31 p. 1694–1709, 2011.

SPINONI J., NAUMANN G., CARRAO H., BARBOSA P., VOGT J. World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010. **International Journal of Climatology**. v. 34 p. 2792–2804, 2013.

THOM, H. C. S. **Same methods of climatological analyses**. World Meteorological Organization, Geneva, 53p. 1966.

TRENBERTH. K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 78, p. 2771-2777, 1997.

TURKES M.; TATLI, H. Use of the standardized precipitation index (SPI) and a modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. **International Journal of Climatology**. v. 29, p. 2270 – 2282, 2009.

VICENTE-SERRANO, S. M. Differences in spatial patterns of drought on diferente time scales: An analysis of the Iberian Peninsula. **Water Resources Management**, v. 20, p. 37-60, 2006.

VIDAL, J. P.; WADE, S. A multimodel assessment of future climatological droughts in the United Kingdom. **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 2056-2071, 2009.

WARD, J. H. Hierarchical grouping of otimize na objective function. **Journal of American Statistical Association**, v. 58, p. 236-244. 1963.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2^a Edition. California: Elsevier Science & Technology Books. Academic Press, 2006.

WU H.; HAYES M. J.; WEISS A.; HU Q. An evaluation of the standardized precipitation index, the China-Z index and the statistical Z-score. **International Journal of Climatology**, v. 21, p. 745–758. 2001.

ZHAI; JIANQING; SU, B.; VALENTINA. V; VETTER T; GAO C; JIANG, T. Spatial Variation and Trends in PDSI and SPI Indices and Their Relation to Streamflow in 10 Large Regions of China. **Journal of Climate**, v. 23, p. 649–663, 2010.

APÊNDICE A

Tabela A: Localização Geográfica, médias mensais e total das médias anual da Precipitação Pluvial no Estado do Maranhão, para os anos de 1987 a 2013.

MUNICÍPIO(ESTAÇÃO)	LAT	LONG	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Anual
CÂNDIDO MENDES	-1,4558	-45,7281	212,5	212,5	483,9	425,7	359,7	263,1	190,8	75,8	18,8	5,2	7,7	51,5	2397,4
CURURUPU	-1,8261	-44,8678	195,4	321,9	520,0	437,4	279,6	177,0	136,1	33,9	13,1	7,8	18,8	67,0	2208,2
GUIMARAES	-2,1294	-44,6069	217,9	296,0	485,9	519,1	383,2	253,9	200,7	29,4	4,5	4,4	8,4	81,4	2484,9
TUTÓIA(BARRO DURO)	-2,9022	-42,3131	155,1	210,8	319,5	327,4	192,6	93,8	51,1	11,4	3,5	1,4	6,4	41,5	1414,6
SAO BENTO	-2,7011	-44,8233	222,4	266,6	366,0	388,1	313,9	167,9	88,6	22,9	9,4	9,9	15,7	81,0	1952,4
MONÇÃO(ALTO TURI)	-2,9539	-45,6647	245,1	296,7	361,8	344,9	217,4	114,3	59,6	32,4	8,8	19,0	43,7	105,5	1849,2
CÂNDIDO MENDES(MARACACUME)	-2,0522	-45,9583	220,6	280,4	352,1	318,3	255,6	148,4	106,4	63,4	32,2	23,0	28,4	80,6	1909,4
TURIAÇU(BR-316 / RIO PARUA)	-2,5047	-45,7842	213	283,7	332,9	326,7	248,6	164,8	108,2	58,4	26,6	26,8	41,7	79,8	1911,2
VIANA(PEDRO ROSÁRIO)	-2,9708	-45,3550	317,9	308	345	313,3	246,5	177,7	116,7	55,6	23,8	31,9	37,3	80,2	1974,2
PINHEIRO(PIMENTA)	-2,5903	-45,3653	256,2	243,2	291,1	311,8	237,9	151,6	101,7	42,5	21,5	27,2	28,9	77,5	1740,5
PINHEIRO	-2,5153	-45,0856	178,9	219,5	315,2	337,0	278,8	166,3	101,8	35,2	8,9	6,1	19,2	54,2	1721,0
SANTA HELENA	-2,2739	-45,2711	176,2	219,4	332,4	328,6	276,2	153,8	109,3	32,2	9,4	4,0	10,7	43,3	1695,5
S. QUITÉRIA DO MAR.(BARRA DA ONÇA)	-3,3647	-42,7239	210,4	223,6	289,8	298,7	157,4	72,7	42,7	13,4	8,7	13,9	16,4	70,3	1418,0
VARGEM GRANDE(IGUARÁ)	-3,5536	-43,8736	216,5	248,0	373,0	313,5	197,1	57,3	32,4	6,0	7,1	11,7	34,0	115,0	1611,6
NINA RODRIGUES	-3,4594	-43,8989	226,8	255,7	354,4	348,5	195,3	60,3	39,0	9,0	7,5	15,2	27,9	109,3	1648,9
VARGEM GRANDE(MUNIM)	-3,5953	-43,7086	214,9	261,9	377,2	348,9	214,0	61,6	28,9	7,5	4,4	16,2	30,8	111,1	1677,3
MATA ROMA	-3,6258	-43,1122	188,8	229,5	339,8	330,2	194,0	68,4	34,8	4,3	4,1	4,6	12,8	69,3	1480,5
CHAPADINHA(BREJO DO MEIO)	-3,9261	-43,5011	187,9	246,4	351,0	321,3	186,0	58,4	31,9	4,4	5,6	8,3	23,4	70,5	1495,1
URBANO SANTOS(GONÇALO)	-3,0442	-43,2364	194,1	236,3	321,9	308,5	205,8	95,2	42,6	10,5	5,4	5,0	16,4	36,2	1478,2
CANTANHEDE	-3,6325	-44,3764	269,0	274,9	400,6	335,1	212,2	60,4	24,2	14,2	9,8	38,2	42,7	102,0	1783,3
PIRAPEMAS(PERITORÓ II)	-3,7064	-44,2872	261,8	295,1	383,2	329,6	196,6	57,4	21,5	11,1	14,5	35,6	47,4	97,2	1750,7
PIRAPEMAS(PEDRAS)	-3,9436	-44,0175	236,2	275,6	380,4	351,4	175,3	46,3	13,2	5,7	5,2	18,0	33,7	94,1	1635,1
PRESIDENTE JUCELINO	-2,9272	-44,0642	251,0	290,0	373,0	356,0	228,9	117,3	91,9	33,4	11,8	20,7	19,5	88,3	1881,6
SÃO MATEUS DO MARANHÃO	-3,9833	-44,4667	240,3	264,0	312,6	358,1	156,3	48,9	24,1	12,6	19,7	47,4	69,7	132,8	1686,5
ITAPECURÚ MIRIM(MIRANDA)	-3,5667	-44,5833	257,8	280,9	396,8	356,6	210,8	78,8	28,7	14,3	20,9	47,6	61,2	120,9	1875,3

VITÓRIA DO MEARIM(LAGO AÇÚ)	-3,7667	-44,8333	247,3	293,7	310,1	330,1	177,1	61,3	27,8	22,0	18,5	26,2	48,3	121,3	1683,6
VITÓRIA DO MEARIM(ARATOI GRANDE)	-3,7708	-45,2183	227,0	267,8	328,5	334,2	184,2	59,1	27,2	10,0	16,5	25,9	58,7	99,8	1638,9
PINDARÉ-MIRÍM	-3,6583	-45,4431	242,1	306,1	429,0	409,9	209,1	69,5	35,9	16,4	20,3	28,6	53,7	122,5	1943,1
CAJARÍ(BOA VISTA DO PINDARÉ)	-3,4028	-45,0106	233,1	291,6	405,0	401,7	225,0	98,0	45,7	28,7	28,5	29,2	48,7	145,2	1980,2
MONÇÃO(NEWTON BELO)	-3,4244	-45,6694	223,0	265,9	379,3	367,9	191,8	78,5	43,8	14,1	10,8	28,0	47,0	122,7	1772,8
BOM JARDIM(TUCUMA)	-4,2314	-46,1789	181,3	247,8	355,2	302,5	138,8	26,5	16,9	8,2	9,0	15,0	57,2	87,3	1445,9
DUQUE BACELAR	-4,1528	-42,9461	221,2	252,2	379,1	323,9	180,9	71,2	22,2	5,5	12,2	17,1	33,8	97,2	1616,4
CODÓ	-4,4586	-43,8767	215,0	242,2	353,2	317,2	157,6	43,7	16,8	9,3	13,2	16,5	49,1	105,2	1538,9
CODÓ(FAZENDA SOBRAL)	-4,4672	-43,9258	192,8	244,2	344,4	314,2	150,0	39,8	12,0	8,2	8,6	12,7	38,4	99,1	1464,5
CODÓ(PALMEIRA DO NORTE)	-4,4181	-43,6456	204,2	255,1	355,5	285,0	147,5	34,7	16,7	6,6	7,6	13,3	46,1	124,5	1496,9
ALDEAS ALTAS	-4,6261	-43,4683	196,9	215,8	299,1	271,4	132,0	24,5	14,2	6,4	6,5	18,1	33,6	128,9	1347,5
COROATÁ	-4,1628	-44,1658	210,2	265,9	369,7	357,2	162,0	41,3	20,6	7,8	8,4	17,9	48,6	107,1	1616,8
PEDREIRAS(PEDREIRAS II)	-4,5703	-44,6050	233,2	243,7	360,3	281,9	126,4	34,9	11,2	10,4	9,1	37,5	62,1	131,1	1541,7
BARRA DO CORDA(SANTA VITÓRIA)	-4,9517	-44,8942	186,7	224,6	310,3	206,1	79,7	23,4	11,1	6,4	9,0	40,4	57,7	121,3	1276,6
COROATÁ(PIRITORÓ BR-316)	-4,3750	-44,3333	200,4	260,2	355,4	330,3	154,2	33,8	10,9	6,6	9,8	17,4	34,4	120,0	1533,6
SANTA LUZIA(ESPERANTINA)	-4,0311	-45,2711	226,3	298,9	421,6	375,7	169,7	47,3	22,7	13,1	12,7	27,1	60,0	129,8	1804,9
LAGO DA PEDRA(ANGICO)	-4,7428	-45,1806	190,2	226,8	372,4	265,3	114,7	23,9	14,9	7,5	8,5	33,6	51,7	127,3	1436,9
GRAJAÚ(ARAME)	-4,8864	-46,0114	197,3	212,8	267,6	210,6	101,6	18,7	10,5	2,7	8,0	33,3	56,5	120,9	1240,5
LAGO DA PEDRA	-4,5606	-45,1256	212,3	265,0	376,3	293,6	147,8	38,9	16,1	9,5	10,2	39,0	55,2	134,9	1598,8
VITORINO FREIRE(SÃO JOÃO DO GRAJAÚ)	-4,2406	-45,3581	216,3	261,7	423,1	407,0	203,7	44,3	20,4	11,5	8,5	28,8	50,1	113,1	1788,5
SANTA LUZIA(PONTE BR-222)	-4,3042	-46,4936	201,2	245,4	341,5	272,9	115,5	30,1	12,7	4,6	8,7	19,8	70,5	98,8	1421,7
SANTA LUZIA(FAZENDA PEDREIRAS)	-4,4092	-46,7475	182,7	209,1	285,2	258,7	101,7	18,6	13,1	7,3	6,3	17,9	57,8	95,8	1254,3
SANTA LUZIA(VALE DO PINDARÉ)	-4,6981	-46,9392	208,6	254,9	308,4	247,8	88,2	19,3	6,6	5,3	15,6	25,3	69,8	118,8	1368,7
IMPERATRIZ(RETA KM-32)	-4,8414	-47,2739	222,2	252,4	325,1	280,9	79,4	12,3	6,1	6,1	12,9	21,0	78,1	132,4	1428,7
AÇAILÂNDIA	-4,9208	-47,4969	231,9	246,7	325,9	255,9	90,9	11,3	3,3	5,7	23,8	38,7	92,4	168,0	1494,5
PARNARAMA(LAGOA)	-5,4844	-43,3586	191,3	213,2	310,2	249,1	83,8	14,8	10,3	4,5	19,9	34,7	72,6	144,1	1348,5
BURITÍ BRAVO(MENDES)	-5,7092	-43,5872	192,1	208,8	264,2	211,8	80,2	20,5	6,8	3,2	21,0	50,2	62,7	129,8	1251,3
PASSAGEM FRANCA(VEREDA GRANDE)	-5,9700	-43,4158	204,8	209,3	273,2	207,1	81,1	10,8	6,4	2,7	11,8	52,1	89,9	161,9	1311,0
PRESIDENTE DUTRA(FLORES)	-5,4197	-44,9283	185,1	179,3	266,0	206,8	88,0	16,8	12,7	7,0	16,8	34,3	70,3	110,5	1193,7
GRAÇA ARANHA	-5,4050	-44,3356	195,5	237,0	282,4	214,8	85,9	13,5	14,1	6,5	12,3	34,7	65,7	122,1	1284,5

BARRA DO CORDA(RIO CORDA II)	-5,7275	-45,3131	161,2	145,4	195,0	154,8	59,3	16,3	2,6	2,4	14,8	25,2	67,8	82,1	926,9
GRAJAÚ(FORTALEZA)	-5,6044	-46,2386	194,7	187,8	244,1	170,8	54,8	15,1	4,0	4,7	20,1	41,6	99,0	130,8	1167,4
SÍTIO NOVO	-5,8842	-46,7019	183,3	190,9	258,7	169,8	72,8	13,0	2,4	3,2	31,9	60,3	104,0	150,6	1240,8
BURITÍ(BURITIRAMA)	-5,5944	-47,0192	222,8	243,8	260,2	193,2	72,5	14,7	5,4	8,4	28,7	54,1	98,7	162,2	1364,6
BARÃO DO GRAJAÚ(LAGES)	-6,6100	-43,4011	200,1	170,8	216,8	167,5	55,7	13,6	4,5	1,1	20,9	47,8	101,3	162,5	1162,7
PASSAGEM FRANCA	-6,1756	-43,7778	199,4	217,7	275,2	214,7	63,3	10,0	7,3	5,1	19,5	58,1	74,4	161,5	1306,2
COLINAS	-6,0275	-44,2539	205,1	176,8	259,4	199,6	73,0	17,3	7,5	6,0	28,3	62,2	95,3	139,1	1269,6
MIRADOR	-6,3692	-44,3594	190,6	180,1	231,3	176,5	57,9	13,2	4,4	9,2	23,0	51,3	103,2	160,3	1200,9
MIRADOR(PORTO DO LOPES)	-6,0103	-44,3444	190,9	176,8	237,5	173,7	60,2	13,7	6,0	3,0	20,6	53,8	88,8	129,9	1154,8
MIRADOR(CAMPO LARGO)	-6,0669	-44,7144	191,6	157,2	243,4	158,8	57,6	11,5	6,2	5,1	17,2	52,3	114,0	124,2	1139,1
BARRA DO CORDA(PAPAGAIO)	-6,0022	-45,3942	188,4	177,9	253,9	206,2	70,8	17,5	4,6	9,7	20,8	51,1	97,3	123,2	1221,6
LORETO(MATO GROSSO)	-6,8442	-45,1092	173,1	138,8	176,1	115,1	43,8	6,1	3,4	4,3	17,5	45,5	102,3	157,9	984,0
GRAJAÚ(FEZENDA PIRANHAS)	-6,0392	-45,9206	159,7	135,5	152,5	111,1	44,8	10,2	2,0	7,9	13,1	44,8	88,1	121,6	891,2
GRAJAÚ(FAZENDA SÃO VICENTE)	-6,8183	-46,3336	208,2	159,6	233,6	137,0	58,0	7,6	4,8	4,2	23,7	63,1	102,0	138,4	1140,1
GRAJAÚ(FAZENDA SEMPRE VIVA)	-6,1928	-46,2689	178,5	172,4	220,8	148,0	75,4	11,3	13,3	3,2	28,9	50,6	89,4	124,3	1116,0
SÃO FELIX DE BALSAS	-7,0814	-44,8125	189,6	149,5	192,7	139,8	37,6	8,4	2,5	6,1	26,2	78,5	129,4	150,3	1110,5
SAMBAÍBA	-7,1386	-45,3478	188,8	148,2	169,7	108,1	43,0	4,8	3,4	5,4	24,1	72,8	108,1	152,2	1028,5
SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS(FAZENDA TIGRE)	-7,3747	-45,6078	196,1	152,3	174,8	125,6	56,5	4,2	3,3	2,3	23,2	64,6	138,5	164,7	1106,1
BALSA	-7,5225	-46,0342	212,8	167,0	207,3	121,3	44,8	4,6	2,2	3,9	21,7	86,1	138,8	204,4	1215,0
BALSA(BREJO COMPRIDO)	-7,9286	-45,9886	249,1	198,5	239,2	169,2	54,5	3,4	2,3	3,7	28,6	93,4	130,6	193,0	1365,4
RIACHÃO(MORRO VERMELHO)	-7,1578	-46,5544	204,2	176,0	212,7	124,1	41,4	10,0	2,0	3,7	23,7	75,4	125,4	177,9	1176,6
BALSA(RECURSOS)	-7,3314	-46,3075	196,1	174,0	211,5	113,4	47,5	3,7	0,6	4,8	22,4	78,7	135,6	193,9	1182,2
CAROLINA	-7,3231	-47,4644	253,2	255,2	277,1	191,1	77,7	8,1	6,3	7,1	41,8	124,0	140,4	214,0	1595,9
TASSO FRAGOSO(BABILÔNIA)	-8,3175	-45,9678	271,4	211,4	251,3	160,7	59,8	4,6	1,2	3,4	26,2	94,6	171,5	256,6	1512,6
TASSO FRAGOSO(BARRA DO FOSDÃO)	-8,1014	-45,5875	226,9	183,3	185,6	140,8	39,3	5,6	2,0	1,0	30,1	85,0	120,4	198,7	1218,6
ALTO PARNAÍBA(INHUMAS)	-8,8211	-45,9681	220,3	205,0	220,1	140,1	43,7	4,3	1,6	3,8	25,6	79,3	164,1	218,5	1326,4
ALTO PARNAÍBA(BOA VISTA)	-8,8128	-46,0781	232,8	211,0	216,0	154,1	45,0	3,8	1,2	2,4	27,0	91,0	188,5	233,9	1406,7
ALTO DO PARNAÍBA	-9,1131	-45,9261	227,3	208,3	252,5	146,2	38,4	2,2	1,0	4,8	21,8	88,3	155,3	221,9	1367,9

APÊNDICE B

Tabela C*: Valores Próprios, Variância Explicada (%) e Variância Acumulada (%) da precipitação mensal no Estado do Maranhão para o período de 1987 a 2013.

CP's	Cargas Não Rotacionadas			Cargas Rotacionadas		
	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	7,546	62,881	62,881	4,155	34,629	34,629
2	2,266	18,883	81,764	4,069	33,911	68,540
3	1,325	11,045	92,808	2,912	24,269	92,808
...						
12			100,000			

Tabela C**: Valores Próprios, Variância Explicada (%) e Variância Acumulada (%) do SPI-3 no Estado do Maranhão para o período de 1987 a 2013.

CP's	Cargas Não Rotacionadas			Cargas Rotacionadas		
	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	32,813	40,015	40,015	32,813	40,015	40,015
2	6,559	7,999	48,015	6,559	7,999	48,015
3	2,863	3,491	51,506	2,863	3,491	51,506
4	2,278	2,778	54,284	2,278	2,778	54,284
5	2,010	2,452	56,735	2,010	2,452	56,735
6	1,902	2,319	59,055	1,902	2,319	59,055
7	1,714	2,090	61,145	1,714	2,090	61,145
8	1,466	1,788	62,933	1,466	1,788	62,933
9	1,379	1,681	64,614	1,379	1,681	64,614
10	1,319	1,609	66,223	1,319	1,609	66,223
11	1,249	1,524	67,747	1,249	1,524	67,747
12	1,195	1,457	69,204	1,195	1,457	69,204
13	1,167	1,424	70,627	1,167	1,424	70,627
14	1,114	1,359	71,986	1,114	1,359	71,986
15	1,044	1,273	73,258	1,044	1,273	73,258
...
84	84	84	100	84	84	100,0

Tabela C***. Valores Próprios, Variância Explicada (%) e Variância Acumulada (%) do SPI-6.

CP's	Cargas Não Rotacionadas			Cargas Rotacionadas		
	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	35,175	42,896	42,896	35,175	42,896	42,896
2	6,912	8,430	51,326	6,912	8,430	51,326
3	3,629	4,425	55,751	3,629	4,425	55,751
4	2,633	3,210	58,962	2,633	3,210	58,962
5	2,271	2,770	61,731	2,271	2,770	61,731
6	2,000	2,438	64,170	2,000	2,438	64,170
7	1,822	2,221	66,391	1,822	2,221	66,391
8	1,549	1,889	68,280	1,549	1,889	68,280
9	1,529	1,865	70,145	1,529	1,865	70,145
10	1,423	1,736	71,881	1,423	1,736	71,881
11	1,365	1,665	73,546	1,365	1,665	73,546
12	1,297	1,582	75,127	1,297	1,582	75,127
13	1,248	1,522	76,649	1,248	1,522	76,649
14	1,092	1,331	77,980	1,092	1,331	77,980
...
84	...	...	100	...	...	...

Tabela C****. Valores Próprios, Variância Explicada (%) e Variância Acumulada (%) do SPI-12.

CP's	Cargas Não Rotacionadas			Cargas Rotacionadas		
	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)	Valor Próprio	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	38,795	47,311	47,311	23,275	28,384	28,384
2	7,334	8,944	56,255	13,492	16,453	44,838
3	4,767	5,814	62,069	5,559	6,780	51,617
4	3,319	4,048	66,117	4,600	5,609	57,227
5	2,777	3,387	69,504	3,703	4,516	61,742
6	2,572	3,136	72,640	3,489	4,254	65,997
7	2,128	2,596	75,236	3,017	3,680	69,676
8	1,873	2,284	77,520	2,336	2,848	72,525
9	1,627	1,984	79,504	2,305	2,811	75,335
10	1,558	1,901	81,405	2,199	2,682	78,018
11	1,437	1,752	83,157	2,103	2,565	80,583
12	1,371	1,672	84,829	1,971	2,403	82,986
13	1,299	1,585	86,413	1,850	2,256	85,242
14	1,113	1,357	87,770	1,624	1,981	87,223
15	1,048	1,278	89,048	1,497	1,825	89,048
...
84	...	...	100	...	...	...